

Grundsätzliche Anforderungen an Oberflächenbehandlungen für Holz im Außenbau (Literaturübersicht)*

Von Jürgen Sell

Eidgenössische Materialprüfungs- und Versuchsanstalt (EMPA), Dübendorf/Schweiz

Zusammenfassung

Mit zunehmender Wetterbeanspruchung und mit steigenden Anforderungen an die Dimensionsstabilität von Holzaußenbauteilen müssen Oberflächenbehandlungen, ergänzend zu konstruktiven Maßnahmen, vermehrt folgende Schutzfunktionen ausüben: Verminderung des photochemischen Angriffs durch UV-Strahlung sowie der Holzfeuchteschwankungen und ggf. des Wärmestrahlungseinflusses; Beschränkung des Eindringens von Niederschlagswasser in das Holz. Dekorative Imprägnieranstrichmittel sollen eine dauerhafte Schimmelpilzwidrigkeit aufweisen. Unter bestimmten Voraussetzungen kann ferner eine fungizide Wirksamkeit des Anstrichmittels bzw. seines Grundierungsanteils gegen holzerstörende Pilze von Nutzen sein. Darüber hinaus sind anwendungstechnische Anforderungen, insbesondere hinsichtlich des Renovationsaufwandes, zu beachten.

Basic requirements for the surface treatment of exterior wood, a literature review

Summary

With increasing climatic exposure and rising requirements regarding the dimensional stability of wooden building parts, and in addition to the constructive design, surface treatments have to exert the following protective functions: reducing photolytic degradation by UV-radiation, decreasing the changes in wood moisture content and the influence of heat; limiting the penetration of liquid water into wood. Decorative impregnating paints should yield a long-lasting protection against mold. Under certain conditions, a fungicidal effectiveness of the paint or its primer may be useful. Beyond this, attention should be given to the requirements in practical application, such as the maintenance costs in particular.

Einleitung

Die Veränderungen der architektonischen Gestaltungsprinzipien während der letzten Jahrzehnte haben zu einer Verschärfung der Wetterbeanspruchung von Außenbauteilen geführt und den Umfang entsprechender Schäden im Hochbau erheblich ansteigen lassen. Deshalb ist eine Intensivierung von Forschungs- und Entwicklungsarbeiten auf dem Gebiete des Materialschutzes im allgemeinen Sinne und des Oberflächenschutzes im besonderen notwendig geworden. Bei Holzbauteilen gilt es vor allem, eine Befeuchtung mit tropfbarem Wasser und somit Vermorschungsschäden zu verhindern, die technische Funktionstüchtigkeit zu erhalten und ästhetisch unerwünschte Verwitterungserscheinungen zu beschränken. Im folgenden werden die maßgebenden Faktoren der Wetterbeanspruchung, die dementsprechend erforderlichen Schutzfunktionen der Außenbehandlungen sowie einige anwendungstechnische Anforderungen zusammenfassend dargestellt.

Schutz gegen Photolyse

Organische Werkstoffe werden durch Sonnenstrahlung, insbesondere des ultravioletten Bereichs, mehr oder minder intensiv angegriffen. Beim Holz führt die Einwirkung des UV-Lichtes zu einem Abbau des Lignins (offenbar beginnend bei den phenolischen Hydroxylgruppen) und bestimmter Holzpolyosen bis zu einer Tiefe von rd.

50 ... 100 µm. Die Photolyse ist u. a. durch ein Ansteigen des Methoxyl-Gehalts, des Säuregehalts und durch verminderte oder ausbleibende Farbreaktion der Zellwände mit Phloroglucin-HCl nachweisbar [Kalnins 1966; Kleinert 1970; Leary 1967; 1968; Sandermann, Schlumbom 1962; Webb, Sullivan 1964]. Die Abbauvorgänge zeigen sich äußerlich in einer Bräunung sowie an der Bildung makroskopischer bis mikroskopischer inter- und intrazellulärer Risse; sie führen außerdem zu einem Verlust der Festigkeit des oberflächennahen Zellverbandes. Ablaufendes Regenwasser laugt im weiteren Bewitterungsverlauf die braunen Abbauprodukte aus und erodiert die geschädigte Substanz. Infolge relativer Anreicherung der photochemisch resistenteren Cellulose wird daher die Holzoberfläche gebleicht (sofern keine Schimmelpilzbesiedelung eintritt) und wegen der unterschiedlichen Dichte und Festigkeit des Gewebes rauh strukturiert [Borgin 1971; Miniutti 1964; 1967; Sell, Leukens 1971a]. Der Erosionsprozeß schreitet allerdings recht langsam voran, da Holz im Vergleich zu manchen anderen organischen Materialien verhältnismäßig verwitterungsresistent ist: Langfristig kann bei einheimischem Nadelholz und intensiver Wetterbeanspruchung mit einer durchschnittlichen Abwitterung von 10⁻² mm/Jahr gerechnet werden [Kühne *et al.* 1972].

Derartige Verwitterungsvorgänge können folglich eher unter ästhetischen Gesichtspunkten beurteilt werden. Sie wirken sich direkt wenig auf das technologische Verhalten (etwa auf die Festigkeiten) des Holzes aus, so daß die Lichtschutzwirkung der Oberflächenbehandlungen — durch Strahlungsreflexion oder -absorption — in erster Linie aus dekorativen Gründen erforderlich ist. Darüber hinaus jedoch beeinflußt der durch Bestandteile des Anstrichs- oder Beschichtungsstoffes bewirkte Lichtschutz die Wetterbeständigkeit der Oberflächenbehandlung selbst, deren Bindemittel — trocknende Öle, Kunstharze auf der Basis von Alkyden, Polyurethanen, Polyester, Phenolharzen, Acryl-Latices, Polyvinylacetat-Dispersionen u. a. — ebenfalls einer mehr oder minder intensiven Photodegradation unterliegen [Gulbins *et al.* 1963; Hoffmann 1971; Kämpf *et al.* 1972; u. v. a.].

Trotz mancher Versuche, transparente Oberflächenbehandlungen mit farblosen UV-Absorbern zur Erhaltung des natürlichen Holzfarbtons und der ursprünglichen Oberflächenstruktur einzusetzen [Miller 1972; Ljuljka 1971; Schlumbom 1963; Tarkow *et al.* 1966], hat sich die Auffassung durchgesetzt, daß übliche Farbpigmente den langfristig wirksamsten Lichtschutz ausüben [Ashton 1967; 1969; Heebink 1970; Kühne *et al.* 1972; Uiterwaal, Blom 1972]. Selbst bei Verwendung verhältnismäßig dauerhafter transparenter Kunstharzlackierungen bleibt nämlich die Wetterbeständigkeit des

* Erweiterte Fassung eines Vortrages anläßlich der 9. Dreiländer-Holztagung in Berlin 1975

gesamten Systems Lack/Holz begrenzt, weil die durch den Lackfilm dringende Strahlung den Holzuntergrund allmählich angreift und schließlich der Lackfilm mitsamt anhaftenden, photochemisch angegriffenen Holzfasern bruchstückweise abblättert [Kühne *et al.* 1972; Miniutti 1967; Zichermann, Thomas 1972].

Eine Lichtschutzwirkung vermögen auch anorganische, in wäßriger Lösung aufgebraute Chromsalze auszuüben, die für sich allein oder ggf. zur Vorbehandlung vor wenig pigmentierten bis transparenten Anstrichen eingesetzt werden könnten [Black 1969; Black, Mraz 1974; Sell *et al.* 1974].

Verminderung des Wärmestrahlungseinflusses

Die asymmetrische Wärmeeinwirkung auf bewitterte Holzteile infolge Absorption von Globalstrahlung (thermisch wirksame direkte Sonnenstrahlung und diffuse Himmelsstrahlung) stellt einen maßgebenden Beanspruchungsfaktor dar: Mit zunehmender Strahlungsaufnahme der Bauteiloberfläche werden die tagsüber sich ausbildenden instationären Temperatur- und Dampfteildruckgradienten über dem Bauteilquerschnitt steiler und die kurzfristigen Temperatur- und Feuchtigkeitsschwankungen größer; ferner steigen die Bauteiltemperaturen und sinken demzufolge die Materialfeuchtigkeiten im langfristigen Durchschnitt [Institut f. Techn. Physik 1967; Seifert, Schmid 1970; Sell 1975]. Dunkelfarbige Oberflächenbehandlungen führen folglich zu einer Vergrößerung der Schwindbewegungen bzw. -spannungen und somit zu einer Verschärfung der komplexen Gesamtbeanspruchung des Systems Oberflächenbehandlung/Bauteil. Wenngleich realistischere hieraus keine Beschränkung der farblichen Gestaltungsmöglichkeiten abgeleitet werden kann, wird von verschiedener Seite zumindest eine entsprechende materialtechnische, baulich-gestalterische und konstruktive Berücksichtigung der intensiven Beanspruchung dunkelfarbig gestrichener Holzteile gefordert. Dies gilt vor allem für solche Elemente, an deren Dimensionsstabilität große Anforderungen gestellt werden [EMPA *et al.* 1975; Institut f. Fenstertechnik 1975].

Beschränkung der hygroskopischen Holzfeuchtigkeitsänderungen

In Abhängigkeit von den Schwankungen der Außenluftfeuchtigkeit sowie der Außenlufttemperatur und der

Strahlungswärme ändern sich der mittlere Feuchtigkeitsgehalt und die Feuchtigkeitsverteilung über dem Querschnitt wetterbeanspruchter Holzteile. Bei kurz- bis mittelfristigen (etwa tagesperiodischen bis mehrtägigen) Wechseln der bestimmenden Klimagrößen bleiben diese Vorgänge im Holz ausgeprägt instationär. Langfristig dagegen, d. h. gegenüber den jahreszeitlichen bis langjährigen Klimaschwankungen, werden Gleichgewichtszustände eher erreicht [Sell 1975]. Die maßgebenden Parameter des zeitlichen Holzfeuchtigkeitsverlaufs sollen an einem Beispiel erläutert werden: Eine statistische Auswertung der Ergebnisse von Bewitterungsuntersuchungen verschiedener Autoren [Kollmann *et al.* 1966; Leukens *et al.* 1973; Schulz *et al.* 1973] ergibt, daß die Holzfeuchtigkeit eines Fichtenbrettes im langfristigen Durchschnitt 14...16%, die Standardabweichung rd. 4% beträgt, und zwar bei folgenden Voraussetzungen: mitteleuropäischer Raum, exponiert gegen südliche bis westliche Richtungen (etwa als Fassadenbrett); Brettdicke rd. 20 mm; keine oder sehr diffusionsdurchlässige Oberflächenbehandlung. Mittelwert und Schwankung der Holzfeuchtigkeit ändern sich bei Änderung der Einflußfaktoren (Tab. 1).

Von diesen sind im allgemeinen die Eigenschaften der Oberflächenbehandlung am ehesten variierbar. Im Hinblick auf die Verminderung der Holzfeuchtigkeitschwankungen bzw. auf die Verbesserung der Dimensionsstabilität eines Holzbauteils ist daher der Feuchtigkeitsdurchlässigkeit des Anstrichs vorrangige Bedeutung zuzumessen. Bereits manche der sog. wenig filmbildenden Imprägnieranstriche mit Diffusionswiderständen von $\mu \cdot s \approx 0.5 \dots 1 \text{ m}$ (μ Diffusionswiderstandsfaktor; s Schichtdicke des Anstrichs) verzögern die Feuchtigkeitsaufnahme oder -abgabe zeitlich bzw. vermindern die Feuchtigkeitsschwankungen im Vergleich zum unbehandelten Holz bis auf etwa die Hälfte. 2- bis 3schichtige handelsübliche Kunstharzlackierungen ($\mu \cdot s \approx 2 \dots 3 \text{ m}$) reduzieren die Standardabweichung der langfristig gemessenen Holzfeuchtigkeit sogar bis auf rd. 10% des Wertes von unbehandeltem Holz [Böttcher 1975; Kollmann *et al.* 1966; Leukens *et al.* 1973; Teichgräber 1973].

Die durch die Beschränkung der Holzfeuchtigkeitschwankungen bzw. Schwind- und Quellungsbewegungen erzielte bessere Dimensionsstabilität wirkt sich günstig auf die Funktionstüchtigkeit des Bauteils und auf die Haltbarkeit der Oberflächenbehandlung aus, da der An-

Tabelle 1. Maßgebende Einflußfaktoren für den zeitlichen Verlauf der Holzfeuchtigkeit wetterbeanspruchter Bauteile

Parameteränderung (Zunahme)	Änderung der Holzfeuchtigkeit (langfristig)		Schrifttum
	Mittelwert	Schwankungsintensität	
Holzart			
Sorptionsträgheit	geringe Abnahme	Abnahme	Kollmann <i>et al.</i> [1966]
Wegsamkeit für tropfbares Wasser	bei ungeschützter Bewitterung: Zunahme	Zunahme	Böttcher [1975] Kollmann <i>et al.</i> [1966]
Querschnittsabmessung	geringe Abnahme	Abnahme	Kollmann <i>et al.</i> [1966]
Exposition			
Süden bis Westen → Norden bis Osten	Zunahme	geringe Abnahme	Böttcher [1975] Tibbetts, Robson [1971]
frei bewittert → strahlungs- und regengeschützt	Abnahme	Abnahme	Kollmann <i>et al.</i> [1966]
Oberflächenbehandlung			
Strahlungsabsorption	Abnahme	geringe Zunahme	Leukens <i>et al.</i> [1973] Sell [1975]
Diffusionswiderstand	keine Veränderung bis geringe Abnahme	Abnahme	Böttcher [1975] Kollmann <i>et al.</i> [1966] Leukens <i>et al.</i> [1973] Teichgräber [1973]

strichfilm mechanisch weniger beansprucht wird [Imamura 1973; Kühne *et al.* 1972; Miniutti 1967]. Einige Autoren wenden allerdings ein, daß verhältnismäßig diffusionsdichte Oberflächenbehandlungen — wie die heute zur Behandlung des Fensterholzes überwiegend eingesetzten Kunstharzlacke — die Austrocknung von Holzteilen zu sehr behindern, wenn diese über geöffnete Konstruktions- oder Kittfugen mit tropfbarem Wasser durchfeuchtet wurden; deshalb sollte der Diffusionswiderstand der Fenster-Außenanstriche verringert werden [Janotta 1973, 1974; Vermeulen *et al.* 1973; Villière 1969]. Jedoch erscheint der Spielraum für eine Verminderung des Diffusionswiderstandes von Außenanstrichen für Bauteile mit großen Anforderungen an die Dimensionsstabilität zu gering, als daß eine relevante Vergrößerung der Austrocknungsgeschwindigkeit durchnässten Holzes zu erzielen wäre [Sell 1973].

Schutz gegen tropfbares Wasser und Befall durch holzerstörende Pilze

Ein großer Anteil von Bauschäden an Holzaußenteilen (Anstrichmängel, Verformungen, Undichtigkeiten, Vermorschungen infolge Pilzbefalls u. a.) ist auf eine Holzdurchfeuchtung durch Niederschlagswasser zurückzuführen [Schild *et al.* 1973; Verrall 1966]. Das Wasser dringt meist über geöffnete Fugen, Dichtungsfälze, Schadstellen der Oberflächenbehandlung und ungeschützte Hirnholzflächen ein. Obgleich derartig kritische Stellen durch konstruktive und materialtechnische Maßnahmen vermieden oder zumindest negative Auswirkungen beschränkt werden können, läßt sich das Aufgehen von Fugen bei scharfen Beanspruchungsbedingungen langfristig nicht ohne weiteres ausschließen. Auch ein an sich noch intakter Lackfilm verliert meist seine Schutzwirkung, weil er die Bauteilbewegungen, insbesondere über Fugen, nicht aufzunehmen vermag und selbst reißt.

Es wurde deshalb vielfach vorgeschlagen, Holzbau- teile mit entsprechender Schadensgefährdung vor der eigentlichen Oberflächenbehandlung durch eine pilz- widrige und zugleich möglichst hydrophobierende Vorimprägnierung zu schützen. Obgleich solche im Anstrich- oder Spritzverfahren aufgetragene Pilzschutzmittel zwar keinen Tiefenschutz gegen holzerstörende Pilze gewähren, vermindern sie doch die Befallsgefahr erheblich [Becker, Starfinger 1971].

Über die Wirksamkeit solcher kombinierter Imprägniermittel sind im angelsächsischen Raum seit langem positive Erfahrungen gesammelt worden [Anderson 1963; Banks 1971; Browne 1949; Browne, Downs 1945; Ferrucci 1965; Harris, Mills 1970; Richardson 1963; Teesdale 1959; Verrall 1963; Winebrenner 1953]. So hat sich erwiesen, daß die Water repellent preservatives, die in der Regel aus Lösungen von Lackbindemittel (bis rd. 20 Gew.-%) mit geringem Zusatz von Paraffin und Fungiziden bestehen und beispielsweise durch Kurztauchen des fertigen Bauteils aufgebracht werden können, nicht nur die kapillare Eindringung des Wassers hemmen, sondern auch die Feuchtigkeitsschwankungen des Holzes verkleinern. Zudem verbessern sie die Filmbildung der folgenden Oberflächenbehandlung und wirken sich somit günstig auf die Dauerhaftigkeit des Systems Bauteil/ Oberflächenbehandlung aus. Selbst die besonders feuchtigkeitsempfindlichen Holzspanplatten lassen sich mit Behandlungssystemen auf der Basis hydrophobierender Vorimprägnierungen und wenig diffusionsdurchlässiger Endbeschichtungen gegen die Auswirkungen der Wetter-

beanspruchung recht wirksam schützen [Sell, Krebs 1975; Sell, Meierhofer 1974].

Trotz dieser Erfahrungen haben hydrophobierende Holzschutz- oder Anstrichmittel im deutschsprachigen Raum bislang kaum Anwendung gefunden, sondern werden oft ausdrücklich abgelehnt. Als wesentliche Nachteile werden die Beeinträchtigung der Adhäsion von Folgeanstrichen, Dichtungsmassen usw. auf derart vorbehandeltem Holz sowie die Trocknungsverzögerung der Anstrichstoffe selbst angesehen. Entsprechende Untersuchungen bestätigen diese Bedenken allerdings nicht, sofern die Konzentration des Hydrophobierungsmittels genügend klein (etwa $\leq 1\%$) gehalten wird [Anderson 1963; Banks 1971; Kyte 1970; Panek 1968].

Schimmelpilzwidrigkeit

Schon vor langem sind Zusammenhänge zwischen der Besiedelung wetterbeanspruchter Holzoberflächen durch dunkelfarbige Schimmelpilze und der Holzvergrauung erkannt worden [Möbius 1924; Schramm 1906]. Vor rd. 10 Jahren wurden Untersuchungen hierüber erneut aufgenommen; es erwies sich dabei, daß die Graufärbung natürlich bewitterten (beregneten und bestrahlten) Holzes in der Regel fast ausschließlich durch ein derartiges, dichtes Schimmelpilzwachstum verursacht wird, wohingegen nicht befallenes Holz im Verlauf der Bewitterung ausbleicht und schließlich nahezu weiß erscheint [Sell 1968; Sell, Leukens 1971a; Wälchli 1969].

Zudem wurde festgestellt, daß bestimmte Schimmelpilzarten — weitaus überwiegend die Art *Aureobasidium pullulans* — auch angestrichenes Holz befallen und den Anstrichfilm mechanisch, in seltenen Fällen enzymatisch anzugreifen vermögen [Berteaux 1968; Butin 1961, 1965; Duncan 1963; Myers 1971; Sell 1968]. Voraussetzung hierfür ist die gelegentliche Befeuchtung der Bauteiloberfläche mit tropfbarem Wasser (Niederschlag, Tau). Der Befall beschränkt sich allerdings im allgemeinen auf Holzoberflächen mit sehr dünn-schichtigen Behandlungen und transparenten Lacken, während die ökologischen Bedingungen auf pigmentierten Kunstharzanstrichen nur in Ausnahmefällen ein intensives Pilzwachstum ermöglichen. Zumeist wird davon ausgegangen, daß diese Schimmelpilze nicht in der Lage sind, Holzsubstanz und Anstrichbindemittel abzubauen; vielmehr stehen die Photolyse-Produkte des Lignins, bestimmter Holzpolyosen sowie ggf. öli-ger Anstrichbindemittel für ihre Ernährung zur Verfügung [Kühne *et al.* 1970; Sell, Leukens 1971a; Wälchli 1969]. Im übrigen muß auf eine repräsentative Wiedergabe des umfangreichen Schrifttums zu diesem Thema verzichtet und auf die zitierten Arbeiten verwiesen werden. Eine neuere Literaturübersicht über Arbeiten zum Schimmelpilzangriff von organischen Beschichtungsstoffen (mit rd. 700 Zitaten), unter besonderer Berücksichtigung amerikanischer Untersuchungen, ist vor kurzem veröffentlicht worden [Paint. Res. Inst. 1974].

Das Wachstum der Schimmelpilze bzw. die durch sie verursachten Anstrich- und Holzverfärbungen lassen sich durch einen konsequenten Schutz der Holzteile vor Niederschlagswasser oder durch fungizide Ausrüstungen der Anstrichmittel erzielen. An die Wetterbeständigkeit solcher Wirkstoffe sind naturgemäß hohe Anforderungen zu stellen. Trotz verschiedenenorts verschärfter toxikologischer Bestimmungen sind zur Zeit bereits einige Produkte mit recht guter Schimmelpilzwidrigkeit, Alterungsbeständigkeit und Anstrichverträglichkeit auf dem Markt [Sell, Wälchli 1974].

Anwendungstechnische Anforderungen

An Oberflächenbehandlungen für Holz im Außenbau stellt die Anwendungspraxis bestimmte Anforderungen, die in Bewitterungsuntersuchungen oftmals nicht genügend Beachtung finden. Insbesondere soll die Lebensdauer der Behandlungen dem derzeitigen Stand der Anstrichtechnik entsprechen. So kann von dekorativen Imprägnieranstrichmitteln auf Nadelholz auch unter scharfen Beanspruchungsverhältnissen (senkrechte Exposition gegen südliche bis westliche Richtungen) je nach Produkttyp eine Haltbarkeit (bis zur erstmalig erforderlichen Renovation) von rd. 3 bis 6 Jahren erwartet werden; filmbildende, deckend pigmentierte Anstrichmittel auf Kunstharzbasis erreichen unter den gleichen Bedingungen Haltbarkeiten von rd. 10 Jahren [Ashton 1969; Kühne *et al.* 1972; Sell, Leukens 1971b].

Nach lokaler oder großflächiger Abwitterung des Anstrichfilms sollen Renovationsarbeiten einen möglichst geringen Aufwand erfordern; dies ist beispielsweise bei lasierend pigmentierten Imprägnieranstrichen der Fall, die meist ohne weiteres überstrichen werden können. Transparente Behandlungen, insbesondere sog. Klarlacke, sind demgegenüber für Anwendungen mit intensiver Wetterbeanspruchung auch deshalb kaum geeignet, weil sie nach der verwitterungsbedingten Zerstörung aufwendige Instandsetzungsarbeiten erfordern, die im ungünstigen Verhältnis zu ihrer Lebensdauer stehen [Kühne *et al.* 1972]. Schließlich ist eine gute Verträglichkeit der Oberflächenbehandlungsstoffe mit anderen Bau- und Hilfsmaterialien (Dichtungsmassen, Klebstoffe u. a.) sowie eine problemlose Anwendung (ggf. auch bei Do-it-yourself-Arbeit) erforderlich.

Schlußbemerkung

Die Anforderungen an Außenbehandlungen sind, vor allem im Hinblick auf den Holzschutz wetterbeanspruchter Bauteile, stets im Zusammenhang mit den notwendigen materialtechnischen und konstruktiven Maßnahmen zum Schutze der Funktionstüchtigkeit des Bauteils zu sehen [vgl. Entwurf der Neufassung DIN 68 800, Holzschutz im Hochbau]. Im übrigen ist zu beachten, daß die chemischen, physikalischen und biologischen Schutzfunktionen sowie die Anwendungseigenschaften der Oberflächenbehandlungen miteinander verknüpft sind. Sie sollten deshalb in der Regel als Einheit angesehen werden, da sich in diesem Fall der wirksamste Schutzeffekt gegenüber der komplexen Wetterbeanspruchung erzielen läßt.

Schrifttum

- Anderson, L.O. 1963. Water repellents improve performance of drop siding. U. S. Forest Service res. paper FPL 4: 1—16
- Ashton, H.E. 1967. Clear finishes for exterior wood — field exposure tests. J. Paint Technol. 39 (507): 212—224
- Ashton, H.E. 1969. Paint tests. Canad. Paint Finish. 43 (8): 43—48
- Banks, W.B. 1971. The role of water repellents in the protection of timber. Brit. Wood Preserv. Assoc. Annual Conv. 1—19
- Becker, G., Starfinger, K. 1971. Über die Reichweite der fungiziden und insektiziden Wirksamkeit Pigment-haltiger öliger Schutzmittel im Holz. Holz Roh-Werkstoff 29: 344—348
- Berteaux, J. 1968. Les microorganismes et la dégradation des peintures. Peint., Pigments, Vernis. 44: 740—753
- Black, J.M. 1969. Wood finishing: Experimental chromate finish. U. S. Forest Service res. note FPL-0134, 1—2
- Black, J.M., Mraz, E.A. 1974. Inorganic surface treatments for weather-resistant natural finishes. U. S. Forest Service res. paper FPL 232: 1—41
- Borgin, K. 1971. The mechanisms of the breakdown of the structure of wood due to environmental factors. J. Inst. Wood Sci. 5 (4): 26—30
- Böttcher, P. 1975. Zum Verhalten unterschiedlich feuchtedurchlässiger Anstriche auf einigen einheimischen Holzarten bei natürlicher Bewitterung. Holz Roh-Werkstoff 33: 116—120
- Browne, F.L. 1949. Water-repellent preservatives for wood. Architect. Rec. 103: 131—132, 174
- Browne, F.L., Downs, L.E. 1945. A survey of the properties of commercial water repellents and related products. U. S. Forest Service Rep. R 1495, 1—21
- Butin, H. 1961. Untersuchungen über die Entstehung von Bläue auf lackierten Oberflächen. Holz Roh-Werkstoff 19: 337—340
- Butin, H. 1965. Bläue an lackiertem Holz. Holz-Zbl. 91: 37—39
- Duncan, C.G. 1963. Role of microorganisms in weathering of wood and degradation of exterior finishes. Official Dig. 35: 1003—1012
- Eidg. Materialprüf. u. Versuchsanst. (EMPA), Schweiz. Zentralstelle Fenster- u. Fassadenbau (SZFF) 1975. Richtlinien zur Auswahl des Farbtones für Fenster. In Vorbereitung.
- Ferrucci, F.L. 1965. Some aspects of the effect of petroleum waxes on the performance of wood preservatives. Proc. Amer. Wood-Preserv. Assoc. Annual Meet. 97—108
- Gulbins, K. 1963. Untersuchung über die Einwirkung der verschiedenen Bewitterungseinflüsse auf Anstrichfilme-Teil A: Über die chemische Veränderung von Lackfilmen, insbesondere von Äthylcellulose, unter der Einwirkung von UV-Licht. Forsch. Ber. Nordrhein-Westf. Nr. 1208, Westdeutsch. Verlag Köln u. Opladen, 11—32
- Harris, J.M., Mills, P.E. 1970. Water repellent dip helps stabilize radiata pine sashes. New Zealand Forest Service Res. Leaflet No. 27, 1—2
- Heebink, T.B. 1970. Performance of exterior natural wood finishes in the pacific northwest. Forest Prod. J. 20 (3): 31—34
- Hoffmann, E. 1971. Weathering of paint films and development of accelerated tests. J. Paint Technol. 43 (563): 97—106
- Imamura, H. 1973. The internal stress in the paint film caused by swelling of the painted wood. J. Japan Wood Res. Soc. 19: 393—398
- Institut f. Fenstertechnik, Rosenheim. 1975. Anstrichgruppen für Holz in der Außenanwendung. Ausg. Febr. 1975
- Institut f. Techn. Physik/Stuttgart. 1967. Wärme- und feuchtigkeitstechnische Untersuchungen an vorgefertigten Außenwänden. Kurzber. Bauforsch. 8: 6
- Janotta, O. 1973. 1974. Die Wasserdampfdurchlässigkeit von Anstrichmitteln — 2. u. 3. Teil. Holzforsch. Holzverwert. 25: 35—38; 26: 10—18
- Kalnins, M.A. 1966. Surface characteristics of wood as they affect durability of finishes. Pt. II. Photochemical degradation of wood. U. S. Forest Service Res. Paper FPL 57, 23—60
- Kämpf, G., Papenroth, W., Holm, R. 1972. Beobachtung und Deutung der mikromorphologischen Abbauvorgänge bei der Bewitterung titandioxidpigmentierter Anstrichfilme. Farbe & Lack 78: 606—608
- Kleinert, Th. N. 1970. Physikalisch-chemische Holzveränderungen im Freien. Holzforsch. Holzverwert. 22: 21—24
- Kollmann, F., Schneider, A., Serrand, W. 1966. Untersuchungen über den Einfluß der Abmessungen und von Feuchtigkeitsschutzbehandlungen von Holzteilen auf die Geschwindigkeit der Feuchtigkeitsänderungen im Konstantklima und auf die Feuchtigkeitsschwankungen im natürlichen Wechselklima. Forsch. Ber. Nordrhein-Westf. Nr. 1647, Westdeutsch. Verlag Köln u. Opladen, 1—128
- Kühne, H., Leukens, U., Sell, J., Wälchli, O. 1970. Untersuchungen an bewitterten Holzoberflächen — I. Mitt.: Raster-elektronenmikroskopische Beobachtungen an Vergrauungspilzen. Holz Roh-Werkstoff 28: 223—229
- Kühne, H., Leukens, U., Sell, J., Wälchli, O. 1972. Freilandbewitterungsversuche an Holz und Außenanstrichen für Holz. Eidg. Materialprüf. u. Versuchsanst. Dübendorf/Schweiz, Ber. Nr. 198, 1—51
- Kyte, C.T. 1970. Overpainting of organic solvent preservative treated wood. Rep. Symp. Painting Wood Treated with a Preservative Water Repellent. Princes Risborough 1969. Timberlab. Paper No. 36, 7—12
- Leary, G.J. 1967. The yellowing of wood by light. Tappi 50: 17—19
- Leary, G.J. 1968. The yellowing of wood by light: Pt. II. Tappi 51: 257—260

- Leukens, U., Sell, J., Wälchli, O. 1973. Untersuchungen an bewitterten Holzoberflächen — 4. Mitt.: Versuche mit einem Imprägnieranstrich auf Basis der Madison-Formula. *Holz Roh-Werkstoff* 31: 45—51
- Ijuljka, B. 1971. Der Einfluß von Licht auf lackierte Holzoberflächen. *Holz Roh-Werkstoff* 29: 224—231
- Miller, E. R. 1972. The development of improved clear finishes. Paper pres. at ECE Timber Com. Symp., Genf
- Miniutti, V. P. 1964. Microscale changes in cell structure at softwood surfaces during weathering. *Forest Prod. J.* 14 (12): 571—576
- Miniutti, V. P. 1967. Microscopic observations of ultraviolet irradiated and weathered softwood surfaces and clear coatings. U. S. Forest Service res. paper FPL 74, 1—33
- Miniutti, V. P. 1973. Contraction in softwood surfaces during ultraviolet irradiation and weathering. *J. Paint Technol.* 45 (577): 27—34
- Möbius, M. 1924. Über graues und schwarzes Holz. *Ber. Dt. Botan. Ges.* 42: 341—344
- Myers, R. R. 1971. Mildew defacement of organic coatings (MIDOC). *J. Paint Technol.* 43 (558): 47—48
- Paint Research Institute of Fed. Soc. Coatings Technol. (Ed.) 1974. Mildew defacement of organic coatings. Philadelphia/USA. 1—132
- Panek, E. 1968. Study of paintability and cleanliness of wood pressure treated with water-repellent preservatives. *Proc. Amer. Wood-Preserv. Assoc. Annual Meet.* 178—186
- Richardson, B. A. 1963. Water repellents and timber stabilization. *News Sheet Brit. Wood Preserv. Assoc.* No. 29
- Sandermann, W., Schlumbom, F. 1962. Über die Wirkung gefilterten ultravioletten Lichtes auf Holz — 1. Mitt.: Photometrische und chromatographische Untersuchungen an Holzmehlen. *Holz Roh-Werkstoff* 20: 245—252
- Schild, E., Oswald, R., Rogier, D. 1973. Untersuchung über das Ausmaß und die Schwerpunkte der Bauschäden im Wohnungsbau. Rhein.-Westf. Tech. Hochsch. Aachen, Ber. PM-47, 1—11
- Schlumbom, F. 1963. Lichtschädigung und Lichtschutz von Holzoberflächen. *Mod. Holzverarb. Beilage Holz-Zbl.* 89: 153—156
- Schramm, W. H. 1906. Zur Holzvergilbung. Zum Vergrauen der Hölzer. *Jahresber. Vereinig. angew. Bot.* 4: 116—153
- Schulz, H., Böttcher, P., Neigenfind, W. 1973. Einfluß einiger Anstrichsysteme auf den Feuchtehaushalt natürlich bewitterter Holzproben. *Holz Roh-Werkstoff* 31: 132—137
- Seifert, E., Schmid, J. 1970. Temperaturverhalten von Holz und Holzwerkstoffen in Abhängigkeit von der Farbgebung. *Holz Roh-Werkstoff* 28: 178—182
- Sell, J. 1968. Untersuchungen über die Besiedelung von unbehandeltem und angestrichenem Holz durch Bläupilze. *Holz Roh-Werkstoff* 26: 215—222
- Sell, J. 1973. Über den Einfluß von Oberflächenbehandlungen auf Pilzschäden an Holz-Außenbauteilen. *SAH-Bull. (Schweiz. Arbeitsgem. Holzforsch.)* 1 (2): 3—8, 16
- Sell, J. 1975. Untersuchungen über physikalische Vorgänge in wetterbeanspruchtem Holz. *Veröffentl. in Vorbereitung.*
- Sell, J., Krebs, U. 1975. Untersuchungen an wetterbeanspruchten Holzspanplatten — 2. Mitt.: Feuchtigkeitsschutz durch Hydrophobierung und Beschichtung der Oberflächen. *Holz Roh-Werkstoff* 33: 215—221
- Sell, J., Leukens, U. 1971a. Untersuchungen an bewitterten Holzoberflächen — 2. Mitt.: Verwitterungserscheinungen an ungeschützten Hölzern. *Holz Roh-Werkstoff* 29: 23—31
- Sell, J., Leukens, U. 1971b. — 3. Mitt. Freiland-Bewitterungsversuche mit neueren Imprägnieranstrichen. *Holz Roh-Werkstoff* 29: 415—424
- Sell, J., Meierhofer, U. 1974. Untersuchungen an wetterbeanspruchten Holzspanplatten — 1. Mitt.: Freilandversuche mit oberflächenbehandelten Platten. *Holz Roh-Werkstoff* 32: 390—396
- Sell, J., Muster, W. J., Wälchli, O. 1974. Untersuchungen an bewitterten Holzoberflächen — 5. Mitt.: Die Schutzwirkung von Cr-Cu-B-Salzlösungen als Imprägnieranstrichmittel. *Holz Roh-Werkstoff* 32: 45—51
- Sell, J., Wälchli, O. 1974. Untersuchungen an bewitterten Holzoberflächen. — 6. Mitt.: Schimmelpilzwidrigkeit einiger fungizider Zusätze zu einem Imprägnieranstrich. *Holz Roh-Werkstoff* 32: 463—465
- Tarkow, H., Southerland, C. F., Seborg, R. M. 1966. Surface characteristics of wood as they affect durability of finishes. Pt. I: Surface stabilization. U. S. Forest Service res. paper FPL 57, 1—22
- Teesdale, L. V. 1959. Water-repellent preservatives reduced rain-caused paint blistering on wood siding. U. S. Forest Service FPL No. 1990, 1—4
- Teichgräber, R. 1973. Messung und Beurteilung der Wechselwirkung zwischen Anstrichsystemen, Holz und Witterungseinflüssen. *Holz Roh-Werkstoff* 31: 127—132
- Tibbetts, D. C., Robson, D. R. 1971. Moisture content of exposed painted wood panels. *Building Res. Note (DBR/NRC, Ottawa) No. 79*, 1—7
- Uiterwaal, D., Blom, C. W. 1972. The protection of wood with coating materials. Paper pres. at ECE Timber Com. Symp., Genf
- Vermeulen, J. R., Eikenaar, J. J., van der Leeuw, F. 1973. Zur Wasserdampfdurchlässigkeit transparenter Anstrichmittel auf Holz in Fassaden. *Holz-Zbl.* 99: 1753—1756
- Verrall, A. F. 1963. Water-repellent preservatives on exterior woodwork of buildings. *Forest Prod. J.* 13 (10): 460—462
- Verrall, A. F. 1966. Building decay associated with rain seepage. U. S. Forest Service Tech. Bull. No. 1356, 1—58
- Villière, A. 1969. Problèmes posés pour le choix d'une finition sur bois. *Trav. Peint.* 24: 134—141
- Wälchli, O. 1969. Über die außenklimatische und biologische Beanspruchung von unbehandelten und angestrichenen Holzoberflächen — 2. Teil: Biologische Aspekte. *Oberfläche-Surface* 10: 619—623
- Webb, D. A., Sullivan, J. D. 1964. Surface effect of light and water on wood. *Forest Prod. J.* 14 (11): 531—534
- Winebrenner, L. I. 1955. The place of water repellents in the preservative field. *Forest Prod. J.* 4: 146—149
- Zicherman, J. B., Thomas, R. J. 1972. Scanning electron microscopy of weathered coatings on wood. *J. Paint Technol.* 44 (570): 88—94