



Werkstofftechnische Optimierung der Packungsdichte von Ziegelmassen zur Verbesserung der Trocknungseigenschaften und der Produktqualität

Kurzfassung zum Schlussbericht IGF-Vorhaben 20623 N

Essen, den 30. September 2021

1 HINTERGRUND

Die Trocknung ist einer der wichtigsten Prozesse bei der Herstellung von Ziegeln. Dabei wird der Ton vom plastisch formbaren Zustand in den festen Zustand überführt. Dieser Vorgang ist mit der Entfernung des Wassers verbunden, das für die plastische Formgebung notwendig war (Pressfeuchte), und benötigt wegen der hohen Verdampfungsenthalpie von Wasser eine große Menge an Energie. Die Entfernung des Wassers ist außerdem mit einer Volumenschwindung verbunden, die sich je nach Ausmaß negativ auf die Produktqualität auswirken kann.

2 ZIELSETZUNG

In dem Forschungsvorhaben soll durch den Einsatz mineralischer Additive gezielt die Packungsdichte von Ziegelmassen erhöht werden, da der Rohling bei der Extrusion je nach Masse ca. 45 Vol-% Wasser enthält. Eine Reduktion der Pressfeuchte könnte somit große Mengen an Energie und Zeit einsparen, da weniger Wasser verdampft werden muss. Außerdem würde die Gefahr von Trockenrissen abnehmen, da die Schwindung minimiert wird.

3 DURCHFÜHRUNG

Zur Erreichung des Ziels wurden vier mineralische Additive (ein grober, quarzreicher Brechsand – Additiv 1, drei feine Filterstäube – Additiv 2 bis 4) ausgewählt, die mit sechs Ziegelmassen (zwei Hochlochziegel – HLZ 1 und 2, ein Pflasterklinker – PK, ein Vormauerziegel – VMZ, zwei Dachziegel – DZ 1 und 2) kombiniert wurden. Um die Festigkeit der getrockneten und gebrannten Produkte nicht zu verschlechtern, wurde der maximale Additivgehalt auf 30 Ma-% festgelegt. Da sich die Filterstäube kaum von der Korngrößenverteilung der Ziegelmassen unterschieden, wurden 10 % eines jeden Filterstaubs mit 20 % des deutlich größeren Brechsands kombiniert. Die Bezeichnung HLZ 1 12 steht für die Hochlochziegelmasse 1 mit Additiv 1 (20 %) und Additiv 2 (10 %). Die anderen Bezeichnungen sind analog dazu, d.h. die 20 % Brechsand blieben konstant und wurden mit je 10 % der Filterstäube gemischt. Eine Ausnahme bildet die Masse PK, die mit 30 % Additiv 1 und 30 % Additiv 4 gemischt wurde. Es wurden Probekörper extrudiert und an diesen die Pressfeuchte, die Trocken- und Brennschwindung und die Zugfestigkeit der feuchten sowie die Biegefestigkeit der getrockneten und gebrannten Massen bestimmt. Weiterhin wurden die trocknungstechnischen Parameter Feuchteleitfähigkeit und Wasserdampfdiffusionswiderstandszahl gemessen und anschließend die Trocknung simuliert.

4 ERGEBNISSE

Durch Zugabe der Additive konnte die Pressfeuchte teils erheblich gegenüber der Grundmasse reduziert werden (siehe Tab. 1). Gleichzeitig reduzierte sich auch die Trockenschwindung. Die Packungsdichte der modifizierten Massen war nach der Trocknung bei den meisten Massen erhöht. Allerdings gibt es auch Ausnahmen. Bei der Masse DZ 2 änderte sich die Pressfeuchte nur minimal und auch Trockenschwindung und Packungsdichte blieben weitgehend unverändert. Die spezielle Mischung PK 1 hatte eine geringere Pressfeuchte als die Grundmasse, wohingegen sie bei der Mischung PK 4 höher war. Hier zeigt sich die Auswirkung der unterschiedlichen Korngrößen der Additive, da der grobe Brechsand die Packungsdichte effizienter erhöht als der feine Filterstaub. Die Brennschwindung der modifizierten Massen war geringer

als die der Grundmasse, was hauptsächlich an dem wenig sinteraktiven Brechsand lag. Die Masse PK 4, die nur den feinen Filterstaub enthielt, hatte hingegen eine deutlich höhere Brennschwindung. Durch die geringere Brennschwindung war die Packungsdichte der gebrannten Grundmassen höher als die der modifizierten Massen. Hier wurde deutlich, dass die Packungsdichte der feuchten und trockenen Massen mit dem Brechsand zwar effizient erhöht werden konnte, dessen fehlende Sinteraktivität letztendlich aber zu einer schlechten Verdichtung des gebrannten Produkts führt.

Tab. 1: Pressfeuchte, Trockenschwindung (TS), Brennschwindung (BS), Packungsdichte trocken (PD tro.) und Packungsdichte gebrannt (PD gebr.) der Grundmassen und der modifizierten Ziegelmassen

Mischung	Feuchte in %	TS in %	PD tro. in %	BS in %	PD gebr. in %
HLZ 1	22,9	7,6	74,8	-0,4	62,8
HLZ 1 12	26,3	5,3	73,2	-0,1	66,8
HLZ 1 13	17,9	5,5	77,2	-0,3	66,4
HLZ 1 14	17,7	5,2	78,0	-0,1	66,7
HLZ 2	21,0	6,8	74,5	0,5	62,6
HLZ 2 12	18,6	5,9	76,7	0,1	67,3
HLZ 2 13	16,9	5,7	76,2	0,2	67,6
HLZ 2 14	17,8	6,0	75,9	0,3	66,9
PK	18,1	4,7	72,3	6,5	93,3
PK 1	17,5	4,9	76,8	5,1	89,1
PK 4	19,8	5,3	74,7	7,1	96,2
VMZ	18,9	5,9	75,5	2,9	82,1
VMZ 12	17,2	5,6	77,9	2,6	81,9
VMZ 13	15,7	4,9	78,5	2,4	82,9
VMZ 14	15,8	5,0	79,3	2,9	84,1
DZ 1	23,1	6,4	77	4,6	87,1
DZ 1 12	17,2	5,7	79,7	3,3	84,3
DZ 1 13	17,4	5,5	77,6	3,4	83,3
DZ 1 14	16,4	5,0	76,7	3,8	85,2
DZ 2	18,6	6,6	75,6	2,7	78,5
DZ 2 12	17,8	6,3	75,4	2,3	77,5
DZ 2 13	17,2	6,2	75,9	2,0	76,2
DZ 2 14	18,7	6,4	75,6	2,1	77,7

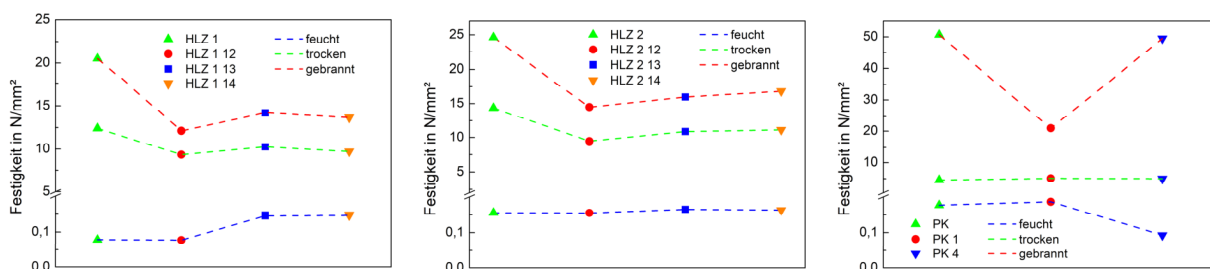
Die Feuchteleitfähigkeit der modifizierten Massen war überwiegend höher als die der Grundmasse, wohingegen die Wasserdampfdiffusionswiderstandszahl unverändert blieb. Die niedrige Pressfeuchte in

Verbindung mit der hohen Feuchteleitfähigkeit führte zu einer starken Verringerung des Trocknungsenergiebedarfs, da entsprechend weniger Wasser verdampft werden muss (siehe Tab. 2). Dies führt auch zu einer Beschleunigung der Trocknung. Die Reduktion der Pressfeuchte wirkt sich also äußerst positiv auf den Trocknungsenergiebedarf und die Trockenzeit aus. Bei der Masse DZ 1 konnten Energiebedarf und Trockenzeit um fast 30 % gesenkt werden durch die Additive.

Tab. 2: Feuchteleitfähigkeit (FL), Wasserdampfdiffusionswiderstandszahl μ und berechneter Trocknungsenergiebedarf

Mischung	FL	μ	Energiebedarf in kJ/kg Ton	Mischung	FL	μ	Energiebedarf in kJ/kg Ton
HLZ 1	71,9	16,0	696,5	VMZ	125,4	25,6	707,0
HLZ 1 12	131,9	15,6	802,5	VMZ 12	135,3	27,8	650,3
HLZ 1 13	187,7	20,3	544,9	VMZ 13	165,9	30,2	591,9
HLZ 1 14	92,5	19,6	540,0	VMZ 14	175,5	33,4	595,0
HLZ 2	62,9	18,0	639,0	DZ 1	121,1	30,8	704,3
HLZ 2 12	124,5	18,9	566,9	DZ 1 12	81,3	31,8	525,6
HLZ 2 13	103,3	16,8	514,8	DZ 1 13	128,1	21,3	530,4
HLZ 2 14	58,8	18,0	543,1	DZ 1 14	133,7	25,5	499,5
PK	121,2	57,3	737,4	DZ 2	68,6	14,7	566,6
PK 1	150,9	41,3	678,8	DZ 2 12	141,0	17,6	542,4
PK 4	137,1	31,4	760,3	DZ 2 13	123,9	16	524,3
				DZ 2 14	166,2	16,5	569,8

Die Zugfestigkeit der feuchten modifizierten Massen ist leicht gegenüber der Grundmasse erhöht (siehe Abb. 1). Auch war deren Presskopfdruck leicht erhöht. Dies liegt zum einen am geringeren Wassergehalt, zum anderen scheint aber auch der grobe Brechsand die Gleitfähigkeit der Tonmineralpartikel etwas zu behindern. Die Trockenbiegefestigkeit der modifizierten Massen ist bei allen Tönen niedriger als die der Grundmasse. Bei den Grundmassen mit besonders hoher Biegefestigkeit ist der Abfall etwas stärker ausgeprägt. Lediglich bei der Masse PK ist kein negativer Effekt der Additive zu erkennen. Allerdings weist diese Masse auch die niedrigste Biegefestigkeit auf. Die Verringerung der Biegefestigkeit ist letztendlich auf die Verminderung des Tonmineralanteils zurückzuführen, da die Tonminerale über elektrostatische Wechselwirkungen für den Zusammenhalt des Rohlings sorgen.



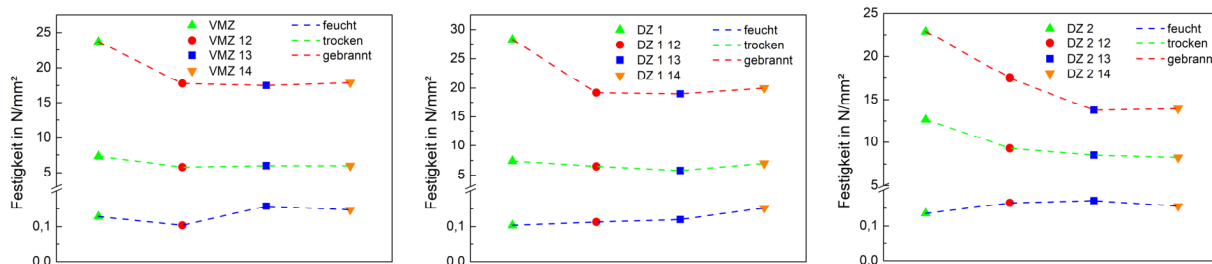


Abb. 1: Zugfestigkeit der feuchten Massen und Biegefestigkeit der getrockneten und gebrannten Massen

Die Biegefestigkeit der gebrannten, modifizierten Massen ist deutlich geringer als die der Grundmassen. Hier zeigt sich die fehlende Sinteraktivität der Additive, die zu einer schlechten Verdichtung führt. Allerdings muss berücksichtigt werden, dass 20 % des Brechsands und nur 10 % des Filterstaubs hinzugegeben wurden und der Brechsand aufgrund seines hohen Quarzgehalts eine niedrigere Sinteraktivität besitzt als die Filterstäube, die hohe Anteile an Schichtsilikaten und Feldspäten aufweisen. Diese enthalten deutlich mehr Flussmittel (Alkalien und Erdalkalien), die die Bildung einer festigkeitserhöhenden Schmelzphase bewirken. Diesen Unterschied sieht man sehr deutlich bei der Masse PK. Die Mischung mit 30 % des flussmittelarmen Brechsands hat eine extrem niedrige Biegefestigkeit, wohingegen die Mischung mit 30 % des flussmittelreichen Additiv 4 eine genauso hohe Festigkeit wie die Grundmasse hat. Allerdings spielt hier auch die Brenntemperatur eine Rolle, da sich umso mehr Schmelzphase bildet je höher die Brenntemperatur ist.

Die Masse PK demonstriert über das gesamte Vorhaben gesehen sehr schön die entscheidenden Punkte dieses Forschungsvorhabens:

1. Durch die Zugabe des groben Brechsands konnte die Pressfeuchte reduziert werden, wohingegen die Zugabe vom feinen Filterstaub diese sogar noch erhöhte. Es zeigt sich also, dass der Einsatz grober Additive die Packungsdichte am effizientesten erhöht.
2. Die fehlende Sinteraktivität des Brechsands führt allerdings zu einer schlechteren Verdichtung verglichen mit dem Filterstaub.

Die Additive sollten also folgende Eigenschaften aufweisen:

1. Der Quarzgehalt sollte möglichst niedrig sein, da Quarz die Sinteraktivität reduziert. Stattdessen sollte der Gehalt an Schichtsilikaten und niedrighschmelzenden Mineralen hoch sein.
2. Die ideale KGV eines Additivs zur Erhöhung der Packungsdichte sollte recht eng sein mit einem D₅₀ im Bereich von ca. 300 µm. Deutlich feinere Additive sind weniger effizient zur Erhöhung der Packungsdichte, da sich die KGV von Ton und Additiv immer mehr überschneiden. Deutlich gröbere Additive führen zu einer sandartigen Masse und die Sinteraktivität nimmt ab.

Es handelt sich um ein Forschungsprojekt der Forschungsgemeinschaft der Ziegelindustrie e.V. (FGZ). Es wurde vom Institut für Ziegelforschung Essen e.V. (IZF) unter der Projektleitung von Alexander Winkel durchgeführt.

Das IGF-Vorhaben 20623 N der Forschungsvereinigung Ziegelindustrie wurde über die AiF im Rahmen des Programms zur Förderung der Industriellen Gemeinschaftsforschung (IGF) vom Bundesministerium für Wirtschaft und Energie aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages gefördert.