

Freilandversuche zur Frostbeständigkeit von Dachziegeln

Im schweizerischen Melchtal werden seit fast 50 Jahren auf rund 1 000 m Höhe Freilandversuche zur Beurteilung der Frostbeständigkeit von Dachziegeln durchgeführt. Eine Versuchsstation ist mit einer speziellen Messstation für Klimadaten ausgerüstet, mit der unter anderem die Temperatur im Dachziegel, auf der Dachziegelaußen- und -innen-seite sowie Niederschlag und Winddaten erfasst werden können.

Einleitung

Die Frost-Tau-Wechsel-Beständigkeit von Dachziegeln ist in Klimaregionen, in denen Dachziegel Frosteinwirkungen ausgesetzt sein können, ein wesentliches Qualitätsmerkmal. Im Melchtal in der Schweiz werden seit fast 50 Jahren Freilandversuche an Dachziegeln auf rund 1 000 m Höhe durchgeführt. In den 1950er-Jahren traten in der Schweiz teilweise Probleme mit der Frostbeständigkeit von Dachziegeln auf. Der Ziegelindustrie war klar, dass die Frostbeständigkeit der Dachziegel unbedingt verbessert werden musste, um gegenüber Wettbewerbsprodukten wie beispielsweise Eternit konkurrenzfähig zu bleiben. Was aber waren die Ursachen mangelnder Frostbeständigkeit? In dieser Zeit wurde die Anlagentechnik teilweise erneuert, Änderungen in den Verfahrensschritten Formgebung und Brennen beeinflussten auch die Frostbeständigkeit der Dachziegel. Um die Fragen:

- ▶ Wie frostsicher sind die Ziegel?
- ▶ Welche Maßnahmen erhöhen die Frostbeständigkeit?

zu klären, waren zunächst grundlegende Untersuchungen notwendig. Es wurde eine Methode gesucht, mit der die Frostbeständigkeit von Dachziegeln praxisnah beurteilt werden kann und aus der geeignete und schnelle Laboruntersuchungen abgeleitet werden konnten.

Versuchsanlage

Das Prüf- und Forschungsinstitut p+f Sursee betreibt heute die Versuchsanlage im Melchtal. Dort begann man 1954 mit ersten Freilandversuchen. Als Versuchsdächer standen die Dachflächen von Militärbaracken zur Verfügung, die der Eidgenossenschaft gehören und auch heute noch vom Militär genutzt werden. Durch gute Beziehungen zur Bundesverwaltung der Armee wurde schnell und unkompliziert die Standortfrage zum Nutzen aller gelöst: Die Dachziegelindustrie hatte ihre Versuchsdächer und das Militär brauchte sich um die Pflege der Dächer nicht mehr zu kümmern.

Ein wesentlicher Vorteil dieses Standortes ist die Lage der Baracken. Diese stehen so nahe beieinander, dass die Resultate der Versuche miteinander vergleichbar sind. Im Durchschnitt sind circa 10 Dächer mit Ziegeln belegt. Die Giebel der Dächer zeigen in Ost-West- und die Dachflächen in Nord-

Open-air tests on the frost resistance of clay roofing tiles

At Melchtal in Switzerland open-air tests have been carried out for almost 50 years at a height of about 1 000 m, for the evaluation of the frost resistance of clay roofing tiles. A test station is equipped with a special measuring centre for climatic data, with which inter al. the temperature in the clay roofing tile, on the outside and inside of it and rain and wind data can be recorded.

Introduction

The resistance of clay roofing tiles to freezing-thawing alternation is an essential quality characteristic in climatic regions in which clay roofing tiles are exposed to frost effects. In the Melchtal in Switzerland for almost 50 years open-air tests have been carried out on clay roofing tiles at a height of around 1 000 m.

In the 1950s problems occurred in Switzerland in some cases with the frost resistance of clay roofing tiles. The brick and tile industry was clearly aware that the frost resistance of the clay roofing tiles must be improved in order to remain competitive vis-à-vis rival products, such as, for example, Eternit. What however were the causes of lack of frost resistance? At this time the plant technology was in some cases renewed. Changes in the process stages shaping and firing also influenced the frost resistance of clay roofing tiles. In order to clarify the questions:

- ▶ How frostproof are the tiles?
- ▶ What measures increase the frost resistance?

first of all basic tests were necessary. A method was sought with which the frost resistance of clay roofing tiles can be evaluated in close relationship to building practice and could be derived from suitable rapid laboratory tests.

Test plant

The Testing and Research Institute p+f Sursee operates the Test Plant in Melchtal today. It was there that tests were begun in 1954 with the first open-air tests. The test roofs available were the roof surfaces of military barracks, which belong to the Swiss Confederation and are still used by the military forces today. Because of the good relationships with the Federal Administration of the Army, the question of locali-



*Eine mit verschiedenen Dachziegeln eingedeckte Baracke im Frühherbst und Winter
A barracks clad with various clay roofing tiles in the early autumn and winter*



Süd-Richtung. Diese Ausrichtung ist für die Befrostung wichtig, da die Dächer auf der Südseite permanent dem Zyklus Befrosten – Auftauen – Befrosten unterliegen. Dieser Frostzyklus findet an diesem Standort durchschnittlich 10- bis 20-mal pro Jahr statt.

Durchführung der Freilandversuche

Der für die Durchführung der Versuche verantwortliche Mitarbeiter des Prüf- und Forschungsinstituts p+f Sursee betreut die Anlage seit 1963 und verfügt somit über 40-jährige Erfahrungen in der Bewertung der Ergebnisse. Um statistisch relevante Aussagen treffen zu können, werden pro Typ zwischen 500 und 3 000 Ziegel eingedeckt. Das Eindecken wird von einem ausgebildeten Dachdecker durchgeführt. Die Ziegel werden visuell überprüft und bereits bestehende Fehler erfasst und dokumentiert.

Die Kontrolle auf Frostschäden erfolgt dann jeden Sommer. Dann werden die Dächer begangen, und es wird festgestellt, ob und welche Schäden auftreten. In den Protokollen werden eventuell auftretende Schäden erfasst und mit Fotos dokumentiert. Stichprobenartig werden auch die Unterseiten der Dachziegel untersucht. Die Fehler werden auf den Ziegeln markiert, damit im folgenden Jahr die Entwicklung überprüft werden kann. Die jährliche Begutachtung aller Dächer dauert etwa ein bis zwei Wochen. Viele Kunden lassen es sich

ty was quickly and easily resolved for the benefit of all: The clay roofing tile industry had their test roofs and the military forces no longer had to worry about the care of the roofs.

An important advantage of this location is the situation of the barracks. These are so close together that the results of the tests are comparable with each other. On average approx. 10 roofs have clay tile cladding. The gables of the roofs face in an east-westerly and the roof surfaces in a North-South direction. This direction is important for the freezing, as the roofs on the south side are permanently exposed to the freezing-thawing-freezing cycle. This frost cycle takes place at this location on average 10 to 20 times a year.

Performance of the open-air tests

The member of staff of the Testing and Research Institute p+f Sursee responsible for carrying out the tests has taken care of the plant since 1963 and thus has 40 years' experience in evaluating the results. In order to reach relevant conclusions, between 500 and 3 000 tiles per type are used for cladding. The cladding is carried out by a qualified roofing tiler. The tiles are examined visually and faults already existing recorded and documented.

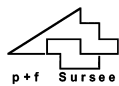
The control of frost damage is then performed every summer. Then the roofs are inspected and it is observed whether and what damage has occurred. In the protocol any damage pos-



Die Versuchsstation, eingedeckt mit Musterziegeln, im Frühherbst und Winter – der Messfühler für die Klimadatenerfassung befindet sich circa einen Meter oberhalb des Dachfirstes

The test station, with cladding of sample tiles, in the early autumn and winter – the sensor for the recording of climatic data is located approx. one metre above the roof ridge





Prüf- und Forschungsinstitut Tel.: +41 (41) 925 70 10
 Laboratoire d'essais et de recherches Fax: +41 (41) 921 21 72
 Postfach pf.sursee@bluewin.ch
 6210 Sursee

MUSTERBERICHT

ÜBER DIE SCHADENAUFNAHME AUF DEN VERSUCHSDÄCHERN IM MELCHTAL

Hersteller: **Ziegelei Muster**
 Typ: **Pfannenziegel**
 Bezeichnung: **Typ A**
Typ B
 Baracke Nr.: 30 Kontrolldatum: 22. 06. 2001
 Total verlegt: 800 Stück Verlegedatum: 1994

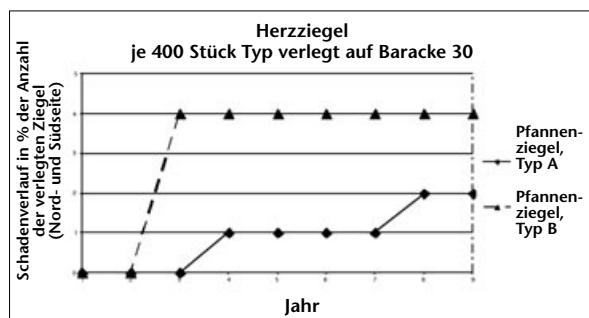
Befund Winter 2000/2001

Bezeichnung	Verlegt	Befund am Kontrolldatum
SÜDSEITE		
Typ A	200 Stück	Keine Frostschäden
Typ B	200 Stück	Keine Frostschäden
NORDSEITE		
Typ A	200 Stück	Keine Frostschäden
Typ B	200 Stück	Keine Frostschäden

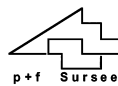
Befund Vorjahre

Bezeichnung	Befund für die Jahre 1994 bis 2001
TOTAL SÜDSEITE	
Typ A	4 große Absprengungen an Deckwulst 3 Absprengungen an Deckwulst
Typ B	10 Absprengungen an Deckwulst 6 Risse
TOTAL NORDSEITE	
Typ A	1 große Absprengung an Deckwulst
Typ B	Keine Frostschäden Moosbildung

Schadenverlauf im Freilandversuch Melchtal



nicht nehmen, sich über die Frostbeständigkeit ihrer Dachziegel persönlich zu informieren und die Dächer an einem weiteren Termin im Herbst selbst zu begehen und zu begutachten. Die normale Liege- bzw. Beobachtungszeit beträgt 4 bis 5 Winter. Treten bis dahin keine Schäden auf, kann man davon ausgehen, dass die Ziegel frostsicher sind. Die Kosten für eine solche Prüfung betragen je nach Anzahl der Ziegel zwischen circa 800 sFr. und 1 600 sFr. (1 € entspricht etwa 1,45 sFr., tageskursabhängig) pro 1 000 Stück. Die Kunden erhalten jährlich einen Bericht über die Schadenaufnahme an den Dachziegeln, der folgende Daten enthält:



Prüf- und Forschungsinstitut Tel.: +41 (41) 925 70 10
 Laboratoire d'essais et de recherches Fax: +41 (41) 921 21 72
 Postfach pf.sursee@bluewin.ch
 6210 Sursee

SAMPLE REPORT

ON THE RECORDING OF DAMAGE ON THE TEST ROOFS IN MELCHTAL

Manufacturer: **Tileworks Sample**
 Type: **Clay pantiles**
 Name: **Typ A**
Typ B
 Barracks No.: 30 Control date: 22. 06. 2001
 Total laid: 800 tiles Date of laying: 1994

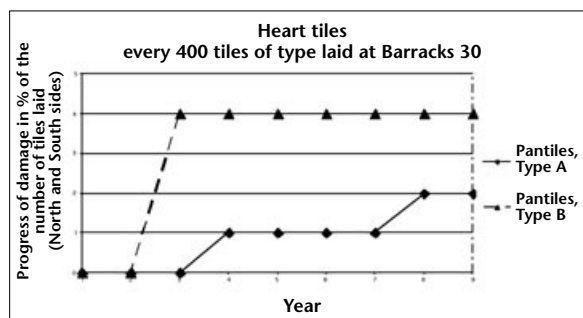
Results Winter 2000/2001

Description	Laid	Result on control date
SOUTH SIDE		
Type A	200 tiles	No frost damage
Type B	200 tiles	No frost damage
NORTH SIDE		
Type A	200 tiles	No frost damage
Type B	200 tiles	No frost damage

Results previous year

Description	Results for the years 1994 to 2001
TOTAL SOUTH SIDE	
Type A	4 large cases of spalling on the raised edge of the tile cladding 3 cases of spalling on the raised edge of the tile cladding
Type B	10 cases of spalling on the raised edge of the tile cladding 6 cracks
TOTAL NORTH SIDE	
Type A	1 large case of spalling on the raised edge of the tile cladding
Type B	No frost damage Moss growth

Progress of damage in the open-air test at Melchtal



sibly occurring is recorded and documented with photos. Tests are also made on the underside of the clay roofing tiles in the form of random sampling. The defects are marked on the tiles, so that the development can be examined in the following year. The annual assessment of all roofs lasts about one to two weeks. Many customers inform themselves personally on the frost resistance of their clay roofing tiles and inspect the roofs and assess them at a later date in the autumn.

The normal exposure or inspection time amounts to 4 or 5 winters. If no damage occurs up to then, it may be assumed



*Eindecken und Prüfen der Dachziegel auf der Versuchsstation
Cladding and testing of the clay roofing tiles on the test station*

- ▶ Hersteller
- ▶ Dachziegeltyp und Bezeichnung
- ▶ Anzahl der verlegten Dachziegel
- ▶ Barackennummer
- ▶ Verlege- und Kontrolldatum

Als Ergebnis erhält der Kunde den aktuellen Befund sowie die Zusammenstellung der Beobachtungen der Vorjahre. Der Schadenverlauf in Prozent über der Liegezeit wird grafisch dargestellt, und aufgetretene Schäden werden mit Fotos dokumentiert.

Zurzeit liegen etwa 80 000 Ziegel – Pfannen wie Biber – auf den Barackendächern, das sind etwa 80 verschiedene Muster; rund 40 000 Ziegel werden regelmäßig beobachtet.

Die Frostbeständigkeit der Dachziegel hat sich im Laufe der Jahre enorm verbessert. Heute treten prinzipiell fast keine Frostschäden mehr auf. Die Prüfung wird derzeit vor allem genutzt, um Neuentwicklungen und Prototypen zu testen. Das Institut empfiehlt dabei immer die Kombination zwischen Freilandversuchen und Frostprüfungen in der Frosttruhe. Letztere liefert insbesondere schnelle Ergebnisse.

Entwicklung von Laborfrostprüfungen

1962 wurde im p+f Sursee die erste Frosttruhe angeschafft. Ab dieser Zeit wurden Vergleichsuntersuchungen durchgeführt. In Auswertung der Ergebnisse entstanden drei verschiedene Beanspruchungsgrade für Frostprüfungen in der Schweiz:

1. Fünf Tage Wasserlagerung (mäßige Sättigung)
2. Sättigung bei 300 mbar (mittlere bis hohe Sättigung)
3. Sättigung bei 230 mbar (extrem hohe Sättigung)

Diese Sättigungsgrade sind die Grundlage für die zwei Laborprüfmethode, die von p+f Sursee entwickelt worden sind. Bei der Methode „Standard“ wird der Dachziegel vollständig gefroren, die Anzahl der Frostzyklen liegt je nach Anforderung zwischen 150 und 450. Bei der Methode „Sursee“ werden nur die obersten 2–3 mm gefroren. Die Anzahl der Frostzyklen ist dafür höher und liegt je nach Anforderung zwischen 700 und 1 050.

Ringversuche für europäische Frostprüfungsnorm

Das p+f Sursee war ebenfalls an der Entwicklung einer einheitlichen europäischen Frostprüfungsnorm für Dachziegel betei-

that the tiles are frostproof. The costs of such a test, depending on the number of tiles, are between 800 SFR and 1 600 SFR (1 € corresponds to about 1.45 SFR, depending on the daily exchange rate) per 1 000 tiles. The customers receive an annual report on the damage recorded to the clay roofing tiles, which contains the following data:

- ▶ manufacturer
- ▶ type and description of the clay roofing tiles
- ▶ number of tiles laid
- ▶ barracks number
- ▶ laying and control date

As the result the customer is given the actual finding and a compilation of the observations made in the previous years. The progress of the damage per cent is shown graphically over the exposure period, and any damage occurring documented with photos.

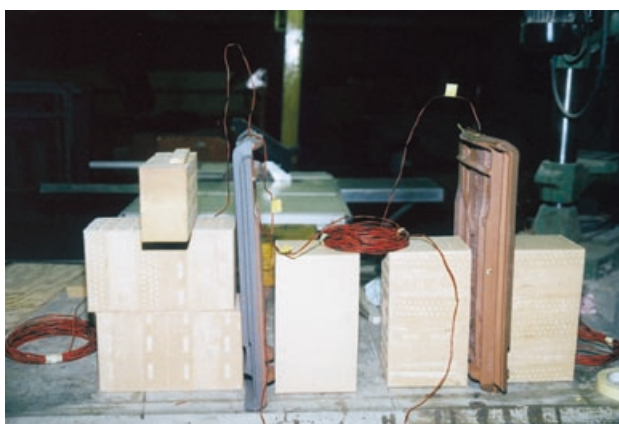
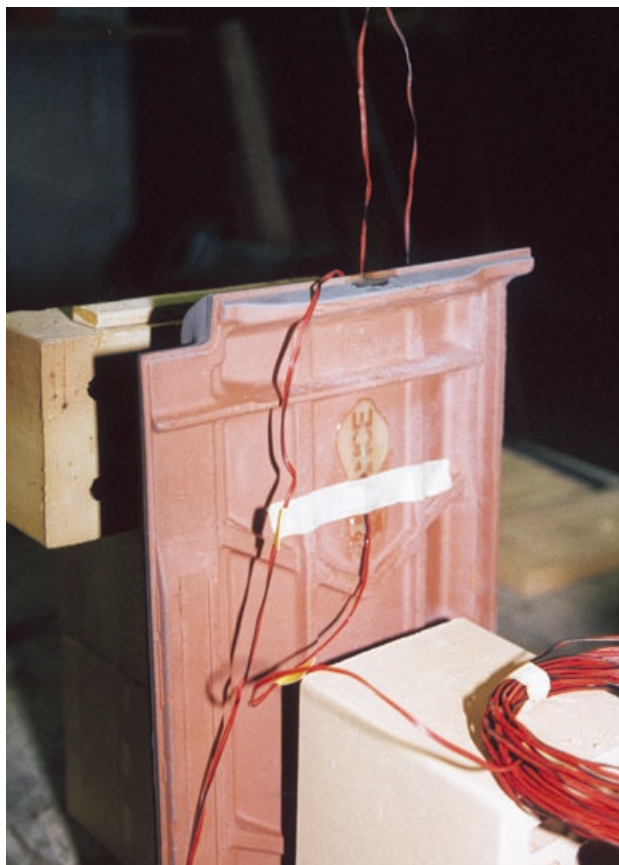
At the present time about 80 000 tiles – pantiles and plain tiles – are exposed on the barracks roofs. That is, about 80 different samples, around 40 000 tiles, are observed regularly. The frost resistance of the clay roofing tiles has enormously improved over the years. Today in principle practically no more frost damage occurs. The test is chiefly used at present to test new developments and prototypes. The Institute here always recommends a combination of open-air tests and frost tests in the freezing cabinet. The latter in particular supplies rapid results.

Development of laboratory frost tests

In 1962 the first freezing cabinet was acquired by the p+f Sursee and from this time onwards comparative tests have been carried out. In the evaluation of the results three different stress levels were used for frost tests in Switzerland:

1. Five days' immersion in water (medium saturation)
2. Saturation at 300 mbar (medium to high saturation)
3. Saturation at 230 mbar (extremely high saturation)

These degrees of saturation are the basis for the two laboratory tests, which have been developed by p+f Sursee. In the "Standard" method the clay roofing tiles are completely frozen, the number of frost cycles according to requirement is between 150 and 450. With the "Sursee" method only the top 2–3 mm are frozen. The number of frost cycles for this is higher however and according to requirement is between 700 and 1 050.



*Im Labor werden die Temperaturfühler auf bzw. im Messziegel angebracht
In the laboratory the temperature sensors are applied onto or in the measurement tiles*

ligt. Innerhalb dieser Untersuchungen wurden an fünf klimatisch unterschiedlichen Standorten in Italien, Frankreich, Belgien, Portugal und im Schweizer Melchtal Freibewitterungsversuche an Dachziegeln durchgeführt. Die lokalen Klimadaten sowie die Temperaturen im Innern und an den Oberflächen von Messziegeln wurden mittels Messfühlern und Dataloggern automatisch aufgenommen. Periodisch wurden die jeweilige Wasseraufnahme an entsprechenden Messziegeln gravimetrisch überprüft und Frostschäden durch visuelle Beobachtung festgestellt.

Die Feldversuche bildeten die Grundlage für das Erstellen einer Laborfrostprüfung. Ziel der Versuche war es, die in der Natur auftretenden Schadensbilder im Labor schnell und kostengünstig nachvollziehen zu können.

Ring tests for European Frost Test Standard

The p-f Sursee also took part in the development of a uniform European Frost Test Standard for clay roofing tiles. Within the scope of these tests open-air weathering tests on clay roofing tiles were carried out at five locations with different climates, in Italy, France, Belgium, Portugal and at Melchtal, Switzerland. The local climatic data and also the temperatures in the interior and on the surfaces of measurement tiles were made by means of sensors and automatically recorded by data loggers. Periodically the respective water absorption was gravimetrically examined on appropriate measurement tiles and frost damage observed visually.

The field tests formed the basis for drawing up a laboratory frost test. The aim of the tests was to reproduce the states of frost damage occurring in Nature quickly and inexpensively in the laboratory.

The tests were carried out at a test station with a roof area of approx. 45 m². This structure was available for field tests for the determination of the frost resistance of exposed masonry and is used today for the clay roofing tile tests.

Test station with measurement points for recording climatic data

The test station in Melchtal is equipped with a measurement station for climatic data, which is installed about one metre above the ridge of the test roof. With an integral data logger the following can be recorded with inter al. other climatic information and stored on PC:

- ▶ temperature
- ▶ rainfall
- ▶ wind direction and strength
- ▶ duration of sunlight

For the field tests on the basis of the tests for the development of the new Frost Test Standard two tiles respectively per tile type are equipped with temperature sensors:

- ▶ on the outside
- ▶ above the drilling in the middle of the clay roofing tile and
- ▶ on the inner side turned away from the weather exposure

For the ring tests the temperatures were measured on altogether 9 tiles (27 measurement points) and an external measurement sensor. This corresponds to 54 000 measurements per measurement point and altogether 1 460 000 temperatures recorded in the 6-months' winter period. On every two tiles respectively the change in mass as a result of different water absorption (water saturation) due to climatic conditions was gravimetrically determined every week. For this the measurement tiles were taken from the roof cladding, freed from water or snow adhering to the outside surface, weighed and then carefully replaced. With a high snow covering or extensive ice formation, individual measurements were dispensed with, to prevent damage during removal operations.

The test tiles were visually inspected for frost damage and the results documented by photographs and descriptions.

A non-destructive measurement by means of ultrasonics, which should serve as an indicator for a non-destructive determination of microtextural damage not yet visible, did not produce the desired results. Damage was only first apparent when it was also already visible.

At the same time as the field tests, laboratory frost tests were carried out, in which the number of freezing-thawing cycles ("FTW"), the cooling or thawing rates on entering or leaving the relevant freezing-thawing cycle and the respective rele-

Die Versuche wurden auf einer Versuchsstation mit circa 45 m² Dachfläche durchgeführt. Dieser Bau stand für Feldversuche zur Bestimmung der Frostbeständigkeit von Sichtmauerwerk zur Verfügung und wird heute für die Dachziegelprüfungen genutzt.

Versuchsstation mit Messstellen zur Klimadatenerfassung

Die Versuchsstation im Melchtal ist mit einer Messstation für Klimadaten ausgerüstet, die circa einen Meter oberhalb des Firstes des Testdaches aufgebaut ist. Mit einem integrierten Datenlogger können unter anderem

- ▶ Temperatur
- ▶ Niederschlag
- ▶ Windrichtung und -stärke
- ▶ Sonnenscheindauer

und weitere Klimainformationen erfasst und per PC gespeichert werden.

Für die Feldversuche in Anlehnung an die Untersuchungen für die Entwicklung der neuen Frostprüfnorm werden pro Ziegeltyp jeweils zwei Ziegel mit Temperaturfühlern versehen:

- ▶ auf der Außenseite
- ▶ über eine Bohrung in der Dachziegelmitte und
- ▶ auf der wetterabgewandten Innenseite

Für die Ringversuche wurden an insgesamt 9 Ziegeln (27 Messstellen) und einem externen Messfühler die Temperaturen gemessen. Das entspricht rund 54 000 Messungen pro Messstelle und insgesamt 1 460 000 erfassten Temperaturen pro Winterhalbjahr.

An jeweils zwei Ziegeln wurde wöchentlich die Massenänderung infolge klimabedingt unterschiedlicher Wasseraufnahme (Wassersättigung) gravimetrisch bestimmt. Dazu wurden die Messziegel aus der Dacheindeckung entnommen, von äußerlich anhaftendem Wasser, Schnee bzw. Eis befreit, gewogen und anschließend vorsichtig wieder eingebaut. Bei hoher Schneeüberdeckung bzw. sehr starker Eisbildung wurde auf einzelne Messungen verzichtet, um Zerstörungen an den Messziegeln beim Ausbau zu vermeiden.

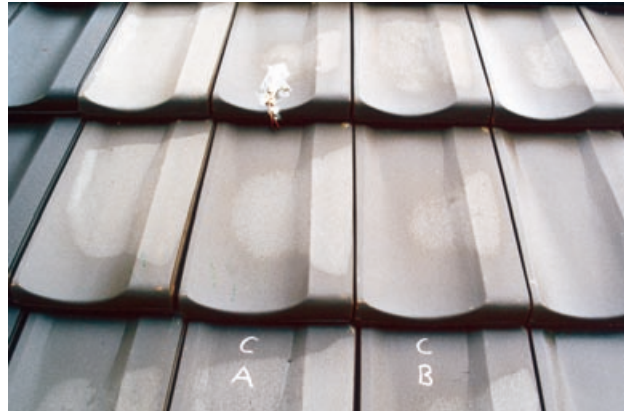
Die Testziegel wurden visuell auf Frostschäden kontrolliert und die Ergebnisse fotografisch und textlich dokumentiert.

Eine zerstörungsfreie Messung mittels Ultraschall, die als Indikator für eine zerstörungsfreie Bestimmung noch nicht sichtbarer Gefügeschädigungen dienen sollte, brachte nicht die gewünschten Ergebnisse. Schäden wurden damit erst dann erkannt, wenn sie auch schon sichtbar waren.

Gleichzeitig zu den Feldversuchen wurden Laborfrostprüfungen durchgeführt, bei denen die Anzahl von Frost-Tau-Wechseln (FTW), die Abkühlungs- bzw. Auftaugeschwindigkeiten beim Eintritt bzw. Verlassen des zugehörigen FTW-Zyklus und jeweils interpolierte zugehörige Sättigungsgrade der Ziegel bestimmt wurden.

Die im Labor gewonnenen Daten wurden mit denen der Freilandversuche verglichen, und die neue Frostprüfung für Dachziegel wurde durch umfangreiche Änderungen und Optimierungen entwickelt.

Da die Feldversuche für das Erarbeiten der neuen Frostprüfnorm abgeschlossen sind, werden heute Ziegel von Kunden des p+f in der gleichen Art und Weise geprüft. Die Ziegeleien erhalten so Daten ihrer Ziegel, die sonst nicht verfügbar sind. Bei Interesse gibt das p+f Sursee gern Auskunft. – Fis –



Die eingedeckte Dachfläche mit dem Messfühler auf einem Dachziegel

The clad roof surface with the temperature sensor on a clay roofing tile

vant interpolated degrees of saturation of the tiles were determined.

The data obtained in the laboratory were compared with those from the open-air tests and the new Frost Test for Clay Roofing Tiles was developed by a large number of changes and optimizations.

As the field tests for drawing up the new Frost Test Standard have been concluded, tiles of customers of the p+f are tested today in the same manner. The tile works thus receive data on their tiles, which are otherwise not available. The p+f Sursee will gladly supply information to those interested. – Fis –



Ruedi Räss, Institutsleiter des p+f Sursee, bei der Kontrolle der erfassten Klima- und Temperaturdaten

Ruedi Räss, Head of the Institute of the p+f Sursee, at the inspection of the climatic and temperature data recorded