

Algen und Pilze an Fassaden im Blickwinkel der Forschung

Text und Bilder Michael Nay und Paul Raschle,
EMPA Mikrobiologie im Bauwesen

Bewuchs durch Algen und Pilze an wärme gedämmten Fassaden wird je länger, je mehr zu einem Problem für Immobilienbesitzer sowie für Hersteller und Anwender von Beschichtungen und Schutzmitteln. In den Fachzeitschriften finden sich Artikel zuhauf; von Einigkeit über die Ursachen oder die einzuleitenden Massnahmen kann aber keine Rede sein. Die einen nehmen das Problem als gottgegeben, die andern versuchen alles, um die unerwünschten Verzerrungen loszuwerden. Welche Organismen sind eigentlich beteiligt? Warum wachsen sie so gern an Fassaden? Und woran arbeiten Forschung und Entwicklung?

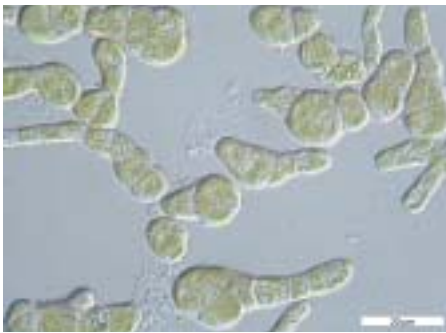


Abb. 1: Heterococcus crassulus als Beispiel einer fassadenbewohnenden Grünalge

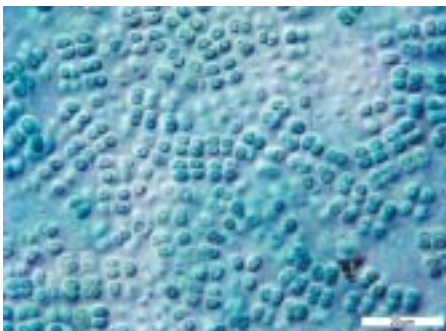


Abb. 2: Eucapsis alpina als Beispiel eines einfachen, fassadenbewohnenden Cyanobakteriums

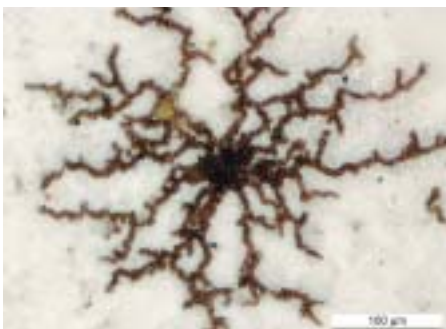


Abb. 3: Pilz, noch nicht bestimmt, auf mit Acryl-Dispersion beschichtetem Verputz

Störende Mikroorganismen treten als grüne, rote, graue, braune oder schwarze Verfärbungen auf. Um welche Organismen handelt es sich? Warum bereiten sie gerade der Bauindustrie so grosse Probleme?

Die Organismen

Grünalgen («echte» Algen; Bsp. Abb. 1) und Blaualgen («blaugrüne Algen», Cyanobakterien; Bsp. Abb. 2) sind stammesgeschichtlich sehr alt. Bereits vor rund 3,5 Milliarden Jahren erzeugten phototrophe Einzeller mit oxygener Photosynthese den ersten Sauerstoff (Fritsche 1998). Die meisten Algen leben in Meer, See oder Fluss; zahlreiche Vertreter finden sich aber auch an terrestrischen und aerophytischen Standorten: im Boden, an Baumrinden oder eben an Baustoffen. Neben moderatem Sonnenlicht als Energie- und dem allgegenwärtigen Kohlendioxid als Nahrungsquelle benötigen sie zum Wachsen nur noch eine relativ hohe Feuchtigkeit. Algen sind darum Pionierorganismen an extremen Standorten, zum Beispiel im ewigen Eis, auf jungen Vulkaninseln, in der Gezeitenzone, und Algen sind Humusbildner (Bittner 1972).

Pilze (Bsp. Abb. 3) sind im Prinzip «Abfallverwerter». Ihre Nahrung besteht aus einfachen bis komplexen organi-

schen Verbindungen, die sie, wie auch Bakterien, entweder aus dem Substrat, aus Stäuben oder aus abgestorbener Biomasse beziehen. Damit stellen diese Organismen in der Natur ein wichtiges Bindeglied zwischen organischer Materie und mineralischen Nährstoffen dar.

Wie kommen diese Organismen an Fassaden? Abhängig von Standort, Jahreszeit und Witterung enthält jeder Kubikmeter Luft mindestens Hunderte bis weit über 100 000 mikroskopischer Pilzsporen (Gubler et al. 1994), daneben Algen und Bakterien von der Grösse weniger tausendstel Millimeter sowie Stäube, Russe und andere Verunreinigungen. Dieses «Aeroplankton» wird mit dem Wind verbreitet. Sporen und andere Dauerformen können selbst unwirtliche Bedingungen über lange Zeiträume überstehen, weshalb Algen und Pilze nahezu alle Oberflächen besiedeln.

Wachstumsbedingungen

Wasser ist Grundlage jeglichen Lebens. Viele Pilze wachsen bereits ab einer relativen Luftfeuchtigkeit von etwa 70 bis 85 Prozent. Da Wachstum auf oder im Substrat stattfindet, ist aber auch die so genannte Gleichgewichtsfeuchte als Materialparameter wichtig, das heisst die Materialfeuchte, die sich bei einer bestimmten Luftfeuchtigkeit im Materi-



Abb. 4: Nördlich exponierte Fassade eines Wohnhauses: Die rechte Hausseite ist wärmegeklämmt (Wohnbereich); die Oberfläcbe ist mit einem vorwiegend Algen enthaltenden Biofilm bewachsen. Links im Bild sind die KÜchen und das Treppenhaus untergebracht; hier wurde auf Wärmeklämmtung verzichtet

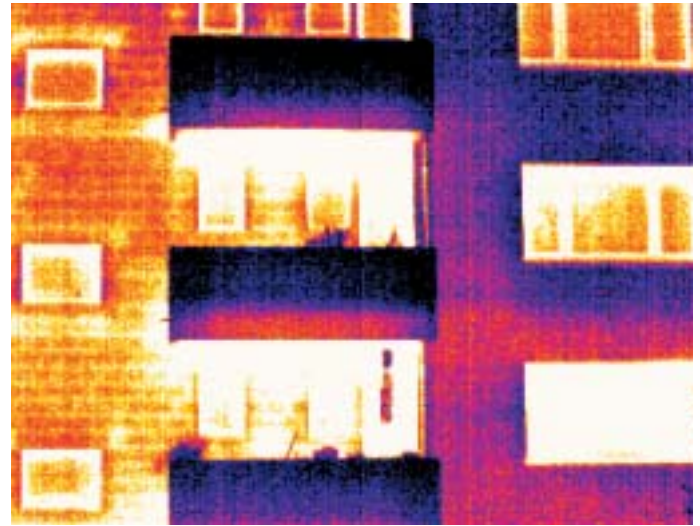


Abb. 5: Haus aus Abb. 4 nach einer wolkenlosen Nacht kurz vor Sonnenaufgang, fotografiert mit einer Infrarot-Kamera, die Temperaturen als Farben darstellt (schwarz: $-3\text{ }^{\circ}\text{C}$, weiss: $> +1\text{ }^{\circ}\text{C}$). Auf der linken Seite sind die Mauerfugen, erkennbar als helle Streifen, durchlässiger für Wärme im Vergleich zu den Mauersteinen. Rechts die so genannt «kalte Fassade»; auch die Balkonbrüstungen sind kalt und damit bewachsen

al einstellt. Algen brauchen Gleichgewichtsfeuchten ab 95 bis 98 Prozent; bei Bakterien liegen diese Werte oft noch höher.

An Fassaden finden sich, bedingt durch häufige Feuchtwechsel, fast ausschliesslich Biofilme (Abb. 4), also Vergesellschaftungen verschiedenster Mikroorganismen, die organisatorisch und physiologisch miteinander verflochten sind. Eine stabile Minimalfeuchte fördert eher die Entwicklung von Flechten, eine hohe Grundfeuchte begünstigt mit der Zeit vor allem Moose. Woher aber kommt die notwendige Feuchtigkeit ausgerechnet an gedämmten, und dort meist an nordöstlich bis nordwestlich exponierten Fassaden?

Eine Wärmeklämmtung soll die Abgabe von Innenraumwärme über die Gebäudeoberfläche verhindern, woraus «kalte Fassaden» resultieren (Abb. 4 und 5). Das Gebäude ist im Wohnbereich (rechts im Bild) wärmegeklämmt und dort mit einem deutlichen, mehr oder weniger flächendeckenden Biofilm (vor allem Algen) überzogen. Die ungedämmte Seite (links im Bild) mit KÜchen und Treppenhaus ist hingegen sauber. Das Infrarot-Foto zeigt störenden Bewuchs ausschliesslich an den kalten

Stellen (schwarz entspricht etwa $-3\text{ }^{\circ}\text{C}$ und tiefer, weiss etwa $+1\text{ }^{\circ}\text{C}$ und höher). Der Mechanismus: Aufgrund der Abstrahlung von Wärmeenergie gegen den klaren Nachthimmel kann die Fassade gegenüber der Umgebungsluft unter-

kühlen. Beim Unterschreiten des Taupunkts kondensiert Wasser aus der Luftfeuchtigkeit und kann in der kalten Jahreszeit – gerade an Nordfassaden – bis zu etwa 15 Stunden verbleiben (Blaich et al. 2000).



Abb. 6: Chalet in der Innerschweiz. An dieser Fassade sind keine flächigen, sondern nasenartige Wuchsbilder vorhanden. Es handelt sich um die von Schlagregen betroffene Wetterseite, deren oberer Teil noch von einem Vordach geschützt ist; daher beginnen die «Nasen» erst ab etwa 1,60 Meter Höhe

Ein anderes Schadensbild findet sich häufig an den Wetterseiten von Gebäuden (Abb. 6). Wo immer wieder Schlagregen die Fassaden durchnässt, bilden sich zunächst einzelne Algen- oder Pilzkolonien. Nach einer Vermehrungsphase kann der Regen daraus Zellen ablösen, die sich weiter unten wieder anheften. Mit der Zeit entstehen dadurch an den Stellen, an denen das Wasser immer wieder abläuft, die typischen so genannten «Läufer» oder «Nasen».

Warum findet sich Bewuchs vor allem auf Fassaden, die kaum oder nie von der Sonne beschienen werden, doch nur äusserst selten zum Beispiel auf Südseiten? Südlich exponierte

Oberflächen werden am Tag direkt von der Sonne beschienen, trocknen relativ schnell wieder ab und bieten damit nur selten gute Wachstumsbedingungen. Durch die Erwärmung auf im Sommer sicher 60 °C und mehr sterben viele Zellen ab. Direkte Sonneneinstrahlung zerstört ausserdem die Photosynthesepigmente vieler Algen; die optimale Beleuchtungsstärke für Wachstum liegt bei ungefähr 1000 Lux, was in unseren Breiten in etwa den Werten an nördlich exponierten Oberflächen entspricht.

Substrate und Schutzmittel

Noch immer ist die Fachwelt uneinig, ob Kunst-, Silikonharz- oder mineralische Beschichtungen die widerstandsfähige-

ren Produkte gegen Bewuchs sind. Dies ist eine der Fragen, die man gegenwärtig an der EMPA in Zusammenarbeit mit etwa 20 verschiedenen Herstellern untersucht. Ausserdem haben Fachleute schon immer betont, zunehmende Dämmstoffstärken verursachten mehr Schadensfälle. Darüber hinaus sind Reklamationen generell auf dem Land, an See-, Fluss-, Wald- und Nebellagen häufiger als im wärmeren Grossstadtklima.

Mögliche Kohlenstoffquellen sind auch in der Atmosphäre in Form von zum Beispiel Russ und Pollen vorhanden, die sich auch an Fassaden ablagern. Die Hersteller argumentieren, dass sie zwar das Produkt ausrüsten, nicht aber Wachstum von Mikroorganismen auf solchen Partikeln verhindern könnten. Ein gutes Schutzmittel sollte auch diesen Bewuchs unterbinden. Jedoch ist die Neu- und Weiterentwicklung wirkungsvoller Schutzmittel aufgrund der neuen EU-Biozid-Richtlinie und wegen der hohen Kosten bei der Zertifizierung nach Aussagen der Hersteller äusserst fraglich, und auch bewährte Schutzmittel werden vermutlich aus der Angebotspalette verschwinden.

Ebenfalls wichtig sind die Untergrundeigenschaften. Hier gilt: je weniger Struktur (vor allem nicht waagrecht, damit Wasser nicht stehen bleibt), umso weniger Bewuchs. Eine Zugabe von bis zu 12 Prozent Silikonharz zu einer guten Formulierung verringert den Bewuchs (Lork & Zeh 2002). Hydrophobierte Beschichtungen vermindern den Kontakt mit Wasser und damit Feuchtigkeit. Daneben sind geringe Wasseraufnahme sowie eine schnelle Wasserabgabe nach der Befuchtung oder Durchnässung gefragt. Die Einhaltung solcher Regeln führt

Forschung an der EMPA St. Gallen

In den letzten Jahren wurde an einem Forschungsprojekt im Rahmen der europäischen COST520-Action «Biofouling and Materials» (biogene Materialzerstörung an Oberflächen) sowie an einem von der Industrie gesponserten Projekt («Algen und Pilze an Fassaden»; Beständigkeit von Fassadenbeschichtungen gegen sichtbaren Bewuchs) gearbeitet. Im zweiten Projekt werden für etwa 20 industrielle Projektpartner rund 75 handelsübliche und in der Entwicklung befindliche Fassadenbeschichtungen in Feld und Labor auf ihre Anfälligkeit gegen sichtbaren Bewuchs untersucht. Daneben wurden 16 «Referenzprodukte» ohne Schutzmittel extra für dieses Projekt formuliert, die sich jeweils in nur einem Parameter voneinander unterscheiden, um den Einfluss einzelner Rohstoffe auf das Verhalten der fertigen Formulierung zu untersuchen. Weiterhin soll eine praxisnahe Methode zur Qualitätssicherung für die Hersteller entwickelt werden.

Ein Monitoring an modernen und historischen Bauwerken soll speziell an frisch sanierten modernen Fassaden die Entstehung und Entwicklung von Bewuchs dokumentieren. Ausserdem führt die EMPA Enzymtests an Pilzen durch, die immer wieder an Fassaden gefunden werden, um deren katabolische (red. Anm.: den Abbaustoffwechsel betreffende) Möglichkeiten zu erkennen und damit allenfalls wachstumsfördernde Rohstoffe von vornherein ausschliessen zu können.

Danksagungen

Die EMPA bedankt sich für die finanzielle Unterstützung der Projekte «Algen und Pilze an Fassaden» sowie «Biofouling and Materials» bei den industriellen Projektpartnern, der Schweizerischen Kommission für Innovation und Technologie (KTI), dem Bundesamt für Berufsbildung und Technologie sowie dem Bundesamt für Bildung und Wissenschaft.

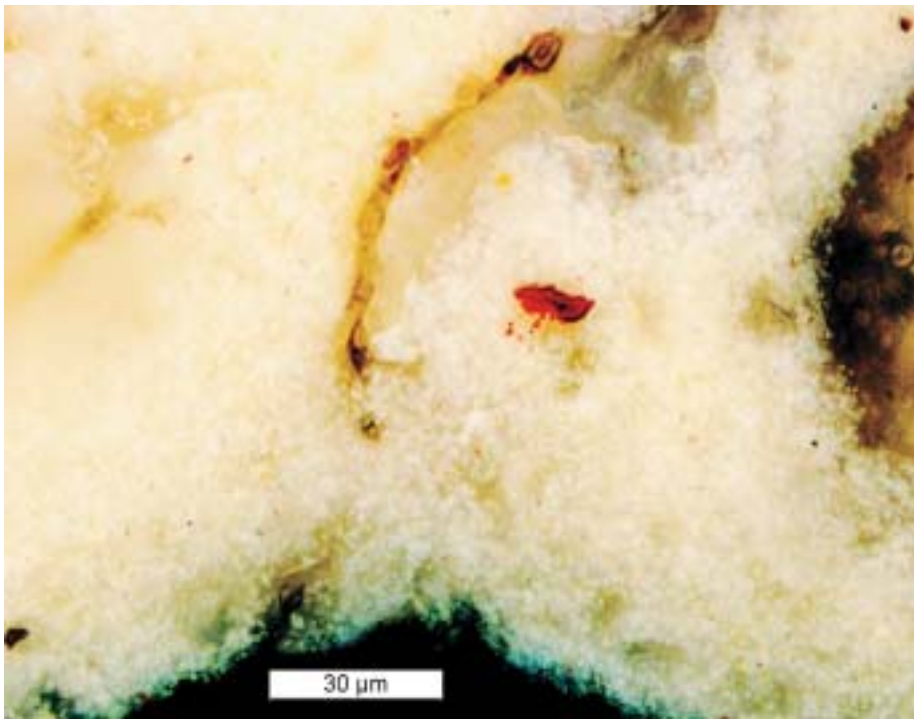


Abb. 7: Wachstum von Pilzhyphen in eine Beschichtung hinein (hier Eternit mit Einbrennlack). Die Pore ist wesentlich grösser als die Hyphe; die Struktur des bewachsenen Materials ist sehr ähnlich der gleich alten, aber zu Reservезwecken im Trocknen gelagerten Probe

mindestens zu einer Verzögerung des Wachstums.

Die heute geforderte biologische Abbaubarkeit von Schutzmitteln vermindert deren Wirkungsdauer. Die vor Jahrzehnten üblichen Schwermetalle und organischen Gifte hielten zwar die behandelten Flächen noch zig Jahre bewuchsfrei, reicherten sich aber in der Umwelt an, weshalb biologische Abbaubarkeit zur Prämisse erhoben wurde. Nun wissen wir, dass gewisse Chemikalien, zum Beispiel Harnstoffderivate, von Bakterien gerne dazu verwendet werden, ihren Stickstoffbedarf zu decken. Ist das Wirkstoffmolekül aber erst einmal «angeknabbert», dürfte es kaum noch schützen; vielleicht wird es dann sogar zu Nahrung? Ob Bakterien auf diese Weise Algen und Pilzen sogar Vorschub leisten, wurde unseres Wissens bisher noch nirgends untersucht.

Biogene Materialzerstörung

Zerstören Biofilme aus Algen und Pilzen moderne Baumaterialien, oder stellt Bewuchs nur ein ästhetisches Problem dar?

Generell spielen neben physikalischer Verwitterung (Sonne, Wasser, Temperatur) auch mikrobielle Prozesse

eine Rolle. Es ist aber schwierig, wenn nicht unmöglich, den Anteil eines einzelnen Einflusses im Feld nachzuweisen (Warscheid 1996). Bei vielen untersuchten Objekten zeigte biogene Materialzerstörung ihre Wirkung auch erst im Verlaufe von Jahrzehnten oder noch weiteren Zeiträumen (Warscheid 1990, Sterflinger 1995, Kaiser & Raschle 1996). An modernen Fassaden spielen mikrobielle Prozesse (abgesehen von zum Beispiel Salpetersäure produzierenden Bakterien in Beton) kaum eine zerstörerische Rolle.

Proben einiger stark befallener Praxisobjekte wurden intensiver untersucht. Bewuchs unterhalb der eigentlichen Materialoberfläche wurden nur selten gefunden; eine von sichtbarem Bewuchs ausgehende Zerstörung der Struktur wurde bisher in keinem Fall nachgewiesen. An wenigen Stellen wuchsen Pilzhyphen (Beispiel Abb. 7) oder Algen in das Material hinein, jedoch nur über bereits vorhandene Poren oder Risse. Primäre biogene Materialzerstörung ist daher innerhalb der Lebensdauer einer modernen Fassade nicht zu erwarten (Stalder 2002). Allerdings wurde das Gros der heutigen Wärmedämmsysteme erst in den letzten

zwei Jahrzehnten erstellt; die ältesten Systeme sind vor etwa 40 Jahren errichtet worden (Effinger 2002), so dass zur Beantwortung dieser Frage die Langzeit-Erfahrung noch fehlt. Jedoch sind Folgeschäden möglich: Dichte Biofilme verändern die Oberflächeneigenschaften, wie Wasserrückhaltevermögen und Temperaturregime, beträchtlich. So bewirken die ausgeschiedenen Schleime von Algen höhere Feuchtigkeit an der Fassade, die ohne Reinigung kaum je wieder richtig abtrocknen kann.

Strategien zur Verhinderung oder Verminderung von Bewuchs

Bewuchs auf Oberflächen ist immer ein Feuchteproblem. Deshalb muss die Feuchtigkeit vermindert werden. In den letzten Jahren wurde jedoch häufig unter dem Stichwort «moderne Architektur» eine Bauweise forciert, die kaum noch bauphysikalische Schutzmassnahmen oder konstruktiven Wetterschutz kennt. Selbst in feuchten Regionen sucht man an Häusern mit tief heruntergezogenem Dach oft vergeblich nach Bewuchs. Eine Fassade, die «den Himmel nicht sieht», strahlt ihre Energie nicht gegen den klaren Nachthimmel ab; Kondenswasser spielt dort kaum eine Rolle. Vordächer schützen vor Schlagregen und verschonen die Fassade damit von den typischen «Nasen».

Eine Sanierung sollte eine Hochdruckreinigung sowie eine Behandlung mit einem Algi-/Fungizid beinhalten, damit die Keime zu entfernt und abgetötet werden. Alternativ ist auch Wasserstoff-Peroxid (H_2O_2 , etwa 5-prozentig) zu empfehlen, quasi «aktiver Sauerstoff», der organisches Material, wie Algen- und Pilzzellen, oxidiert und üblicherweise keine Rückstände hinter-

lässt. Aufgrund der notwendigen Vor- und Schutzmassnahmen sollte dazu in jedem Fall ein Fachmann beauftragt werden. Ein entsprechendes Merkblatt kann an der EMPA bezogen werden.

Welche Produkte länger bewuchsfrei bleiben, ist unter Fachleuten umstritten. Die EMPA begleitet seit Oktober 2001 wissenschaftlich eine Modell-sanierung eines stark veralgten Objekts (zwei nördlich exponierte Fassaden mit einem Kunstharzputz, Applikation etwa 1994/5). Die bewachsenen Flächen wurden zunächst unterschiedlich vorbe-handelt und dann mit verschiedenen Anstrichen saniert (Schema Abb. 8). Lang-fristiges Monitoring soll aufzeigen, ob

und welche Unterschiede im Bewuchs (Geschwindigkeit, Organismen usw.) in der Praxis produktabhängig auftreten, und was die Schutzausrüstung im Ver-gleich zum nicht ausgerüsteten Produkt bringt.

Beschichtungen in der Entwicklung

In der Vergangenheit wurden vorwie-gend Algizide und Fungizide entwickelt und eingesetzt; heute liegt – nicht zu-letzt wegen der neuen EU-Richtlinien – das Hauptaugenmerk auf dem Gesamt-produkt «Beschichtung». Neuentwick-lungen der letzten Jahre werben zum Beispiel mit einer einem Pflanzenblatt ähnlichen Oberfläche; daran ablaufen-des Wasser soll vorhandene Schmutz-

partikel einfach abwaschen. Andere Produkte versuchen, die Abstrahlung gegen den Nachthimmel zu verringern (Rose et al. 2002). Weiter werden un-zählige kleinste, mit Gas oder viskosen Flüssigkeiten gefüllte Glas- oder Kera-mikkügelchen in die Beschichtung ein-gebunden. Langsameres Unterkühlen erzielt man auch mit einem dunkleren Farbton. Ein neuer Anstrich mit «Chamä-leon-Effekt» wird bei höheren Tempera-turen hell, bei tieferen Temperaturen dunkel (Wagner 2002). Auch «bioaktive Oberflächen» sind im Gespräch. Ein pro-minentes Beispiel ist TiO₂ in Form von Anastas: UV-Licht regt im TiO₂ Elektro-nen an, die photokatalytisch organi-sches Material an der Oberfläche oxi-dieren und im Idealfall CO₂ und Wasser freisetzen. Schwachpunkt dieser Lö-sung ist aufgrund der hohen Reaktivität des TiO₂ derzeit noch das Bindemittel, das oft sehr schnell altert und sich zer-setzt. Auch Pigmente können Bewuchs hemmen, so zum Beispiel das im Lito-phone eingesetzte Zinksulfid. Daneben werden verschiedene Kombinationen solcher Produkte untersucht, wie zum Beispiel aktives, mit Silber beschichte-tes TiO₂ (Göbber et al. 2002), oder ak-tives TiO₂ zusammen mit Litophone.

Bau und Bauunterhalt

Ein Hausbau ist eine grosse Investition. Die Fassade soll schön aussehen, schützen und lange halten, weshalb man nicht die billigste Variante wählen sollte. Eine gute Beratung, eine wach-same Erkundung der Umgebung (was wächst an Nord- und Westfassaden in der Umgebung?) und die Frage nach Re-ferenzobjekten in möglichst engem Um-kreis sollten die Auswahl eines geeigne-ten Fassadensystems erleichtern.

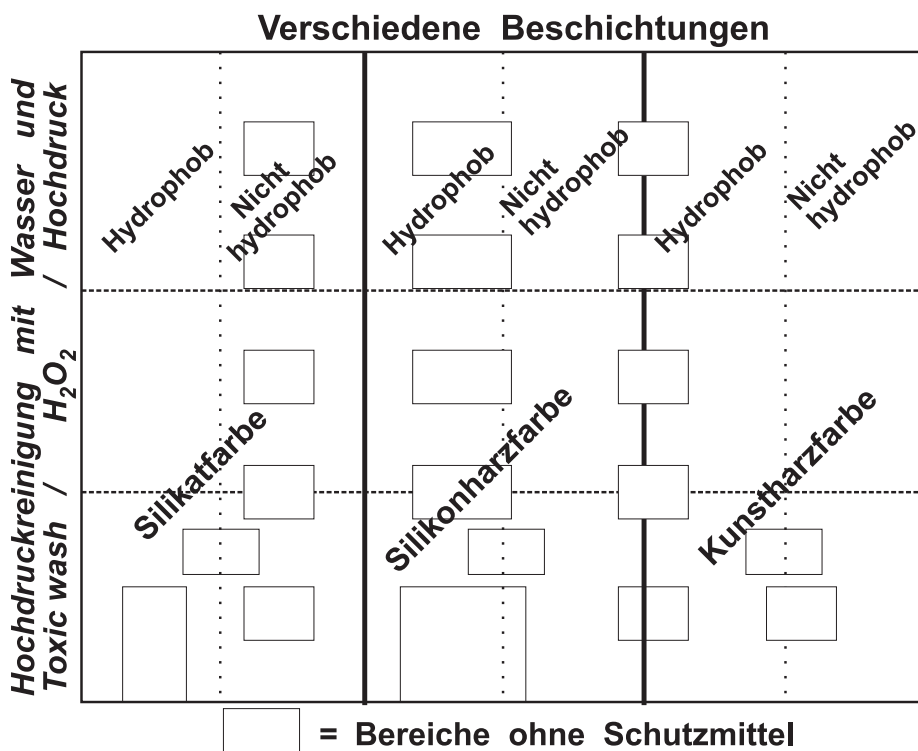


Abb. 8: Schema der Modellsanierung einer ehemals stark befallenen, nördlich exponierten Fassade. Die verschiedenen Reinigungsschritte wurden horizontal durchgeführt, die verschiedenen Produkte in senkrechten Streifen appliziert

Ein Punkt gerät immer wieder in Vergessenheit: Jede Oberfläche altert. Mit dem Polieren des Autolacks oder dem Eincremen der eigenen Haut wirkt man Alterungsprozessen entgegen; völlig stoppen kann man Alterung jedoch nicht. Unterschiede zwischen Haut oder Pflanzenblatt einerseits und Auto oder Gebäudehülle andererseits bestehen darüber hinaus darin, dass Haut wie Blätter bis zu einem gewissen Grad regeneriert werden, wobei ein «abgenutztes Blatt» irgendwann abgeworfen wird, eine Fassade jedoch nicht. Daher ist die als solche konzipierte Verschleisschicht, respektive der Schutzanstrich, in regelmässigen Abständen zu erneuern: Fassadenpflege ist unerlässlich (Effinger 2002; Raschle 2002).

Schlussfolgerungen

Algen und Pilze sind mehr oder weniger überall vorhanden und lassen sich nicht einfach entfernen. Sie keimen bei den entsprechenden Umweltbedingungen auf allen geeigneten Oberflächen aus.

Wärmedämmungen sind wichtige und notwendige Massnahmen, den Energieverbrauch zu senken. Die moderne Architektur hat jedoch viele Details aus dem konstruktiven Wetterschutz «vergessen». Die damit zugelassene Feuchtigkeit unterstützt Wachstum von Mikroorganismen massiv. Hier ist entweder am Wetterschutz nachzubessern, oder es sind Schutzmittel zu verwenden; allerdings hört man in der Branche, letztere würden künftig immer stärker eingeschränkt und damit wohl allmählich vom Markt verschwinden. Damit entsteht Nachfrage nach Beschichtungen, die Bewuchs auf physikalischem Wege verhindern und damit viele Probleme lösen können; bis zur

Marktreife solcher Produkte werden aber wohl noch einige Jahre vergehen. Auch die Kosten-Nutzen-Kalkulation steht immer im Raum – ein hoher Preis ist gegenüber dem Kunden nur bei entsprechender Güte und Langlebigkeit des Produkts zu rechtfertigen. Ein gewisser Unterhalt ist immer unerlässlich.

Referenzen

- Bittner E. (1972): Blaualgen (Cyanophyceen): 88 S. Kosmos-Verlag, Franckh'sche Verlagsbuchhandlung, Stuttgart
- Blaich J. (2000): Algen auf Fassaden. In: Blaich J. et al.: Die Gebäudehülle – konstruktive, bauphysikalische und umweltrelevante Aspekte: 46–58. EMPA-Akademie, Dübendorf, Schweiz
- Effinger G. (2002): Algen- und Pilzproblematik – Sanierung von WDVS-Fassaden. *aplica* 10/2002: 30–32
- Fritsche W. (1998) Umwelt-Mikrobiologie: 44. Gustav Fischer Verlag Jena
- Göbber C., Schichtel M. & Nonninger R. (2002): Desinfektionslack – Silber-beschichtete Titandioxid-Nanopartikel sind hocheffiziente Biozide. *Farbe & Lack* 108 (7): 20–25
- Gubler C. et al. (1994): Zur mykogenen Allergie, Pilzsporengleichheit in der Luft von Zürich: Auswertungen der Jahre 1984–1986. Allergiestation der Dermatologischen Klinik, Universitätsspital Zürich
- Kaiser J.P. & Raschle P. (1996): Methoden zur Untersuchung mikrobiogener Probleme an Baustoffen und Untersuchung von mikrobiellen Deteriorationen an ausgewählten Objekten. F & E Projekt 23053, 42 S., EMPA St. Gallen
- Lork A. & Zeh H. (2002): Hydrophobe Beschichtungen für Fassaden. Vortrag an der 140. Gesamtarbeitstagung des Schweizerischen Verbandes der Lack- und Farbenchemiker «Moderne Anstrichstoffe für Fassaden – Anstrichschäden an Fassaden», 21.11.2002, Zürich
- Raschle P. (2002): Mikrobielle Ursache für Algenbewuchs – Algen und Pilze – Mikroorganismen und ihre Lebensansprüche. Internationale Baufachtagung Fassade «Algen, Spinnen, Spechte – mikrobielle und tierische Fasadenschäden», 18. – 20.04.2002, Innsbruck
- Rose K., Posset U., Haas K.-H. & Köhl M. (2002): Potpourri an Eigenschaften – Anorganisch-organische Hybridpolymere für Fassadenfarben mit verringerter Wärmeabstrahlung und Verschmutzungsneigung. *Farbe & Lack* 108 (8): 29–35
- Stalder M. (2002): Caparol Werkstofftagung zum Thema Algen und Pilze. *aplica* 1–2/2002: 16–17
- Sterflinger K. (1995): Geomicrobiological Investigations on the Alteration of Marble Monuments by Dematiaceous Fungi. Dissertation, 138 S., Carl-von-Ossietzky Universität Oldenburg
- Wagner G. (2002): Lacke mit Funktion – Die European Coatings Conference «Smart Coatings» in Berlin. *Farbe & Lack* 108 (7): 26–28
- Warscheid T. (1990): Untersuchungen zur Biodeterioration von Sandsteinen unter besonderer Berücksichtigung der chemoorganotrophen Bakterien. Dissertation, 246 S., Universität Oldenburg
- Warscheid T. (1996): Biodeterioration of Stone: Detection, Quantification and Evaluation. In: Biodeterioration and Biodegradation. Papers of the 10th International Biodeterioration and Biodegradation Symposium, Hamburg, Sept 15 – 18 1996: 115–120. Dechema Monographs Vol. 133