

Von der Idee zum Produkt - der SilverSchmidt Beton Prüfhammer

Marco BRANDESTINI, Proceq SA, Schwerzenbach, Schweiz

Kurzfassung. Die Evolution des neuen Hammers wird analysiert. Aufbauend auf der Analyse der technischen und marktspezifischen Bedingungen entsteht das Konzept für das neuartige Produkt. Ziel ist ein voll integrierter elektronischer Beton Hammer in kompaktem Gehäuse mit PC Anbindung. Vom Modell über mehrere Konstruktionsstufen am Bildschirm wird das Gerät verfeinert. Parallel laufen Versuche und Felderprobungen mit Funktionsmuster die in Rapid Prototyping hergestellt sind. Dabei läuft das klassische Gerät als Standard in allen Tests mit.

Grundlage dieser Entwicklung ist das „leapfrog“ Prinzip; d.h. den Stand der Technik mit Hilfe von Innovation um einen signifikanten Sprung vorwärts zu bringen - die Konkurrenz zu überhüpfen. Ein verbessertes Messverfahren wird entwickelt und verifiziert. Etliche Mängel des Original Hammers werden behoben.

Es wird gezeigt, wie Messprinzip, Mechanik, Ergonomie, Elektronik und Benutzeroberfläche im kleinen Team auf eine ganzheitliche Weise entstanden sind.

1. Hintergrund (technisch / wissenschaftlich – marktspezifisch)

1.1 Akzeptanz des Verfahrens

Der anfangs der fünfziger Jahre von Ernst O. Schmidt eingeführte Beton Prüfhammer gilt nach wie vor als Standardmessinstrument um eine schnelle Aussage über den Zustand von Mauerwerk zu machen. Das Gerät hat mittlerweile den Status eines „Fiebermessers“ in der Bauwerksdiagnose. Je nach Beschaffenheit des Prüflings, die vom frischen Probewürfel bis zum historischen Mauersegment reicht, korrelieren die Rückprallwerte besser oder schlechter mit der Druckfestigkeit. Gegebenerweise lässt sich die Aussagekräftigkeit durch Korrekturen verbessern. Es sei auf die diversen Normen und Empfehlungen verwiesen.

1.2 Erfassen der Messwerte im klassischen Schmidt Hammer.

Beim rein mechanischen „Original Schmidt“ muss der Anwender das Ablesen des Schleppeigers nach jeder Messung vornehmen und diesen Wert notieren. Ebenso sollte die jeweilige Messstelle kontrolliert werden, damit Ausreißer identifiziert werden können. Anschließend wird ein statistischer Mittelwert gebildet und, unter Berücksichtigung der Schlagrichtung, mittels Tabelle die Umwertung in einen Festigkeitswert vorgenommen – ein kompliziertes Prozedere, bei dem sich auch Fehler einschleichen können.

1.3 Mechanische Unzulänglichkeiten

Neben der bereits erwähnten Schlagrichtungsabhängigkeit weist das klassische Gerät einige weitere mechanische Mängel auf. Das größte – oft verkannte – Problem ist die mangelhafte Dichtigkeit des Gehäuses. Eindringender Staub lagert sich auf der Laufstange und an der

Bär¹/Bolzen Schlagstelle ab und beeinflusst die Messwerte nachteilig. Die Justierung des Systems ist aufwendig, und trotz Kontrolle auf dem Testamboss hat der Anwender keine Sicherheit, dass sein Gerät korrekte Rückprallwerte gibt. Letztlich ist das zylindrische Alu Gehäuse weder zeitgemäß, kostengünstig zu fertigen, noch besonders ergonomisch; es rollt davon, fühlt sich kalt an und die aufgesetzte Skala ist empfindlich...

1.4 Konkurrenz

Da sich der mechanische Schmidt Hammer längst zu einer „commodity“ etabliert hat, ist der Markt voll von billigen Kopien unterschiedlicher Qualität. Der Käufer ist verwirrt und entscheidet zu oft allein nach dem Preis. Die Unzuverlässigkeit der Billigkopien schadet dem Verfahren allgemein.

Andererseits erschienen auch eine ganze Reihe von „pseudo-digitalen“ Geräten auf dem Markt - d.h. Systeme die alle lediglich die Endlage des Schleppteigers abtasten um diese numerisch darzustellen und weiterzuverarbeiten (Abb. 1). Solche Geräte erleichtern zweifellos die Arbeit, indem sie die unter 1.2 erwähnten Funktionen automatisch ausführen. Sie sind aber alle relativ ungeschickte Paarungen von Mechanik und Elektronik.

Aus strategischen Gründen – nicht zuletzt auch als der historische Anbieter des Original Schmidt Hammers – wagte die Proceq einen Neustart. Das Ziel sollte es sein, den Schmidt Hammer nicht nur modern zu verpacken und zu „digitalisieren“, sondern von Grund auf neu zu gestalten.



Abbildung 1. Eine Auswahl „Digitaler“ Schmidt Hämmer mit externer Anzeige oder mit Huckepack

Aus unternehmerischer Sicht bot sich hier eine Chance: Durch eine intelligente Lösung ließ sich ein Gerät realisieren, das einen Mehrwert schöpft, den die Konkurrenz nur auf Kosten einer zweiteiligen Lösung zustande gebracht hat. D.h. wenn der Kunde bereit ist für ein unförmiges Gerät einen stolzen Preis zu zahlen, sollte sich ein integriertes Gerät zu einem attraktiven Preis und mit einem guten Deckungsbeitrag herstellen und verkaufen lassen!

Die Herausforderung hieß einerseits “Design to cost”: Wenige, einfache Teile, kostengünstige Fertigung und Montage, Investition in Werkzeuge, keine Verkabelungen. Andererseits stand fest, dass nur durch eine wesentliche Innovation sich ein neuer Beton Prüfhammer im kompetitiven, globalen Markt behaupten wird.

¹ Bär = Schlaghammer

2. Der Neustart

2.1 Philosophie

Alle Funktionseinheiten des Gerätes müssen aufeinander abgestimmt werden (Abb. 2), sollen auf kleinstem Raum Platz finden und leicht zu montieren und zu warten sein. Das Gerät muss optimal in der Hand liegen, die Bedienung und das Ablesen der Messwerte soll vom Benutzer in jeder Situation gut möglich sein.

Das Gerät soll die neuesten Komponenten verwenden, was elektronische Hardware betrifft, es soll stromsparend funktionieren und eine effiziente PC Schnittstelle aufweisen.

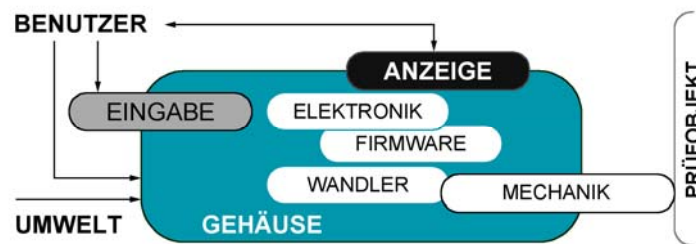


Abbildung 2. Interaktion der verschiedenen Module des SilverSchmidt; mit Einbezug von Benutzer (Auge – Hand/Arm), Umwelt (mechanische Beanspruchung, Staub, Feuchtigkeit) und Prüfobjekt.

2.2 Die optische Erfassung der Rückprall Energie

Erste Priorität bei der Neuentwicklung hatte das Messverfahren:

Beim klassischen Schmidt Hammer wird die Rückprallenergie anhand der vom „Bären“ zurückgelegten Strecke quantifiziert. Dabei verhält sich die Elongation der Schlagfeder proportional zu Rückprallenergie. Andererseits beeinflussen bei dieser Methode diverse Reibungseffekte und die Erdbeschleunigung das Messresultat.

Es wurde schon vor mehreren Jahren in unserer Firma versucht die Rückprallenergie nicht nur berührungslos, sondern auch ratiometrisch zu bestimmen, d.h. als Verhältnis der Rückprall- zur Vorwärtsgeschwindigkeit. (Dieses verhält sich gleich wie das Verhältnis: Rückweg zu Hinweg – von besagten Verlusten abgesehen). Jene Methode die mittels eines induktiven Gebers arbeitete, kam aber nie über die Laborphase hinaus.

Für den SilverSchmidt wurde ein optischen Verfahren entwickelt, dass sich als sehr robust erwiesen hat. Auch hier bestand bereits einige Erfahrung. Das Modell „Digi 1“ wurde eine Zeit lang produziert, es gab gute Resultate, leider war das optisch – reflexive Messverfahren störungsanfällig – das (zu teure) Gerät verschwand wieder vom Markt.

Durch Anbringen von Rillen auf dem Umfang des Bären ließ sich eine transmissiv arbeitende Lichtschranke realisieren; mit folgenden Vorteilen:

- Der Lichtstrom wird von den umlaufenden Rillen (Abb. 3a) eindeutig unterbrochen und ist nicht vom Oberflächenzustand des Bären abhängig.
- Mittels zweier, um ein halbes Rillenraster verschobenen Photodioden kann differentiell gearbeitet werden. Umgebungslicht, Thermik und Wirkungsgrad der LED fallen weg.
- Die Lichtschranke (IrLED und Photodiodenpaar) können direkt auf den über der Mechanik montierten Print gelötet werden (keine gesteckte Verbindung notwendig).

Dieses Wandlersystem birgt noch weitere Vorteile in sich: 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 nie möglich war.

Auf dem Bär werden mehrere Rillen eingestochen, womit sich ein Geschwindigkeitsverlauf erfassen lässt oder das Vorhandensein von Staub detektiert werden kann (Abb. 3b).

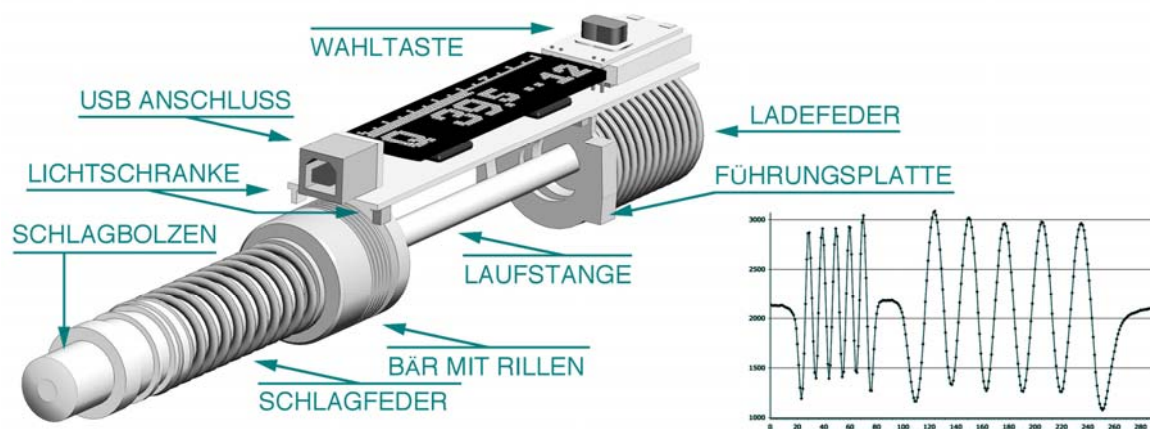


Abbildung 3a. Die Anordnung der Lichtschranke relativ zum Bären (Bär in Aufschlag Stellung).

Abbildung 3b. Das differentielle Signal des optischen Sensors: 1. Teil Hinweg, 2. Teil Rückprall.

Indem die Vorwärts- respektive die Rückprallgeschwindigkeit in unmittelbarer Stossnähe erfasst werden, ist der Einfluss der Gravitation praktisch eliminiert. Es wurde dennoch ein Neigesensor eingebaut, der letztlich zum Navigieren im Menu verwendet wurde (siehe 4.).

2.3 Der neue Rückprall Wert „Q“

Durch das neue Messverfahren, aber auch durch die in 3.1. beschriebene Änderung der Masse des Bären und 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 in Relation gebracht werden, Eine allfällige Umwertung soll aber auf jeden Fall direkt von „Q“ zur Druckfestigkeit erfolgen. Wir sind überzeugt, dass das neuartige Verfahren dem alten überlegen ist und sind daran, dies durch weltweit angelegte Labor- und Feldstudien zu bestätigen.

2.4 Evolution der Außenform

Als Grundlage zur Außenform diene das klassische zylindrische Gehäuse, das aus einem gezogenen, vorne konischen Alurohr besteht, mit beidseitigen Deckeln. Grundsätzlich wäre es denkbar gewesen, die Elektronik in ein solches Rohr einzubauen, allerdings hätte dies zu einem größeren Außendurchmesser geführt.

Über verschiedene „Ideationsstufen“ (Abb. 4, 5a) entstand die aktuelle dreiflächige Form, bei der die gesamte Elektronik oberhalb des Mechanikbereichs Platz findet und zu einem gefälligen externen Profil führt. Ein Problem stellte der Prüfaboss dar: Der derart entstandene Querschnitt passte nicht in die Ø54mm Führung für den klassischen Hammer. Hier gelang es, einen Ausschnitt so zu gestalten, dass einerseits der Hammer in den Amboss eingeführt werden kann, andererseits auch gleich eine Schnittstelle für den USB Anschluss geschaffen wurde. Dieser ist mit einem Gummi Element abgedichtet (Abb. 7a).

Anstatt das Gehäuse in Rohrform auszuführen und von hinten zu bestücken, erbot sich die Alternative mit zwei Halbschalen zu arbeiten. Anstoß kam hier von den erprobten Handwerkzeugen (Bohrmaschine). Auch die Wahl eines Gehäuses aus einem mit Glasfaser verstärkten Polyamid Material entspricht dem in der Werkzeugbranche üblichen Standard.

Die Abb. 5b zeigt einige Details des Innenlebens des Hammers, sowie den Größenvergleich zum Original. Die Anordnung von Elektronik und Anzeige, des USB Anschlusses und des Akkumulators (unter Wahltaste) sind klar ersichtlich.

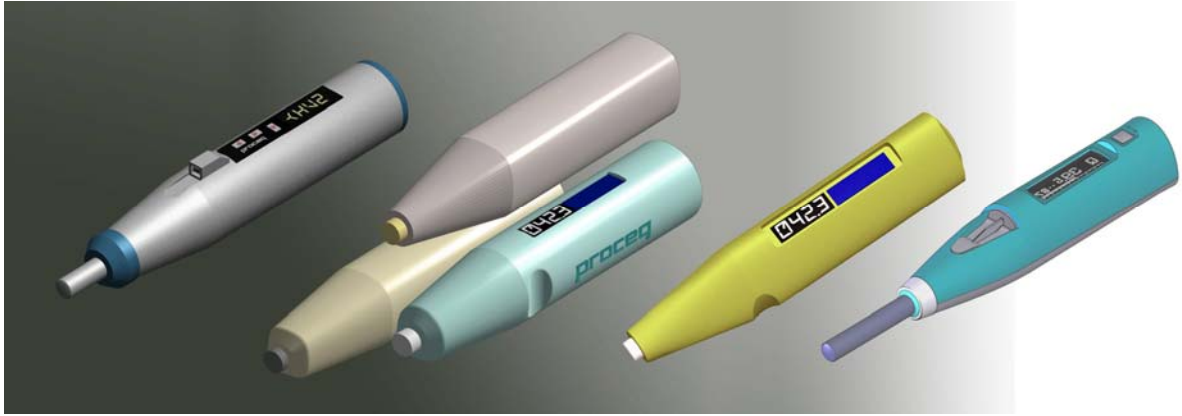


Abbildung 4. Die Evolution der Außenform vom zylindrischen zum dreiflächigen Profil.



Abbildung 5a. Gestaltung des Gehäuses mit Holzmodell und „Rapid Prototyping“ vom Kloben zum Prototyp. Jede Phase wurde parallel am CAD konstruiert, dann physisch realisiert und optimiert.

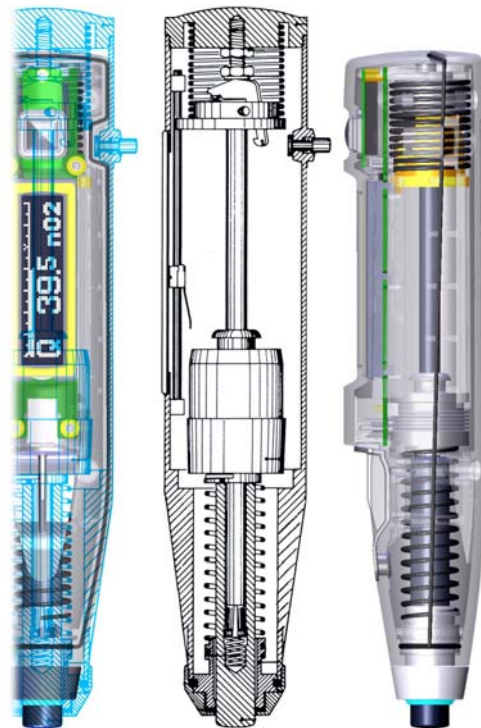


Abbildung 5b. Größenvergleich zwischen Original Schmidt Hammer und SilverSchmidt. Die Außenabmessungen wurden verkleinert, Federwege und –konstanten blieben identisch zum Vorgänger

3. Aufbau der Mechanik und der Elektronik

3.1 Bär und Schlagbolzen

Parallel zur Entwicklung des Gebers und der Außenform wurde eine Simulation des Stossvorganges durchgeführt. Es schien, 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. Die Schlagfeder wurde aber, als kritisch dimensioniertes Element, in ihrer Originalform belassen. Die beidseitige Befestigung der Schlagfeder erfolgte in klassischer Weise. Der bislang erforderliche Nullpunktabgleich wurde durch die neue Messmethode obsolet. Ebenso ist dank modernen Herstellverfahren eine Feinjustierung der Feder nach dem Einbau nicht mehr erforderlich.

In der ersten Ausführungsform wurde die Masse des Bären gleich der des Schlagbolzens gewählt. Zahlreiche Versuche zeigten, dass diese Paarung keine optimalen Resultate liefert. Deshalb beschlossen wir, den Schlagbolzen, durch Verwenden einer hochfesten Aluminiumlegierung, leichter zu machen. Dieser Bolzen ist hartbeschichtet und trägt eine Stahlkappe. Ausgedehnte Tests führten zu einer optimalen Materialpaarung und einem schlag- und kratzfesten Oberflächenfinish.

Auf die Möglichkeit, den Hammer nach erfolgtem Schlag zu arretieren, wie es bisher zum Ablesen des Messwertes nützlich war, wurde verzichtet - die in diesem Zustand gespannte Ladefeder würde eine Verletzungsgefahr darstellen.

3.2 Führungsplatte, Ladefeder

Die Reduktion der Masse des Bären, respektive die Verwendung eines kleineren Kalibers bedingte auch eine Neukonstruktion der Führungsplatte und der andern „Innereien“. Dabei wurde grundsätzlich darauf Wert gelegt, das gesamte Gerät so kompakt wie möglich zu halten. Die komplexen Elemente sind als gespritzte Kunststoffteile mit Einsätzen realisiert.

3.3 Elektronik Hardware

Wie eingangs erwähnt, sollte die Elektronik gemäß dem neusten Stand der Integration und Miniaturisierung aufgebaut werden. Vorreiter zur verwendeten Plattform war das ebenfalls von unserer Firma entwickelte Metall Härteprüfgerät Equotip „Piccolo“. Bei diesem wird ein Mikrocontroller als universelles Element eingesetzt. Sämtliche Funktionen, von der A/D Wandlung bis zur 4-stelligen 7-Segment Anzeige des Messwertes, sowie sämtliche Rechenoperationen laufen in diesem Baustein ab. Der Vorverstärker, der USB Treiber der nichtflüchtige Speicher und der Lagesensor sind extern.

Da die Anzeige des SilverSchmidt einiges komplexer werden sollte, wurde diese Basis durch einen Display Controller ergänzt (Abb. 6). Durch einen Reed Schalter [TRIG] wird das Gerät vor jedem Schlag „geweckt“, wenn die Führungsplatte (mit einem Magneten) kurz vor der Auslöse Position steht. Auf diese Weise ist die Stromaufnahme äußerst gering. Dank dem Hochkontrast LCD konnte auf eine Beleuchtung verzichtet werden, wodurch die Ladezyklen extrem günstig ausfallen (tausende von Messungen). Geladen wird über die USB Schnittstelle. Durch einen internen Servicestecker kann das Gerät im Werk programmiert und bei der Wartung diagnostiziert werden.

3.4 Die Elektronik Firmware

Hauptaufgabe der Firmware ist die durch das gewählte Messverfahren erforderlichen Operationen auszuführen. Die vom A/D Wandler mit fester Rate anfallenden Messwerte müssen geordnet und so verrechnet werden, dass ein Rückprall Koeffizient dargestellt werden kann. Zudem müssen die Daten systematisch abgespeichert werden und per USB auslesbar sein. Es sei erwähnt, dass die Entwicklung der Firmware etwa den gleichen Aufwand wie den der Mechanik und Hardware beinhaltet! Dafür sind nicht nur viele nützliche Funktionen implementiert, sondern es wurde auch Liebe zum Detail gepflegt; die Anzeige wirkt ausgewogen, die analoge Zeigerdarstellung ist animiert, d.h. sie läuft beim Rückprall als folgte sie dem Bären, wie der klassische Schleppzeiger; Schrift und Symbole sind „maßgeschneidert“ - Kleinigkeiten, die dem Anwender auch Spaß machen sollen.

4. Die Benutzer Oberfläche

Ein Blick auf Abb. 1 lässt einem bewusst werden, dass die Steuerung eines rechnenden und umwertenden Schmidt Hammers nicht ganz trivial ist. Zudem soll das Gerät ja feldtauglich, womöglich auch mit Handschuhen bedienbar sein. Inspiriert durch die Mobiltelefone und die elektronischen Spiele entstand eine Ein-Knopf Benutzer Schnittstelle.

Durch eine einzige Wahltaste [SELECT] kann mittels des Neigesensors im Menu von links nach rechts navigiert werden und durch abermaliges Antippen die jeweilige Funktion gewählt werden. Zum Durchlaufen der Resultatsliste kann auch in der vertikalen Achse „gescrollt“ werden. Diese Methode erwies sich als von praktisch allen Anwendern intuitiv erfassbar. Die Menustruktur ist einfach, wie man sie vom Handy her kennt, praktisch jeder Befehl kann direkt oder über maximal 2 Stufen ausgelöst werden.

Wählbar sind so: der Messmodus (Einzelmessungen – verschiedene Mittelungen), die gewünschte Umwertekurve (Würfel Druckfestigkeit und Einheit / Rückprallwert Q). Alle Daten werden automatisch gespeichert und sind über die Funktion „Liste“ aufrufbar. Offensichtliche Ausreißer können nach dem jeweiligen Schlag eliminiert werden. Die polyvalente, vom Kontext abhängige, Wahltaste übernimmt während einer Messreihe die Löschfunktion. Am Ende einer Messreihe zeigt das Fenster den Mittelwert (oder Median) die Abweichung, Anzahl Werte und, falls gewünscht, die entsprechende Druckfestigkeit an.

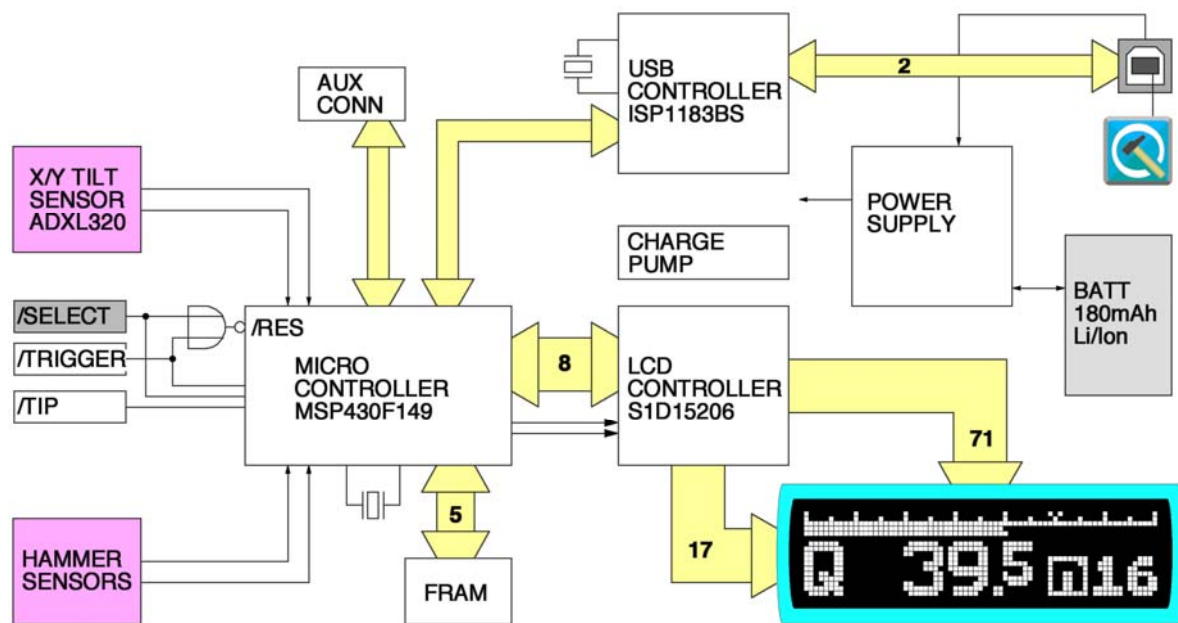


Abbildung 6. Blockschaltbild des SilverSchmidt sowie Teilansicht der Platine. Gezeigt sind zudem die beiden wichtigsten Anzeigen: Der einzelne Messwert (digital und analog), plus Zähler – Das sprachneutrale Hauptmenu mit den Ikonen für die Funktionen: Einzelmessung, Statistik, Liste, Umwertekurven, Einheiten. Die Auswahl erfolgt durch seitliches Neigen des Gerätes; die ins Zentrum gerückte Ikone wird angeklickt.

5. Schlussfolgerungen

Das Projekt SilverSchmidt war und bleibt für unsere Firma eine große Herausforderung. Während der Entwicklung galt es alle Anforderungen unter einen Hut zu bringen. Dies war im eng zusammenarbeitenden Team – im Hause und mit den Zulieferern – möglich. Nun heißt es die Käufer zu überzeugen, die nicht immer gern vom etablierten Pfad abweichen. Auch gilt es, das modifizierte Verfahren überall zu normieren und zu standardisieren.

Durch die beschriebene Entwicklung sind folgende Ziele erreicht worden:

- *Ergonomie:* Das Design des SilverSchmidt ist sowohl für das Auge als auch die Hand sehr ansprechend. Die große Anzeige lässt sich bei allen Lichtverhältnissen gut ablesen.
- *Robustheit:* Durch eine zweistufige Dichtung dringt kein Material ins Geräteinnere, nach zehntausend Schlägen ist alles noch sauber und die Messwerte halten sich.
- *Schlagrichtungs- Unabhängigkeit:* Die Geschwindigkeit des Bären wird in beiden Richtungen nahe am Aufschlag gemessen - die Werte müssen nicht korrigiert werden.
- *Messgenauigkeit, -wiederholbarkeit:* Durch die neue Messmethode und die revidierte Mechanik übertrifft der SilverSchmidt den klassischen Hammer; er weist nun über den gesamten Messbereich eine kleinere Streuung auf als der Original Schmidt.
- *Objektive Auswertung:* Es können einfach eine grössere Anzahl Messpunkte erfasst werden, die vom Gerät automatisch nach statistischen Kriterien ausgewertet werden.
- *PC Anbindung.* Die Applikation „Hammerlink“ erlaubt sämtliche Daten via USB zu transferieren. Auch Firmware Aktualisierungen sind über diese Verbindung möglich.

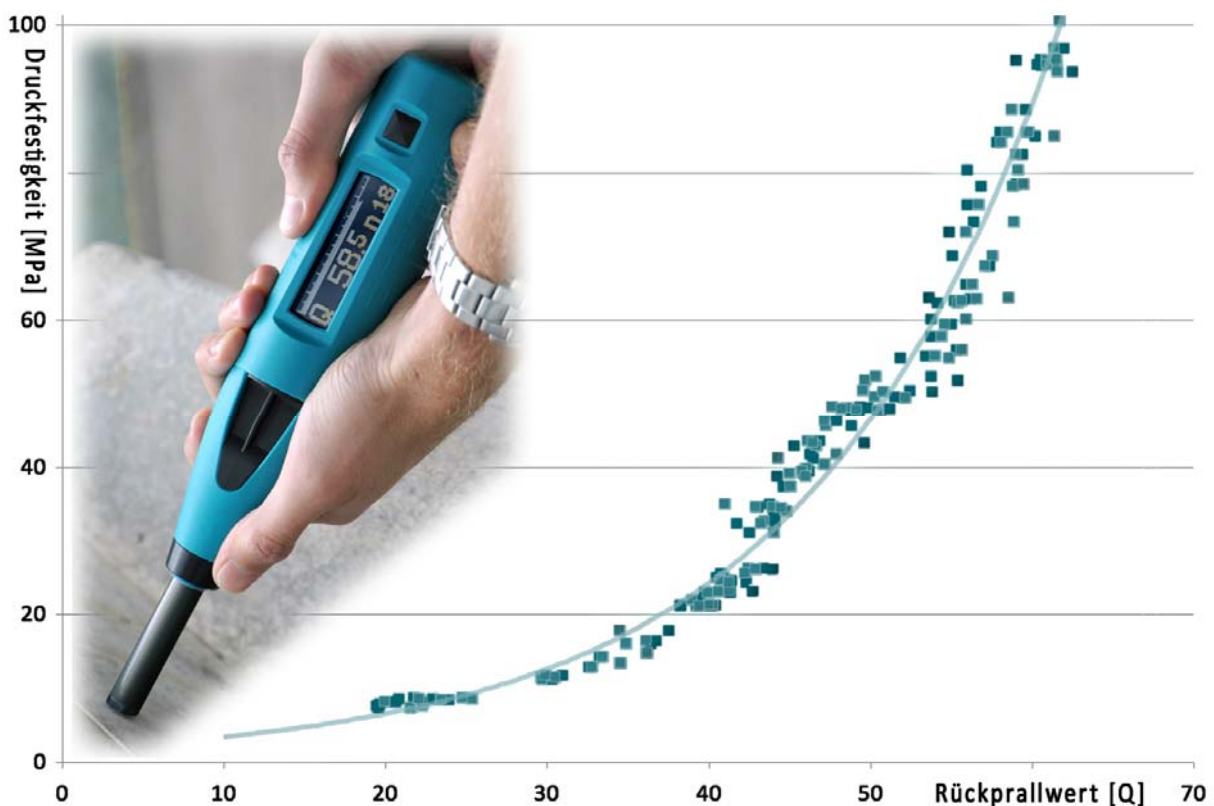


Abbildung 7a. Das in der Schweiz hergestellte Serienmodell überzeugt durch seine Ergonomie, Richtungsunabhängigkeit, Wiederholgenauigkeit und Robustheit auch die kritischen Anwender.

Abbildung 7b. Die Umwertekurve f_{ck} / Q ist in erster Näherung eine Dehnung der klassischen f_{ck} / R -Kurve. Die beiden Varianten „N“= 2.2Nm und „L“= 0,73Nm weisen dieselbe Kennlinie auf