

STUVA-Empfehlung für die Prüfung und den Einsatz von Dichtungsprofilen in Tübbingauskleidungen

Autorenteam STUVAtec

Einschalige Tübbingauskleidungen werden in der Regel mit umlaufenden Dichtungsprofilen aus Elastomer abgedichtet. Die Prüfverfahren für Elastomere sind normativ geregelt. Einheitliche Prüfkriterien und -verfahren für den Nachweis der Eignung von Profilen in Tübbingauskleidungen fehlen jedoch bislang. Dies führt dazu, dass verschiedene Hersteller und Prüfinstitute Versuche zum Nachweis der Dichtigkeit sehr unterschiedlich durchführen. Diese Prüfergebnisse sind in der Regel daher nur schwer vergleichbar und eine neutrale Bewertung unterschiedlicher Prüfzeugnisse ist kaum möglich. Ziel muss es deshalb sein, den Nachweis für die Eignung der Dichtungsprofile in reproduzierbaren, genormten Versuchen durchzuführen, um vergleichbare Versuchsergebnisse zu erzielen und damit insbesondere Wettbewerbsverzerrungen und Fehlentscheidungen bei der Auswahl von Profilen zu verhindern.

Herr Dipl.-Ing. Thomas Flath,
Bilfinger Berger AG, Mannheim
Herr Dr.-Ing. Werner Grabe,
Dätwyler AG, Altdorf (CH)
Herr Dipl.-Ing. Erdogan Gürkan,
vorm. Wayss & Freytag Ingenieurbau AG, Frankfurt /M.
Herr Dipl.-Ing. Holger Gutschmidt,
Phoenix Dichtungstechnik,
Hamburg
Herr Dr.-Ing. Frank Heimbecher,
Bundesanstalt für Straßenwesen,
Bergisch Gladbach

Herr Dipl.-Ing. Rudolf Heinbokel,
Bilfinger Berger AG, Mannheim
Herr Dipl.-Ing. Dieter Kassel,
Phoenix Dichtungstechnik,
Hamburg
Herr Dr.-Ing. Frank Schreiber,
Materialprüfanstalt für das
Bauwesen, Hannover
Herr Dr.-Ing. Jörg Schreyer,
STUVAtec (Vorsitzender), Köln

STUVA Recommendations for Testing and Application of sealing Gaskets in segmental Linings

STUVAtec Team of Authors

Single-layer segmental linings are usually sealed by means of all-round preformed gaskets made of elastomer. The testing methods for elastomers are undertaken in accordance with appropriate standards. However, so far there have been no standard test criteria and methods for verifying the suitability of gaskets used in segmental linings. This resulted in a situation whereby various producers and test institutes carried out tests to prove tightness in very different ways. As a result, these test results are very difficult to compare so that any neutral assessment of the various test results is scarcely possible. Consequently, the objective of this study is to undertake the verification for the suitability of the sealing gaskets in reproducible, standardised tests in order to attain comparable test results and in turn, prevent in particular, distortion of competition and erroneous decisions relating to the choice of gaskets.

Herr Dipl.-Ing. Thomas Flath,
Bilfinger Berger AG, Mannheim
Herr Dr.-Ing. Werner Grabe,
Dätwyler AG, Altdorf (CH)
Herr Dipl.-Ing. Erdogan Gürkan,
vorm. Wayss & Freytag
Ingenieurbau AG, Frankfurt/M.
Herr Dipl.-Ing. Holger
Gutschmidt, Phoenix
Dichtungstechnik, Hamburg
Herr Dr.-Ing. Frank Heimbecher,
Bundesanstalt für Straßenwesen,
Bergisch Gladbach

Herr Dipl.-Ing. Rudolf Heinbokel,
Bilfinger Berger AG, Mannheim
Herr Dipl.-Ing. Dieter Kassel,
Phoenix Dichtungstechnik,
Hamburg
Herr Dr.-Ing. Frank Schreiber,
Materialprüfanstalt für das
Bauwesen, Hannover
Herr Dr.-Ing. Jörg Schreyer,
STUVAtec (Vorsitzender), Köln

Die STUVA /STUVAtec, Köln, hat daher in Verbindung mit den Profilverstellern Dätwyler AG, Schattdorf/Schweiz, Phoenix Dichtungstechnik AG, Hamburg, und den Firmen Bilfinger Berger AG, Mannheim, und Wayss & Freytag Ingenieurbau AG, Frankfurt, sowie der Materialprüfanstalt für Bauwesen, Hannover, und der Bundesanstalt für das Straßenwesen, Bergisch Gladbach, einen ersten Vorschlag für die genannten Prüfungen von Dichtungsprofilen für den Einsatz in Tübbingauskleidungen erarbeitet. Die Prüfeempfehlung soll helfen, dass zukünftig das in wirtschaftlicher und technischer Hinsicht optimale Profil auf Grund vergleichbarer Prüfergebnisse für den jeweiligen Anwendungsfall ausgewählt werden kann.

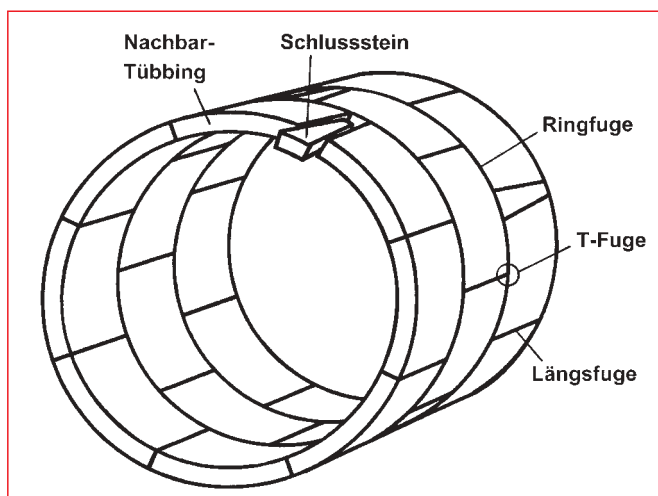
1 Allgemeines

Die Entwicklung und anwendungstechnische Prüfung von Dichtungsprofilen sowie die Ausführungsplanung von Tübbingauskleidungen erfordern besondere Sorgfalt, Erfahrung und spezielle Kenntnisse.

Die komplexen Wechselwirkungen von produktionstechnischen, verfahrenstechnischen und statisch-konstruktiven Anforderungen sind bei der Planung von Tübbingauskleidungen mit Dichtungsprofilen – insbesondere bei einschaligen Bauweisen – zu berücksichtigen.

Mit den oben genannten Tätigkeiten sollen deshalb nur Institutionen mit nachweislicher Fachkunde und Erfahrung beauftragt werden.

Beim Schildtunnelbau besteht die Tunnelauskleidung aus vielen Fertigteilelementen, den so genannten Tübbings. Ein Tübbingring besteht in Abhängigkeit vom Tunneldurchmesser aus mehreren Tübbings



1 Tunnelauskleidung mit T-Fugen

1 Tunnel lining with T-joints

und ist in Tunnelängsrichtung in der Regel etwa 1 m bis 2 m breit. Die Tübbingauskleidung besitzt daher zahlreiche Längs- und Ringfugen. Diese Fugen müssen gegen den an der Tunnelröhre maximal anstehenden Wasserdruck abgedichtet werden. Dies geschieht mit Elastomer-Dichtungsrahmen, die in umlaufende Nuten der Tübbings eingeklebt oder dort verankert werden. Bei der Montage werden zwei benachbarte Tübbings mit eingebautem Dichtungsrahmen zusammengedrückt. Die in den Tübbings gegenüberliegenden Dichtungsprofile werden hierbei komprimiert, hierdurch wird die Fuge abgedichtet. Besonders im Kreuz- oder T-Fugen-Bereich besteht dennoch die Gefahr, dass Undichtigkeiten auftreten (Bild 1).

Entscheidend für die dauerhafte Dichtigkeit des Tunnels ist daher die fachgerechte Auswahl der Dichtungsprofile (z. B. Werkstoff, Profilgeometrie) für den jeweiligen Anwendungsfall.

2 Anwendungsbereich

Diese Empfehlungen gelten für Dichtungsprofile in Tübbingauskleidungen. Es werden

Als eine Konsequenz, die STUVA/STUVAtec, Cologne, in conjunction with the gasket manufacturers Dätwyler AG Schattdorf/Switzerland, Phoenix Dichtungstechnik AG, Hamburg, and the companies Bilfinger Berger AG, Mannheim, and Wayss & Freytag Ingenieurbau AG, Frankfurt as well as the Material Testing Institute for Construction Engineering, Hanover, and the Federal Highway Research Institute, Bergisch Gladbach, worked out an initial proposal for testing sealing gaskets for use in segmental linings. The recommendations are intended to ensure that in future, the optimal gasket both in economic and technical terms can be chosen for a specific case of application in accordance with comparable test results.

1 General

The development and technical testing of sealing gaskets as well as the implementation planning of segmental linings require special care, experience and knowledge.

The complex interaction of production-technical, application-technical and static-constructive demands all have to be taken into account when

planning segmental linings with sealing gaskets. This applies especially to single-shell construction methods.

As a result, only institutions with proven expertise and experience should be commissioned to carry out the above mentioned activities.

In shield tunnelling, the tunnel lining comprises many prefabricated elements, known as segments. Depending on the tunnel diameter a segmental ring consists of several segments and is generally speaking 1 to 2 m wide in the longitudinal direction of the tunnel. Consequently, the segmental lining possesses a large number of longitudinal and annular joints, which have to be sealed to withstand the maximum water pressure prevailing against the tunnel tube. This is executed by means of elastomer sealing frames, which are adhered or anchored in the continuous grooves of the segments. For assembly purposes, 2 neighbouring segments with installed sealing frame are pressed together. The preformed gaskets located opposite one another in the segments are consequently compressed so that the joint is sealed. However, there is always the chance that leakages occur at cross or T-joint sectors (Fig. 1).

Thus the proper selection of the preformed gaskets (e.g. material, gasket geometry) for the application in question represents the determining factor.

2 Application Area

These recommendations apply for sealing gaskets in segmental linings. The necessary demands and related tests for selecting a suitable sealing gasket are explained. Furthermore, pointers for the practical application of the sealing gaskets are provided.

These recommendations do not apply for the installation of

die für die Auswahl eines geeigneten Dichtungsprofils erforderlichen Anforderungen und zugehörigen Prüfungen erläutert. Ferner werden Hinweise für den baupraktischen Einsatz der Dichtungsprofile gegeben.

Diese Empfehlungen gelten nicht für den Einbau von Dehnfugenbändern bzw. Arbeitsfugenbändern aus Elastomermaterial nach DIN 7865 und thermoplastischen Kunststoffen nach DIN 18541. Weiterhin gelten diese Empfehlungen nicht für den nachträglichen Einbau von Fugenbändern, Fugendichtstoffen oder Fugenverschlussprofilen in vorhandene Fugen.

3 Begriffe

Für die Anwendung dieser Empfehlungen gelten die nachfolgenden Begriffe:

■ Bemessungswasserdruck

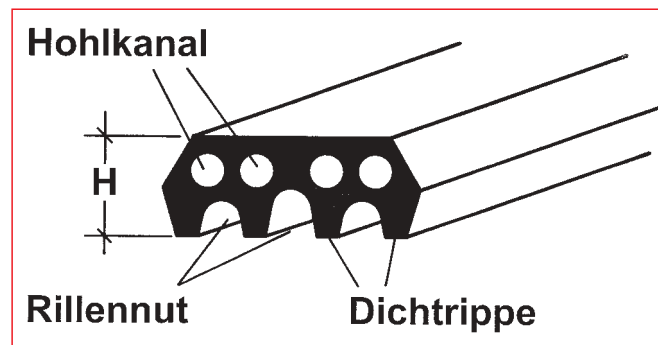
Der Bemessungswasserdruck wird projektspezifisch vom Bauherrn für die Auslegung des Dichtungssystems festgelegt.

■ Bemessungswasserdruckklasse

Es werden die Bemessungswasserdruckklassen nach Tabelle 1, Zeile Nr. 6.1 unterschieden. Als zugehörig zu einer bestimmten Bemessungswasserdruckklasse gilt ein Dichtungsprofil, wenn es gegen den in Tabelle 1 angegebenen Wasserprüfdruck mindestens 24 Stunden lang abdichtet. Der zugehörige maximale Versatz und maximale Nutgrundabstand, bei dem die obigen Prüfbedingungen erfüllt werden, sind ergänzend anzugeben.

■ Dichtrippe

Als Dichtrippe bezeichnet man die zum Nutgrund (Kontaktfläche Dichtungsprofil/Beton) angeordneten, längs laufenden, kammartigen Stützen (Profilierung) des Dichtungs-



2 Querschnitt eines Dichtungsprofils

2 Cross-section of a sealing gasket

profils. Die Dichtrippen sollen das Umlaufen von Wasser zwischen dem Dichtungsprofil und dem Tübbingbeton verhindern bzw. erschweren (Bilder 2 und 3).

■ Dichtungsprofil

Das Dichtungsprofil besteht aus Elastomer. Es wird im Extrusionsverfahren gespritzt und anschließend vulkanisiert. Der Kontaktbereich zwischen Dichtungsprofil und Beton weist im Allgemeinen Dichtrippen auf, während der Kontaktbereich zweier Dichtungsprofile eben ausgebildet ist (Bilder 2 und 3).

■ Dichtungsrahmen

Der Dichtungsrahmen besteht aus den auf Länge geschnittenen Dichtungsprofil-

expansion joint strips or working joint strips made of elastomer material according to DIN 7865 and thermoplastic materials according to DIN 18541. In addition, these recommendations do not apply for the subsequent installation of joint strips, joint fillers or joint plugs in existing joints.

3 Terms

The following terms apply for the application of these recommendations:

■ Dimensioning water pressure

The dimensioning water pressure is determined by the client for the designing of the waterproofing system commensurate with the project.

■ Dimensioning water pressure class

The dimensioning water pressure classes are differentiated between in accordance with Table 1, Line No. 6.1. A sealing gasket is regarded as belonging to a certain dimensioning water class providing it can seal against the water test pressure laid down in Table 1 for at least 24 h. The related maximum misalignment and maximum groove basic gap for which the above test conditions apply must also be provided.

■ Sealing rib

The sealing rib is used to describe the comb-toothed profilation of the sealing gasket, which runs longitudinally to the bottom of the groove (contact area between the sealing gasket and the concrete). The sealing ribs are intended to prevent or at least hamper water circulating between the sealing gasket and the segmental concrete (Figs. 2 + 3).

■ Sealing gasket

The sealing gasket is made of elastomer. It is produced by the extrusion method and subsequently vulcanised. The contact area between the sealing gasket and the concrete generally possesses sealing ribs, where as the contact area between 2 sealing gaskets is even (Figs. 2 + 3).

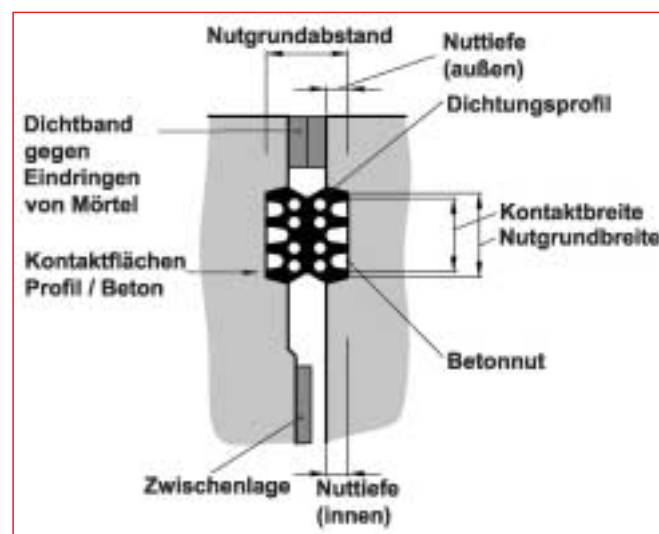
■ Sealing frame

The sealing frame constitutes the sealing gasket sections cut lengthwise and the attached vulcanised frame corners. It is exactly prefabricated in the factory for the various segments of the segmental ring.

■ Joint gap width

(a) Joint gap width in the test device

The joint gap width denotes the shortest distance between the flanks of a joint in the testing device. The joint gap width is 0 mm given contact between the joint flanks (steel on steel or concrete on concrete) in the joint area.



3 Allgemeine Begriffsbestimmungen

3 General definition of terms

abschnitten und den anvulkanisierten Rahmenecken. Er wird im Herstellerwerk für die verschiedenen Tübbings des Tübbingringes genau vorgefertigt.

■ Fugenspaltweite

a) Fugenspaltweite in der Prüfvorrichtung

Unter der Fugenspaltweite versteht man in der Prüfeinrichtung den kürzesten Abstand zwischen den Flanken einer Fuge. Bei Kontakt der Fugenflanken (Stahl auf Stahl bzw. Beton auf Beton) im Fugengbereich ist die Fugenspaltweite 0 mm.

b) Fugenspaltweite in der Tübbingauskleidung

In der Tübbingauskleidung liegt je nach Konstruktion im Profilbereich eine konstruktive Spaltweite größer null vor, auch wenn z. B. die Tübbings im Lastübertragungsbereich knirsch aufeinander stoßen.

Eine Beziehung zwischen der Fugenspaltweite null in der Prüfeinrichtung und in der Tübbingauskleidung ist durch den Nutgrundabstand möglich.

■ Hohlkanal

Um eine Kompression der Dichtungsprofile zwischen den Tübbings, z. B. bei der Montage, zu ermöglichen, sind die Dichtungsprofile in der Regel mit mehreren längs laufenden Hohlkanälen und Rillennuten versehen (Bilder 2 und 3). Der massive Querschnitt des Dichtungsprofils muss kleiner als der freie Nutquerschnitt sein. Bei einem zu geringen Hohlkanalvolumen besteht die Gefahr, dass bei einer Kompression des Dichtungsprofils die Rückstellkräfte so stark ansteigen, dass es zu Abplatzungen des Betons kommt.

■ Kompression

Unter Kompression der Profile wird die Zusammendrückung zweier gegenüberliegender Dichtungsprofile im eingebauten Zustand, bezo-

gen auf die Ausgangsprofilhöhe, verstanden.

■ Nutgrundabstand

Der Nutgrundabstand ist der Abstand der beiden gegenüberliegenden Nutgründe (Bilder 3 und 4). Mithilfe des Nutgrundabstandes kann eine Beziehung zwischen dem Fugenspalt in der Prüfeinrichtung und dem jeweiligen Fugenspalt in der Tübbingauskleidung hergestellt werden. In Abhängigkeit vom Nutgrundabstand kann auch eindeutig die Kompression der Dichtungsprofile angegeben werden.

■ Betonnut

Als Betonnut im Tübbing bezeichnet man die umlaufende Aussparung im Tübbing, in die das Dichtungsprofil eingeklebt bzw. verankert wird (Bild 3). Die Abmessungen der Betonnut werden durch das zum Einsatz kommende Dichtungsprofil bestimmt.

■ Rahmenecke

Die Rahmenecken verbinden die Dichtungsprofilabschnitte zu einem umlaufenden Profilrahmen (Bild 8). Die Rahmenecken werden in Formen durch Injektion und Ausvulkanisierung von Elastomeren hergestellt. Um zu hohe Rückstellkräfte bei der Kompression und damit Betonab-

(b) Joint gap width in the segmental lining

Depending on the design there is a constructive gap width of zero in the gasket area in the segmental lining even if e.g. the segments meet one another directly in the load transference zone.

A relationship between the joint gap width zero in the testing device and in the segmental lining is possible through the groove basic gap.

■ Hollow channel

In order to facilitate compression of the sealing gaskets between the segments e.g. during assembly, the sealing gaskets are generally fitted with a number of hollow channels and incised grooves running lengthwise (Figs.2 +3).The massive cross-section of the sealing gasket has to be less than the free groove cross-section. In the event of a hollow channel volume being too small, there is the danger that the restoring forces increase to such an extent when the sealing gasket is compressed that this results in the concrete spalling.

■ Compression

Compression of the gaskets signifies the pressing together of 2 opposite sealing gaskets in installed state with reference to the initial gasket height.

■ Groove basic gap

The groove basic gap is the gap between the 2 opposite groove bases (Figs. 3 + 4). With the aid of the groove basic gap it is possible to establish a relationship between the joint gap in the testing device and the given joint gap in the segmental lining. Depending on the groove basic gap, it is also clearly possible to define the compression of the sealing gasket.

■ Concrete groove

The continuous recess in the segment, in which the sealing gasket is adhered or anchored, is described as the concrete groove in the segment (Fig. 3). The dimensions of the concrete groove are ascertained by the sealing gasket that is applied.

■ Frame Corner

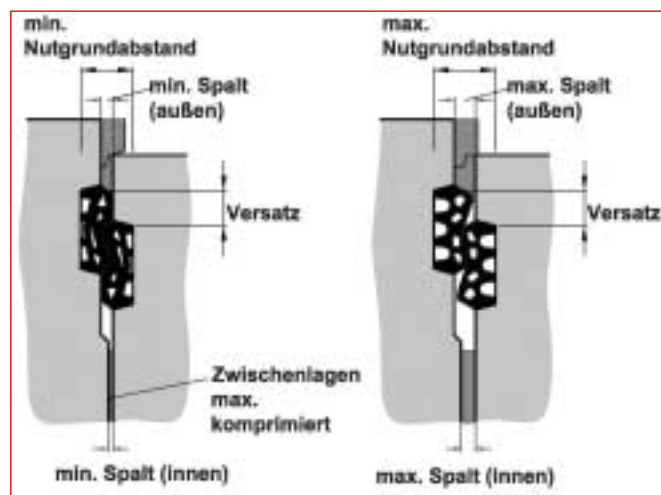
The frame corners attach the sealing gasket sections with a continuous gasket frame (Fig.8). The frame corners are produced in forms by injecting and vulcanising elastomers. In order to avoid excessive restoring forces during the compression phase and in turn, spalling, hollow spaces are also catered for in the frame corners. In many cases, the frame corners are exaggerated at their tips so that it is possible to attain sufficient tightness at the cross or T-joints.

■ Misalignment

The misalignment relates to the displacement of 2 gaskets lying on top of one another transversely to the longitudinal direction of the gasket (Fig.4).As a result, the contact area between the 2 sealing gaskets is reduced. As a consequence, the sealing effect is often reduced owing to the ever greater misalignment.

■ Water testing pressure

During the tightness tests, it is essential to adjust the water testing pressure in order to provide verification for the suitability of the selected sealing gasket. The water pressure is the dimensioning water pressure in-



4 Begriffsbestimmung für „reale Einbausituation“

4 Definition of terms for “real installation situation”

platzungen zu vermeiden, werden Hohlräume auch in den Rahmenecken angeordnet. Vielfach werden die Rahmenecken in den Eckenspitzen überhöht ausgeführt, um eine ausreichende Dichtigkeit im Bereich der Kreuz- oder T-Fugen zu erhalten.

■ Versatz

Als Versatz bezeichnet man die Verschiebung zweier übereinander liegender Profile quer zur Profillängsrichtung (Bild 4). Hierdurch bedingt verringert sich die Kontaktfläche zwischen den beiden Dichtungsprofilen. Deshalb wird häufig mit größer werdendem Versatz auch die Dichtwirkung reduziert.

■ Wasserprüfdruck

In den Dichtigkeitsversuchen ist der Wasserprüfdruck einzustellen, um den Nachweis für die Eignung des ausgewählten Dichtungsprofils zu erbringen. Der Wasserprüfdruck ist der mit einem angemessenen Faktor erhöhte Bemessungswasserdruck. Dieser Faktor beträgt in der Regel 2 und berücksichtigt nur die Abnahme der Profilrückstellkraft mit der Zeit (Relaxation). Ein Sicherheitsfaktor ist gegebenenfalls zusätzlich festzulegen.

4 Anforderungen

Hier werden die Anforderungen an Dichtungsprofile und daraus hergestellte Dichtungsrahmen beschrieben. Die Anforderungen sind in Tabelle 1 zusammengefasst. Die zugehörigen Prüfmethoden sind in Kapitel 5 „Prüfungen“ beschrieben.

Die Anforderungen an Härte, Reißfestigkeit und Reißdehnung sowie den Druckverformungsrest erlauben wegen der kurzen Prüfdauer eine sehr rasche Kontrolle der Güte der Vulkanisation des Dichtungsprofils.

Die Ozonbeständigkeit gibt wichtige Auskunft über das

Verhalten des gedehnten Gummis bei Sonneneinstrahlung bzw. in der Nähe von Ozonquellen. Die Ozonbeständigkeit ist bei Dichtungsprofilen aus EPDM gegeben.

Bei der Wärmealterung wird durch die hohen Temperaturen eine Alterung des Gummis beschleunigt. Ändern sich die Eigenschaftswerte Härte, Reißfestigkeit und Reißdehnung zu

creased by an appropriate factor. Generally speaking, this factor amounts to 2 and only takes the reduction of the gasket restoring force caused by time (relaxation) into account. A safety factor should be added if need be.

4 Demands

The demands on the sealing gaskets and the resultant sealing

frames are described here. These demands are shown in Table 1. The relevant test methods are contained in Chapter 5 “Tests.”

The demands on hardness, crack resistance and elongation at break as well as residual pressure deformations permit the quality of vulcanisation of the sealing gasket to be checked very quickly owing to the short test duration.

Tabelle 1: Anforderungen an die Eignungsprüfungen

Table 1: Demands on the suitability tests

Nr. No.	Art der Prüfung Nature of test	Prüfung in Abschnitt 5 Test in section 5	Anforderung Demand	
1	Härte IRHD Hardness IRHD	5.1	Zulässige Toleranz auf den Härte-Nennwert: ± 5 IRHD Permissible tolerance on the hardness nominal value ± 5 IRHD	
2.1	Reißfestigkeit/Crack resistance	5.2	≥ 9 Mpa	
2.2	Reißdehnung Elongation	5.2	Reißdehnung Elongation	bei Härteklasse Elongation for hardness class
			≥ 300 %	56–65 IRHD
			≥ 200 %	66–75 IRHD
			≥ 175 %	76–85 IRHD
3	Druckverformungsrest DVR 22 h bei 70 °C Residual pressure deformation DVR 22 h at 70 °C	5.3	≤ 25 %	
4	Ozonbeständigkeit/Ozone resistance	5.4	Kein Riss/No crack	
5	Wärmealterung 168 h bei 70 °C Thermal ageing 168 h at 70 °C	5.5		
5 a	Änderung Härte/Change in hardness	5.5	– 5 % bis/to + 8 %	
5 b	Änderung Reißfestigkeit Change in crack resistance	5.5	–20 % bis/to + 10 %	
5 c	Änderung Reißdehnung Change in elongation	5.5	–30 % bis/to + 10 %	
6.1	Kraft-Weg-Verhalten Profil Load-displacement behaviour gasket	5.6.1	Maximale Rückstellkraft F_{max} (kN/m) Maximum restoring force	Bemessungswasserdruck Dimensioning water pressure
			20 ≤ F_{max} ≤ 40 30 ≤ F_{max} ≤ 55 40 ≤ F_{max} ≤ 70 60 ≤ F_{max} ≤ 90	bei ≤ 2 bar bei ≤ 4 bar bei ≤ 6 bar bei ≤ 12 bar
6.2	Kraft-Weg-Verhalten Rahmen-Ecke (Verhärtung) Load-displacement behaviour frame corner (hardening)	5.6.2	Anforderung wird später festgelegt, wenn mehr Erfahrungen mit Prüfung Nr. 10 vorliegen Demand will be determined later after more findings are available from test No. 10	
7	Spannungsrelaxation 3 Monate bei 70 °C Stress relaxation	5.7	≤ 45 % Spannungsabfall ≤ 45 % stress loss	
8	Rückstellfähigkeit bei 20 °C Restorative capacity at 20 °C	5.8	≥ 80 %	
9	Dichtigkeitsversuche Tightness tests	5.9	Dicht Tight	
10	Abplatzversuch an Betonkörpern Spalling test on test pieces	5.10	Keine Abplatzungen oder Risse No spalling or cracks	

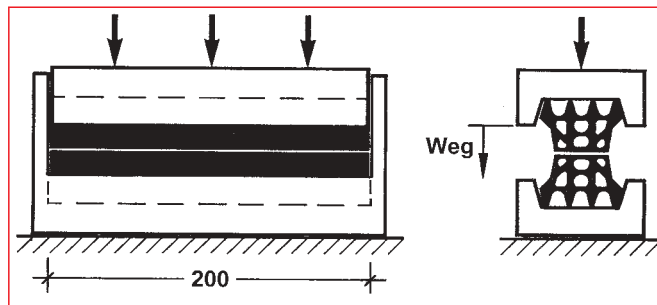
stark, dann ist dies in der Regel ein Hinweis auf unvollständige Vulkanisation. Es kann aber auch auf eine unerwünschte Übervulkanisation oder auf ein ungenügendes Vulkanisationssystem in der Gummimischung hindeuten.

Das Kraft-Weg-Verhalten des Dichtungsprofils ist insbesondere beim vollständigen Zusammenpressen der Profile bis auf den minimalen Nutgrundabstand zu betrachten, da mit der Rückstellkraft die Herausziehkraft von Steckdübeln bzw. die Zugkräfte für Verbindungsschrauben näherungsweise abgeschätzt werden können. Bei zu hohen Rückstellkräften besteht die Gefahr, dass es zu Betonabplatzungen im Bereich der Nutflanken kommen kann.

Das Kraft-Weg-Verhalten der Rahmenecke ist ebenfalls zu beachten. Die Ausbildung der Rahmenecke kann wegen einer Volumenkonzentration örtlich an den Betonnutflanken zu Spannungsspitzen im Beton und damit im Extremfall zu Abplatzungen im Bereich der Nutflanken führen.

Die Spannungsrelaxations-Untersuchung zeigt auf, wie die Spannung im Dichtungssystem bei fest eingestelltem Einbauspalt im Laufe der Zeit langfristig abnimmt. Der Verlust an Spannung ist zu Anfang relativ hoch und verlangsamt sich im Laufe der Zeit. Im gleichen Maße verringert sich auch die anfängliche Wasserdichtigkeit des Dichtungssystems.

Die Rückstellfähigkeit zeigt, wie weit sich ein auf wenige Millimeter Spaltweite zusammengedrücktes Dichtungsprofil innerhalb von einer Stunde wieder auf seine unbelastete Ausgangshöhe zurückholt. Im Gegensatz zum Druckverformungsrest wird der Geometrieinfluss des Dichtungsprofils voll erfasst.



5 Prüfeinrichtung „Kraft-Weg-Verhalten des Dichtungsprofils“

5 Test device “load-displacement behaviour of the sealing gasket”

In den Dichtigkeitsversuchen wird die Gesamtkonstruktion des Dichtungsrahmens in der ungünstigsten Kombination von Spalten und Versätzen im T-Stoß beziehungsweise Kreuzstoß (falls planmäßig vorhanden) geprüft.

Mit Abplatzversuchen an Stahlbetonprobekörpern mit Dichtungsprofilen in zugehörigen Nuten lassen sich die maximal zulässigen Rückstellkräfte des Profils bzw. der Rahmenecke als Funktion der Scherfestigkeit der Betonkonstruktion und des Fugendesigns

The ozone resistance provides important information pertaining to the behaviour of the elongated rubber given the effect of the sun's rays as well as in the proximity of ozone sources. Sealing gaskets made of EPDM can be said to be ozone resistant.

Thermal ageing of the rubber is accelerated by high temperatures. If the properties hardness, crack resistance and elongation at break change too excessively then this generally can be accounted for by incomplete vulcanisation although it can

also point to undesired overvulcanisation or to an insufficient vulcanisation system in the rubber mixture.

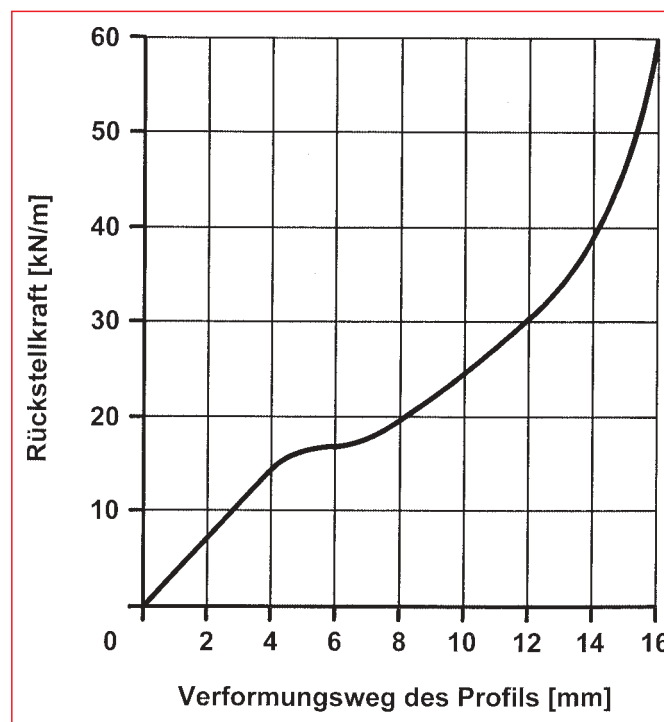
The load-displacement behaviour of the sealing gasket has to be considered right down to the minimum groove basic gap especially when the gaskets are pressed completely together, as the pull-out forces of push-fit plugs or the tensile force of connecting screws can be approximately estimated through the restoring force. There is the danger should the restoring forces be too high that concrete spalls in the vicinity of the groove flanks.

The load-displacement behaviour of the frame corner must also be monitored. The form of the frame corner can lead to stress peaks in the concrete owing to volume concentration on the concrete groove flanks and in turn, to possible spalling in the vicinity of the groove flanks.

The stress relaxation investigation displays how the stress in the sealing system gradually decreases in the long term in the case of a firmly adjusted installation gap. The loss of stress is relatively high at first and slows down in the course of time. The initial water tightness of the sealing system also diminishes to the same degree.

The restorative capacity shows to what extent a sealing gasket that is compressed to form a gap width of only a few millimetres regains its unloaded starting height within an hour. In contrast to the residual pressure deformations the geometrical influence of the sealing gasket is completely registered.

During the tightness tests, the overall construction of the sealing frame is tested with the most unfavourable combination of gaps and misalignments in the T-joint or cross joint (providing it is scheduled to be present).



6 Kraft-Weg-Diagramm

6 Load-displacement diagram

(Nuttiefe, Randabstand der Nut usw.) projektspezifisch ermitteln.

5 Prüfungen

Die Prüfungen sind an den Dichtungsprofilen bzw. Rahmenecken bzw. Dichtungsrahmen durchzuführen. In den Prüfungen müssen Dichtungsprofile verwendet werden, die mit ihren Abmessungen innerhalb der Fertigungstoleranzen liegen.

Nur wenn eine Probengewinnung aus dem Profil nicht möglich ist, können Prüfungen an pressvulkanisierten Platten zu Grunde gelegt werden.

5.1 Härte

Die Härte wird nach dem Mikro-Prüfverfahren nach ISO 48 bestimmt.

5.2 Reißfestigkeit und Reißdehnung

Reißfestigkeit und Reißdehnung werden nach ISO 37 geprüft. Normstäbe der Typen 1, 2 oder 3 nach ISO 37 sind zulässig, jedoch ist Typ 2 zu bevorzugen. Im Prüfbericht muss der Typ des Normstabes angegeben sein.

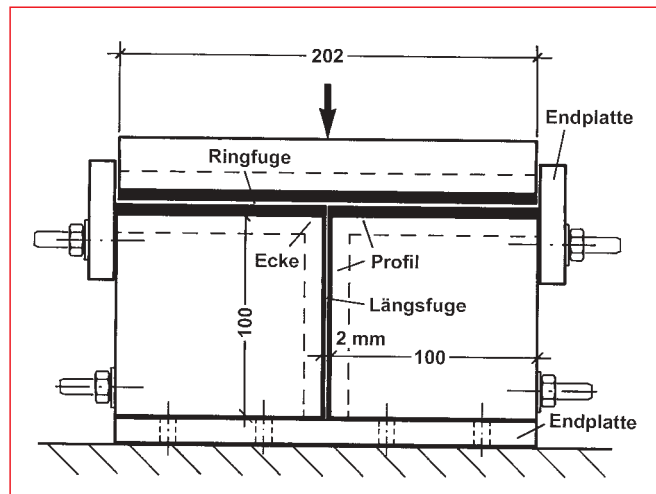
5.3 Druckverformungsrest

Wenn die Prüfkörper aus dem Profil entnommen werden, müssen die Messungen so weit wie möglich so durchgeführt werden, dass sie der Richtung der Kompression des Profils entsprechen. Sind die Profile für die Entnahme von Prüfkörpern zu klein, kann der Versuch an Versuchsplatten aus der gleichen Elastomer-Mischungscharge durchgeführt werden.

Der Druckverformungsrest wird nach ISO 815 mit dem kleinen Prüfkörper bei folgenden Bedingungen geprüft: 22 Stunden bei 70 °C.

5.4 Ozonbeständigkeit

Die Ozonbeständigkeitsprüfung wird an Plattenmaterial



7 Prüfeinrichtung „Kraft-Weg-Verhalten an der Rahmenecke“

7 Test device "load-displacement behaviour at the frame corner"

durchgeführt. Die Ergebnisse sind dann für alle Profile aus derselben Mischung gültig. Die Ozonprüfung entfällt für EPDM.

Die Ozonbeständigkeit wird nach ISO 1431-1 bei folgenden Bedingungen geprüft:

Ozonkonzentration	50 ± 5 pphm
Temperatur	40 ± 2 °C
Vorspannung (Konditionierung)	$72 +0/-2$ h
Einwirkzeit	$48 +0/-2$ h
Dehnung bei IRHD-Härte 36 bis 75 IRHD	20 ± 2 %
Dehnung bei IRHD Härte 76 bis 85 IRHD	15 ± 2 %
Relative Luftfeuchte	55 ± 5 %

5.5 Wärmealterung

Die Proben zur Bestimmung der Härte, Reißfestigkeit und Reißdehnung werden in einem Wärmeschrank nach ISO 188 bei folgenden Bedingungen in Luft gealtert: 168 Stunden bei 70 °C.

Danach erfolgen die Bestimmung der Härte nach ISO 48 und die Prüfung der Reißfestigkeit und Reißdehnung nach ISO 37.

The maximum permissible restoring forces of the gasket or the frame corner as function of the shear strength of the concrete structure and the joint design (groove depth, edge gap of the groove etc.) can be determined for a specific project through carrying out spalling tests on reinforced concrete bodies with sealing gaskets in the relevant grooves.

5 Tests

The tests should be undertaken on the sealing gaskets, frame corners or sealing frames. Sealing gaskets must be used in the tests, which possess dimensions within the production tolerances (please see Section 7.8 [3]).

Tests on pressed vulcanised slabs can be applied if it is not possible to obtain samples from the gasket itself.

5.1 Hardness

The hardness is determined according to the ISO 48 micro-testing method.

5.2 Crack Resistance and Elongation at Break

The crack resistance and elongation at break are tested in

accordance with ISO 37. Standard test pieces of Types 1, 2 and 3 according to ISO 37 are permissible, although Type 2 is preferable. The type of standard test piece used must be contained in the test report.

5.3 Residual Pressure Deformations

If the test sample has to be taken from the gasket then the measurements must be undertaken as far as possible in such a way that they correspond to the gasket's direction of compression. Should the gaskets be too small to allow samples to be taken, then the test can be executed using test pieces from the same elastomer mixture batch.

The residual pressure deformations are tested according to ISO 815 using a small test sample given the following conditions: 22 h at 70 °C.

5.4 Ozone Resistance

The ozone resistance test is carried out on slab material. The results are then applicable for all gaskets made of the same mixture. The ozone test is not required for EPDM.

The ozone resistance is tested in accordance with ISO 1431-1 under the following conditions:

Ozone concentration	50 ± 5 pphm
Temperature	40 ± 2 °C
Pre-tensioning (Conditioning)	$72 +0/-2$ h
Action time	$48 +0/-2$ h
Elongation given IRHD hardness 36 to 75 IRHD	20 ± 2 %
Elongation given IRHD hardness 76 to 85 IRHD	16 ± 2 %
Relative air humidity	55 ± 5 %

5.5 Thermal Ageing

The samples for establishing the hardness, crack resist-

5.6 Kraft-Weg-Verhalten

5.6.1 Kraft-Weg-Verhalten des Dichtungsprofils

Das Zusammenpressen der Dichtungsprofile zwischen den Tübbings während der Montage des Tübbingringes wird durch einen weggesteuerten Kompressionsversuch in einer Prüfmaschine mit konstanter Geschwindigkeit von 50 mm/min bis zum vollständigen Spaltschluss (minimaler Nutgrundabstand) nachgebildet. Die Prüfung findet bei Raumtemperatur statt.

Die Prüfungen werden an 200 mm langen Prüflingen in 200 mm langen stählernen Nutformen durchgeführt, die an den Enden verschlossen sind. So wird ein Ausweichen des Prüflings in Längsrichtung vermieden (Bild 5).

Die Endverschlüsse müssen ohne Gleitmittel sein.

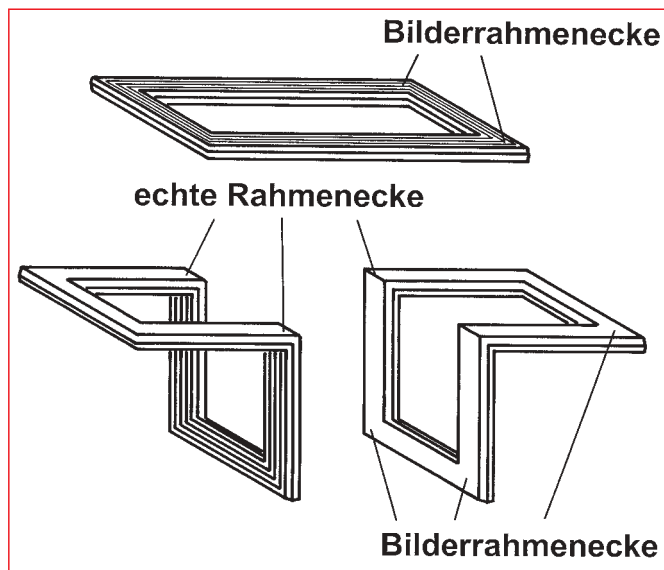
Die geometrische Nutform im Versuch muss der Betonnut im Tübbing entsprechen.

Die Prüfungen werden an Profilen ohne Versatz durchgeführt.

Es wird eine Vorlast von 100 N/200 mm Prüflänge aufgebracht. Danach wird die Prüfung bis zum vollständigen Spaltschluss (minimaler Nutgrundabstand, entspricht Stahlflächenkontakt der Nutformen) durchgeführt.

Die Ergebnisse an 200 mm langen Prüfkörpern werden durch Multiplikation mit Faktor 5 auf 1 m Profil umgerechnet und in einem Kraft-Weg-Diagramm dargestellt. Eine Darstellung der Kraft über den Spalt bzw. den Nutgrundabstand ist ebenso zulässig (Bild 6).

Sonderprüfungen, um z. B. den Temperatureinfluss insbesondere bei niedrigen Temperaturen zu ermitteln, erfordern eine Prüfmaschine mit Klimatisierungskammer und müssen speziell vereinbart werden.



8 Rahmenenecke und flache Bilderrahmenecke

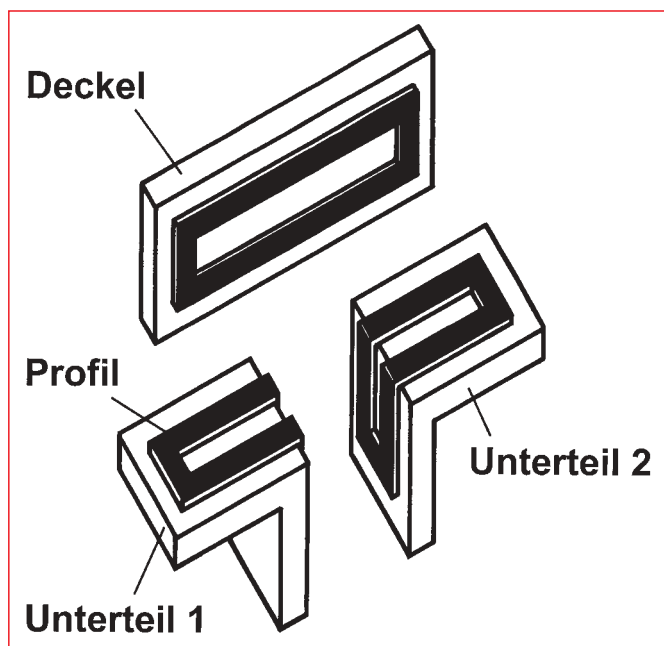
8 Frame corner and flat picture frame corner

5.6.2 Kraft-Weg-Verhalten an der Rahmenenecke

Das Zusammenpressen der Dichtungsprofile speziell im T-Stoß-Eckenbereich wird an einer T-Stoß-Prüfeinrichtung durch einen weggesteuerten Kompressionsversuch in einer Prüfmaschine mit konstanter Geschwindigkeit von 50 mm/

min und Elongation in Luft in einem Thermoschrank nachfolgenden Bedingungen: 168 h bei 70°C.

Anschließend wird die Härte nach ISO 48 und die Bruchdehnung und Bruchdehnung bei Bruch in Übereinstimmung mit ISO 37.



9 Stahlprüfform für Dichtigkeitsversuche

9 Steel test form for tightness tests

5.6 Load-Displacement Behaviour

5.6.1 Load-Displacement Behaviour of the Sealing Gasket

The compression of the sealing gasket between the segments during assembly of the segmental ring is simulated by means of a path controlled compression test in a test machine at a constant speed of 50 mm/min until the gap is completely closed (minimal groove basic gap). The test takes place at room temperature.

The tests are undertaken on 200 mm long test samples in 200 mm long steel groove forms that are closed at the ends. In this way, the test pieces are prevented from escaping in a longitudinal direction (Fig. 5).

The end closures must be without lubricants.

The geometrical groove form in the test must comply with the concrete groove of the segment.

The tests are carried out on gaskets without misalignment.

A preload of 100 N/200 mm of test length is applied. Subsequently, the test is executed until the gap is completely closed (minimum groove basic gap, corresponding to steel surface contact of the groove forms).

The results obtained on the 200 mm long test pieces are worked out for a metre of gasket by multiplying by the factor 5 and presented in a load-displacement diagram. A presentation of the force via the gap or the groove basic gap is also permissible (Fig. 6).

Special tests e.g. in order to establish the influence of temperature especially given low temperatures, require a test machine with air-conditioning chamber and have to be specially arranged for.

5.6.2 Load-Displacement Behaviour at the Frame Corner

The compression of the sealing gasket in the T-joint corner

min bis zum vollständigen Spaltschluss (minimaler Nutgrundabstand) nachgebildet. Die geometrische Nutform im Versuch muss der Betonnut im Tübbing entsprechen.

Hierzu werden zwei Stahlplatten mit Nutausbildung über zwei Seiten (Bild 7) benutzt, in die die Eckprüfstücke mit je 100 mm Schenkellänge eingelegt und dann im Bereich der Längsfuge (100 mm Länge mit Endverschluss) gegeneinander bis zu einem Spalt von 2 mm zusammengeschraubt werden. Damit ist die Längsfuge nachgebildet. Die Endverschlüsse sind dabei ohne Gleitmittel.

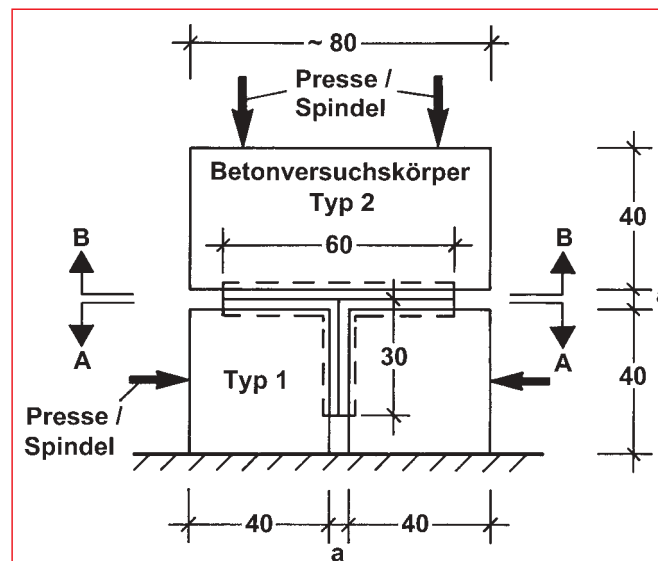
Durch das Zusammenschrauben der Längsfuge auf eine Spaltweite von 2 mm werden die freien Rahmenecken etwas herausgepresst.

Im Bereich der Ringfuge sind die Profilenen der 100 mm langen Schenkel durch Endplatten am Ausweichen in Längsrichtung gehindert. Ein 202 mm langer Profilabschnitt wird in eine Stahlform eingelegt, die eine entsprechende Nut zur Aufnahme des Profils besitzt. Dieses in der Stahlform liegende Profil wird gegen die Profileckstücke mit konstanter Geschwindigkeit von 50 mm/min bis zum vollständigen Spaltschluss zusammengeschraubt. Hierbei werden die Reaktionskräfte in der Ringfuge gemessen (Bild 7).

5.7 Spannungs-Relaxations-Untersuchungen

Die Spannungsrelaxation wird über 3 Monate bei 70 °C an 100 mm langen Profilabschnitten in 100 mm langen, stählernen Nutformen mit Endverschluss durchgeführt. Die geometrische Nutform im Versuch muss der Betonnut im Tübbing entsprechen.

Der einzustellende Prüfspalt entspricht 30 % der Differenz aus der Summe der



10 a Betonprüfkörper für den Abplatzversuch (Seitenansicht)

10 a Concrete test piece for the spalling test (side view)

Nennhöhen der beiden unkomprimierten Profile (2H) und der beiden zugehörigen Nuttiefen (2t) in den Stahlformen (Prüfspalt = $0,3 \times (2H - 2t)$). Es wird ohne Versatz geprüft.

Die Prüfung wird an einem Prüfkörper in Anlehnung an ISO 3384 mit dem Prüfverfahren B mit mechanischer und thermischer Konditionierung vorgenommen. Es werden jeweils die Kräfte gemessen, die nötig sind, um den Prüfling um 5/10 mm zusammenzudrücken.

Als Nullwert gilt der Wert bei Raumtemperatur nach 60 Minuten. Weiterhin werden Messungen nach 3 Stunden, 1 Tag, 3 Tagen und 7 Tagen sowie nach 30 Tagen und 90 Tagen durchgeführt. Nach Entnahme der Prüflinge aus dem Ofen werden diese 2 Stunden bei Raumtemperatur gelagert.

In einem Diagramm mit logarithmischer Zeitskala wird durch eine Regressionsanalyse eine Gerade ermittelt und die Verringerung der Spannung nach 90 Tagen abgelesen.

5.8 Rückstellfähigkeit

Die Prüfung der Rückstellfähigkeit wird an 200 mm lan-

gen gasketed T-joint test device mit einer steuerungsfähigen Kompressionsprüfung in einer Testmaschine mit einer konstanten Geschwindigkeit von 50 mm/min bis zum vollständigen Spaltschluss (minimale Nutgrundabstand). Die geometrische Nutform im Versuch muss der Betonnut im Tübbing entsprechen.

Towards this end, 2 steel plates with grooves on 2 sides are used (Fig. 7), in which the corner test pieces each with a shank length of 100 mm are installed and then screwed together at the longitudinal gap (100 mm long with final closure) until a 2 mm gap is left. In this way, the longitudinal joint is reproduced. The final closures are without lubricants.

Through screwing together the longitudinal joint to attain a 2 mm gap width, the free frame corners are pressed outwards to a certain extent.

At the annular joint, the gasket ends of the 100 mm long shank are prevented from moving in a longitudinal direction by means of end plates. A 202 mm long gasket section is placed in a steel form, which possesses a corresponding groove for accepting it. This gas-

ket that is lying in the steel form is pressed up against the gasket corner pieces at a constant speed of 50 mm/min until the gap is completely closed. In this connection, the reaction forces in the annular joint are measured (Fig. 7).

5.7 Stress Relaxation Investigations

Stress relaxation is undertaken over a 3-month period at 70 °C with 100 mm long gasket sections in 100 mm long, steel groove forms with final closure. The geometrical groove form in the test must comply with the concrete groove in the segment.

The selected test gap corresponds to 30 % of the difference between the sum of the nominal heights of the 2 uncompressed gaskets (2H) and the 2 related groove depths (2t) in the steel forms (test gap = $0.3 \times (2H - 2t)$). The test is undertaken without misalignment.

The test is executed using a test piece in conjunction with ISO 3384 applying test method B using mechanical and thermal conditioning. In each case, the forces required to compress the test piece by 5/10th of a mm are measured.

The value at room temperature after 60 min is taken as zero. Furthermore, measurements are taken after 3 h, 1 day, 3 days and 7 days as well as after 30 days and 90 days. After the test pieces are removed from the oven, they are stored for 2 h at room temperature.

A straight line is established through regression analysis in a diagram with a logarithmic time scale and the reduction of stress after 90 days read off.

5.8 Restorative Capacity

The restorative capacity test is undertaken on 200 mm long test samples in 200 mm long steel groove forms, which are closed at the ends so that the

gen Prüflingen in 200 mm langen stählernen Nutformen durchgeführt, die an den Enden verschlossen sind, um so ein Ausweichen des Prüflings in Längsrichtung zu vermeiden.

Das Profilpaar wird dann ohne Versatz auf eine Spaltweite von 2 mm zusammengepresst.

Dann wird der Prüfkörper 72 Stunden bei 20 °C gelagert, danach aus den Klemmen gelöst und in entspanntem Zustand 1 Stunde bei 20 °C gelagert. Anschließend wird die Profilhöhe gemessen.

Die Rückstellfähigkeit wird dann wie folgt berechnet:

$$\text{Rückstellfähigkeit (\%)} = \frac{\text{Profilhöhe nach Rückstellung}}{\text{Profilhöhe vor Belastung}} \times 100$$

5.9 Dichtigkeitsversuche

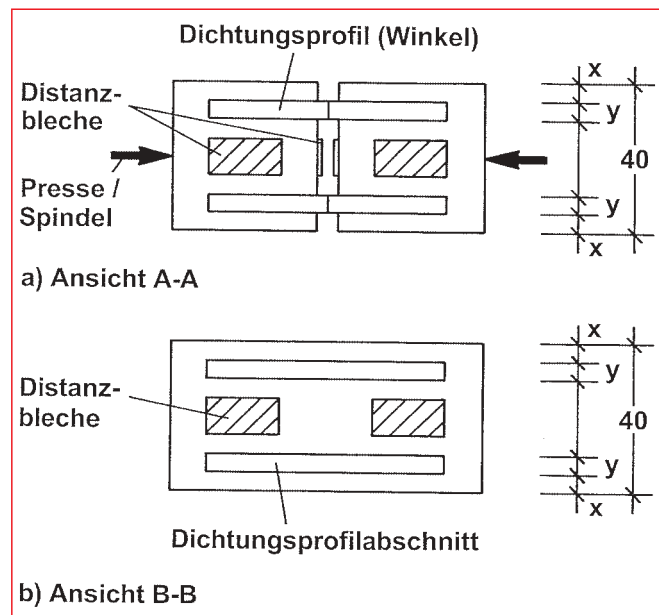
Die Standardprüfung wird mit schrittweise kleiner werdendem Fugenspalt durchgeführt (d. h. mit geringer werdendem Nutgrundabstand). Prüfungen mit Spaltöffnungen für Sonderfälle des Tunnelbaus sind gesondert zu vereinbaren.

Der Standardversuch ist als Kurzzeitversuch zu bewerten, da Relaxationseinflüsse nicht erfasst werden.

Es müssen mindestens zwei Dichtigkeitsversuche mit gleichen Parametern durchgeführt werden. Der kleinere der in den Dichtigkeitsversuchen ermittelten aufnehmbaren Wasserdrücke ist maßgebend für die Bewertung.

■ Prüfung am T-Stoß

Die Prüfungen sind an Stahlprüfformen (Bild 9) oder an Betonprüfkörpern (insbesondere bei Dichtungen mit Verankerungsfüßen) durchzuführen, die einen T-Stoß nachbilden. Die Prüfvorrichtung besteht aus zwei Winkelteilen und einem Deckel, die entsprechende Nutausbildungen haben, in die die Prüfrahen ein-



10 b Betonprüfkörper für den Abplatzversuch (Ansichten)

10 b Concrete test piece for the spalling test (plan views)

gelegt sind (nicht geklebt). Es kommen damit 4 echte Rahmenecken zur Prüfung. Die 12 flachen Bilderrahmenecken, die in der Tübbingauskleidung nicht vorkommen, gehören nicht zum Prüfbereich (Bilder 8 und 9).

Für das Einrichten der Versatzsituation bei der T-Stoß-Prüfung ist nur eines der beiden Winklelemente gegen das andere und den Deckel gleichermaßen zu verschieben.

■ Prüfung am Kreuzstoß

Die Prüfungen sind an Stahlprüfformen oder an Betonprüfkörpern (insbesondere bei Dichtungen mit Verankerungsfüßen) durchzuführen, die einen Kreuzstoß nachbilden. Die Prüfvorrichtung besteht aus vier Winkelteilen, die entsprechende Nutausbildungen haben, in die die Prüfrahen eingelegt sind (nicht eingeklebt). Es kommen damit 8 echte Rahmenecken zur Prüfung. Die 16 flachen Bilderrahmenecken, die in der Tübbingauskleidung nicht vorkommen, gehören nicht zum Prüfumfang.

Für das Einrichten der Versatzsituation bei der Kreuz-

test object cannot move in a longitudinal direction.

The pair of gaskets can then be pressed together without misalignment to form a 2 mm gap width.

The test object is then stored for 72 h at 20° C, then released from the clamps and stored in a relaxed state for 1 h at 20° C. The gasket height is subsequently measured.

The restorative capacity is then worked out as follows:

$$\text{Restorative capacity (\%)} = \frac{\text{gasket height after restoration}}{\text{gasket height to load}} \times 100$$

5.9 Tightness Tests

The standard test is undertaken with a joint width that gradually becomes smaller (i.e. with ever less groove basic gap). Tests with gap openings for special cases in tunnelling have to be agreed on individually.

At least 2 tightness tests with the same parameters must be carried out. The lesser of the acceptable water pressures established in the tightness tests is determining for the evaluation.

■ T-Joint Test

Such tests are undertaken with steel test forms (Fig. 9) or concrete test forms (especially for seals with anchored base), which simulate a T-joint. The test device consists of 2 angled pieces and a cover with the appropriate groove recesses, in which the test frames are laid (not adhered). In this way, 4 actual frame corners can be examined. The 12 flat "picture frame corners", which are not present in the segmental lining, are not included in the test (Figs. 8 + 9).

In order to establish misalignment for the T-joint test, it is only necessary to displace one of the 2 angled pieces against the other and move the cover to the same degree.

■ Cross-Joint Test

Such tests are undertaken with steel test forms or concrete test forms (especially for seals with anchored base), which simulate a cross-joint. The test device consists of angled pieces with the appropriate groove recesses, in which the test frames are laid (not adhered). In this way, 8 actual frame corners are tested. The 16 flat "picture frame corners", which are not present in the segmental lining, are not included in the test.

In order to establish misalignment for the cross-joint test, it is only necessary to displace one of the angled pieces against the other three.

■ Test Arrangement

The gasket sections between the frame and the flat picture frame corners should be at least 100 mm long. All the sealing frames used are loosely installed in the grooves of the testing device.

Additional sealing measures are permissible in the vicinity of the flat picture frame corners, as these sectors are very difficult to seal. These additional measures should not be allowed to falsify the test result as far as the real frame corners are concerned.

stoß-Prüfung ist nur ein einziges Winkelement gegen die restlichen drei Winkelemente zu verschieben.

■ Versuchsanordnung

Die Profilabschnitte zwischen den Rahmen- und den flachen Bilderrahmenecken sollen jeweils mindestens 100 mm lang sein. Alle verwendeten Dichtungsrahmen werden lose in die Nuten der Prüfvorrichtung eingelegt.

Im Bereich der flachen Bilderrahmenecken sind zusätzliche Abdichtungsmaßnahmen zulässig, da diese Bereiche nur schwierig abgedichtet werden können. Diese Zusatzmaßnahmen dürfen das Prüfergebnis im Bereich der echten Rahmenecken nicht verfälschen.

Die geometrische Nutform im Versuch muss der Nutform im Tübbing entsprechen. Die Prüfung findet bei Raumtemperatur statt.

Es sind alle relevanten Versatzmaße nacheinander einzustellen und zu prüfen, um auch den Einfluss der inneren Profilstruktur erfassen zu können. Je Versatzsituation (0, 5, 10, 15, evtl. 20 mm) werden fabriktneue Dichtungsrahmen eingesetzt.

Für einen konstanten Versatzwert werden die verschiedenen Nutgrundabstände mit ein und demselben Dichtungsrahmensatz geprüft. Hierbei ist die Versuchsreihe mit dem größten Versatzmaß zu beginnen. Nach der Montage ist der Versuch zügig zu starten, um Verluste aus Relaxation zu vermeiden.

■ Versuchsdurchführung

Zu Beginn des Versuches werden das jeweilige Versatzmaß und der Nutgrundabstand auf $0,9 \times 2H$ (Profilkompression 10 %) in der Längsfuge und in der Ringfuge eingestellt. Die innere Kammer, gebildet durch die aufeinander gepressten Dichtungsrahmen, wird mit Wasser gefüllt und

entlüftet. Anschließend wird der Wasserdruck auf 1 bar eingestellt. Dieser Druck soll bei Stahlprüfkörpern 5 Minuten gehalten werden. Tritt innerhalb der 5 Minuten keine Leckage auf, dann wird der Druck um 1 bar gesteigert und wieder 5 Minuten gehalten. Dies wird so fortgesetzt, bis eine Leckage auftritt bzw. der für das jeweilige Projekt festgelegte Wasserprüfdruck erreicht ist. Beim Einsatz von Betonprüfkörpern beträgt die Wasserdruckbelastungszeit je Druckstufe 30 Minuten. Als „dicht“ wird dann die höchste Druckstufe ohne Leckage notiert.

Vor der Verringerung des Nutgrundabstandes wird der Wasserdruck wieder auf null bar abgesenkt. Die Nutgrundabstände werden dann in der

The geometrical groove form in the test must correspond to the groove form in the segment. The test takes place at room temperature.

All relevant misalignment dimensions have to be employed one after the other and tested in order to ascertain the influence of the inner gasket structure as well. Depending on the degree of misalignment (0,5, 10, 15 possibly 20 mm) sealing frames that have come straight from the factory are used.

The various groove basic gaps are tested with exactly the same set of sealing frames in order to attain a constant misalignment value. Towards this end, the series of tests has to start with the greatest misalignment size. After assembly, the test should progress quickly in order to avoid any losses result-

ing from relaxation.

■ Executing the Test

At the beginning of the test the given misalignment size and the groove basic gap are set at $0,9 \times 2H$ (gasket compression 10 %) in the longitudinal joint and in the annular joint. The inner chamber, formed by the sealing frames pressed against each other, is filled with water and the air expelled. Then the water pressure is set at 1 bar. This pressure should be retained for 5 min in the case of steel test pieces. Should no leakage occur within 5 min, then the pressure is increased by 1 bar and retained for a further 5 min. This process is continued until a leakage occurs or until the water test pressure that applies for the project in hand is arrived at. When concrete test pieces are applied,

Tabelle 2: Eignungsprüfung

Table 2: Suitability test

Nr. No.	Art der Prüfung Nature of test	Prüfung nach Abschnitt 5 Test after Section 5	am Profil On Gasket	an der Rahmenecke On Frame Corner	am Rahmen On Frame
1	Härte IRHD/Hardness IRHD	5.1	X	X	
2 a	Reißfestigkeit/Crack resistance	5.2	X		
2 b	Reißdehnung/Elongation	5.2	X		
3	Druckverformungsrest DVR 22 h, 70 °C Residual pressure deformation DVR 22 h, 70 °C	5.3	X	X	
4	Ozonbeständigkeit/Ozone resistance	5.4	X		
5	Wärmealterung 168 h, 70 °C Thermal ageing 168 h, 70 °C	5.5	X		
5 a	Änderung Härte/Change in hardness	5.5	X		
5 b	Änderung Reißfestigkeit Change in crack resistance	5.5	X		
5 c	Änderung Reißdehnung Change in elongation	5.5	X		
6.1	Kraft-Weg-Verhalten Profil Load-displacement behaviour gasket	5.6.1	X		
6.2	Kraft-Weg-Verhalten Rahmenecke (Verhärtung)/Load-displacement behaviour frame corner (hardening)	5.6.2		X	
7	Spannungsrelaxation 3 Monate bei 70 °C Stress relaxation 3 months at 70 °C	5.7	X		
8	Rückstellfähigkeit bei 20 °C Restorative capacity at 20 °C	5.8	X		
9	Dichtigkeitsversuch Standard (Spaltverschluss) Tightness test – standard (gap closure)	5.9			X
10	Abplatzversuch/Spalling test	5.10		X	

Längsfuge und in der Ringfuge um 1 mm verringert und der Wasserdruck, beginnend mit der erreichten Druckstufe des vorherigen Nutgrundabstandes, wieder in Stufen bis zur Leckage gesteigert. Die Nutgrundabstände werden schrittweise weiter verringert, bis das Dichtungsprofil gegen den geforderten maximalen Wasserprüfdruck abdichtet.

Der maßgebliche Wasserprüfdruck ist mindestens 24 Stunden ohne Leckage zu halten.

Bei Versuchen mit Spaltöffnung (d. h. mit größer werdendem Nutgrundabstand) wird analog geprüft, mit Spaltöffnung in 1-mm-Schritten.

■ Darstellung der Ergebnisse

Die Ergebnisse werden in einem Dichtigkeits-Weg-Dia-

gramm als Funktion des Versatzmaßes dargestellt. Eine Darstellung der Dichtheit über den Spalt bzw. den Nutgrundabstand ist ebenso zulässig.

Alternativ können die Versuchsergebnisse auch in einer Tabelle aufgelistet werden.

5.10 Abplatzversuch

5.10.1 Allgemeines

Vor der Herstellung der Tübbings sind Abplatzversuche durchzuführen, um zu überprüfen, ob die Rückstellkräfte der ausgewählten Dichtungsrahmen durch die Betonkonstruktion des Tübbings aufgenommen werden können.

Im Abplatzversuch müssen Betonversuchskörper mit einem T-Fugen-Stoß bzw. Kreuzfugenstoß eingesetzt werden,

the water pressure load time amounts to 30 min per pressure stage. The highest pressure stage without leakage is registered as being "tight".

Prior to the reduction of the groove basic gap the water pressure is again lowered to zero bar. The groove basic gaps are then reduced by 1 mm in the longitudinal joint and in the annular joint and the water pressure is again raised, starting with the pressure stage attained for the previous groove basic gap until leakage occurs. The groove basic gaps are again reduced step-by-step until the sealing gasket seals against the required maximum water pressure.

The determining water test pressure must be retained for at least 24 h without leakage.

In the case of tests with gap opening (i.e. with ever greater groove basic gap) tests are undertaken analogously with gap openings in 1 mm steps.

■ Presentation of the Results

The results are shown in a tightness path diagram as function of the size of misalignment. A presentation of the tightness via the gap or the groove basic gap is equally permissible.

Alternatively the test results can be listed in tabular form.

5.10 Spalling Test

5.10.1 General

Prior the production of the segments spalling tests should be carried out in order to establish whether the restoring forces of the selected sealing frames can be accepted by the concrete construction of the segments.

For the spalling test, concrete test pieces with a T-joint butt or cross joint butt must be employed in order to assess these unfavourable areas with the highest restoring forces of the sealing frames. The concrete test pieces should consist of the same concrete recipe as the segments that are scheduled to be produced. However, should the concrete recipe still be unknown at the time of the test, another recipe corresponding to concrete strength class C 35/45 can be applied. The actual concrete compressive strength of the concrete test pieces should be tested in the form of sample cubes or cylinders and should be taken into consideration for the assessment of the spalling tests.

Should there be practical findings or test results available pertaining to the spalling behaviour of the selected sealing gasket, these recognitions can be referred to. Then there is no need to carry out a further spalling test.

Tabelle 3:Werkseigene Produktionskontrolle und Fremdüberwachung

Table 3:Production control at factory and third party quality monitoring

Nr.	Art der Prüfung	Prüfung nach Abschnitt 5	Produktionskontrolle 1 x täglich	Produktionskontrolle 1 x wöchentlich	Fremdüberwachung 1 x jährlich
1	Härte IRHD/Hardness IRHD	5.1	X		X
2 a	Reißfestigkeit/Crack resistance	5.2	X		X
2 b	Reißdehnung/Elongation	5.2	X		X
3	Druckverformungsrest DVR 22 h, 70 °C Residual pressure deformation DVR 22 h, 70° C	5.3	X		
4	Ozonbeständigkeit Ozone resistance	5.4			
5	Wärmealterung 168 h, 70 °C Thermal ageing 168 h, 70° C	5.5			X
5 a	Änderung Härte/Change in hardness	5.5			X
5 b	Änderung Reißfestigkeit Change in crack resistance	5.5			X
5 c	Änderung Reißdehnung Change in elongation	5.5			X
6.1	Kraft-Weg-Verhalten Profil Load-displacement behaviour gasket	5.6.1		X	X
6.2	Kraft-Weg-Verhalten Rahmenecke (Verhärtung) Load-displacement behaviour frame corner (hardening)	5.6.2			
7	Spannungsrelaxation 3 Monate 70 °C Stress relaxation 3 months at 70° C	5.7			
8	Rückstellfähigkeit bei 20 °C Restorative capacity at 20° C	5.8		X	X
9	Dichtigkeitsversuch Tightness test - standard (gap closure)	5.9			
10	Abplatzversuch/Spalling test	5.10			

um diese konstruktiv ungünstigen Bereiche mit den höchsten Rückstellkräften der Dichtungsrahmen zu erfassen. Die Betonversuchskörper sollten aus der gleichen Betonrezeptur bestehen wie die später zu produzierenden Tüblings. Falls jedoch die Betonrezeptur zum Prüfzeitpunkt noch nicht bekannt ist, kann eine andere Rezeptur, die der Betonfestigkeitsklasse C 35/45 entspricht, verwendet werden. Die tatsächliche Betondruckfestigkeit der Betonversuchskörper ist durch Probewürfel/-zylinder zu überprüfen und bei der Auswertung der Abplatzversuche zu berücksichtigen.

Falls über das Abplatzverhalten des gewählten Dichtungsprofils bereits praktische Erfahrungen oder Versuchsergebnisse vorliegen, kann auf diese Erkenntnisse zurückgegriffen werden. Ein erneuter Abplatzversuch kann dann entfallen.

5.10.2 Versuchsbeschreibung

Im Versuch wird der für das Abplatzverhalten als besonders kritisch angesehene T-Fugen-Bereich geprüft. Die verwendeten Stahlbetonprobekörper besitzen Nuten zur Aufnahme der Profilabschnitte. Die Nutgeometrie in den Probekörpern muss der Nutgeometrie der späteren Tüblings

entsprechen. Der Nutbereich ist konstruktiv (Betonfestigkeit, Kammbewehrung usw.) wie der entsprechende Originaltübbing des Tunnels auszubilden.

Die äußeren Abmessungen der unteren beiden Betonversuchskörper (Typ 1) betragen Länge x Breite x Höhe = 40 cm x 40 cm x 40 cm, die des oberen Betonversuchskörpers (Typ 2) 80 cm x 40 cm x 40 cm (Bild 10). Für den Fall, dass beim Tübbingdesign Kreuzfugen vorgesehen sind, muss der obere Probekörper durch zwei Probekörper vom Typ 1 ersetzt werden.

In den Nuten der beiden unteren Betonversuchskörper (Typ 1) werden je zwei Dichtungsrahmenecken mit jeweils ca. 30 cm Schenkellänge eingeklebt. Der obere Betonversuchskörper (Typ 2) wird mit zwei etwa 60 cm langen Dichtungsprofilabschnitten versehen (Bild 10).

Die Verformung des Dichtungsprofils in Längsrichtung der Nut ist durch geeignete Maßnahmen (Verschluss der Nutenden, z. B. durch Beton) zu verhindern. Die drei Stahlbetonversuchskörper werden so aufgebaut, dass die mit Dichtungsprofilen versehenen Seiten eine T-Fuge bilden (Bild 10). Die Fugenspaltweite im Versuch muss 2 mm kleiner als die planmäßig vorgesehene Fu-

5.10.2 Test Description

In the test, the T-joint area, which is regarded as being especially critical, is examined. The reinforced concrete test pieces that are used possess grooves to house the gasket sections. The groove geometry in the test pieces has to correspond with the groove geometry of the subsequent segments. The groove area should be set up (concrete strength, comb-tooth reinforcement etc.) to correspond with the original segments for the tunnel.

The external dimensions of the lower 2 concrete test pieces (Type 1) amount to 40 x 40 x 40 cm in terms of length, width and height, those of the upper concrete test piece (Type 2) 80 x 40 x 40 cm (Fig. 10). Should cross joints be foreseen as far as the segmental design is concerned, the upper test piece has to be replaced by 2 Type 1 test pieces.

In each case, 2 sealing frame corners with a shank length of some 30 cm are adhered in the grooves of the 2 lower concrete test pieces (Type 1). The upper concrete test piece (Type 2) is provided with 2 roughly 60 cm long sealing gasket sections (Fig. 10).

The deformation of the sealing gasket in the groove's longitudinal direction must be prevented by means of suitable measures (closure of the groove

ends e.g. with concrete). The 3 reinforced concrete test pieces are set up in such a manner that the sides provided with sealing gaskets form a T-joint (Fig. 10). The joint gap width in the test has to be 2 mm smaller than the scheduled joint gap width when the segments are subsequently installed to be able to take application-technical tolerances into consideration during the test. The same procedure should be adopted for the segmental design with cross joints.

5.10.3 Executing the Test

In the test, the vertical joint between the 2 lower test pieces is first closed. The minimum groove gap is in this case restricted by the spacer plates that were adhered in position.

After the vertical joint gap width has been adjusted, it is then the turn of the upper test piece and the horizontal joint gap is reduced to such an extent until the minimum groove basic gap is attained here as well.

The spalling test is a success providing that no damage to the concrete (e.g. cracks or spalling) occurs during a load period of 30 min given the minimum groove basic gaps.

The same procedure should be adopted for the segmental design with cross joints.

Es wird gebeten, die nachfolgend abgedruckte Prüfempfehlung kritisch durchzusehen und Anregungen zur Überarbeitung der Prüfempfehlung an folgende Adresse zu schicken:
 STUVAtec GmbH, Köln
 z. H. Herrn Dr. Schreyer
 Mathias-Brüggen-Straße 41
 50827 Köln
 Telefon: 02 21/5 97 95 14
 Fax: 02 21/5 97 95 50
 E-Mail: Jschreyer@aol.com
 Der Ausschuss wird alle eingehenden Hinweise beraten und die Prüfempfehlung zu gegebener Zeit entsprechend überarbeiten und der Fachwelt nachfolgend eine aktualisierte Prüfempfehlung vorlegen.

You are requested to read through the following test recommendations critically. Please send suggestions for revising these recommendations to the following address:
 STUVAtec GmbH, Köln
 z. H. Herrn Dr. Schreyer
 Mathias-Brüggen-Straße 41
 50827 Köln
 Telephone: 02 21/5 97 95 14
 Fax: 02 21/5 97 95 50
 e-Mail: Jschreyer@aol.com
 The commission will discuss all suggestions, which are received so that the test recommendations can be revised accordingly and an updated version subsequently made available to interested parties.

genspaltweite beim späteren Einbau der Tübbings sein, um im Versuch ausführungstechnische Toleranzen berücksichtigen zu können. Beim Tübbingdesign mit Kreuzfugen ist analog zu verfahren.

5.10.3 Versuchsdurchführung


Im Versuch wird zuerst die vertikale Fuge zwischen den beiden unteren Probekörpern geschlossen. Der minimale Nutgrundabstand ist hierbei durch die aufgeklebten Distanzbleche begrenzt.

Im Anschluss an die Einstellung der vertikalen Fugenspaltweite wird der obere Probekörper aufgesetzt und der horizontale Fugenspalt so weit verringert, bis auch hier der

minimale Nutgrundabstand erreicht ist.

Der Abplatzversuch ist bestanden, wenn bei den minimalen Nutgrundabständen keine Schäden am Beton (z. B. Risse oder Abplatzungen) über eine Belastungszeit von 30 Minuten auftreten. Beim Tübbingdesign mit Kreuzfugen ist analog zu verfahren.

6 Güteüberwachung – Lieferbedingungen

Hierunter werden die Art und der Umfang der für die Eignungsprüfung sowie für die werkseigene Produktionskontrolle (und Fremdüberwachung) erforderlichen Einzelprüfungen sowie die zugehörigen Anforderungen beschrieben. 

6 Quality Control – Delivery Conditions

The nature and extent of the individual tests as well as the re-

lated demands required for the suitability test as well as for the production check at the factory (and third-party quality monitoring) are described below. 