

Optimization of roofing tile models

Optimierung von Dachziegelmodellen

The options available to Frank Banke GmbH for reworking and optimizing roofing tile models were described in [1]. From the digital scanning of existing models, through basic revision in CAD, and on to the direct, high-precision implementation of new master models and new moulds, Banke does it all. The present contribution describes the basic aims of reworking for existing tiles and the various means of design-phase verification. The described methods and expedients were presented at the 2009 Würzburg Brick and Tile Training Course.

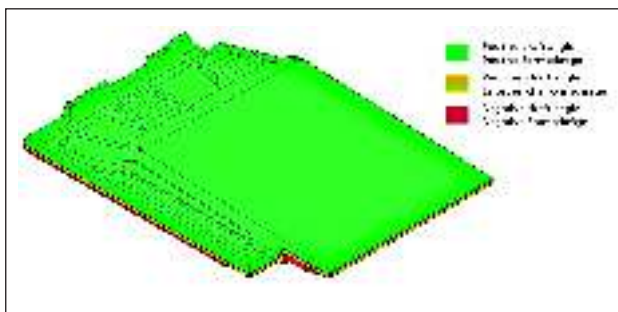
In [1] wird beschrieben, mit welchen Möglichkeiten die Franz Banke GmbH bestehende Dachziegelmodelle überarbeiten und optimieren kann. Ausgehend vom digitalen Scannen vorhandener Ziegelmodelle, über die grundsätzliche Überarbeitung im CAD bis hin zur direkten und präzisen Umsetzung in neue Muttermodelle und die Presswerkzeuge kann alles im Hause Banke durchgeführt werden. Dieser Beitrag stellt die grundsätzliche Zielrichtung der Überarbeitung eines bestehenden Ziegels und die Verifiziermöglichkeiten, bereits in der Konstruktionsphase, dar. Die hier beschriebenen Methoden und Möglichkeiten wurden auf dem Würzburger Ziegellehrgang 2009 präsentiert.

1 Why do existing models need reworking?

When a new roofing tile model is being developed, it goes without saying that there are certain aspects to be considered. A sophisticated, attractive design is very important, of course. The on-roof optical effect can be just as decisive as the "tactile" effect of a hand-held model. To meet the requirements of current standards regarding resistance to wind and water penetration, the roofing tile must have neat and distinct, durable interlocks and overlaps. It must install well, perhaps be compatible with existing prior-model tiles, and have the necessary head and side play. Appropriate storm-safety systems can be accounted for from the very start and incorporated into the design of the tile. Naturally, the tile's design must be conducive to pressing and production. New models can be designed either for optimal support on existing drying frames or cranks or optimized for upright firing. If the design of the frames or cranks is also intended to be worked over, the respective business partners can be involved to find optimal solutions for a new model. Good draft angles ensure equally good demouldability after pressing. Uniform cross-sectional areas and avoidance of material accumulations enable uniform, crack-free drying.

1 Warum werden bestehende Modelle überarbeitet?

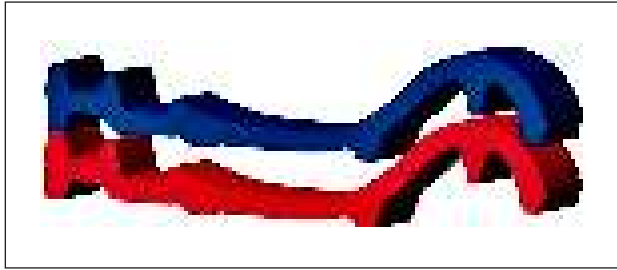
Bei der Neuentwicklung eines Ziegelmodells werden bestimmte Aspekte von Haus aus berücksichtigt. Ein ausgefeiltes und optisch ansprechendes Design spielt natürlich eine wesentliche Rolle. Die optische Wirkung auf dem Dach kann dabei genauso entscheidend sein wie die „tastende“ Wirkung eines Modells in der Hand. Der Ziegel muss eine ausgeprägte, sauber bleibende Verfalzung und Überdeckung erhalten, um den Anforderungen der aktuellen Normen hinsichtlich Windsicherheit und Regeneintragssicherheit zu entsprechen. Er muss gut eindeckbar, eventuell mit vorhandenen Vorgängermodellen verdeckbar sein und auch das notwendige Kopf- und Seitenspiel gewähren. Entsprechende Sturmsicherungssysteme können ebenfalls von Beginn an berücksichtigt und im Ziegel eingebaut werden. Natürlich muss der Ziegel press- und produzierbar sein. Man kann ein neues Modell so auslegen, dass es auf den vorhandenen Trockenrahmen oder Brennkassetten optimal unterstützt wird oder auch für den stehenden Brand optimiert wird. Falls auch die Rahmen- oder Kassettenkonstruktion neu gestaltet werden, können zusammen mit den entsprechenden Partnern optimale Lösungen für ein neues Modell entwickelt werden. Durch saubere Entformschrägen wird eine gute Entformbarkeit während des Pressvorgangs gewährleistet. Gleichmäßige Querschnitte und das Vermeiden von Materialanhäufungen ermöglichen einen gleichmäßigen und rissfreien Trockenvorgang.



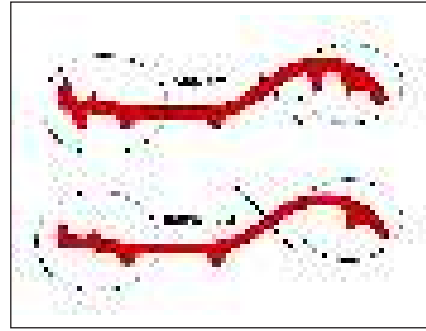
»1 Newly developed roofing tile model with CAD check of draft angles
»1 neuentwickeltes Ziegelmodell mit einer CAD Überprüfung der Entformschrägen

Eine gute Stapelbarkeit und eine saubere Arretierung ermöglichen eine geringe Stapelhöhe und verringern Transportschäden. Der schönste und beste Ziegel ist nichts wert, wenn er beschädigt auf der Baustelle ankommt.

Gerade im Hinblick auf diese Punkte können auch bestehende und schon lange auf dem Markt eingeführte Modelle durchleuchtet und überarbeitet werden. Ein Ziel der Überarbeitung kann z. B. ein größerer Verschieberegion sein, um gerade im Sanierungsbereich größere Flexibilität zu haben.



»2 CAD representation of cross section and stacking
 »2 Schnitt- und Stapeldarstellung im CAD



»3 Cross section of roofing tile – before and after reworking
 »3 Ziegel im Querschnitt – Vor- und Nach der Überarbeitung

Stackability and neat, accurate interlocks enable low stacking heights and reduce in-transit damage. The otherwise best, most attractive roofing tile is worth nothing, if it arrives at the site damaged.

Existing models that may have been on the market for quite some time already can be shaken down and reworked, or re-engineered, with regard to all these aspects. One typical re-engineering objective would be to increase the tile's adjusting range to achieve better flexibility for renovation projects. Likewise, storm safety systems can be integrated or weak points in water conduction improved. Major motivation for re-engineering existing models is to reduce the cost of production and handling. The less raw material that is needed per tile, the less material that has to be procured, and the less energy that has to be consumed. Purposeful optimization of known weak points can prevent cracking and, hence, reduce the percentage of rejects. Lower stacking heights mean that more tiles can be stacked on the pallets. That has directly beneficial effects on the cost of handling, which can be quite substantial. Increasing the stability of the interlocks can also help prevent in-transit damage.

2 Which reworking options are available?

Being able to work on a three-dimensional data model of an existing tile is extremely helpful. The tile's coverage behaviour can be investigated in detail on a modern 3D-CAD system. All kinds of cross sections can be analysed and the working quality of the drying supports or cranks can be very plainly visualized. In lieu of a 3D-CAD model of the tile, existing master models or even fired tiles can be scanned and processed to obtain a three-dimensional model. Frank Banke GmbH uses an optical digitalizing system to very precisely capture all of the tile's structures, ribs and radii.

The reworking of a three-dimensional data model can include uniformization of body thicknesses and preclusion of material accumulation. The clay body can be thinned out in general and its flow properties improved for pressing. Even the props and supports for frames and cranks can be optimized. And these are just a few examples.

Taking a typical, extant model as a case in point, let us explore the available reworking options. In »3, the cross section of a reworked model is shown before and after optimization. On this model, Franz Banke GmbH

- › equalized the body thickness
- › made the body generally thinner
- › eliminated existing accumulations of material
- › revised and reduced the stacking points and heights

Together, these measures reduced the weight of the tiles by 11% and the weight of the clot by 12% while increasing the

Des Weiteren können Sturmsicherungssysteme integriert oder Schwachstellen in der Wasserführung verbessert werden. Eine wesentliche Motivation bei der Überarbeitung bestehender Modelle ist die Reduzierung von Herstellungs- und Transportkosten. Durch geringeren Rohmaterialbedarf pro Ziegel werden Materialkosten eingespart und der Energieverbrauch reduziert. Mit der gezielten Optimierung von bekannten Schwachstellen können Risse vermieden und somit der Ausschussanteil verringert werden. Bei geringeren Stapelhöhen können mehr Ziegel auf der Palette gestapelt werden, was sich direkt auf die nicht unerheblichen Transportkosten auswirkt. Durch stabilere Arretierungen können Beschädigungen während des Transportes vermieden werden.

2 Welche Möglichkeiten der Überarbeitung gibt es?

Äußerst hilfreich ist es, mit einem dreidimensionalen Datenmodell von bestehenden Ziegeln zu arbeiten. Auf modernen 3-D-CAD-Systemen kann das Eindeckverhalten der Ziegel untereinander detailliert untersucht werden. Der Ziegel kann in allen möglichen Querschnitten analysiert und die Unterstützung auf den Trockengutträgern oder Brennkassetten sehr gut sichtbar gemacht werden. Falls kein 3-D-CAD-Modell des Ziegels verfügbar ist, können vorhandene Muttermodelle oder auch gebrannte Ziegel gescannt und als dreidimensionales Modell aufbereitet werden. Die Franz Banke GmbH verwendet dazu eine optische Digitalisieranlage, mit der alle vorhandenen Strukturen, Rippen und Radien auf einem Ziegel sehr präzise erfasst werden.

Bei der Überarbeitung des dreidimensionalen Datenmodells können die Scherbenstärke gleichmäßig und Materialanhäufungen vermieden werden. Der Tonscherben kann generell ausgedünnt und die Fließeigenschaften während des Pressvorgangs können verbessert werden. Auch Unterstützungen und Auflagen für Rahmen und Kassette können so optimiert werden, um nur einige Möglichkeiten exemplarisch aufzuzeigen.

Anhand eines praktischen Beispiels sollen die Möglichkeiten bei einer Überarbeitung eines bestehenden Modells verdeutlicht werden. In »3 sieht man den Querschnitt eines überarbeiteten Modells vor und nach der Optimierung. Von der Franz Banke GmbH wurden an diesem Modell

- › die Scherbenstärke gleichmäßig
- › der Scherben generell dünner gestaltet
- › vorhandene Materialanhäufungen herausgearbeitet
- › die Stapelpunkte und -höhen überarbeitet und verringert

Somit konnten mit den aufgeführten Maßnahmen das Ziegelgewicht um 11% und das Gewicht des verwendeten Tonbatzens um 12% verringert werden sowie die Anzahl der

number of tiles per pallet by 14%. In absolute terms, this means that:

- › the clot became lighter by approx. 0.8 kg (which adds up to some 800 t less raw material required for producing 1 million tiles a year)
- › the weight of the fired tile was reduced by approx. 0.6 kg, and
- › 256 tiles can now be stacked on a pallet, as opposed to the original 224 tiles

Of course, the reduced weight and optimized stacking also have direct impacts on the cost of transportation and handling, which can normally be quite considerable.

The above shortlist merely exemplifies the plethora of possibilities that always have to be investigated and established for each individual case. It is of essential importance that past experience with the respective raw material and other relevant knowledge and know-how be factored into the optimization! Existing know-how and production experience are indispensable and could never be fully replaced by a CAD process or other simulative approach. Only good interplay between local, empirical knowledge and the CAD potential can yield satisfactory, even optimal, results.

3 The optimized model: Can "testing" for (ultimate) strength and weak points be done at the development stage?

Despite the many imponderables of clay as a natural material, weak points of existing models can be detected and systematically eliminated at the design stage by way of the finite element method (FEM). FEM is a numerical technique for simulating and calculating the distribution of forces and loads across a given geometry or component subject to defined loads. In mechanical and architectural engineering, for example, the method is frequently employed for calculating and verifying static loads.

The 3D model of a roof tile is simulated to be carrying certain loads at its typical load and support points, and the resultant points of peak load and/or deformation in the tile are calculated, illustrated and identified as weak points. Different geometries can also be compared in terms of loadability. Based on the results of simulation, the identified weak points can then be systematically altered and reinforced. It is important to note that no absolute load values are supposed to be derived from the simulation or the finite element model, since the actual behaviour and the actual ultimate strength of a product are subject to numerous factors of influence specific to clay as a natural material (composition, particle size, manner of preparation, ...). It is, however, both possible and admissible to look for weak points and to compare different models (presuming identical material properties). A flat tile designed and developed by Franz Banke GmbH as a pure study object is depicted in the following illustration as a plain loading model (»4). This kind of tile can be used to cover an entire roof with no steps or ridges, because each tile overlaps the next tile in the row or pattern with no steps or ridges. To be sure, Franz Banke GmbH does not intend to compete with its own customers and will therefore not be producing or selling this roof tile. Within the framework of the studies, some initial clay patterns were pressed to demonstrate the model's feasibility for production. The tile is used to cover a model roof for inspection purposes.

Ziegel pro Palette um 14 % erhöht werden. In absoluten Zahlen bedeutet das:

- › der Batzen wurde um ca. 0,8 kg leichter (bei 1 Mio. produzierten Ziegeln im Jahr summiert sich dies auf eine Rohmaterial einsparung von 800 t)
- › das Gewicht des gebrannten Ziegels wurde um ca. 0,6kg reduziert
- › anstatt der ursprünglich 224 Ziegeln werden jetzt 256 Ziegel auf einer Palette gestapelt

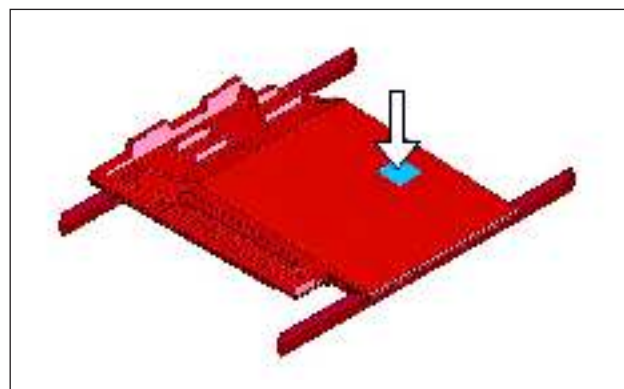
Die Gewichtsersparnis und Optimierung der Stapelung wirkt sich natürlich direkt auf die nicht unerheblichen Transportkosten aus.

Dies sind nur einige Möglichkeiten, die immer individuell für jedes Modell geprüft und erarbeitet werden müssen. Unabdingbar wichtig ist, dass die Erfahrungen mit dem jeweiligen Rohstoff und die vorhandenen Erkenntnisse in die Optimierung einfließen müssen! Das vorhandene Wissen, die vorhandenen Erfahrungen aus der Produktion sind wesentlich und können niemals in ihrer Gesamtheit im CAD oder einem anderen Simulationsverfahren komplett abgedeckt werden. Das Zusammenspiel zwischen dem empirischen Wissen vor Ort und den Möglichkeiten im CAD bringen erst optimale und zufriedenstellende Ergebnisse.

3 Das optimierte Modell: Kann dieses schon im Entwicklungsstadium auf (Bruch-) Festigkeit und Schwachstellen überprüft werden?

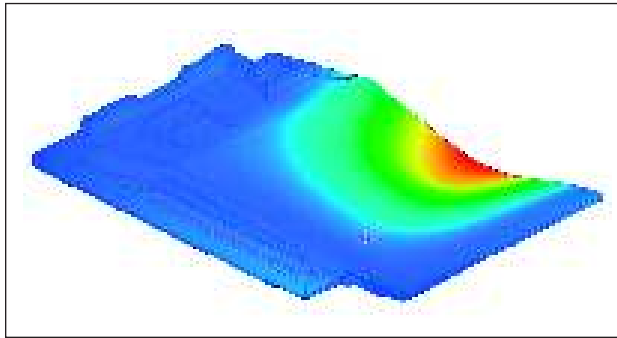
Trotz aller Unwägbarkeiten mit dem natürlichen Material Ton kann man mit der Finiten Elemente Methode (FEM) Schwachstellen an vorhandenen Modellen bereits im Konstruktionsstadium ermitteln und gezielt überarbeiten. Die FEM ist ein numerisches Simulationsverfahren, bei dem Kraft- und Lastverteilungen in einer Geometrie oder einem Bauteil bei vorgegebenen Belastungen simuliert und berechnet werden. Das Verfahren wird häufig im Maschinenbau oder auch im Bauwesen bei der Berechnung und Überprüfung von statischen Belastungen angewandt.

Das 3-D-Modell eines Ziegels wird in der Simulation mit einer entsprechenden Belastung an den typischen Belastungs- und Auflagepunkten hinterlegt, und als Ergebnis werden Kraft- oder Verformungsspitzen im Ziegel aufgezeigt. Diese werden als Schwachstellen identifiziert. Auch verschiedene Geometrien können miteinander auf die entsprechende Belastbarkeit hin verglichen werden. Die identifizierten Schwachstellen können mit den Simulationsergeb-



»4 Loading model for finite element simulation

»4 Belastungsmodell für die Finite Element Simulation



»5 FEM analysis of initial model

»5 FEM-Analyse des Ausgangsmodells

The simulation unequivocally identifies the tile's weak point. The illustration shown in »5 has been purposely exaggerated and distorted. Working from an FEM simulation, the weak point can be strategically reinforced, one option being to add some ribbing to the vacant area on the back of the tile. This would reduce the simulated peak force by about 10% while still shaving roughly 50 g off the weight of each tile.

As for any simulation or physical model computation, it is imperative to verify the findings in actual practice. As already mentioned, the absolute values (in this case, the max. breaking force) can only be determined by way of practical experimentation.

4 Conclusion

The reworking of existing roofing models can be worthwhile for a number of reasons: optimization of the tiles' technical parameters, elimination of inaccuracies that have "crept into" the models in the course of their product lifecycle, weight optimization, etc. As functions of the specific model and its potential, all these measures have beneficial effects on the quality of the roofing tile, and as a rule, on the costs involved. Each model, however, must be considered individually, and there is no such thing as a global recipe or general procedure for such design revisions. Results obtained for one kind of tile cannot simply be transferred 1:1 to some other model. All the know-how and accumulated experience that have been invested in a roofing tile model over the years must not be disregarded. Modern simulative methods such as the finite element method can, if properly employed, yield important design-stage insights for optimal incorporation into a new or revised roofing tile model. Armed with these various measuring, design and production options, Franz Banke GmbH is partner to the brick and tile industry for reworking the design of existing roofing tile models and for developing new models.

References/Literatur

[1] Oberpichler, K.: Optimierungsmöglichkeiten für bestehende Dachziegelmodelle. Zi Ziegelindustrie International 5 (2009), S. 34–37

Franz Banke GmbH

Am Sandberg 30 | 84424 Isen | Germany
T +49 (0) 8 08 35 39 60 | F +49 (0) 80 83 53 96 29
info@banke-gmbh.de | www.banke-gmbh.de

nissen gezielt überarbeitet und verstärkt werden. Wichtig ist festzustellen, dass keine absoluten Belastungswerte aus der Simulation und dem Finite Elemente Modell abgeleitet werden sollten. Auf das tatsächliche Verhalten und die tatsächliche Bruchfestigkeit haben viele Faktoren des Naturmaterials Ton (Zusammensetzung, Korngröße, Aufbereitung, ...) einen Einfluss. Schwachstellen und Vergleiche zwischen Modellen (mit der Annahme von gleichen Materialeigenschaften) sind jedoch möglich und zulässig. In der folgenden Darstellung ist am Beispiel eines von der Firma Franz Banke GmbH als reines Studienobjekt entwickelten und designten Flachziegels ein einfaches Belastungsmodell dargestellt (»4). Mit diesem Ziegel kann ein komplettes Dach eingedeckt werden, gänzlich ohne Stufen oder Kanten, da jeder Ziegel in Reihe oder in Verband flach und ohne Stufe auf dem nächsten Ziegel eindeckt. Die Franz Banke GmbH tritt auch in Zukunft nicht als Konkurrenz zu ihren Kunden auf und wird den Ziegel nicht eigenständig produzieren oder vertreiben. Im Rahmen der Studien wurden erste Tonmuster gepresst, um die Produzierbarkeit dieses Modells zu zeigen. Der Ziegel kann auf einem eingedeckten Musterdach besichtigt werden.

In der Simulation wird die Schwachstelle des Ziegels deutlich hervorgehoben. Die graphische Darstellung in »5 ist deutlich verzerrt überzeichnet. Basierend auf der FEM-Simulation kann man die Schwachstelle gezielt verstärken, zum Beispiel durch den Einbau von vertieften Rippenstrukturen auf der Ziegelunterseite und dem vakanten Bereich. Durch diese Maßnahme kann man die simulierte Kraftspitze um ca. 10% reduzieren, bei einer gleichzeitigen Gewichtseinsparung von ca. 50 g pro Ziegel.

Wie bei jeder Simulation oder physikalischen Modellberechnung ist es unbedingt notwendig, die gewonnenen Ergebnisse in der Praxis zu verifizieren. Wie auch schon angesprochen, können absolute Werte (in diesem Fall die max. Bruchlast) nur im Praxistest ermittelt werden.

4 Zusammenfassung

Die konstruktive Überarbeitung von bestehenden Ziegelmodellen kann aus verschiedenen Gründen sinnvoll sein. Optimierungen der technischen Ziegelparameter, Rückbau von Ungenauigkeiten, die sich im Laufe des Produktlebenszyklus in die Modelle „eingeschlichen“ haben, und Gewichtsoptimierung wirken sich – je nach Modell und Potenzial – positiv auf die Qualität der Ziegel und in der Regel Kosten senkend aus. Es ist zu beachten, dass jedes Modell individuell betrachtet werden muss und es kein Pauschalrezept oder eine generelle Vorgehensweise für eine Überarbeitung gibt. Ergebnisse, die bei einem Ziegel möglich sind, können nicht 1:1 in ein anderes Modell übertragen werden. Das vorhandene Wissen und die gesammelten Erfahrungen, die über Jahre in das Ziegelmodell eingeflossen sind, dürfen auf keinen Fall außer Acht gelassen werden. Moderne Simulationsverfahren, wie beispielsweise die Finite Elemente Methode, können, bei richtiger und fachkundiger Anwendung, schon in der Konstruktionsphase wichtige Erkenntnisse liefern, die optimal in ein neues oder überarbeitetes Ziegelmodell eingebaut werden können. Mit den vorhandenen Mess-, Konstruktions- und Fertigungsmöglichkeiten ist die Franz Banke GmbH Partner der Ziegelindustrie für die Überarbeitung vorhandener Modelle genauso wie für die Entwicklung neuer Ziegelmodelle.