

Sonderdruck aus
Reprint from ISSUE 10 2011

ZKG
INTERNATIONAL

Clinker cooling in the course of time

Klinkerkühlung im Wandel der Zeit

Karl von Wedel
IKN GmbH Neustadt, Neustadt/Germany



Clinker cooling in the course of time

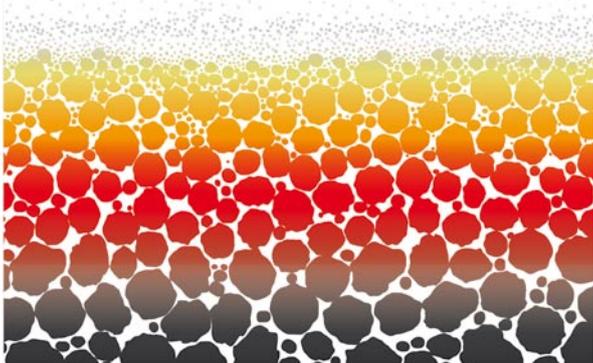
Klinkerkühlung im Wandel der Zeit

TEXT Karl von Wedel, IKN GmbH Neustadt, Neustadt/Germany

Cooling takes place in the clinker bed. The grate cooler has to provide just for a favourable air flow and clinker handling (Fig. 1). This perception alone is not sufficient to obtain orders resulting in a good reference and for the conquest of the market. It is essential to offer something new.

1 Schematic representation of an optimum structure of a clinker bed with a grain distribution from coarse to fine

Schematisch dargestellter optimaler Aufbau eines Klinkerbettes mit einer Kornverteilung von grob nach fein



Grate resistance was a first idea in which the uniformly designed grate, not the clinker bed, was to determine the air flow under all the circumstances that the rotary kiln creates for the cooler. The consequence was the "open grate area OGA" as a portion of the openings in the grate with regard to the overall grate surface. At the outset, all grate coolers were reciprocating grates with rows of perforated plates arranged across on grate support beams. The velocity of the air escaping from a hole or a gap in the grate surface could be measured with a mini-anemometer. When the undisturbed flow against the chamber concerned was calculated at 1 m/s and when the air jets out of grate openings measured 10 m/s, then 10% of open grate area had accelerated the air flow correspondingly. It quickly became clear that good grates had an open surface of 8% and troublesome grates had open surfaces of 15%. Figure 2 shows a grate surface from the past with an open area of more than 15% compared to the grate of an IKN pendulum cooler with 2.5% of open grate area and a considerably higher grate resistance.

In 1985 we came to an agreement with Professor Jeschar and Dr. Wager, both from Clausthal University [1], to use an open grate surface of 2.5%, which was a quarter of the habitual 10%, with the aim of being able to aerate a bed of double the height and to save half of the grate surface. Still, nothing could be sold as yet.

Reverse flow in the clinker bed was the next idea. Narrowing the open grate area to a quarter meant to

Die Kühlung findet im Klinkerbett statt. Der Rostkühler hat lediglich für günstige Luftströmung und günstigen Klinkertransport zu sorgen (Bild 1). Diese Erkenntnis reicht nicht für einen Auftrag, eine gute Referenz und die Eroberung eines Marktes. Man muss etwas Neues bieten.

Rostwiderstand war eine erste Idee, nach der der einheitlich gestaltete Rost und nicht das Klinkerbett die Luftströmung bestimmen sollte und dies unter allen Umständen, die der Drehofen dem Kühler beschert. Daraus folgte „offene Rostfläche“ als Anteil der Öffnungen im Rost an der gesamten Rostfläche. Rostkühler waren zu Beginn ausnahmslos Schubroste mit quer angeordneten Reihen von Lochplatten auf Rostträgern. Man konnte mit einem Minianemometer die Geschwindigkeit der Luft messen, die aus einem Loch oder Spalt austrat. Wenn man wusste, dass die betreffende Kammer ungestört mit 1 m/s angeströmt wurde und man 10 m/s gemessen hatte, dann war die Luftströmung auf 10% offene Rostfläche eingeeengt und entsprechend beschleunigt worden. Schnell wurde sichtbar, dass gute Roste 8% offen waren und schlechte Roste 15%. In Bild 2 ist im Bild eine Rostfläche aus vergangenen Zeiten, die – schon wegen ihres Zustandes – mehr als 15% offene Fläche bot, im Vergleich zu dem Rost eines IKN Pendulum Kühlers, der mit nur etwa 2,5% offener Rostfläche einen deutlich höheren Rostwiderstand bietet, dargestellt.

Mit Professor Jeschar und Dr. Wagner, beide Clausthal [1], hatten wir uns 1985 auf 2,5% offene Rostfläche verständigt, ein Viertel der konstruktiv üblichen 10%, mit dem Ziel, ein doppelt hohes Bett belüften zu können und die halbe Rostfläche einzusparen. Doch verkaufen ließ sich noch nichts.

Rückströmung im Klinkerbett war der nächste Gedanke. Verengung der offenen Rostfläche auf ein Viertel war gleichbedeutend mit Vervierfachung der Strahlgeschwindigkeit der Luft beim Austritt aus dem Rost und Eintritt in das Klinkerbett. In einem gleichmäßig durchströmten Klinkerbett war ohne Berücksichtigung der Wärmeausdehnung aufgrund des Zwickel-Volumens 1,5 bis 2 m/s Luftgeschwindigkeit zu vermuten. Eintretende Luftstrahlen von 40 m/s mussten zu erheblicher Rückströmung führen und zu Verschleiß durch heiße Sandstrahlen, indem feiner Klinker in die Rückströmung einbezogen wurde.

Henry Coanda aus Rumänien lieferte auf dem Umweg über den kalifornischen Gießerei-Ingenieur Futer die Lösung: schräge Schlitzte. Die senkrecht eintretenden Luftstrahlen werden horizontal abgelenkt und unschädlich gemacht. Sie sind sogar nützlich für den Transport des



2 IKN pendulum cooler (right) compared with a historic cooler

IKN Pendulum Kühler (rechts) im Vergleich zu einem historischen Kühler

quadruple the velocity of the air jets leaving the grate and entering the clinker bed. For a uniformly aerated bed and not taking into account the thermal expansion of the air an air velocity within the voids of the bulk clinker of 1.5 to 2 m/s could be expected. Entering air jets of 40 m/s had to result in a considerable reverse flow, which in turn would entrain clinker fines and cause wear of the grate surface by hot sandblasting.

Via the Californian foundry engineer Futer Henry Coanda from Romania presented the solution: Inclined slots. The air jets entering vertically are diverted horizontally and are rendered harmless. They are even useful for handling the fine portion, which is difficult for any scraper conveyor including the reciprocating grate cooler (Fig. 3).

The question was how to generate inclined slots in the foundry process? When casting grate plates with vertical holes, these are kept free by removable plugs. With thin and even inclined slots this was no longer possible, although a patent suggested exactly this, which was very troublesome from the legal point of view. After all, IKN obtained patents according to which slots were formed between separately cast parts. A German foundry spared no efforts to achieve this, and finally sales could now go ahead, at first in Germany (Fig. 4).

There were many discussions and compliments, such as, "That's just fantastic, at last something new", but only a few minutes later from the other side of the table, "Where has it proved successful?" At Dyckerhoff AG it was put into practical terms. During a works manager conference, I had 15 minutes to present the solution. Then the Hellbach works in Beckum, that had been completely dismantled in the meantime, was chosen to install a slotted plate from IKN in the cold part of the grate on a trial basis. The works manager at Hellbach could not refuse to accept this because he had not taken part in the conference. It was scheduled that the plant should continue production for a further three months only.

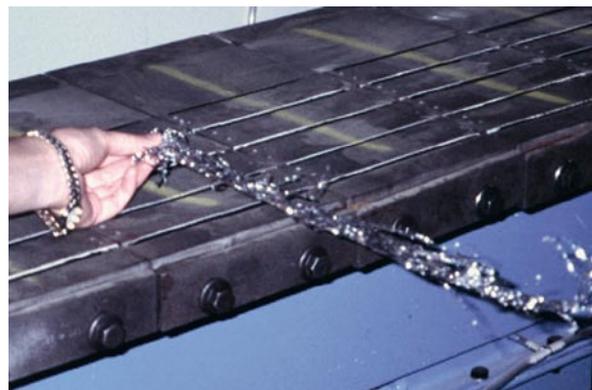
What should be thought about a single slotted plate at the cold end of the grate under these circumstances? Arranged next to perforated plates with a low resistance, no air passage could be expected. The slots would fill up with fines and after three months the whole affair would be forgotten. IKN had to convert at least the surface of an entire grate chamber. However, that was asking too much. The compromise was a grate row, later called air beam, covered with slotted plates, where no material could pass, including a corresponding fan.

Feinanteils, mit dem Kratzerförderer – auch Schubroste sind nichts anderes – ihre Schwierigkeiten haben (Bild 3).

Doch wie waren die schrägen Schlitzte gießtechnisch herzustellen? Beim Gießen von Rostplatten mit senkrechten Löchern werden diese von lösbaren Stopfen frei gehalten. Bei dünnen, noch dazu schrägen Schlitzten ging das nicht mehr, obgleich eine Patentschrift, die rechtlich sehr störte, genau dies suggerierte. IKN erwarb immerhin Patente, nach denen die Schlitzte zwischen getrennt gegossenen Teilen gebildet wurden. Eine deutsche Gießerei unterzog sich der Mühe und endlich konnte es mit dem Verkaufen losgehen, zunächst in Deutschland (Bild 4).

Es gab viele Gespräche und Komplimente der Art: „Das ist ja fantastisch, endlich mal etwas Neues“ aber nur Minuten später und von einer anderen Seite des Tisches: „Wo hat sich das bewährt?“ Konkret wurde es bei der Dyckerhoff AG: Ich bekam auf einer Werkleitertagung 15 Minuten Zeit zur Vorstellung. Anschließend wurde das inzwischen komplett rückgebaute Werk Hellbach in Beckum für einen versuchsweisen Einsatz einer IKN Schlitzplatte im kalten Teil des Rostes ausersehen. Der Werksleiter von Hellbach hatte sich nicht wehren können, weil er an der Tagung nicht teilgenommen hatte. Auch sollte das Werk nur noch drei Monate lang produzieren.

Was war unter diesen Umständen von einer einzelnen Schlitzplatte am kalten Ende des Rostes zu halten? Angeordnet neben Lochplatten mit geringerem Widerstand war Luftdurchtritt nicht zu erwarten. Die Schlitzte würden versanden und nach drei Monaten wäre die Sache vergessen. IKN musste mindestens die Fläche einer Rostkammer umrüsten. Doch das war zu viel verlangt. Kompromiss war eine Rostreihe, ein später so benannter Luftbalken, bedeckt mit durchfallfreien Schlitzplatten und mit zugehörigem Ventilator.



3 First tests elucidate the direction of flow by means of tinsels

Erste Versuche verdeutlichen die Strömungsrichtung mit Hilfe von Lametta



4 Cross section of a slotted plate (Coanda Nozzle) of the KIDS range

Schnitt durch eine Schlitzplatte (Coanda Nozzle) aus dem KIDS Bereich

The works manager agreed to install an air beam in place of the last grate row in front of the crusher and sent me downstairs to the workshop to clarify the details. Whilst going there, five air beams formed in my mind. The workshop manager - I have forgotten his name in spite of his merits - referred me to the refractory ramp at the grate inlet, which he had always wanted to be aerated. The first clinker inlet distribution was the result of these coincidences. We called it KIDS for "clinker inlet distribution system" with many children (kids) in mind (Fig. 5).

The inlet aeration and the distribution effect leveraged the new grate plate. This was a great step. However, nothing was sold as yet. After three months there was the danger of losing the reference. Fortunately, the Geseke works located nearby, which also belonged to the Dyckerhoff Group, could be interested in this.

The first sales negotiation took place. In the meantime another supplier of grate coolers had reacted and had developed individually aerated grate plates. A plate box was welded in the right angle between the supporting surface and the front of each grate plate. It was

5 View of the cooler inlet with installed KIDS

Blick auf den Kühleereinlauf mit fertig installiertem KIDS

Einem Luftbalken als letzter Rostreihe vor dem Brecher stimmte der Werksleiter zu und schickte mich zur Klärung von Einzelheiten zur Werkstatt. Während des Gangs dorthin wurden es in meinem Kopf fünf Luftbalken. Der Leiter der Werkstatt - ich habe seinen Namen trotz seiner Verdienste vergessen - verwies mich damit auf die feuerfeste Rampe am Einlauf des Rostes, die er schon immer belüften wollte. Diesen Zufällen war die erste Klinkereinlaufverteilung zu verdanken. Wir nannten sie KIDS für „clinker inlet distribution system“ im Hinblick auf möglichst viele Kinder (Bild 5).

Die Einlaufbelüftung und der Verteileffekt hebelten die durchfallfreie Schlitzplatte nach vorne. Ein großer Schritt war geschafft. Aber verkauft war noch nichts. Innerhalb von drei Monaten drohte die Referenz verloren zu gehen. Doch ganz in der Nähe konnte das ebenfalls zur Dyckerhoff Gruppe gehörende Werk Geseke interessiert werden.

Dort kam es zu einer ersten Verkaufsverhandlung. Inzwischen hatte ein anderer Anbieter von Rostkühlern reagiert und einzeln belüftete Rostplatten entwickelt. In den rechten Winkel zwischen Tragfläche und Stirnwand jeder Rostplatte war ein Blechkasten eingeschweißt, versehen mit einem zölligen Luftanschluss. Ein erster Rost in Frankreich war mit Dutzenden dieser Platten ausgerüstet. Auf dem Verhandlungstisch lagen Fotos der Platten, der Blechkästen und zahlreicher Schläuche, die zu den Rostplatten führten. Auch von Hellbach und den IKN Luftbalken lagen mehrere Fotos auf dem Tisch.

Zum Abschluss der Verhandlung bat die Betriebsleitung den zuständigen Direktor hinzu, der mich seit lan-



equipped with a one-inch air connection. A first grate in France had been equipped with dozens of these plates. There were photos on the negotiating table showing the plates, the plate boxes and numerous hoses leading to the grate plates. Also from Hellbach photographs of the IKN air beams were on the table.

The technical part of the negotiation was held with the technical works manager, who called for the director to finalize the negotiation commercially. The director, who has known me for a long time, came to the table, took several of the photographs lying astray and praised me for my contribution to the technical development and cost reduction. However, for a firm of worldwide reputation like the other supplier - and now he had the photos of Hellbach in his hands - it does not take long to present a professional solution, and the decision had to be taken in favour of this solution. He had fixed his decision so firmly that he had to stick to it despite of the mistake in the suppliers. Once again coincidence played a role.

For safety reasons and provision of spare parts, the conversion of the grate cooler at Geseke had to be identical with that of Hellbach. We succeeded in doing so and from spring 1985 we had the reference longed-for. The VDZ (German Cement Works Association) had carried out process measurements and Dr. Ruhland [2] as well as Dr. Matthée [3] reported on operational experience. Meanwhile, during 26 years of operation no grate plates have been replaced. Already after 5 years IKN had advertised the reliability. However, a clever visitor from France had his reasons, granted, to make fun of it: Tiens, elle n'est pas belle et elle ne veut pas mourir (she is not beautiful - he referred to the clinker distribution - and she doesn't want to die either).

Only with later projects clinker distribution was achieved forming an equally deep clinker bed of equally permeability for the air saving further equipment for air distribution. The increasing throughputs required wider and wider grates. Milestones in the KIDS development were grate widths of 5.6 m for 9000 t/d, then of 6.8 m for 11 000 t/d and up to 7.2 m for an output of 13 000 t/d. Today all manufacturers of any type of grate cooler offer clinker distribution by means of fixed inclined grates. They were the key to the renaissance of the grate coolers instead of the rotary coolers (Fig. 6).

The original business idea was to equip half of the 2000 operating grate coolers with KIDS through the years, i.e. 1000 units. However, after about 75 conversions it could be seen that with each project further dialogue partners on the customers' side were added and, because of the intervention in their daily responsibility for the entire plant, it was necessary to stay personally in long term contact with them. IKN could not further increase the number of dialogue partners, but had to offer more technology to less market participants. Thus, the complete grate cooler was the business target.

The precision for control of the open grate surface of the entire grate was less an idea than a working program for the years to come. Each new grate should be better than the previous one. This concerned the reduction of the unintended thrust and side gaps of the grate surface,



6 Lateral view of one of two two-stage IKN pendulum coolers of 11,000 t/d in Hofuf/Saudi Arabia

Seitenansicht eines von zwei 2-stufigen 11.000 tpd IKN Pendulum Kühler in Hofuf/Saudi Arabien

gem konnte. Er griff nach einigen Fotos und lobte mich für meinen Beitrag zur technischen Entwicklung und Kostensenkung. Doch eine Weltfirma wie der andere Anbieter - und jetzt hatte er die Hellbach-Fotos in der Hand - lasse mit einer professionellen Lösung nicht lange auf sich warten und die Entscheidung müsse zugunsten dieser Lösung ausfallen. Er hatte sich so festgelegt, dass seine Entscheidung auch noch Bestand hatte, als er auf die Verwechslung hingewiesen wurde. Erneut hatte der Zufall Regie geführt.

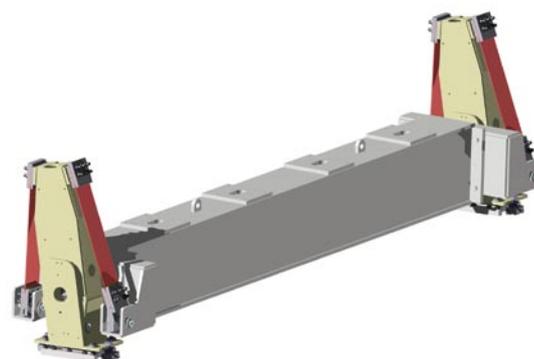
Der Umbau des Rostkühlers in Geseke war zur Sicherheit und Ersatzteilversorgung baugleich mit Hellbach auszuführen. Das gelang auch und ab Frühjahr 1985 gab es die ersehnte Referenz. Der VDZ hatte ein Messprogramm durchgeführt und Dr. Ruhland [2] und Dr. Matthée [3] haben über Betriebserfahrungen berichtet. Während nunmehr 26 Jahren Betrieb wurden keine Rostplatten gewechselt. Schon nach 5 Jahren hatte IKN damit geworben. Doch ein kluger Besucher aus Frankreich hatte - zugegeben - Grund sich zu mokieren: Tiens, elle n'est pas belle et elle ne veut pas mourir (Sie ist nicht schön - er meinte die Klinkerverteilung - und sterben will sie auch nicht).

Erst bei späteren Projekten gelang Klinkerverteilung zur Ausbildung eines über der Rostbreite gleich hohen und mit gleichem Druckabfall belüfteten Klinkerbettes, das weitere Einrichtungen zur Luftverteilung erübrigt. Die steigenden Durchsatzleistungen machten dabei immer breitere Rostste notwendig. Meilensteine der KIDS Entwicklung waren Rostbreiten von 5,6 m für 9000 t/d, dann von 6,8 m für 11 000 t/d bis hin zu 7,2 m für eine Leistung von 13 000 t/d. Klinkerverteilung durch feste Schrägrostste werden heute von jedem der Hersteller für alle Arten von Rostkühlern angeboten. Sie waren der Schlüssel zur Renaissance der Rostkühler anstelle von Rohrkühlern (Bild 6).

Ursprünglich war es Geschäftsidee, von 2000 in Betrieb befindlichen Rostkühlern im Laufe der Jahre die Hälfte - also 1000 - mit KIDS auszustatten. Doch nach etwa 75 Umbauten zeichnete sich ab, dass mit jedem Projekt weitere Gesprächspartner auf der Kundenseite hinzukamen, mit denen persönlich und auf Dauer Kontakt zu halten war, ging es doch um einen Eingriff in deren tägliche Verantwortung für die Gesamtanlage. IKN konnte die Zahl der Gesprächspartner nicht weiter steigern, sondern musste weniger Marktteilnehmern mehr Technik anbieten. Geschäftliches Ziel wurde der komplette Rostkühler. Präzision zur Kontrolle der offenen Rostfläche des gesamten Rostes war weniger Idee als Arbeitsprogramm

7 Pendulum suspension, at the beginning still as long version, later replaced by a compact design (LPS - Linear Pendulum Suspension)

Pendelaufhängung anfangs noch als Langversion, später abgelöst durch kompakte Bauweise (LPS - Linear Pendulum Suspension)



and this irrespective of wear, applied load and thermal expansion. The suspension of the movable structure on pendulums and fixture of grate plates yielding to thermal expansion were essential technical solutions (Fig. 7). From the IKN point of view there is no reason that the movable parts of grate coolers should not be as durable and free from clinker throughfall like the KIDS.

At the outset of the development there were grate coolers in the USA, in which the air compartments and dust hoppers were brick-lined and the supporting structure was of stainless steel. Right from the start, IKN designed without such safety measures and cast grate support beams as well as sideboards up to the level of the bed. At the outset the blades of the grate elements were fixed in cast boxes. Today they are of tilted steel plate. Thus, only the blades of the top layer are of heat-resistant casting. With increasing control of the clinker distribution and of the transfer of the clinker bed from KIDS to the driven grate - after 6 months of operation no charred paper of a cement bag was found at this point - it is conceivable that a hardened metallic grate surface will be sufficient in the future. Absent high temperatures and fines wear due to clinker transport is negligible. Considering the increasing electricity prices, protecting the grate surface with clinker fixed in boxes should not be considered economic in the long run.

As mentioned above, cooling takes place in the clinker bed. Thus, the question is: What is the best clinker bed? In the meantime the specialists at IKN have been observing more than 500 grate plants delivered and discover again and again: The best clinker bed consists of clinker granules resting on each other due to their own weight and between which there are fines

der nächsten Jahre. Jeder neue Rost sollte besser als der vorhergehende sein. Es ging um Verringerung der ungewollten Schub- und Seitenspalte der Rostfläche und dies unabhängig von Verschleiß, Auflast und Wärmedehnung. Aufhängung der beweglichen Struktur an Pendeln und durch Wärmedehnung verschiebbare Rostplatten waren wesentliche technische Lösungen (Bild 7). Es gibt aus Sicht von IKN keinen Grund, dass Rostkühler in ihrem beweglichen Teil schließlich nicht ebenso haltbar und nahezu durchfallfrei sind wie die KIDS.

Zu Beginn der Entwicklung wurden in den USA Rostkühler angetroffen, deren Luftkammern und Staubtrichter ausgemauert und deren tragende Struktur aus Edelstahl war. IKN hat von Anfang an auf solche Sicherheitsmaßnahmen sowie auf gegossene Rostträger und Seitenborde in Höhe des Bettes verzichtet. Waren die Lamellen der Rostelemente zu Beginn in gegossenen Kästen fixiert, so sind diese heute aus gekantetem Stahlblech. Somit bestehen nur noch die Lamellen der obersten Deckschicht aus hitzebeständigem Guss. Mit zunehmender Beherrschung der Klinkerverteilung und des Übergangs des Klinkerbettes vom KIDS auf den angetriebenen Rost - an dieser Stelle wurde nach einem halben Jahr Betrieb einmal das nicht verkohlte Papier eines Zementsackes gefunden - scheint absehbar, dass eine gehärtete metallische Rostfläche in Zukunft ausreichen wird. In Abwesenheit von hoher Temperatur und Feinanteil ist Verschleiß durch Klinkervorschub vernachlässigbar. Angesichts steigender Strompreise dürfte die Belegung der Rostfläche mit in Taschen fixiertem Klinker als Verschleißschutz auf Dauer nicht wirtschaftlich sein.

Eingangs wurde festgestellt, dass Kühlung im Klinkerbett stattfindet. Damit verbindet sich die Frage nach dem



8 Clinker bed in operation
Klinkerbett im Betrieb

that are carried to the bed surface due to a finely dispersed aeration. There three fines form a gently fluidized bed. As opposed to this, formerly the grates with perforated plates released the fines to the under grate. To separate the fines to the bed surface will only be achieved up to a certain, optimum depth of the clinker bed, which, like the size distribution, is difficult to forecast for new plants. IKN does not specify the bed depth for the customers but helps them to cautiously approach the optimum (Fig. 8).

Mechanically sheared beds or beds wavering due to aeration cannot be the optimum. A comparison with the solutions of competitors is made difficult because deviations from the optimum have only a minor effect on the recuperation of the cooler due to the error compensating temperature radiation in the hot zone. However, in the central and cold part of the grate the effect of optimum beds becomes clear. On the tide of the energetic utilization of the waste heat of the grates, the "cold" recuperation will become important in connection with high temperature of the waste air. New designs of the grate elements are in the course of being prepared for this.

They say that old people prefer to look back rather than ahead. Perhaps it could also be said that they have a clear conception of larger periods of time including the future and that they recognize developments. Thanks to ZKG for publication of these visions.

besten Klinkerbett. Die IKN Mitarbeiter beobachten inzwischen mehr als 500 gelieferte Rostanlagen in eigener Verantwortung und stellen immer wieder fest: Das beste Klinkerbett besteht aus Klinkerkörnern, die dank ihres Eigengewichts aufeinander lasten und zwischen denen sich Feinanteil befindet, der dank fein verteilter Belüftung an die Bettoberfläche getragen wird und dort ein Wirbelbett bildet. Im Gegensatz dazu haben früher die Roste mit Lochplatten den Feinanteil in den Unterrost ausgetragen. Die Separierung des Feinanteils an die Bettoberfläche gelingt nur bis zu einer bestimmten als optimal angesehenen Höhe des Klinkerbettes, die – ebenso wie die Kornverteilung – bei Neuanlagen schlecht vorhergesagt werden kann. IKN schreibt die Betthöhe den Kunden nicht vor, sondern hilft ihnen, sich an das Optimum heranzutasten (Bild 8).

Mechanisch gescherte oder durch Belüftung wabernde Betten können kein Optimum darstellen. Der Vergleich mit Lösungen des Wettbewerbs wird erschwert durch den Umstand, dass Abweichungen vom Optimum durch die Fehler ausgleichende Temperaturstrahlung im heißen Bereich sich nur gering auf die Rekuperation des Kühlers auswirken. Doch im mittleren und kalten Teil des Rostes wird die Wirkung optimaler Betten deutlich. Im Zuge der energetischen Verwertung der Abhitze der Roste wird „kalte“ Rekuperation in Verbindung mit hoher Temperatur der Abluft wichtig werden. Die Rostelemente werden dafür gerade neu gestaltet.

Man sagt, die Alten blicken eher zurück als nach vorn. Vielleicht könnte man auch sagen, sie überblicken größere Zeiträume einschließlich der Zukunft und erkennen Entwicklungen. ZKG sei gedankt, für die Veröffentlichung dieser Vorstellungen.

REFERENCES

- [1] Wedel, K. v. , Wagner, R.: Sind Kühlroste Klinkerkühler oder Wärmerekuperatoren? Zement-Kalk-Gips 37 (1984) S. 244
- [2] Ruhland, W., Wedel, K. v.: Air Jets Cool Clinker on Grate Rock Products 10/1985 S.42
- [3] Matthée, H.: Kühlen von Zementklinker im Rostkühler mit neuartigen Kühlrosten Zement-Kalk-Gips 39 (1986) S. 376

