Hammerevolution

Autor(en): **Brandestini, Marco**

Objekttyp: **Article**

Zeitschrift: **Tec21**

Band (Jahr): **136 (2010)**

Heft 33-34: **Auf Herz und Nieren**

PDF erstellt am: **19.03.2024**

Persistenter Link: https://doi.org/10.5169/seals-109640

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.
Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.
Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

Haftungsausschluss

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

Ein Dienst der *ETH-Bibliothek*
ETH Zürich, Rämistrasse 101, 8092 Zürich, Schweiz, www.library.ethz.ch

http://www.e-periodica.ch

HAMMEREVOLUTION

Rund um das Thema zerstörungsfrei Prüfen beim Beton existiert wohl kein Gerät, das mehr Baufachleute kennen und selbst angewendet haben als den Betonprüfhammer. Das Original ist 60 Jahre alt und hat sich in seiner mechanischen Funktionsweise kaum verändert. Die Geräteevolution hat aber auch hier die Messgenauigkeit und das Handling verbessert.

1950 stellte der Basler Ingenieur Ernst Schmidt seinen Prüfhammer vor im Artikel «Der Betonprüfhammer: Ein Gerät zur Bestimmung der Qualität des Betons im Bauwerk» vor (Abb. 2 ist diesem Artikel entnommen).[1] Die Funktionsweise des Prüfhammers ist die folgende: Ein Schlaghammer («Bär») ist durch eine Zugfeder an der Spitze des Gehäuses und durch eine Klinke am Ende einer Laufstange befestigt. Wird der auf der Laufstange sitzende Bolzen gegen den Prüfling gedrückt, spannt sich die Feder. Bei vollständigem Andrücken erreicht die Klinke die Endlage und löst den Schlag aus. Der Bär trifft auf den Bolzen und überträgt die Energie über diesen auf den Beton. Ein Teil der Energie wird zurückgegeben, sodass der Bär schliesslich um eine bestimmte Strecke zurückfliegt. Dieser Weg wird mittels Schleppzeiger gemessen. Obwohl eine derartige Messung nur bis zu einer bestimmten Tiefe einwirkt, lässt sich empirisch eine Korrelation zwischen Rückprallwert und der Druckfestigkeit aufstellen.[2] Dieses Verfahren bildet heute noch die Grundlage für eine effiziente Beurteilung von Beton und Mauerwerk. Eine grundlegende Analyse des Systems findet sich in einem Artikel von Kurt Gaede.[3]

MÄNGEL DER KLASSISCHEN METHODE

Der Original-Schmidt funktioniert rein mechanisch und ist heute noch auf vielen Baustellen der Welt im Einsatz. Bei seiner Verwendung sind jedoch immer folgende Schwachstellen zu berücksichtigen:

– Reibung: Der Schleppzeiger, wie auch der Bär, gleiten nicht ideal auf den Laufstangen; der angezeigte Wert fällt stets zu klein aus.
– Gravitation: Infolge der Dauer des Rückprallvorganges von ca. 33 msec muss das Resultat, je nach Schlagrichtung, korrigiert werden.
– Verschmutzung: Der Dichtring aus Filz lässt Staub und Feuchtigkeit eindringen, die Messwerte nehmen mit der Zeit unkontrolliert ab.
– Ergonomie: Zum Ablesen muss der Hammer entweder gedrückt bleiben oder arretiert werden, und die Skala ist nicht besonders leserlich.
– Auswertung: Vom angezeigten Rückprallwert zur Druckfestigkeit sind viele Schritte notwendig, die der Anwender «von Hand» ausführen muss.

Diese Mängel lassen sich durch ein digitales System zum Teil korrigieren oder gar beheben. Der Messwert wird aber in allen derartigen Geräten dennoch via Schleppzeiger bestimmt und erst nachträglich digitalisiert. Eine Ausnahme stellt der im Schnitt (Abb. 1, zweiter von rechts) dargestellte Typ «DigiSchmidt 1» dar, welcher den Rückprallweg optisch ermittelt.

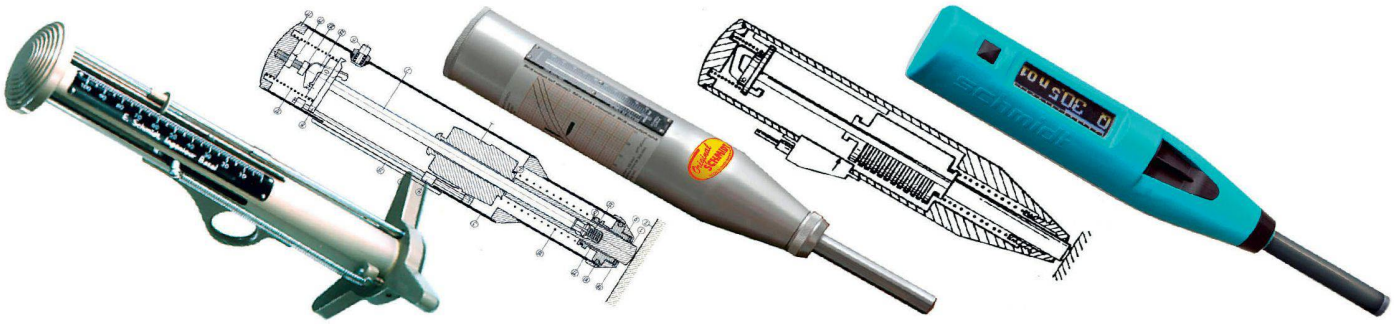
DER MECHANISCHE AUFBAU

Um die Kinetik zu verstehen, wurde vorgängig zur Entwicklung des Gebers eine Simulation des Stossvorganges durchgeführt. Es zeigte sich, dass sich die Mechanik kompakter gestalten lässt, indem die normierte Schlagenergie von 2.2 Nm durch einen leichteren Bären, dafür durch eine höhere Geschwindigkeit gebildet wird. Der Schlagbolzen musste ebenfalls leichter gemacht werden. Dies wurde mittels einer hochfesten Aluminiumlegierung umgesetzt. Ausgedehnte Tests führten zu einer optimalen Materialpaarung, einer schlag- und

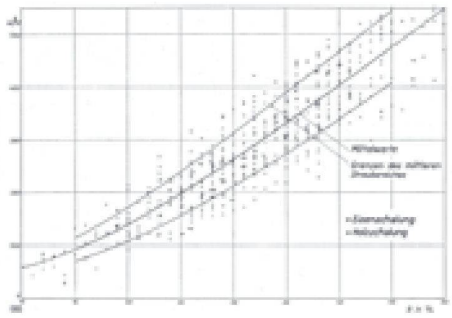
ENTWICKLUNG DES INTEGRIERTEN SCHMIDT-HAMMERS

2006 lancierte die Firma Proceq (Gründung 1954 durch Antonio Brandestini) als die traditionelle Anbieterin des «Original Schmidt Hammers» das Projekt «SilverSchmidt». Ziel war ein vollintegriertes, kompaktes, baustellentaugliches Gerät mit zeitgemässer Benutzeroberfläche – d. h. ein von Grund auf neu konzipierter Schmidt-Hammer, nicht nur ein modern verpackter. Folgendes Pflichtenheft diente als Basis für die Neuauflage:

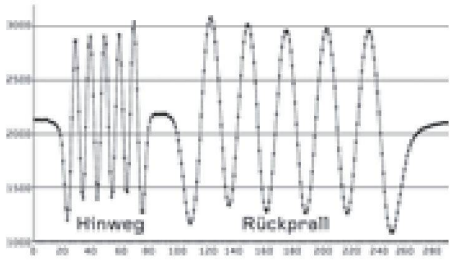
– Echter, richtungs- und reibungsunabhängiger Rückprallwert
– Grosse, kontrastreiche numerisch/grafische Anzeige
– Erweiterter Messbereich (10 bis 100 MPa)
– Robuste, staubdichte, ergonomische Konstruktion
– Automatische statistische Auswertung von Messreihen
– Umwertung in Druckfestigkeit, Speichern / Auslesen der Resultate
– Intuitive, sprachneutrale Ein-Knopf-Bedienung
– PC-Anbindung via USB, geringer Strombedarf (Li-Ion Akku)
– Konformität mit weltweit geltenden Normen und Regelwerken



01



02



03

kratzfesten Beschichtung plus einer aufgeschraubten, gehärteten Stahlkappe. Das kleinere Kaliber bedingte eine Neukonstruktion der Führungsplatte und weiterer «Innereien». Ein Problem stellte der Prüfamboss dar: Der neu entstandene Querschnitt passte nicht in die Führung für den klassischen Hammer. Hier gelang es, einen Ausschnitt so zu schaffen, dass der Hammer in den Amboss passt und ein mit einer Gummikappe abdichtbarer USB-Anschluss entsteht. Anstatt das Gehäuse in Rohrform auszuführen und von hinten zu bestücken, bot sich die Alternative, es mit zwei Halbschalen zu gestalten, wie dies auch bei Handbohrmaschinen üblich ist. Diese komplexen Schalenelemente sind als gespritzte Kunststoffteile (polyamidverstärkte Glasfaser) mit Einsätzen realisiert. Vom Holzklotz über «Rapid Prototyping» entstand die aktuelle dreiflächige Form, bei der die gesamte Elektronik oberhalb des Mechanikbereichs Platz findet und zu einer handlichen Form führt. Die Schlagfeder wurde in ihrer Originalform belassen. Der bislang erforderliche Nullpunktabgleich erübrigt sich durch die neue Messmethode. Dank modernen Herstellverfahren ist auch keine Feinjustierung der Feder nach dem Einbau nötig. Als Dichtung dient ein zweistufiger Gleitring. Dauertests zeigen, dass das Messresultat nach 10000 Schlägen stabil und das Geräteinnere sauber bleibt.

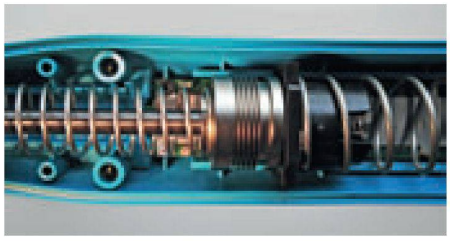
DAS MESSVERFAHREN / DER NEUE RÜCKPRALLWERT «Q»

Erste Priorität bei der Neuentwicklung hatte das Messverfahren: Beim klassischen Schmidt-Hammer wird die Rückprallenergie anhand der vom Bären zurückgelegten Strecke (r) quantifiziert. Dabei verhält sich das Quadrat der Elongation der Schlagfeder proportional zur Rückprallenergie. Die Schlagenergie ist durch den Federauszug lo = 75 mm gegeben. Bei dieser Methode beeinflussen diverse Reibungseffekte und die Erdbeschleunigung das Messresultat. Beim neuen SilverSchmidt wird die Energie über die Geschwindigkeit ermittelt, und zwar ratiometrisch als Verhältnis der Rückprall- zur Schlagenergie. Dieses Verhältnis ist ebenfalls proportional zum Quadrat der Geschwindigkeit (Abb. 7; f = Federkonstante; m = Masse des Bären). Zur Geschwindigkeitsbestimmung wurde ein optischer Messwandler entwickelt, der sich als sehr robust erwiesen hat.[4] Der Lichtstrom wird von auf dem Umfang des Bären eingestochenen Rillen moduliert und wirft einen Schatten auf zwei um ein halbes Rillenraster verschobene Fotodioden (Abb. 3). So kann differenziell gearbeitet werden – Umgebungslicht, Thermik und Ausbeute der LED haben keinen Einfluss. Die Lichtschranke (IrLED und Fotodiodenpaar) ist direkt auf den über der Mechanik montierten Print gelötet. Dieses Wandlersystem bringt noch weitere Vorteile: Das Rillenraster ist mechanisch präzis herstellbar. Die registrierte Periodendauer entspricht der echten Geschwindigkeit. Es lässt sich also u. a. die Schlagenergie exakt bestimmen, was bisher nicht möglich war. Zusätzlich sind auf dem Bär mehrere Rillen eingestochen. So lässt sich ein Geschwindigkeitsverlauf erfassen oder das Vorhandensein von Staub detektieren. Indem die Vorwärts- und die Rückprallgeschwindigkeit in unmittelbarer Stossnähe erfasst werden, ist der Einfluss der Gravitation weitgehend eliminiert. Durch das neue Messverfahren, und die Reduktion der Masse des Bären wie des Bolzens, liefert der SilverSchmidt einen höheren Rückprallwert als der klassische Hammer. Um Verwechslungen zu vermeiden, wurde die neue Einheit «Q» getauft, was darauf hinweisen soll, dass es sich um einen Quotienten handelt. Der neue Wert kann mit dem traditionellen «R-Wert» in Relation gebracht werden. Eine allfällige Umwertung soll aber auf jeden Fall direkt von «Q» zur Druckfestigkeit erfolgen.

01 Die Evolution des Betonprüfhammers von 1948 bis 2007, von links nach rechts: 1. Beton-Prüfhammer, Querschnitt Original Schmidt-Hammer, Bild Original Schmidt-Hammer, Querschnitt Digi-Schmidt, Bild SilverSchmidt (Bild: Proceq SA)
02 Zusammenhang zwischen der Würfeldruckfestigkeit und der Prellhärte, Ergebnisse Empa-Versuche (Grafik: Schweizerische Bauzeitung, 68. Jg, Nr. 28)
03 Helligkeitsverlauf an der Lichtschranke vor und nach dem Aufprall (Grafik und Bilder: Proceq SA)
04 Anordnung von Mechanik und Elektronik
05 Blick auf Bär und Lichtschranke im Silver-Schmidt
06 Richtungsunabhängige Messung am Bau
07 Formel für die Rückprallenergie
08 Auswertung der Daten zum Erstellen der Umwertfunktion: Rückprallwert zu Druckfestigkeit



04


05

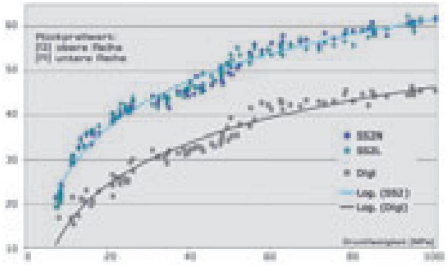

06

Rückprallwert=
(Verhältnis der Energie: Rückprall/Aufprall)

$$R = \frac{r^2 \cdot f}{l_0^2 \cdot f}$$ **Wegmessung** (mit Reibungs- und Schwerkrafteinfluss)

$$Q = \frac{v_r^2 \cdot m}{v_v^2 \cdot m}$$ **Geschwindigkeitsmessung** (echter Rückprallwert)

07


08

ANWENDUNGSBEISPIELE

Der SilverSchmidt, genauso wie der klassische Schmidt-Hammer, kommt in vielen Bereichen zur Anwendung:

– Im Bereich Beton wird der Hammer parallel zum zerstörenden Test in der Prüfmaschine, typisch nach 28 Tagen, am Probewürfel zur Schätzung der Endfestigkeit eingesetzt

– Betonmessungen direkt am Bauwerk. Hier ist die schlagrichtungsunabhängige Anzeige von grossem Vorteil (Abb. 6).

– Beim Mauerwerk lassen sich mittels einer speziell geformten Bolzenkappe Mörtelfugen auf ihre Festigkeit prüfen. Ebenso existiert ein Pilzbolzen zur Prüfung von Verputz und niedrigfesten Materialien. Bei allen Anwendungen ist es sinnvoll, spezifische Umwertekurven zu erstellen, sofern nicht nur eine relative Aussage gemacht werden soll.

– Eine leicht abgeänderte Variante, der sogenannte PaperSchmidt, dient zur Bestimmung des Wickelhärteprofils von Rollen und hat sich in der Papier- und der Folienproduktion als unentbehrliches Prüfmittel etabliert.

FIRMWARE UND BEDIENUNGSKONZEPT

Ein Mikrocontroller (MSP) wurde als zentrales Element für die A/D-Wandlung sowie sämtliche Rechenoperationen eingesetzt. Vorverstärker, USB-Treiber, nichtflüchtiger Speicher und Lagesensor kommunizieren mit dem MSP. Die Anzeige wird via separaten Display-Controller angesteuert. Durch einen Reed-Schalter (TRIG) wird das Gerät vor jedem Schlag «geweckt», sobald die Führungsplatte (mit einem Magneten) kurz vor der Auslöseposition steht. Auf diese Weise ist die Stromaufnahme äusserst gering. Dank dem Hochkontrast-LCD konnte zudem auf eine Beleuchtung verzichtet werden, wodurch ein Ladevorgang erst nach vielen hundert Schlägen nötig wird. Die vom A/D-Wandler mit konstanter Rate anfallenden Helligkeitswerte werden geordnet und so verrechnet, dass ein Rückprallkoeffizient dargestellt werden kann. Aus mehreren Messungen wird dann ein Mittelwert gebildet. Zudem werden die Daten systematisch abgespeichert und sind per USB auslesbar. Die Entwicklung dieser Firmware verursachte den gleichen Aufwand wie die neue Hardware und die Mechanik. Inspiriert durch Mobiltelefone und elektronische Spiele entstand eine praktische Ein-Knopf-Benutzerschnittstelle. Nach Drücken einer einzigen Wahltaste kann mittels eines Neigesensors in der Ikonenleiste von links nach rechts navigiert werden, bis das richtige Symbol in der Mitte steht. Durch abermaliges Antippen wird die jeweilige Funktion aktiviert. Diese Methode erwies sich als von allen Anwendern leicht erfassbar. Die Menüstruktur ist einfach, jeder Befehl kann direkt oder über maximal 2 Stufen ausgelöst werden. Um die am Objekt gesammelten Daten auswerten und dokumentieren zu können, wird der SilverSchmidt via USB-Schnittstelle an einen PC angebunden. Dies kann am Ende des Tages oder «on-line» erfolgen.

ERSTELLEN NEUER UMWERTEKURVEN / VALIDIERUNG

Mittels intensiver Untersuchungen, die an verschiedenen Instituten in Europa, USA und Asien durchgeführt werden, sollen Umwertekurven für den SilverSchmidt erstellt werden (Abb. 8). Zum Vergleich wird stets auch mit dem klassischen (Digi)Schmidt-Hammer gemessen.[5] Dies ist umso wichtiger, als sich die Mischungen und die Zuschlagstoffe von Beton seit der Zeit der Erstellung der traditionellen Kurven doch ziemlich entwickelt haben, Letztere also nur bedingt als Referenz dienen können.

Marco Brandestini, Dr. sc. techn., PROCEQ SA, Schwerzenbach, mbrandestini@yahoo.com

Anmerkungen

1 Ernst Schmidt: Ein Gerät zur Bestimmung der Qualität des Betons im Bauwerk. In: Schweizer Bauzeitung, 68. Jg. Nr. 28, S.378 (1950), www.baugedaechtnis.ethz.ch oder http://retro.seals.ch/digbib/view?rid=sbz-002:1950:68::389&id=hitlist

2 DIN 4240 (1954), später: DIN 1048, Teil-2, Teil-4

3 Klaus Gaede: Rückprallprüfung von Beton mit dichtem Gefüge. In: Heft 158 der Schriftenreihe des Deutschen Ausschusses für Stahlbeton (1960)

4 Marco Brandestini: Method and Apparatus for the Non-destructive Measurement of the Compressive Strength of a Solid. WO 2009/03678 A1

5 S. Feistkorn: Erstellung von Umwertekurven für Betonprüfhämmer der Neuen Generation. BAM, 2009