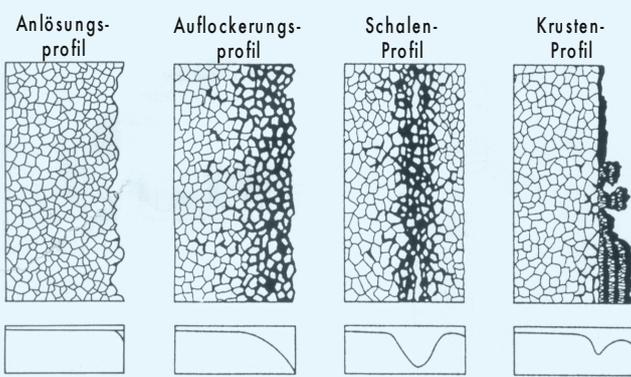


Verfahren zur Ermittlung von Festigkeitsprofilen

So vielfältig mineralische Untergründe in Zusammensetzung, Gefüge, Porenraum etc. sind, so unterschiedlich stellen sich die im Verlauf der Verwitterungsprozesse entstehenden Verwitterungsprofile dar.



① Typische Festigkeitsprofile (nach Grimm).

Sinn und Zweck einer Festigungsmaßnahme ist die Wiederherstellung des ursprünglich homogenen Festigkeitsverlaufs. Zur Erreichung dieses Ziels ist es notwendig, dass der gewählte Steinfestiger

- eine angepasste Gelabscheidungsrate besitzt und dass er,
- in einer angepassten Menge appliziert wird.

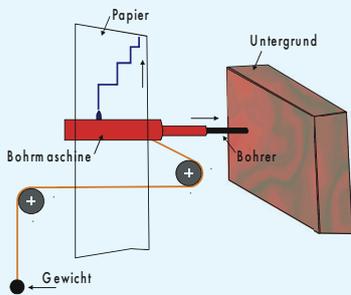
Ersteres ist notwendig, um die Festigkeit des behandelten Untergrundes auf das gewünschte Niveau (weder zu hoch, noch zu tief) anzuheben. Zweites ist unerlässlich, um die erforderliche Eindringtiefe („bis zum gesunden Kern“) zu erreichen. Da es grundsätzlich – auch mit langjähriger Berufserfahrung – nicht möglich ist, einem mineralischen Baustoff von außen anzusehen, wie tief und wie intensiv bzw. in welcher Form er verwittert ist, ist es unmöglich, eine sach- und fachgerechte Festigung ohne die entsprechenden Voruntersuchungen durchzuführen. Das dazu notwendige Versuchsprogramm verläuft i.d.R. nach folgendem Schema:

1. **Ermittlung des Verwitterungsprofils.**
2. **Auswahl und Applikation eines als geeignet erscheinenden Steinfestigers.**
3. **Nach Ablauf der Reaktionszeit (ca. 4 Wochen): Überprüfung des resultierenden Festigkeitsprofils.**

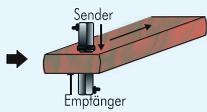
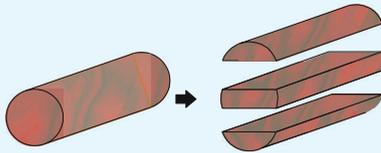
Zur Ermittlung des Verwitterungsprofils finden heutzutage zwei unterschiedliche Methoden Anwendung: Ein Vor-Ort- („in-situ-“) Verfahren und ein Laborverfahren.

Bei der Insitu-Methode „Bohrhärtewiderstandmessung“ (**Abb. 2**) verwendet man eine auf einem leichtgängigen Schlitten montierte Bohrmaschine. Über einen geführten Seilzug wird durch ein angehängtes Gewicht eine gleichbleibende Andruckkraft für den Bohrer erzeugt. Während des Bohrvorganges läuft ein Schreiber mit konstantem Papiervorschub quer zur Bohrrichtung, so dass die Eindringtiefe des Bohrers als Funktion der Zeit registriert werden kann. Aus dem sich ergebenden Kurvenverlauf lässt sich eine Art „Bohrhärte“ ermitteln. Die resultierenden Kurvenverläufe müssen umfassend interpretiert und diskutiert werden. Daher wird das Verfahren nur von wenigen Spezialisten eingesetzt. Laborseitig hat sich eine Prüftechnik mittels Ultraschall durchgesetzt. Dieses Verfahren setzt kompakte Stückproben (i. d. R. Bohrkern, Länge mind. 10 cm, Ø 3 – 5 cm; ohne(!) Zentrierloch) voraus. Die jeweilige Probe wird in Längsrichtung planparallel auf ca. 1 cm Dicke abgeflacht und mit Hilfe von sich genau gegenüberliegenden Ultraschallsender und -empfänger millimeterweise abgerastert und durchschallt (**Abb. 3**). An jedem Messpunkt wird über die Ultraschalllaufzeit der jeweilige dynamische Elastizitätsmodul (Edyn-Modul) errechnet, so dass ein Verwitterungs- bzw. Festigkeitsprofil erkennbar wird.

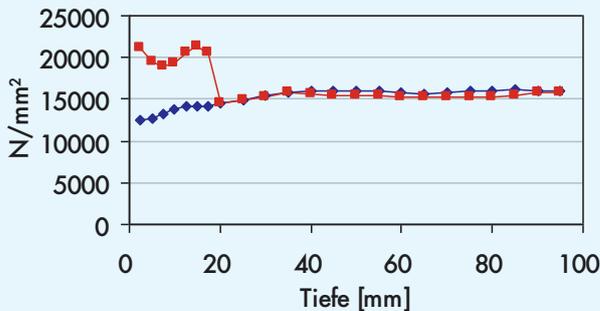
Der Vorteil dieser Methode besteht darin, dass an ein und derselben Stelle das Festigkeitsprofil sowohl vor als auch nach einer festigenden Behandlung ermittelt werden kann. So ist es möglich, die Wirktiefe des applizierten Festigers zu ermitteln und zu überprüfen, ob das gewählte Produkt eine geeignete Gelabscheidungsrate besitzt oder ob diese zu hoch bzw. zu niedrig ist.



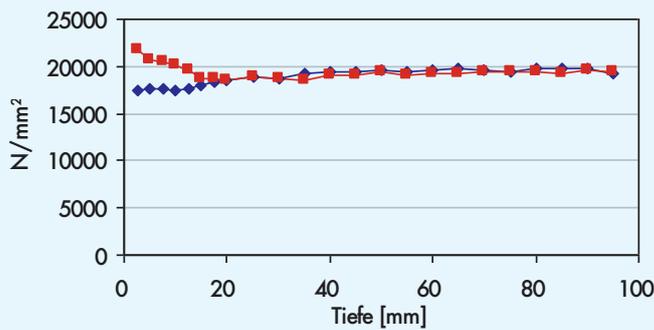
② Prinzip der Bohrhärtewiderstandmessung.



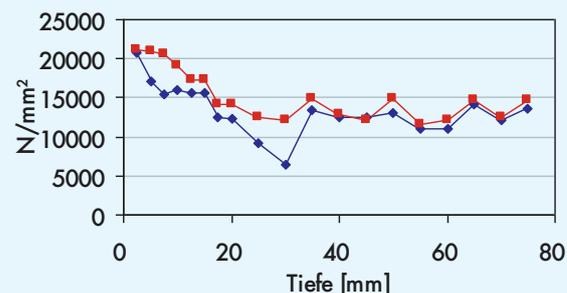
③ Probenformatierung und Prinzip der Ultraschallmessung.



④ Festigkeitsprofile; Probe 1, Kiel: unbehandelt (-●-) und nach Behandlung mit KSE 300 E (-■-).



⑤ Festigkeitsprofile; Probe 2, Kiel: unbehandelt (-●-) und nach Behandlung mit KSE 300 E (-■-).



⑥ Festigkeitsprofile, Probe 3, Dom zu Aachen: unbehandelt (-●-) und nach Kombinationsbehandlung (-■-) mit Steinfestiger 100 und KSE 300 E.

BEISPIEL 1 Institut für Weltwirtschaft, Kiel.

Problembeschreibung: Gliederungselemente aus Ibbenbürener Sandstein zeigen ein leichtes Absanden.

Ergebnis der Voruntersuchung: Die leicht sandende Probe 1 (Abb. 4) zeigt unbehandelt in der Tiefe (= im unverwitterten Bereich) einen E-Modul von ca. 15.000 N/mm². Zur Oberfläche hin fällt der E-Modul auf ca. 12.500 N/mm² ab. Nach Behandlung mit dem elastifizierten Steinfestiger KSE 300 E (Gel-Abscheidungsrate ca. 30%; 3 × 2 Minuten kapillares Saugen; Verbrauch ca. 2,0 l/m²) zeigt die Probe bis in eine Tiefe von 18 mm (= Wirktiefe des Festigers) einen Anstieg des E-Moduls auf ca. 20.000 N/mm² und im Übergangsbereich behandelt/unbehandelt einen sehr starken Abfall auf ca. 15.000 N/mm².

Fazit: Die Behandlung mit diesem Steinfestiger würde wahrscheinlich eine Schalenbildung zur Folge haben und könnte somit zukünftige Schäden bedingen.

Die ebenfalls leicht sandende Probe 2 (Abb. 5) zeigt im unbehandelten Zustand – ähnlich wie Probe 1 – einen leichten Abfall des E-Moduls von ca. 20.000 N/mm² auf ca. 15.000 N/mm². Durch Behandlung mit dem „klassischen“ Steinfestiger 100 (Gel-Abscheidungsrate ca. 10%; 3 × 2 Minuten kapillares Saugen; Verbrauch ca. 1,0 l/m²) wird die Festigkeit des Untergrundes bis in eine Tiefe von ca. 20 mm (= Wirktiefe des Steinfestigers) in geringem Maße über den Wert des unverwitterten Materials angehoben.

Fazit: Durch Behandlung mit dem Steinfestiger 100 wird der gewünschte, ursprünglich homogene Festigkeitsverlauf des Untergrundes annähernd wiederhergestellt.

BEISPIEL 2 Dom zu Aachen.

Problembeschreibung: Die im Giebel des „Oktogons“ verbauten Tuffsteinvarietäten zeigen u. a. starke, schalenartige Auflockerungen.

Ergebnis der Voruntersuchung: Die repräsentative Probe 3 (Abb. 6) besitzt einen für Tuffsteine typischen, inhomogenen Festigkeitsverlauf, der auf die unterschiedlichen, gesteinsbildenden Komponenten zurückzuführen ist.

Darüber hinaus zeigt sie

- zur Oberfläche hin einen starken Festigkeitssprung (von ca. 15.000 N/mm² auf ca. 21.000 N/mm²) und
- - in ca. 30 mm Tiefe - ein für eine Schalenbildung typisches Festigkeitsminimum (ca. 6.000 N/mm²).

Durch eine Kombinationsbehandlung mit Steinfestiger 100 und KSE 300 E konnte

- sowohl der oberflächennahe Festigkeitssprung abgemildert werden
- als auch gleichzeitig das Festigkeitsminimum „aufgefüllt“ werden.

Fazit: Häufig ist eine Kombinationsbehandlung mit unterschiedlichen Produkten zweckdienlicher als der Einsatz ausschließlich eines Produktes.