



Fraunhofer-Institut für Produktions-
technik und Automatisierung IPA

**Einrichtungen für Untersuchungen
an beschichteten Oberflächen,
Beschichtungsstoffen und Materialien**

Vorwort

Das Fraunhofer IPA stellt mit seiner Prüftechnik und Analytik im Bereich Oberflächen, Beschichtungen und Materialien der Industrie zukunftsorientierte Problemlösungen, Innovationen und Dienstleistungen bereit. Seine Kompetenzen erstrecken sich über die gesamte Prozesskette der Beschichtungstechnik: von der lackiergerechten Substratvorbehandlung, der Entwicklung neuer Lacksysteme und Lackrohstoffe, über die Lackapplikation bis zum Entwickeln, Modellieren und Simulieren von produktionsgerechten Beschichtungsprozessen und -anlagen einschließlich deren Umsetzung in die Praxis und die dazu gehörende Prüftechnik.

Die anwendungsorientierte Ausrichtung der Forschung und Dienstleistungen sowie das wettbewerbsneutrale Vorgehen sind an den Zielen der Kunden orientiert und ermöglichen maßgeschneiderte Lösungen sowohl bei Projekten der Materialentwicklung, -optimierung und -anpassung als auch bei der Anlagenplanung und -optimierung. Die variable Ausstattung unseres Oberflächentechnikums einschließlich Lackierrobotern ermöglicht praxisrelevante Untersuchungen zum Betriebsverhalten von Vorbehandlungs-, Applikations- und Trocknungseinrichtungen sowie deren Peripherie beim Einsatz unterschiedlicher Beschichtungsmaterialien. Prozess- und Schadensanalysen in der Lacktechnik können schnell und konsequent unter Verwendung laufend weiterentwickelter Qualitäts- und Prüfmethode mittels modernster Einrichtungen durchgeführt werden.

Mit unserer mehr als sieben Jahrzehnte langen Erfahrung in der angewandten Forschung auf den Gebieten Lacke, Beschichtungsstoffe und Beschichtungen, deren Rohstoffe, wie Pigmente, Bindemittel, Additive, deren Anwendungen und Eigenschaften, der lackspezifischen Polymerchemie und Polymerphysik, der Lackiertechnik sowie der Technologie der damit im Verbund stehenden Substrat- und Vorbehandlungsmaterialien, sind wir weltweit eine der führenden Institutionen auf diesem vielfältigen und interdisziplinären Arbeits- und Fachgebiet. In einem Netzwerk mit weiteren Fraunhofer-Instituten, der Universität Stuttgart und Max-Planck-Instituten bilden wir am Universitätscampus in Stuttgart-Vaihingen einen einzigartigen Verbund zur wissenschaftlichen und anwendungsbezogenen Bearbeitung des gesamten Arbeitsgebiets der Lack- und Oberflächentechnik. Die seit vielen Jahren bestehende und intensive Zusammenarbeit mit Industriepartnern aus den lackverarbeitenden Branchen und der Anlagen-, Applikations- und Prüftechnik sichert uns einerseits den Praxisbezug der Forschung und andererseits auch die schnelle und wirtschaftliche Umsetzung unserer Ergebnisse.

Mit Forschungs- und Entwicklungsprojekten aus der Industrie und der öffentlichen Hand bauen wir unser umfassendes physikalisches, chemisches und ingenieurwissenschaftliches Verständnis der Prozesse in der Beschichtungstechnik stetig aus. Wir setzen unser Wissen über die Eigenschaften der Oberflächen und Werkstoffe mit der Anwendung der „richtigen Chemie“ der Beschichtungsstoffe über die Prozesstechnik der Applikation und Schichtbildung bis zur Prüfung und Simulation des Langzeitverhaltens der Beschichtung zielgerichtet um. Für das Design von Beschichtungen auf Objekten, die Auswahl, Entwicklung und Applikations-technik der Lacksysteme, den Serienbetrieb von Lackieranlagen und die anwendungsgerechte Prüftechnik für die Materialien, Prozesse und der beschichteten Objekte beantworten wir folgende Fragestellungen:

- Wie muss das Objekt lack- und lackiergerecht konstruiert werden?
- Welche Lack- und Beschichtungsstoff-Technologien kommen objektbedingt überhaupt in Frage?
- Wie muss die Substratoberfläche für einen dauerhaften Schutz bzw. dauerhafte Funktion der Beschichtung vorbehandelt werden?

- Mit welchem Lack- bzw. Beschichtungssystemen kann eine den Anforderungen gerechte Beschichtung auf dem Objekt realisiert werden?
- Mit welchem umweltgerechten, wirtschaftlichen Verfahren kann das Beschichtungssystem prozesssicher appliziert und gehärtet werden?
- Sind alle Anforderungen, Qualitätsmerkmale und Prüfkriterien an Materialien und Prozesstechnik detailliert im Lastenheft erfasst?
- Ist die Serienherstellung anforderungsgerechter Beschichtungen durch die qualitäts- und prozessrelevante Prüftechnik in allen Stufen des Vorbehandlungs- und Beschichtungsprozesses abgesichert?
- Welche Betriebsstoffe und Einwirkungen können den Lackierprozess bzw. die Qualität der Beschichtung beeinträchtigen und welche Prüf- und Messtechniken kommen zur Fehlerdiagnose und zur Ursachenforschung im Lackierprozess zum Einsatz?

Diese und viele weitere Fragestellungen, z.B. auch im Rahmen von Planungs- und Optimierungsprojekten für lack- und lackiertechnische Prozesse, sind Schwerpunkte der Auftragsforschung mit den Kunden. Dabei umfasst unsere Expertise auch die Erstellung, Bewertung und Beurteilung von Beschichtungstechnologien und Rationalisierungspotenzialen bei der

- Erarbeitung von Spezifikationen,
- Durchführung von Beschichtungsversuchen,
- Durchführung von lackspezifischen und anwendungstechnischen Prüfungen,
- analytische Untersuchung von Schadensfällen sowie bei
- Personalschulung und -training.

Zielsetzung und Aufbau dieser Broschüre

Die Erwartungen an die Haltbarkeit und Dauerhaftigkeit der Funktionen von Beschichtungen sind, gemessen am Materialeinsatz im Vergleich zum zu schützenden Objektwerkstoff, enorm hoch. Verbunden mit der zunehmenden Vielfalt an dekorativen, Schutz- und Spezialfunktionen unter besonderer Berücksichtigung von Umwelt- und Nachhaltigkeitskriterien steigen auch die Herausforderungen an die Prüftechnik und Qualitätssicherung aller Stufen in der Prozesskette von den Rohstoffen über die Lacksysteme einerseits, den Substrateigenschaften und den Vorbehandlungs- und Beschichtungsprozessen andererseits. Für den Lackanwender ist daher der Weg vom anforderungsgerechten Lackmaterial zum fertigungssicheren und in möglichst engen Fenstern zu führenden Prozess der Lackverarbeitung, bei möglichst geringen Kosten, ein entscheidender wirtschaftlicher Faktor. Organische Beschichtungen auf allen denkbaren Untergründen müssen heute daher mit Fug und Recht als hochkomplexe Verbundwerkstoffe oder Stoff- bzw. Beschichtungs-Verbunde angesehen werden. Deshalb kann die Entwicklung der funktionspezifischen Beschichtungssysteme und des applikationsgerechten Anlagen-Designs, insbesondere auch im Kontext zu Life-Cycle-Betrachtungen des Objekts, nur vom Standpunkt eines Gesamtsystems aus verstanden und damit wirtschaftlich und umweltgerecht bearbeitet werden.

Diese Broschüre stellt einen umfassenden Stand der Prüftechnik, der Untersuchungsmethoden und Dienstleistungen für die Lack- und Oberflächentechnik dar. Dabei sollen einerseits Standardverfahren und moderne Verfahren für die Bewertung und messtechnische Erfassung von in der Praxis wichtigen Eigenschaften von Substratoberflächen, Lacken, Beschichtungsstoffen, der daraus hergestellten Beschichtungen sowie für lackierprozesstechnische Aspekte im breiten Anwendungsspektrum dargestellt werden. Andererseits soll diese Broschüre auch einen Einblick in wissenschaftliche Methoden geben, die zu

einem für die Entwicklung neuer Beschichtungskonzepte notwendigen besseren Verständnis der Struktur-/Eigenschaftsbeziehungen von Lackrohstoffen, Substratmaterialien und Beschichtungen beitragen kann.

Diese Broschüre ist nach Sachgebieten entsprechend stofflichen Aspekten, wie Rohstoffen, Flüssiglacken, Pulverlacken, Beschichtungen und den Stufen in der Prozesskette der Lacktechnik gegliedert. Da sich auch die Mess- und Prüftechnik auf dem Gebiet der Lacktechnik stetig weiterentwickelt, enthält diese Broschüre sicher nicht alle, jedoch die wichtigsten Prüfmethoden für die jeweiligen Sachgebiete.

Ein Teil unserer Prüfverfahren sind von der Deutschen Akkreditierungsstelle GmbH (DAkkS) nach DIN EN ISO/IEC 17025:2018 akkreditiert. Den aktuellen Stand sehen Sie bitte auf unserer Website ein, ebenso die Akkreditierungsurkunden. Auf den letzten Seiten der Broschüre sind daher Kontaktadressen und Ansprechpartner für unsere angebotenen Dienstleistungen aufgeführt.

Inhaltsverzeichnis

Prüfung von Substraten / Oberflächenanalytik	1
Oberflächenrauheit	2
Porosität von Vorbehandlungsschichten	4
Oberflächenreinheit / Oberflächenchemie	5
Oberflächenhärte	7
Oberflächenfeuchtigkeit	8
Morphologie von Oberflächen / Oberflächentopographie	8
Oberflächenenergie / Benetzbarkeit	10
Oberflächenwiderstand und -leitfähigkeit	12
Elektrochemische Methoden	12
Oberflächentemperatur / Thermografie	13
Transmission, Reflexion, Absorption / UV-Vis-NIR	15
Emissionsanalyse	16
Chemische Zusammensetzung	17
Prüfung von Vorbehandlungs- und KTL-Bädern	19
Überwachung von Vorbehandlungs-Badparametern	20
Überwachung von KTL-Badparametern	23
Prüfung von Flüssiglacken	24
Auslaufzeit	25
Rheologische Eigenschaften und Viskosität von Flüssiglacken	25
Deckvermögen / Ergiebigkeit / Kontrastverhältnis	26
Verlauf und Ablaufneigung	28
Trockenzeit / Trockengrad	28
Mindestfilmbildetemperatur	29
UV-Härtung von Flüssiglacken/Druckfarben	30
Gehalt an nichtflüchtigen Anteilen (nfA) bzw. Festkörperanteil	30
Dichtebestimmung	31
pH-Wert	32
Wassergehalt – Karl-Fischer-Verfahren	32
Trübungsgrad	33
Acidität eines Lacksystems	33

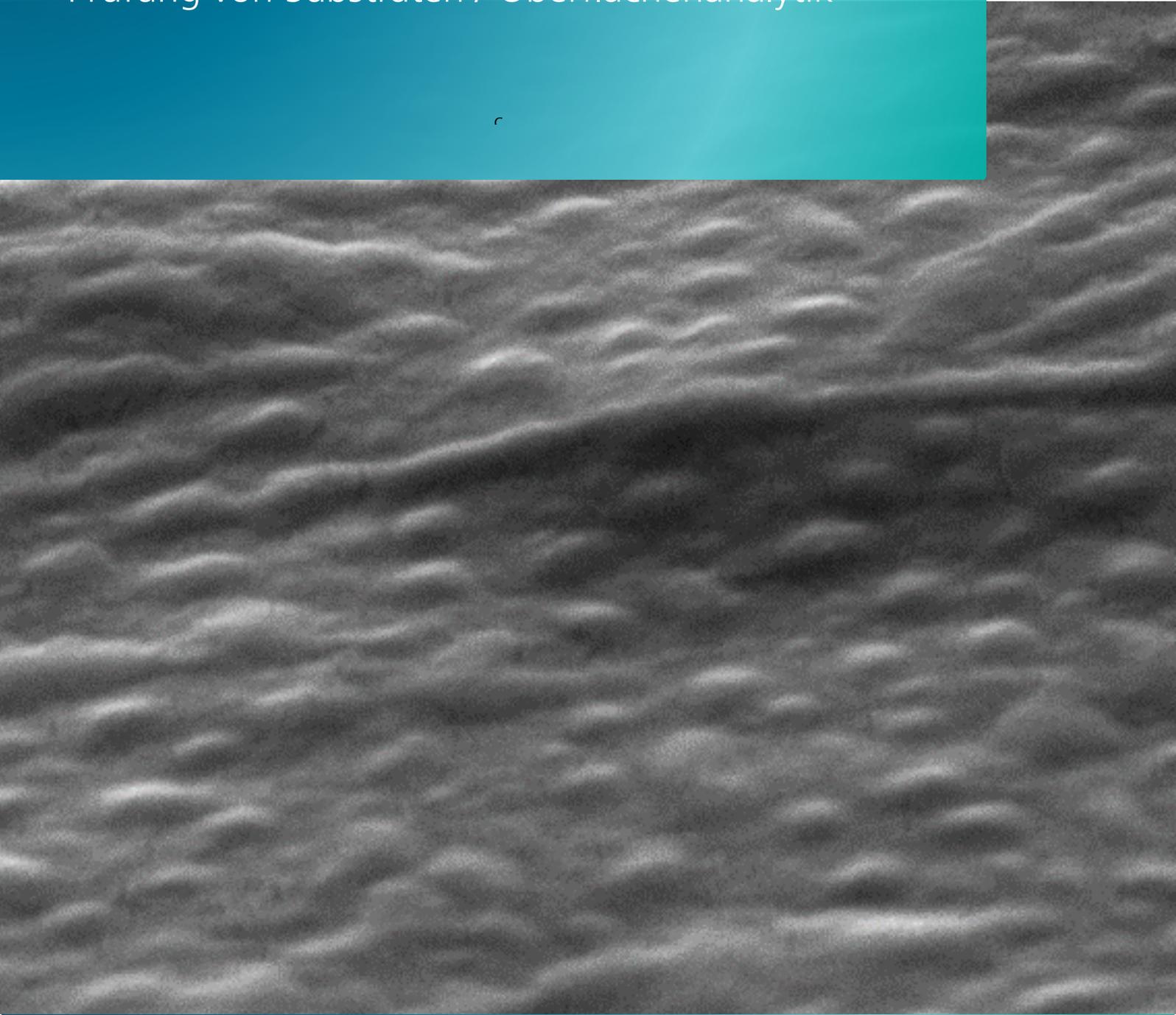
Oberflächenspannung einer Flüssigkeit	34
Flammpunkt einer Flüssigkeit	35
Nassschichtdicke	36
Mahlfeinheit (Körnigkeit)	36
Elektrische Leitfähigkeit.....	37
Aufladbarkeit eines Flüssiglackes.....	37
Glasübergangstemperatur, DSC, Vernetzung	39
Thermogravimetrie.....	39
Simultane Thermische Analyse (STA)	40
Prüfung von Pulverlacken	41
Schmelzpunkt/Härtung von Pulverlacken.....	42
Fluidisierbarkeit von Pulverlacken	43
Simultane Thermische Analyse (STA)	43
Korngrößen und -verteilung von Pulverlacken	44
Aufladbarkeit eines Pulverlackes.....	46
Schichtdicke von Pulverlacken	47
Oberflächenenergie von Pulvern.....	47
Prüfungen an Pulvern, Partikeln und Dispersionen	49
Teilchengrößenverteilung, -beweglichkeit und Zetapotenzial	50
Trübungsgrad	51
Spezifische Oberfläche nach BET, Porosität, Chemisorption.....	51
Photokatalytische Aktivität	52
Photodegradation	52
NO _x - Abbau	53
Adsorption an dünnen Schichten - Quarzkristallmikrowaage.....	53
Prüfung von gehärteten Lacken / Beschichtungen	54
Haftfestigkeit von Beschichtungen	55
Zug-, Druck- und Scherprüfungen.....	57
Abrieb- und Kratzfestigkeit von Beschichtungen	58
Dynamisch-mechanische Analyse	61
Simultane Thermische Analyse (STA)	63
Innere Spannungen.....	63
Brennprüfung von Werkstoffen.....	64

Elastizität bei Deformation	64
Härte	66
Bestimmung des Reibungskoeffizienten	69
Elektrische Isolationsfähigkeit.....	69
Oberflächen- und Durchgangswiderstand	70
Beständigkeit gegenüber Chemikalien und Quellbarkeit.....	70
Cremebeständigkeit.....	71
Geruchsprüfung.....	71
Bestimmung der Formaldehyd-Emission	72
Beständigkeit gegenüber Feuchtigkeit, Wasser.....	73
Temperatur- / Klimawechsel-Beanspruchung.....	75
Freibewitterung.....	76
Künstliche Bewitterung	77
Bestimmung der strahlungsinduzierten Radikalbildung.....	80
Photokatalytische Aktivität	80
Photodegradation	81
Laserbeschriftbarkeit von Beschichtungen	81
Korrosionsbeständigkeit.....	82
Zyklische Korrosionsprüfungen.....	83
Filiformkorrosion.....	83
Zyklische Korrosionsprüfung für Multi-Metall-Anwendung.....	84
Verfahren zur Ritzanbringung	85
Elektrochemische Methoden	86
Schutzwirkung (FPL-Kurzzeittest).....	87
Kreidungsgrad	87
Trockengrad.....	89
Stapelfähigkeit.....	90
Appearance	90
Brillanz einer hochglänzenden Oberfläche.....	91
Glanz.....	91
Glitzer-Effekt.....	92
Glanzschleier / Haze	92
Farbe bzw. Farbabweichung	93

Mehrwinkelfarbmessung bei Metallics / Effektlacken.....	95
Transparenz	96
Transmission, Reflexion, Absorption / UV-Vis-NIR	96
Oberflächenrauheit und -welligkeit	97
Schichtdicke.....	99
Schichtaufbau / Schichtanalyse.....	102
Wasserdampf- und Sauerstoffpermeation / Barrierewirkung	104
Adsorption an dünnen Schichten	107
Prüfung von Lackierprozessen und lackiertechnischen Eigenschaften.....	108
Verarbeitungszeit / Topfzeit von Mehrkomponenten-Lacksystemen	109
Staubemission / Staubbelastung in der Abluft.....	109
Luftströmung.....	110
Auftragswirkungsgrad von Flüssig- und Pulverlacken	111
Ergiebigkeit.....	111
Sprühwolkenanalyse	112
Untersuchung von Lackapplikations- und Lackversorgungskomponenten.....	114
Lacktrocknung / -härtung.....	119
Lichtleistungsmessgeräte.....	121
Materialvolumenstrom	123
Luftfeuchtigkeit und Temperatur der Umgebung	124
Elektrische Feldstärke	125
Schichtdicke des nicht ausgehärteten Lackes.....	125
Lackbenetzungsstörende Substanzen (LABS)	126
Überlackierbarkeit von Beschichtungen.....	127
Elektrotauchlackierungen.....	127
Untersuchungen zum Umwelt- und Arbeitsschutz.....	129
Lärm	130
Abluft-Inhaltsstoffe	130
Wärme.....	131
Lösemittelkonzentration.....	131
Fehler- und Schadensanalyse in der Lack- und Oberflächentechnik	132
Mikroskopische Verfahren.....	135
Chemische Analyse	138

Physikalische Prüfmethoden	143
Werkstoffprüfungen.....	149

Prüfung von Substraten / Oberflächenanalytik



Oberflächenrauheit

Mechanische Abtastung der Oberflächenrauheit mit dem mobilen Tastschnittgerät^{2,5}

Prüfnormen: DIN EN ISO 4287, DIN EN ISO 4288, DIN EN ISO 13565, DIN EN ISO 8503-4

Prüfgerät: Mobiles Tastschnittgerät

Auswertung: Rauheitskenngrößen R_a , R_z , R_{max}



Berührungslose Erfassung der Oberflächentopographie bzw. Rauheit von Oberflächen mittels optischem Profilometer, schließt die Lücke zwischen Tastschnittverfahren und Atomkraftmikroskop (AFM)⁴

Prüfnormen: DIN EN ISO 4287, DIN EN ISO 4288, DIN EN ISO 13565, DIN EN ISO 8503-4

Prüfgerät: Profilometer MicroGlider/MicroProf

Auswertung: 3D-Oberflächencharakterisierung,
Rauheitskenngrößen für 1D: R_a , R_z , R_{max} ;
Rauheitskenngrößen für 2D: SR_a , SR_z , SR_{max}



Berührungslose Erfassung der Oberflächenrauheit und der Oberflächentopographie mittels der *Laser-Scanning-Mikroskopie (LSM)*.

Mithilfe der LSM werden durch die Kombination von Farbbild und hochaufgelöster Laser-Topographiemessung ein hochdetaillierteres 3D-Abbild des Messobjekts erzeugt^{2,4}

Prüfnormen: DIN EN ISO 4287, DIN EN ISO 21920-3, DIN EN ISO 13565, DIN EN ISO 8503-40020

Prüfgerät: Keyence VK-X250/X150

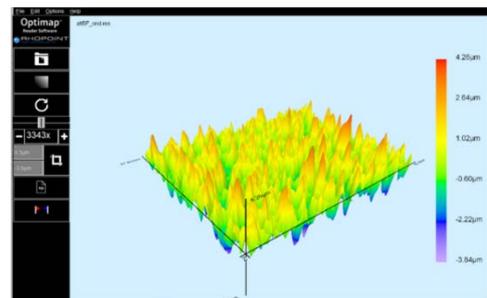
Auswertung: 3D-Oberflächencharakterisierung, Rauheitskenngrößen für 1D: R_a , R_z , R_{max} ; Rauheitskenngrößen für 2D: SR_a , SR_z , SR_{max}



3-D-Geometrievermessung mittels Deflektometrie⁶

Prüfgerät: Optimap 3

Auswertung: 3D-Oberflächencharakterisierung, Rauheits- und Welligkeitskenngrößen



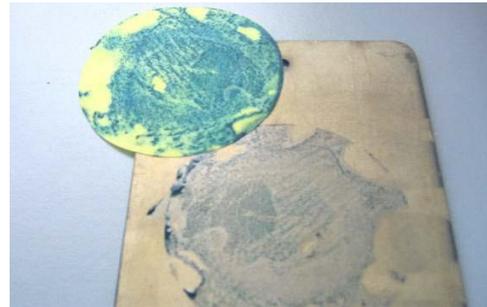
Porosität von Vorbehandlungsschichten

Nachweis von nicht vorbehandelten Eisen-Zonen an Vorbehandlungsschichten

Z.B. Zinkphosphatierungen, mit dem Ferroxytest. Dabei reagiert Hexacyanoferrat mit dem Eisen des Grundwerkstoffes zu Berliner Blau.⁵

Prüfmittel: Hexacyanoferrat(II)-Testlösung und ggf. Mikroskop

Auswertung: Visuelle Beurteilung der Prüffläche und Lokalisierung von Defekten als blaue Punkte



Nachweis von nicht vorbehandelten Eisen-Zonen an Vorbehandlungsschichten

Z.B. Zinkphosphatierungen, mittels Kupfersulfat-Test (Abscheidung von elementarem Kupfer auf freiliegender Grundwerkstoffoberfläche)⁵

Prüfmittel: Kupfersulfat-Testlösung und ggf. Mikroskop

Auswertung: Visuelle Beurteilung der Prüffläche (Abscheidung von elementarem Kupfer)



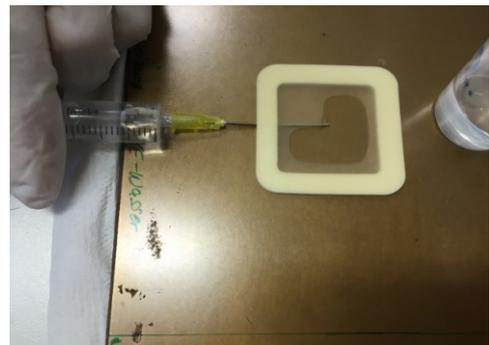
Oberflächenreinheit / Oberflächenchemie

Prüfung von Salzurückständen auf Substratoberflächen durch Abwaschen löslicher Salze und Bestimmung des Salzgehalts durch Leitfähigkeitsmessung (Konduktometrie, Bresle-Test)²

Prüfnorm: DIN EN ISO 8502-6/DIN EN ISO 8502-9

Prüfgerät: Konduktometer/ Digitales Leitfähigkeitsmessgerät

Auswertung: Leitwert G [μS], Leitfähigkeit, Chloridgehalt in mg/m^2



Bestimmung von Schmutzpartikeln auf Oberflächen mittels Klebeband-Abzug⁵

Prüfnorm: DIN EN ISO 8502-3

Prüfmittel: Klebeband und Lupe

Auswertung: Beurteilung der anhaftenden Rückstände auf dem Klebeband



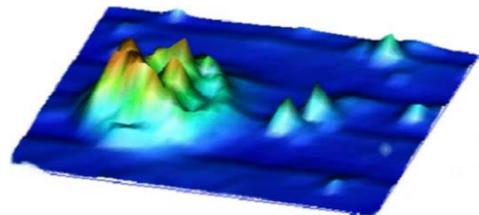
Infrarotmikroskopie

Analyse von Mikropartikeln mittels FT-IR-Mikroskopie^{1,6}

Prüfgerät: FT-IR-Mikroskop

Methode: Reflexion, Mikro-ATR, single point, multiple point, area map

Auswertung: Infrarotspektrum, Transmission T [%] / Wellenzahl ν [cm^{-1}]



Particle inclusion in a polymer matrix

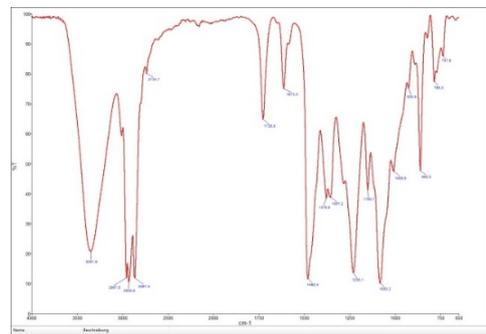
Infrarotspektroskopie

Bestimmung organischer Oberflächenrückstände und Verunreinigungen wie Öle, Fette, Silikone etc. mittels Infrarotspektroskopie (IR)^{1,6}

Prüfgerät: FTIR-Spektrometer / NIR mit ATR-Einheit

Methode: Messung im mittleren Infrarotbereich (MIR), ATR, Transmission, Mikrodiamant-Messzelle, Gasmesszelle

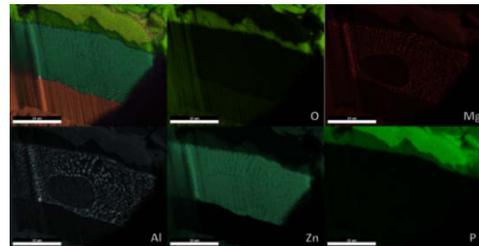
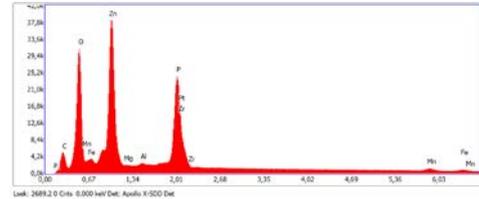
Auswertung: Infrarotspektrum, Transmission T [%] / Wellenzahl ν [cm^{-1}]



Bestimmung der Elementzusammensetzung und Elementverteilung der Oberfläche mittels energiedispersiver Röntgenspektroskopie (EDX) ²

Prüfgerät: Rasterelektronenmikroskop mit EDX - Analysensystem (REM/EDX)

Auswertung: Element-Gew. [%] bzw. Atom-Gew. [%], Elementverteilung durch Mapping



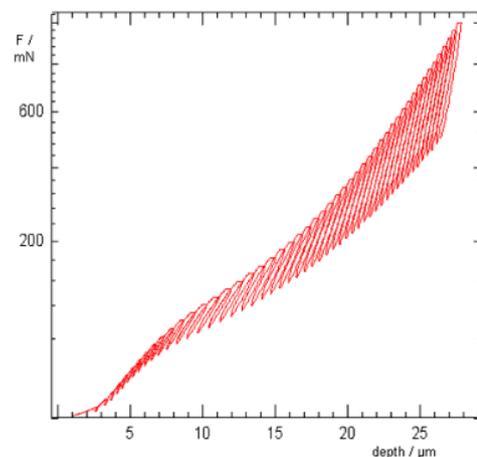
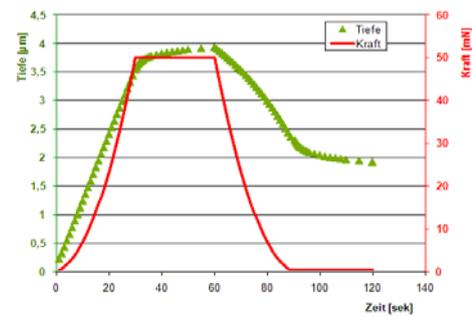
Oberflächenhärte

Bestimmung der Martenshärte (Eindringhärte)²

Prüfnormen: DIN EN ISO 14577, DIN EN ISO 4516, ASTM E 384

Prüfgerät: Mikrohärte-Messsystem

Auswertung: Eindringhärte H_{it} , Eindringtiefe t [μm], Martenshärte HM [N/mm^2], Kriechen cr [%], Kriechen nach Rücknahme der Prüfkraft cr_R [%], Elastizitätsmodul E_{HU} [MPa], elastischer und plastischer Anteil der Verformungsenergie W_e [%] und W_b [%], Universalhärte nach Entlastung H_{ub} [MPa]



Oberflächenfeuchtigkeit

Feuchte-Bestimmung an der Oberfläche mittels Reflexionsfotometrie⁵

Prüfgerät: Reflexionsfotometer

Auswertung: Relative Feuchte (r.F.) [%]



Morphologie von Oberflächen / Oberflächentopographie

Bestimmung der Oberflächentopographie mittels Mikroskopie^{2,5}

Prüfgerät: Digitalmikroskop mit bis zu 5000-facher Vergrößerung, Zeiss Universalmikroskop, Zeiss Axioscop 7, Olympus BX61, Wild Makroskop M400, Keyence Digitalmikroskope

Auswertung: Vergrößerte Abbildung der Oberfläche mit vielen verschiedenen Abbildungskontrasten, 3D-Darstellung der Oberfläche, 3D-Profilmessung



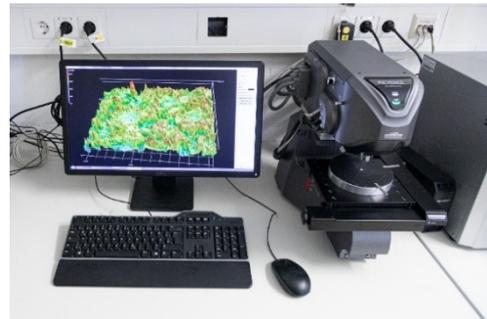
Berührungslose Erfassung der Oberflächenrauheit und der Oberflächentopographie mittels der Laser-Scanning-Mikroskopie (LSM).

Mithilfe der LSM werden durch die Kombination von Farbbild und hochaufgelöster Laser-Topographie-messung ein hochdetaillierteres 3D-Abbild des Messobjekts erzeugt^{2,4}

Prüfnormen: DIN EN ISO 4287, DIN EN ISO 4288, DIN EN ISO 13565, DIN EN ISO 8503-4

Prüfgerät: Keyence VK-X250/X150

Auswertung: 3D-Oberflächencharakterisierung, Rauheitskenngrößen für 1D: R_a , R_z , R_{max} ; Rauheitskenngrößen für 2D: SR_a , SR_z , SR_{max}



Bestimmung der Oberflächentopographie mittels hochauflösender Rasterelektronenmikroskopie (REM)²

Prüfgerät: REM Helios Nano-Lab

Auswertung: Topografieaufnahme, Materialkontrastbild der Oberfläche und Elementanalyse mit EDX



Oberflächenenergie / Benetzbarkeit

Bestimmung der Oberflächenenergie mittels des Benetzungsverhaltens verschiedener Testflüssigkeiten (Union Carbide Methode)^{2,5}

Prüfmittel: Testtinten, Teststifte

Auswertung: Oberflächenspannung/-energie [mN/m]



Messen der Zeit bis zum Wasserfilmabriss (Wasserablauftest)⁵

Prüfmittel: Behälter mit Prüfflüssigkeit

Auswertung: Visuelle Beurteilung des Wasserfilms, Zeit t [s]



Mobilgerät zur Bestimmung der Benetzung mittels Kontaktwinkel-Methode¹

Kontaktwinkelmessungen an dreidimensionalen Bauteilen, z.B. im Produktionsprozess, Messungen vertikal und an kleinen Proben

Prüfnorm: In Anlehnung an DIN EN 828

Prüfgerät: Mobiles Kontaktwinkelmessgerät, MSA

Methode: Sessile drop; 2 Prüfflüssigkeiten bekannter Oberflächenspannung

Auswertung: Bestimmung der Gesamtoberflächenenergie sowie der polaren und dispersen Anteile in [mN/m]



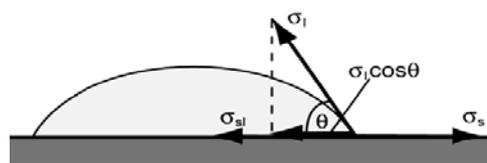
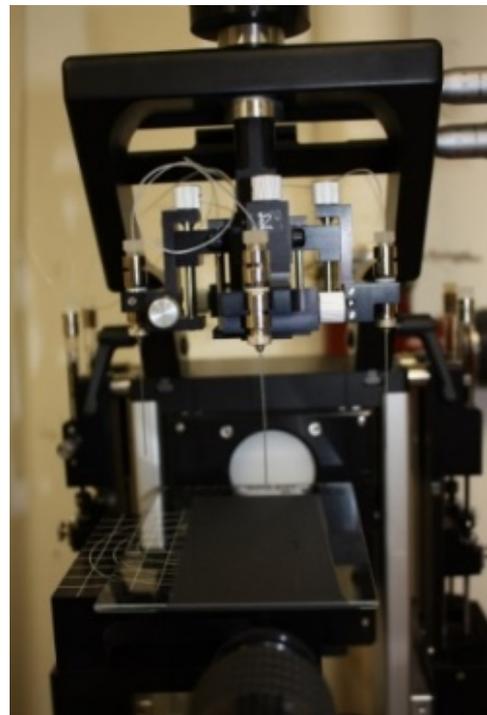
Kontaktwinkel-Methode^{1,2}

Prüfnorm: DIN EN 828

Prüfgerät: Optisches Kontaktwinkelmessgerät, OCA 40/Micro

Methode: Sessile drop; 2-4 Prüfflüssigkeiten bekannter Oberflächenspannung

Auswertung: Bestimmung der Gesamtoberflächenenergie sowie der polaren und dispersen Anteile [mN/m]



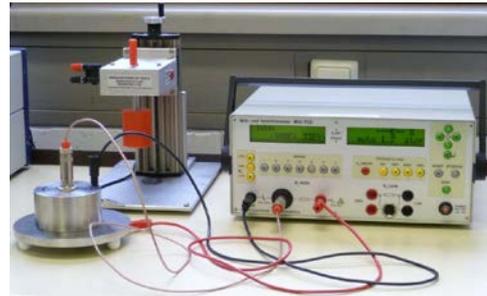
Oberflächenwiderstand und -leitfähigkeit

Widerstandsmessung zwischen zwei auf der Substratoberfläche angebrachten definierten Elektroden^{2,4}

Prüfnormen: DIN EN 1149, DIN IEC 60167

Prüfgerät: Leitfähigkeitsmessgerät/Gleichstrom-Widerstandsmessgerät mit Ringelektrode

Auswertung: Oberflächenwiderstand R [Ω],
Durchgangswiderstand R [Ω], Strom I [A]

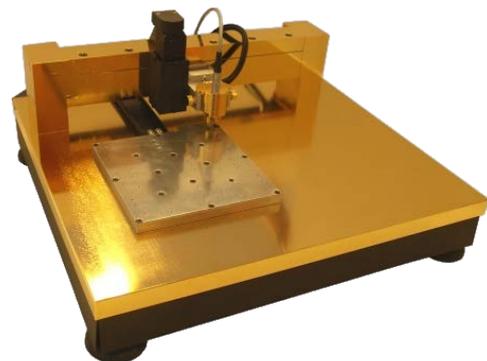


Elektrochemische Methoden

Ortsaufgelöste Beurteilung der Korrosionsstabilität und Delaminationsresistenz von großen, z.B. in 10 x 20 cm beschichteten Substraten²

Prüfgerät: Raster-Kelvin Sonde (mit topographischer Korrektur)

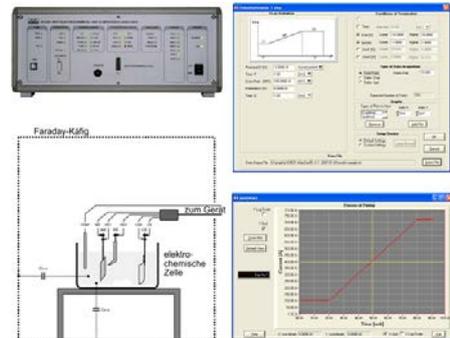
Auswertung: Elektrochemisches Potenzial; Berührungslose, ortsaufgelöste Ermittlung der elektrochemischen Potenziale (Elektronenaustrittsarbeit) und der Oberflächentopographie



Bestimmung von Korrosionspotenzialen sowie von kapazitiven und resistiven Eigenschaften von (vorbehandelten) Substraten²

Prüfgerät: Elektrochemische Workstation

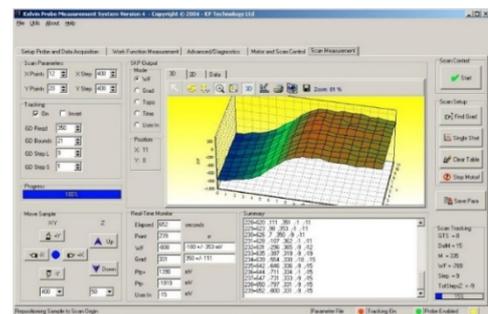
Auswertung: Ermittlung von Strom-/Spannungskurven, polarographischen Daten, Impedanzspektren und der Reversibilität elektrochemischer Prozesse



Ortsaufgelöste Beurteilung der Korrosionsstabilität und Delaminationsresistenz von beschichteten Substraten²

Prüfgerät: Raster-Kelvin Sonde mit topographischer Korrektur

Auswertung: Elektrochemisches Potenzial; Berührungslose, ortsaufgelöste Ermittlung der elektrochemischen Potenziale (Elektronenaustrittsarbeit) und der Oberflächentopographie



Oberflächentemperatur / Thermografie

Berührungslose Bestimmung der Oberflächentemperatur mit dem IR-Verfahren^{2,5}

Prüfgerät: IR-Thermometer/Infratherm IN5 plus, Pyrometer für Temp. von -32 bis 900 °C, Voltakraft IR-350

Auswertung: Temperatur T [°C], IR-Emissionsgrad



Bestimmung der Oberflächentemperatur mit dem Kontakt-Verfahren^{2,5}

Prüfgerät: ALMEMO-Messgerät mit Thermoelementfühler

Auswertung: Temperatur T [°C]



Bestimmung und Visualisierung der Objekttemperatur bzw. des -temperaturverlaufs mittels Thermografie (Passive Thermografie)^{4,5}

Prüfgerät: Wärmebildkamera, NIR-Wärmebildkamera Xeva 935 (0,9 µm – 1,7 µm)

Auswertung: Thermografische Bilder bzw. Filme



Passive und aktive Thermografie (Puls- und Lockin-Thermografie)⁴

Prüfgerät: MIR-Wärmebildkamera SC 6000 (3 µm - 5 µm)

Auswertung: Thermografische Bilder bzw. Filme, qualitative und quantitative Beurteilung von Fehlstellen in verschiedenen Materialien



Bestimmung des Oberflächentemperaturverlaufs⁵

Prüfgerät: Ofenschreiber

Auswertung: Temperaturverlauf; Objekttemperatur,
T [°C] / t [min]



Transmission, Reflexion, Absorption / UV-Vis-NIR

Bestimmung von UV-Vis-NIR-Transmission, Reflexion und Absorption von Oberflächen⁴

Prüfgerät: UV-Vis-Spektrophotometer Lambda 900,
 λ : 250 nm – 2500 nm

Auswertung: Transmission [%], Reflexion [%],
Absorption [%]



Bestimmung von Transmission und Haze von Oberflächen und Filmen⁵

Prüfgerät: Novo-Haze TX Transmission Haze Messgerät

Auswertung: Transmission [%], Haze [%]



Emissionsanalyse

Emissionsanalysen an Kunststoff-Interieur-Bauteilen. Gravimetrische Bestimmung der Masse des ausdiffundierten Materials, das sich auf der Folie während des Tests angesammelt hat⁵

Prüfnormen: DIN 75201; VW PV 3015

Prüfgerät: Fogging-Test-System AC-FTS 200-230 V

Auswertung: Gravimetrische Messmethode



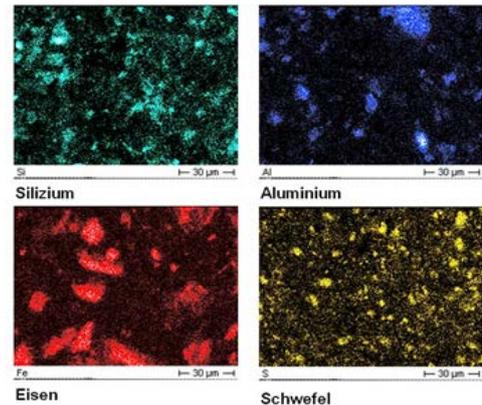
Chemische Zusammensetzung

Rasterelektronenmikroskopie (REM) und Röntgenanalyse (EDX)²

Untersuchung der chemischen Zusammensetzung der (Substrat)-Oberfläche durch elementspezifische Detektion bei hoher Ortsauflösung

Prüfgerät: Rasterelektronenmikroskop/Energiedispersive Röntgenspektroskopie (REM/EDX)

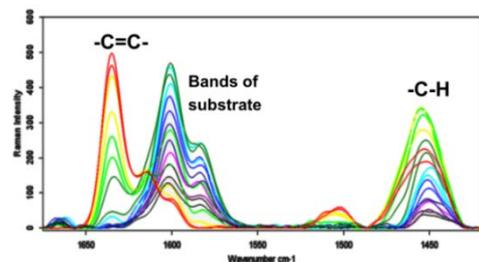
Auswertung: Element-Verteilung in Masse- oder Atom-%, Elementverteilung durch Mapping. Unterscheidung anorganischer (z.B. Pigmente) und organischer Bestandteile (z.B. Bindemittel) möglich



Analyse von Lackoberflächen und Beschichtungen mittels konfokaler Ramanspektroskopie²

Prüfgerät: Konfokales Ramanspektrometer

Auswertung: Analyse des Ramanspektrums durch Zuordnung der Absorptionsbanden



Analyse von Lackoberflächen und Beschichtungen mit der Infrarotmikroskopie¹

Prüfgerät: Spotlight 200

Methode: Reflexion, Mikro-ATR, single point, multiple points, area map

Auswertung: Analyse des IR-Spektrums durch Zuordnung der Absorptionsbanden



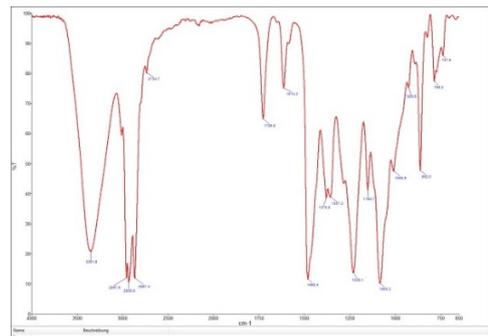
Infrarotspektroskopie

Bestimmung der Zusammensetzung von Flüssiglacken, Beschichtungen, Substraten, Betriebsmitteln und Bindemitteln¹

Prüfgerät: FTIR-Spektrometer / NIR mit ATR-Einheit

Methode: Messung im nahen (NIR) und mittleren (MIR) Infrarotbereich, ATR, Transmission, Mikrodiamant-Messzelle, Gasmesszelle

Auswertung: Infrarotspektrum, Transmission T [%]
Wellenzahl ν [cm^{-1}]



Prüfung von Vorbehandlungs- und KTL-Bädern



Überwachung von Vorbehandlungs-Badparametern

Bestimmung der Leitfähigkeit²

Prüfgerät: Konduktometer

Auswertung: Leitwert G [μS]



Bestimmung des pH-Wertes²

Prüfgerät: pH-Meter

Auswertung: pH-Wert



Bestimmung der dynamischen Oberflächenspannung von Flüssigkeiten nach dem Blasendruck-Verfahren⁷

Prüfgerät: Tensiometer

Auswertung: Oberflächenspannung σ [mN/m], [dyn/cm]



Bestimmung von Badverschmutzungen wie z.B. Ölbelastung mit der UV-Fluoreszenz-Methode⁷

Prüfgerät: UV-Fluoreszenzmessgerät

Messgrößen: Intensität von Fluoreszenzlicht



Onlinemessung der Oberflächenspannung von Flüssigkeiten z.B. zur Bestimmung der Tensid-Konzentrationen⁷

Prüfgerät: Online-Tensiometer

Messgrößen: Oberflächenspannung von Flüssigkeiten [mN/m], Temperatur [°C]



Onlinemessung der Dichte von Flüssigkeiten z.B. zur Bestimmung des Festkörpergehaltes^{1,7}

Prüfgerät: Dichtesensor

Messgrößen: Dichte [g/cm³], Temperatur [°C]



Onlinemessung des pH-Wertes und des Redoxpotenzials z.B. zur Bestimmung des MEQ-Wertes⁷

Prüfgerät: Potenziometer

Messgrößen: pH-Wert, Redoxpotenzial, Ionenselektive Elektroden z.B. Ni, Zn



Onlinemessung des Licht-Brechungsindex bzw. der Brechzahl in Flüssigkeiten z.B. zur Bestimmung der Konzentration organischer Lösemittel ⁷

Prüfgerät: Refraktometer

Messgrößen: Licht-Brechungsindex in Flüssigkeiten [Brix],
Temperatur [°C]



Überwachung von KTL-Badparametern

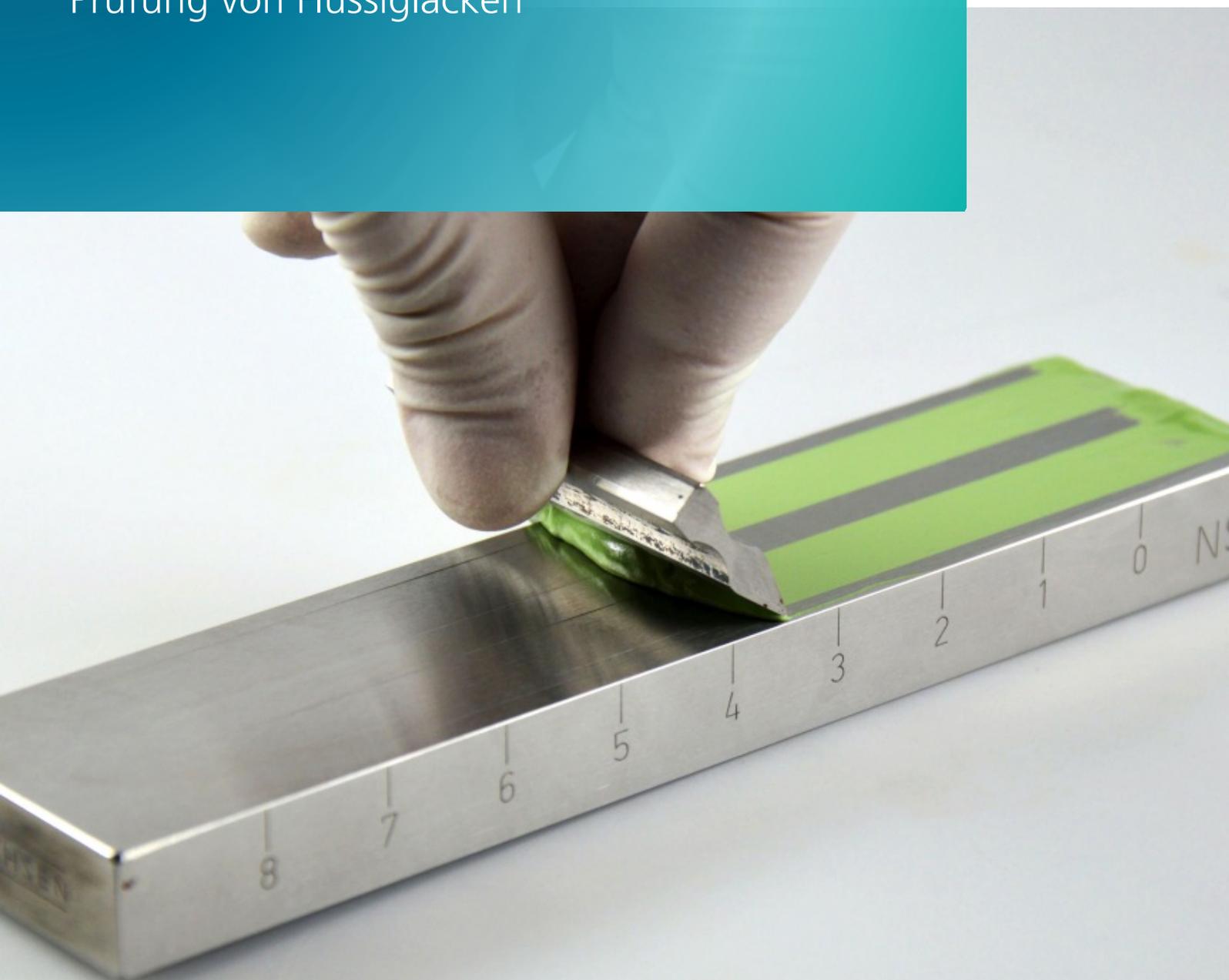
Bestimmung des Gehalts an Festkörper, Asche und Lösemittel sowie des MEQ-Wert, des elektrischen Leitwertes und des pH-Wertes ^{1,7}

Prüfgerät: Fraunhofer IPA-Badüberwachungseinheit

Auswertung: Badkomponenten-Gehalt [%] oder [ml], pH-Wert, Leitwert G [μ S]



Prüfung von Flüssiglacken



Auslaufzeit

Bestimmung der Auslaufzeit mit Auslaufbechern^{2,5}

Prüfnorm: DIN EN ISO 2431

Prüfgeräte: DIN- und ISO-Auslaufbecher,
Temperierungseinheit, Stoppuhr

Auswertung: Auslaufzeit t [s], Auslaufbecher-Type und
Durchmesser [mm]



Rheologische Eigenschaften und Viskosität von Flüssiglacken

Bestimmung der Viskosität und anderer rheologischer Eigenschaften von Lacken und anderen flüssigen Medien mittels Rotationsviskosimetrie^{1,2,6}

Prüfnormen: DIN 53019, DIN EN ISO 2884-1

Prüfgeräte:

Rotationsrheometer mit Kegel-Platte Messsystem, Platte-Platte Messsystem, Zylinder-Messsystem
Scherratenbereiche bis zu 10^4 s^{-1}

Methode: Rotations- und Oszillationsmessungen;
Sprungversuche, Amplituden- und Frequenztests;
Messung von UV-härtenden Lacken mit einer UV-
Belichtungseinheit, etc.

Auswertung: Fließ- oder Viskositätskurve; Thixotropie,
Fließgrenze, Speicher- und Verlustmodul (G' und G''),
 T_g , etc.



Bestimmung der Viskosität im Hochscherbereich mittels Kapillarviskosimetrie

Prüfnormen: DIN 53014-1:2019-03 - Entwurf ,
DIN 53014-2:1994-02

Prüfgerät: **Hochdruck-Doppelkapillar-Rheometer**
·Scherratenbereich bis 10^6 s^{-1}

Methode: Zu messendes Fluid wird mittels eines Stempels durch eine Kapillare gedrückt. Aus Druckdifferenz und bekanntem Volumenstrom werden die Schubspannung und die Scherrate ermittelt

Auswertung: Fließ- oder Viskositätskurve; Dehnviskosität



Deckvermögen / Ergiebigkeit / Kontrastverhältnis

Bestimmung des Deckvermögenswertes von pigmentierten Lacksystemen nach dem farbmetrischen Verfahren/Bestimmung der auf die Fläche eines Substrats bezogenen Lackmenge, die zur deckenden Beschichtung notwendig ist^{2,5,6}

Prüfnorm: DIN 55987, DIN EN ISO 4618

Prüfgeräte: Farbmessgerät, Kontrastuntergrund

Auswertung: Deckvermögenswert D_v [m^2/l] bzw. D_m [m^2/kg];
Ergiebigkeit [m^2/l] oder [m^2/kg]



Bestimmung des Kontrastverhältnisses von hellen Beschichtungen bei einer festgelegten Ergiebigkeit^{2,5}

Prüfnorm: DIN EN ISO 6504-3

Prüfgeräte: Spektro(photo)meter, Aufziehgeräte, Analysenwaage, Kontrastuntergrund

Auswertung: Kontrastverhältnis Y_b/Y_w [%]



Bestimmung des Festkörpervolumens^{2,5} von Flüssiglacken

Prüfnorm: DIN EN ISO 3233-2

Prüfgeräte: Analysenwaage, Testbleche

Auswertung: Trockenfilmdichte, Festkörpervolumen, Berechnung der theoretischen Ergiebigkeit von Lacken



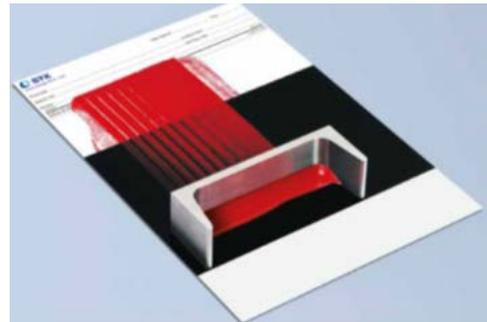
Verlauf und Ablaufneigung

Bewertung der Widerstandsfähigkeit gegen Ablaufen⁶

Prüfnorm: DIN EN ISO 16862

Prüfgerät: Gestufte Filmzieh-Rakel; Rheologie: Sprungversuch oder mittels Spritzlackieren auf Blechen mit anwendungsbezogenen Strukturen

Auswertung: Schichtdicke in [μm]; Güte des Verlaufs



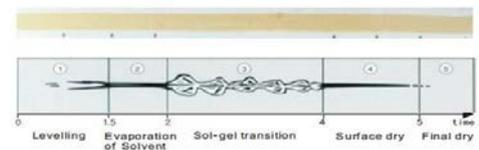
Trockenzeit / Trockengrad

Trockenzeit^{2,5}

Prüfnorm: ASTM D 5895

Prüfgerät: Trockenzeitmessgerät „Drying recorder“

Auswertung: Visuelle Beurteilung der Nadelspur und Einteilung der Trockengrade nach der Zeit



Prüfung der Oberflächentrocknung nach dem Glasperlen-Verfahren^{2,5}

Prüfnorm: DIN EN ISO 9117-3

Prüfmittel: Glasperlen („Ballotini“), Haarpinsel

Auswertung: „Oberflächentrocken“ [ja/nein];
Oberflächentrocknungszeit t [min]

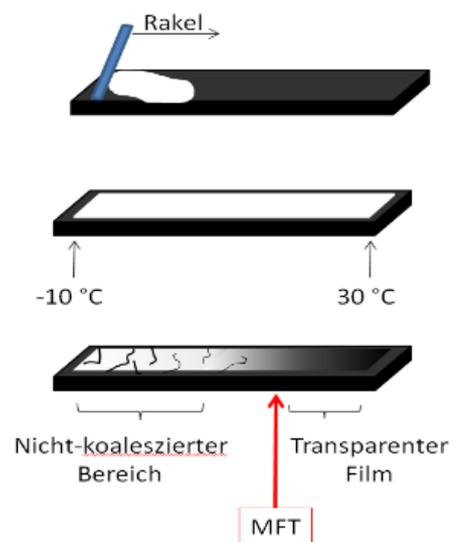


Mindestfilmbildetemperatur

Messung der Mindestfilmbildetemperatur (MFT) von Dispersionslacken, Dispersionsfarben und wasserverdünnbaren Bindemittel-Dispersionen bzw. Polymer-Dispersionen²

Prüfgerät: Temperatur-Gradienten-Prüfgerät, Thermo-Kryostat

Auswertung: Mindestfilmbildetemperatur (MFT) T [°C]



UV-Härtung von Flüssiglacken/Druckfarben

UV-Härtung von Lacken/Druckfarben¹

Geräte:

Minicure-Anlage, wahlweise unter Inertgas betreibbar, UV-Handlampe und Dosimeter zur Bestimmung der Strahlungsintensität



Gehalt an nichtflüchtigen Anteilen (nfA) bzw. Festkörperanteil

Bestimmung nach dem gravimetrischen Verfahren^{2,5}

Prüfnormen: DIN EN ISO 3251, DIN EN ISO 3233-2

Prüfgeräte: Wärmeschrank, Analysenwaage, Exsikkator

Auswertung: Festkörpergehalt nfA [Masse-%]



Dichtebestimmung

Dichtebestimmung mittels Pyknometer/Aräometer^{2,5}

Prüfnormen: DIN EN ISO 2811-1, DIN EN ISO 2811-2, DIN EN ISO 8130-3

Prüfgeräte: Metallpyknometer, Glaspyknometer oder Aräometer, Vakuumpumpe, Waage

Auswertung: Dichte ρ [g/ml]



Digitales Messgerät für die Dichtebestimmung von Flüssigkeiten¹

Prüfgerät: Tragbares Dichtemessgerät DA -100M

Prüfnorm: DIN EN ISO 15212-1, DIN EN ISO 2811-3

Methode: Dichtemessung nach der Biegeschwinger –Methode



pH-Wert

Bestimmung des pH-Wertes²

Prüfgerät: pH-Meter

Auswertung: pH-Wert



Wassergehalt – Karl-Fischer-Verfahren

Quantitative Bestimmung des Wassergehalts mit der Karl-Fischer-Titration und thermischer Probenvorbereitung sowie volumetrische und coulometrische Titration¹

Prüfmittel: Karl-Fischer-Titrator

Auswertung: Wassergehalt von wenigen Mikrogramm bis 100%



Trübungsgrad

Trübungsgrad von Dispersionen⁴

Prüfgerät: HI 93703 Trübungsmessgerät (HANNA Instruments)

Auswertung: Formazin, nephelometrische Einheiten



Acidität eines Lacksystems

Bestimmung mit dem titrimetrischen Verfahren¹

Prüfnormen: DIN EN ISO 2114; DIN EN ISO 15880

Prüfgeräte: Titrande, Analysenwaage

Auswertung: Säurezahl SZ [mg KOH/g], Säuregehalt [%]



Oberflächenspannung einer Flüssigkeit

Bestimmung der dynamischen Oberflächenspannung nach dem Blasendruck-Verfahren⁷

Prüfgerät: Tensiometer

Auswertung: Oberflächenspannung σ [mN/m], [dyn/cm]

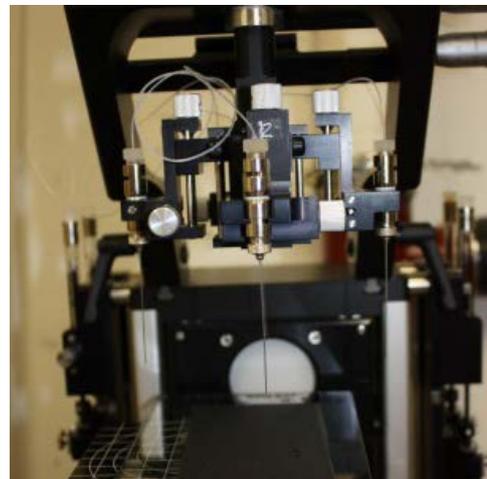


Messung mit der Pendant-Drop (hängender Tropfen) -Methode^{1,2}

Prüfnorm: DIN EN ISO 828

Prüfgerät: Optisches Kontaktwinkelmessgerät (OCA 40/Mirco)

Auswertung: Oberflächenspannung σ [mN/m] und Ermittlung der dispersen und polaren Anteile (auch bei erhöhter Temperatur z.B. Pulverlackschmelzen möglich)

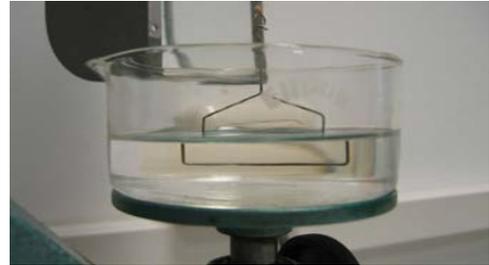


Gesamtoberflächenspannung von Flüssigkeiten^{1,2}

Prüfgerät: Krüss

Methode: Ringabreißmethode (nach de Noüy),
Plattenmethode nach Wilhelmy

Auswertung: Oberflächenspannung σ [mN/m]



Flammpunkt einer Flüssigkeit

Messung der Temperatur beim Entflammen der Dämpfe einer Flüssigkeit infolge Fremdzündung²

Prüfnormen: DIN EN ISO 1516, DIN EN ISO 1523, DIN EN ISO 2719, DIN EN ISO 3679

Prüfgerät: Flammpunktprüfgerät nach Pensky-Martens

Auswertung: Flammpunkt ϑ [°C]



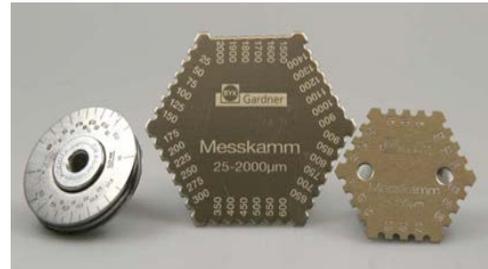
Nassschichtdicke

Bestimmung der Nassschichtdicke (NSD) von aufgetragenen Lacken²

Prüfnormen: DIN EN ISO 2808

Prüfgeräte: Messkamm oder Messrad

Auswertung: Nassschichtdicke NSD, wft (wet film thickness)
[μm]



Mahlfeinheit (Körnigkeit)

Bestimmung der Mahlfeinheit/Körnigkeit (Dispergiertgüte) von Flüssiglacken²

Prüfnormen: DIN EN ISO 1524, ASTM D 1210, ASTM D 1316

Prüfgerät: Grindometer nach Hegman

Auswertung: Mahlfeinheit/Körnigkeit-Wert nach Rinnentiefe
[μm]



Elektrische Leitfähigkeit

Bestimmung der elektrischen Leitfähigkeit⁶

Prüfnorm: DIN EN ISO 15091, ASTM D 5682

Prüfgerät: Leitfähigkeitsmessgerät

Auswertung: Leitfähigkeit [$\Omega^{-1}\text{cm}^{-1}$] oder [S cm^{-1}]



Aufladbarkeit eines Flüssiglacks

Bestimmung der Aufladbarkeit von Lösemittel- Lacksystemen mittels Time-Domain-Reflektometrie (TDR)⁷

Prüfgerät: Alpha TDR-5000 Dielectric Constant Meter

Auswertung: Dielektrizitätskonstante K, relative Permittivität ϵ_r , Chemische Zusammensetzung

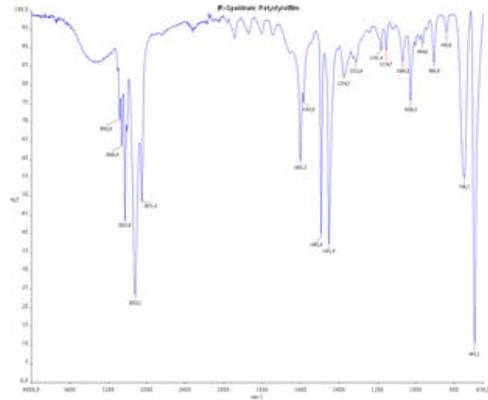


Bestimmung der Zusammensetzung von Flüssiglacken mit der Infrarotspektroskopie (FT-IR)¹

Prüfgerät: Spectrum Frontier 101-504 und 113-975

Methoden: ATR, Transmission, Mikrodiamant-Messzelle, Gasmesszelle

Auswertung: IR-Spektrum, Analyse der chemischen Zusammensetzung von Lackkomponenten

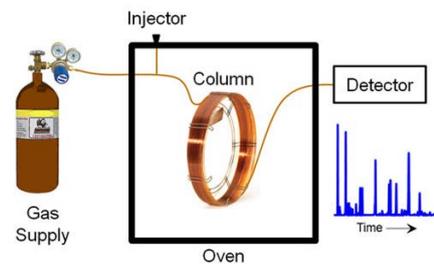


Gaschromatographie mit Massenspektrometer-Kopplung (GC-MS)¹

Prüfgerät: Clarus 600 GC/MS

Methoden: Headspace, Headspace Trap, Flüssiginjektion

Auswertung: Trennung und Identifizierung flüchtiger organischer Komponenten



Hochaufgelöste Rasterelektronenmikroskopie-Energiedispersive Röntgenspektroskopie (REM-EDX)²

Prüfgerät: Helios Nano-Lab Rasterelektronenmikroskop

Auswertung: Schichtaufbau, Elementzusammensetzung von Schichten und Partikeln; Analyse von Flüssiglacken anhand des Festkörpers bzw. an einer damit aufgetragenen Beschichtung

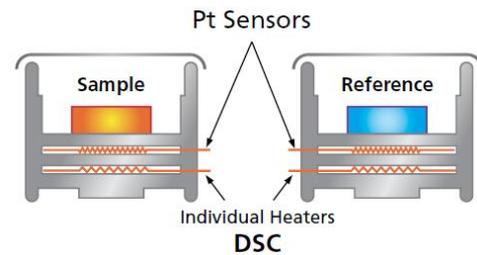


Glasübergangstemperatur, DSC, Vernetzung

Differenzialthermoanalyse /Differential Scanning Calorimetry (DSC), UV-DSC¹

Prüfgeräte: DSC 7, DSC 8500 mit photokalorimetrischem Zubehör

Auswertung: Bestimmung von Schmelztemperaturen, Glasübergängen (T_g), Vernetzungsreaktionen und weiteren Effekten, die mit einer Änderung der Wärmekapazität einhergehen

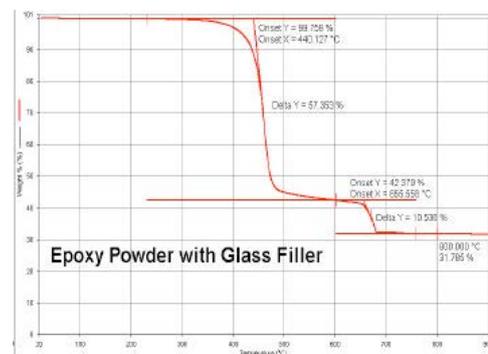


Thermogravimetrie

Thermogravimetrie, thermogravimetrische Analyse (TGA)¹

Prüfgerät: Thermowaage Pyris 1 TGA

Auswertung: Bestimmung temperaturabhängiger Massenänderungen aufgrund von Verdampfungen, Zersetzungen (Oxidation/Reduktion)



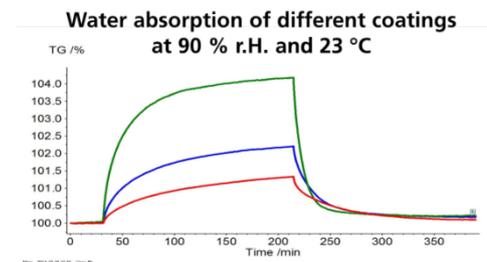
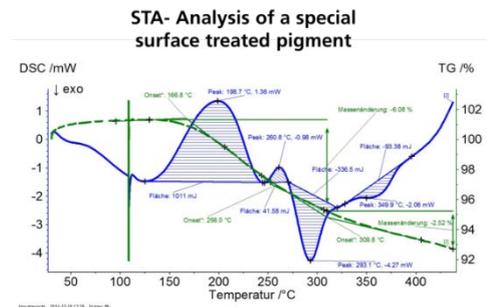
Simultane Thermische Analyse (STA)

Gleichzeitige Dynamische Differenzkalorimetrie (DSC) und Thermogravimetrische Analyse (TGA) an Farben, Beschichtungen, Polymeren, Fasern und Pulvern²

Prüfnorm: ISO 11357

Messmodi: Bestimmung der Massenänderung (absolut, prozentual) (TGA), Änderungen der Wärme-kapazität (DSC) als Funktion der Temperatur oder Zeit, Temperaturbereich: -100 ° C bis +600 ° C, kontrollierte Atmosphäre, wie Stickstoff oder Luft-Sauerstoff, kontrollierte Feuchtigkeit zur Messung der Wasseraufnahme

Auswertung: Bestimmung von Massenänderungen als Funktion der Temperatur, Zeit oder Feuchtigkeit, Charakterisierung der thermo-physikalisch bzw. chemischen Eigenschaften (Kristallisation, Schmelzen, Glasübergang, Wärmekapazität, Zersetzung) von Polymeren, Prozess-simulation (chemische Reaktionen, Trocknungsvorgänge), Bestimmung der thermischen und/oder oxidativer Stabilität, Zersetzungskinetik, Zusammensetzung von Polymer Blends, Feuchte-Aufnahme und des Pigment / Füllstoff-Gehaltes



Prüfung von Pulverlacken



Schmelzpunkt/Härtung von Pulverlacken

Bestimmung des Schmelzpunktes und -bereiches von Pulverlacken und anderen Feststoffen¹

Prüfnormen: DIN EN ISO 4625-1, DIN EN ISO 4625-2

Prüfgerät: Kofler Heizbank

Auswertung: Schmelztemperatur bzw. -bereich T [°C]



Härtung von Pulverlacken mit Temperaturgradient zur Ermittlung des Härtungstemperaturbereichs²

Prüfgerät: Gradientenofen von TQC

Auswertung: Untersuchung des Einflusses der Einbrenntemperatur auf wichtige Beschichtungseigenschaften



Fluidisierbarkeit von Pulverlacken

Messung der Höhe des Pulvers im Behälter während und nach der Fluidisierung und der Auslaufzeit durch eine festgelegte Öffnung⁷

Prüfnorm: DIN EN ISO 8130-5

Prüfgerät: SAMES-Fluidimeter

Auswertung: Fluidisierhöhe h [cm], Auslaufzeit t [s]

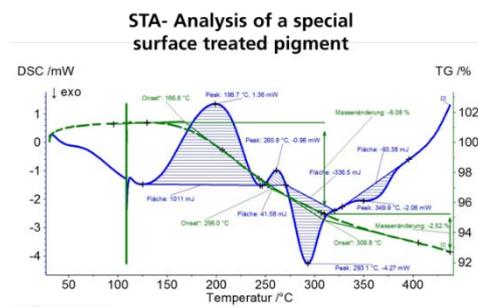


Simultane Thermische Analyse (STA)

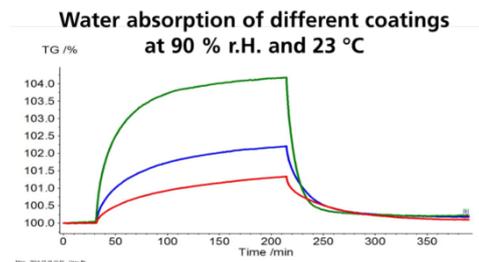
Gleichzeitige Dynamische Differenzkalorimetrie (DSC) und Thermogravimetrische Analyse (TGA) an Farben, Beschichtungen, Pulverlacken, Polymeren, Fasern und Pulvern²

Prüfnorm: ISO 11357

Messmodi: Bestimmung der Massenänderung (Absolut, Prozentual) (TGA), Änderungen der Wärme-kapazität (DSC) als Funktion der Temperatur oder Zeit, Temperaturbereich: -100 °C bis $+600\text{ °C}$, kontrollierte Atmosphäre, wie Stickstoff oder Luft-Sauerstoff, kontrollierte Feuchtigkeit zur Messung der Wasseraufnahme



Auswertung: Bestimmung von Massenänderungen (z.B. Ausgasen von Pulverlacken während der Härtung) als Funktion der Temperatur, Zeit oder Feuchtigkeit, Charakterisierung der thermo-physikalischen Eigenschaften (Kristallisation, Schmelzen, Glasübergang, Wärmekapazität, Zersetzung) von Polymeren, Prozesssimulation (chemische Reaktionen, Trocknungsvorgänge), Bestimmung der thermischen und/oder oxidativer Stabilität, Zersetzungskinetik, Zusammensetzung von Polymer Blends, Feuchte-Aufnahme und des Pigment / Füllstoff-Gehaltes



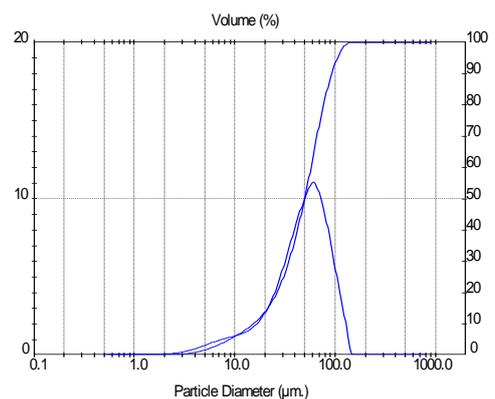
Korngrößen und -verteilung von Pulverlacken

Bestimmung der Korngrößenverteilung von Pulverlacken⁴

Prüfnormen: DIN EN ISO 8130-1, DIN EN ISO 8130-13

Prüfgeräte: Luftstrahl-Sieb oder Einzelsiebe, Partikelgrößenverteilung mittels Laserbeugung

Auswertung:
Siebrückstand [%]
Partikelgröße und -verteilung



Partikel- und Oberflächenanalyse mittels Licht-Mikroskopie^{1,2,5}

Prüfgeräte:

Lichtmikroskope

Zeiss Universalmikroskop

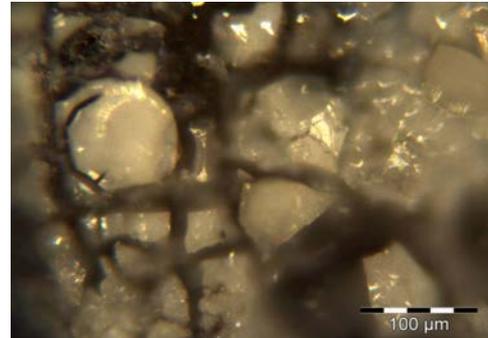
Zeiss Axioscop 7

Olympus BX61

Wild Makroskop M400

Keyence Digitalmikroskope

Auswertung: Partikelgröße und -verteilung



Bestimmung der Schüttdichte⁶

Prüfnorm: EN ISO 60 (DIN 53468)

Prüfgerät: Schüttdichtemessgerät

Auswertung: Schüttdichte [kg/m³]

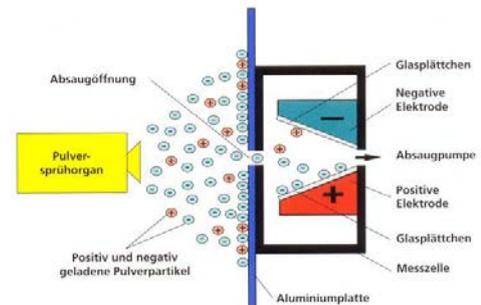


Aufladbarkeit eines Pulverlackes

Bestimmung der Größe und des Niederschlagorts der auf negativ und positiv vorgeladenen Elektroden abgeschiedenen Pulverpartikel⁷

Prüfgerät: Ladungsspektrometer

Auswertung: Bestimmung der partikelgrößenpezifischen Aufladung q/d [$\text{fC}/10\mu\text{m}$ Partikeldurchmesser]



Bestimmung der Aufladbarkeit mittels Time-Domain-Reflektometrie (TDR)⁷

Prüfgerät: Alpha TDR-5000 Dielectric Constant Meter

Auswertung: Dielektrizitätskonstante K , relative Permittivität ϵ_r



Bestimmung des triboelektrischen Aufladungsverhaltens (q/m) über das IQT (Strom-, Ladungs- und Zeit)-Messverfahren⁷

Prüfgerät: IQT-Messgerät

Auswertung: Ableitstrom der Aufladeeinheit gegen Erde (I_1), Aufladestrom des Pulvers als Ableitstrom vom Minizyklon (μA), Pulverausstoß [g/s]
Berechneter Wert: $q = q/m$ [$\text{As(C)}/\text{g}$]



Schichtdicke von Pulverlacken

Berührungslose Bestimmung der Schichtdicke von ungehärteten Pulverlack-Schichten⁷

Prüfgerät: Schichtdickenmessgerät POWERSAVE II

Auswertung: Schichtdicke [μm]



Oberflächenenergie von Pulvern

Bestimmung von Kontaktwinkeln und der Oberflächenenergie von Beschichtungen, Pulvern und Pigmenten^{1,2}

Prüfgerät: Tensiometer mit Stampfvolumeter

Auswertung: Kontaktwinkel und Oberflächenenergie mit polaren und dispersen Anteilen



Bestimmung der Oberflächenenergie von Pulverlack-Schmelzen²

Methode: Pendant drop (hängender Tropfen), Optisches Konturanalyseverfahren

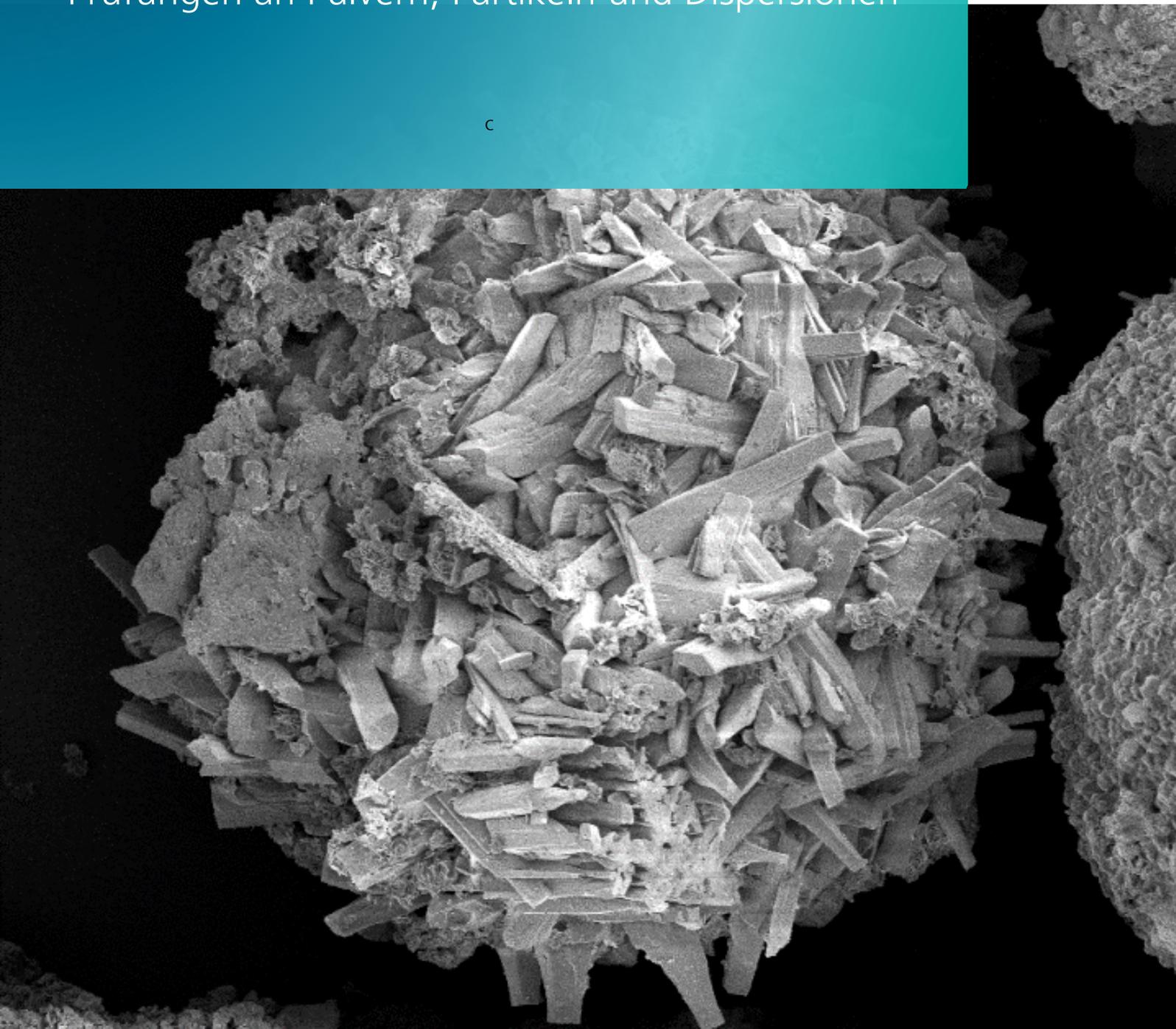
Prüfgerät: DataPhysics OCA 40 Micro

Auswertung: Konturanalyse und Berechnung der Oberflächenenergie mit polaren und dispersen Anteilen



Prüfungen an Pulvern, Partikeln und Dispersionen

c

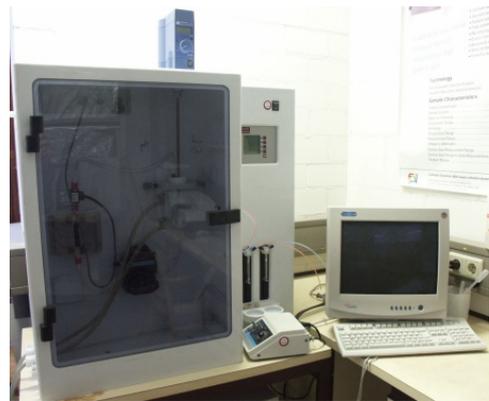


Teilchengrößenverteilung, -beweglichkeit und Zetapotenzial

Bestimmung der Teilchengrößen und des Zetapotentials⁴

Prüfgerät: Acoustosizer

Auswertung: Partikelgrößenverteilung, Zetapotential und -Partikelmobilität



Bestimmung der Teilchengrößen und des Zetapotentials⁴

Prüfgerät: Nanosizer ZS

0,6 nm – 6,0 µm

Auswertung: Partikelgrößenverteilung, Zetapotential

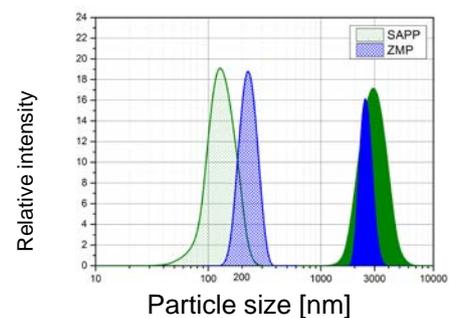


Bestimmung der Teilchengrößen²

Prüfgerät: Mastersizer 2000

0,1 bis 1000 µm

Auswertung: Partikelgrößenverteilung



Trübungsgrad

Trübungsgrad von Dispersionen⁴

Prüfgerät: HI 93703 Trübungsmessgerät (HANNA Instruments)

Auswertung: Formazine Nephelometrische Einheiten



Spezifische Oberfläche nach BET, Porosität, Chemisorption

Bestimmung der spezifischen Oberfläche nach BET, von Porosität und Chemisorption nichtkorrosiver Gase an Pulvern⁴

Prüfgerät: Autosorb 1C (Quantachrome)

Auswertung: BET-Oberfläche, Porosität und Chemisorption an Pulvern nach Bestimmung von Adsorptions- und Desorptionsisothermen

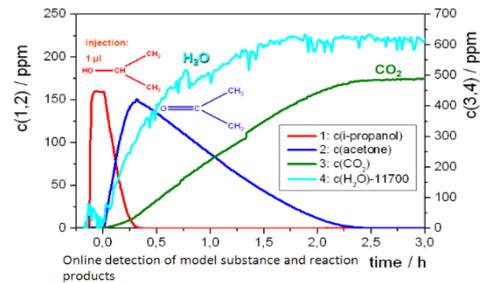


Photokatalytische Aktivität

Bestimmung der photokatalytischen Aktivität von Partikeln, Pigmenten, Beschichtungen und anderen Oberflächen²

Prüfgeräte: FPL-Photokatalysereaktoren, Rund- und Flachreaktor mit Online-Steuerung, FT-IR-Detektor

Auswertung: Quantitative IR-Detektion der Edukte und Abbauprodukte, relative photokatalytische Aktivität



Bestimmung des Methylenblau-Abbaus durch photokatalytisch aktive Materialien (Luftreinigung)²

Prüfnorm: DIN 52980

Prüfgerät: Prüfaufbau nach DIN 52980 mit UV-LED Lichtquelle; UV-Vis-Spektrometer

Auswertung: Berechnung der spezifischen photokatalytische Aktivität P_{MB} und der Photoneneffizienz ζ_{MB}

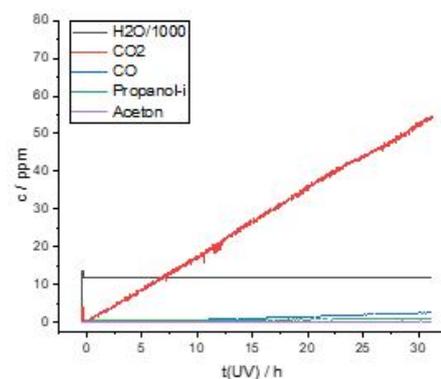


Photodegradation

Bestimmung der Photodegradationsneigung von Partikeln, Pigmenten, Beschichtungen und anderen Oberflächen

Prüfgerät: FPL-Photoreaktoren, Rund- und Flachreaktor mit Online-Steuerung, FT-IR-Detektor

Auswertung: Quantitative IR-Detektion der Edukte und Abbauprodukte



NO_x - Abbau

Prüfverfahren zur Bestimmung des NO_x-Abbaus durch photokatalytisch aktive Materialien (Luftreinigung)²

Prüfnorm: ISO 22197-1; DIN 19279

Prüfgerät: Durchflussreaktor nach ISO 22197-1 mit UV-LED Lichtquelle

Auswertung: Kontinuierliche Messung der Konzentration von Stickstoffmonoxid (NO), Stickstoffdioxid (NO₂) und anderen Stickoxiden (NO_x) mittels Chemolumineszenz, Bestimmung der Depositionsgeschwindigkeit von NO



Adsorption an dünnen Schichten - Quarzkristallmikrowaage

Adsorptionsvorgänge und Eigenschaften von dünnen Schichten⁴

Prüfgerät: Q-Sense E1 Quarzkristallmikrowaage mit zusätzlicher Elektrochemiezelle (L.O.T.-ORIEL)

Auswertung: Wechselwirkungen wie Adsorption an dünnen Schichten; Wasseraufnahme und elektrochemische Eigenschaften



Prüfung von gehärteten Lacken / Beschichtungen



Haftfestigkeit von Beschichtungen

Gitterschnittprüfung zur Beurteilung der Haftung von Beschichtungen^{2,5}

Prüfnorm: DIN EN ISO 2409

Prüfgeräte: Mehrschneidmesser, Einschneidmesser, Skalpell mit Abstandshalter; Klebeband

Auswertung: Gitterschnitt-Kennwerte (Gt)



Kreuzschnittprüfung zur Beurteilung der Haftung von Beschichtungen^{2,5}

Prüfnorm: DIN EN ISO 16276-2

Prüfgeräte: Cuttermesser; Schablone, Geodreieck, Klebeband

Auswertung: Kennwerte



Messung der Abplatzlänge der Beschichtung ausgehend von einer Ritzstelle, verursacht durch einen Wasserstrahl / Dampfstrahlprüfung/-test^{2,5}

Prüfnorm: z.B. DIN EN ISO 16925, DBL 5416, PBO DC 361, VW PV 1503, DIN 55662

Prüfgeräte: Druckwasserstrahlprüfgerät

Auswertung: Kennwert (0 bis 5) aus dem visuellen Vergleich mit den Darstellungen in DIN 55662. Zusätzliche Angabe der Trennebene der Enthftung und ggf. Ausmessen der Ablösungen (max. Breite in mm oder Fläche in mm²); Breite der Enthftung ab Ritzkante in [mm]



Abreißversuch bzw. Stirnabzugstest^{2,5}

Bestimmung der Haftfestigkeit als die Kraft, bezogen auf die (Stempel)Fläche um einen auf der Beschichtung festgeklebten Stempel abzureißen.

Prüfnormen: DIN EN ISO 4624, ASTM D 4541, ASTM D 5179

Prüfgeräte: Hydraulisches Zugprüfgerät, Zwick Universalprüfmaschine Z050, Zwicki, transportable hydraulische Geräte

Auswertung: Abreißfestigkeit σ [MPa] und Angabe der Trennebene der Enthftung



Steinschlagfestigkeit⁵

Ermittlung des Schadensbildes einer mit Steinsplitt oder Schlagkörpern beaufschlagten Beschichtung

Prüfnormen: VDA, SAE; DIN EN ISO 20567, ASTM D 3170, DBL 5416

Prüfgerät: Multisteinschlag-Prüfgerät (Erichsen) mit 90° Aufsatz für DBL 5416 Prüfung

Auswertung: Schadens-Kennwert nach den o.g. Normen



Steinschlagprüfung Multischlag^{2,5}

Prüfnorm: DIN EN ISO 20567-1, ASTM D 3170, VDA und SAE

Prüfgeräte: Multisteinschlag-Prüfgerät (Erichsen)

Auswertung: Schadens-Kennwert nach den o.g. Normen



Zug-, Druck- und Scherprüfungen

Zugeigenschaften² von Beschichtungen (freie Filme) und Kunststoffen

Prüfnorm: DIN EN ISO 527-1

Prüfgerät: Zwick Universalprüfmaschine Z050, Zwicki

Auswertung: Bruchdehnung, Bruchspannung, E-Modul, Fließspannung, u.a.

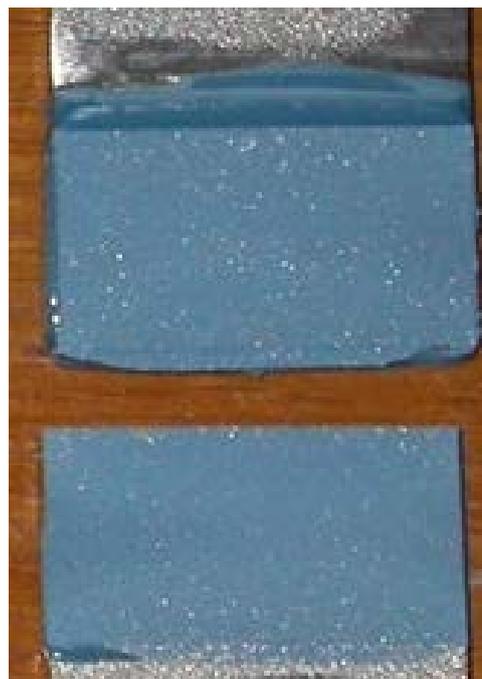


Zugscherfestigkeit² von Beschichtungen (insbesondere Pulverlacke) und Klebstoffen

Prüfnorm: DIN EN 1465, ASTM D 1002

Prüfgerät: Zwick Universalprüfmaschine Z050

Auswertung: Abreißfestigkeit σ [MPa] und Angabe der Trennebene der Enthftung



90° Abzugsversuch zur Messung des Schälwiderstands²

Prüfnorm: ISO 29862, DIN 16860

Prüfgerät: Zugprüfmaschine (Zwicki)

Auswertung: Kraft, die zur Trennung der Klebeverbindung erforderlich ist



Abrieb- und Kratzfestigkeit von Beschichtungen

Chemo-mechanische Abriebprüfung⁵

Prüfnorm: DIN EN 60068-2-70, DBL 7384, BMW GS 97034/GS 97045,

ABREX Prüfung (Simulation von Handabrieb)

Auswertung: Angabe eines Kennwerts (0-5)
Visuelle Auswertung der Abriebsstelle



Abschleifmethode mit dem Reibrad-Verfahren^{2,5}

Prüfnormen: DIN EN ISO 7784, DIN EN 13523-16, ASTM D 1044

Prüfgeräte: Taber-Abraser, Analysenwaage

Auswertung: Massenverlust Δm [mg], Anzahl der Umdrehungen



Vielfachverkratzung mit dem Crockmeter²

Prüfgeräte: Atlas CM-5, Glanzmessung, Analysenwaage, Tastschnitt-Messsystem, Lichtmikroskop

Methode: Trocken-/Nassverkratzungen, 10 double strokes, speed: 0,2 m/s
Verschiedene Kratzmedien

Auswertung: Glanzverlust, Massenverlust Δm [mg]
Schichtdickenabnahme ΔS_d [μm]
Digitale Bildanalyse



Pflegebeständigkeitsprüfung mit dem Crockmeter⁵

Prüfnormen: z.B. DBL 7384, VW TL 226

Prüfgerät: Crockmeter, z.B. Atlas CM-5, Crockmaster

Auswertung: Beurteilung der Filzverfärbung und der Abriebspur, visuelle Beurteilung und/oder Glanzmessung



Bestimmung der Nassabriebbeständigkeit von Beschichtungen^{2,5}

Prüfnormen: DIN EN ISO 11998, ASTM D 968

Prüfgeräte: Wasch- und Scheuerbeständigkeitsprüfgerät

Auswertung: Glanzverlust, mittlerer Schichtdickenverlust
 L_{dft} [μm]



Bestimmung der Kratzfestigkeit mit der Labor-Waschanlage⁵

Prüfnorm: DIN EN ISO 20566, PV 3.3.3, MBN 10494-5

Prüfgeräte: Amtec Kistler Labor-Waschanlage,
Glanzmessgerät

Auswertung: Visuelle Beurteilung, Restglanzwert [%],
Reflow-Verhalten mit der digitalen Bildanalyse



Untersuchung der Beständigkeit gegenüber Sandbelastung

Prüfgeräte: Sandstrahlkabine

Auswertung: Grafische Auswertung der geschädigten
Fläche, Bestimmung der Abtragsrate, Bestimmung der
Glanzabnahme

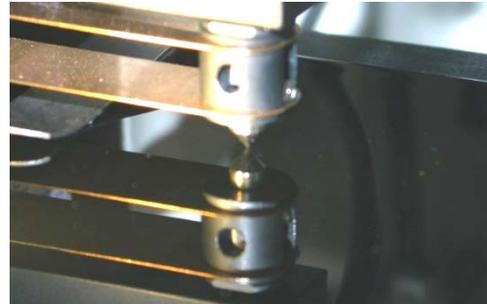


Nano-Scratch-Test²

Prüfgerät: Nano-Scratch-Tester (CSM Instruments) mit Rockwell-Diamant (90°, Spitzenradius: 2 µm)

Prüfnorm: ASTM D 7187

Auswertung: Eindringtiefe d_p [µm], verbleibende Tiefe d_r [µm], Tangentialkraft F_t [mN], Kratzhärte H_{scratch} [N/mm²], Kratzwiderstand Z [N/mm²], Recovery [%]



Dynamisch-mechanische Analyse

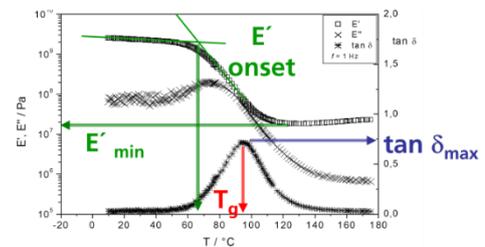
Dynamisch-mechanische Analyse (DMA) an Beschichtungen (freien Filmen) in Abhängigkeit von der Temperatur (und der Feuchteeinwirkung)^{1,2}

Prüfnorm: DIN EN ISO 6721-1

Prüfgeräte: Thermoanalyse-System DMA/SDTA 1+, DMA 242C, DMA 7e

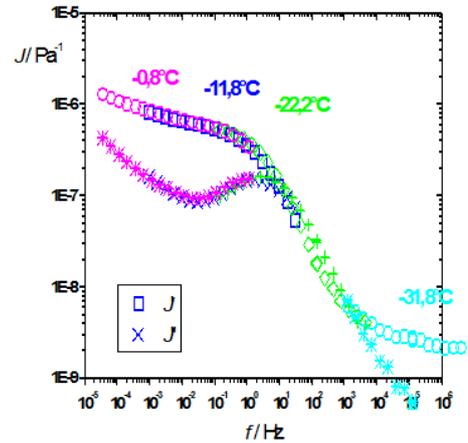
Messmodi: Zug-, Druckbelastung, 3-Punkt-Biegung, Dual-Cantilever, Single-Cantilever, Scherung, Penetration

Auswertung: Speicher- und Verlustmodul, Verlustwinkel $\tan \delta$, Glasübergangstemperatur T_g



Interpolation von dynamisch-mechanischen Spektren²

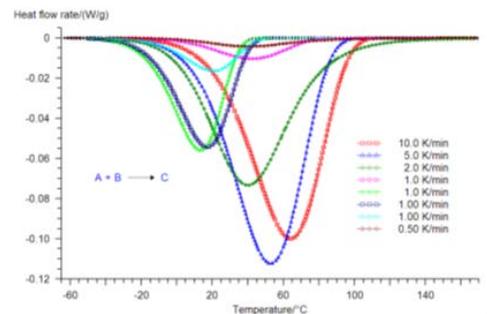
Auswertung: Interpolation der Spektren zur Vorhersage von Langzeit- (Monate/Jahre) und Kurzzeitverhalten (Schlag), Ermittlung der Parameter nach WLF und Vogel-Fulcher



Simulation und Modellierung von Reaktionsvorgängen, Ofenkurven und Langzeitverhalten²

Methode: Netzsch Formalkinetik

Auswertung: Von DSC, TG, DMA, rheologischen bzw. dielektrischen Messungen



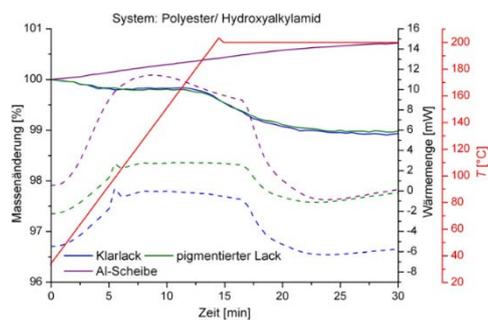
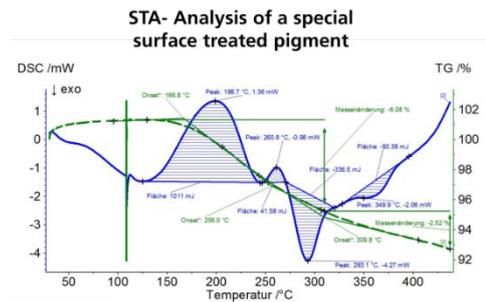
Simultane Thermische Analyse (STA)

Gleichzeitige Dynamische Differenzial-kalorimetrie (DSC) und Thermogravimetrische Analyse (TGA) an Lacken, Beschichtungen, Polymeren, Fasern und Pulvern²

Prüfnorm: ISO 11357

Messmodi: Bestimmung der Massenänderung (Absolut, Prozentual) (TGA), Änderungen der Wärmekapazität (DSC) als Funktion der Temperatur oder Zeit. Temp.-Bereich: -100 °C bis +600 °C, Kontrollierte Atmosphäre, wie Stickstoff oder Luft-Sauerstoff.

Auswertung: Bestimmung von Masseänderungen als Funktion der Temperatur, Zeit oder Feuchtigkeit, Charakterisierung der thermophysikal.-chemischen Eigenschaften (Kristallisation, Schmelzen, Glasübergang, Wärmekapazität, Zersetzung) von Polymeren, Beschichtungen etc.; Prozesssimulation (chemische Reaktionen, Trocknungsvorgänge), Bestimmung der thermischen und/oder oxidativer Stabilität, Zersetzungskinetik, Zusammensetzung von Polymer Blends,

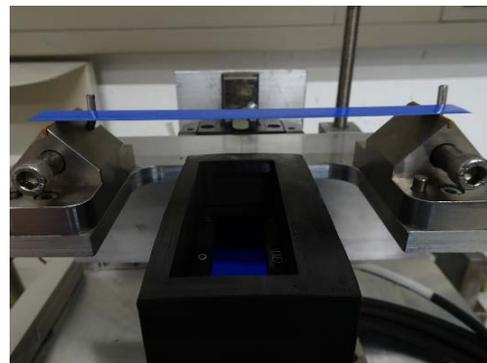


Innere Spannungen

Bestimmung von inneren Spannungen an Beschichtungen^{2,4}

Prüfgerät: Stressmeter mit Laser-Detektion

Auswertung: Durchbiegung von beschichteten Metallstreifen in Abhängigkeit des Trocknungs-/Beanspruchungszustands



Brennprüfung von Werkstoffen

Bestimmung des Brennverhaltens von Werkstoffen der Kraftfahrzeuginnenausstattung⁵

Prüfnormen: DIN 75200, FMVSS 302, DBL 5307

Prüfgerät: Brennkammer BKF der Firma Karg Industrietechnik

Auswertung: Ermittlung der Brenndauer von thermoplastischen Werkstoffen



Elastizität bei Deformation

Elastizität einer Beschichtung gegen Rissbildung und/oder Ablösen von einem metallischen Untergrund aufgrund von Deformation Tiefungsprüfung²

Ermittlung des Tiefungswegs einer Kugelkappe, bei der die Beschichtung anfängt, Risse zu bilden

Prüfnorm: DIN EN ISO 1520

Prüfgerät: Tiefungsprüfer

Auswertung: Tiefungsweg s [mm]



Schlagtiefung^{2,5}

Bestimmung der Schlagkraft eines kugelförmigen Fallkörpers, bei der die Beschichtung bricht

Prüfnormen: DIN EN ISO 6272, ASTM D 2794

Prüfgerät: Impact-Tester; Kugelschlagprüfung

Auswertung: Schlagkraft F [N]



Kugelschlagprüfung nach Wegner⁵

Prüfnorm: DIN EN 438-2

Prüfgerät: IPW Kugelschlagprüfer mit Auflagevorrichtung

Prüfkörper: Stahlkugel 5mm \varnothing

Auswertung: Schlagkraft F [N]



Dornbiegeprüfung (zylindrisch)

Bestimmung der Elastizität durch Biegen mit dem zylindrischen Verfahren^{2,5}

Prüfnorm: DIN EN ISO 1519

Prüfgerät: Zylindrische Dornbiegeeinrichtung

Auswertung: Radius r [mm] bei dem Risse entstehen



Dornbiegeprüfung (konisch)

Bestimmung der Elastizität durch Biegen mit dem konischen Verfahren^{2,5}

Prüfnormen: DIN EN ISO 6860, ASTM D 522a

Prüfgerät: Konische Dornbiegeeinrichtung

Auswertung: Abstand d [mm] bei dem Risse entstehen



Härte

Pendelhärte^{2,5}

Bestimmung nach dem **Pendeldämpfungsverfahren**

Prüfnorm: DIN EN ISO 1522

Prüfgerät: Pendel-Dämpfungsprüfgerät nach König

Auswertung: Anzahl der Schwingungen, Zeit t [s]



Buchholzhärte^{2,5}

Längenmessung der durch einen Eindringkörper verursachten Eindruckstelle (Eindruckprüfung)

Prüfnorm: DIN EN ISO 2815

Prüfgerät: Eindruckhärteprüfer nach Buchholz

Auswertung: Eindrucklänge [mm], Eindruckwiderstand α_B



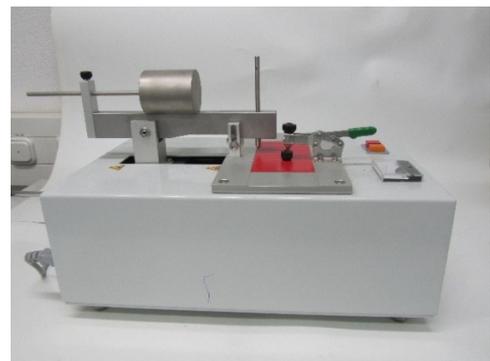
Ritzhärte^{2,5}

Ermittlung des kleinsten Gewichts, bei dem die Beschichtung durch ein Ritzwerkzeug angeritzt wird

Prüfnormen: DIN EN ISO 1518, DIN EN 13523-12

Prüfgerät: Ritzhärteprüfer

Auswertung: Visuelle Beurteilung, Masse [g]



Schmisshärte^{2,5}

Bestimmung der Kraft eines Druckfeder-Stiftes bzw. einer -Scheibe, bei der die Beschichtung angeritzt wird

Prüfnormen: DBL 7384, VW TL 226

Prüfgeräte: DUR-O-Tester, Schmisshärte-Prüfer, Erichsen Härteprüfstab Modell 318

Auswertung: Federkraft F [N]



Bleistifthärte²

Bestimmung der Bleistifthärte, welche einen Eindruck auf der Lackoberfläche hinterlässt

Prüfnormen: ASTM D 3363, DIN EN ISO 15184

Prüfgerät: Bleistifthärteprüfer (z.B. Erichsen scratch hardness tester model 291)

Auswertung: Shore-Härte (Bleistifthärte)



Martenshärte (Universalhärte)²

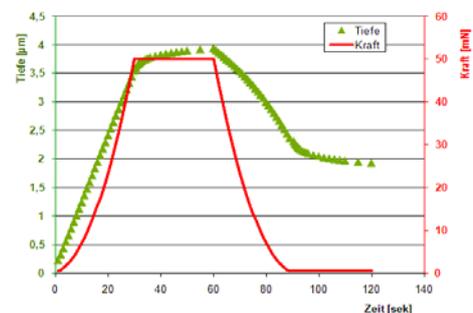
Bestimmung der Martenshärte von Beschichtungen und der einzelnen Schichten im Aufbau senkrecht zum Schliiff

Prüfnormen: DIN EN ISO 14577, DIN EN ISO 4516, ASTM E 384

Prüfgerät: Mikrohärtemessgerät (Ultra-Nano Hardness Tester mit Berkovich-Diamant), Fischerscope HM2000 mit Vickers- oder Berkovich-Diamant

Methoden: Statischer Eindringversuch, Eindringversuch mit überlagerter Oszillation, Mikro- und Nanohärte

Auswertung: Eindringtiefe t [μm], Martenshärte HM [N/mm^2], Kriechen c_r [%], Kriechen nach Rücknahme der Prüfkraft c_{rR} [%], Elastizitätsmodul E_{HU} [MPa], elastischer Anteil der Verformungsenergie W_e [%], plastischer Anteil der Verformungsenergie W_b [%]



Bestimmung des Reibungskoeffizienten

Bestimmung des statischen und dynamischen Reibungskoeffizienten von Gleitbeschichtungen⁴

Prüfgerät: Nano-Scratch-Tester NST (Anton-Paar)

Auswertung: Reibungskoeffizienten



Elektrische Isolationsfähigkeit

Bestimmung der elektrischen Isolationsfähigkeit von Beschichtungen²

Prüfgerät: Isolationstester

Auswertung: Widerstand [Ohm]



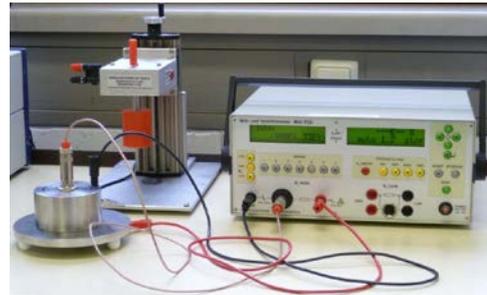
Oberflächen- und Durchgangswiderstand

Widerstandsmessung zwischen zwei auf der Substratoberfläche angebrachten definierten Elektroden^{2,4}

Prüfnormen: DIN EN 1149, DIN IEC 60167

Prüfgerät: Leitfähigkeitsmessgerät/Gleichstrom-Widerstandsmessgerät mit Ringelektrode

Auswertung: Oberflächenwiderstand R [Ω], Strom I [A]



Beständigkeit gegenüber Chemikalien und Quellbarkeit

Beständigkeit gegen Chemikalien

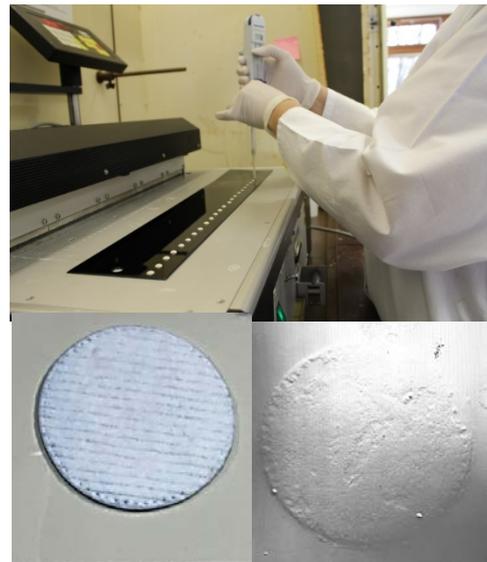
Einwirkung von Prüfchemikalien auf die Beschichtung nach definierter Zeit und Temperatur^{2,5}

Prüfnormen: DIN EN ISO 2812-1,-2,-3,-4, -5, VDA 621-412, Automobil-Werksnormen (z.B. MBN 10494-7, TL 211)

Prüfmittel: Laborglasware, Abdichtmasse, Wärmeschrank, Mechanische Einkanalpipette (Eppendorf); Gradientenofen

Methoden: Einwirkung von Prüfchemikalien bei konstanter Temperatur (Tropfen, Tauchen, getränktes Pad,..) und Bewertung der Schädigung; Graffiti-Beständigkeit: Beständigkeit gegen Graffitientfernungsmittel, Einfluss der Temperatur auf die Chemikalienbeständigkeit: Gradientenofen

Auswertung: Visuelle Beurteilung, Kratzprobe, Gitterschnitt-Kennwert nach DIN EN ISO 2409



Cremebeständigkeit

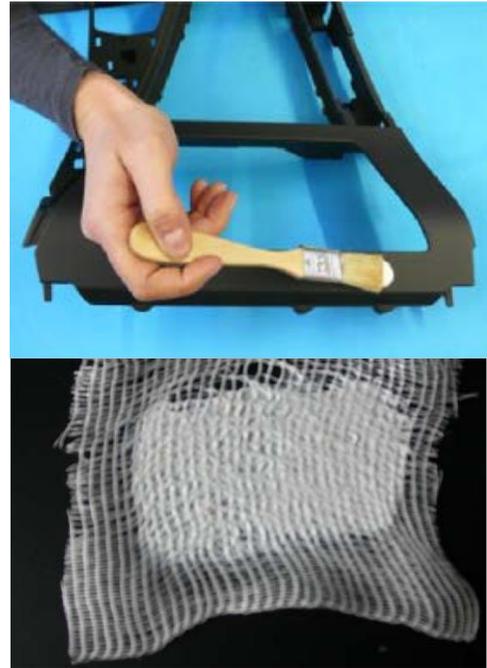
Cremebeständigkeit

Einwirkung von Cremes auf die Beschichtung nach definierter Zeit und Temperatur⁵

Prüfnormen: DIN EN ISO 2409, Automobil-Werknormen: AA-0053, DBL 7384, PV 3964

Prüfmittel: Mullbinde, Abdichtmasse, Wärmeschrank, Erichsen-Härteprüfstab Typ 318, Prüfspitze nach Bosch, Rakel, Pinsel, Waage

Auswertung: Visuelle Beurteilung, Kratzprobe, Härteprüfstab, Graumaßstab, Gitterschnitt-Kennwert nach DIN EN ISO 24



Geruchsprüfung

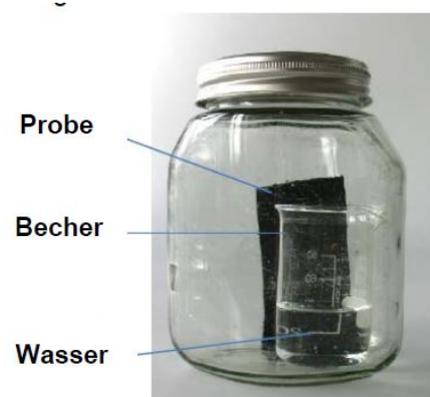
Geruchsprüfung

Lagerung der Proben in einem geschlossenen Gefäß unter definierten Bedingungen. Nach der Lagerung wird die auftretende Geruchsentwicklung beurteilt⁵

Prüfnormen: VDA 270, Automobil-Werknormen: DBL 5430, PV 3900

Prüfmittel: Glasbehälter mit Deckel (Leifheit Einkochglas), Temperaturmessgerät mit Luftfühler, Wärmeschrank

Auswertung: Geruchsnote gemäß einer Bewertungsskala



Bestimmung der Formaldehyd-Emission

Probekörper einer bestimmten Masse und Abmessung werden über Wasser in geschlossenen 1-l-PE-Flaschen befestigt und bei konstanter Temperatur über eine definierte Zeit gelagert. Anschließend wird das absorbierte Formaldehyd derivatisiert und analytisch bestimmt.⁵

Prüfnormen: VDA 275, Automobil-Werksnorm: PV 3925

Prüfmittel: Chemikalien, Wärmeschrank, Präzisionswaage, Laborutensilien, HPLC mit UV-Detektor, UV/Vis-Spektralphotometer, Trennsäule, Küvetten

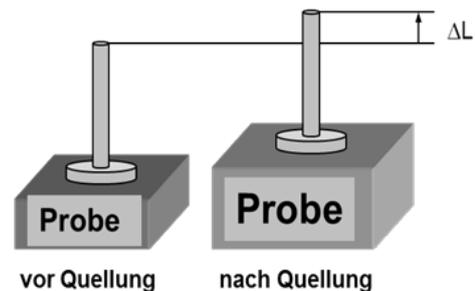
Auswertung: Die ermittelte FA-Menge wird auf die trockene Probekörpermasse bezogen (mg/kg atro)



Quellbarkeit von Beschichtungen Dilatometrie (DIL)¹

Prüfgerät: DMA 7e

Auswertung: Ausdehnung einer Beschichtung, Quellverhalten bei Lösemiteleinwirkung, Ausdehnungskoeffizient



Beständigkeit gegenüber Feuchtigkeit, Wasser

Beständigkeit gegenüber Kondenswasser / Kondenswassertest^{2,5}

Prüfnormen: DIN EN ISO 6270-1, DIN EN ISO 6270-2,
DIN EN ISO 6988

Prüfgerät: Kondenswasser-Konstantklima-Kammer

Auswertung: Gitterschnitt-Kennwert nach DIN EN ISO 2409,
Blasengrad, Rostgrad, Grad der Enthftung und Grad der
Korrosion nach EN ISO 4628; Nasshaftung/Lackhaftung

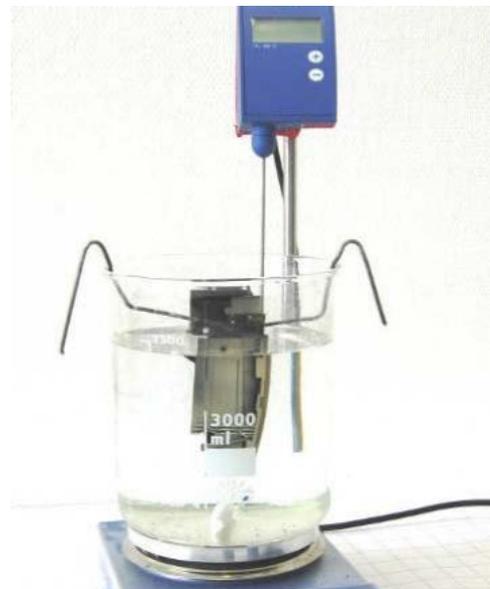


Beständigkeit gegenüber Heißwasser / Heißwassertest^{2,5}

Prüfnorm: DBL 5416

Prüfgeräte: Magnetrührer, Thermostat, Becherglas,
Gitterschnittmesser

Auswertung: Gitterschnitt-Kennwert nach DIN EN ISO 2409,
Blasengrad, Rostgrad und Grad der Korrosion nach EN ISO
4628



Beständigkeit gegenüber kochendem Wasser / Kochtest^{2,5}

Prüfnorm: GSB AI 631

Prüfgeräte: Magnetrührer, Thermostat, Becherglas,
Gitterschnittmesser

Auswertung: Blasengrad, Lackhaftung, Risse,
Oberflächenveränderungen



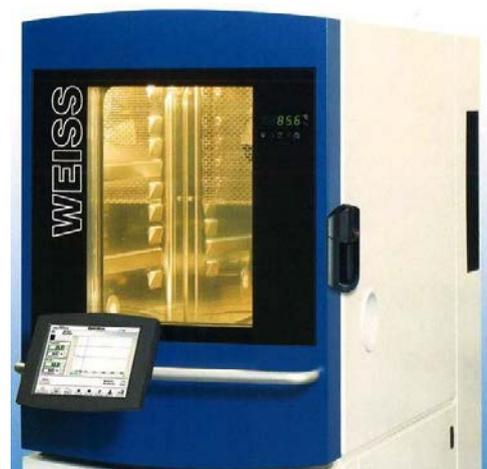
Hydrolysebeständigkeit⁵

z.B. von Fahrzeuginnenraumlackierungen

Prüfnormen: z.B. DBL 7384, VW TL 226

Prüfgeräte: Klimawechselkammer

Auswertung: Gitterschnitt-Kennwert nach DIN EN ISO 2409,
Kratzprobe, Schreibempfindlichkeit, Risse,
Oberflächenveränderungen



Wasserlagerung

Prüfnorm: DIN EN ISO 2812-2

Prüfgerät: Wasserwanne mit Thermostat

Auswertung: Gitterschnitt-Kennwert nach DIN EN ISO 2409, Blasengrad, Rostgrad, Grad der Enthftung
und Grad der Korrosion nach EN ISO 4628; Nasshaftung/Lackhaftung

Temperatur- / Klimawechsel-Beanspruchung

Kältebeständigkeit⁵

Lagerung der Proben bei sehr niedriger Temperatur
(Kältebeständigkeitsprüfung/Temperatur-Klima-
Wechselprüfung)

Prüfnorm: z.B. DBL 5416, VW TL

Prüfgerät: Tiefkühltruhe (-55 °C), Temperaturklimaschrank
WK 11 (Weiss)

Auswertung: Risse, Oberflächenveränderung, Lackhaftung,
Schlagfestigkeit F [N]



Klimawechseltest^{2,5}

Beständigkeit gegenüber extremen Klimaschwankungen
(Temperaturbereich -70°C - 180°C) mit digitaler
Aufzeichnung

Prüfnormen: DBL 5416, VW PV 2005, VW PV 1200

Prüfgerät: Weiss Klimaprüfschrank

Auswertung: Oberflächenveränderungen, Lackhaftung,
Rissbildung



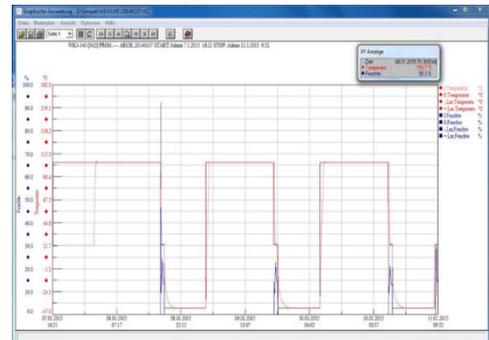
Temperaturlagerbeständigkeit^{2,5}

Lagerung der Proben bei hoher Temperatur (Ofenalterung)

Prüfnorm: z.B. DBL 5416, VW TL 226

Prüfgerät: Umluftofen

Auswertung: Farbänderung ΔE , Vergilbung Δb , Glanzänderung, Lackhaftung, Haptik, Risse



Freibewitterung

Freibewitterung unter Landklima²

Bewitterungsstände der Abteilung Beschichtungssystem- und Lackiertechnik auf dem Dach des Gebäudes S (Landklima)

Prüfnorm: VDA 612-414

Prüfgerät: Bewitterungsgestelle mit Probenausrichtung 90° und 45° gegen Süd

Auswertung: Farbänderung ΔE , Vergilbung Δb , Glanzänderung, Korrosion, Unterwanderung, Lackhaftung, Risse



Künstliche Bewitterung

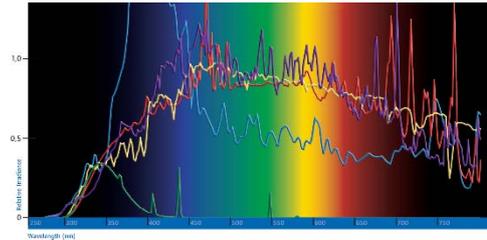
Xenotest

Künstliches Bewittern der Proben mit einer gefilterten Xenonbogenstrahlung (Xenon-Test, WOM-Test)²

Prüfnorm: DIN EN ISO 16474-1/16474-2, CAM 180, SAE J 1960, VW PV 3929, VW PV 3930, ASTM G 155, DIN ISO 4892-2, VDA 621-430

Prüfgerät: Xenotest, Beta LM, Weather-o-meter Ci 4000; Xenotest 440 (Atlas)

Auswertung: Farbänderung ΔE , Vergilbung Δb , Glanzänderung, Rissbildung,



Xenotest

Künstliches Bewittern der Proben mit einer gefilterten Xenonbogenstrahlung (Xenon-Test)^{2,5}

Prüfnorm: VW PV 3929, VW PV 3930, ASTM G 155

Prüfgerät: Xenotest Alpha+

Auswertung: Farbänderung ΔE , Vergilbung Δb , Glanzänderung, Rissbildung



Belichtungs- und Bewitterungsprüfgerät^{2,5}

Beständigkeit gegenüber Witterungseinflüssen

Prüfverfahren zur Bestimmung der Beständigkeit eines beschichteten Materials gegen die Einwirkung einer simulierten künstlichen Bewitterung (Sonnenstrahlung, Regen, Hitze, etc.)

Prüfnorm: ASTM G151; DIN EN 513; ISO 105-B02

Prüfgerät: Xenotest Beta+

Auswertung: Vergilbung, Haftungsprüfung (Gitterschnitt und Dampfstrahltest)



Künstliches Bewittern der Proben mit einer Fluoreszenzstrahlung QUV-Test²

Prüfnormen: DIN EN ISO 16474-1/16474-3,
DIN EN ISO 4892-3

Prüfgeräte: UV-Fluoreszenz-/Kondensations-
Bewitterungsgerät, UV2000 (Atlas)

Auswertung: Farbänderung ΔE , Vergilbung Δb , Rissbildung,
Glanzänderung, Runzelbildung



Belichtungs- und Bewitterungsprüfgerät⁵

Heißlichtalterung

Prüfverfahren zur Bestimmung der Widerstandsfähigkeit der Farbe und des Alterungsverhaltens eines Substrates gegen die gleichzeitige Einwirkung von künstlichen Licht und Wärme

Prüfnormen: DIN EN 20105-A02; DIN EN ISO 105 B06

Prüfgerät: Xenotest 440

Auswertung: Farbechtheit mittels Farbmessung oder Graumaßstab



Bestimmung der strahlungsinduzierten Radikalbildung

Nachweis der Radikalbildung z.B. bei Bewitterungsprozessen durch Elektronenspinresonanz (ESR)-Spektroskopie²

Prüfgerät: ESR-Spektrometer Miniscope MR 3000

Auswertung: Art und Konzentration radikalischer Spezies; kinetische Untersuchungen

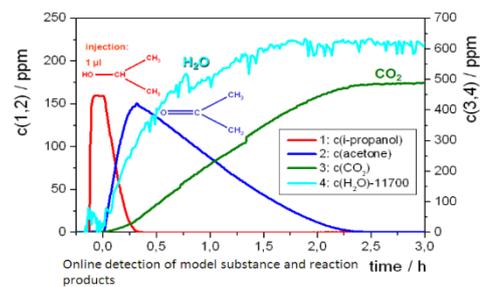


Photokatalytische Aktivität

Bestimmung der photokatalytischen Aktivität von Pigmenten, Beschichtungen und anderen Oberflächen²

Prüfgerät: FPL-Photokatalysereaktoren, Rund- und Flachreaktor mit Online-Steuerung, FT-IR-Detektor

Auswertung: IR-Detektion der Edukte und Abbauprodukte, relative photokatalytische Aktivität

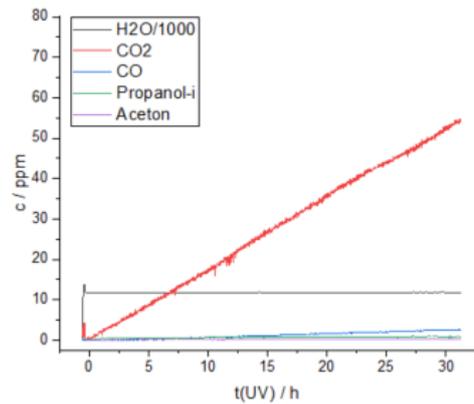


Photodegradation

Bestimmung der Photodegradationsneigung von Partikeln, Pigmenten, Beschichtungen und anderen Oberflächen

Prüfgerät: FPL-Photoreaktoren, Rund- und Flachreaktor mit Online-Steuerung, FT-IR-Detektor

Auswertung: Quantitative IR-Detektion der Edukte und Abbauprodukte



Laserbeschriftbarkeit von Beschichtungen

Laserbeschriftung von Beschichtungen und Kunststoffen⁴

Prüfgeräte: FobaLas FD 84S (Foba)
Nd-YAG Laser (1064 und 532 nm)

Auswertung: Laserbeschriftbarkeit, Entwicklung von laserbeschriftbaren Beschichtungs-Formulierungen



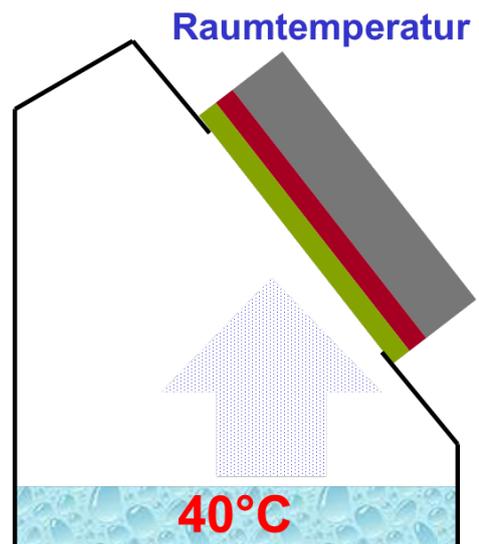
Korrosionsbeständigkeit

Korrosionsbeständigkeit von Beschichtungen gegen Kondenswasserkonstantklima mit einem Temperaturgradienten („Haagen-Test“)²

Prüfnormen: DIN EN ISO 6270-1, DIN EN ISO 6270-2
zitiert in DIN EN ISO 12944-6

Prüfgerät: Kondenswasser-Klimaprüfeinrichtung mit Temperaturgradienten

Auswertung: Nasshaftung/Gitterschnitt, Blasengrad, Rostgrad Ri, Grad der Korrosion c [mm]



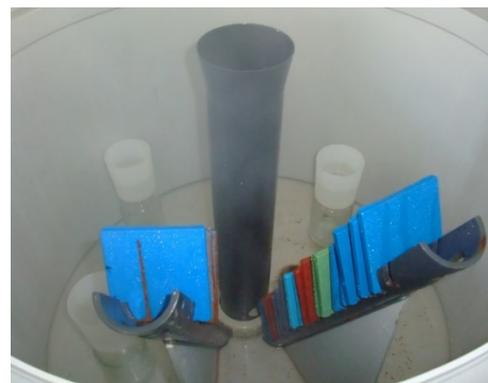
Salzsprühnebeltest

Korrosionsbeständigkeit gegenüber Salzsprühnebel^{2,5}

Prüfnormen: DIN EN ISO 9227-NSS, AAS und CASS, ASTM B 117
zitiert in DIN EN ISO 12944-6

Prüfgerät: Salzsprühnebelkammer

Auswertung: Blasengrad, Rostgrad Ri, Grad der Enthftung d [mm], Grad der Korrosion c [mm], Gitterschnitt



Zyklische Korrosionsprüfungen

Korrosionswechsellasts²

Korrosionswiderstand gegenüber zyklisch wechselnden Belastungen (Wechselklima), wie Salzsprühphase, Kondenswasserphase, Trocken- bzw. Raumtemperaturphase.

Prüfnormen: DIN EN ISO 11997, ASTM B 117, ASTM B 368, ISO 1456, VW PV 1210, VDA 621-415

Prüfgeräte: Erichsen Korrosionsprüfgerät Modell 608; Dura Köhler-Prüfgerät

Auswertung: Lackhaftung, Blasengrad, Rostgrad Ri, Grad der Enthftung d [mm], Grad der Korrosion c [mm] u.a. nach DIN EN ISO 4628-8



Filiformkorrosion

Prüfung der Beständigkeit gegen Filiformkorrosion (fadenförmige Korrosion) bei Aluminium und Stahl²

Prüfnorm: DIN EN 3665; DIN EN ISO 4623-1,-2

Prüfgeräte: Impfkammer; Salzsäure
Klimakammer

Methode: Anbringen einer definierten Verletzung der Beschichtung, Impfen der Verletzungsstelle mit Salzsäure oder CASS-Test und anschließende Klimalagerung (z.B. 40 °C/80 % r.F.)

Auswertung: Korrodierte Fläche [mm²/cm], Fadenlänge [mm]



Zyklische Korrosionsprüfung für Multi-Metall-Anwendung

Zyklische Korrosionsprüfung für Multi-Metall (Stahl, Zink und Aluminium) für Automobilanwendungen²

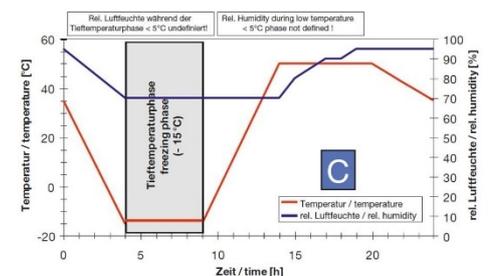
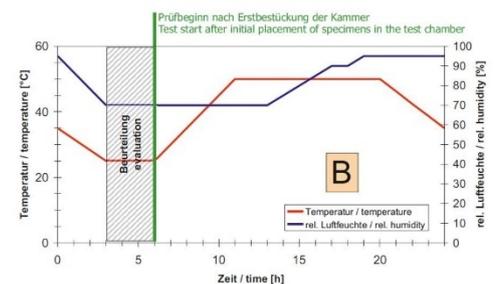
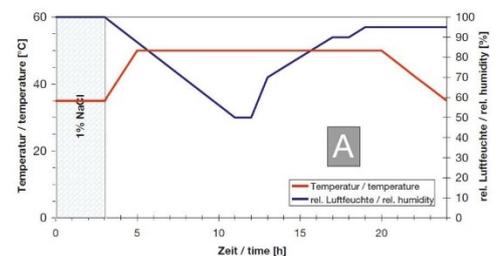
Dieser Test bildet die in der Feldbeobachtung auftretenden Schadensbilder und die Unterwanderung von Beschichtungen auf Zink-, Stahl- und Aluminiumuntergründen, insbesondere das Verhältnis zwischen Zink und Stahl, richtig ab.



Prüfnorm: DIN 55365 (zurückgezogen), DIN EN ISO 11997-3, VDA 233-102, VDEh SEP 1850

Prüfgerät: CTS-Korrosionsprüfschrank

Auswertung: U.a. nach DIN EN ISO 4628-8: Unterwanderung, Blasenbildung, Rostgrad, Filiformkorrosion bei Aluminium und Stahl



Digitale Korrosionsauswertung

Prüfgeräte: Korrosionsprüfkammern, Klimakammern

Methode: Digitale Erfassung von Korrosionsschäden oder Korrosionserscheinungen mittels einer Linienscan Kamera

Auswertung: Filiformkorrosion nach ISO 21227-4 und DIN EN ISO 4628, Blasengrad (DIN EN ISO 4628-2), Rostgrad (DIN EN ISO 4628-3), Delamination und Korrosion ausgehend von einem Ritz (DIN EN ISO 4628-8), Kantenrost (DBL 10494-6), Gitterschnitt (DIN EN ISO 2409) und Multisteinschlag (ISO 20567-1)



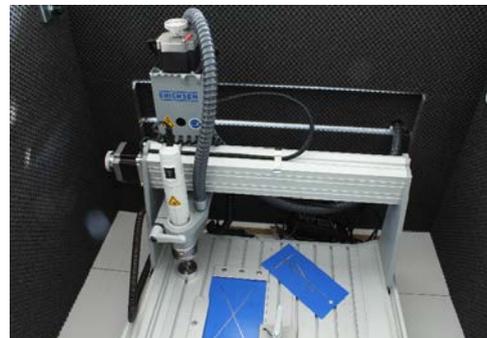
Verfahren zur Ritzanbringung

Ritzanbringung für Korrosionsprüfungen

Prüfgeräte: Ritzstichel: Nach Sikkens, Clemen, van Laar; Ritzfräse

Prüfnorm: DIN EN ISO 12944-6

Methode: Ritzanbringung entsprechend der Korrosionsprüfvorschriften



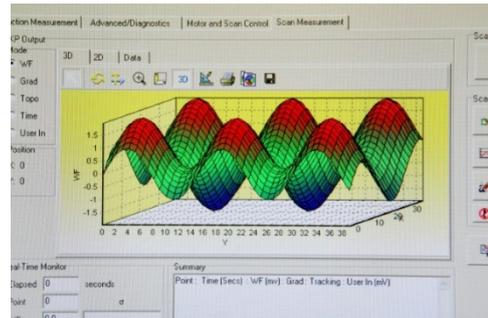
Elektrochemische Methoden

Raster-Kelvin-Sonde²

Ortsaufgelöste Beurteilung der Korrosionsstabilität von Substraten und deren Vorbehandlung

Prüfgerät: Raster-Kelvin-Sonde

Auswertung: Elektrochemisches Potenzial, Oberflächentopographie

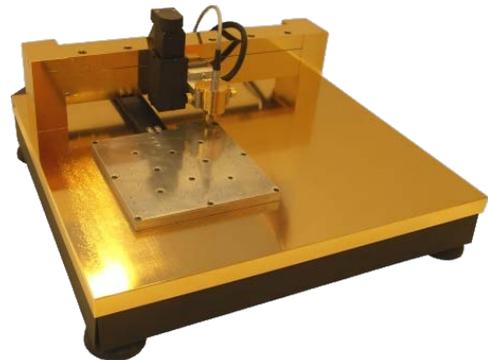


Raster-Kelvin-Sonde mit topographischer Korrektur²

Ortsaufgelöste Beurteilung der Korrosionsstabilität und Delaminationsresistenz von beschichteten Substraten

Prüfgerät: Raster-Kelvin-Sonde mit topographischer Korrektur

Auswertung: Elektrochemisches Potenzial, Oberflächentopographie

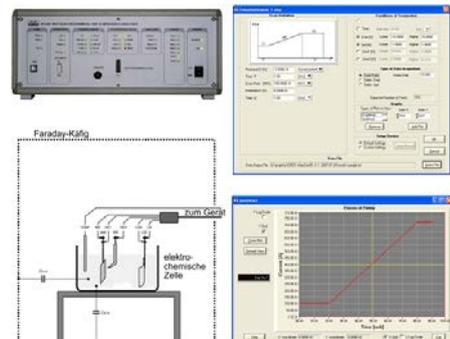


Elektrochemische Workstation^{2,4}

Bestimmung von Korrosionspotenzialen sowie von kapazitiven und resistiven Eigenschaften von Beschichtungen auf metallischen Substraten

Prüfgerät: Elektrochemische Workstation

Auswertung: Ermittlung von Strom-/Spannungskurven, polarographischen Daten, Impedanzspektren und der Reversibilität elektrochemischer Prozesse, wie z.B. der Wasseraufnahme-Reversibilität (WAR)



Schutzwirkung (FPL-Kurzzeittest)

FPL-Kurzzeittest²

Zeitraffende thermozyklisch-elektrolytische Beanspruchung von Beschichtungen zur Simulation von Langzeitbeanspruchungen, z.B. durch Temperatur- und Feuchte- sowie Elektrolyt-Wechselbeanspruchung „FPL-Kurzzeittest“

Prüfgerät: Patentierter Eigenbau

Methode: Zeitraffende thermozyklisch-elektrolytische Beanspruchung, optional mit UV-Bestrahlung

Auswertung: In situ-Schutzverlustdetektion mittels Impedanzspektroskopie



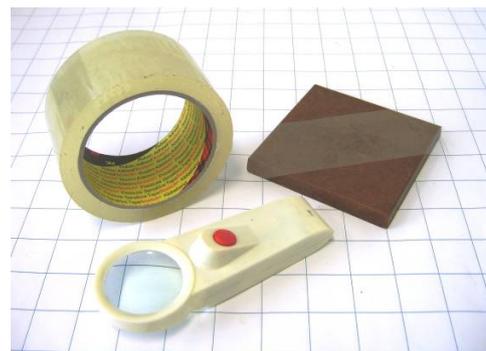
Kreidungsgrad

Bestimmung nach dem Klebebandverfahren^{2,5}

Prüfnormen: DIN EN ISO 4628-6, DIN EN 13523-14

Prüfmittel: Durchsichtiges Klebeband

Auswertung: Kreidungsgrad-Kennwert



Bestimmung mit dem Kreidungsgerät^{2,5}

Prüfnorm: DIN 53159

Prüfgerät: Kreidungsprüfgerät nach Kempf

Auswertung: Kreidungsgrad-Kennwert



Trockengrad

Prüfung der Oberflächentrocknung nach dem Glasperlen-Verfahren^{2,5}

Prüfnorm: DIN EN ISO 9117-3

Prüfmittel: Glasperlen („Ballotini“), Haarpinsel

Auswertung: „oberflächentrocken“ [Ja/Nein],
Oberflächentrocknungszeit t [min]

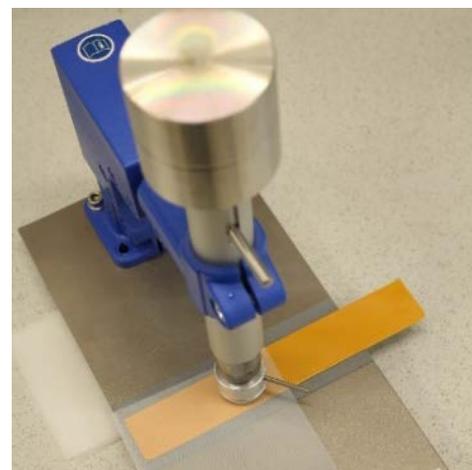


Bestimmung des Trocknungszustandes, bei der die Beschichtungsfläche nicht mehr klebt oder eine sichtbare Veränderung nicht feststellbar ist^{2,5}

Prüfnorm: Normenreihe DIN EN ISO 9117

Prüfgerät: Trockengrad-Prüfgerät nach Kempf oder Drying recorder

Auswertung: Trockengrad-Kennwert



Stapelfähigkeit

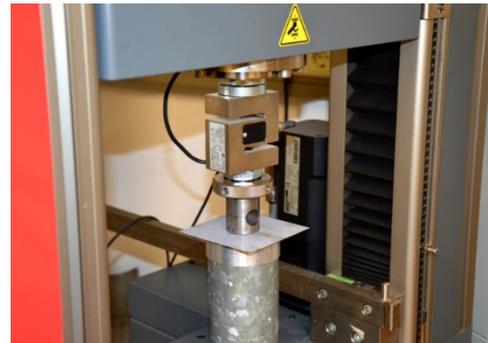
Druckprüfung

Zwei aneinander gedrückte Probestreifen werden auf Oberflächenänderungen untersucht²

Prüfnorm: DIN EN ISO 9117-2

Prüfgeräte: Presse mit Drucküberwachung oder Gewichtstücken

Auswertung: Oberflächenschäden



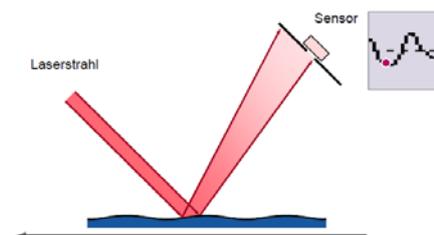
Appearance

Appearance ist der Oberbegriff für den Hochglanz, die Brillanz, den Verlauf und die Welligkeit von beschichteten Oberflächen²

Prüfgerät: Byk wave scan dual

Auswertung: Welligkeitswerte, DOI, Dullness (Haze)

wave-scan: Messprinzip



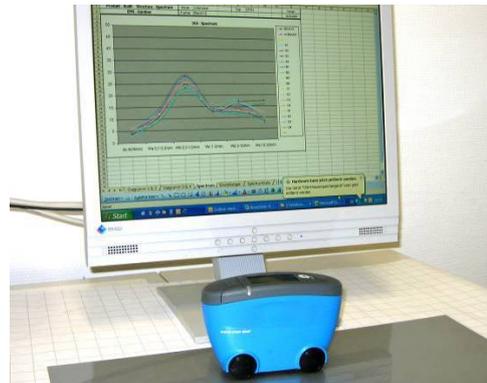
Brillanz einer hochglänzenden Oberfläche

Instrumentelle Messung der Oberflächen mit dem wave-scan dual^{2,5}

Prüfnorm: ASTM D 5767

Prüfgeräte: wave-scan dual

Auswertung: DOI-Kennwert



Glanz

Glanzmessung

Bestimmung des Reflektometerwertes von Beschichtungen^{4,5}

Prüfnorm: DIN EN ISO 2813

Prüfgerät: Glanzmessgerät Micro-Tri-Gloss

Auswertung: Glanzgrad bei 20°-, 60°- und 85°-Messwinkel



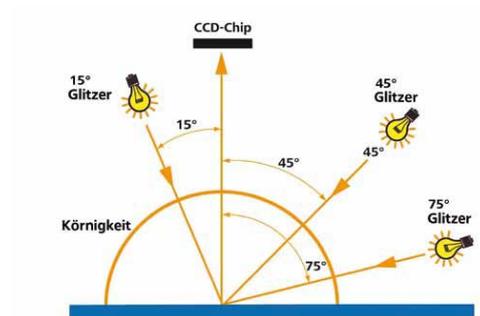
Glitzer-Effekt

Glitzer-Effekt von Metalleffekt (Metallic)-Beschichtungen Effektmessung von Effektlacken⁴

Prüfnorm: DIN 5033, DIN 5036, DIN EN ISO 11664-4, DIN 6175-2

Prüfgerät: Mehrwinkelfarbmessgerät Byk mac, X-Rite

Auswertung: Farbabstände ΔE , ΔL , Δa , Δb , Glitzer, „Körnigkeit“



Glanzschleier / Haze

Glanzschleierwert H^{2,5}

Bestimmung des Glanzschleiers von Beschichtungen beim 20° Messwinkel

Prüfnorm: DIN EN ISO 13803

Prüfgerät: Glanzschleier-Messgerät Zehntner GlossHaze

Auswertung: Glanzschleierwert H



Haze-gloss²

Haze-Messung kombiniert mit Glanzmessung bei 20°, 60° und 85° Messwinkeln

Prüfnormen: DIN EN ISO 2813, DIN EN ISO 13803
ASTM D 523, ASTM D 2457, ASTM E 430

Prüfgerät: Byk Haze-gloss

Auswertung: Glanzeinheiten bei den verschiedenen Messwinkeln und Glanzschleier Haze



Farbe bzw. Farbabweichung

Bestimmung von Farbabständen und Metamerie⁵

Prüfnormen: DIN EN ISO 11664-4, DIN 6175, DIN 6172, DIN EN 13523-15

Prüfgeräte: Einwinkel- und Mehrwinkel-Farbmessgerät (Xrite + Byk Spectroguide)

Auswertung: Farbabstände ΔE , ΔL , Δa , Δb
Metamerie-Index M_T



Berührungslose Farbmessung²

Prüfgerät: Rechnergesteuertes Teleflash-Farbmessgerät

Auswertung: ΔL und ΔE -Werte (mehrwinklig), gegen Schwarz/Weiß-Standard



Farbabmusterungskabinen^{2,4,5}

Visueller Vergleich der Farbe von Beschichtungen

Prüfnorm: DIN EN ISO 3668

Prüfgerät: Farbabmusterungskabine mit genormten Lichtarten (Byk Gardner, GretagMacbeth)

Auswertung: Visuelle Beurteilung



Mehrwinkelfarbmessung bei Metallics / Effektlacken

Mehrwinkelfarbmessung und Flop Index^{2,4,5}

Prüfgerät: Farbmessgerät MA68 II (X-Rite Inc.), 5-Winkel: 15°, 25°, 45°, 75°, 110°

Auswertung: $L^*a^*b^*$, $\Delta L + \Delta a^* \Delta b^*$, $L^*C^*h^\circ$, $\Delta L^* \Delta C^* \Delta H^*$, $\Delta E_{L^*a^*b^*}$, ΔE_{cmc} , Flop Index für Metalleffekt-Beschichtungen



Mehrwinkelfarbmessung^{2,4}

Prüfgerät: Farbmessgerät Byk-mac (Byk-Gardner), 5-Winkel: 15°, 25°, 45°, 75°, 110°; zusätzliche Farbmessung „hinter dem Glanz“ zur Beurteilung des Farbflops bei Interferenzpigmenten bei -15°; Glitzer- und Körnigkeitsbeurteilung; Beurteilung des Gesamt-Farbeindrucks von Effektlacken; spektrale Auflösung 10nm im Bereich 400-700 nm

Auswertung: $L^*a^*b^*$, $\Delta L + \Delta a^* \Delta b^*$, $L^*C^*h^\circ$, $\Delta L^* \Delta C^* \Delta H^*$, $\Delta E_{L^*a^*b^*}$, ΔE_{cmc} , Flop Index, Glitzer- und Körnigkeitsbeurteilung



Mehrwinkelfarbmessung⁴

Prüfgerät: Farbmessgerät MA98 (X-Rite Inc.); 10-Messwinkel und 2 Beleuchtungswinkel

Auswertung: Farbabstände ΔE , ΔL , Δa , Δb , Flop Index



Transparenz

Transparenzmessung⁴

Prüfgerät: Spektralphotometer Color i5 (X-Rite Inc.); d/8°
Kugelgeometrie
Datacolor 650

Auswertung: Farbabstände ΔE , ΔL , Δa , Δb , Transparenz %, Metamerie-Index M_T



Transmission, Reflexion, Absorption / UV-Vis-NIR

Bestimmung von UV-Vis-NIR-Transmission, Reflexion und Absorption von Beschichtungen⁴

Prüfgerät: UV-Vis-Spektrophotometer Lambda 900
 λ : 250 nm – 2500 nm

Auswertung: Transmission [%], Reflexion [%],
Absorption [%]



Bestimmung des Brechungsindex an flüssigen und festen Proben

Prüfgerät: Automatisches Refraktometer Abbemat 300

Prüfnormen: DIN 51423-2

Auswertung: Brechungsindex bzw. Brechzahl



Oberflächenrauheit und -welligkeit

Mechanische Abtastung der Oberflächenrauheit mit dem Labor-Tastschnittprofilometer^{2,5,6}

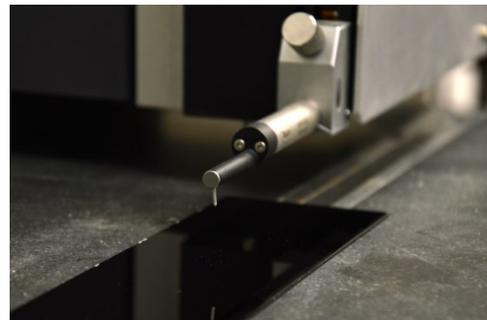
Prüfnormen: DIN EN ISO 4287, DIN EN ISO 4288, DIN EN ISO 13565, DIN EN ISO 8503-4, DIN EN ISO 11562

Prüfgerät: Tastschnitt-Messsystem Perthometer S2

Auswertung: Rauheitskenngrößen R_a , R_z , R_{max}

Wellentiefe W_t

Welligkeitskenngrößen W_a bis W_e



Mechanische Abtastung der Oberflächenrauheit mit dem mobilen Tastschnittgerät²

Prüfnormen: DIN EN ISO 4287, DIN EN ISO 4288, DIN EN ISO 13565, DIN EN ISO 8503-4

Prüfgerät: Mobiles Tastschnittgerät

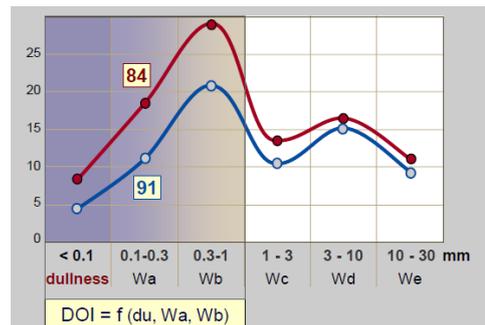
Auswertung: Rauigkeitskenngrößen R_a , R_z , R_{max}



Bestimmung des Oberflächenverlaufs (Orange-Peel) mit dem wave-scan²

Prüfgerät: Wave-Scan DOI

Auswertung: Welligkeitswerte, Strukturspektrum



Schichtdicke

Bestimmung der (Trocken)-Schichtdicke von Beschichtungen bzw. Lackierungen auf metallischem Untergrund mit dem Magnetisch/induktiven- bzw. Wirbelstromverfahren^{2, 5, 6}

Prüfnormen: DIN EN ISO 2178, DIN EN ISO 2360, DIN EN ISO 2808

Prüfgerät: Schichtdickenmessgerät (Fischer DualScope FMP40)
Besonderheit: 2-Punktsonde für raue Oberflächen

Auswertung: Schichtdicke [μm]



Bestimmung der Schichtdicke von Beschichtungen auf nicht-metallischem Untergrund mit dem Ultraschall-Verfahren²

Prüfnormen: DIN EN ISO 2178, DIN EN ISO 2360, DIN EN ISO 2808

Prüfgerät: Ultraschall-Schichtdickenmessgerät

Auswertung: Schichtdicke [μm]



Folienschichtdicke^{2,4}

Prüfgerät: Folienschichtdickenmessgerät (ATORN)

Auswertung: Schichtdicke [μm]



Messung der Schichtdickenverteilung⁶

Prüfgerät: Fraunhofer-IPA-Schichtdickenmesstisch

Auswertung: Schichtdickenverteilung [μm]

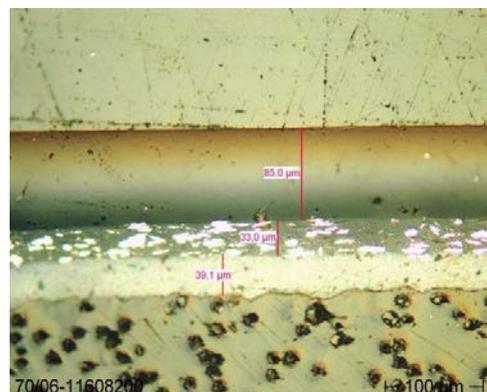


Mikroskopische Messung mit dem Querschliff-Verfahren^{1,2,5}

Prüfnormen: DIN EN ISO 2808, DIN EN ISO 3882

Prüfgeräte: Lichtmikroskop mit Schichtdickenmesseinheit und digitaler Bildanalyse, Einbettmittel und Einbettformen, Schleifteller, Schleif- und Polierpapier

Auswertung: Schichtaufbau, Schichtdicke [μm]



Messung mit dem Keilschnitt-Verfahren²

Prüfnormen: DIN 50986, EN ISO 2808, ASTM D 4138

Prüfgerät: Keilschnitt-Prüfgerät (Erichsen; Byk-Labotron)

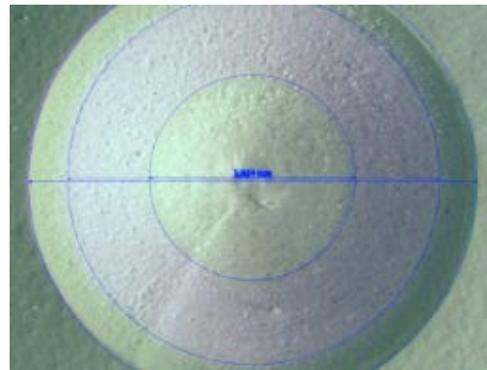
Auswertung: Schichtdicke [μm]



Messung mit dem Paintborer²

Prüfgeräte: Keilschnittgerät und Lichtmikroskop

Auswertung: Schichtaufbau, Schichtdicke [μm]



Schichtaufbau / Schichtanalyse

Anfertigung von Querschliff-Proben^{1,2}

Prüfgeräte: BUEHLER EcoMet® 250 Grinder Polisher, Automet 250 Power Head®

Methode: Proben-Präparation durch: Sägen, Einbetten, Schleifen, Polieren

Auswertung: Beurteilung/Messung der Schichtdicken mit dem Lichtmikroskop oder dem REM; Schichtaufbau

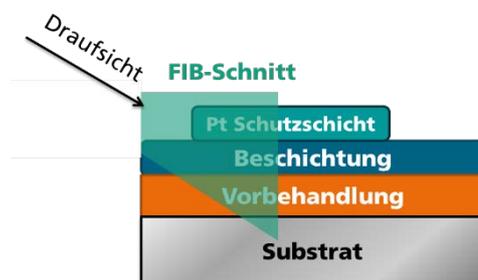
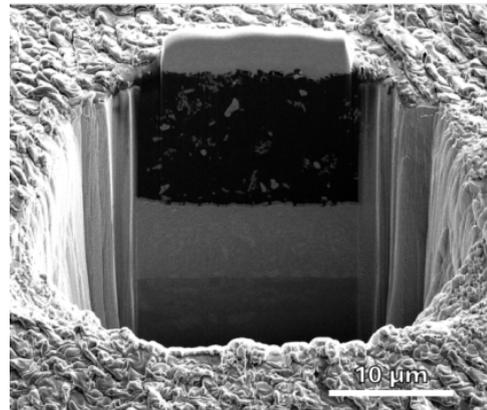


Querschnitt-Verfahren mit FIB-REM²

Prüfgerät: Helios Nano-Lab Rasterelektronenmikroskop

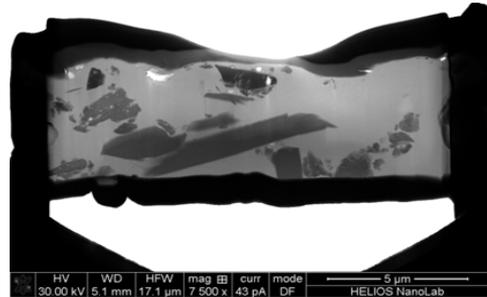
Methode: In situ-Erstellung von Querschnitten mit dem FIB (Focused Ion Beam) und Untersuchung mit REM und EDX

Auswertung: Schichtaufbau, Schichtdicke [μm], (Partikel-) Pigmentgröße und -verteilung, Elementverteilung



Raster-Transmissionselektronenmikroskopie (STEM)-Präparation von Filmausschnitten (Lamellen) mit FIB und Untersuchung der Lamellen mit STEM/EDX²

Prüfgerät: Helios Nano-Lab Rasterelektronenmikroskop mit STEM/EDX



Hochaufgelöste Rasterelektronenmikroskopie-Energiedispersive Röntgenspektroskopie (REM-EDX)²

Prüfgerät: Helios Nano-Lab Rasterelektronenmikroskop

Auswertung: Schichtaufbau, Elementzusammensetzung von Schichten und Partikeln



Infrarotmikroskopie¹

Prüfgerät: Spotlight 200

Methoden: Transmission, Reflexion, Mikro-ATR, single point, multiple points, area map

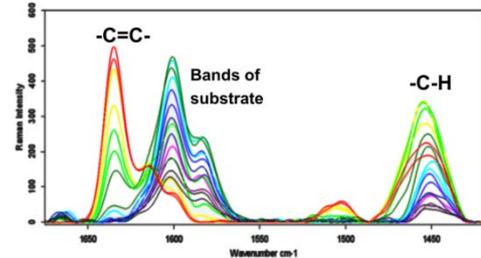
Auswertung: Schichtanalyse, Detektion von Lackfehlern, Inhomogenitäten, Einschlüssen



Konfokale Ramanspektroskopie²

Prüfgerät: Bruker Senterra

Auswertung: Analyse von transparenten Schichten



Wasserdampf- und Sauerstoffpermeation / Barrierewirkung

Sauerstoffpermeabilität von Folien und freien Beschichtungsfilmen²

Prüfgerät: Sauerstoffpermeationsmessgerät

Auswertung: Permeabilität gegenüber
Sauerstoff [$\text{cm}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$]



Wasserdampfpermeabilität von Folien und freien Beschichtungsfilmen²

Prüfgerät: Wasserdampfpermeationsmessgerät

Auswertung: Permeabilität gegenüber Wasserdampf in $\text{ml/m}^2 \cdot \text{d}$



Wasserdampfpermeationsrate von Folien und freien Beschichtungsfilmen²

Prüfnorm: DIN 53122-1

Prüfgerät: Payne-Cup

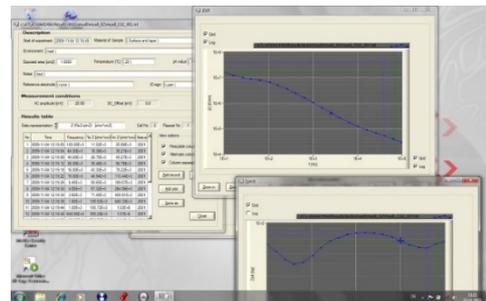
Auswertung: Wasserdampfpermeationsrate $[\text{g/m}^2/\text{d}]$



Bestimmung der Wasseraufnahme, Delaminations- und Unterwanderungsresistenz von Beschichtungen mit der elektrochemischen Impedanzspektroskopie (EIS)²

Prüfgeräte: Hochimpedanzanalysator (programmierbar), multiplexerfähig, Hochimpedanzanalysator (programmierbar), Hochimpedanz-Interface mit Frequenzanalysator

Auswertung: EIS-Daten



Wasserdampfdiffusionsstromdichte bei Baufarben/Dispersionsfarben²

Prüfnorm: DIN EN ISO 7783

Prüfgerät: Glasfritten, Kunststoffdosen, Kunstkautschuk zum Abdichten

Auswertung: Sd-Wert, V



Wasserdurchlässigkeit bei Baufarben²

Prüfnorm: DIN EN 1062-3

Prüfgerät: Wasserschalen, Kalksandsteinplatten

Auswertung: Wasserdurchlässigkeit w



Adsorption an dünnen Schichten

Untersuchung von Adsorptionsvorgängen und Eigenschaften von dünnen Schichten mit der Quarzkristallmikrowaage⁴

Prüfgerät: Q-Sense E1 Quarzkristallmikrowaage mit zusätzlicher Elektrochemiezelle (L.O.T.-ORIEL)



Prüfung von Lackierprozessen und
lackiertechnischen Eigenschaften



Verarbeitungszeit / Topfzeit von Mehrkomponenten-Lacksystemen

Ermittlung der max. Zeitspanne, innerhalb der ein in getrennten Bestandteilen gelieferter Beschichtungstoff nach dem Mischen zu verarbeiten ist^{2,5}

Prüfnorm: DIN EN ISO 9514

Prüfmittel: Behälter, Auslaufbecher, Thermometer, Stoppuhr

Auswertung: Verarbeitungszeit/Topfzeit t [min]



Staubemission / Staubbelastung in der Abluft

Gravimetrische Erfassung der Staubbelastung in einem Abluftstrom, Messmethodik: Isokinetisch

Prüfnorm: VDI 2066 Blatt I

Prüfgerät: Entnahmesonde, Staudrucksonde, Unterdruckpumpe, Auswerteeinheit, Temperaturfühler, Stoppuhr, Filter, Waage

Auswertung: Masse der Staubbelastung (Differenzmessung), Druck, Dichte, Temperatur und Feuchtegehalt der Luft



Luftströmung

Messung der Luftsink- und Strömungsgeschwindigkeit mit dem thermoelektrischen Verfahren⁵

Prüfgerät: Thermo- und Flügelradanemometer

Auswertung: Luftströmung [m/s]



Aufspüren und Lokalisieren von Luftströmungen^{5,6,7}

Prüfgerät: Dräger Strömungsprüfer

Auswertung: Feststellung von Luftstromrichtungen



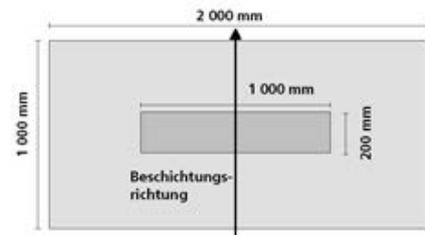
Auftragswirkungsgrad von Flüssig- und Pulverlacken

Ermittlung der versprühten Lackmenge⁶ durch Bestimmung der Massenzunahme des Substrats bei der Beschichtung.

Prüfnormen: DIN ISO 8130-10, DIN EN 13966: 2003

Prüfgerät: Fraunhofer IPA-Versuchsanlage

Auswertung: Auftragswirkungsgrad AWG [%]



Ergiebigkeit

Ermittlung der Fläche des Substrates, die sich mit einer bestimmten Lackmenge abdecken lässt^{2,5}

Prüfnorm: DIN EN ISO 4618, DIN EN ISO 3233-2, DIN EN ISO 55987

Prüfgeräte: Spektrophotometer, Lackapplikationsgerät, Analysenwaage, Kontrastuntergrund

Auswertung: Ergiebigkeit [m^2/l] oder [m^2/kg], Trockenfilmdichte, Festkörpervolumen, Berechnung der theoretischen Ergiebigkeit

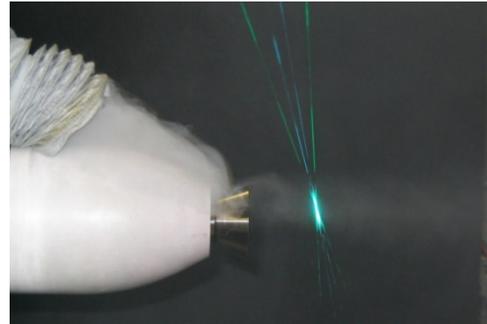


Sprühwolkenanalyse

Strömungssichtbarmachung mit dem Laserlichtschnitt-Verfahren⁶

Prüfgeräte: Laser-Doppler- und Phasen-Doppler-Anemometer

Auswertung: Visuelle Beurteilung des Sprühbildes



Hochgeschwindigkeitskamera⁶ zur Beobachtung von Lackierprozessen (Zerstäubung, oversprayfreies Beschichten, Lacktropfenaufprall, ...)

Prüfgerät: Hochgeschwindigkeitskamera; verschiedene lichtstarke Beleuchtungen

Auswertung/Ergebnis: Hohe räumliche Auflösung: bis zu 1,5 μm ; hohe zeitliche Auflösung: bis zu 64.000 Bilder pro Sekunde; Auswertemöglichkeiten zur Tropfengrößen- und -geschwindigkeitsbestimmung



Sichtbarmachung von Luftströmungen⁶

Prüfgerät: Nebelgenerator

Auswertung: Visuell



Sichtbarmachung und Temperaturverteilung des Sprühstrahls mit dem Thermografie-Verfahren⁵

Prüfgerät: Thermokamera

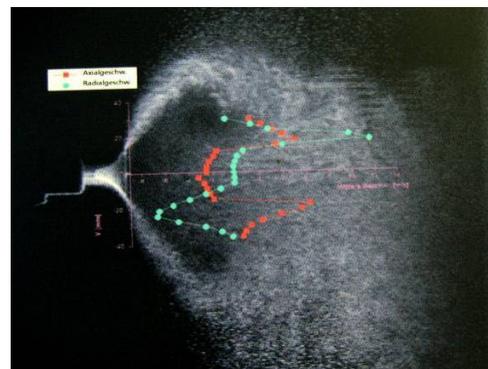
Auswertung: Thermografische Bilder bzw. Filme



Messung der lokalen Partikelgröße und -geschwindigkeit mittels Laser-Doppler- und Phasen Doppler-Anemometrie⁶

Prüfgeräte: Laser-Doppler- und Phasen-Doppler-Anemometer

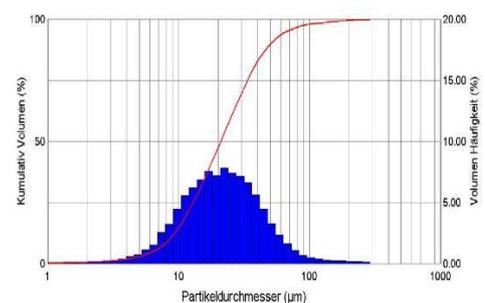
Auswertung: Axial- und Vertikalgeschwindigkeit [m/s]
Partikelgröße [μm]



Messung der Lackpartikelgröße im Sprühstrahl mit der Laserbeugungs-Methode⁶

Prüfgerät: Fraunhofer-Beugungsspektrometer

Auswertung: Lackpartikelgröße und -verteilung



Untersuchung von Lackapplikations- und Lackversorgungskomponenten

Bestimmen der Drehzahl⁶

Prüfgerät: Elektronisches digitales Messgerät für Drehzahl und Geschwindigkeit

Auswertung: Umdrehungen pro Minute



Bestimmung von Geschwindigkeiten und Positionen⁶

Prüfgerät: Geschwindigkeits- und Positionssensor

Auswertung: Geschwindigkeit bzw. Position [V]



Bestimmen des Luftvolumenstroms⁶

Prüfgerät: Durchflusssensor, Hitzdrahtanemometer

Auswertung: Luftdurchfluss [NL/min];
Datenaufzeichnung z.B. über Primas



Bestimmen von Drücken in Rohrleitungen oder Schläuchen⁶

Prüfgerät: Druckmessumformer

Auswertung: Strom 4 – 20 mA, Datenaufzeichnung
z.B. über Primas



Bestimmen von Drücken in Rohrleitungen oder Schläuchen⁶

Prüfgerät: Keller LEX 1 Manometer

Auswertung: Druck [bar]



Bestimmung des Volumenstroms in Rohrleitungen oder Schläuchen⁶

Prüfgerät: Zahnrad-Durchflussmessgeber

Auswertung: 4 – 20 mA

Datenaufzeichnung 0 – 10 V, 4 – 20 mA

Prüfgerät: Primas

Auswertung: Aufzeichnung von Messwerten



Messung von Körperschall⁶

Prüfgerät: Körperschallsensor

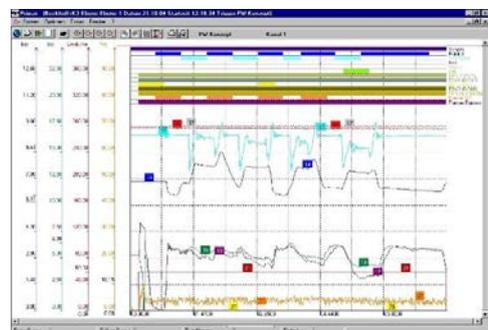
Auswertung: Oszilloskop mit FFT Funktion



Bestimmung der Spülbarkeit und Dosiergenauigkeit von Lackapplikationskomponenten⁶

Prüfgerät: Fraunhofer-Komponentenprüfstand

Auswertung: Visuelle Beurteilung der Reinigungsergebnisse, Aufnahme von Dosierpumpen-Druckverläufen und -Schaltzuständen



Prüfung von Sprüheräten für Flüssig- und Pulverlacke mittels Bestimmung der Reproduzierbarkeit des statischen und dynamischen Spritzbildes⁶

Prüfgerät: Fraunhofer IPA-Schichtdickenmesstisch

Auswertung: Aussehen und Schichtdickenverteilung des Spritzbildes



Messung von Hochspannung, Glockendrehzahl, Luftmengen zur Überprüfung von Zerstäubern⁶

Prüfmittel: Drehzahlmessgerät, Hochspannungslanze, Luftmengenmessgerät

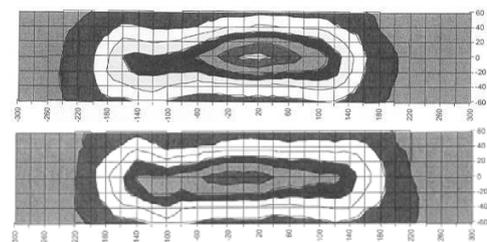
Auswertung: Abgleich mit den Sollvorgaben



Prüfung der Zerstäuberqualität mittels Bestimmung der Symmetrie des Spritzbildes durch Messung der Druckverteilung der Spritzluft⁶

Prüfgerät: Luftkappe-Prüfstand mit Pitot-Sonden

Auswertung: Visuelle Beurteilung des Spritzbildes [gut/schlecht]



Lacktrocknung / -härtung

Berührungslose Temperaturmessung mit dem Infrarot-Verfahren^{2,5}

Prüfgerät: IR-Thermometer

Auswertung: Temperatur T [°C]



Bestimmung des Objekttemperaturverlaufes mit dem Temperaturfühler^{2,5}

Prüfgerät: Ofenschreiber

Auswertung: Temperaturverlauf T [°C] / t [min]



Visualisierung und Bestimmung des Temperaturverlaufs von Trocknungs- und Härtungsprozessen^{2,5}

Prüfgerät: Thermokamera

Auswertung: Thermografische Bilder bzw. Filme



Prüfung der Oberflächentrocknung nach dem Glasperlen-Verfahren^{2,5}

Prüfnorm: DIN EN ISO 9117-3

Prüfmittel: Glasperlen („Ballotini“), Haarpinsel

Auswertung: „Oberflächentrocken“ [Ja/Nein],
Oberflächentrocknungszeit t [min]



Prüfung der Trocknungs- und Alterungseigenschaften von Lacken²

Prüfgeräte: Einbrennofen für Coil Coating-Beschichtungen

Temperaturbereich: 50 – 350 °C



Konditionierung und Lagerung von lackierten Proben unter definierten Temperatur- und Feuchte-Bedingungen²

Prüfräume: Klimäräume mit z.B.: 23°C, 50% r.F.



Härtung von UV-Lacken und UV-härtenden Druckfarben^{1,2}

Prüfgeräte: Minicure-Anlage, auch unter Inertgas - ohne Sauerstoff - betreibbar



Lichtleistungsmessgeräte

Laserstrahlungsleistungsmessgerät⁴

Prüfgerät: Fieldmaster GS, LM45HTD (Coherent), λ : 250 nm – 10600 nm

Auswertung: Leistung [W/cm²], Puls-Energiedichte [J/cm²]



Messung der UV-Strahlungsleistung^{2,5}

Zeitliche Aufzeichnung der UV-Strahlungsleistung simultan an mehreren Stellen eines 3D-Bauteils

Prüfgerät: UV-Radiometer

Auswertung: UV-Bestrahlungsstärke [W/cm^2], UV-Energiedichte [J/cm^2]



UV-Leistungsmessgerät (u.a. zur Prüfung der UV-Dosis bei UV-Härtung)²

Prüfgerät: UMD-2 (eta plus; Metz Holding), λ : 210 nm – 380 nm

Auswertung: UV-Leistung [W/cm^2], UV-Dosis [$\text{W}/\text{min cm}^2$]

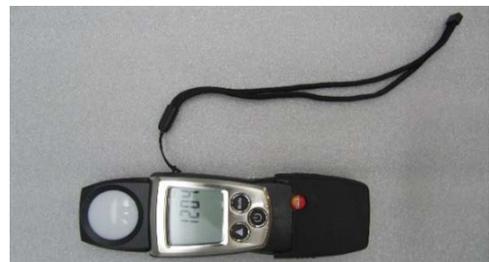


Messung der Beleuchtungsstärke⁵

Prüfnormen: ASTM D 1391, ASTM E 544

Prüfgerät: Testo 540 - Luxmeter

Auswertung: Lichtstärke [Lux]



Messung der UV-Leistung und -dosis im Bereich 250 bis 1000 nm⁶

Prüfgerät: UV-Radiometer

Auswertung: UV-Bestrahlungsstärke [W/cm^2], UV-Energiedichte [J/cm^2]

UV-Pad



Materialvolumenstrom

Messung der Masse pro Zeiteinheit eines strömenden Mediums⁶

Prüfgerät: Magnetisch-Induktives Durchflussmessgerät

Auswertung: Materialvolumenstrom [ml/min]



Luftfeuchtigkeit und Temperatur der Umgebung

Zeitliche Aufzeichnung von Klimadaten^{2,5}

Prüfgerät: Klimaschreiber; Präzisions-Temperatur- und Feuchtemessgerät

Auswertung: Rel.-Luftfeuchte [%]
Temperatur T [°C]



Bestimmung der Temperatur, Luftfeuchte, Taupunkt, Luftgeschwindigkeit, Luftdruck, Differenzdruck^{5, 6}

Prüfgerät: Multifunktions-Lüftungsmessgerät

Auswertung: Temperatur [°C], Luftgeschwindigkeit [m/s],
Taupunkt [°C], Luftfeuchte [% rh], Luftdruck [PA],
Differenzdruck [Pa]



Elektrische Feldstärke

Bestimmung der elektrischen Feldstärke⁷

Prüfgerät: Feldstärkemessgerät

Auswertung: Elektrische Feldstärke E [V/m]



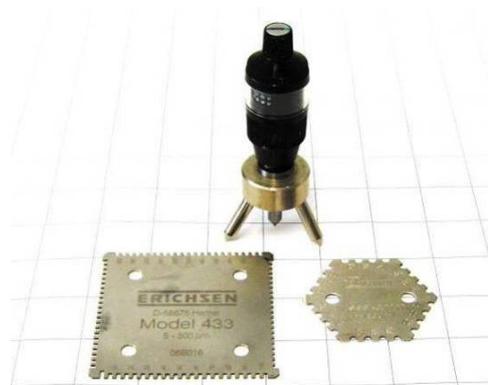
Schichtdicke des nicht ausgehärteten Lackes

Bestimmung der Nassschichtdicke²

Prüfnorm: EN ISO 2808

Prüfgeräte: Messkamm oder Messrad oder Messuhr

Auswertung: Nassschichtdicke t_w [μm]



Lackbenetzungstörende Substanzen (LABS)

Test auf lackbenetzungstörende Substanzen, auch bezeichnet als „Prüfung auf Lackverträglichkeit“ oder „Lackverträglichkeitsuntersuchungen“^{2,6}

Prüfungsinhalt: **Kontamination** des Substrates, des flüssigen Lackes oder der noch nassen Lackschicht mit den zu prüfenden Substanzen (u.a. Betriebsstoffe). Untersuchung auf **Krater und Benetzungs- oder Verlaufsstörungen** der gehärteten Lackschicht.

Methoden:

- Überlackieren des Abriebs von Bauteilen
- Extraktion von Stoffen aus Materialproben bzw. aus Bauteilen mittels geeigneter Lösemittel mit anschließendem Überlackieren der auf Probenbleche aufgetragenen Rückstände
- Abblasen der Prüfteile auf ein Testsubstrat und Überlackierung
- Einbringen flüssiger und pastöser Proben in die Lackmaterialien und Auflackieren der kontaminierten Lacke
- Ausgasungstest für Produkte, die bei höherer Temperatur Substanzen emittieren können



Auswertung: Die Bewertung erfolgt visuell nach Trocknung der Lackschicht

Prüfgeräte: Lackierkabine, Spritzpistole, Prüfbleche, Substrate, Beschichtungen, Beschichtungstoffe, Prozesschemikalien und -stoffe, Umluftofen



Prüfnormen:

- SAA NA-01.1, Durchführung in Anlehnung an das VDMA Einheitsblatt 24364, Mai 2018
- Diverse Werksnormen wie die Mercedes-Benz Werksnorm MBN 10494-3 oder die VW-Konzernnorm PV 3.10.7



Überlackierbarkeit von Beschichtungen

Überlackierung von ungealterten ein- oder mehrschichtigen Beschichtungen. Danach Prüfung auf Oberflächenstörungen²

Prüfnorm: DIN EN ISO 16927

Prüfgeräte: Spritzpistole, Rakel, Gitterschnittmesser

Auswertung: Visuell, Lackhaftung



Elektrotauchlackierungen

Abscheidung und Prüfung von Elektrotauchlacken (ATL und KTL)²

Methode: Beschichten von Testblechen mit KTL-Materialien
Einbrennen der abgeschiedenen KTL-Filme

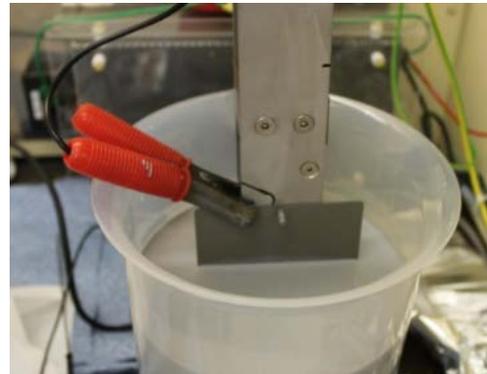


Prüfung der Verträglichkeit von Fremdsubstanzen mit Elektrotauchlacken (ATL und KTL)²

Methode: Beschichten von Testblechen mit den kontaminierten KTL-Materialien Einbrennen der abgeschiedenen KTL-Filme

Prüfnormen: Diverse OEM-Normen

Auswertung: Auswertung der beschichteten Testbleche nach visuellen Störungen im Vergleich zu Referenzblechen der jeweiligen KTL-Systeme



Untersuchungen zum Umwelt- und Arbeitsschutz



Lärm

Schallmessung⁵

Prüfnormen: ASTM D 1391, ASTM E 544

Prüfgerät: Schallpegel-Messgerät

Auswertung: Schallpegelwert [dB]



Abluft-Inhaltsstoffe

Bestimmung der Partikelbelastung von Abluftanlagen⁵

Prüfnorm: VDI Richtlinie 2066 Blatt 1

Prüfgerät: Abluft-Partikelmessgerät

Messgröße: Festkörpergehalt in der Abluft [mg/Nm³]



Wärme

Lokalisierung und Bewertung der Wärmeentwicklung und des Wärmeverlustes von Geräten und Anlagen⁵

Prüfgerät: Thermokamera

Auswertung: Thermografische Bilder bzw. Filme



Lösemittelkonzentration

Bestimmung der Gesamtkohlenstoffkonzentrationen in der Abluft⁵

Prüfgerät: Flammen-Ionisations-Detektor (FID)

Auswertung: Gesamtkohlenstoffkonzentration in der Luft [ppm]



Fehler- und Schadensanalyse in der
Lack- und Oberflächentechnik



Apparative Ausstattungen und Dienstleistungen

Durch unser Netzwerk mit weiteren Fraunhofer-Instituten, der Universität Stuttgart und anderen Instituten stehen uns nahezu alle bekannten Untersuchungsmethoden zur Fehleridentifizierung und Schadensursachenfindung im Bereich der Lack- und Oberflächentechnik zur Verfügung. In Ergänzung zu den eigenen Prüfeinrichtungen können wir nach Bedarf den optimalen Partner auswählen und die Problemanalyse unter unserer Federführung wahrnehmen. Wir nennen im Anschluss zur Beschreibung unserer Prüfeinrichtungen auch eine Reihe wichtiger extern zugänglicher Prüfmethoden.

Häufig vorkommende Fehler und Schäden im Bereich der Lackier- und Oberflächentechnik können in nach folgende Kategorien bzw. Fallunterscheidungen bzw. des ursächlichen Zusammenhangs zur Prozesskette (*kursiv*) unterteilt werden:

Fehler und Mängel aufgrund von undefinierten Zuständen der Substratoberfläche (Verunreinigungen, Trennmittel, korrosive Vorbelastungen...)

- Ungeeignete oder fehlerhafte Oberflächenvorbehandlungen
 - Mangelhafte Benetzbarkeit der Substratoberfläche
- Für das Substratmaterial ungeeignetes Lacksystem
 - Haftungs-, Korrosionsprobleme

Für die Anwendung/Anforderungen falsches Lacksystem, z.B. für Beschichtungen im Außenbereich

- Mangelnde Wetterbeständigkeit, Veränderung von Farbton und Glanzgrad, Rissbildung, Abblättern..

Fehlerhaftes Lackmaterial, z.B. Verunreinigungen im Lack, ungeeignete rheologische Eigenschaften, ungeeignete Rohstoffe (z.B. Verlaufs- und Netz-Additive)

- Schlechter Verlauf, Ablaufen an senkrechten Flächen, ungenügender Schichtaufbau, ungenügende Kantenabdeckung, Krater, Pinholes, Welligkeit, mangelnde Abdeckung von Strahlspitzen, Einschlüsse bis zum Untergrund, Haftungsprobleme, Blasenbildung und Korrosion

Fehler bei Dosierung (Mischungsverhältnis) und Homogenisierung von Mehrkomponenten-Lacken

- Ungenügende Vernetzung, unzureichende mechanische, chemische und Bewitterungs-Eigenschaften der Beschichtung, unzureichender Korrosionsschutz

Fehler bei der Applikation, zu niedrige oder zu hohe Schichtdicke, zu kurzes Ablüften

- Haftungs-, Korrosionsprobleme, unzureichende Schutzwirkung gegen mechanische und chemische Beanspruchung; Kocherbildung, Reaktionsblasen z.B. bei zu hohen Schichtdicken bei Wasserlacken

Schmutzeintrag bei der Lackverarbeitung und Applikation und Trocknung

- Schmutzeinschlüsse und Oberflächendefekte, z.B. Krater, Pinholes, Rauheit und mangelnde optische Beschichtungseigenschaften; Defekte, die bis in den Untergrund reichen, können die Haftung und den Korrosionsschutz beeinträchtigen

Unzureichende Härtung des Lackes, zu niedrige Objekttemperatur, zu kurzer Ofendurchlauf, Unter-/Überbrennen im Trockner

- Ungenügende Vernetzung: zu weicher Film oder durch Überbrennen teilweise Filmabbau führt zu unzureichenden mechanischen, chemischen Eigenschaften und zu schlechter Witterungsbeständigkeit der Beschichtung

Zu frühe Belastung nach ungenügender Härtung (insbesondere wasserbasierte Lacksysteme)

- Mangelhafte Frühwasserfestigkeit, Farbtonänderung durch Wassereinlagerung in innere Grenzflächen (Pigmente/Bindemittel); mechanische Beschädigungen und Filmdefekte durch Einwirkung von Chemikalien aufgrund nicht vollständiger Vernetzung bzw. Härtung

Die im Folgenden beschriebenen Methoden sind geeignet, die Versagensmuster zu identifizieren und das Auftreten dem Stadium innerhalb der Prozesskette zuzuordnen.

Die Ursachenforschung kann dabei fallweise sehr unterschiedliche Wege gehen: Analyse des Befunds am beschichteten Objekt und/oder erst durch Hinzuziehen von Prüfungen an Referenzlackmustern, Substratmustern mit/ohne Vorbehandlung (Vergleichsanalysen), die Untersuchung von Anlagenkomponenten bzw. -einstellungen sowie die Verifizierung des Befundes durch Herstellung einer Beschichtung aus den Ausgangsmaterialien unter definierten Prozessbedingungen und/oder mit entsprechenden, den Schaden reproduzierenden Belastungen, bis die Ursache gefunden wird. Aus dieser Vorgehensweise lassen sich dann auch Vorschläge zur Schadensvermeidung ableiten.

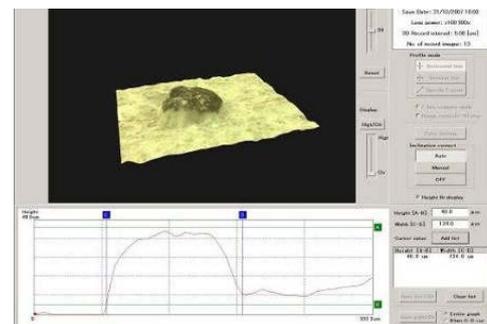
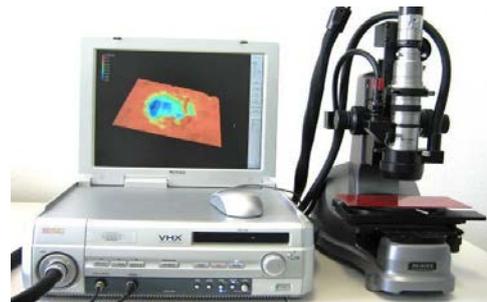
Die mikroskopischen und chemischen Verfahren dienen meist zur Identifizierung des Fehler- bzw. Schadensbildes und können bereits Hinweise auf die verursachende Prozessstufe liefern. Meist ist jedoch eine Kombination mit chemischen und physikalischen Prüfmethoden, mit spezifischen Empfindlichkeiten im Bulk und/oder in der obersten Schicht mit wenigen Moleküllagen notwendig (Oberflächenanalytik), um die oftmals komplexen Ursachen zu entschlüsseln und auf solider Basis Lösungsansätze zu erarbeiten.

Mikroskopische Verfahren

3D-Darstellung und Messung von Lackierfehlern mit dem Digitalmikroskop^{2,5}

Prüfgerät: Mobiles Digitalmikroskop mit bis zu 5000-facher Vergrößerung
 Zeiss Universalmikroskop
 Zeiss Axioscop 7
 Olympus BX61
 Wild Makroskop M400
 Keyence Digitalmikroskope

Auswertung: Lackfilmfehlerart, -form, -größe, -anzahl und -verteilung



Identifizierung und Ausmessung von Lackierfehlern mit dem USB-Digitalmikroskop für den mobilen Einsatz^{2, 5}

Prüfgerät: Digitalmikroskop mit LED-Ringlicht bis zu 250-facher Vergrößerung

Auswertung: Lackfilmfehlerart, -form, -größe, -anzahl und -verteilung



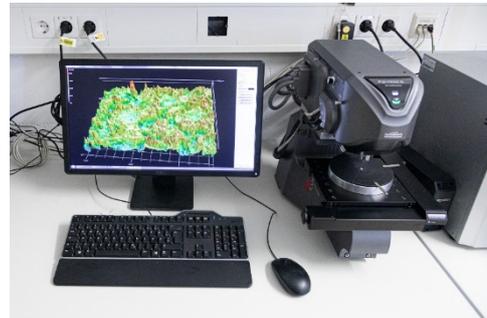
Berührungslose Erfassung der Oberflächenrauheit und der Oberflächentopographie mittels der Laser-Scanning-Mikroskopie.

Mithilfe der LSM werden durch die Kombination von Farbbild und hochaufgelöster Laser-Topographiemessung ein hochdetailliertes 3D-Abbild des Messobjekts erzeugt⁴

Prüfnormen: DIN EN ISO 4287, DIN EN ISO 4288, DIN EN ISO 13565, DIN EN ISO 8503-4

Prüfgerät: Keyence VK-X250/X150

Auswertung: 3D-Oberflächencharakterisierung, Rauheitskenngrößen für 1D: R_a , R_z , R_{max} ; Rauheitskenngrößen für 2D: SR_a , SR_z , SR_{max}



Vergrößerte Darstellung von Lackierfehlern mit dem Rasterelektronenmikroskop (REM); Bestimmung des Fehlerortes und Elementanalyse mit EDX-Mapping²

Prüfgerät: REM Helios Nano-Lab

Auswertung: Lackfilmfehlerart, -form, Ort an der Oberfläche oder in der Schicht (bei Untersuchung von Querschnitten)



Mechanische Abtastung der Oberflächenrauheit mit dem Labor-Tastschnittprofilometer^{2,5,6}

Prüfnormen: DIN EN ISO 4287, DIN EN ISO 4288, DIN EN ISO 13565, DIN EN ISO 8503-4, DIN EN ISO 11562

Prüfgerät: Tastschnitt-Messsystem Perthometer S2

Auswertung: Rauheitskenngrößen R_a , R_z , R_{max}
Wellentiefe W_t
Welligkeitskenngrößen W_a bis W_e



Mikroskopische Untersuchung von Lackierfehlern nach Schichtabtrag mit dem Mikrotomschnitt-Verfahren und anschließende Analyse der Filmabschnitte und freigelegten Oberflächen^{1,2}

Prüfgeräte: Mehrere Mikrotomschnittgeräte, Durchlichtmikroskop-/ Auflichtmikroskop und IR und REM-EDX

Auswertung: Lackfilmfehlerart, -form, -größe, -ort in der Schicht



Analyse von Lackoberflächen und Beschichtungen mit der Infrarotmikroskopie¹

Prüfgerät: Spotlight 200

Methode: Reflexion, Mikro-ATR, single point, multiple points, area map

Auswertung: Analyse des IR-Spektrums der Fehlstellen durch Zuordnung der Absorptionsbanden

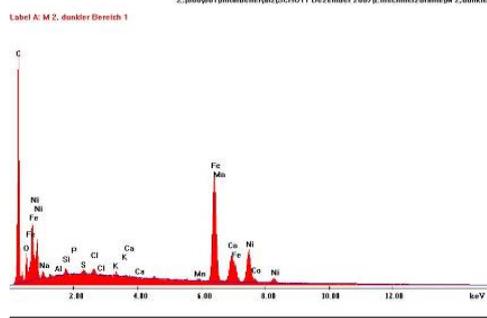
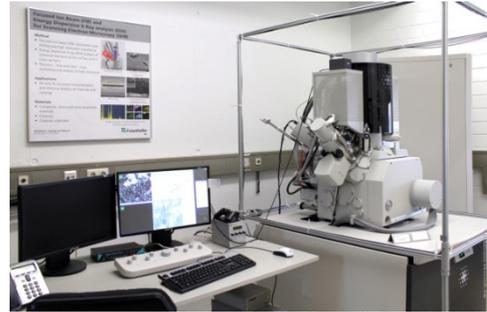


Chemische Analyse

Elementzusammensetzung und Elementverteilung der Oberfläche mittels energiedispersiver Röntgenanalyse (EDX)²

Prüfgerät: Rasterelektronenmikroskop mit EDX-Analysensystem (REM/EDX)

Auswertung: Element-Gew. [%]
Atom-Gew. [%]



Infrarotspektroskopie

Bestimmung organischer Oberflächenrückstände wie Öle, Fette, Silikone etc. mittels Infrarotspektroskopie (IR)^{1,6}

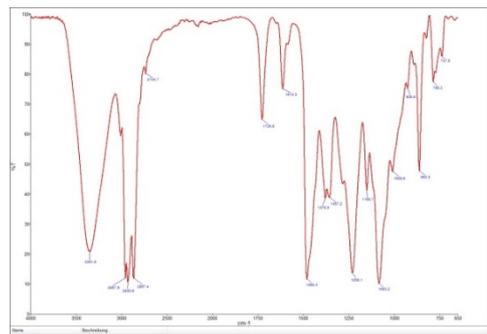
Prüfgerät: FTIR-Spektrometer / NIR mit ATR-Einheit

Methode: Messung im nahen (NIR) und mittleren (MIR) Infrarotbereich

ATR, Transmission, Mikrodiamant-Messzelle, Gasmesszelle

Auswertung: Infrarotspektrum

Transmission T [%] / Wellenzahl ν [cm^{-1}]



Qualitative und quantitative Bestimmung von Anionen, Tensiden, Komplexbildnern, Carbonsäuren, Alkali- und Erdalkalimetalle¹

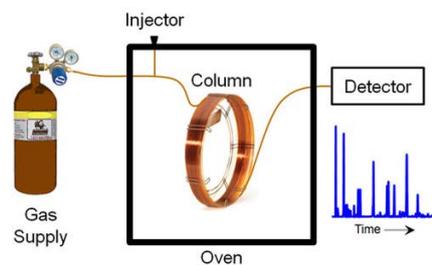
Prüfgerät: Ionenchromatograph (IC)

Auswertung: Gehalt [μg] [mg]

Qualitative und quantitative Bestimmung von flüchtigen organischen Substanzen aus Lacken, Beschichtungen u.a. Materialien mittels Gaschromatographie mit Massenspektrometrie (GC-MS)¹

Prüfgerät: Gaschromatograph (GC) gekoppelt mit Massenspektrometrie (MS)

Auswertung: Chromatogramm
Substanzart und -menge



Chemische Identifizierung unbekannter Substanzen mittels Massenspektrometrie (MS)¹

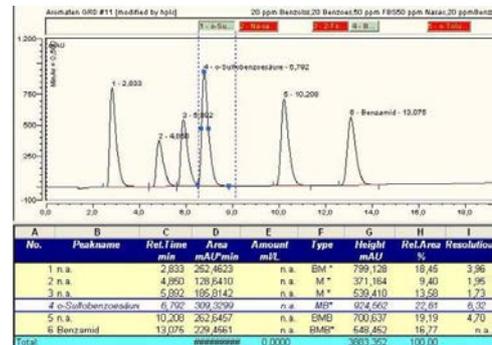
Prüfgerät: Massenspektrometer (MS)

Auswertung: Massenspektrum, chemische Identifizierung von Fehlstellen, Substanzen, Einschlüssen, Kraterflächen, Stippen

Qualitative und quantitative Bestimmung von gelösten organischen Substanzen¹

Prüfgerät: Hochdruckflüssigkeits-Chromatograph (HPLC)

Auswertung: Elutionsspektrum; quantitative Bestimmung löslicher organischer Substanzen, z.B. Weichmacher



Röntgenfluoreszenzanalyse (RFA)⁵

Qualitative und quantitative Bestimmung der Schichtzusammensetzung in Feststoffen und in Lösungen, Bestimmung der Schichtdicke, RoHS-Messungen in Kunststoffen, Leiterplatten, Metallen. Punktuelle Untersuchung von Oberflächen

Prüfgerät: Röntgenfluoreszenzspektrometer (RFA)

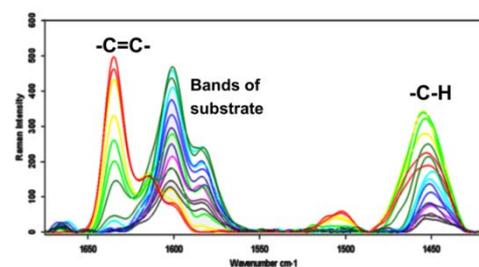
Auswertung: RFA-Spektrum

Konfokale Ramanspektroskopie²

Verfahren zur Bestimmung der tiefenaufgelösten chemischen Zusammensetzung funktioneller Gruppen und Moleküle, z.B. Vernetzungsgrad von UV-Klarlacken, Anreicherung von Additiven in Grenzschichten

Prüfgerät: Konfokales Ramanspektrometer
 Laseranregung mit 785 nm (100 mW)
 CCD – Detektor; Motorisierter X-Y-Z – Tisch
 Mikroskopmodul

Auswertung: Ramanspektrum



Elementaranalyse¹

Bestimmung der Elemente Kohlenstoff (C), Wasserstoff (H), Sauerstoff (O), Stickstoff (N) und Schwefel (S) zur chemischen Identifizierung von Materialien

Prüfgerät: Elementaranalysator

Auswertung: Angabe der prozentualen Massenanteile des jeweiligen Elements in der Probe [%]



Elektronenspektroskopie für die chemische Analyse (ESCA) bzw. Photoelektronen-Spektroskopie (XPS)¹

Oberflächenanalytisches Verfahren zur Bestimmung der Elementzusammensetzung und des Oxidationszustandes der Elemente von anorganischen und organischen Materialien an Oberflächen (oberste Atomlagen)

Prüfgerät: Elektronenspektroskop zur Chemischen Analyse (ESCA)

Auswertung: ESCA-Spektrum nach Elementen und Oxidationsstufe

ToF-SIMS² (time-of-flight-Sekundärionenmassen-Spektroskopie) zur chemischen Analyse von Oberflächenkontaminationen, z.B. bei Kratern

Prüfgerät: ToF-SIMS

Aufschluss von schwerlöslichen Verbindungen und mikrowellenbeschleunigte Lösemittel-Extraktion (MASE) mit Hilfe von Druck und Mikrowellenaufheizung¹

Prüfgerät: Mikrowellendruckaufschluss-Gerät
Discover SP-D

Methode: Druck und Mikrowellenaufheizung



Bestimmung der Formaldehyd-Emission einer Probe auf Basis der Hantzsch-Reaktion¹

Prüfmittel: Spektralphotometer, Prüflösung

Auswertung: Formaldehyd-Emission der Probe



Physikalische Prüfmethoden

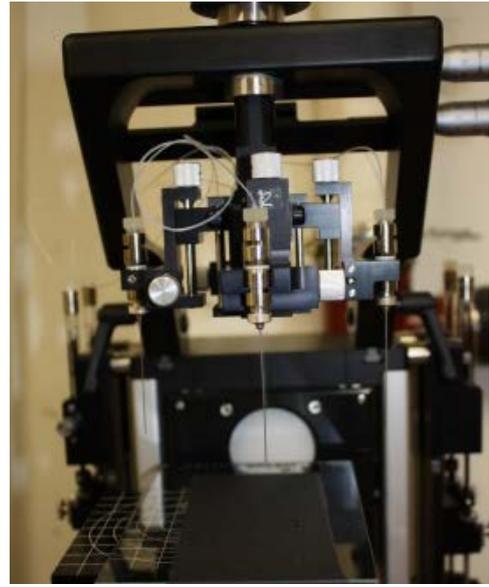
Bestimmung der Benetzung von Oberflächen mittels Kontaktwinkel-Methode^{1,2}

Prüfnorm: DIN EN 828

Prüfgerät: Optisches Kontaktwinkelmessgerät, OCA 40/Micro

Methode: Sessile drop; 2 - 4 Prüfflüssigkeiten bekannter Oberflächenspannung

Auswertung: Bestimmung der Gesamtoberflächenenergie sowie der polaren und dispersen Anteile in [mN/m]



Koronabehandlung zur Verbesserung der Haftung von Beschichtungen auf Kunststoffen¹

Prüfgerät: Arcotec-HF-Corona-Behandlungsanlage mit Handroller

Methode: Durch die Hochspannung aktivierte Moleküle und Atome in der Entladungszone werden auf den (unpolaren) Kunststoffen polare Oberflächen erzeugt. Dies führt zu einer höheren Oberflächenenergie und damit zu einer besseren Benetzung von Lacken.



Bestimmung der Oberflächenenergie mittels des Benetzungsverhalten verschiedener Testflüssigkeiten^{2,5} (Union Carbide Methode)

Prüfmittel: Testtinten, Teststifte

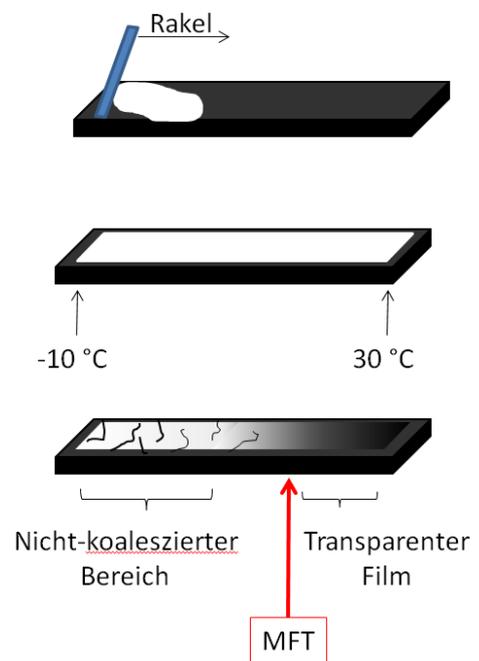
Auswertung: Oberflächenspannung/-energie [mN/m]



Messung der Mindestfilmbildetemperatur (MFT) von Dispersionslacken, Dispersionsfarben und wasserverdünnbaren Bindemittel-Dispersionen²

Prüfgerät: Temperatur-Gradienten-Prüfgerät, Thermo-Kryostat

Auswertung: Mindestfilmbildetemperatur (MFT) T [°C]



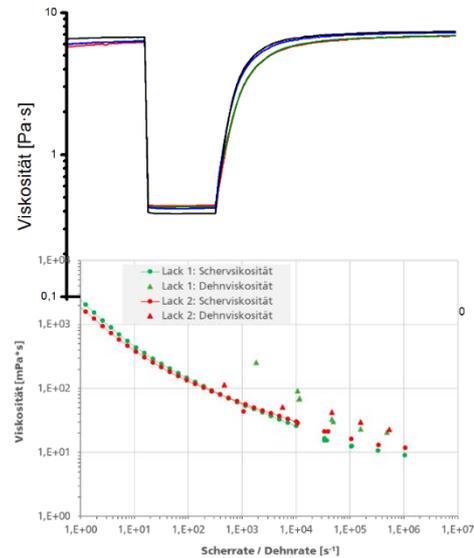
Bestimmung rheologischer Eigenschaften von Lacken und anderen flüssigen Medien, Bestimmung der Langzeitstabilität von Dispersionen^{1,2,6}

Bestimmung der Viskosität mittels Rotations- und Kapillarviskosimetrie

Prüfgeräte: Rotationsviskosimeter, Scherratenbereich bis 10^4 s^{-1} , Hochdruck-Doppelkapillar-Rheometer, Scherratenbereich bis 10^6 s^{-1}

Methode: Rotations- und Oszillationsmodus; Sprung-Versuche; Hochdruckkapillarmessungen

Auswertung: Viskosität, Fließgrenze, Speicher- und Verlustmodul (G' und G''), Dehnviskosität, etc.



Bestimmung der thermomechanischen Eigenschaften von organischen Beschichtungen, Kunststoffen (dynamisch-mechanische Analyse)¹

Prüfnorm: DIN EN ISO 6721-1

Prüfgeräte: DMA424C DMA 7e
Kraftbereich: bis 16 N;
Eplexor Kraftbereich: bis 150 N

Methoden: Zug-, Druck-Belastung, 3-Punkt-Biegung, Dual-Cantilever, Single-Cantilever, Scherung, Penetration

Auswertung: Speicher- und Verlustmodul, Verlustwinkel $\tan \delta$, Glasübergangstemperatur T_g



Beständigkeit gegen Chemikalien

Einwirkung von Prüfchemikalien auf die Beschichtung nach definierter Zeit und Temperatur ^{2,5}

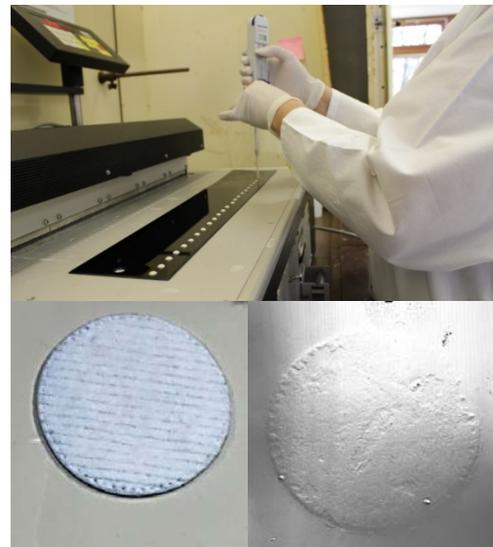
Prüfnormen: DIN EN ISO 2812-1,-2,-3,-4, -5, VDA 621-412, Automobil-Werksnormen (z.B. MBN 10494-7, TL 211)

Prüfmittel: Laborglasware, Abdichtmasse, Wärmeschrank, Mechanische Einkanalpipette (Eppendorf); Gradientenofen

Methoden: Einwirkung von Prüfchemikalien bei konstanter Temperatur (Tropfen, Tauchen, getränktes Pad,..) und Bewertung der Schädigung, Beständigkeit gegenüber Graffiti und Graffiti-Entfernungsmittel

Bestimmung des Einflusses der Temperatur auf die Chemikalienbeständigkeit: Gradientenofen

Auswertung: Visuelle Beurteilung, Kratzprobe, Gitterschnitt-Kennwert nach DIN EN ISO 2409

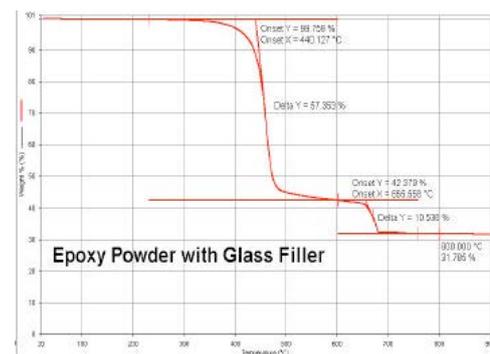


Thermogravimetrie

Charakterisierung und Identifikation von Beschichtungen, Polymeren und anderen Materialien und –veränderungen mit der Thermogravimetrie (TGA)¹

Prüfgerät: Thermowaage Pyris 1 TGA , STA 449 F3 Jupiter

Auswertung: Bestimmung temperaturabhängiger Massenänderungen aufgrund von Veränderungen, wie z.B. Verdampfung, Zersetzungen (Oxidation/Reduktion)



Mehrwinkelfarbmessung^{2,4} zur Bestimmung von Farbtonabweichungen

Prüfgerät: Farbmessgerät Byk-mac (Byk-Gardner), 5-Winkel: 15°, 25°, 45°, 75°, 110°; zusätzliche Farbmessung „hinter dem Glanz“ zur Beurteilung des Farbflops bei Interferenzpigmenten bei -15°; Glitzer- und Körnigkeitsbeurteilung: Beurteilung des Gesamtfarbeindrucks von Effektlacken; spektrale Auflösung 10nm im Bereich 400-700 nm

Auswertung: $L^*a^*b^*$, $\Delta L + \Delta a^* \Delta b^*$, $L^*C^*h^\circ$, $\Delta L^* \Delta C^* \Delta H^*$, $\Delta E_{L^*a^*b^*}$, ΔE_{cmc} , Flop Index, Glitzer- und Körnigkeitsbeurteilung



Berührungslose Farbmessung²

Prüfgerät: Rechnergesteuertes Teleflash-Farbmessgerät

Auswertung: ΔL und ΔE -Werte (mehrwinklig), gegen Schwarz/Weiß-Standard



Glanzmessung^{2,4,5}

Bestimmung des Reflektometerwertes von Beschichtungen

Prüfnorm: DIN EN ISO 2813

Prüfgerät: Glanzmessgerät Micro-Tri-Gloss

Auswertung: Glanzgrad bei 20°, 60°- und 85°-Messwinkel



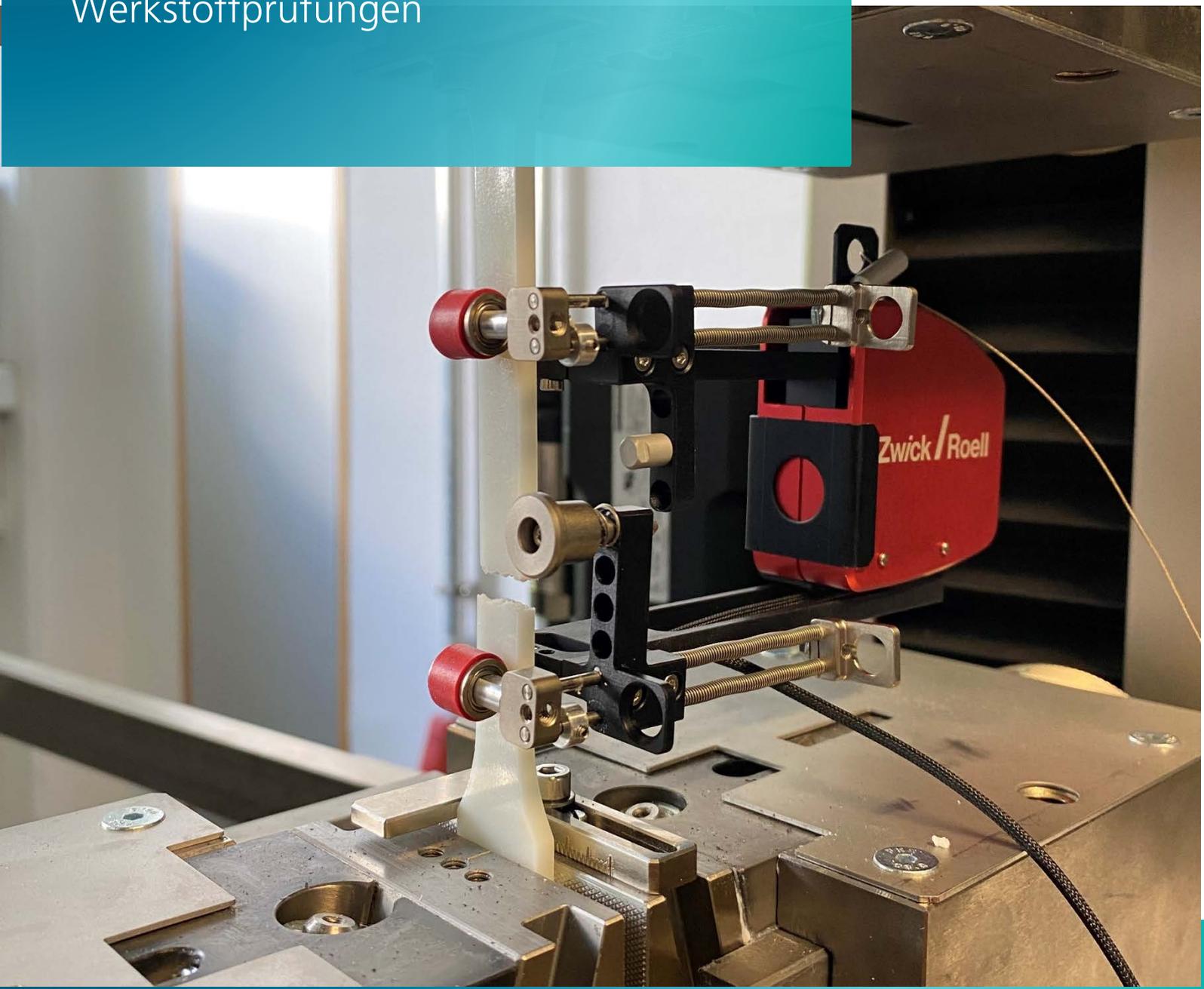
Verfahren zur Bestimmung der dynamischen Oberflächenspannung von Flüssigkeiten²

Prüfgerät: Blasendruck-Tensiometer

Auswertung: Oberflächenspannung σ [mN/m], [dyn/cm]



Werkstoffprüfungen



Bestimmung der Zugeigenschaften von Beschichtungen und freien Filmen mit der Zugprüfmaschine⁵

Prüfnormen: DIN EN ISO 527-1/-2

Prüfgerät: Zugprüfmaschine Z050 mit Extensometer

Auswertung: Zugmodul E_t [MPa]

Streckspannung σ_y [MPa]

Streckdehnung ϵ_y [%]

Bruchspannung σ_b [MPa]

Bruchdehnung ϵ_b [%]



Bestimmung der Charpy-Schlageigenschaften mit dem Pendelschlagwerk⁵

Prüfnormen: DIN EN ISO 179-1

Prüfgerät: Pendelschlagwerk HIT5.5P

Auswertung: Charpy-Schlagzähigkeit a_{CU} [kJ/m²]

Charpy-Kerbschlagzähigkeit a_{cN} [kJ/m²]



Bestimmung der Dichte mit dem Eintauchverfahren⁵

Prüfnormen: DIN EN ISO 1183-1

Prüfgerät: Analysenwaage mit Dichtebestimmungsset

Auswertung: Dichte ρ [kg/m³]



Bestimmung der Asche durch direktes Glühen⁵

Prüfnormen: DIN EN ISO 3451-1 Verfahren A

Prüfgerät: Hochtemperaturofen und Analysenwaage

Auswertung: Aschegehalt A% [%-Massenanteil]



Bestimmung des Brennverhaltens von Werkstoffen der Kraftfahrzeug-innenausstattung⁵

Prüfnormen: DIN 75200, FMVSS 302, DBL 5307

Prüfgerät: Brennkammer BKF der Firma Karg Industrietechnik

Auswertung: Ermittlung der Brenndauer von thermoplastischen Werkstoffen



Belichtungs- und Bewitterungsprüfgerät⁵

Heißlichtalterung

Prüfverfahren zur Bestimmung der Widerstandsfähigkeit der Farbe und des Alterungsverhaltens eines Substrates gegen die gleichzeitige Einwirkung von künstlichen Licht und Wärme

Prüfnormen: DIN EN 20105-A02; DIN EN ISO 105 B06

Prüfgerät: Xenotest 440

Auswertung: Farblichkeit mittels Farbmessung oder Graumaßstab



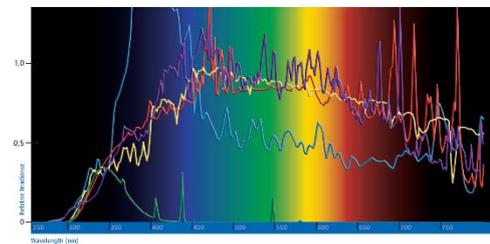
Xenotest⁵

Künstliches Bewittern der Proben mit einer gefilterten Xenonbogenstrahlung (Xenon-Test, WOM-Test)²

Prüfnorm: DIN EN ISO 16474-1/16474-2, CAM 180, SAE J 1960, VW PV 3929, VW PV 3930, ASTM G 155, DIN ISO 4892-2, VDA 621-430

Prüfgerät: Xenotest, Beta LM, Weather-o-meter Ci 4000; Xenotest 440 (Atlas)

Auswertung: Farbänderung ΔE , Vergilbung Δb , Glanzänderung, Rissbildung



Geruchsprüfung⁵

Lagerung der Proben in einem geschlossenen Gefäß unter definierten Bedingungen. Nach der Lagerung wird die auftretende Geruchsentwicklung beurteilt.⁵

Prüfnormen: VDA 270, Automobil-Werksnormen: DBL 5430, PV 3900

Prüfmittel: Glasbehälter mit Deckel (Leifheit Einkochglas), Temperaturmessgerät mit Luftfühler, Wärmeschrank

Auswertung: Geruchsnote gemäß einer Bewertungsskala

Probe

Becher

Wasser



Kontakte / Ansprechpartner

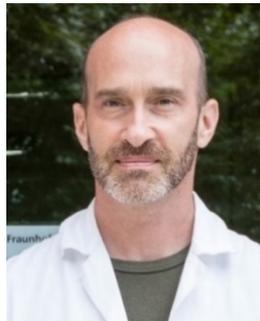
Bei den Prüfmethoden sind jeweils Indizes beigefügt, die eine Zuordnung zu den im Folgenden genannten Ansprechpersonen ermöglichen:



Dr. rer. nat. Michael Hilt
Wissenschaftlicher Direktor für
Oberflächen und Materialien
Telefon: +49 711 970-3820
Telefax: +49 711 970-3879
E-Mail: michael.hilt@ipa.fraunhofer.de



Dr. rer. nat. Norbert Pietschmann¹
Forschungsteamleitung
Analytik und Stoffprüfungen
Telefon: + 49 711 970-3831
Telefax: +49 711 970-3879
E-Mail:
norbert.pietschmann@ipa.fraunhofer.de



Dipl.-Ing. (FH) Markus Keuerleber¹
Stv. Forschungsteamleitung
Analytik und Stoffprüfungen
Telefon: +49 711 970-3828
Telefax: +49 711 970-3879
E-Mail:
markus.keuerleber@ipa.fraunhofer.de



Dr. rer. nat. Rolf Nothhelfer-Richter²
Senior Scientist
Analytik und Stoffprüfungen
Telefon: +49 711 970-3841
Telefax: +49 711 970-3879
E-Mail: rolf.nothhelfer-richter@ipa.fraunhofer.de



Dr. rer. nat. Christina Bauder²
Forschungsteamleitung
Lackchemische Anwendungstechnik

Telefon: +49 711 970-3869

Telefax: +49 711 970-3879

E-Mail:

christina.bauder@ipa.fraunhofer.de



Dr. rer. nat. Stefanie Wunder²
Stv. Forschungsteamleitung
Lackchemische Anwendungstechnik

Telefon: +49 711 970-3807

Telefax: +49 711 970-3879

E-Mail:

stefanie.wunder@ipa.fraunhofer.de



Dr. rer. nat. Matthias Wanner²
Projektleitung
Lackchemische Anwendungstechnik

Telefon: +49 711 970-3852

Telefax: +49 711 970-3879

E-Mail:

matthias.wanner@ipa.fraunhofer.de



Dr. rer. nat. Volker Wegmann⁵
Forschungsteamleitung
Prüftechnik und
Lackierprozessentwicklung
Beschichtungen

Telefon: +49 711 970-1753

Telefax: +49 711 970-3879

E-Mail:

volker.wegmann@ipa.fraunhofer.de



Dipl.-Ing. (FH) M. Hung Tran⁵
Stv. Forschungsteamleitung
Prüftechnik und
Lackierprozessentwicklung
Beschichtungen

Telefon: +49 711 970-1896

Telefax: +49 711 970-3879

E-Mail:

manh-hung.tran@ipa.fraunhofer.de



Dipl.-Ing. (FH) Dirk Michels⁵
Fachthemenleitung
Lackierprozessentwicklung

Telefon: +49 711 970-3733

Telefax: +49 711 970-3879

E-Mail:

dirk.michels@ipa.fraunhofer.de



Dr. rer. nat. Marc Entenmann⁴
Forschungsteamleitung
Pigmente und Dispergiertechnik
Telefon: + 49 711 970-3854
Telefax: +49 711 970-3879
E-Mail:
marc.entenmann@ipa.fraunhofer.de



Dipl.-Chem. Heinz Greisiger⁴
Stv. Forschungsteamleitung
Pigmente und Dispergiertechnik
Telefon: +49 711 970-3849
Telefax: +49 711 970-3879
E-Mail:
heinz.greisiger@ipa.fraunhofer.de



Dr. rer. nat. Oliver Tiedje⁶
Geschäftsbereichsleitung
Beschichtungen und
multifunktionale Materialien
Telefon: +49 711 970-1773
Telefax: +49 711 970-3879
E-Mail:
oliver.tiedje@ipa.fraunhofer.de



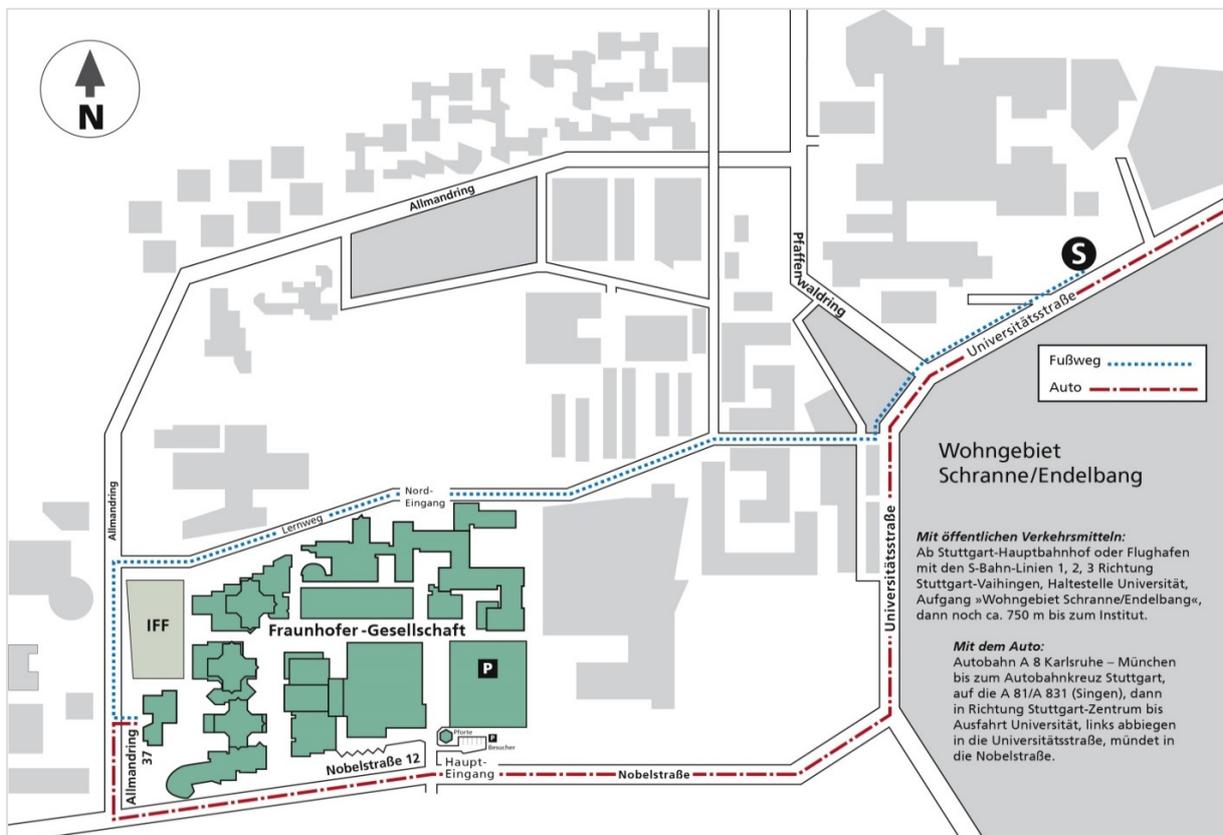
Dipl.-Ing. (FH) Markus Cudazzo⁷
Forschungsteamleitung
Pulverbeschichtungstechnik
Telefon: +49 711 970-1761
Telefax: +49 711 970-3879
E-Mail:
markus.cudazzo@ipa.fraunhofer.de

Anfahrt

Fraunhofer-Institut für Produktionstechnik und Automatisierung IPA
Abteilung Beschichtungssystem- und Lackiertechnik

Nobelstraße 12
70569 Stuttgart

Allmandring 37
70569 Stuttgart



Mit dem Auto

- Autobahn A 8 Karlsruhe - München bis zum Autobahnkreuz Stuttgart
- hier auf die A 81/A 831 (Singen), dann in Richtung Stuttgart-Zentrum bis Ausfahrt Universität
- dort links abbiegen in die Universitätsstraße, diese mündet in die Nobelstraße, am Allmandring rechts einbiegen

Mit dem Taxi

- Vom Flughafen zum Institutszentrum der Fraunhofer-Gesellschaft ca. 13 km
- Vom Hauptbahnhof zum Institutszentrum ca. 12 km

Mit öffentlichen Verkehrsmitteln

- Ab Stuttgart-Hauptbahnhof oder Flughafen mit den S-Bahn-Linien 1, 2, 3 in Richtung Vaihingen
- Haltestelle Universität
- Aufgang »Wohngebiet Schranne/ Endelbang«, dann noch ca. 800 m oder mit den Buslinien 92 oder 82/84 von der S-Bahn-Station aus (2 Stationen bis zur Nobelstraße) bis zum Institut