

The concrete and precast industry will be challenged by ongoing changes in the cement industry. In future, concrete batching will require a better understanding of cement to optimize concrete recipes economically and to maintain concrete conformity. This task can be accomplished with PolabCal and PolabH2.

Die Beton- und Fertigteilindustrie muss sich an den kontinuierlichen Wandel in der Zementindustrie anpassen. Künftig ist für die Betondosierung auch das Verhalten des Zements gründlich zu analysieren, um Rezepturen kostengünstig optimieren und dabei die Konformität des Betons sichern zu können. Die Laborautomationslösungen PolabCal und PolabH₂ können hier einen wichtigen Beitrag leisten.

How state-of-the-art analyzers can improve quality and margin in concrete batching

Hochmoderne Analysesysteme zur Steigerung der Qualität und Kosteneffizienz im Betonwerk

Text: Jasmin Holzer MSc., Dr. Michael Enders

The concrete and precast industry is confronted with ongoing changes in the cement industry. In near future the CO₂ load of cementitious binders will be reduced by lowering the clinker content. However, a lower clinker factor will also reduce reactivity. In future, concrete batching will require a better understanding of cement to optimize concrete recipes economically and to maintain concrete conformity.

This task can be accomplished with PolabCal (cement reactivity analyzer) and PolabH₂ (automated hydrogen analyses). These analyzers supply frequent (e.g. hourly) data of cement reactivity and cement expansion potential. Fully automated, they provide high-resolution data to correct and optimize concrete recipes during batching. All results can be directly forwarded to mix calculation software.

1 Introduction

Global concrete production is estimated to 30 Gt_{concrete}/year (equivalent to 10-15*10⁹ cbm/year) [1]. 8% of

Die Beton- und Fertigteilindustrie sieht sich einem kontinuierlichen Wandel in der Zementindustrie gegenüber. In naher Zukunft werden die im Beton eingesetzten zementären Bindemittel aufgrund geringerer Klinkergehalte geringere CO₂ Emissionen verursachen. Dieser reduzierte Klinkergehalt führt jedoch auch zu einer Verlangsamung des Hydrationsprozesses. Daher ist künftig für die Betonherstellung auch das Verhalten des Zements gründlich zu analysieren, um Rezepturen kostengünstig zu optimieren und dabei die Konformität des Betons sichern zu können.

Die Laborautomationslösungen PolabCal (Analyse der Zementreaktivität) und PolabH₂ (automatisierte Wasserstoffanalyse) können hier einen wichtigen Beitrag leisten. Diese Analysesysteme liefern in engen (stündlichen) Intervallen Daten zur Zementreaktivität und zum Ausdehnungspotenzial des Zements. Vollautomatisch stellen sie hochauflösende Daten zur Korrektur und Optimierung der Betonzusammensetzung bereit. Alle Ergebnisse lassen sich direkt in die Software zur Berechnung des Mischungsentwurfs exportieren.

Fig. 1: The Walz curve shows the relation between water/cement ratio, cement strength class and expected compressive strength development in concrete

Abb. 1: Die Walz-Kurve zeigt den Zusammenhang zwischen dem Wasser/Zement-Verhältnis, der Zementfestigkeitsklasse und der erwarteten Druckfestigkeitsentwicklung in Beton

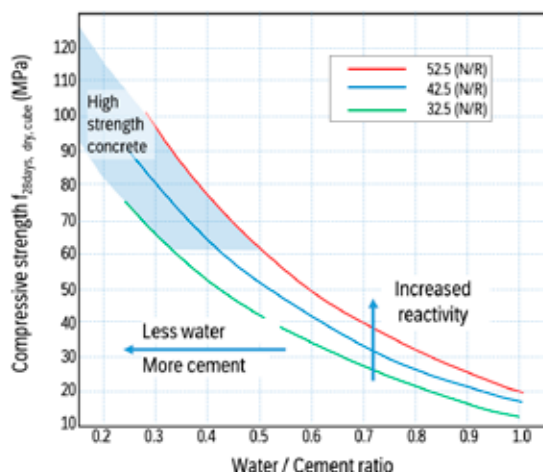


Figure: Thyssenkrupp Industrial Solutions

1 Einleitung

Weltweit beläuft sich die produzierte Betonmenge aktuell auf ca. 30 Gt_{Beton}/Jahr (entsprechend 10-15*10⁹ m³/Jahr) [1]. 8 % der globalen CO₂-Emissionen entfallen auf die Zementherstellung [16]. Aus der Perspektive der Ausgangsstoffe senkt die Zementindustrie fortlaufend den Gehalt an Klinker und herkömmlichen Brennstoffen, um so die Treibhausgasemissionen zu mindern. Im Beton stellt ein optimierter Mischungsentwurf einen Ansatz zur Reduzierung des Beitrags der Baubranche zu den Emissionen dar [15]. Nachhaltige Rezepturen müssen ein Gleichgewicht zwischen der zuverlässigen Konformität des Betons bei reduzierten Treibhausgasemissionen je Einheit und einem annehmbaren Kostenniveau herstellen. Dieses Ziel lässt

global CO₂ emissions are attributable to cement manufacturing [16]. On the raw material side, the cement industry is steadily moving forward to decrease clinker content in cement and traditional fuels to bring down greenhouse gas emissions. On the final application, lean concrete design is a lever to reduce the contribution from construction work [15]. Sustainable concrete recipes need to strike a balance between reliable concrete conformity at reduced greenhouse gas emissions per unit and acceptable cost. These tasks can be achieved by a better understanding of the binders used in concrete.

Concrete composition is optimized along three constituents: water/cement ratio (including concrete admixtures), cement content and aggregates (including recycled aggregates). The relation of compressive strength versus cement quality is documented in the Walz curve (Fig. 1). A decrease in water addition increases compressive strength. An increase in the cement strength class improves compressive strength, usually at a higher cost. Furthermore, future placing technologies, such as self-compaction or 3D printing, are demanding in terms of cement robustness and concrete admixture content.

This paper introduces two analyzers that provide application-relevant data for cement. Data acquisition is fast enough to review cement content in concrete batching. PolabCal allows reduced safety margins by closing the gap from batching to delayed confirmation from compressive strength testing. PolabH2 supports the control of possible expansive cement properties in concrete production.

2 Today's quality control systems

2.1 Quality control in cement plants

EN 197 [2] and EN 196 [3] describe 27 cement types in six compressive strength classes and the procedures to certify compliance. Certified properties are compressive strength, set times, volume stability, sulfate resistance, heat of hydration, shrinkage, low initial strength and green strength for precast production.

Cement plant quality control operates a process lab (XRF, XRD, PSD) to produce clinker and cement compliant with EN 197 [4]. The process lab is often fully automated (Fig. 2). It ensures compliance of intermediate and finished products with standards and internal targets. Clinker and cement reactivity is not quantified but anticipated from historic data. Cement quality is adjusted by controlling SO₃ for set correction and fineness. Performance of the cementitious binder can only be predicted from the historic data due to the delayed compressive strength analyses.

The physical laboratory verifies product quality with compressive strength tests in accordance with EN 196 [3]. The results from the physical lab are delayed by 1 to 28 days from production. This offset complicates a correlation of process control and product control data. The process set points are fixed by QC personnel on historic data plus safety margins to meet the targets. Often cement has been dispatched when compressive strength data becomes available.



Figure: Thyssenkrupp Industrial Solutions

Fig. 2: The Polab Linea fully automated lab automation system is installed globally in many cement plants

Abb. 2: Das vollautomatische Laborsystem Polab Linea ist weltweit in vielen Zementwerken installiert

sich durch umfassendere Erkenntnisse zum Verhalten der im Beton eingesetzten Bindemittel erreichen.

Die Betonzusammensetzung wird auf drei Ebenen optimiert: beim Wasser/Zement-Verhältnis (einschließlich Betonzusatzmittel), dem Zementgehalt und den enthaltenen Zuschlagstoffen (einschließlich Recyclingzuschlag). Der Zusammenhang zwischen der Druckfestigkeit und der Zementqualität ist in der Walz-Kurve dokumentiert (Abb. 1). Eine Verringerung der Wasserzugabe lässt die Druckfestigkeit steigen. Auch die Wahl einer höheren Zementfestigkeitsklasse erhöht die Druckfestigkeit, jedoch in der Regel zu höheren Kosten. Darüber hinaus stellen künftige Technologien für die Betonage, wie Selbstverdichtung oder 3D-Druck, hohe Ansprüche an die Robustheit des Zements und den Gehalt an Betonzusatzmitteln.

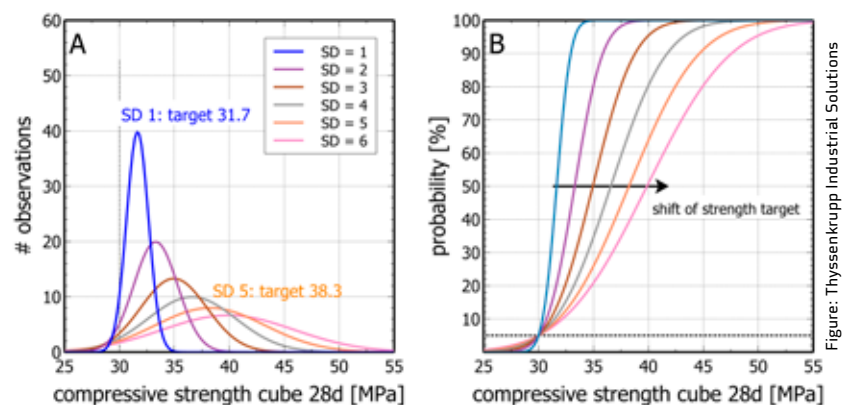


Figure: Thyssenkrupp Industrial Solutions

Fig. 3: Calculated Gaussian distribution curves for concrete mixes with a compressive strength of 30 MPa and a maximum of 5% of the data points below 30 MPa. (B) Same data plotted in a cumulative plot; the dotted line marks 5% outliers. The arrow marks the shift of the target for different values of standard deviation

Abb. 3: Berechnete Gaußsche Verteilungskurven für Betongemenge mit einer Druckfestigkeit von 30 MPa und maximal 5 % der Datenpunkte unter 30 MPa. (B) Dieselben Daten aufgetragen als kumulativer Plot; die gestrichelte Linie zeigt 5 % Ausreißer. Entlang des Pfeils ist für die jeweilige Standardabweichung die Verschiebung des Vorhaltemaßes ablesbar

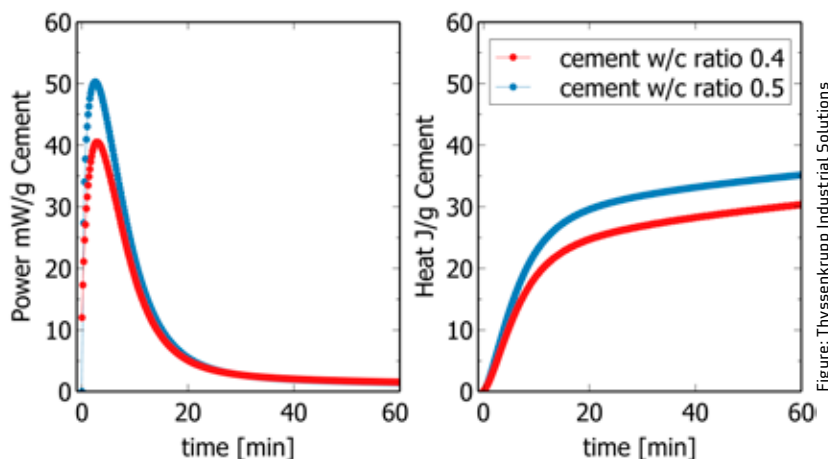


Fig. 4: The heat flow diagram (power) shows the heat release over time (left) for two cements. The cumulative curve shows the total heat release at a certain date (right)

Abb. 4: Das Wärme-flussdiagramm (Leistungskurve) zeigt die zu einem bestimmten Zeitpunkt freigesetzte Energie (links) für zwei Zementproben. Die kumulative Kurve zeigt die aufsummierte abgegebene Wärme zu einem bestimmten Zeitpunkt (rechts)

2.2 Quality control in concrete and precast manufacturing

Quality control in concrete plants rests on three pillars: skilled personnel, fresh concrete properties and hardened concrete properties. Fresh concrete properties are quantified from the batch or by torque measurements during transport [5]. Water content or concrete admixtures are adjusted accordingly. Hardened concrete properties require concrete casting to molds and compressive strength testing with delayed results. Errors in the concrete lab include material inconsistency, the batching process and the human factor. Each analytical error limits accuracy and reproducibility [13, 14]. In practice, set points are corrected with safety margins based on historic data (Fig. 3A/3B). The actual compressive strength target is calculated from the accepted percentage of outliers and the standard deviation (Fig. 3B) [6, 2]. The statistical approach is mandatory to exclude the risk of nonconformity [15].

In the example, a standard deviation of 5 at a compressive strength target of 30 MPa (C25/30) will see some cubes with a compressive strength close to 50 MPa overshooting the target by 20 MPa (Fig. 3). The excess compressive strength is a cost factor due to increased cement content or overdosed fluidizers in concrete. A reduced safety margin deviation has a cost benefit.

3 Future analyzers in concrete plants

3.1 PolabCal – automated isothermal calorimetric analyses

Reactivity is a crucial property of cementitious materials. Isothermal calorimetry quantifies cement reactivity from heat release during hydration rather than from compressive strength measurement [7]. Up to now, isothermal calorimetry has been used widely in R&D. The signal carries information about the power released from hydrating cement at a given time (Fig. 4A) and the accumulated heat release over time (Fig. 4B). Previous work confirmed the potential to predict at least one-day compressive strength from calorimetry data [8, 10]. Up to now, the signals chosen from calorimetry were too slow for process control (½ day to 1 day). The intense initial peak was lost or incompletely recorded due to slow manual sample preparation and a critical human factor. Recent work accelerated automated isothermal calorimetry analyses to include the initial peak into

Der vorliegende Beitrag stellt zwei Analysesysteme vor, die anwendungsrelevante Daten für den Zement liefern. Dabei erfolgt die Datenerfassung so schnell, dass der Zementgehalt noch während der Betondosierung geprüft und ggf. angepasst werden kann. PolabCal schließt die Lücke zwischen Betonherstellung und der nachgelagerten Druckfestigkeitsprüfung mit tatsächlichen Reaktivitätsdaten der Zemente. Hierdurch ist ein günstigeres Vorhaltmaß für die Druckfestigkeit möglich. PolabH2 unterstützt die Steuerung möglicher Ausdehnungseigenschaften des Zements in der Betonherstellung.

2 Heutige Systeme der Qualitätssicherung

2.1 Qualitätssicherung im Zementwerk

EN 197 [2] und EN 196 [3] beschreiben 27 Zementtypen in sechs Druckfestigkeitsklassen sowie die Verfahren zum Nachweis der Konformität. Nachzuweisende Eigenschaften umfassen Druckfestigkeit, Erstarrungszeit, Raumbeständigkeit, Sulfatwiderstand, Schwindverhalten, niedrige Frühfestigkeit und Grünfestigkeit für die Betonfertigteilproduktion.

Im Zementwerk dient ein Prozesslabor (XRF, XRD, PSD) der Qualitätsüberwachung zur Herstellung von Klinker und Zement gemäß EN 197 und internen Zielvorgaben [4]. Dieses Labor ist häufig vollautomatisiert (Fig. 2). Für Zwischen- und Fertigerzeugnisse sichert es die Einhaltung geltender Normen und interner Spezifikationen. Dabei werden der Klinkergehalt und die Zementreaktivität nicht quantifiziert, sondern aus historischen Daten geschätzt. Die Optimierung der Zementqualität erfolgt mittels Überwachung des SO_3 -Gehalts zur Anpassung des Erstarrungsverhaltens und Feinheitsgrades. Das Verhalten des zementären Bindemittels kann ausschließlich auf Grundlage der verfügbaren Daten prognostiziert werden, da die Prüfungen der Mörteldruckfestigkeit erst im Nachhinein durchgeführt werden.

Das physikalische Labor weist die Produktqualität mittels Druckfestigkeitsprüfungen gemäß EN 196 [3] nach. Die Ergebnisse dieser Prüfungen liegen üblicherweise erst 1 bis 28 Tage nach der Produktion vor. Diese Verzögerung erschwert die Herstellung eines Zusammenhangs zwischen den Daten der Prozesssteuerung und der Produktüberwachung. Die Sollwerte für den Prozess werden von den Mitarbeitern der Qualitätssicherung auf Grundlage historischer Daten und Sicherheitsfaktoren im Sinne der Zielerreichung definiert, denn der Zement wird häufig ausgeliefert bevor Mörteldruckfestigkeitsdaten vorliegen.

2.2 Qualitätssicherung in der Beton- und Fertigteilproduktion

Im Betonwerk sind für die Qualitätssicherung drei Faktoren ausschlaggebend: hinreichend ausgebildetes Personal, die Eigenschaften des Frischbetons und die Eigenschaften des Betons im erhärteten Zustand. Die Frischbetoneigenschaften werden durch Prüfung der Charge oder durch Drehmomentmessung an der Mischtrommel des Fahrmixers quantifiziert [5]. Der Wassergehalt oder die Menge zugegebener Betonzusatzmittel wird nachfolgend entsprechend angepasst. Die Eigenschaften des Betons im erhärteten Zustand lassen sich nur durch die Einbringung des Betons in Formen und die nachfolgende, zeitlich verzögerte Druck-



Figure: Thyssenkrupp Industrial Solutions

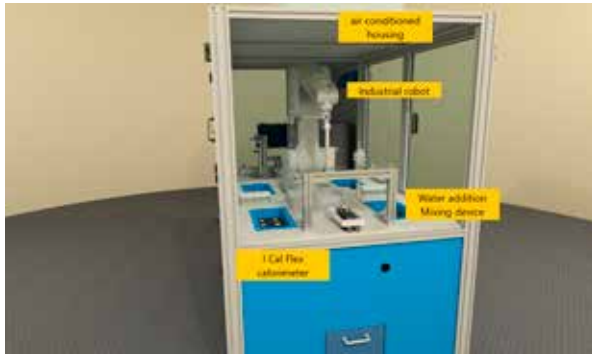


Figure: Thyssenkrupp Industrial Solutions

festigkeitsprüfung ermitteln. Im Betonlabor auftretende Fehler umfassen inkonsistente Materialeigenschaften, den Dosiervorgang und den Mannfaktor. Jeder einzelne Analysefehler wirkt sich nachteilig auf die Genauigkeit und Reproduzierbarkeit aus [13, 14]. In der Praxis werden Sollwerte durch Anwendung von aus historischen Daten gewonnenen Sicherheitsbeiwerten korrigiert (Abb. 3A/3B). Die eigentliche Zielvorgabe für die Druckfestigkeit wird aus dem zulässigen Anteil von Ausreißern und der Standardabweichung berechnet (Abb. 3B) [6, 2]. Das statistische Verfahren ist anzuwenden, um das Risiko einer fehlenden Normkonformität auszuschließen [15].

In der Beispielrechnung führt eine Standardabweichung von 5 bei einer angestrebten Druckfestigkeit von 30 MPa (C25/30) dazu, dass einige Probekörper eine Druckfestigkeit nahe 50 MPa aufweisen und die Vorgabe damit um etwa 20 MPa überschreiten (Abb. 3). Diese über der Spezifikation liegende Druckfestigkeit ist aufgrund des höheren Zementgehalts oder überdosierter Betonverflüssiger ein Kostenfaktor. Eine Reduzierung des Vorhaltemaß wirkt sich folglich vorteilhaft auf die Kosten aus.

3 Analysesysteme der Zukunft im Betonwerk

3.1 PolabCal – automatisierte isotherme Kalorimetrie

Die Reaktivität ist eine der wichtigsten Eigenschaften zementärer Stoffe. Mithilfe der isothermen Kalorimetrie wird die Zementreaktivität nicht mehr durch Druckfestigkeitsmessungen, sondern ausgehend von der Wärmefreisetzung während des Hydrationsvorgangs bestimmt [7]. Bis dato wurde dieses Verfahren in der Forschung und Entwicklung eingesetzt. Das Signal enthält Informationen über die vom Zement zu einem bestimmten Zeitpunkt der Hydratation freigesetzte Energie (Abb. 4A) und die im zeitlichen Verlauf kumulierte Wärmefreisetzung (Abb. 4B). Frühere Forschungsarbeiten hatten das Potenzial der Ableitung der 1-Tages-Druckfestigkeit aus Kalorimetriedaten bereits bestätigt [8, 10]. Der bislang in der Kalorimetrie genutzte Hauptpeak nach 6 – 24h erscheint zu spät für Regeleingriffe in der Prozesssteuerung. Das anfängliche Intensitätsmaximum ging dabei aufgrund der manuellen Probenvorbereitung verloren oder wurde nur unzureichend erfasst. Das bislang nur schwierig erfassbare Anfangsmaximum kann jetzt in neu entwickelten automatisierten Wärmeflusskalorimetern verlässlich bestimmt und ausgewertet werden. Dies wird erreicht durch Automatisierung und einen Temperaturengleich zwischen der vorzubereitenden Probe und dem Thermostat des Kalorimeters. Der automatisierte Prozess reduziert den Mannfaktor und führt zu einer besseren Reproduzierbarkeit und Genauigkeit [4, 11]. PolabCal überführt die schrittweise manuelle Probenvorbereitung in einen von menschlichen Einflüssen völlig unabhängig ablaufenden Prozess, der die Probendosierung, Wasserzugabe, Intensivmischung und Einführung der Probe in das automatische Kalorimeter sowie Datenauswertung umfasst (Abb. 5A, Abb. 5B). Auch Betonzusatzmittel oder weitere Feststoffe lassen sich über das automatische System präzise dosieren.

Der Datensatz mit den ersten 60 Minuten des Hydrationsvorgangs und dem anfänglichen Intensitätsmaximum ermöglicht routinemäßigen Zugriff auf ein extrem schnelles, reproduzierbares Reaktivitätssignal [11]. Dieses erste

Fig. 5a+b: Rendered images of PolabCal: The picture shows the final layout of PolabCal. The principal components are distributed on the preparation table (left). A robot will handle the samples. The isothermal 1 Cal Flex calorimeters are mounted below the preparation table (right)

Abb. 5a+b: Das PolabCal-System: Finaler werkseitiger Aufbau für die Auslieferung an den Kunden. Die Hauptkomponenten sind auf dem Präparationstisch (links) aufgebaut. Die Proben werden von einem Roboter bewegt. Die isothermen 1-Cal-Flex-Kalorimeter sind unter dem Vorbereitungstisch montiert (rechts)

the data record. This task is achieved by automation and thermal equilibration between sample preparation and the thermostat of the calorimeter. Automation reduces the human factor and improves reproducibility and accuracy [4, 11]. PolabCal translates step-by-step manual sample preparation to a completely unattended process including sample dosing, adding water, applying high-shear mixing and introducing the sample into the automated calorimeter and data evaluation operation (Fig. 5A, Fig. 5B). Concrete additives or additional solid material (e.g. fly ash, granulated blast furnace slag) can also be dosed from the automated system precisely. The record of the first 60 minutes of hydration with the

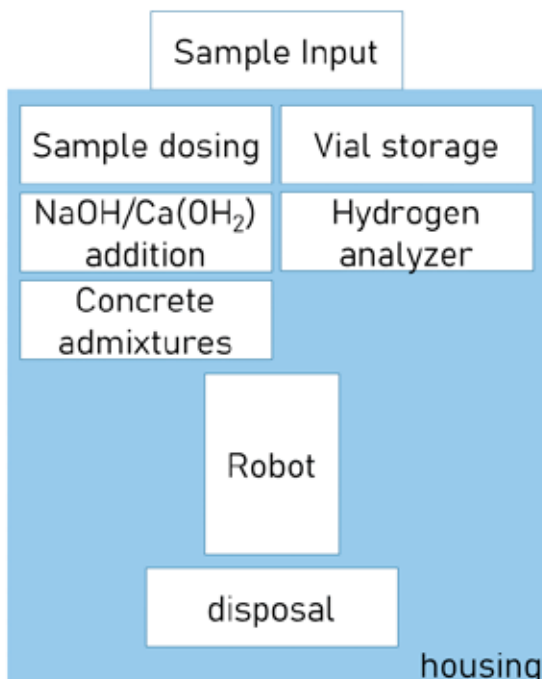


Figure: Thyssenkrupp Industrial Solutions

Fig. 6: Principal components of the preparation table in PolabCal. The housing and the sample handling are taken from PolabCal

Abb. 6: Hauptkomponenten des Vorbereitungstisches des Systems PolabH2. Die Kabine und die Probenhandhabung wurden vom System PolabCal übernommen

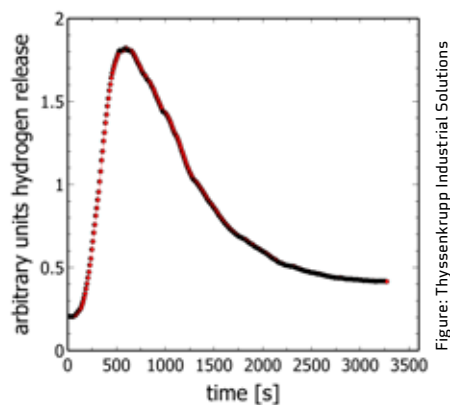


Fig. 7: Hydrogen measurement showing hydrogen gas release from a hydrating cement over time. Within short time, the reaction starts and hydrogen release ends after about 30-60 minutes

Abb. 7: Messung der Freisetzung von gasförmigem Wasserstoff aus dem Zement während der Hydratation in Abhängigkeit von der Zeit. Die Wasserstofffreisetzung setzt sehr schnell ein und endete nach 30-60 Minuten

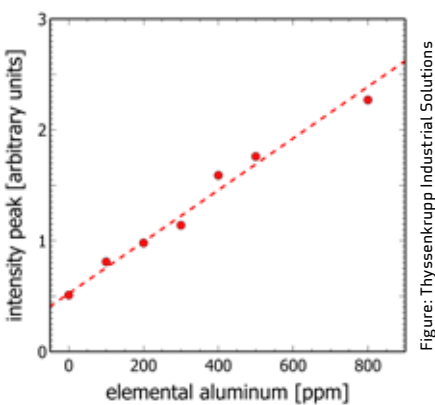


Fig. 8: Calibration curve for elemental aluminum in cement. The hydrogen release is linear with increasing elemental aluminum content

Abb. 8: Kalibrierungskurve für elementares Aluminium im Zement. Die Wasserstofffreisetzung verläuft linear zum steigenden Gehalt an elementarem Aluminium

Fig. 9: Possible QC circuit for improved concrete consistency in a concrete batching plant. In a direct control cycle, only the cement content in concrete is adjusted according to the PolabCal and PolabH2 measurement.

Abb. 9: Möglicher Ablauf der Qualitätssicherung für eine verbesserte Betonkonsistenz in einer Betondosier- und -mischanlage. In einem direkten Regelkreis wird lediglich der Zementgehalt im Beton an die PolabCal- und PolabH2-Messwerte angepasst.

initial peak gives access to an ultrafast and reproducible reactivity signal on a routine basis [11]. This first peak contains all information available at a later stage of hydration (Fig. 4, [11]). In a first approach, reactivity of subsequent cement samples can be normalized frequently (e.g. hourly, bihourly). The ratio is used to adjust the cement content in a concrete batch to maintain conformity of batches over time.

The AQCnet software operates the analyzer, analyzes the data (Fig. 4 A/B) and communicates with third-party software to adjust concrete recipes. PolabCal is a quantum leap to improve concrete consistency and economics and sustainability.

3.2 PolabH2 – automated elemental aluminum analyses

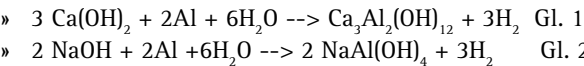
Recently some cements exhibited expansive behavior during hydration critical for concrete and precast manufacturing. The expansion is due to elemental metals present in cement (e.g. from alternative fuels, wear from metal surfaces). Those metals are oxidized in alkaline solutions. The reaction products are pore-forming gaseous hydrogen (eq. 1, eq. 2) and solid hydro(xy)garnet (katoite, $\text{Ca}_3\text{Al}_2(\text{OH})_{12}$) [12]. This reaction is known from

Maximum enthält bereits alle zu einem späteren Zeitpunkt der Hydratation verfügbaren Informationen (Abb. 4, [11]). In einem ersten Schritt lässt sich die Reaktivität aufeinanderfolgender Zementproben in engen Abständen normalisieren (zum Beispiel in stündlichen oder zweistündlichen Intervallen). Das Verhältnis dient dann zur Anpassung des Zementgehalts in der jeweiligen Betoncharge, um so die Konformität der Chargen im zeitlichen Verlauf aufrechtzuerhalten.

Die Software AQCnet steuert den Betrieb des Analysators, wertet die Daten aus (Abb. 4A/B) und kommuniziert mit externer Software, um die Betonrezeptur anzupassen. PolabCal stellt einen Quantensprung bei der Verbesserung der Betonkonsistenz sowie der Wirtschaftlichkeit und Nachhaltigkeit dar.

3.2 PolabH2 – automatisierte Analyse auf elementares Aluminium

In der jüngsten Vergangenheit wurde an manchen Zementen überraschenderweise bei der Hydratation eine für die Beton- und Fertigteilherstellung unerwünschte Volumenzunahme festgestellt. Eine solche Ausdehnung kann durch elementare Metalle zum Beispiel aus unvollständig resorbierten Brennstoffen oder Abrieb von Metalloberflächen verursacht werden. Aluminium oder Zinkspäne oxidieren in alkalischen Lösungen. Als Reaktionsprodukte entstehen porenbildender gasförmiger Wasserstoff (Gl. 1, Gl. 2) und fester Hydro(xy)granat (Katoit, $\text{Ca}_3\text{Al}_2(\text{OH})_{12}$) [12]. Die hier ablaufende Reaktion ist identisch zur durch Aluminiumpulverzugabe ausgelösten Porenbildung in Porenbeton.



Unter Anwendung von Gl. 1 und Gl. 2 wird die Wasserstofffreisetzung in Abhängigkeit vom Gehalt an elementarem Aluminium im Zement berechnet. Technisch basiert das System PolabH2 auf PolabCal (Abb. 6). Alle Analysen (Probenzufuhr, Wägung, Zugabe des Aktivierungsfluids, Quantifizierung) erfolgen automatisiert und AQCnet berechnet den Gehalt an elementarem Aluminium.

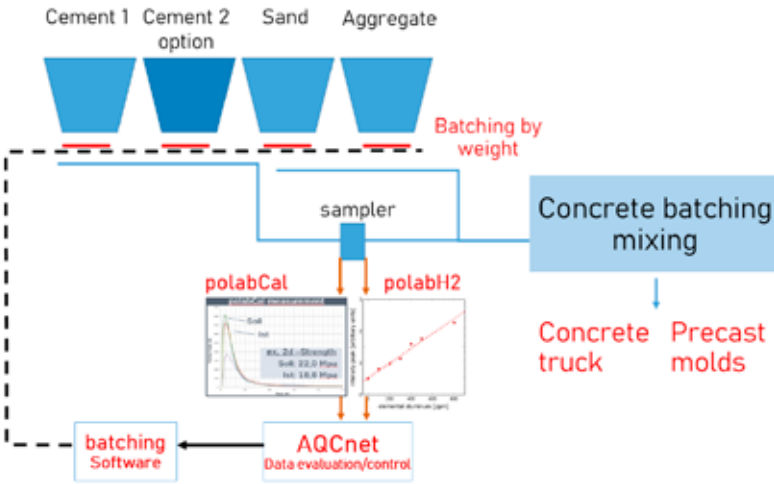


Figure: Thyssenkrupp Industrial Solutions

the action of aluminum flakes added during production of porous and aerated concrete.

- » $3 \text{ Ca(OH)}_2 + 2\text{Al} + 6\text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{Ca}_3\text{Al}_2(\text{OH})_{12} + 3\text{H}_2$ eq. 1
- » $2 \text{ NaOH} + 2\text{Al} + 6\text{H}_2\text{O} \rightarrow 2 \text{ NaAl(OH)}_4 + 3\text{H}_2$ eq. 2

The hydrogen release is calculated to elemental aluminum content in cement in accordance with equations 1 and 2. Technically PolabH2 is derived from PolabCal (Fig. 6). The complete analyses (sample input, weighing, adding activation fluid, quantification) is automated, and AQCnet calculates the elemental aluminum content. The results are used to adjust pore formation to requirements and limits. Fig. 7 shows a typical hydrogen release curve over time. The measurement takes 30–60 minutes of time. Fig. 8 shows a calibration curve for quantification. By automation, the sample throughput is able to apply fast corrections during batching requiring only a minimum of skills and personnel.

4 Control cycles

Concrete producers rely on statistical supervision of their products with a limited number of actual compressive strength analyses. PolabCal and/or PolabH2 add high-resolution reactivity data and hydrogen data to concrete batching. Fast and reliable analyses are mandatory to adapt concrete recipes frequently. The ultimate task is to reduce standard deviation of compressive strength to reach reduced safety margins without compromising concrete conformity. Concrete plants handle small volumes that can be traced from reception to final consumption. This concept gives access to fast control loops during the concrete batching process.

Fig. 9 outlines a quality control system for a concrete batching plant. Cement is sampled every 30–60 minutes on the way to the batching mixer. Each cement sample is tagged with a reactivity value. Based on the measurement, a reactivity ratio can be calculated from subsequent cement samples and combined with elec-

Mit den Ergebnissen aus PolabH2 kann in Betonen die Porenbildung nach den spezifischen Anforderungen gesteuert werden. Abb. 7 zeigt eine typische Wasserstofffreisetzungskurve in Abhängigkeit von der Zeit. Die Messung nimmt 30 bis 60 Minuten in Anspruch. In Abb. 8 ist eine Kalibrierungskurve für die Quantifizierung dargestellt. Die Automatisierung in PolabH2 erlaubt bei geringen technischen und personellen Anforderungen eine zeitnahe Anpassung der Betonrezepturen an die Zementeigenschaften.

4 Regelkreise

Betonhersteller verlassen sich auf die statistische Überwachung ihrer Erzeugnisse, wobei nur eine begrenzte Zahl an Druckfestigkeitsprüfungen tatsächlich durchgeführt wird. PolabCal und/oder PolabH2 stellen für die Betondosierung ergänzend hochauflösende Daten zur Reaktivität und Wasserstofffreisetzung bereit. Schnelle und zuverlässige Analysen sind für häufige Anpassungen der Betonrezeptur unverzichtbar. Letztlich kommt es darauf an, die Standardabweichung der Druckfestigkeit zu reduzieren, um bei niedrigeren Vorhaltemaßen Betonkonformität sicherstellen zu können. In Betonwerken lassen sich die vergleichsweise kleinen Anliefermengen vom Wareneingang bis zur Betonherstellung gut nachverfolgen. Hierdurch eröffnet sich die Möglichkeit durch schnelle Regelkreise Betonmischungen anzupassen.

In Abb. 9 ist ein mögliches System der Qualitätssicherung für eine Betondosier- und -mischanlage dargestellt. Auf der Strecke zum Chargenmischer werden alle 30–60 Minuten Zementproben entnommen. Jeder Zementprobe wird ein Reaktivitätswert zugewiesen. Auf Grundlage der Messung lässt sich aus nachfolgenden Zementproben in Verbindung mit im System definierten Grenzen (z. B. erforderliche Mindestzementmenge, maximale Wasserzugabe, Betonzusatzmittel) ein Reaktivitätsverhältnis berechnen. Die Ergebnisse ermöglichen eine sofortige Modifikation der Betonrezeptur durch Feinjustierung des Zementgewichts bzw. gleichzeitige Zugabe von Zement aus zwei oder mehr Silos oder Feinabstimmung weiterer Betonkomponenten (z. B. Fließmittel). Ganz ähnlich funktioniert das

Mehr für die Umwelt, mehr für SIE!

Recyclingsysteme für Restbeton und Waschwasser



Sparen Sie bares Geld und sorgen Sie für Nachhaltigkeit und Ressourcenschonung!



BIBKO
SYSTEM

www.bibko.com

tronic interlocks (e.g. minimum cement requirement, maximum water addition, concrete admixture). From the results, the concrete mix can be adjusted instantaneously by tuning the cement weight or by blending cement from two or more independent silos or by tuning one of the remaining concrete constituents (e.g. fluidizer). A similar control concept works for PolabH2 and pore formation control.

The data can also be linked to process data from other weigh feeders, energy consumption of mixing devices, shear properties of the concrete and fresh concrete testing. Compressive strength data can be added to the database as soon as available to support the models. Process control can be done by simple trending and a subjective reaction or by application of modern tools like IQCnet for a holistic process supervision by artificial intelligence [11]. In both cases, the results are economic and ecological solutions backed by available stocks and qualities.

5 Conclusion

The concrete and precast industry will be challenged by:

- » Cements with reduced CO₂ emissions;
- » Reactivity fluctuations of cementitious binders;
- » New physical effects during hydration due to minor constituents in cements.

These changes call for new quality control concepts for incoming cements and during batching. PolabCal and PolabH2 supply rapid results to review concrete recipes continuously. The outcome will include concrete conformity, reduced safety margins and a positive cost effect in concrete batching.

System für PolabH2 und die Steuerung der Porenbildung.

Die Daten lassen sich zudem mit Prozessdaten anderer Dosierwaagen, den Energieverbrauchsdaten der Mischer, den Schereigenschaften des Betons und der Frischbetonprüfung bzw. die Mischung zweier oder mehrere Zemente aus unterschiedlichen Silos verknüpfen. Zur Unterstützung der Modellierung können Druckfestigkeitsdaten unmittelbar bei Verfügbarkeit in die Datenbank eingepflegt werden. Die Prozesse lassen sich über einfache Trendanalysen und entsprechende subjektive Reaktionen steuern, aber auch durch Anwendung moderner Tools wie IQCnet, die eine ganzheitliche Prozessüberwachung durch künstliche Intelligenz ermöglichen [11]. Beide Alternativen führen im Ergebnis zu wirtschaftlichen und ökologischen Lösungen, die auf den verfügbaren Vorräten und Qualitäten basieren.

5 Fazit

Die Beton- und Fertigteilindustrie sieht sich mit mehreren Herausforderungen konfrontiert:

- » neuartige Zemente mit reduzierten CO₂-Emissionen,
- » Reaktivitätsschwankungen zementärer Bindemittel,
- » neue physikalische Effekte während der Hydratation aufgrund von im Zement in kleinen Mengen enthaltenen Stoffen.

Diese Veränderungen erfordern neue Konzepte für die Sicherung der Qualität von gelieferten Zementen und während der Dosierung. PolabCal und PolabH2 liefern schnelle Ergebnisse, die eine kontinuierliche Überwachung der Betonrezepturen ermöglichen. So lassen sich die Konformität des Betons sichern, Vorhaltemaß reduzieren und die Kosten der Betondosierung und -mischung senken.

REFERENCES/LITERATUR

- [1] United States Geological Survey (2021): U.S. Geological Survey, Mineral Commodity Summaries, January 2021 (www.usgs.gov)
- [2] EN 197 (2018): Beuth Verlag
- [3] EN 196 (2016): Beuth Verlag
- [4] Sandberg, P., Enders, M. & Teutenberg, R. (2020): Worldcement; Nov. 2020: 58-63
- [5] Amziane, S., Ferraris, CF, Koehler, FP. (2005): J. Res. Nat. Inst. Stand. Tech.: 110 (1) 55-66
- [6] Härig, S., Klausen, D., Hoscheid, R. (2003): C.F. Müller Verlag, Heidelberg
- [7] Wadsoe, L., Winnefeld, F., Riding, K., Sandberg, P. (2016): Calorimetry. – In Scrivener, K. et al (2016): A Practical Guide to Microstructural Analysis of Cementitious Materials. 38-74 (CRC Press; ISBN 978-1-4987-3865-1)
- [8] Frölich, L., Wadsö, L. & Sandberg, P. (2016): CCR. 108-113
- [10] Enders, M. (2020): Cement International 6 (2020): 51-62
- [11] Neumann, Th., Sieber, G., Marton, M. & Enders, M. (2021): ZKG International (03/2021): 31-40
- [12] Kanehira, S., Kanamori, S., Nagashima, K., Saeki, T., Visbal, H., Fukui, T. & Hirao, K. (2013): J. Asian Ceramics Societies 1 (2013): 296-303
- [13] ISO 679 (2009): Beuth Verlag
- [14] EN 206 (2013): Beuth Verlag
- [15] World Business Council for Sustainable Development (2018) – <https://www.wbcsd.org/contentwbc/download/4586/61682/1>
- [16] <https://e360.yale.edu/digest/the-cement-industry-one-of-the-worlds-largest-co2-emitters-pledges-to-cut-greenhouse-gases> (retrieved 2 July 2021)



Jasmin Holzer

Trained geoscientist. During her studies at the FAU Erlangen-Nuremberg, she specialized in petrology and mineralogy. After receiving the Master's degree, she joined the tkIS R&D center as a mineralogist and expert for instrumental analyses (e.g. XRF, XRD, SEM, calorimetry). A part of her work is to support and develop analytical techniques for polab lab automation.



Michael Enders

Trained geologist. After receiving his German "Diplom" degree, he became a lecturer at the University of Münster/Germany for technical mineralogy, focusing on high-temperature reactions in combustion systems and the formation and consumption of fly ash in construction materials. Today, he works as a lead consultant and strategic product development expert for the lab automation products at tkIS.

THE CONCRETE CURING SPECIALIST



CONCRETE CURING THE GREEN WAY

KRAFT CURING'S EXTREME GREEN SOLUTIONS HELP REDUCE CONCRETE BLOCK AND PAVER PRODUCERS' CARBON FOOTPRINT AND CURING COSTS WHILE IMPROVING THEIR CONCRETE QUALITY.



FIND MORE INFORMATION HERE:

+49.5957.9612.0 | info@kraftcuring.com | www.kraftcuring.com/extreme-green-concrete-curing