



Steuerung des Setzmaßes in der Betonherstellung mittels Hydronix-Feuchtesensoren

Mit einem weltweiten Verbrauch von ca. 1 Tonne pro Person im Jahr ist Beton nach Wasser die am zweithäufigsten verbrauchte Substanz auf der Erde. Er besteht aus drei Elementen: Zuschlagstoff und Sand (Füllstoff), Zement (Binder) und Wasser. Diese Elemente erzeugen in den richtigen Verhältnissen eine chemische Reaktion, die das Abbinden des Betons ermöglicht.

Es gibt zwei verschiedene Arten von Beton: Transportbeton und Betonfertigteile. Transportbeton wird üblicherweise in einer Mischanlage hergestellt und auf der Baustelle mit Fahrmischern angeliefert, wo er im frisch gemischten Zustand verwendet wird. Fertigbetonteile werden zur Herstellung von einzelnen Betonfertigelementen verwendet, die typischerweise Teil eines größeren Bauwerks sind. Diese Art von Beton wird in einem spezialisierten Betrieb hergestellt und unterliegt strengeren Qualitätsstandards. Die Kontrolle der Feuchte ist ein wichtiger Bestandteil des Herstellungsprozesses. Beide Betonarten erfordern die Herstellung nach einer bestimmten Rezeptur. Dabei müssen die Materialien im richtigen Verhältnis zueinander stehen, um Konsistenz, Qualität und Betonfestigkeit zu gewährleisten.



Der Betonhersteller führt gewöhnlich einen Setzversuch durch, um die Verarbeitbarkeit, Fließfähigkeit und Konsistenz der Betonmischung zu überprüfen. Es gibt verschiedene Faktoren, die sich auf den Setzversuch auswirken, wie z. B. das Verhältnis der Zuschlagstoffe, die Beimischungen und auch der Feuchtegehalt. In diesem Dokument wird beschrieben, wie der Einsatz der digitalen Mikrowellenfeuchtemessung im Betonwerk dazu beitragen kann, konsistente Betonchargen herzustellen und damit auch konsistentes Setzverhalten zu erzielen.

Warum ist Feuchtesteuerung wichtig?

Trocken



Nass

Abbildung 1: Natürliche Feuchtedrainage durch eine Zuschlagstoffhalde

In einer idealen Welt wären sowohl die Zuschlagstoffe als auch der Zement vollständig trocken. Dann hätte die benötigte Wassermenge für jede Charge ein bestimmtes Volumen und die Qualität des hergestellten Betons wäre von Charge zu Charge identisch. Die Zuschlagstoffe werden jedoch in der Regel in einem Haldenlager gelagert, zumeist im Freien. Obwohl eine gute Lagerung von Vorteil ist, ändert sich die in den Zuschlagstoffen gehaltene Feuchte ständig aufgrund der unvermeidlichen Auswirkungen der Entwässerung – auch bei Materialien, die in geschlossenen Behältern gelagert werden.

In modernen Betonmischanlagen wird gewöhnlich die für die Rezeptur benötigte Materialmenge gewogen und die Rezeptur anhand des angenommenen Trockengewichts der Materialien berechnet. Innerhalb der gewogenen Zuschlagstoffe befindet sich jedoch immer auch eine unbekannte Menge Wasser. Auch wenn sich dieses Dokument auf das Setzverhalten konzentriert, kann sich zu viel Wasser oder der Feuchtegehalt gelagerten Sandes und gelagerter Zuschlagstoffe dramatisch auf das Verhältnis von Wasser zu

Zement, Zuschlagstoffen zu Zement, auf die Ausbeute und auf die Farbe der Mischung auswirken. Dies führt zu Inkonsistenzen bei Setzverhalten, Festigkeit, Farbe und Qualität sowie im Endergebnis zu einem minderwertigen Produkt.

Warum ist die richtige Feuchtberechnung wichtig?

Wenn der Betonhersteller eine festgelegte Rezeptur mit gewogenen Mengen von Zuschlagstoffen und Zement befolgt und der Mischung eine Menge vorgegebenen Wassers hinzufügt, variiert jede produzierte Charge aufgrund der unbekanntenen und unterschiedlichen Wassermenge, die in den Zuschlagstoffen enthalten ist. Wenn beispielsweise ein Rezept 1.000 kg eines Zuschlagstoffes vorgibt, und dieser nicht 100 % trocken ist, dann besteht die gewogene Menge nicht aus 1.000 kg Zuschlagstoffen, sondern aus einer Mischung von Zuschlagstoffen und Wasser.

Feuchtberechnung

Die einzige Möglichkeit, die Feuchte eines Zuschlagstoffes im Labor genau zu bestimmen, besteht darin, eine Probe des Zuschlagstoffes zu entnehmen, diese (und den Behälter) zu wiegen, die Probe durch Verdunstung zu trocknen und dann die Probe erneut zu wiegen. Normalerweise und falls erforderlich, erfolgt ein zweiter und dritter Trocknungszyklus, bis kein zusätzlicher Gewichtsverlust mehr erkennbar ist (d. h. die Probe vollständig trocken ist).

Anschließend werden Berechnungen zur Korrektur der zusätzlichen Feuchte in den Materialien durchgeführt, um sicherzustellen, dass das Zuschlagstoffverhältnis für das Rezept der Trockengewichtsmischung richtig ist. Nachfolgend wird ein Beispiel für die Berechnung anhand einfacher Zahlen zur Erläuterung des Konzepts gezeigt.

Behältergewicht	=	500,0 g		
Gesamtgewicht der Feuchtprobe und Schüssel	=	1.500,0 g		
Gesamtgewicht der Trockenprobe und Schüssel	=	1.409,1 g		
Gewichtsverlust durch Erwärmung	=	1.500,0 g	-	1.409,1 g = 90,9 g
Trockengewicht der Probe	=	1.409,1 g	-	500,0 g = 909,1 g
Feuchtgewicht der Probe	=	1.500,0 g	-	500,0 g = 1.000,0 g

Anhand dieser Werte kann der Wasseranteil im Material wie folgt berechnet werden:

$$\frac{\text{Trockenbasierte Feuchte \%}}{\text{Feuchte \%}} = 100 \times \frac{\text{Wassergewicht}}{\text{Trockenmaterialgewicht}} = 100 \times \frac{91}{909} = 10 \%$$

Die gleichen Werte auf die Feuchtebestimmung angewendet würden ergeben:

$$\frac{\text{Feuchtbasierte Feuchte \%}}{\text{Feuchte \%}} = 100 \times \frac{\text{Wassergewicht}}{\text{Feuchtmaterialgewicht}} = 100 \times \frac{91}{1000} = 9,1 \%$$

Es ist leicht zu erkennen, wie die Messbasis durch Feuchteberechnungen konsistent gehalten und wie mit diesen gearbeitet werden muss.

Der Vorteil der Arbeit mit Trockenfeuchtwerten liegt darin, dass es wesentlich einfacher ist, aus dem Konstruktionsgewicht ein Sollgewicht zu berechnen.

Einfluss von Feuchteänderungen auf Materialverhältnisse

Die folgenden Beispiele zeigen den Einfluss von Feuchteschwankungen in den Zuschlagstoffen auf das Verhältnis der Materialien im Mischgut. Anders als die Gesamtfeuchte ist das Verhältnis der Materialien im Mischgut ein entscheidender Faktor für die Bestimmung des Setzmaßes des Betons.

Wenn eine Charge gewogen wird, die 10 % Sandfeuchte und 0 % Kiesfeuchte aufweist (nach der Trockengewichtsmethode), dann zeigt die folgende Tabelle die Mischung:

Material	Sollgewicht	Feuchte	Tatsächliches Trockengewicht
Sand	1.000 kg	10 %	909 kg
Kies 8 mm	500 kg	0 %	500 kg

Das Verhältnis von Sand zu Kies beträgt 1,8: 1

Wird jedoch eine zweite Charge dosiert, dieses Mal mit einer Sandfeuchte von 0 % und einer Kiesfeuchte von 5 %:

Material	Sollgewicht	Feuchte	Tatsächliches Trockengewicht
Sand	1.000 kg	0 %	1.000 kg
Kies 8 mm	500 kg	5 %	476 kg

Beträgt das Verhältnis von Sand zu Kies nun 2,1: 1.

Dies führt zu einem signifikanten Unterschied im Verhältnis der Materialien zwischen den Chargen und wirkt sich, falls nicht korrigiert, direkt auf die Qualität des Betons aus. Daher ist es unerlässlich, dass die in den Zuschlagstoffen enthaltene Wassermenge genau gemessen wird und das Trockengewicht des zuzuschlagenden Materials entsprechend angepasst wird.

Das endgültig in der Mischstufe zugegebene Wasser kann auf Basis der Feuchte der Zuschlagstoffe eingestellt werden, um ein exaktes Wasser-/Zement-Verhältnis und gleichmäßiges Setzverhalten zu erreichen. Für eine optimale Leistung empfiehlt es sich jedoch, Feuchte und Wasserzugabe im Mischer getrennt voneinander einzustellen. Weitere Informationen hierzu finden Sie auf unserer Website.



Abbildung 2: Beispiel eines einfallenden Hohlkernbetons aufgrund falscher Konsistenz

Probleme im Zusammenhang mit Feuchteschwankungen

Sind die Betonmischungsverhältnisse falsch oder ist der Feuchtegehalt falsch, dann hat dies Probleme der Konsistenz, Verarbeitbarkeit oder des Setzverhaltens des Betons zur Folge. Die Hersteller von Transportbeton müssen sicherstellen, dass ihr Beton bei der Lieferung an den Kunden immer noch die richtige Konsistenz, das richtige Setzverhalten und die richtige Festigkeit aufweist.

Auch bei Herstellern von Betonfertigteilen führen Feuchteschwankungen bei der Fertigteilherstellung zu Problemen mit Schalungen und Formen. Beispiele hierfür sind das Zusammenbrechen von Rohren nach dem Entfernen des Kerns oder das Auseinanderfallen von Blöcken nach dem Verlassen der Blockmaschine. Hohlkern-Betonplatten sind auch auffallende Beispiele, bei denen der Beton absacken oder sich verformen kann, wenn die Hohlkernmaschine sich entlang der Fertigungslinie bewegt.

Eines der anderen Probleme, die mit Feuchteschwankungen in den Zuschlagstoffen verbunden sind, besteht darin, dass sich die Oberfläche der Zuschlagstoffe ändert (d. h. weniger Zuschlagstoffe als erwartet). Dies ist von großer Bedeutung bei der Zugabe von Farben zu einer Betoncharge, da die Beschichtung der Oberfläche durch das Farbpigment je nach Mischungsverhältnis variiert. Dies führt zu Farbinkonsistenzen zwischen verschiedenen Chargen, die zu kostspieligen Ausgaben für eine zusätzliche Farbkorrektur führen können.

Welche Feuchtemessmethode soll ich verwenden?

Obwohl die Ergebnisse der Labortrocknungstests genau sind, sind sie zeitaufwendig, und diese Methode erlaubt keine Änderungen der Materialverhältnisse in Echtzeit. Es gibt verschiedene Methoden der Feuchtemessung, wie z. B. kapazitive, resistive, Infrarot- und Mikrowellen-Feuchtemessung, mit denen sich der Prozess automatisieren lässt und die jeweils ihre eigenen Vor- und Nachteile haben. Eines der populärsten Systeme ist die Mikrowellen-Feuchtemessung. Im Gegensatz zu anderen Systemen, die mit der analogen Methode messen, kommt bei Hydronix-Sensoren jedoch eine einzigartige digitale Mikrowellentechnik zum Einsatz, die nicht durch Verunreinigungen, Farbe, Partikelgröße oder Temperatur beeinflusst wird und deshalb eine Genauigkeit von bis zu $\pm 0,2\%$ aufweist.

Kostenvorteile durch Hydronix-Mikrowellenfeuchtemessung

Neben einer sofortigen Verbesserung der Qualität und Konsistenz des hergestellten Betons von Charge zu Charge profitiert der Betonhersteller auch von erhöhter Rentabilität. Dies kann eine Folge reduzierten Ausschusses oder Abfalls oder verbesserter Effizienz des eingesetzten Materials sein. Die Vorteile umfassen:

- Reduzierung von Ausschuss durch uneinheitliche Mischungsverhältnisse
- Reduzierung der Zementmenge zur Erzielung der richtigen Festigkeit
- Konsistente wiederholbare Chargenqualität
- Konsistente Verarbeitbarkeit und konsistentes Setzverhalten
- Konstante Oberflächenbeschaffenheit
- Farbzusätze können effizienter eingesetzt werden

Welcher Sensor wird empfohlen?

Hydronix bietet eine Auswahl digitaler Mikrowellen-Feuchtesensoren, die in verschiedenen Prozessabschnitten installiert werden können. Alle Hydronix-Sensoren messen 25-mal pro Sekunde und leiten die Feuchtedaten in Echtzeit an das Steuersystem weiter, so dass eine sofortige Anpassung der Menge der zu wägenden Zuschlagstoffe, der Mischung oder der zugegebenen Wassermenge möglich ist. Hydronix-Sensoren übernehmen auch die gesamte Verarbeitung direkt im Sensor selbst und senden im Gegensatz zu anderen auf dem Markt erhältlichen Sensoren ein echtes lineares Ausgangssignal an das Steuersystem.

Feuchtemessung in Zuschlagstoffbehältern, Trichtern und auf Förderbändern

Die Feuchtemessung mit einem Hydro-Probe-Sensor erfolgt in der Regel in der Nähe der Zufuhröffnung des Zuschlagstoffbehälters, da hierdurch die zuverlässigste Messung der Zuschlagstoffe über den keramischen Messkopf erfolgt, ohne den Materialfluss zu behindern. Je nach anlagenspezifischer Anforderung kann der Sensor im Halsbereich oder unter dem Behälter installiert werden. Sobald der Sensor richtig eingestellt ist, können die Feuchtwerte als Mittelwert für jede Charge ermittelt werden, und das Steuersystem der Anlage kann das gewogene Gewicht jedes Zuschlagstoffes in Echtzeit anpassen. Dadurch wird sichergestellt, dass das richtige Trockengewicht gemischt wird.



Fazit

Die Einführung der digitalen Mikrowellenfeuchtemessung und -steuerung in den Prozess stellt eine einfache und kostengünstige Lösung für den Betonhersteller dar. Der daraus resultierende Beton ist von Charge zu Charge konsistent. Dies verbessert die Produktqualität und reduziert Ausschuss. Die Feuchtesteuerung lässt sich leicht in neue oder bestehende Anlagen einbauen und die Investition wird sich in kurzer Zeit amortisieren, je nach Anlagenleistung oft schon Monate nach der Installation.

Das Unternehmen Hydronix

Hydronix wurde 1982 gegründet und ist mit über 85.000 verkauften Einheiten Weltmarktführer für Mikrowellen-Feuchtemessgeräte in der Beton- und Bauindustrie. Hydronix liefert Feuchtemesslösungen während des Mischens sowohl für Zuschlagstoffe als auch für Frischbeton. Mit einem globalen Vertriebs- und Support-Netzwerk sind Hydronix-Produkte die bevorzugte Lösung für Betonhersteller.