

# Braune Verfärbungen auf Sichtbetonflächen

Von Hannes Fiala, Wiesbaden, und Joachim Raddatz, Flörsheim

## 1 Übersicht

Eine Vielzahl von Architekten hat die Möglichkeiten, die der Baustoff Beton bietet, erkannt und bei der Gestaltung von Bauwerken mit Sichtbeton genutzt. Nicht zuletzt haben die repräsentativen Neubauten von Botschaften und Regierungsgebäuden in der Hauptstadt Berlin dem Sichtbeton in Deutschland eine Renaissance beschert. Die Anforderungen an die Flächen des Sichtbetons im Hinblick auf Struktur und Farbe sind dabei sehr hoch.

Zusätzlich zu den bekannten beton-technologischen und schalungs-technischen Schwierigkeiten, die zu Abweichungen des gewünschten Bildes der sichtbar bleibenden Betonflächen führen können, sind in jüngster Zeit bei mehreren Objekten in Europa verstärkt braune Verfärbungen an Wänden aus Sichtbeton, die mit kunststoffvergüteten Schal-

tafeln hergestellt worden waren, aufgetreten. Der Effekt wurde auf Baustellen in drei verschiedenen Ländern Europas, unabhängig von der Zementsorte und der Beton-zusammensetzung, beobachtet.

In der Vergangenheit haben die Untersuchungen von braun verfärbten Sichtbetonflächen in der Regel ergeben, dass Rost aus der Anschlussbewehrung von Wänden oder Decken diese Verfärbungen verursacht hat.

Das Bild der braunen Verfärbungen an vertikalen Betonwänden war jedoch bei den jüngsten Reklamationsfällen nicht typisch für und nicht vergleichbar mit jenen aus Rostablagerungen. Die eingeleiteten Untersuchungen wiesen aus, dass die Braun- bzw. Rotverfärbungen eindeutig durch organische Bestandteile verursacht wurden und nicht aus Rostablagerungen stammten.

Vergleichende Untersuchungen an Zement, Entschalungs- und Zusatzmittel und der Schalhaut wurden durchgeführt. Dabei wurde offenkundig, dass eine chemische Reaktion in der Schalhaut stattfindet. In Einzelfällen bildeten sich auch Blasen in der Schalhaut.

Bei Versuchen im Labor an neuen und gebrauchten kunststoffvergüteten Schalplatten wurde bei intensiver Bewitterung und Beaufschlagung mit UV-Licht, Wasser und/oder Kalilauge ein Abfärben der Schalhaut nachgewiesen.

Die Belastung durch UV-Licht und Witterung bei der Lagerung der Schalungsplatten auf der Baustelle entscheidet über das Entstehen und die Intensität von braunen Verfärbungen auf den Sichtbetonflächen.

## 2 Braunverfärbungen

Auf mehreren Baustellen in mitteleuropäischen Ländern waren bei der Ausführung von Sichtbetonflächen mit phenolharzbeschichteten Schalplatten direkt nach dem Ausschalen braune Verfärbungen auf den Betonflächen zu erkennen (Bild 1). Da bei diesen Großobjekten bis zu 20.000 m<sup>2</sup> Sichtbeton herzustellen waren, wurde vom bauleitenden Architekten teilweise die Weiterverwendung der Schalung abgelehnt.



Bild 1: Typische Braunverfärbung an einer Sichtbetonfläche



Bild 2: Braune Rinnspuren und kreisförmige Ablagerungen

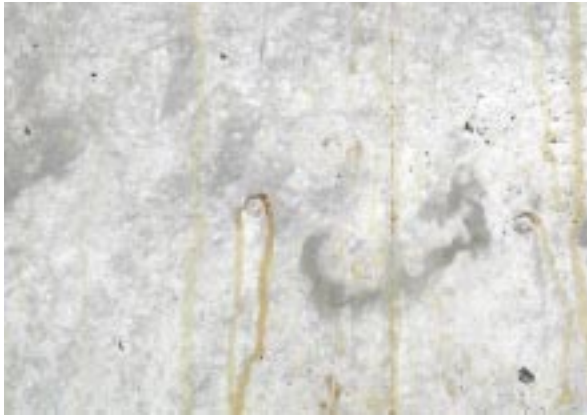


Bild 3: Braune Tropfen- und Rinnspuren auf der Betonoberfläche



Bild 4: Verstärkte Braunfärbungen am Fußpunkt der Wand

Allen Objekten war gemeinsam:

- ❑ großformatige Schalungen
- ❑ Schaltafeln mit kunststoffvergüteter Oberfläche (Phenolharzfilm)
- ❑ Lagerung der Schalung im Freien
- ❑ Spannanker im Abstand zwischen 100 cm und 150 cm
- ❑ massive, hohe Wandabschnitte

Alle Braunverfärbungen an den Wänden zeigten vergleichbare Bilder:

- ❑ oval- bis kreisförmige braune Stellen, hauptsächlich im Bereich zwischen den Spannankern der Schalung (Bild 2)
- ❑ Rinn- und Tropfspuren an der Wand (Bild 3)
- ❑ Ansammlung von braunen Flecken am Fuß der Betonwand (Bild 4).

In einem Fall waren Blasen in der Schalhaut für eine Vielzahl kleiner Dellen in der Sichtbetonoberfläche verantwortlich (Bilder 5 und 6).

In diesen Dellen waren ebenfalls braune Verfärbungen vorhanden, die später als schwarzbraune Punkte auf der Oberfläche erkennbar waren (Bild 7). Die weitere Verwendung dieser Schalung wurde abgelehnt. Die Schalungsträger wurden mit kunststoffvergüteten Schaltafeln eines anderen Herstellers belegt.

Beim ersten Betonieren mit den neuen Schaltafeln traten dann zwar keine Blasen in der Schalung auf, dafür aber Braunfärbungen in der in den Bildern 1 bis 4 gezeigten Form.

### 3 Schalung

Bei der Herstellung der kunststoffvergüteten Oberfläche von Schaltafeln werden Filme aus Phenolharz mit rd. 15 bar Druck etwa 15 Minuten lang bei Temperaturen von 135 °C auf die mehrschichtigen Schaltafeln aus Holz aufgepresst. Treten während der Produktion der Schaltafeln Fehler auf, z.B. zu geringe Temperaturen, zu geringer Druck oder zu kurze Verweildauer in der Presse, kann der Phenolharzfilm nicht vollständig aushärten. Dies

kann in der Grenzfläche Schalhaut/ Beton zur Störung des Erhärtungsmechanismus des Zementsteins führen.

Bei einem früheren Schadensfall erzeugte diese Reaktion einen Abdruck der Firmenbezeichnung, der auf der Schaltafel aufgedruckt war, als Negativbild auf der Betonoberfläche (Bild 8).

Durch die Bearbeitung von 2.000 m<sup>2</sup> der Wandfläche mit dem Schwing Schleifer konnte dieser Effekt beseitigt werden, da die Beeinflussung nur die obersten 100 µm der Betonoberfläche betraf.

Die bei mehreren Bauvorhaben aufgetretenen Braunverfärbungen von Betonoberflächen konnten bei der nachträglichen Kontrolle des Her-



Bild 5: Blasen in der Schalhaut nach Baustelleneinsatz



Bild 6: Negativabdrücke der Blasen in der Betonoberfläche nach dem Betonieren



Bild 7: Vertiefungen in der Sichtbetonoberfläche mit brauner Färbung

stellungsprozesses nicht auf unsachgemäße Aushärtung des Phenolharzfilmes zurückgeführt werden. Die ordnungsgemäße Herstellung der Schalplatten konnte an zwei von drei Fällen durch Pressprotokolle nachgewiesen werden. Trotzdem waren bei normaler Anwendung der Schalung auf der Baustelle die geschilderten Phänomene aufgetreten.

## 4 Laboruntersuchung

### 4.1 Proben

Objekt und Material der untersuchten Schadensfälle sind mit A, B und C bezeichnet. Die einzelnen Fabrikate der Schaltafeln waren wie folgt von den Herstellern benannt:

A: Furniersperrholz, 27 mm dick, mit 450 g Phenolharzfilm/m<sup>2</sup>

B: Furniersperrholz, 27 mm dick, mit 400 g Phenolharzfilm/m<sup>2</sup>

C: Furniersperrholz, 25 mm dick, mit 420 g Phenolharzfilm/m<sup>2</sup>

### 4.2 Prüfungen

Mit Hilfe einer Vielzahl von analytischen Untersuchungen und anwendungstechnischen Versuchen sollte die Ursache der Braunverfärbung auf Sichtbetonflächen geklärt werden:

- Einfluss von Zusatzmittel und Schalöl
- Identifizierung der braunen Substanz auf Objektproben
- Erzeugung von Blasen in der Schalhaut
- Untersuchung der Blasenflüssigkeit

## 5 Untersuchungen und Ergebnisse

### 5.1 Schalöl und Zusatzmittel

Die Proben von Zusatzmittel bzw. Schalöl und Schalwachs vom Objekt A wurden sowohl gaschromatographisch als auch infrarot(IR)spektroskopisch vor und nach der Alterung untersucht.

Das Zusatzmittel war in Wasser gelöstes Naphthalinsulfonat.

Das Schalwachs war ein in Testbenzin gelöster Kohlenwasserstoff. Es ist pH-neutral und hydrophob. Schalöl und Zusatzmittel kamen im Ergebnis dieser Untersuchungen als schadensauslösende Substanzen für die Blasenbildung auf der Schalung und für die Verfärbungen des Betons nicht in Betracht.

### 5.2 Beton

Auf den Baustellen aus Zonen mit brauner Verfärbung entnommene Betonproben wurden im Trockenofen mit 600 °C beaufschlagt. Bei dieser Temperatur zersetzen sich organische Stoffe unter CO<sub>2</sub>-Entwicklung. An der Betonoberfläche der Probe waren nach diesem Versuch die Braunverfärbungen nicht mehr sichtbar, im Gegensatz zu Rückständen von Rost.

Desweiteren wurden Pulverproben von Sichtbetonoberflächen aller Ob-



Bild 8: Die Firmenbezeichnung auf der Schaltafel ist als Negativabdruck auf der Betonoberfläche sichtbar.

jekte IR-spektroskopisch und mit der energiedispersiven Röntgenmikroanalyse (EDX) untersucht. Damit sollte festgestellt werden, ob die braunen Ablagerungen auf der Betonoberfläche anorganischen Ursprungs sind und wie sie chemisch zuzuordnen sind.

Die IR-spektroskopischen Untersuchungen erfolgten an Dichlormethanextrakten der Pulverproben. Zum Vergleich wurden die IR-Spektren des Schalöls und des Zusatzmittels sowie der Dichlormethanextrakt des Zements herangezogen.

Dem IR-Spektrum des Extrakts des braun verfärbten Pulvers war zu entnehmen, dass der Zement der Objektproben im Wesentlichen drei organische Bestandteile enthielt:

- Schalöl
  - Banden um  $2.900 - 3.000 \text{ cm}^{-1}$
  - Banden um  $1.450 \text{ cm}^{-1}$
- Zusatzmittel
  - Banden  $> 3.000 \text{ cm}^{-1}$
  - Banden  $\sim 1.730 \text{ cm}^{-1}$
- phenolische, organische Bestandteile
  - Banden  $\sim 3.000 \text{ cm}^{-1}$
  - Banden  $1.080$  und  $1.100 \text{ cm}^{-1}$

Mit den EDX-Analysen des Pulvers und der braunen Ablagerungen auf den Betonproben sollte geklärt werden, ob die Braunverfärbung durch

Rost hervorgerufen worden war. Die EDX-Spektren der Pulverproben sowie die der braunen Flecken auf dem Mörtel gaben keinen Hinweis auf Eisenrost. Die EDX-Spektren wiesen die typische Zusammensetzung des Zements aus. Der ermittelte Eisengehalt in allen drei Proben entsprach dem üblichen Eisenanteil in Zementen.

Bei der Prüfung von Baustellenproben aus braun verfärbten Bereichen, die ganz offensichtlich aus Rostabläufen der Bewehrung stammten, wurde dagegen ein erhöhter Eisenanteil gefunden.

### 5.3 Blasenbildung auf den Schalplatten der Fabrikate A und B

Bei den Fabrikaten A und B führte eine langfristige Einwirkung von Alkalien, im Versuch durch die Lagerung in 3%iger Kalilauge, zu einer deutlichen Veränderung der physikalischen Eigenschaften des Phenolharzfilms.

Eine erhöhte Eindringtiefe bei der Härtemessung nach Buchholz zeigte eine Verringerung der Härte der Oberfläche des Films. Auch der ständige Wechsel von nasser Beaufschlagung mit Zementleim und anschließender Trocknung des Schalplattenfilms, wie er bei dem mehrfachen Einsatz der Schalplatte auf der Bau-

stelle entsteht, führte zu einer deutlichen Schädigung des Phenolharzfilms.

Langfristige Alkalieinwirkung auf den Phenolharzfilm führte beim Fabrikat A zu punktförmigen Ablösungen in der oberen Lage des Films. Durch weitere Alkali- und/oder Wassereinwirkung quoll der abgelöste Phenolharzfilm und es entstanden Blasen. Der Blasenhohlraum war mit alkalischer Flüssigkeit gefüllt (Bild 9). Bei der Trocknung verblieb konzentriertes Kalium- und Natriumhydroxyd unter dem Film. Erfolgte eine erneute Wasserbelastung, setzte der Quellvorgang wieder ein. Zusätzlich wirkte Osmose, wobei der Phenolharzfilm die semipermeable Membran darstellte.

Die beschriebenen Beanspruchungen, besonders die Einwirkung von Alkalien, führten bei den Fabrikaten A und B zu

- partieller Ablösung des durch alkalische Lösung vorgeschädigten Phenolharzfilms,
- starkem Quellen des Phenolharzfilms durch extrem hohe Wasseraufnahme,
- Blasenbildung, u.a. durch Osmose,
- dunkelbrauner Verfärbung des Phenolharzfilms,
- Braunverfärbung an Sichtbetonflächen.



Bild 9: Blasen in dem Phenolharzfilm der Schaltafel



Bild 10: Wischprobe an gebrauchter Schalung Fabrikat C

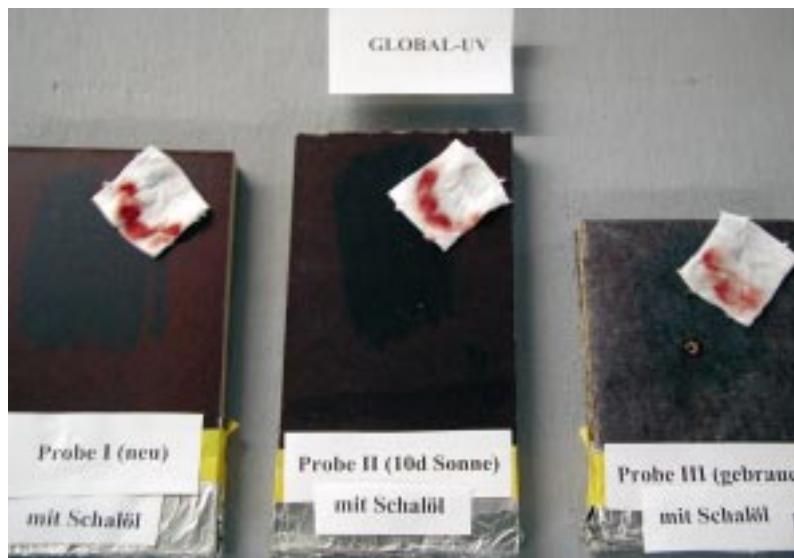


Bild 11: Wischprobe an Proben nach UV-Bestrahlung im Labor

#### 5.4 Braunverfärbungen der Schalplatten der Fabrikate A und B

Die Laborversuche ergaben, dass Alkalien den Phenolharzfilm angreifen und zum Teil chemisch abbauen.

Die Braunverfärbungen, die durch beide Fabrikate verursacht wurden, waren organischen Ursprungs. Sie waren nicht auf Eisenrost zurückzuführen.

Der Abbauprozess des Phenolharzfilms wurde durch die erhöhten Temperaturen, die beim Erhärten des Betons im Bauteil entstehen, beschleunigt.

Die Braunverfärbung des Phenolharzfilms und des alkalihaltigen Wassers nach Lagerung von Schalplatten der Fabrikate A und B in 3%iger Kalilauge konnte in Laborversuchen reproduzierbar festgestellt werden.

Die Blasen, die bei den Fabrikaten A und B festgestellt wurden und die im Labor an gebrauchten und neuen Platten ebenfalls reproduziert werden konnten, unterschieden sich in Form und Größe. Die Zusammensetzung der alkalischen Blasenflüssigkeiten war identisch.

#### 5.5 Braunverfärbungen der Schalplatten des Fabrikats C

Die Schalhaut des Fabrikats C hatte bei der Lagerung in Wasser bzw. Kalilauge keine Blasen gebildet. Eine Braunverfärbung durch die Reaktion der Schalhaut war bei dieser Art der Belastung nicht aufgetreten. Bewitterungsversuche führten zu einer merklichen Verfärbung der Plattenoberfläche.

Auf der Baustelle konnte an einer gebrauchten Schalplatte – mit Braunverfärbungen am Sichtbeton – durch die Wischprobe eine leichte braune Verfärbung festgestellt werden (Bild 10).

Im Laborversuch wurden sowohl bei der trockenen Lagerung im Q-UV-Panel als auch im Global-UV mit Gewitterregensimulation Schädigungen des Phenolharzfilms erkannt, die als starke Braunfärbungen bei der Wischprobe nachgewiesen werden konnten.

Erst die Schädigung der Schalhaut des Fabrikats C durch UV-Licht verminderte den Widerstand des Phenolharzfilms gegen die Beanspruchung durch Wasser bzw. Kalilauge (Bild 11).

Prüfungen des Fabrikats C zeigten, dass UV-Licht und Bewitterung zur Alterung des Phenolharzfilms führten, so dass bei der Wischprobe die Oberfläche braun bis rot abfärbte.

Eine Blasenbildung trat bei diesem Fabrikat auch bei langer Wasser- und KOH-Lagerung nicht auf.

Die Ergebnisse zeigen, dass zwischen den einzelnen Fabrikaten der Phenolharzfilme, die zur Herstellung der Schalhaut verwendet werden, Qualitätsunterschiede bestehen.

#### 6 Entstehung der Braunverfärbung auf der Baustelle

Die Schaltafeln wurden auf der Baustelle grundsätzlich im Freien gelagert. Sie waren auch nach dem Aufstellen der Witterung, d.h. Regen und Sonneneinstrahlung, unmittelbar



Bild 12: Lagerung der Schaltafeln im Freien auf der Baustelle

und, wie im Fall des Fabrikats C, über längere Zeit ausgesetzt (Bild 12).

Alle Fabrikate hatten durch Lagerung im Freien eine mehr oder minder große Schädigung der molekularen Struktur des Phenolharzfilms erfahren. Der Widerstand gegen diese Beanspruchung ist bei den einzelnen Fabrikaten unterschiedlich groß.

Beim Betonieren der hohen und massiven Wandabschnitte entstehen in der Regel Betontemperaturen über 50 °C. Durch diese Hydratationswärme erfolgt eine Beschleunigung des partiellen chemischen Abbaus des Phenolharzfilms.

Im Zuge des Baufortschritts werden nach 1 bis 2 Tagen die Spannanker der großflächigen Schalung gelöst. Dadurch entsteht ein Spalt zwischen Betonoberfläche und Schalung. Die Luft darin weist in der Regel einen hohen Feuchtigkeitsgehalt auf. Durch die einfallende, kalte Außenluft bildet sich bei Kontakt mit dem warmen, feuchten Betonbauteil Kondenswasser. Zusätzlich sind die offenen Poren an der Betonoberfläche noch mit Anmachwasser gefüllt. Wird der Wassergehalt in der Betonpore zu groß, läuft das Wasser zwischen Schalung und Beton auf der Oberfläche des Betons ab und bildet die braunen Rinnschichten (Bild 13).

An Stellen eng anliegender Schalung wird das auf der Betonoberfläche

abfließende Wasser aufgehalten, umfließt diesen Bereich und als Folge entstehen die kreis- bzw. ovalförmigen braunen Flecken auf der Betonoberfläche.

Bei ausreichender Feuchtigkeit fließt das Wasser bis zum nächsten Hindernis (z.B. horizontaler Schalungsstoß, Bild 13) bzw. bis an den Fußpunkt der Wand (Bild 14). Dort erfolgt eine Anreicherung der braunen Flüssigkeit und damit eine intensive Verfärbung der Betonoberfläche.

Bei der Untersuchung der Sichtbetonflächen an den Objekten konnte nachgewiesen werden, dass das Wasser in dieser Form nahezu überall an den Betonflächen ablaufen konnte. Ist die Schalung unbeschädigt und gibt keine braunen Bestandteile ab, sind die Ablauf- und Rinnschichten an der Betonoberfläche grau, wobei der Ablaufmechanismus des Kondenswassers und die entstehenden Verläufe die gleichen sind wie bei der Braunverfärbung (Bild 15). Das Wasser wirkt auf die obersten Mikrometer der jungen Betonoberfläche ein und erzeugt dabei einen anderen Grauton. Die Ablaufspuren sind deutlich erkennbar. Am Schalungsstoß werden sie unterbrochen. Die Flüssigkeit wird verteilt und umläuft eng anliegende Schalungsbereiche (Bild 16).

Der Effekt ist systemimmanent und erklärt die typischen Bilder (braun oder grau) an den Sichtbetonwänden, die mit kunststoffvergüteten Schalungstafeln hergestellt wurden.

Eine Abgrenzung der braunen Flecken am Beton auf der Baustelle wird dann deutlich, wenn ein Passstück aus ungeschädigtem Schalungsmaterial in oder zwischen Schalungstafeln mit geschädigter Oberfläche eingesetzt wird.

## 7 Zusammenfassung

Bei besonderen Witterungseinflüssen können auch Schalungstafeln von hoher Qualität in ihrer Oberfläche geschädigt werden und ihre Eigenschaften verändern. Beim üblichem Einsatz auf der Baustelle können dann Braunverfärbungen auf der Betonoberfläche entstehen.

Unter den baustellenbedingten Beanspruchungen ist das Produkt „kunststoffvergütete Schalung“ in der Regel nicht ausreichend robust.

Die Prüfung des Produkts während der Produktion mit dem Ochsenaugentest (kurzzeitige Beaufschlagung der Oberfläche des Phenolharzfilms mit Kalilauge) reicht nicht aus, um den Widerstand des Kunststofffilms gegen Einwirkung von UV-Licht und alkalihaltigen Wässern nachzuweisen.

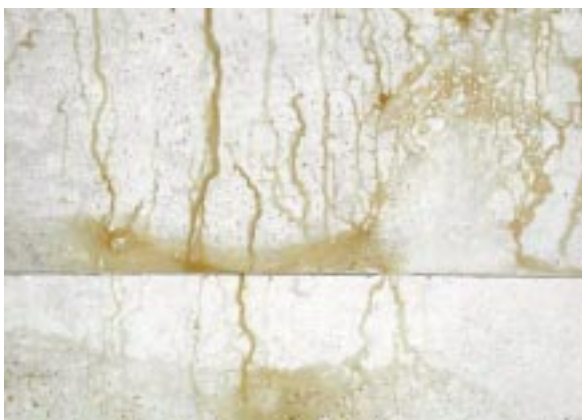


Bild 13: Ablaufspuren auf der Sichtbetonoberfläche



Bild 14: Braunverfärbung an Wandfläche und Fußpunkt



Bild 15: Graue Ablaufspuren auf der Oberfläche



Bild 16: Graue Ablaufspuren auf der Oberfläche

In wieweit eine Veränderung der Materialeigenschaften oder der Ausgangskomponenten des Phenolharzfilms zu dem verstärkten Auftreten von Braunverfärbungen an Sichtbeton geführt hat, ist nicht bekannt.

Die Entstehung von Braunverfärbungen an hohen Wandbauteilen bei der Herstellung von Sichtbeton in verschiedenen Ländern Mitteleuropas in einem engen Zeitraum zeigt, dass es sich hierbei nicht um einen Einzelfall handelt. Sie sind bei großformatigen Schaltafeln verschiedener Fabrikate, unabhängig von der Art des Zements und der Zusammensetzung der Betone, aufgetreten (Bild 17).

Es ist davon auszugehen, dass bereits in der Vergangenheit Verfärbungen von Betonflächen aufgetreten sind, die ähnliche Ursachen hatten, jedoch nicht bekannt oder untersucht wurden.

## 8 Ausblick

Die Renaissance des Sichtbetons und die Vielzahl der Ausführungen von Betonbauwerken mit sichtbar bleibenden Betonflächen hat die Sensibilität für das optische Bild von Beton erhöht und zum Erkennen der genannten Verfärbungen geführt.

Als Konsequenz aus den Erkenntnissen ergibt sich für den Auftragnehmer bei der Herstellung von Sichtbetonflächen die Forderung nach phenolharzfreier Schalhaut. Dies bedingt unter Umständen die Berücksichtigung des höheren Preises anderer Schalungen – wie z.B. jene mit melaminharzvergüteten Oberflächen – bereits bei der Kalkulation oder aber das Anmelden von Bedenken nach der Auftragsvergabe bzw. vor Beginn der Arbeiten.

Für die Hersteller von kunststoffvergüteter Schalhaut bedeutet dies, intensiv über das gelieferte Vorprodukt „Phenolharz“ mit den Lieferanten zu sprechen und ihre Produktion mit Prüfverfahren zu testen, die die tatsächliche Beanspruchung bei der Verwendung auf Baustellen widerspiegeln. Die Erkenntnis, dass kunststoffvergütete Schalungsplatten unter bestimmten Umständen nicht witterungs- und alkali-beständig sind, birgt die Gefahr wiederholter Reklamationen.



Bild 17: Organische Abbauprodukte aus dem Phenolharzfilm färben die Betonoberfläche braun.