



Produktionskontrolle von Betonpflaster

Production control of concrete paving blocks

Dr.-Ing. Bernd Sagmeister
Dipl.-Ing. Thomas Lenz



Sonderdruck aus BFT 9/2000
Bauverlag GmbH, Am Klingenbergweg 4a, 65396 Walluf



Produktionskontrolle von Betonpflaster

Die Druckprüfung von Betonpflaster erfolgt üblicherweise im Alter von 28 Tagen. Bei guter Auftragslage sind die Steine zu diesem Zeitpunkt schon ausgeliefert. Für die laufende Kontrolle der Produktion setzt sich deshalb die Rohdichtermittlung am grünen Stein durch, damit bei Produktionsabweichungen unverzüglich gegengesteuert werden kann.

Gibt es einen Zusammenhang zwischen Rohdichte und Pflistereigenschaften?

Die Druckfestigkeit eines Pflastersteines hängt neben dem Zementgehalt von der Sieblinie und Reinheit des Zuschlags, der Verdichtung und dem richtigen Wassergehalt ab. Je dichter das Material gepackt ist und je weniger Haufwerksporen im Betongefüge vorhanden sind, desto höher ist die Rohdichte und desto besser ist die Festigkeit. Im Gegensatz zu Normalbeton spielt der w/z-Wert bei diesen trockenen Betonen nur eine untergeordnete Rolle. Blume und Claußen [1] bestätigen in einer großangelegten Untersuchung einen allgemeinen linearen Zusammenhang zwischen Rohdichte ρ und der nach DIN 18501 [2] ermittelten Druckfestigkeit f_c . Bild 1 zeigt den gefundenen Zusammenhang in vereinfachter Form.

Sie weisen darüber hinaus nach, dass sich auch ein empirischer Zusammenhang zwischen Rohdichte und Spaltzugfestigkeit ableiten lässt. Die Kontrolle der Rohdichte ist daher auch bei den zukünftig nach europäischen Normen hergestellten und geprüften Steinen eine sinnvolle Maßnahme zur Produktionskontrolle.

Pflastersteine müssen nicht nur fest, sondern auch witterungsbeständig sein. Falls nicht Mikrohohlkugeln eingesetzt werden, ist die Erzeugung von sehr dichtem Beton nach dem heutigen Stand von Wissenschaft und Technik der einzige Weg, Beton mit hohem Frost-Taumittel-Widerstand herzustellen [3]. Je dichter der Beton und somit je höher seine Rohdichte ist, desto besser ist die Beständigkeit gegen Frost-Taumittel-Angriff. Sutej [4] hat mit Versuchen nachgewiesen, dass es eine signifikante Korrelation zwischen der Rohdichte und dem Frost-Tau

Production control of concrete paving blocks

Compression testing of concrete paving blocks is normally carried out at the age of 28 days. If there is a satisfactory order situation the blocks will have already been delivered by this time. Routine production control is therefore generally based on determination of the bulk density of the green block so that any deviations in production can be corrected immediately.

Is there a relationship between bulk density and paving block properties?

The compressive strength of a paving block depends not only on the cement content but also on the grading curve and purity of the aggregate, the compaction, and the correct water content. The more densely the material is packed, and the fewer the voids in the concrete microstructure, the higher is the bulk density and the better is the strength. In contrast to normal concrete the w/c value plays only a secondary role in these dry concretes. In a large-scale investigation Blume and Claußen [1] have confirmed a generally linear relationship between bulk density ρ and compressive strength f_c measured in accordance with DIN 18501 [2]. Fig. 1 shows a simplified form of the relationship found.

They also show that an empirical relationship can be derived between bulk density and tensile splitting strength. This means that checking the bulk density will also be an appropriate procedure for production control of blocks which in future will be manufactured and tested in accordance with European standards.

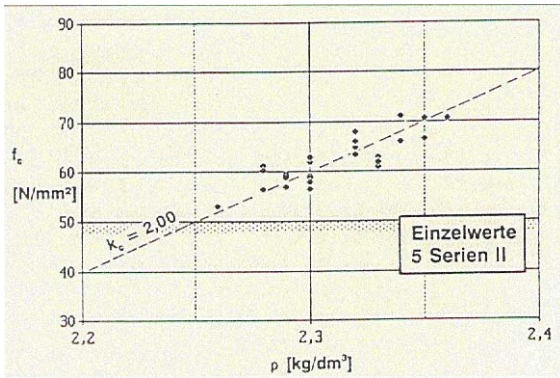


Bild 1. Zusammenhang zwischen Rohdichte und Druckfestigkeit nach DIN 18501 vereinfacht aus [1]

Fig. 1. Relationship between bulk density and compressive strength in accordance with DIN 18501, simplified from [1]

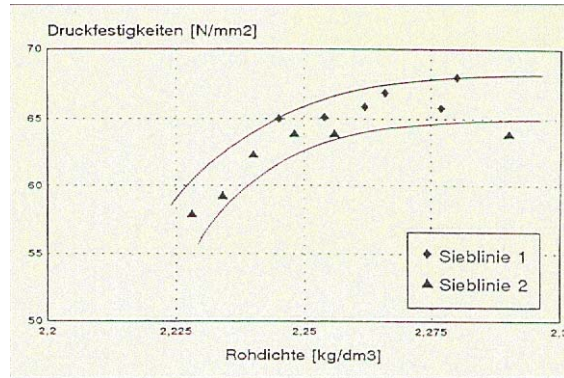


Bild 2. Druckfestigkeit in Abhängigkeit von der Rohdichte bei zwei Mischungen mit unterschiedlicher Sieblinie aus [7]

Fig. 2. Compressive strength as a function of bulk density for two mixes with different grading curves, from [7]

mittel-Widerstand bzw. der Abwitterungsrate gibt. Er hat die Versuche mit einem Betonrezept bei unterschiedlichen Verdichtungsgraden und somit Rohdichten durchgeführt. Die ausreichende Rohdichte alleine ist aber noch keine Garantie! Die Steine müssen ordentlich nachbehandelt werden und es müssen frostbeständige Zuschläge verwendet werden.

Welchen Zielwert soll man anstreben?

Kann man nun alle Steine über einen Kamm scheren und einen allgemein gültigen Grenzwert der Rohdichte angeben? Die Untersuchungen [1] wurden an Steinen aus 28 Werken ermittelt. Die Ergebnisse zeigen zwar eine einheitliche Tendenz, streuen aber erheblich. Eine Auswertung von 470 Druckprüfungen der Güteschutzvereinigung Beton Rheinland-Pfalz e.V. aus [5] zeigt ebenfalls erhebliche Streuungen beim Verhältnis der Rohdichte zur Druckfestigkeit. Für die werkseigene Produktionskontrolle ist ein allgemeiner Grenzwert zu ungenau.

Die Rohdichte eines Pflastersteins hängt unter anderem von der jeweiligen Menge an Zement, Zuschlagsfraktionen und Wasser und vor allem der Rohdichte des Zuschlags ab. Ein Pflasterstein mit Basaltzuschlag ($\rho \approx 2,95 \text{ kg/dm}^3$) muss eine höhere Rohdichte haben, als wenn er mit quarzitischem Zuschlag ($\rho \approx 2,65 \text{ kg/dm}^3$) und vergleichbarer Sieblinie hergestellt worden ist. Eine polnische Untersuchung [6] weist nach, dass alleine durch die unterschiedlichen Zuschläge die Rohdichte des Endproduktes um ca. $0,1 \text{ kg/dm}^3$ schwankt.

Es empfiehlt sich deshalb für „seine“ Mischungsrezeptur eine eigene Beziehung mit werkseigenen Grenzwert aufzustellen. Da die meisten Werke mit einer einzigen Basismischung fahren und nur die Pigmente oder Vorsatzbetone wechseln, stellt dies in der Praxis kein Problem dar. In **Bild 2** sind derartige Beziehungen für zwei unterschiedliche Mischungsrezepturen dargestellt. Die Form der Kurve ist vom einzelnen Rezept abhängig. Hauptgrund der Veränderung der Betonrohichte ist der unterschiedliche Gehalt an Haufwerksporen des Betons. Ihr Anteil hängt direkt von der Verdichtung und dem Wassergehalt des Betons ab. Also genau die Parameter, auf die es bei der Produktionssteuerung in erster Linie ankommt. Wenn später bei der Eigenüberwachung negative Prüfergebnisse in der Nähe der Kurve liegen, deutet dies deutlich daraufhin, dass hier der Maschinenführer die Verantwortung trägt.

In **Bild 2** wurde eine Betonmischung (Sieblinie 1) mit Kiessand 0/8 mm, 195 kg CEM I und 110 kg SFA [7] verwendet. Bei der Sieblinie 2 ist lediglich der Sandanteil um 10% erhöht, und schon ergibt sich eine tieferliegende Kurve. Eine deutliche Abweichung von der vorgegebenen Beziehung lässt erkennen, dass sich in der Mischungsrezeptur etwas Grundsätzliches geändert hat. Hier haben sich Zemente, Zuschläge oder Zusatzmittel verändert oder sind fehlerhaft dosiert worden.

Paving blocks must be not only strong but also weather-resistant. Unless hollow microspheres are used the only way of producing concrete with high resistance to freeze-thaw with de-icing salt is to produce very dense state-of-the-art concrete [3]. The denser the concrete and hence the higher its bulk density the better is its resistance to attack by freeze-thaw with de-icing salt. Sutej [4] has used trials to demonstrate that there is a significant correlation between the bulk density and the resistance to freeze-thaw with de-icing salt or the rate of weathering loss. He carried out the trials with a concrete mix formulation with different degrees of compaction and hence of bulk density. However, adequate bulk density is not in itself any guarantee! The blocks must be properly cured, and frost-resistant aggregates must be used.

What target values should be used?

Can all blocks be measured by the same yardstick and a universally applicable limit specified for the bulk density? The investigations [1] were carried out on blocks from 28 plants. The results do in fact show a consistent trend but there is considerable scatter. An evaluation of 470 compression test by the Beton Rheinland-Pfalz e.V. Quality Protection Association taken from [5] also shows considerable scatter in the ratio of bulk density to compressive strength. A universal limit is too inaccurate for internal plant production control.

The bulk density of a paving block depends, among other things, on the quantities of cement, aggregate fractions and water, and above all on the bulk density of the aggregate. A paving block with basalt aggregate ($\rho \approx 2,95 \text{ kg/dm}^3$) is bound to have a higher bulk density than if it had been made with quartzitic aggregate ($\rho \approx 2,65 \text{ kg/dm}^3$) with comparable grading curve. A Polish investigation [6] indicates that the bulk density of the end product varies by approximately 0.1 kg/dm^3 solely due to different aggregates.

Dr.-Ing. Bernhard Sagmeister ist Leiter der Materialprüfungs- und Versuchsanstalt Neuwied, einer bauaufsichtlich anerkannten Prüf-, Überwachungs- und Zertifizierungsstelle für Mauerwerk und Betonbauteile.



Dipl.-Ing. Thomas Lenz ist seit 1998 Assistent des technischen Vorstandes bei der MASA AG in Andernach. Zu seinen Arbeitsgebieten gehören insbesondere das Qualitätsmanagement und das Innovationsmanagement.





So kann die Rohdichte praxisgerecht bestimmt werden

Zur Bestimmung der Rohdichte wiegt man den Stein und teilt das Gewicht durch das Volumen. Oder im Normendeutsch [8]: „Die Rohdichte eines Pflastersteines ρ_R ist der Quotient aus seiner Masse m im Prüfzustand und seinem Volumen V_R einschließlich etwa vorhandenen Porenraumes“. Das Wiegen ist einfach, aber wie ermittelt man das Volumen? Eine Möglichkeit ist das Ausrechnen aufgrund der Formenmaße. Das Ausrechnen kann allerdings bei verwinkelten Formen mit vielen Fasen sehr mühselig und fehlerbehaftet sein. Eine einfachere Möglichkeit ist die weiter unten ausgeführte Unterwasserwägung. Der Maschinenführer kann nun mit dem vom Labor bestimmten Diagramm oder einer Grenzrohddichte alleine noch nichts anfangen. Die einfachste Möglichkeit ist die Angabe von Mindestgewichten in Listen wie in **Tabelle 1**. Da die Steine in der Höhe bis zu ± 5 mm abweichen können, muss dies in der Liste berücksichtigt werden. Bei der heute üblichen Sortenvielfalt kommt schnell ein Aktenordner zusammen.

Da ist es bei qualifizierten Maschinenführern einfacher, schneller und genauer, wenn das Volumen über eine Unterwasserwägung bestimmt wird. Hierzu benötigt man eine Waageneinrichtung wie in **Bild 3**.

Man legt zuerst den Stein oben auf die Waage und bestimmt sein Gewicht m_1 . Anschließend drückt man mit dem darauf liegenden Stein die TARA-Taste und stellt die Waage auf Null. Nun legt man den Stein in das Drahtnetz unter Wasser und liest das Gewicht m_2 ab. Das hierbei angezeigte Minuszeichen braucht nicht beachtet zu werden, benötigt wird nur der absolute Wert. Die Rohdichte berechnet sich, unabhängig ob man in Gramm oder Kilogramm abliest, wie folgt:

$$\rho_R = \frac{m_1}{m_2} \text{ in } [g/cm^3], [kg/dm^3] \text{ oder } [t/m^3]$$

Erforderliche Genauigkeit

Die Rohdichte sollte auf zwei Stellen hinter dem Komma bestimmt werden. Die Waage sollte eine Anzeigenauigkeit von 1 g aufweisen, da dann die Wägung auf 10 g genau statt-

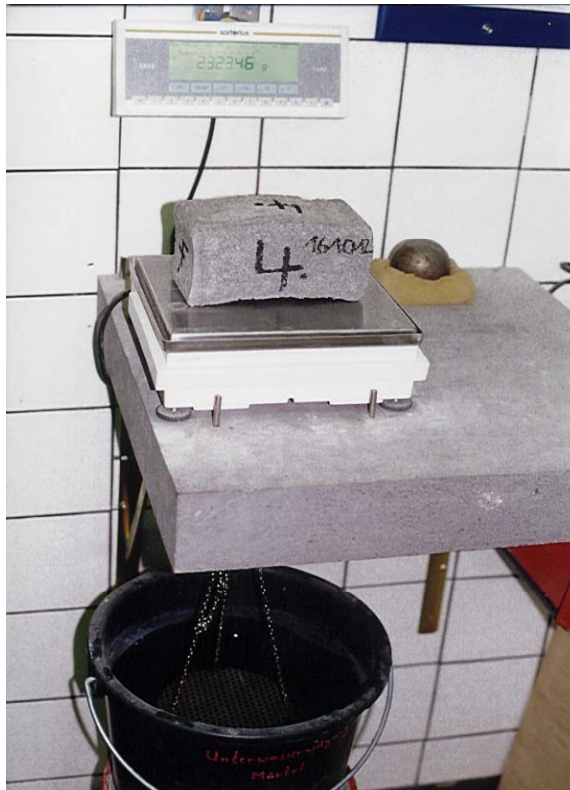


Bild 3. Unterwasserwägung

Fig. 3. Underwater weighing

Tabelle 1: Kontrollliste für Maschinenführer
Check list for machine operators

Steinbezeichnung/ Block designation	Höhe in [mm]/ Height in [mm]	Mindestgewicht/ Minimum weight [kg]
Nostalgie/Nostalgia 10 x 20 cm	75	3,45
	76	3,50
	77	3,54
	78	3,59
	79	3,63
	80	3,68
	81	3,73
	82	3,77
	83	3,82
	84	3,86
Flower Power 20 x 20 cm	75	6,90
	76	6,99
	77	7,08
	78	7,18
	79	7,27
	80	7,36
	81	7,45
	82	7,54
	83	7,64
	84	7,73
Flower Power Rand/ Flower Power Edge 20 x 5 cm	75	1,73
	usw./etc.	usw./etc.
	usw./etc.	usw./etc.

It is therefore recommended that a works should set up its own relationship with its own internal plant limit for its "own" mix formulation. The majority of works operate with a single basic mix and only change the pigments or facing concretes, so this does not represent a problem in practice. **Fig.2** shows such relationships for two different mix formulations. The shape of the curve depends on the individual formulation. The main reason for the change in concrete bulk density is the differing quantities of voids within the concrete. Its proportion depends directly on the compaction and the water content of the concrete, i.e. precisely the parameters which are important in production control. If in-house monitoring later shows defective test results in the vicinity of the curve it indicates clearly that the responsibility lies with the machine operator.

A concrete mix (grading curve 1) with 0/8 mm coarse sand, 195 Kg CEM I cement and 110 kg coal fly ash [7] was used in **Fig. 2**. For grading curve 2 the only difference is a 10% increase in the proportion of sand, which gives a lower curve. Any significant deviation from the predetermined relationship shows that there has been a basic change in the mix formulation. In this case the cements, aggregates, or additives have changed or there has been an error in the metering.

There is a practical way of determining bulk density

The bulk density is determined by weighing the block and dividing the weight by the volume. Or in Standard German [8]: "The bulk density ρ_R of a paving block is the quotient of its mass m in the state under which it is tested and its volume V_R including any void volume present". The weighing is simple, but how can the volume be determined? One option is to calculate it from the mould dimensions. However, the calculation can be very difficult and error-prone for angled moulds with a great deal of chamfering. A simpler option is the underwater weighing described below.

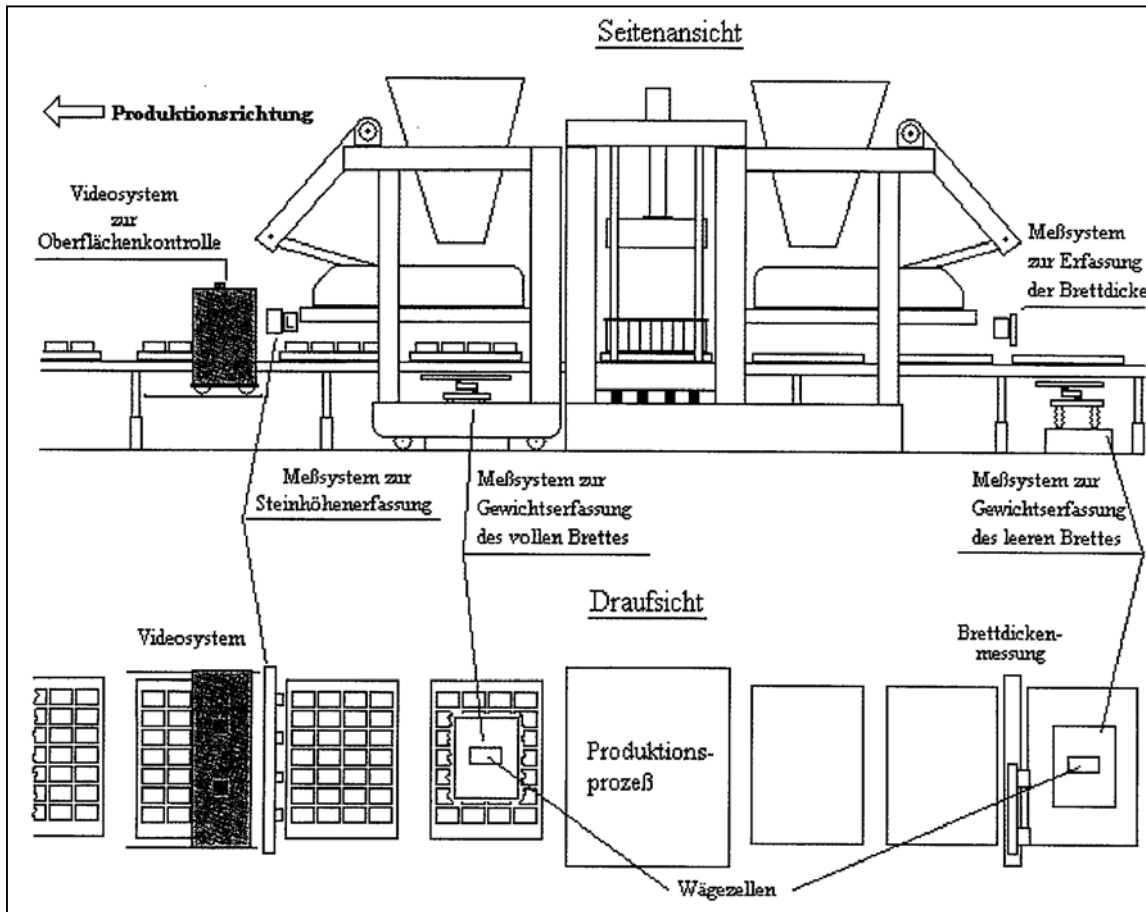


Bild 4. Vollautomatisches Qualitätssicherungssystem
Fig. 4. Fully automatic quality assurance system

findet. Solange die Messungen immer unter den gleichen Bedingungen stattfinden wie für die Referenzkurve, sind sie für die Steuerung der Produktion genau genug. In der Praxis bedeutet dies, dass der Stein direkt hinter der Maschine vom Brett entnommen wird und unverzüglich in einem geheiztem Raum die Rohdichtebestimmung am frischen Stein stattfindet. Ein guter Pflasterstein kann im grünen Zustand transportiert und unter Wasser gewogen werden, ohne dass er zerbröselt. Wer genau messen will, sollte sich an die Anweisungen der DIN 52 102 [8] Verfahren VA halten. Hier werden prüfbestimmende Einflüsse wie die Temperatur des Wassers festgelegt und durch eine Vorlagerung der Steine unter Wasser der verfälschende Einfluss des Wassersaugens verkleinert. Falls große außenliegende, offene Poren vorhanden sind, müssen diese nach der Bestimmung des Trockengewichtes mit Wachs oder einer mineralischer Masse zugespachtelt werden. Die Über- und Unterwasserwägung zur Volumenbestimmung findet dann mit dem gespachtelten, wassergesättigten Steine statt. Darüber hinaus wird bei diesem Verfahren die Rohdichte am getrockneten Stein ermittelt. Diese normgerechte Prüfung kann also nur an erhärteten Steinen durchgeführt werden. Wenn die Prüfbedingungen immer annähernd gleich sind, können diese Prüffehler im Rahmen der werkseigenen Produktionskontrolle vernachlässigt werden.

Vollautomatische Produktionskontrolle

Um eine umfassende und vollständige Qualitätssicherung während der laufenden Pflastersteinproduktion durchführen zu können, wurde durch die MASA AG ein Qualitätssicherungssystem entwickelt. Mit diesem System werden die Steinhöhe, das Steingewicht und die Steinrohichte und als Option die Oberflächengüte vollautomatisch kontrolliert. Das Ergebnis der Kontrolle wird auf dem Bildschirm des Maschinen-PCs angezeigt. In einem Übersichtsbild ist die Palet-

The machine operator cannot work just with the diagram determined by the laboratory or with a limiting bulk density. The simplest option is to specify minimum weights in lists as in **Table 1**. The height of the block can vary by up to ± 5 mm so this must be taken into account in the list. A file can be compiled quickly for the current product range. However, for competent machine operators it is simpler, quicker and more accurate if the volume is determined by underwater weighing. This requires weighing equipment of the type shown in **Fig. 3**.

The block is first placed on the scales and its weight m_1 is determined. With the block in position the tare button is then pressed and the scales are set to zero. The block is then placed underwater in the wire net and the weight m_2 is read off. The minus sign indicated here does not have to be taken into account, only the absolute value is required. Regardless of whether the weight is read in grams or kilograms, the bulk density is calculated as follows:

$$\rho_R = \frac{m_1}{m_2} \text{ in } [g/cm^3], [kg/dm^3] \text{ oder } [t/m^3]$$

Requisite accuracy

The bulk density should be determined to two decimal places. The scales should indicate to the nearest gram, as the weighing will then be accurate to 10 g. Provided the measurements always take place under the same conditions as for the reference curve they will be sufficiently accurate for production control. In practice, this means that the block is taken from the board directly after the machine and the bulk density is determined immediately on the fresh block in a heated room. A good paving block can be transported in the green state and weighed underwater without crumbling.

The instructions in DIN 52 102 [8] Method VA should be fol-



LITERATUR/REFERENCES

- [1] Blume F., Claußen T.: „Pflastersteine aus Beton nach DIN 18501 und nach europäischem Normentwurf, Bericht über Ergebnisse einer Zentralprüfung“. Betonwerk- und Fertigerteiltechnik 4/1994, Bauverlag Wiesbaden.
- [2] DIN 18501:1982-11: Pflastersteine aus Beton
- [3] Hilsdorf H.K., Reinhardt H.-W.: „Beton“. Betonkalender 2000, 89. Jahrgang, Ernst & Sohn, Berlin.
- [4] Sutej Branimir: „Prüfung des Frost-Tausalz-Widerstandes von Betonpflastersteinen“. Betonwerk- und Fertigerteiltechnik, 3/1994, Bauverlag Wiesbaden.
- [5] Wellenstein R.: „Prüfung von Spaltzugfestigkeit oder Druckfestigkeit bei Pflastersteinen“. Betonwerk- und Fertigerteiltechnik, 5/1995, Bauverlag Wiesbaden.
- [6] Szoltysek A., Lesniak S.: „Betonpflastersteine nach europäischer Norm und DIN 18501 in Polen“. Betonwerk- und Fertigerteiltechnik, 3/1996, Bauverlag Wiesbaden.
- [7] Schmidt M., Westermann B., Bohlmann E.: „Einfluß der Zusammensetzung und der Verdichtung auf das Gefüge, die Festigkeit und die Dauerhaftigkeit von Pflastersteinen“. Heft 8 der Schriftenreihe des Lehrstuhls Straßenbau, TU Dresden, 1998.
- [8] DIN 52102: „Prüfungen von Naturstein und Gesteinskörnungen. Bestimmung von Dichte, Trockenrohddichte, Dichtigkeitsgrad und Gesamtporosität“. Beuth Verlag, Berlin, August 1988.

te mit den frischen Steinen direkt nach dem Entschalen dargestellt. Eventuelle Abweichungen von Qualitätskennwerten werden durch die Software automatisch erkannt und dem Bediener unterschieden nach Fehlerart direkt optisch angezeigt. Es bestehen unterschiedliche Anzeigoptionen von einem Übersichtsbild aller Steine bis hin zu detaillierten Informationen jedes einzelnen Steins.

Jeder angezeigte Wert kann im PC gespeichert werden. So ergibt sich eine umfangreiche Datensammlung, die für statistische Auswertungen genutzt werden kann. Die gespeicherten Werte lassen sich jederzeit als Trend in einem Diagramm anzeigen. Überdies sind die Daten derart formatiert, dass sie mit einer beliebigen Standardsoftware wie z. B. Tabellenkalkulationsprogrammen weiter verarbeitet werden können.

Die Hardware des Systems besteht im Wesentlichen aus vier Komponenten.

► **Brettkontrolle vor der Maschine.**

Dort werden mittels eines Luftzylinders zwei analoge Ultraschallsensoren über das leere Brett bewegt, um die Bretthöhe zu erfassen und das Brett auf Beschädigungen zu prüfen.

► **Verwiegen des leeren Brettes.**

Nachdem der Brettvorschub das Brett zur Wiegeposition transportiert hat, wird das Brett mit Luftbalgzylindern angehoben, mit nur einer Wägezelle gewogen und zum Weitertransport abgesetzt.

► **Verwiegen des vollen Brettes.**

Zur Verbesserung der Wiegegenauigkeit werden hier drei Wägezellen eingesetzt.

► **Höhenmessung der Steine mit Lasersensoren.**

Für jede Steinreihe auf dem Brett existiert ein Sensor, der die Höhe der Steine misst. Von jedem Stein wird alle 5 - 6 ms ein Messwert aufgenommen. Es werden Lasersensoren eingesetzt, die ein analoges Signal ausgeben und nach dem Triangulationsverfahren die Steinhöhe ermitteln. Die Brettdicke fließt als Korrektur mit ein. Das Meßsystem wurde zur Höhenmessung von Pflastersteinen entwickelt. Es ist jedoch problemlos in abgewandelter Form auch für Blocksteine einsetzbar.

Optional bietet sich die Oberflächenkontrolle durch Einsatz von CCD Kameras an. Dabei werden von zwei CCD Kameras Bilder der Steine aufgenommen und mit Hilfe einer Bildverarbeitungssoftware automatisch ausgewertet.

Mit Hilfe dieser Systeme lassen sich Qualitätsschwankungen bereits in der laufenden Steinproduktion direkt ermitteln und es kann steuernd eingegriffen werden. Dies erlaubt die Sicherstellung einer gleichbleibend hohen Qualität und ermöglicht zudem eine durchgängige Dokumentation der hohen Qualitätsstandards des Anwenders.

Bernhard Sagmeister, Neuwied; Thomas Lenz, Andernach

lowed if accurate measurements are required. This specifies factors which affect the test, such as the temperature of the water, and reduces the distorting influence of water absorption by preliminary storage of the block underwater. If there are large open pores on the outside these must be sealed with wax or a mineral filler after determining the dry weight. The weighing above and below water to determine the volume then takes place with the sealed, water-saturated block. This procedure determines the bulk density of the dry block, so the test specified in the standard can only be carried out on hardened blocks. If the test conditions are always approximately the same these test errors can be ignored for the purposes of in-house production control.

Fully automatic production control

A quality assurance system was developed by MASA AG so that complete and comprehensive quality assurance can be carried out during the production of paving blocks. This system automatically checks the height, weight and bulk density of the block, and optionally also the surface quality.

The results of the check are displayed on the monitor of the machine's PC. An overview display shows the pallet with the fresh block directly after de-moulding. Any deviations in quality parameters are automatically detected by the software and shown immediately to the operator, differentiated according to the type of error. There are different displays options, from an overview display of all blocks down to detailed information for each individual block.

Every value displayed can be stored in the PC. This results in an extensive collection of data which can be used for statistical evaluations. The stored values can be indicated at any time as a trend diagram. In addition to this the data are formulated in such a way that they can be processed further with any type of standard software, e.g. spreadsheets.

The system hardware consists essentially of 4 components.

► **Board check before the machine**

Two analogue ultrasonic sensors are moved over the empty board by an air cylinder to measure the board height and check the board for damage.

► **Weighing the empty board**

After the board feeder transported the board to the weighing position the board is raised with air bellows cylinders, weighed with just one cell, and lowered for onward transport.

► **Weighing the full board**

Three load cells are used here to improve the weighing accuracy.

► **Height measurement of the blocks with laser sensors**

For each row of blocks on the board there is a sensor which measures the height of the blocks. A measurement is taken for each block every 5 - 6 ms. Laser sensors are used which emit analogue signals and determine the heights of the blocks by triangulation. The board thickness is entered as a correction factor. The measuring system was developed for measuring the height of paving blocks, but it can also be used in modified form for building blocks without any problem.

Surface checking using CCD cameras is available as an option. Images of the blocks are taken by two CCD cameras and evaluated automatically with the aid of image processing software. This system can detect any quality fluctuations immediately while the blocks are being produced, and corrective interventions can be made. This makes it possible to ensure uniformly high quality and means that the user can be provided with complete documentation of the quality standard.