

Ausrichten von Drehöfen und Korrektur der Tragrollen-Verdrehungen während des Betriebes

Alignment of rotary kilns and correction of roller settings during operation

Rectitude des fours rotatifs et correction des déformations des galets porteurs pendant la marche

Von B. Krystowczyk, Bromberg/Polen

Zusammenfassung

Der Beitrag befaßt sich mit einer neuen Methode zur Ausrichtung von nicht fluchtenden Drehöfen während des Betriebes. Dabei wird zunächst auf die bisherigen Verfahren eingegangen. Es wird nachgewiesen, daß die Ausrichtung eines Drehofens während seines Stillstandes nicht gewährleistet werden kann, weil Temperatureinflüsse nach der Wiederinbetriebnahme erneut Deformationen verursachen. Die neue Methode ermöglicht eine einwandfreie Zentrierung des Ofens während des Betriebes in folgenden Fällen: Veränderungen der Ofenachse und Ofenmeinigung, horizontale Verdrehung der Rollenachsen und Veränderung des Betriebswinkels der Rollen. Die Zentrierung ist mit einer Genauigkeit von ± 1 mm möglich.

Summary

(Complete English translation in ZKG 7/1983, Edition B)

This article is concerned with a new method of re-aligning rotary kilns while they are in operation. First, the methods hitherto employed are discussed. It is shown that the alignment of a kiln that has been stopped cannot be guaranteed because temperature effects will cause deformations again after the kiln has been restarted. With the new method the kiln can be accurately centred while in operation, in the following cases: changes in the kiln axis and inclination, horizontal twist of the roller axes, and change in the operating angle of the rollers. Centring with an accuracy of ± 1 mm is possible.

Résumé

Cet article traite d'une nouvelle méthode de redressement de fours rotatifs désaxés pendant la marche. Il parle d'abord des procédés connus à ce jour. Il démontre que l'alignement d'un four rotatif pendant l'arrêt ne peut pas être garanti, car les influences dues à la température après la remise en marche entraînent de nouveaux déformations. La nouvelle méthode permet un centrage irréprochable du four pendant la marche dans les cas suivants: modifications de l'axe du four et inclinaison du four, torsion horizontale des axes des rouleaux et modification de l'angle de marche des galets. Le centrage est possible avec une précision de ± 1 mm.

1. Einleitung

Nach Ansicht vieler Fachleute ist die Aufstellung ausgerichteter Drehöfen und das Einstellen der Tragrollen von großer Bedeutung für einen einwandfreien Ofenbetrieb. Korrekturen der Ofenachse und der Tragrollen werden bei konventionell konstruierten Stützen durch die Rollenjustierschrauben am stillgesetzten Ofen^{1,2)} und bei hydraulisch oder mechanisch selbststellenden Stützen automatisch³⁾ durchgeführt.

Die erste Methode hat Verluste der Klinkerproduktion zur Folge, wobei ein einwandfreier Betrieb des Ofens nicht gewährleistet wird. Die Nachteile dieser Methode führten zur Entwicklung der selbststellenden Stützenkonstruktion.

Der Verfasser unternimmt im ersten Teil dieser Veröffentlichung eine kritische Analyse der Effekte von Korrekturen der Ofenachse und der Tragrollen. Dabei werden die Korrekturen aufgrund von Messungen am stillgesetzten Ofen durchgeführt.

Im zweiten Teil wird eine neue Methode zur Bestimmung von derartigen Korrekturwerten aufgrund geodätischer Messungen während des Betriebes vorgestellt. Diese Methode erlaubt genaue Rollenverschiebungswerte zu bestimmen. Dabei können die Ofenachse und die Tragrollen unabhängig von veränderten Temperaturen, zyklischen Ablenkungen und Senkungen der Stützen sowie unabhängig von Abnutzung und Deformation der Ofenteile eingestellt werden. Eine Korrektur nach dieser neuen Methode ist nicht so wirkungsvoll wie die selbststellende Stützenkonstruktion, jedoch gibt es noch einen großen Teil von

Drehöfen mit konventioneller Rollenkonstruktion. Der Vorteil dieser Methode liegt darin, daß sie keine Investitions- und Gerätekosten beansprucht, jederzeit eingesetzt werden kann sowie einfach und genügend genau ist. Sie hat sich bereits an vielen Drehöfen des In- und Auslandes bewährt.

2. Analyse des bisherigen Verfahrens

In der gegenwärtigen Praxis wird das Ausrichten (Zentrieren) von Öfen meistens während des Stillstandes beim ausgekühlten Ofen durchgeführt. Der Ofen verändert seine Abmessungen jedoch nach dem Inbetriebsetzen und Aufwärmen. Um die Art und Größe dieser Änderungen festzustellen, wurde ein Drehofen mit 5,6 m \varnothing \times 160 m Länge untersucht. In Bild 1 wurde die Temperaturverteilung für den untersuchten Ofenmantel dargestellt. Die Messungen wurden mit einer Thermovisionskamera AGA-680 durchgeführt. Die Ofenmanteltemperaturverteilung ist sehr differenziert und weicht wesentlich von der theoretischen Vorstellung und von der Verteilung neuer Öfen ab.

In Tabelle 1 werden die aufgrund von Bild 1 berechneten Längenzunahmen der einzelnen Ofensegmente gegenüber den Ofenstillstandswerten dargestellt. Außerdem wurden Lageänderungen ΔL gegenüber dem Ofenmittelpunkt angegeben. Würde die Rollenachse parallel zur Ofenachse und die Rollengestalt ein vollkommener Zylinder sein (Bild 2), dann wäre keine aufgrund der Lageänderung ΔL bewirkte Deformation der Ofenachse Δz vorhanden. Ein solcher Zustand ist nur an neuen, gut ausgerichteten Öfen anzutreffen. Nach einer gewissen Betriebsdauer nehmen

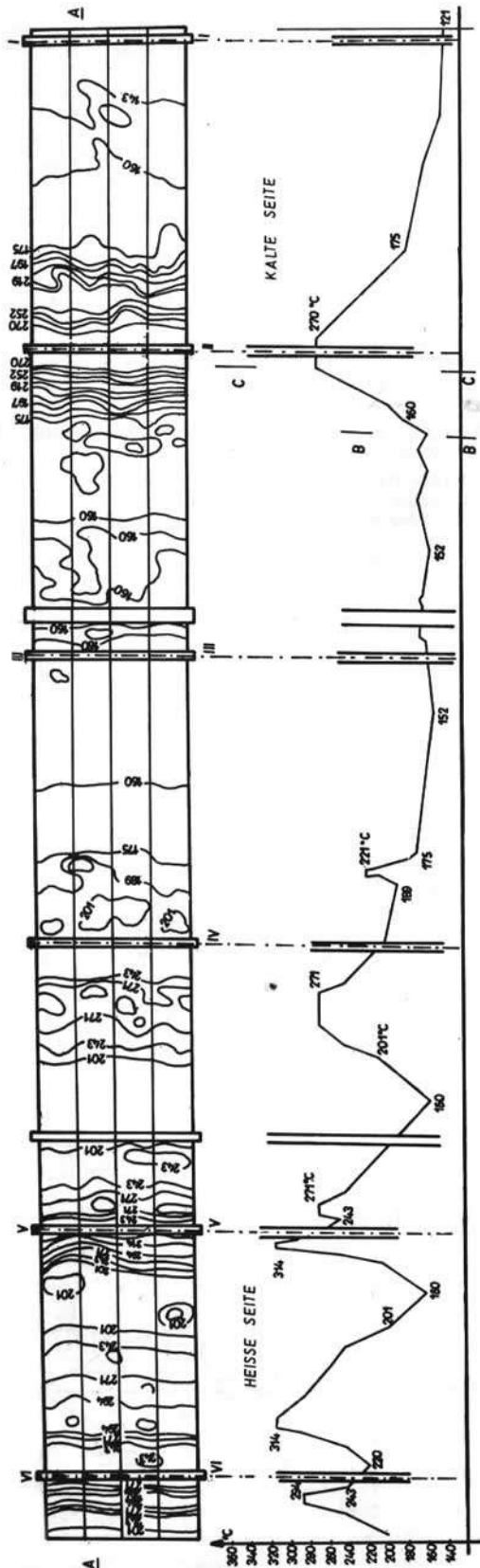


Bild 1: Temperaturverteilung auf dem Ofenmantel
Temperature distribution on the kiln shell

TABELLE 1
Längenänderungen der Ofenteile durch Temperatureinfluß
Changes in length of kiln parts due to temperature

| Stützennummer | Ofensegment- länge während des Stillstandes [mm] | Ofensegment- länge während des Betriebes [mm] | Längenzunahme [mm] | Längenzunahme gegenüber Mittelpunkt ΔL |
|---------------|---|--|-----------------------|---|
| I | 31020 | 31084 | 64 | 155 |
| II | 30640 | 30703 | 63 | 91 |
| III | 28620 | 28677 | 57 | 28 |
| IV | 28570 | 28642 | 72 | 00 |
| V | 24530 | 24597 | 67 | -29 |
| VI | | | | -101 |
| | | | | -168 |

die Laufflächen der Rollen eine auf Bild 2, Mitte, gezeigte Gestalt an. Die Abnutzung der Rollen kann mehr als 10 mm betragen. Dann wird auch die Deformation Δz die gleiche Größe wie die Rollenabnutzung haben (Bild 2, Mitte). Auch eine Neigung der Rollenachse gegenüber der Ofenachse wird eine Deformation Δz der Ofenachse bewirken (Bild 2, rechts). Beide Deformationsarten nach Bild 2, Mitte und rechts, treten meistens zusammen auf und verursachen eine Axialasymmetrie während des Betriebes, die die zugelassene Toleranz von 3–5 mm überschreitet.

Durch Temperatureinwirkungen verändern sich die Durchmesser des Laufringes und des Ofenmantels (Bild 3). Da die Temperaturzunahme nicht für alle Ringe gleich oder proportional ist (Bild 1), treten zusätzliche Deformationen Δz auf.

In Tabelle 1 wurden die während des Stillstands und des Betriebes gemessenen Laufringdurchmesser angegeben. Man sieht, daß der Durchmesserzuwachs nicht gleich und nicht proportional zur Temperaturverteilung nach Bild 1 ist. Die Größen dieser Unterschiede sind jedoch wichtig für das richtige Ausrichten des Ofens.

TABELLE 2
Veränderungen der Laufringdurchmesser durch Temperatureinfluß
Tyre diameter as affected by temperature

| Stützennummer | Durchmessergröße während des Stillstandes [mm] | Durchmessergröße während des Betriebes [mm] | Differenz [mm] |
|---------------|---|--|-------------------|
| 1 | 6001,0 | 6003,6 | +2,6 |
| 2 | 5997,1 | 6000,6 | +3,3 |
| 3 | 6001,6 | 6007,8 | +6,2 |
| 4 | 6001,0 | 6007,1 | +6,3 |
| 5 | 6192,5 | 6195,9 | +3,4 |
| 6 | 6002,0 | 6010,9 | +8,9 |
| | | Messgenauigkeit ± 1 mm | |

Die drehende Bewegung eines nicht ausgerichteten Ofens verursacht Schwingungen. Ihre Amplitude erreicht in einigen Fällen 10–30 mm, besonders bei Öfen mit großem Durchmesser und drei Stützen. Verhältnismäßig kleine

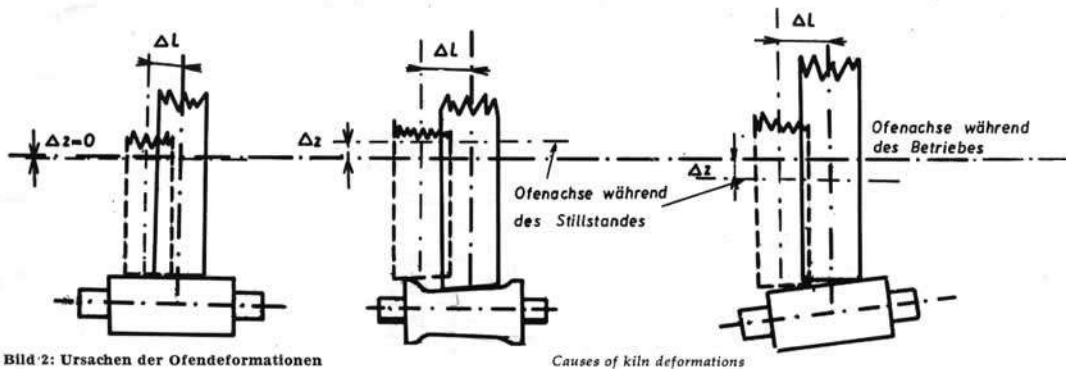


Bild 2: Ursachen der Ofendeformationen

Causes of kiln deformations

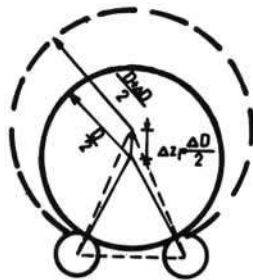


Bild 3: Einfluß der Lauftringveränderung auf die Deformation des Drehofens

Effect of a change in the tyre upon the deformation of the kiln

axiale Abweichungen erzeugen dort häufig Resonanz und zerstören das Ofenmauerwerk.

Aufgrund der durchgeführten Messungen wurde festgestellt, daß die geometrische Achse des untersuchten Ofens durch unterschiedliche Spannungszustände verschiedenen Positionen nach Bild 4 einnimmt. Man sieht, daß die statische Ofenachse bei einer bestimmten Position des Ofens (z. B. 180°) sich von der Achse bei Drehung des Ofens unterscheidet. Diese Bedingungen verursachen wesentliche Deformationen der Ofenachse nach Inbetriebnahme des Ofens.

In Bild 5 wurden die Ergebnisse von Messungen an gleichen Öfen vor und nach der Inbetriebsetzung und nach Erreichen der normalen Betriebswerte dargestellt. Die Deformationen überschreiten die zulässigen Zentrierungs-

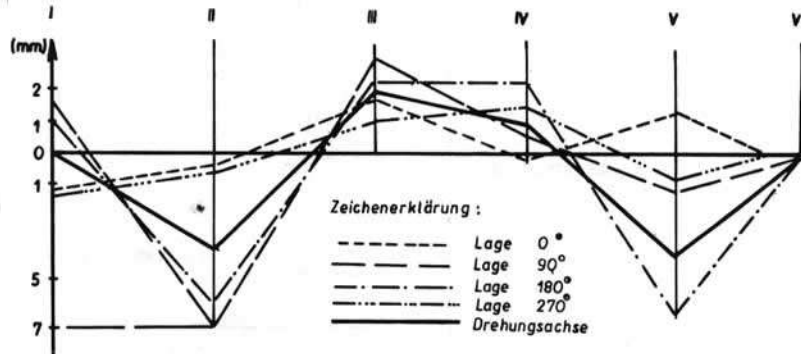


Bild 4: Veränderungen der geometrischen Drehofenachse im Stillstand und bei Drehung des Ofens

Changes in the geometric axis of the kiln during stoppage and during rotation

in Horizontalebene

in Vertikalebene

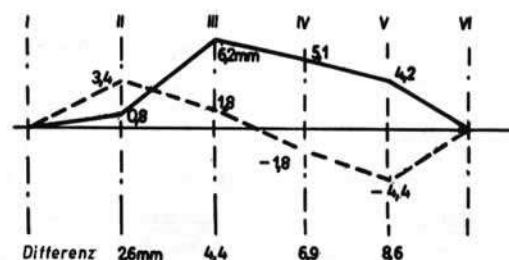
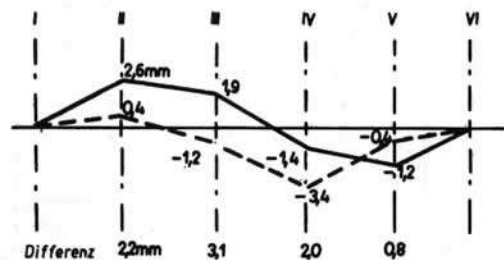


Bild 5: Drehofendeformationen in der Horizontal- und Vertikalebene

Kiln deformations in the horizontal and the vertical plane

--- Ofenachse während des Stillstandes
 — Ofenachse während des Betriebes

toleranzen der Ofenachse um ein Vielfaches. Daraus ist zu ersehen, daß das Ausrichten von Öfen während des Stillstandes eine Ofenzentrierung während des Betriebes nicht gewährleistet.

3. Beschreibung der neuen Methode

Das entwickelte Verfahren ist eine indirekte optische und berührungslose Methode zur Bestimmung der Betriebs- und Konstruktionskennwerte des Ofens während des Betriebes. Dieses Verfahren ermöglicht, die Temperatureinflüsse und dynamischen Bedingungen unmittelbar zu berücksichtigen sowie schädliche Einflüsse der Ofenumgebung auf die Meßergebnisse gering zu halten. Die Werte der Deformation und der Korrektur für die einzelne Rolle werden aufgrund einer statistischen und mathematischen Analyse berechnet. Dabei werden die Meßfehler eliminiert und eine Beurteilung der Genauigkeit ermöglicht.

Ein richtig gewähltes Beobachtungs- und Berechnungsprogramm erlaubt Angaben zur Einstellung der Ofeneneigung, der horizontalen Rollenverdrehungen und der Betriebswinkel der Rollen. Die entwickelte Methode und die zugehörigen Meßgeräte sind patentrechtlich geschützt⁴⁾.

3.1 Bestimmung der Ofendeformation in horizontaler Ebene

In Bild 6 wurde das Schema dieser Methode dargestellt. Als Bezugsbasis für die Messungen dient ein konstantes

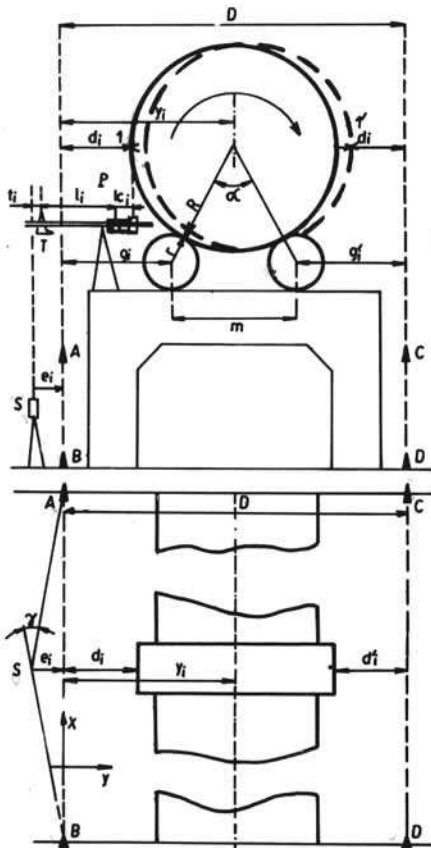


Bild 6: Meßschema in horizontaler Ebene
Schematic arrangement for measurements in the horizontal plane

System. Dieses besteht aus zwei mit Zielscheiben festgelegten Bezugslinien A — B und C — D. Eine davon ist die X-Achse des angenommenen Koordinatensystems. Für jede Stütze werden folgende Koordinaten der Umdrehungsmittelpunkte des Ofens in der Querschnittsebene der Wälzringe bestimmt: $x_1y_1, x_2y_2, \dots, x_ny_n$.

Damit können die Werte der Deformation der Ofenachse $\Delta y_1, \Delta y_2, \dots, \Delta y_n$ ermittelt werden. Die Koordinaten y_1 werden aufgrund der festgelegten Abstände d_i, d_i' (Bild 6) zwischen der Bezugslinie und dem Lauftring berechnet. Da der Abstand D zwischen den Bezugslinien bekannt ist, gilt:

$$y_i = \frac{1}{2} (D + d_i - d_i') \quad (1)$$

Weiterhin läßt sich der Durchmesser der Ringe nach der Formel (2) berechnen:

$$2R_i = D - d_i - d_{i+1}' \quad (2)$$

Um den Einfluß der Ovalität des Ringes und den der Lagerspiele auf die Koordinaten y_i zu begrenzen, werden die Messungen für mehrere (meistens vier), gleichmäßig auf den Mantelumfang verteilte Punkte durchgeführt. Dadurch können die Mittelwerte der Koordinaten $y_{i,av}$ und die Mittelwerte des Radius $R_{i,av}$ bestimmt werden.

Um die erforderliche Genauigkeit zu erreichen, werden die Abstände d_i indirekt durch Vermessung von mehreren, während der Ofenumdrehung veränderten Abschnitten zwischen den Bezugslinien und den Lauftringen bestimmt. Die Lage der Lauftringe während des Ofenbetriebes wird mit dem Piecometer (Bild 7) bestimmt, das mit dem optischen Libellenschenkel P und der Ablesescheibe T (Bild 6) ausgestattet ist.



Bild 7: Das „Piecometer“ beim Messen
Piecometer alignment measuring apparatus in use

Das Piecometer ermöglicht eine tangentielle Einstellung des Schenkels P zum Lauftring, wobei die Lageänderungen des Lauftringes registriert werden. Mit der Ablesescheibe T können die Lageänderungen des Piecometer gegenüber dem außerhalb der Stütze aufgestellten Schenkel S bestimmt werden. Die Lage des Schenkels S gegenüber der Bezugslinie wird indirekt durch Winkelmessungen mit einem Theodoliten bestimmt. Bei Anwendung der Bezeichnungen nach Bild 6 gilt:

$$d_i = l_i + c_i \pm t_i \pm e_i \quad (3)$$

Darin ist:

- l_i = Basislänge des Piecometers,
- c_i = Abstand vom Basisende des Piecometers bis zum Lauf-
ring,
- t_i = Abstand vom Basisanfang des Piecometers bis zur
vertikalen Ebene des Schenkels S,
- e_i = Abstand vom Schenkelstand bis zur Bezugslinie.

Die in der Formel vorkommenden Kennwerte t_i und c_i verändern sich während der Ofenumdrehung und werden bei der Messung gleichzeitig durch zwei Beobachter bestimmt.

3.2 Bestimmung der horizontalen Verdrehung der Tragrollen und ihrer Betriebswinkel

Das Piecometer erlaubt die Beobachtung der Lage der Tragrollen an beiden Enden (Bild 8). Wenn das Piecometer parallel zur Ofenachse aufgestellt wird, kann man die Verdrehung der Rollenachse g unmittelbar aus dem Ableseunterschied

$$\Delta g = g_2 - g_1 \quad (4)$$

bestimmen.

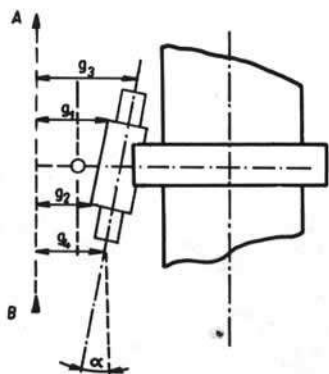


Bild 8: Meßschema der Rollenverdrehung
Schematic arrangement for measurements of roller twist

Ist die Rolle abgenutzt und nicht mehr zylindrisch, so werden die Abstände g_3 und g_4 an den Zentrierbohrungen der Rolle abgelesen. Der lineare Wert der Verdrehung ergibt sich dann aus Formel (5):

$$\Delta g = g_4 - g_3 \quad (5)$$

Der Abstand m_i zwischen den Achsen der Rollenpaare wird mit Formel (6) bestimmt:

$$m_i = D - g_i - g_i' \quad (6)$$

Die Radiuswerte der Rollen werden aus Formel (7) ermittelt:

$$r_i = \frac{1}{2} (g_3 + g_4 - g_1 - g_2) \quad (7)$$

Aufgrund dieser Formeln kann man den Rollenbetriebswinkel α (Zentriwinkel) zwischen Radien der Berührungspunkte von Rollen und Laufring (s. Bild 6) nach Formel (8) berechnen:

$$\frac{\alpha}{2} = \arcsin \frac{m}{2(R_i + r_i)} \quad (8)$$

3.3 Bestimmung der Ofendeformation in vertikaler Ebene sowie Bestimmung der Ofenneigung

Die Koordinaten Z_1, Z_2, \dots, Z_n der Ofenachse an den Stützen werden mit dem Piecometer nach Bild 9 bestimmt. An jeder Stütze ist dazu ein Meßdorn einbetoniert. Die Höhe des Meßdorns wird im Verhältnis zu einer konstanten Bezugsebene mit einer Feinnivellierungsmessung bestimmt. Beim Durchlaufen des Drehofens durch bestimmte Punkte z. B. 1, 2, 3, 4 (Bild 9), werden Abstände h_i abgelesen.

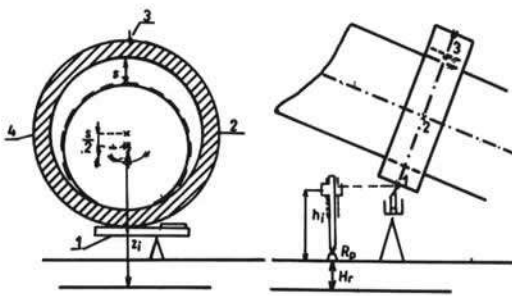


Bild 9: Meßschema in vertikaler Ebene
Schematic arrangement for measurements in the vertical plane

Die entsprechenden Ordinaten Z_i werden nach Formel (9) berechnet:

$$Z_i = H_r + h_{i,sr} + R_{i,sr} \cos \eta - \frac{S}{2} \quad (9)$$

Darin ist:

- $R_{i,sr}$ = der nach Formel (2) bestimmte Radius,
- η = Ofenneigungswinkel,
- S = Durchschnitt des Kopfspiels (mit Differenzverfahren während des Ofenbetriebes bestimmt).

Da die Koordinaten Z_1, Z_2, \dots, Z_n sowie X_1, X_2, \dots, X_n bekannt sind, kann man die Ofendeformationen $\Delta Z_1, \Delta Z_2, \dots, \Delta Z_n$ und die Korrekturwerte der Rollenjustierschrauben wie bekannt bestimmen.

Die Neigung der Ofenachse wird nach Formel (10) berechnet:

$$n = \arcsin \frac{Z_n - Z_1}{p} \quad (10)$$

Darin ist p die Ofenlänge.

Schrifttum

- 1) Paulsen, H.: Ausrichten von Drehöfen. Zement-Kalk-Gips 24 (1971), S. 204-207.
- 2) Giencke, D. P.: A guide to rotary kiln alignment and maintenance. Pit and Quarry 70 (1978) Nr. 11.
- 3) —: FLS-newsfront, 1979.
- 4) Poinisches Patent Nr. P-106298.