

Ten Years Experience with Quality Control of Facing Bricks in the Netherlands

Dr. Ing. Peter C.F. Bekker, managing director
Technical Centre Waalsteen
Nijmegen, The Netherlands.

Summary

Quality is the "fitness for purpose". In case of bricks it is the fitness for masonry and the performance of a wall function during a long service lifetime at lowest life-cycle costs.

The fitness of bricks for purpose is expressed by standards and other quality specifications.

The aim of the Brickindustry is to manufacture the required quality. Consequently, it will be necessary to use suitable raw materials and production equipment, however, that is not sufficient to achieve products of required quality. For that purpose, the brickmaking process must be fully under control.

The use of modern statistical methods and computers for analyzing process data, together with the development and evolution of control equipment now makes it possible to control the product quality of a heavy clay process.

One of the problems was to obtain the most important parameters and find methods for successfully controlling the process and the quality in a relatively cheap and simple way.

Because a great deal of brick properties are correlated, there is no reason for monitoring and checking all requirements if the process is under control. In the latter case quality control can be reduced to a daily check of the following relevant properties of a random brick sample:

- size and tolerancies
- colour, shape and surface texture in case of facing bricks.

Once a year or as soon as it is required when the process should be run out of control, other properties must be checked according to Dutch or International Standards.

The paper deals with quality analyses, processing of quality data and results of ten years experience in The Netherlands.

ZEHN JAHRE ERFAHRUNG MIT QUALITÄTSBEHERRSCHUNG VON SICHTMAUERZIEGELN IN HOLLAND

von Dr.Ing. P.C.F. Bekker

1. Einführung

Trotz riesiger technischen Entwicklungen in der Ziegelindustrie wird heute noch in vielen Fällen akzeptiert, dass Produkte mit einer mehr oder weniger unherrschten Qualitätsstreuung entstehen. Mittels einer Inspektion von allen Waren werden die verschiedenen Qualitäten aussortiert. Die Qualität der Endprodukte ist dann das Ergebnis unstabiler Vorgänge. Besser wäre das Prozess so zu gestalten und zu steuern, dass nur die Qualität entsteht, die wirklich gewünscht wird.

Die Zielsetzung ist deshalb die Einrichtung und Steuerung (Stabilisierung) eines Prozesses damit Endprodukte einer gewollten Qualität entstehen im Zusammenhang mit minimalen und akzeptablen Betriebskosten, dadurch erreichbar, dass geeignete Rohstoffe und Produktionsmittel verwendet werden und dass das Prozess überwacht und beherrscht wird.

Das allgemeine Steuerungsmodell wird nachstehend illustriert (Fig. 1).

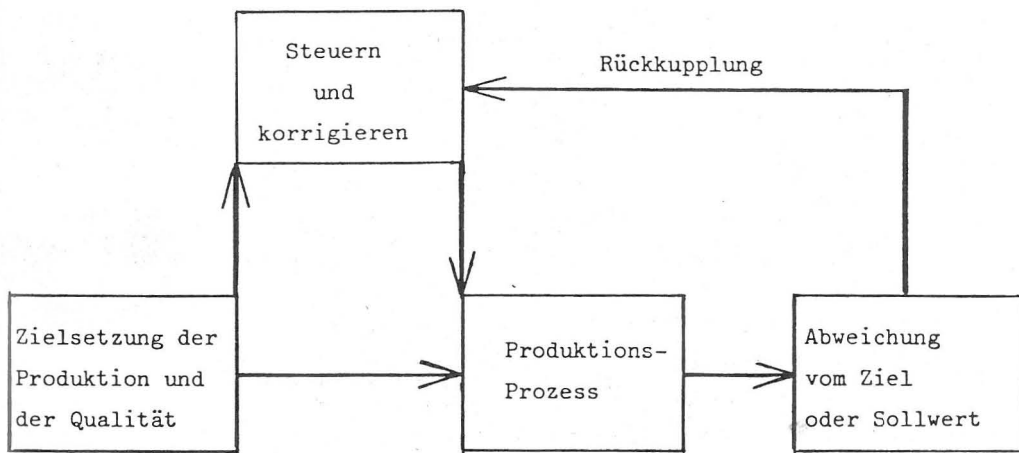


Fig. 1: Modell einer Produktionsprozesssteuerung

Die Produktion wird nach dem Ziel gesteuert und nur dann durch eine kontinuierliche Rückkupplung korrigiert, wenn unzulässige Abweichungen vom Ziel oder Sollwert auftreten sollten. Die Prozess- und Qualitätsüberwachung ist im Block

"Steuern und korrigieren" im Fig. 1 untergebracht. Nachstehend wird das für die Ziegelherstellung näher erörtert.

2. Prozessüberwachung und Qualitätsbeherrschung

Bekanntlich gibt es einen Zusammenhang zwischen Rohstoff-, Prozess- und Produktqualität. Dieser Zusammenhang wird gekennzeichnet durch Faktoren oder Parameter, die zuerst durch eine Prozessanalyse und eine statistische Auswertung der Daten fest zu stellen sind¹. Dabei hat sich herausgestellt, dass die wichtigste Voraussetzung für die Stabilisierung und Steuerung der Ziegelherstellung die Homogenität der Rohstoffzusammensetzung ist^{1,2}.

Als nächster Schritt sollen die unterschiedlichen Produktionsstufen überwacht und gesteuert werden. Dazu müssen zuerst die Prozesseinflussgrößen im Zusammenhang mit der Qualität der Endprodukte festgestellt werden. Diese Analyse wird meistens von Sachverständigen durchgeführt und ist in der Literatur beschrieben worden^{1,2,3}. Es ist klar, dass jede nächste Produktionsstufe nur stabil sein kann unter der Voraussetzung, dass die vorangehende Stufe stabil war und ist.

Nach einer 10-jährigen Erfahrung mit der Auswertung und Analyse der Prozess- und Produktdaten kann bestätigt werden, dass die Qualitätsstreuungen der Endprodukte zum grössten Teil auf die Qualität der dem Ofen angelieferten Waren zurück zu führen sind. Durch die Bestimmung der Abmessungen, der Form und des Aussehens der getrockneten Formlinge, können die Qualitätsmerkmale von der Rohstoff und vom Prozess bis zu dieser Produktionsstufe sehr gut zum Ausdruck gebracht werden. Ausser dieser Rückkopplung, dienen die Qualitätsmerkmale der getrockneten Formlinge auch für die Vorwärtskopplung des Brennprozesses (nächste Produktionsstufe).

2.1. Qualitätsüberwachung der getrockneten Formlinge

Bevor die getrockneten Waren dem Brennprozess zugeführt werden, werden zur Prüfung der Qualität jede Arbeitsschicht 5 Stichproben je 5 Formlinge aus dem Produktionsstrom entnommen.

Das Aussehen der Prüflinge (Beschädigungen, Oberflächestruktur, Besandung, Profilierung, usw.) wird verglichen mit Normmustern. Wenn ein Prüfling schlechter aussieht als das Muster, wird ein Minuszeichen gegeben. Die Anzahl Minuszeichen kann statistisch ausgewertet werden. Zu viel Minuszeichen bedeutet, dass die vorangehenden Prozessvorgänge entregelt sind d.h. es sollen geeignete Massnahmen zum Korrigieren genommen werden.

Weiter werden die Abmessungen der Prüflinge bestimmt und wird geprüft ob die Werte innerhalb der zulässigen Qualitätsforderungen liegen. Die Daten der Längenmessungen werden täglich in einen Computer eingeführt und ausgewertet. Der

Computer speichert die Daten und berechnet sofort den Mittelwert und die Standardabweichung der Länge.

Für die Prozess- und Qualitätsanalyse ist es sehr wichtig, dass der Computer in der Lage ist augenblicklich eine Häufigkeitsverteilung der Länge für jede beliebige Produktionszeitspanne auf zu zeichnen. Wenn das Prozess genau gesteuert und beherrscht wird, entsteht eine schlanke, glockenförmige Verteilung wie von Fig. 2 auf Anlage 1 dargestellt. Das Ergebnis eines ungenaueren Prozesses zeigt Fig. 3. Ein unstabiles Prozess, und eine dementsprechende grosse Qualitätsstreuung, wird von Fig. 4 dargestellt.

Solche Häufigkeitsdiagramme der Länge von getrockneten Formlingen sind ausgezeichnete Merkmale für die Streuung der Massenzusammensetzungen. Im Zusammenhang mit den Ergebnissen der vorangehenden Prüfungen dienen sie zur Beurteilung der Qualität bis die Waren dem Ofen zugeführt werden.

2.2. Das Brennen im Hinblick auf die Qualität

Durch das Brennen wird die Qualitätsstreuung vergrössert. Wenn z.B. die Länge als Qualitätsparameter betrachtet wird und man geht davon aus, dass während des Brennens eine bestimmte Brennschwindung auftritt, so steht im Voraus fest, dass der Mittelwert abnimmt und die Standardabweichung zunimmt. Das wird dadurch zum Ausdruck gebracht, dass die Häufigkeitsverteilung der Länge nach dem Brennen weniger schlank ist als vordem, wie von Fig. 5 auf Anlage 2 dargestellt wird.

Für die keramische Qualität sind die Gefügeeigenschaften der gebrannten Waren sehr wichtig. Dazu soll ein angemessenes Ofenprogramm (Temperatur und Zeit) gefahren und überwacht werden. Selbstverständlich sollten der Ofen und der Besatz den Anforderungen angepasst sein.

Wenn die Prozessqualität des Ofens und die Qualitätsmerkmale der zugeführten getrockneten Formlinge bekannt sind, kann die Qualität der gebrannten Endprodukte vorausgesagt werden unter der Voraussetzung, dass das Ofenprozess durch eine angemessene Regelung beherrscht wird¹.

3. Qualitätsprüfung der Endprodukte

Wenn das Prozess der Ziegelherstellung mit einer einheitlichen Massenzusammensetzung anfängt und weitere Prozessvorgänge durch geeignete Massnahmen und Einrichtungen gesteuert und stabilisiert werden, so werden auch die Endprodukte eine gezielte und konstante Qualität haben. Unter diesen Voraussetzungen kann die eigene Überwachung der Endproduktqualität stark eingeschränkt werden. Darüber hinaus wissen wir, dass es einen Zusammenhang zwischen Qualitätsmerkmale gibt, wenn es sich handelt um Produkte, welche aus einem einheitlichen Roh-

stoff unter gleichen Prozessbedingungen hergestellt sind. So kann es eine gute Korrelation geben zwischen z.B. Länge und

- Wasseraufnahme (Porosität)
- Dichte der Scherbe
- Hallerzahl (Wasseraufnahmegeschwindigkeit)
- Festigkeit.

Diese Interkorrelation wird für 3 unterschiedliche Vollziegelqualitäten eines Ziegelwerkes von Fig. 6 auf Anlage 3 gezeigt.

Nachdem eine Interkorrelation festgestellt worden ist, kann für 4 unterschiedliche - jedoch von einander abhängigen - Eigenschaften ein Nomogramm gemacht werden. Fig. 7 auf Anlage 4 zeigt ein Nomogramm, das übrigens nicht stützt auf die Werte welche in Fig. 6 eingetragen sind. Man braucht nur die Länge der Ziegel zu messen, um zu wissen in welchem Bereich die Wasseraufnahme, die Dichte der Scherbe und der Hallerzahl liegen.

Die erwähnte Korrelation zwischen Qualitätsmerkmale kann zur eigenen Überwachung ausgenutzt werden dadurch, dass dazu nur ein oder zwei wesentliche Merkmale stichprobenmässig festgestellt werden, und zwar die, welche am einfachsten zu bestimmen sind und darüber hinaus für die Anwendung in der Baupraxis wichtig sind, z.B.:

- die Abmessungen, vor allem die Länge der Ziegel und die Streuung
- die visuellen Eigenschaften für Sichtmauerwerk.

Unterschieden im Brennprozess und demzufolge auch in der Produktqualität kommen manchmal zum Ausdruck in unterschiedlichen Farben der Endprodukte, oder anders gesagt, in der visuellen Eigenschaften.

Wie eine angemessene Kontrolle durchgeführt werden kann, wird nachstehend angegeben.

3.1. Überwachung der Abmessungen

Die Abmessungen der Formlinge, welche dem Brennprozess zugeführt werden, sind schon vorher geprüft. Die Massqualität wird durch unterschiedliche Schwindungen während des Brennens schlechter je nachdem das Schwindmass und die Deformation unter Druck im Ofenbesatz grösser werden. Eine quantitative Information kann dadurch erhalten werden, dass pro Arbeitsschicht 5 Stichproben je 5 Ziegel aus dem Produktionsstrom nach dem Brennen entnommen werden. Davon wird die Länge gemessen und werden die Daten täglich in einen Computer eingeführt. Diese Daten werden genau so ausgewertet wie schon vorher im Abschnitt 2.1 besprochen worden ist. Auf Anlage 5 (Fig. 8, 9 und 10) werden für die Zeitspanne einer 5-Tage-Woche Bei-

spiele von 3 unterschiedlichen Häufigkeitsverteilungen der Ziegellänge nach dem Brennen gezeigt.

Wenn das Prozess und die Qualität der Endprodukten entweder unstabil sind oder eine zu grosse Streuung aufweisen, muss sortiert werden. Dann wird eine angemessene Qualitätskontrolle pro Sorte durchgeführt. Es handelt sich dann um eine produktkontrolle und nicht um eine gesammte und bevorzugte Produktionskontrolle.

3.2. Überwachung der visuellen Eigenschaften für Sichtmauerwerk

Ein Teil der visuellen Eigenschaften (Oberflächenstruktur, Besandung, Profilierung, usw.) ist schon vor dem Brennprozess geprüft worden (Abschnitt 2.1). Die Brennfarbe ist für Sichtmauerwerk ein wichtiges Qualitätsmerkmal, das stichprobenmässig gemessen werden kann und sich in der Praxis bewährt hat.

Die Ziegel der Stichproben werden mit einer normierten Reihe von eigenen Ziegelmustern verglichen. Die Reihe besteht aus 25 Ziegel aufeinander folgender Farben z.B. von oranien nach hell und dunkel rot bis violett. Die Musterziegel sind alle aus demselben Rohstoff und im gleichen Brennprozess hergestellt. Die unterschiedlichen Musterziegel werden von 1 bis 25 nummeriert. Jeder Ziegel aus einer Stichprobe wird mit der Musterreihe verglichen und bekommt einen Nummer, der dem normierten Ziegel aus dieser Reihe entspricht. Hieraus entsteht unmittelbar und direkt eine Häufigkeitsverteilung ohne Datenverarbeitung. Der Mittelwert und die Streuung der visuellen Eigenschaften sieht man sofort.

3.3. Prüfung der Endprodukte nach Norm-Bestimmungen

Wenn die laufende Produktion gemäss einer angemessenen Methode überwacht wird und das Prozess wird nach dem Ziel gesteuert, geregelt und stabilisiert, so müssen Endprodukte beherrschter Qualität entstehen. Unter diese Bedingungen ist es nicht nötig die Erzeugnisse ständig nach allen Norm-Bestimmungen prüfen zu lassen. Nur wenn sich aus der eigenen Überwachung herausstellt, dass wegen Rohstoff- oder Prozessänderungen dazu Anlass besteht, ist eine Normprüfung zweckvoll. Die eigene Qualitätskontrolle kann mittels einfacher Methoden durchgeführt werden:

Porosität:

Wasseraufnahme oder Hallerzahl.

Festigkeit:

Spaltfestigkeit statt Druckfestigkeit mit dem Vorteil, dass nur eine relativ kleine Presse erforderlich ist und dass der Prüfling nicht unbedingt vor zu bearbeiten ist. Die Höhe des Prüflings beeinflusst die Druckfestigkeit. Dadurch sind die Werte erst vergleichbar wenn einen Höhekorrekturfaktor eingeführt wird.

Bei der Bestimmung der Spaltfestigkeit tritt dieses Problem nicht auf.

Jeder Ziegel aus einer Stichprobe wird 3 x gespaltet: in der Mitte des Prüflings und in der Mitte der 2 Hälften. Um zu grossen Streuungen und Rechenarbeit zu vermeiden, wird der Medianwert der 3 unterschiedlichen Spaltfestigkeiten eines Ziegels als Massstab genommen.

Ausblühungen:

Die gespalteten Probeziegel werden mit der Bruchfläche nach oben in Behälter gesetzt. Die 4 senkrechten Flächen werden mit Kunststoffolie umhüllt. Es wird in den Behälter Trinkwasser zugelassen, das vom Prüfling aufgesaugt werden kann. Eine konstante Eintauchtiefe von 7 ± 3 mm ist dazu erforderlich. Das Wasser verdunstet nur an der Bruchfläche, wodurch die in Wasser löslichen Stoffe dahin geführt werden. Dieser Prozess soll so lange dauern bis die löslichen Stoffe, meistens Salze, zum grössten Teil abtransportiert sind. Dann wird der Prüfling langsam getrocknet und treten eventuelle Ausblühungen in Erscheinung. Das Mass und die chemische Zusammensetzung der Ausblühungen sind Merkmale, womit die Qualität zum Ausdruck gebracht werden kann.

Sonstige Prüfungen:

Nach Norm-Vorschriften, nur wenn dazu Anlass besteht.

4. Schlussbemerkungen

Nach einer 10-jährigen Erfahrung mit der Prozess- und Qualitätsüberwachung kann bestätigt werden, dass die Methode, wie vorangehend erörtert, sich bestens bewährt hat.

Eine Auswertung der Daten mittels eines Computers ist angemessen, nicht nur wegen der Schnelligkeit, aber viel mehr wegen der Möglichkeit der Analyse und Rückkuppelung der Prozess- und Qualitätsergebnisse. Man braucht dazu einen relativ billigen Computer, der von vielen Ziegelwerken zusammen benutzt werden kann. Die Daten können über Telexverbindung zugeführt werden (Teleprocessing).

Die Beziehungen zwischen den Parametern, mit Korrelationskoeffizienten und von dem Computer gezeichneten Kurven, Häufigkeitsdiagrammen, Verteilungsanalysen, Standardabweichungen, Mittelwerten, Tabellen, usw., geben den Betriebsleuten eine augenblickliche Übersicht. Nur dadurch sind sie in der Lage richtige Entscheidungen zu treffen mit dem Ziel die Qualität der Endprodukte zu beherrschen.

Um ein Qualitätszeugnis zu bekommen, verlangen die Bauordnungen, dass die ordnungsgemässe Herstellung von Baustoffen ständig überwacht und nachgewiesen wird. Die hier erörterte Methode entspricht diesen Anforderungen völlig und ganz. Darüber hinaus stehen die Daten, die für die Qualitätsspezifizierung im Rahmen der holländischen Ziegelnorm verlangt werden, unmittelbar zur Verfügung.

Als ganz bedeutsam ist anzusehen, dass die Ziegelindustrie mit der Anwendung dieser modernen Methode zur Steuerung des Herstellungsprozesses in Verbindung mit einer angemessenen Qualitätskontrolle, den Baudamen und -herren ein Höchstmass an Sicherheit gibt. Eine Sicherheit, wie von der Gesellschaft zur Zeit für jedes Qualitätsprodukt gefordert wird.

ANLAGEN

1. Häufigkeitsverteilung der Länge von getrockneten Formlingen (Figur 2, 3 und 4).
2. Häufigkeitsverteilung der Länge von Waren vor und nach dem Brennen (Figur 5).
3. Korrelation zwischen 4 unterschiedlichen Eigenschaften einer Stichprobe von 60 Vollziegeln (Figur 6).
4. Nomogramm für 4 abhängige Eigenschaften von Vollziegeln (Figur 7).
5. Häufigkeitsverteilung der Ziegellänge nach dem Brennen für die Zeitspanne einer 5-Tage-Woche (Figur 8, 9 und 10).

SCHRIFTTUMSVERZEICHNIS

- ¹ BEKKER, P.C.F., Vortrag zum T.B.E. Kongress in Venedig, October 1972. Veröffentlicht in Industria Italiana Dei Laterini, Nr. 1-1974, Rom.
- ² PELS LEUSDEN, C.O., Mischung und Homogenisierung in der Aufbereitung plastischer keramischer Massen, Ziegelindustrie Nr. 22/23-1967, Bauverlag, Wiesbaden.
- ³ SIRHAL, H., Automatisierung bei der Ziegelherstellung, Ziegelindustrie Nr. 4-1977, Bauverlag, Wiesbaden.

Länge (mm)	Häufigkeitsverteilung der Länge vor dem Brennen	Länge (mm)
210,0	<p>Mittelwert $\bar{x} = 213,6 \text{ mm}$ Standard-Abweichung $s = 0,938 \text{ mm}$</p> <p>* ***** ***** ***** ***** ***** ***** ***** ***** ***** ***** *****</p>	1 210,0
210,5		1 210,5
211,0		7 211,0
211,5		27 211,5
212,0		71 212,0
212,5		186 212,5
213,0		310 213,0
213,5		333 213,5
214,0		288 214,0
214,5		206 214,5
215,0		104 215,0
215,5		41 215,5
216,0	<p>Fig. 2: Genau gesteuert und beherrscht</p>	15 216,0
216,5		5 216,5
207,5	<p>Mittelwert $\bar{x} = 214,5 \text{ mm}$ Standard-Abweichung $s = 1,821 \text{ mm}$</p> <p>* ** ** ** *** ***** ***** ***** ***** ***** ***** *****</p>	1 207,5
208,0		2 208,0
208,5		1 208,5
209,0		7 209,0
209,5		10 209,5
210,0		14 210,0
210,5		16 210,5
211,0		23 211,0
211,5		31 211,5
212,0		54 212,0
212,5		62 212,5
213,0		96 213,0
213,5	<p>Fig. 3: Weniger genau</p>	107 213,5
214,0		140 214,0
214,5		162 214,5
215,0		227 215,0
215,5		173 215,5
216,0		139 216,0
216,5		113 216,5
217,0		52 217,0
217,5		22 217,5
218,0		26 218,0
218,5		12 218,5
219,0		3 219,0
204,0	<p>Mittelwert $\bar{x} = 213,9 \text{ mm}$ Standard-Abweichung $s = 4,314 \text{ mm}$</p> <p>***** ***** ***** ***** ***** ***** ***** ***** ***** ***** ***** *****</p>	1 204,0
204,5		5 204,5
205,0		5 205,0
205,5		3 205,5
206,0		7 206,0
206,5		1 206,5
207,0		6 207,0
207,5		1 207,5
208,0		1 208,0
208,5		208,5
209,0		209,0
209,5		209,5
210,0	<p>Fig. 4: Unstabiles Prozess</p>	210,0
210,5		210,5
211,0		4 211,0
211,5		5 211,5
212,0		5 212,0
212,5		1 212,5
213,0		2 213,0
213,5		1 213,5
214,0		5 214,0
214,5		6 214,5
215,0		12 215,0
215,5		6 215,5
216,0		14 216,0
216,5		4 216,5
217,0		14 217,0
217,5		11 217,5
218,0		11 218,0
218,5		1 218,5
219,0		2 219,0
219,5		219,5
220,0		1 220,0

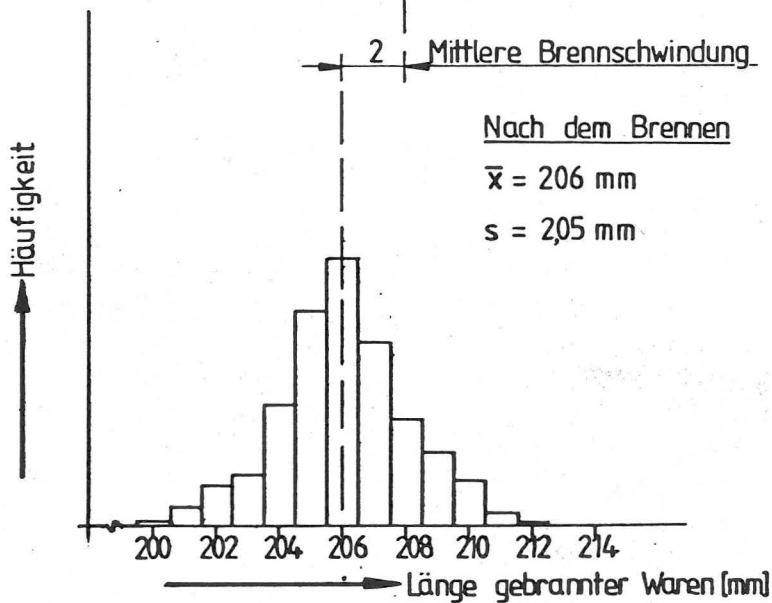
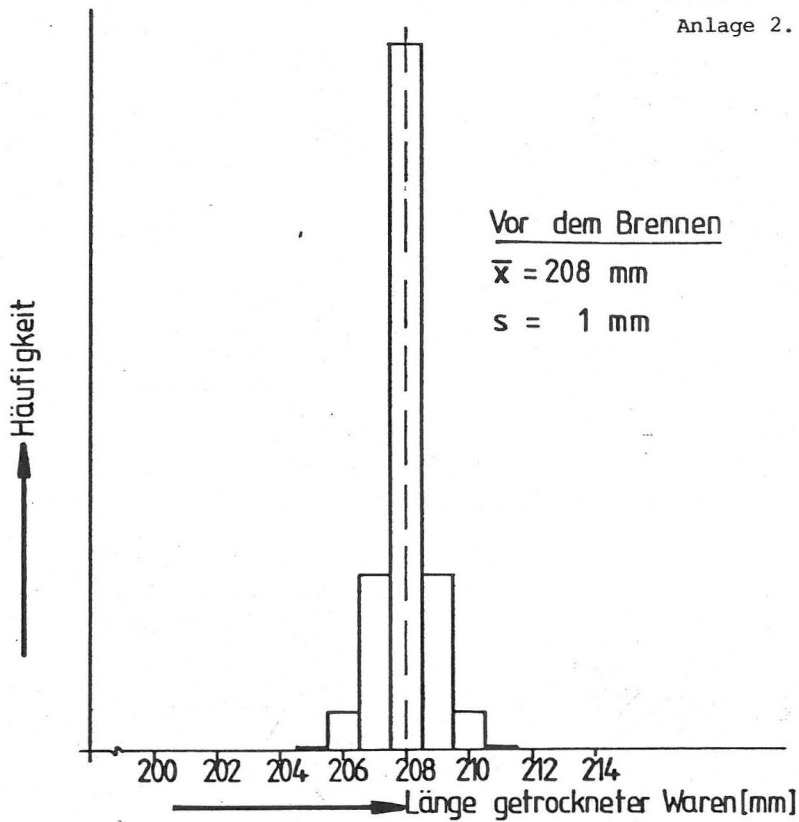


Fig.5: Häufigkeitsverteilung der Länge von Waren vor und nach dem Brennen

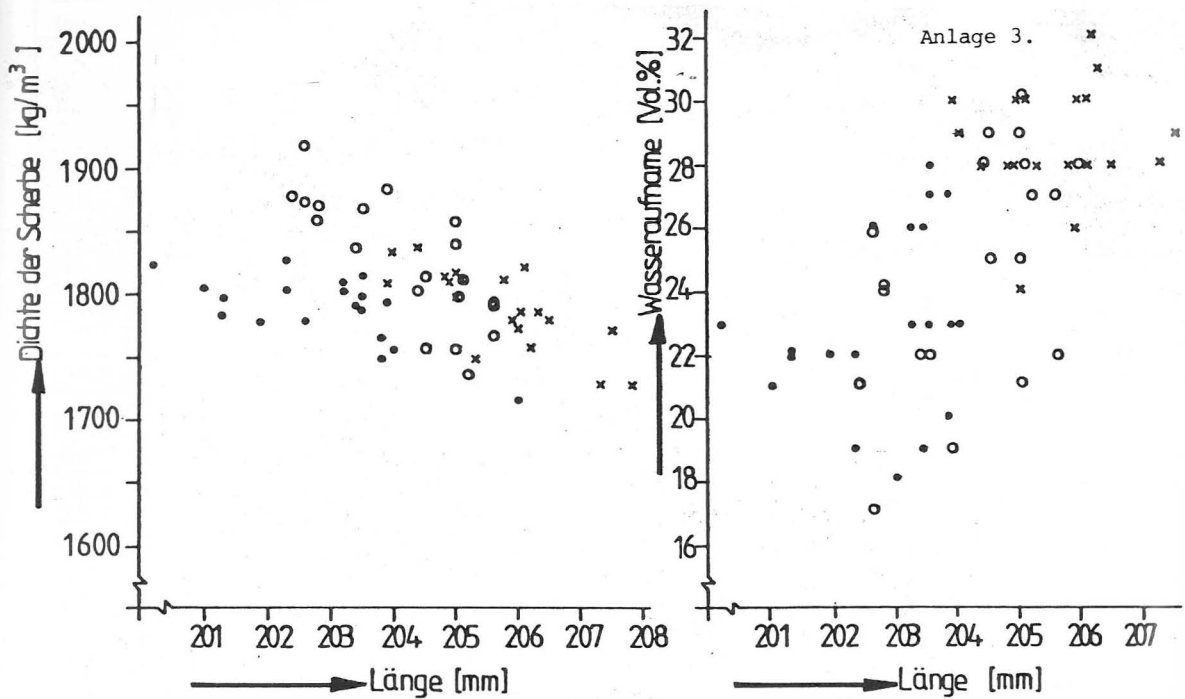
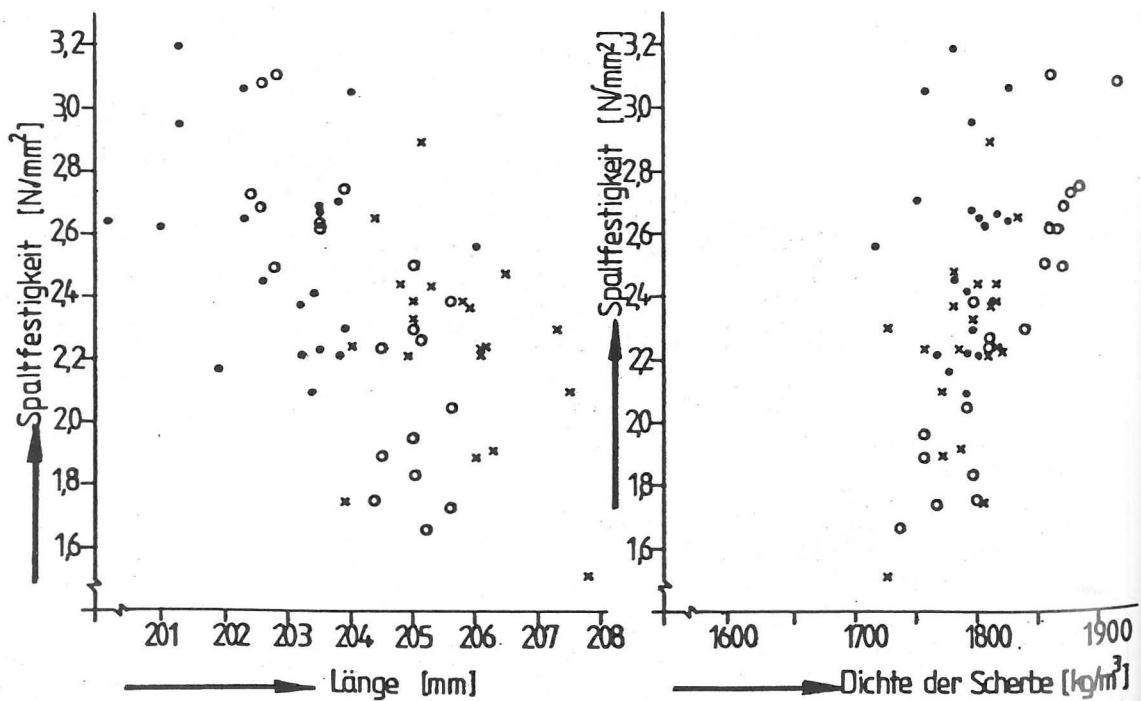


Fig. 6: Korrelation zwischen 4 unterschiedlichen Eigenschaften einer Stichprobe von 60 Vollziegeln

○ Qualität A
● " " B
× " " C



Voraussetzungen :

- Einheitlicher Rohstoff ;
- Hergestellt in der gleichen Produktionsgruppe unter einheitlichen Bedingungen ;
- Auftreten von Brennschwindung ;

Anlage 4.

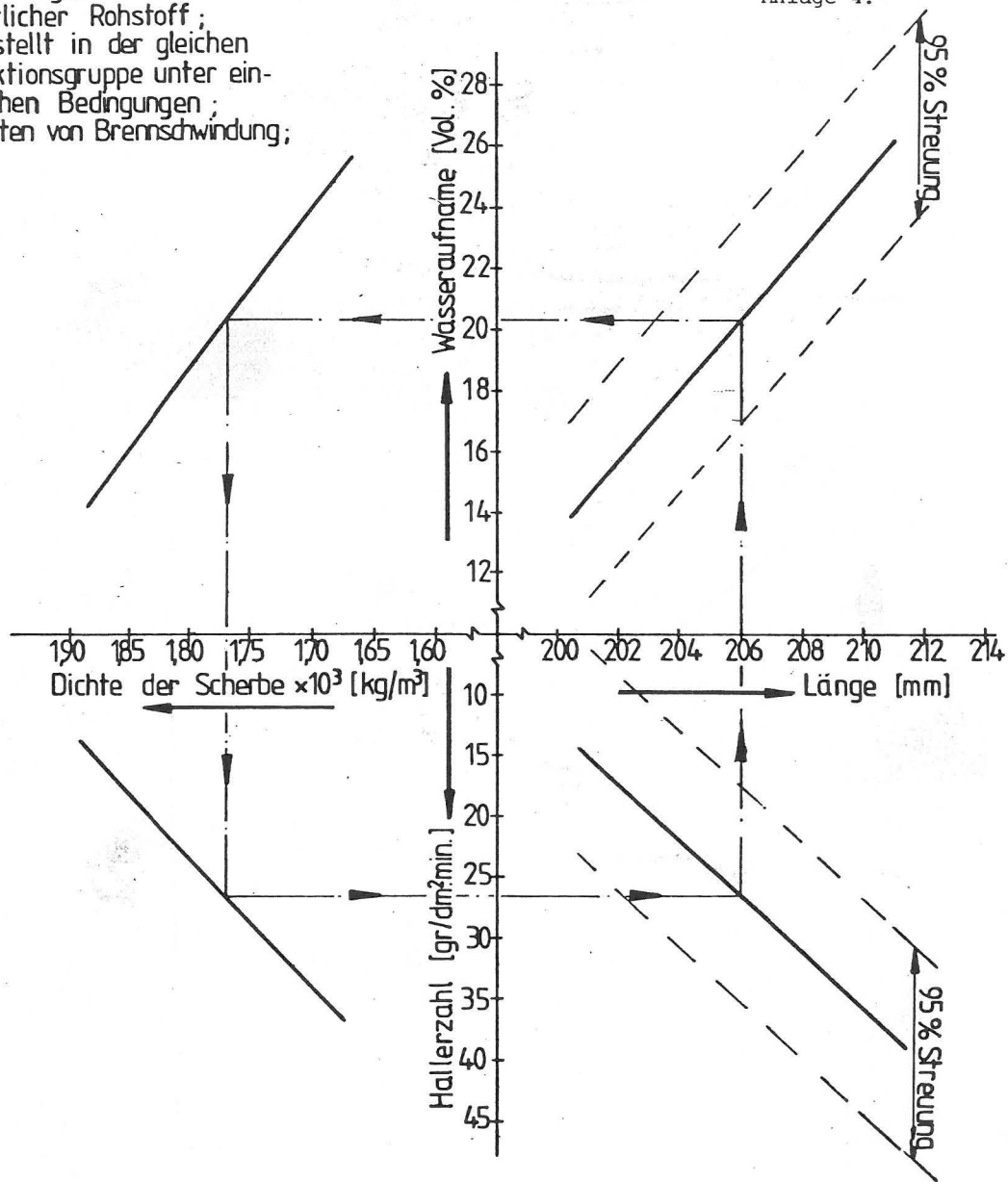


Fig. 7 : Nomogramm für 4 abhängige Eigenschaften von Vollziegeln.

Länge (mm)	Häufigkeitsverteilung der Ziegellänge nach dem Brennen	Länge (mm)
211,0	* Mittelwert $\bar{x} = 214,1$	1 211,0
211,5	Standard-Abweichung $s = 0,950$	4 211,5
212,0		1 212,0
212,5		19 212,5
213,0		15 213,0
213,5		33 213,5
214,0		19 214,0
214,5		20 214,5
215,0		9 215,0
215,5		3 215,5
216,0		1 216,0
216,5		1 216,5
Fig. 8: Genau gesteuert und beherrscht		
201,5	* Mittelwert $\bar{x} = 206,7$	1 201,5
202,0	Standard-Abweichung $s = 1,947$	3 202,0
202,5		2 202,5
203,0		2 203,0
203,5		9 203,5
204,0		6 204,0
204,5		8 204,5
205,0		5 205,0
205,5		10 205,5
206,0		16 206,0
206,5		8 206,5
207,0		11 207,0
207,5		16 207,5
208,0		9 208,0
208,5		11 208,5
209,0		4 209,0
209,5		1 209,5
210,0		2 210,0
210,5		1 210,5
211,0		1 211,0
Fig. 9: Weniger genau, aber noch gut		
229,5	*** Mittelwert $\bar{x} = 236,4$	3 229,5
230,0	Standard-Abweichung $s = 3,436$	3 230,0
230,5		2 230,5
231,0		3 231,0
231,5		4 231,5
232,0		6 232,0
232,5		5 232,5
233,0		3 233,0
233,5		6 233,5
234,0		12 234,0
234,5		5 234,5
235,0		6 235,0
235,5		4 235,5
236,0		5 236,0
236,5		5 236,5
237,0		5 237,0
237,5		8 237,5
238,0		9 238,0
238,5		2 238,5
239,0		3 239,0
239,5		6 239,5
240,0		5 240,0
240,5		4 240,5
241,0		5 241,0
241,5		2 241,5
242,0		4 242,0
242,5		2 242,5
243,0		3 243,0
Fig. 10: Grosse Streuung		