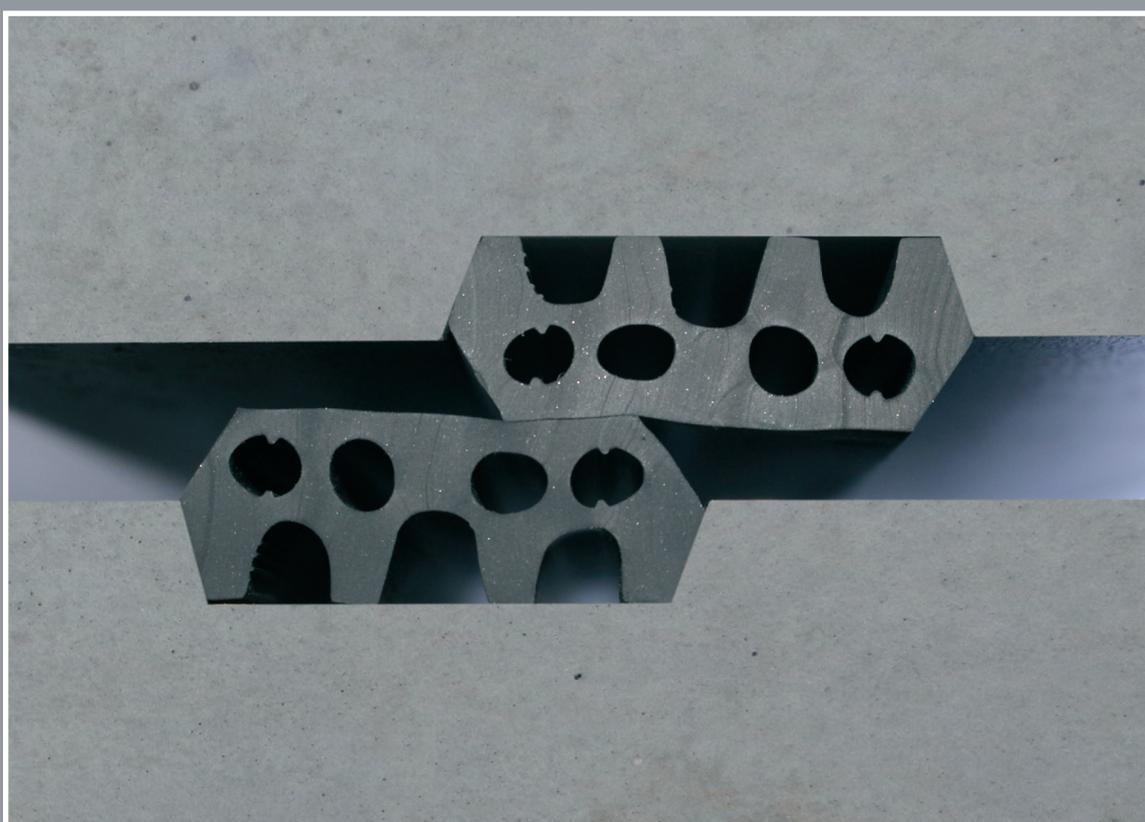


# Forschung + Praxis 54

U-Verkehr und unterirdisches Bauen



## **Empfehlung für Dichtungsrahmen in Tübbingauskleidungen**

Recommendation for Gasket Frames in Segmental Tunnel Linings

Studiengesellschaft für Tunnel  
und Verkehrsanlagen e. V. (STUVA), Köln

**STUVA**

# Forschung + Praxis 54

## U-Verkehr und unterirdisches Bauen

### Empfehlung für Dichtungsrahmen in Tübbingauskleidungen

### Recommendation for Gasket Frames in Segmental Tunnel Linings

Erstellt vom Arbeitskreis „Dichtungsrahmen in Tübbingauskleidungen“

**STUVA**

## 2019. Empfehlung für Dichtungsrahmen in Tübbingauskleidungen

(Forschung + Praxis 54)

Erstellung	STUVA-Arbeitskreis „Dichtungsrahmen in Tübbingauskleidungen“
Herausgeber	Studiengesellschaft für Tunnel und Verkehrsanlagen e. V. (STUVA), Köln (D)
Copyright	© 2019. Studiengesellschaft für Tunnel und Verkehrsanlagen e. V. (STUVA), Mathias-Brüggen-Straße 41, 50827 Köln (D)  Alle Rechte, insbesondere die der Übersetzung in andere Sprachen, vorbehalten. Kein Teil dieses Buches darf ohne schriftliche Genehmigung des Verlages/Herausgebers in irgendeiner Form – durch Fotokopie, Mikrofilm oder irgendein anderes Verfahren – reproduziert oder in eine von Maschinen, insbesondere von Datenverarbeitungsmaschinen, verwendbare Sprache übertragen werden.
Redaktion	Prof. Dr.-Ing. Roland Leucker, Dipl.-Ing. Dominik Kessler, Dipl.-Ing. Christoph Klaproth
Satz & Layout	Sonja Ferfers, Gabriele Konopka, Dipl.-Bibl. Martin Schäfer
Erscheinungsdatum	Dezember 2019 (Druckausgabe), Mai 2020 (digitale Fassung)
Verlag	STUVA (Selbstverlag)
ISBN	978-3-9819842-2-4
Titelbild	Dichtungsprofil

# Inhalt

Vorbemerkungen .....	5
1 Allgemeines .....	6
2 Anwendungsbereich.....	7
3 Begriffe und Definitionen .....	7
4 Grundsätze für die Planung und Ausführung.....	11
4.1 Allgemeine Hinweise.....	11
4.2 Geometrische Ausbildung des Tübbings .....	14
4.3 Fugenverlauf.....	15
4.4 Geometrische Form von Dichtungsprofilen.....	15
4.5 Beschaffenheit der Dichtungsrahmen.....	16
4.6 Anordnung von Dichtungsrahmen.....	18
4.7 Eingeklebte Dichtungsrahmen .....	18
4.7.1 Beschaffenheit der Nut.....	18
4.7.2 Einbau der Dichtungsrahmen .....	18
4.8 Verankerte Dichtungsrahmen.....	19
4.8.1 Beschaffenheit der Schalung.....	19
4.8.2 Einbau der Dichtungsrahmen .....	20
4.8.3 Sonstige Hinweise.....	20
4.9 Dichtungsrahmen an schrägen Längsfugen .....	20
4.10 Brandschutz von Dichtungsrahmen.....	21
5 Anforderungen und Prüfungen .....	21
5.1 Grenzabmaße.....	23
5.2 Härte, Reißfestigkeit und Reißdehnung .....	23
5.3 Druckverformungsrest.....	23
5.4 Ozonbeständigkeit.....	23
5.5 Wärmealterung.....	24
5.6 Rückstellkraft.....	24
5.6.1 Kraft-Weg-Verhalten des Dichtungsprofils .....	24
5.6.2 Kraft-Weg-Verhalten der Rahmenecke.....	26
5.7 Spannungsrelaxation.....	28
5.8 Rückstellfähigkeit.....	30
5.9 Dichtigkeit.....	31
5.10 Abplatzverhalten.....	34
6 Grund- und Eignungsprüfungen – Art und Umfang.....	36
7 Güteüberwachung – Lieferbedingungen und Lagerung.....	38
7.1 Werkseigene Produktionskontrolle .....	38
7.2 Lieferbedingungen und Lagerung .....	38
8 Literaturverzeichnis.....	40

# Content

Preliminary remarks .....	5
1 General.....	6
2 Scope of application.....	7
3 Terms and definitions.....	7
4 Basic principles of design and construction.....	11
4.1 General notes.....	11
4.2 Geometrical detailing of the segment .....	14
4.3 Joint pattern .....	15
4.4 Geometrical shape of gasket profiles.....	15
4.5 Properties of the gasket frames.....	16
4.6 Position of gasket frames.....	18
4.7 Glued-in gasket frames.....	18
4.7.1 Properties of the groove.....	18
4.7.2 Installation of gasket frames .....	18
4.8 Anchored gasket frames.....	19
4.8.1 Properties of the formwork.....	19
4.8.2 Installation of the gasket frames .....	20
4.8.3 Additional information.....	20
4.9 Gasket frames to angled longitudinal joints.....	20
4.10 Fire protection of gasket frames .....	21
5 Requirements and testing .....	21
5.1 Profile tolerances.....	23
5.2 Hardness, tensile strength and elongation at break .....	23
5.3 Compression set .....	23
5.4 Ozone resistance .....	23
5.5 Artificial ageing .....	24
5.6 Deflection force.....	24
5.6.1 Load-displacement behaviour of the gasket profile.....	24
5.6.2 Load-displacement behaviour of the gasket corner.....	26
5.7 Stress relaxation.....	28
5.8 Restorative capacity.....	30
5.9 Water tightness.....	31
5.10 Spalling behaviour .....	34
6 Initial and suitability testing – Type and scope.....	36
7 Quality control – Delivery conditions and storage.....	38
7.1 Factory production control .....	38
7.2 Delivery conditions and storage.....	38
8 References .....	40

## Mitglieder des Arbeitskreises „Dichtungsrahmen in Tübbingauskleidungen“

Dipl.-Ing. Sascha Boxheimer, Wayss & Freytag Ingenieurbau AG, Frankfurt am Main

Andreas Diener, CTS Cordes tubes & seals GmbH & Co. KG, Büro Boizenburg/Elbe

Dr.-Ing. Werner Grabe, WGD Werner Grabe Development, Dülmen

Dr.-Ing. Dieter Handke, IMM Maidl & Maidl Beratende Ingenieure GmbH & Co. KG, Bochum

Dr.-Ing. Holger Höveling, Materialprüfanstalt für das Bauwesen (MPA), Hannover

Dipl.-Ing. Dominik Kessler, STUVAtec GmbH, Köln

Dipl.-Ing. Christoph Klaproth, STUVA e. V., Köln

Prof. Dr.-Ing. Roland Leucker, STUVA e. V., Köln

Dipl.-Wi.-Ing. (FH) Oliver Pasemann, Dätwyler Sealing Technologies Deutschland GmbH, Waltershausen

Dipl.-Ing. Mike Rammelt, Bundesanstalt für Straßenwesen (BASt), Bergisch Gladbach

Dr.-Ing. Benno Ring, Ring – Consultancy in Tunnelling (RCiT), Stockdorf

Dr.-Ing. Ernst-Rainer Tirpitz, Implenia Construction GmbH, Mannheim

Dipl.-Ing. Claus Walbrecht, Max Bögl, Hamminkeln



## Vorbemerkungen

Die im Jahr 2005 und 2006 veröffentlichten STUVA-Empfehlungen „Prüfung und Einsatz von Dichtungsprofilen in Tübbingauskleidungen“ [1] und „Verwendung von Dichtungsrahmen in Tübbingauskleidungen“ [2] werden seit mehr als zehn Jahren erfolgreich von Bauherren, Herstellern, Planern und ausführenden Baufirmen sowie Prüfinstituten angewendet. Diese Empfehlungen helfen dabei, das aus wirtschaftlicher und technischer Hinsicht optimale Dichtungsprofil aufgrund vergleichbarer Prüfergebnisse für den jeweiligen Anwendungsfall auszuwählen. Darüber hinaus werden Hinweise für die Herstellung und den Einbau von Dichtungsrahmen gegeben, um eine hochwertige Abdichtung der Tübbingauskleidungen zu erzielen.

In der hier vorliegenden überarbeiteten 2. Auflage werden beide Empfehlungen zur neuen „Empfehlung für Dichtungsrahmen in Tübbingauskleidungen“ zusammengefasst. Unter Berücksichtigung der in den letzten Jahren gemachten Erfahrungen werden die Empfehlungen erweitert und an den aktuellen Stand der Technik angepasst, so dass die neue Empfehlung auch in den kommenden Jahren als ein Standardwerk für alle Beteiligten dienen kann. Mit der Veröffentlichung der überarbeiteten 2. Auflage werden die beiden oben genannten Empfehlungen zurückgenommen.

Fachleute von Dichtungsrahmenherstellern, Baufirmen und Planungsbüros sowie der Bundesanstalt für Straßenwesen und der Materialprüfanstalt MPA Hannover haben unter der Leitung der STUVA/STUVAtec an der Erarbeitung dieser 2. Auflage mitgewirkt. Ihnen sei an dieser Stelle für ihre aktive Mitarbeit sehr herzlich gedankt.

Darüber hinaus wird den folgenden Personen für ihre Mitarbeit an der ersten Auflage gedankt: Thomas Flath, Holger Gutschmidt, Werner Grabe, Erdogan Gürkan, Frank Heimbecher, Rudolf Heinbokel, Dieter Kassel, Frank Schreiber, Jörg Schreyer.

## Preliminary remarks

The STUVA recommendations “Testing and Application of gasket frames in segmental Linings” [1] and “Use of Gaskets for sealing segmental Linings” [2], published in 2005 and 2006, have been used successfully for more than ten years by owners, manufacturers, designers and contractors as well as testing institutes. These recommendations help to select the economically and technically optimal gasket profile based on comparable testing results for the individual application case. Recommendations are also provided for the production and installation of gasket frames in order to achieve high quality sealing of segmental linings.

In the present 2<sup>nd</sup> edition, both the former recommendations are combined in the new „Recommendations for Gasket Frames in Segmental Tunnel Linings“. Taking into account the experience gained in recent years, the recommendations are extended and adapted to the current state of the technology so that the new recommendations can also serve as a standard for all parties in coming years. With the publication of this revised 2<sup>nd</sup> edition, the two recommendations mentioned above are withdrawn.

Experts from gasket manufacturers, construction companies and consultants as well as the Federal Highways Research Institute and the materials testing institute MPA Hannover have collaborated in this revised 2<sup>nd</sup> edition under the lead of the STUVA/STUVAtec. We would like to take this opportunity to express our sincere thanks for their active cooperation.

Furthermore gratitude is expressed to the following people for their work on the first edition: Thomas Flath, Holger Gutschmidt, Werner Grabe, Erdogan Gürkan, Frank Heimbecher, Rudolf Heinbokel, Dieter Kassel, Frank Schreiber, Jörg Schreyer.

# 1 Allgemeines

Beim Schildtunnelbau besteht die Tunnelauskleidung meist aus vielen Fertigteilelementen, den sogenannten Tübbing. Ein Tübbingring besteht immer aus mehreren Tübbing und ist in Tunnellängsrichtung in der Regel zwischen 1,0 m und 2,25 m breit. Die Tübbingauskleidung besitzt daher zahlreiche Längs- und Ringfugen (**Bild 1**). Diese Fugen müssen gegen den an der Tunnelröhre anstehenden Wasserdruck abgedichtet werden. Dies geschieht bei Tunnelbauwerken mit einschaligem Tübbingausbau mit Elastomer-Dichtungsrahmen, die in eine umlaufende Nut des fertig betonierten Tübbings eingeklebt oder bereits bei der Betonage im Tübbingbeton verankert werden. Beim Ringbau werden benachbarte Tübbinge mit ihren eingebauten Dichtungsrahmen gegeneinandergepresst und dabei die gegenüberliegenden Dichtungsrahmen komprimiert. Dadurch wird die Fuge abgedichtet (**Bild 2**). Besonders im Bereich von Kreuzfugen oder T-Fugen besteht die Gefahr von Undichtigkeiten.

Entscheidend für die dauerhafte Dichtigkeit des Tunnelbauwerkes ist die fachgerechte Auswahl des Dichtungsrahmens (z. B. Werkstoff, Profilgeometrie) und der Nutgeometrie für den jeweiligen Anwendungsfall sowie ein möglichst toleranzarmer Einbau der Tübbinge.

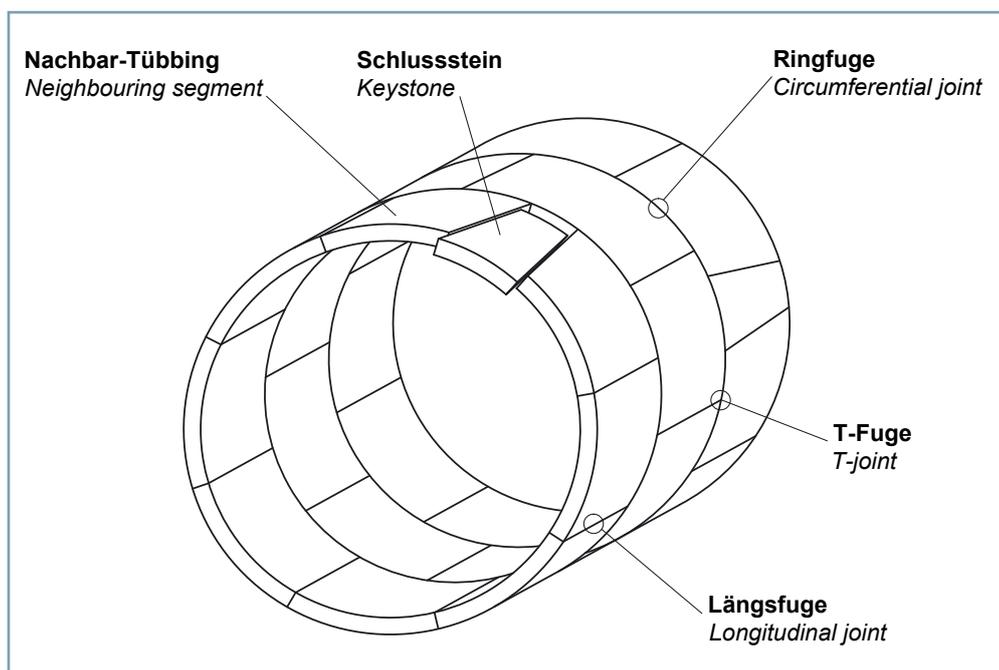
Die Entwicklung und anwendungstechnische Prüfung von Tübbingdichtungen sowie die Ausführungsplanung von Tübbingauskleidungen erfordern besondere Sorgfalt, Erfahrung und spezielle Kenntnisse. Die komplexen Wechselwirkungen von produktions-, bauverfahrenstechnischen sowie statisch-konstruktiven Anforderungen sind bei der Planung und Ausführung von Tübbingauskleidungen mit Dichtungsrahmen – insbesondere bei einschaligen Bauweisen – zu berücksichtigen. Mit den oben genannten Tätigkeiten sollen deshalb nur Institutionen mit nachweislicher Fachkenntnis und Erfahrung beauftragt werden.

# 1 General

In mechanised shield tunnelling, the tunnel lining normally consists of many prefabricated elements called segments. A ring always consists of several segments and is normally between 1.0 m und 2.25 m wide in longitudinal direction of the tunnel. The segmental lining thus has numerous longitudinal and circumferential joints (**Fig. 1**). These joints have to be sealed against water pressure acting on the tunnel tube. In tunnels with single-layer segmental linings, this is achieved with Elastomer gaskets, which are glued-in into the perimeter groove of the prefabricated concrete segment or are cast-in into the segment during concreting. As the rings are erected, adjacent segments with their installed gaskets are pressed against each other and the opposing gaskets are compressed, sealing the joint (**Fig. 2**). Particularly at the location of cross-joints or T-joints, there is a risk of leaks.

The decisive factors for the durable sealing of tunnels are the correct selection of the gasket (e.g. material, profile geometry) and the groove geometry for the specific application case as well as an installation of the segments with as little tolerance as possible.

Development and testing for the application of gaskets for segmental lining demand particular care, experience and specialised knowledge. The complex interactions between the requirements of production, construction processes and structural engineering have to be considered when designing and executing segmental linings with gasket frames – particularly for single-layer linings. For this reason only institutions with demonstrable expert knowledge and experience should be commissioned with the activities mentioned above.



**Bild 1** Tübbingauskleidung mit T-Fugen

**Figure 1** Segment lining with T-joints

## 2 Anwendungsbereich

Diese Empfehlung gilt für Elastomer-Dichtungsrahmen in Tübbingauskleidungen mit Dichtwirkung aus reiner Kompression. Es werden die für die Auswahl eines geeigneten Dichtungsrahmens erforderlichen Anforderungen und die zugehörigen Prüfungen erläutert. Ferner werden Hinweise für den baupraktischen Einsatz der Dichtungsrahmen gegeben.

Die Empfehlung basiert auf den Erfahrungen der letzten Jahre und gilt für übliche Anwendungsfälle (Regelfall). Daher können projektspezifische Konkretisierungen oder Abweichungen in einzelnen Fällen notwendig sein. Ferner ist zu berücksichtigen, dass sämtliche Anforderungen, Prüfungen und Hinweise im Allgemeinen für einen in Mitteleuropa üblichen Temperaturbereich gelten. Bei extremen Temperaturen sind besondere Überlegungen anzustellen sowie ggf. angepasste Prüfungen durchzuführen.

Diese Empfehlung gilt nicht für Dichtungsprofile in Tübbing unter Verwendung hydrophiler (quellender) Materialien oder den Einbau von Dehnfugenbändern bzw. Arbeitsfugenbändern aus Elastomermaterial nach DIN 7865 [3] und thermoplastischen Kunststoffen nach DIN 18541 [4]. Weiterhin gilt diese Empfehlung nicht für den nachträglichen Einbau von Fugenbändern, Fugendichtstoffen oder Fugenverschlussprofilen in vorhandenen Fugen.

## 3 Begriffe und Definitionen

Für die Anwendung dieser Empfehlung gelten die nachfolgenden Begriffe:

### Arbeitsbereich

Der Arbeitsbereich von *Dichtungsrahmen* ist der Bereich zwischen der größten und der geringsten noch zugelassenen bzw. erwarteten *Kompression* des Dichtungsrahmens und damit gleich dem Bereich zwischen dem minimalen und maximalen *Nutgrundabstand* (Bild 2). In diesem Bereich muss der Dichtungsrahmen elastisch komprimierbar sein und langfristig abdichten.

### Bemessungswasserdruck

Der Bemessungswasserdruck wird üblicherweise vom Bauherrn vorgegeben. Er wird unter Berücksichtigung der projektspezifischen Wasserstände festgelegt. Er unterscheidet sich vom *Prüfwasserdruck*.

### Betonzugfestigkeit

Die Zugfestigkeit des Betons ist eine ausschlaggebende Größe für das Betonabplatzverhalten, insbesondere an den Ecken der Tübbing.

### Dichtrippe

Als Dichtrippen bezeichnet man die zum *Nutgrund* oder zur *Nutgrundplatte* angeordneten, längs laufenden, kammartigen Stützen (Profilierung) des *Dichtungsprofils*. Die Dichtrippen sollen das Umlaufen von Wasser zwischen dem Dichtungsprofil und dem Tübbingbeton verhindern bzw. erschweren (Bild 3).

## 2 Scope of application

These recommendations apply to gasket frames made from Elastomer in segmental linings with a sealing effect from pure compression. The selection of the appropriate requirements of a suitable gasket frame and the associated testing are explained. Advice is also provided for the use of gasket frames in construction practice.

The recommendations are based on the experience of recent years and apply to the common applications (standard case). Therefore, more detailed requirements or deviations may be necessary on specific projects. It also shall be noted that all requirements, tests and recommendations apply for the typical range of temperatures in Central Europe. If extreme temperatures are expected, particular considerations may have to be made and the performance of adapted tests may be necessary.

These recommendations do not apply to gaskets in segments using hydrophilic (swelling) materials or the installation of waterstops for expansion joints or construction joints made of Elastomer according to DIN 7865 [3] and thermoplastic plastics according to DIN 18541 [4]. Furthermore, these recommendations do not apply to the subsequent installation of waterstops, joint sealing material or joint closing profiles into existing joints.

## 3 Terms and definitions

The following terms are used in these recommendations:

### Working range

The working range of *gasket frames* is the range between the largest and the smallest permissible or expected *compression* of the gasket frame and thus also the range between the minimum and maximum *groove bottom distance* (Fig. 2). In this range, the gasket frame must be elastically compressible and seal durably.

### Design water pressure

The design water pressure is usually specified by the client. It is determined under consideration of the water levels on a specific project. It differs from the *test water pressure*.

### Concrete tensile strength

The tensile strength of the concrete is a decisive value for the spalling behaviour of the concrete, particularly at the corners of the segments.

### Sealing ribs

Sealing ribs denote the comb-like ribs (profiling) of the *gasket profile* running along the *groove bottom* or the *groove bottom plate*. The sealing ribs are intended to prevent or impede the passage of water between the gasket frame and the segment's concrete (Fig. 3).

## Dichtungsprofil

Das Dichtungsprofil besteht aus Elastomer, in der Regel EPDM. Es wird im Extrusionsverfahren gespritzt und anschließend vulkanisiert. Es werden sowohl eingeklebte als auch verankerte Dichtungsprofile eingesetzt. Der Kontaktbereich zwischen Dichtungsprofil und Beton weist im allgemeinen *Dichtrippen* auf (**Bild 3**). Bei Verwendung von verankerten Dichtungsprofilen enden die Dichtrippen auf einer *Nutgrundplatte*, an der die Verankerungen ansetzen (**Bild 4**).

## Dichtungsrahmen

Der Dichtungsrahmen besteht aus den auf Länge geschnittenen Dichtungsprofilabschnitten und den werkseitig anvulkanisierten *Rahmenecken*. Er wird umlaufend um jeden Tübbing angeordnet.

Da beim Tunnelbau Wasser in der Regel von außen ansteht, sind üblicherweise die Dichtungsrahmen außenliegend angeordnet. Eine Ausnahme bilden Wasser- und Abwassertunnel, bei denen die Dichtungsrahmen oft innenliegend angeordnet sind. Beim doppelten Dichtungssystem wird sowohl außen- als auch innenliegend eine Dichtungsebene angeordnet.

## Eignungsprüfung

Die Eignungsprüfung ist eine projektspezifische Prüfung und wird ergänzend zur *Grundprüfung* durchgeführt. Insbesondere sind die projektspezifischen Bedingungen wie *Nutgeometrie*, *Bemessungs- und/oder Prüfwasserdrücke* sowie ggf. der Tübbingbeton zu berücksichtigen.

## Fremdüberwachung

Die Fremdüberwachung umfasst die externe Überwachung der Produktion der *Dichtungsrahmen* durch eine erfahrene und unabhängige Überwachungsstelle zur Gewährleistung der Prozesssicherheit bei der Produktion. Im Rahmen der Fremdüberwachung können auch Prüfungen durch die externe Stelle vereinbart werden.

## Grundprüfung

Bei der Grundprüfung werden die materialspezifischen Eigenschaften eines *Dichtungsprofils* untersucht. Sie ist nicht projektbezogen.

## Hohlkanal und Rillennut

Um bei der Montage eine *Kompression* der *Dichtungsprofile* zwischen den Tübbing zu ermöglichen, sind die Dichtungsprofile in der Regel mit mehreren längs laufenden Hohlkanälen und Rillennuten versehen (**Bild 3**).

## Kompression

Unter der *Kompression* der *Dichtungsprofile* wird das Maß (in Millimeter) der Zusammendrückung zweier gegenüberliegender Dichtungsprofile verstanden. Die Kompressionshöhe gibt dabei im eingebauten Zustand die Höhe der Zusammendrückung gegenüber der Höhe der beiden unkomprimierten Dichtungsprofile an.

## Kontaktflächenbreite

Als Kontaktflächenbreite wird die obere Breite des unverformten *Dichtungsprofils* am Profilkopf bezeichnet (**Bild 3 bzw. Bild 4**).

## Gasket profile

The gasket profile consists of an Elastomer, usually EPDM. It is produced in an extrusion process and then vulcanised. Both glued-in and anchored (cast-in) gasket profiles are used. The contact area between the gasket profile and the concrete normally has *sealing ribs* (**Fig. 3**). When anchored gasket profiles are used, the sealing ribs end at a *groove bottom plate*, under which the anchors are located (**Fig. 4**).

## Gasket frames

The gasket frame consists of gasket profiles cut to length and the *gasket corners*, which are connect-vulcanised in the factory. It is fitted around each segment.

Since in tunnelling water normally acts from the outside, gaskets are usually installed on the segments' outside. Exceptions are water and sewer tunnels, in which the gasket frame is often situated on the inside. With a double sealing system, seals are provided both on the outside and inside.

## Suitability testing

Suitability testing is performed for each specific project and a supplement to the *initial testing*. In particular the project-specific conditions like *groove geometry*, *design and/or test water pressure* and, if applicable, also segment concrete have to be considered.

## Third party quality monitoring

Third party quality monitoring covers the external monitoring of the production of the *gasket frames* by an experienced and independent supervisory body to ensure the process security of production. Testing by the external body can be agreed as part of the third party quality monitoring.

## Initial testing

In the initial testing, the material properties of a *gasket profile* are tested. This is not performed for each project.

## Hollow channels and moulded grooves

In order to enable the *compression* of the *gasket profiles* between the segments, several longitudinal hollow channels and moulded grooves are normally provided in gasket profiles (**Fig. 3**).

## Compression

The *compression* of a *gasket profile* denotes the measure (in millimetres) of the squeezing of two opposing gasket profiles. The height of compression thus states the height of squeezing the profiles during installation against the height of the two uncompressed gasket profiles.

## Width of contact surface

The width of contact surface describes the upper width of the undeformed *gasket profile* at the profile head (**Fig. 3 and Fig. 4**).

## Kreuzfuge

Kreuzfugen entstehen, wenn die Längsfuge eines Tübbingrings sich an der gleichen Stelle wie eine Längsfuge im benachbarten Ring befindet. Da die Eckausbildungen eine Schwachstelle für die Dichtigkeit darstellen können, sind Kreuzfugen mit ihren Eckausbildungen beidseits der Ringfuge besonders anfällig für Undichtigkeiten und daher möglichst zu vermeiden.

Ab einem Abstand der Längsfugen entlang der Ringfuge, der den Einflussbereich der anvulkanisierten *Rahmenecken* beiderseits verlässt, liegt aus Sicht der Abdichtungstechnik keine Kreuzfuge mehr vor. In der Regel ist das bei einem Abstand von mindestens 10 cm der Fall.

## Nutfüllungsgrad

Der Nutfüllungsgrad berechnet sich zu:

$$\text{Nutfüllungsgrad [\%]} = A_{\text{Profil}} / A_{\text{Nut}} \times 100 \%$$

Die Profilquerschnittsfläche  $A_{\text{Profil}}$  [mm<sup>2</sup>] kann beispielsweise aus der Zeichnung des *Dichtungsprofils* ermittelt werden. Die Nutquerschnittsfläche  $A_{\text{Nut}}$  [mm<sup>2</sup>] ergibt sich aus dem durch die *Nutflanken* vorgezeichneten Trapez bis zur Fugenachse, die in der Höhe des halben *Nutgrundabstands* liegt. Der planmäßige, d. h. maximale Nutfüllungsgrad, ergibt sich bei minimalem Nutgrundabstand. Die Freiräume für die Profilumlagerung in die Spalten neben der *Nut* werden auf der sicheren Seite liegend zunächst vernachlässigt.

## Nutgeometrie (Nut, Nutflanke und Nutgrund, Nutgrundbreite)

Als Nut bezeichnet man die um die Tübbinge in den Ring- und Längsfugen umlaufende Aussparung für den *Dichtungsrahmen* (**Bild 6**). In die Nut wird entweder der Dichtungsrahmen eingeklebt, oder sie entsteht bei der Betonage, wenn ein verankerter Dichtungsrahmen genutzt wird.

Die Nutflanken sind die seitlichen, leicht schräg ausgebildeten Begrenzungen der Nut.

Der Nutgrund ist die ebene Betonfläche, auf der ein in die Nut eingeklebter Dichtungsrahmen aufliegt. Bei verankerten Dichtungsrahmen ist der Nutgrund ebenfalls die ebene Oberfläche des Betons.

Die Nutgrundbreite entspricht bei eingeklebten Dichtungsprofilen der im Nutgrund gemessenen Breite. Bei verankerten Dichtungsprofilen wird die Nutgrundbreite an der Oberkante der Nutgrundplatte gemessen.

## Nutgrundabstand

Der Nutgrundabstand ist der Abstand der gegenüberliegenden Nutgründe (**Bild 2 und 6**). In Abhängigkeit des Nutgrundabstandes kann eindeutig die *Kompression* der *Dichtungsprofile* angegeben werden. Hinsichtlich des Nutgrundabstandes sind bei verankerten *Dichtungsrahmen* die Dicken der *Nutgrundplatten* abzuziehen.

Entspricht der Nutgrundabstand der doppelten Höhe des Dichtungsprofils ist die zugehörige Kompression Null.

Der planmäßige bzw. minimale Nutgrundabstand liegt beim korrekten Zusammenbau der Tübbinge zum Ring vor und entspricht der planmäßigen bzw. maximalen Kompression. Ein geringerer Nutgrundabstand bzw. eine größere Kompression kann beispielsweise durch eine gegenseitige Verdrehung zweier Tübbinge in den Fugen hervorgerufen werden,

## Cross joint

Cross joints arise when the longitudinal joint of a ring is located at the same place as the longitudinal joint in the adjacent ring. Since this corner formation may be a weak point for sealing, cross joints with their corners on both sides of the circumferential joint are particularly susceptible to leaking and should therefore be avoided where possible.

With regard to sealing, a joint is no longer regarded as a cross joint if the spacing of the longitudinal joints along the circumferential joint is outside the area of influence of the vulcanised *gasket corners* at each side. This is normally the case for a spacing of at least 10 cm.

## Degree of groove filling

The degree of groove filling can be calculated with:

$$\text{Degree of groove filling [\%]} = A_{\text{profile}} / A_{\text{groove}} \times 100 \%$$

The cross-section of the profile  $A_{\text{profile}}$  [mm<sup>2</sup>] can be determined, for example, from the drawing of the *gasket profile*. The cross-section of the groove  $A_{\text{groove}}$  [mm<sup>2</sup>] is given by the trapezoid marked by the *groove flanks* up to the joint axis, which is located at half of the *groove bottom distance*. The designed, i.e. the maximum, degree of filling of the groove coincides with the minimum groove bottom distance. The space available for the profile to deform into the gaps next to the *groove* is ignored at first as an approach on the safe side.

## Groove geometry (groove, groove flank and groove bottom, groove bottom width)

The groove describes the continuous recess in segments in the circumferential and longitudinal joints for the *gasket frame* (**Fig. 6**). Either the gasket frame is glued into the groove, or during concreting the groove is formed by the anchored gasket itself.

The groove flanks are the slightly inclined sides of the groove.

The groove bottom is the flat concrete surface, on which a glued-in gasket frame is placed. For anchored gasket frames, the groove bottom is also the flat surface of the concrete.

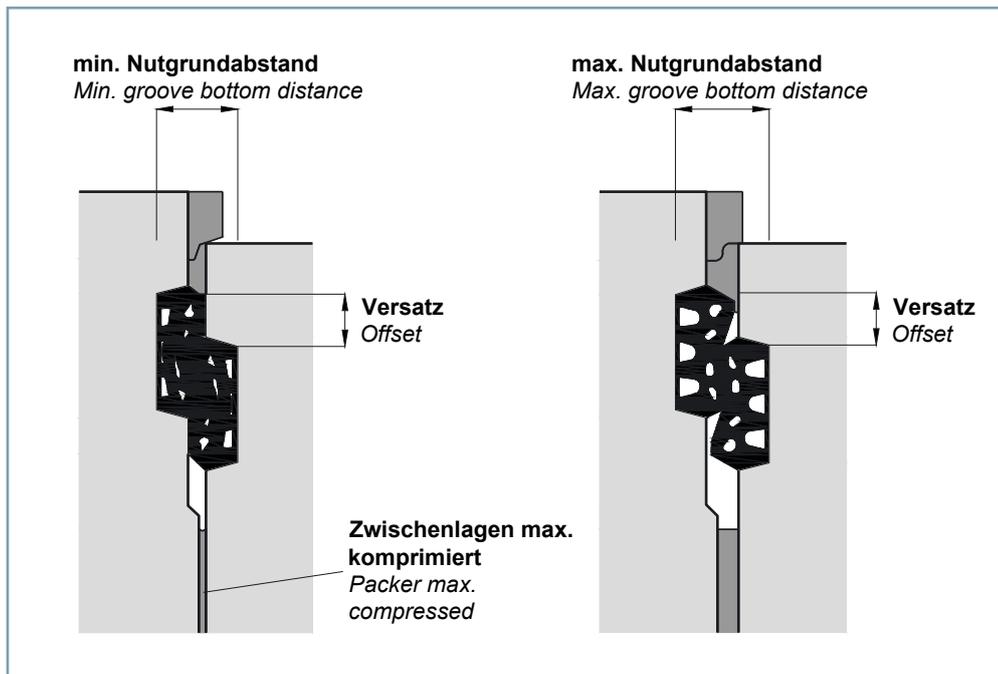
The groove bottom width for glued-in gasket frames corresponds to the width measured at the bottom of the groove. For anchored gasket frames, the groove bottom width is measured at the top of the groove bottom plate.

## Groove bottom distance

The groove bottom distance is the distance between the opposing groove bottoms (**Figs. 2 and 6**). Depending on the groove bottom distance, the *compression* of the *gasket profile* is clearly specified. When determining the groove bottom distance, the thickness of the *groove bottom plates* must be deducted for anchored *gasket frames*.

If the groove bottom distance corresponds to twice the height of the gasket profile, then the associated compression is zero.

The designed or minimum groove bottom distance is achieved when the segments are correctly assembled to a ring and it corresponds to the designed or maximum compression. A smaller groove bottom distance or a larger compression can be caused for example by the mutual distortion of two seg-



**Bild 2** Nutgrundabstand und Versatz

**Figure 2** Groove bottom distance and offset

entweder infolge einer Verformung des Tübbingrings oder durch Abweichung bereits beim Ringbau.

ments in the joints, either due to a deformation of the ring or through deviations in ring building.

### Nutgrundplatte

Bei verankerten *Dichtungsprofilen* wird eine Nutgrundplatte (**Bild 4**) an der Unterseite angeordnet. Sie verhindert das Eindringen von Beton zwischen die *Dichtrippen* des Profils und gewährleistet somit das Freibleiben der *Rillennuten*. Die Dicke der Nutgrundplatte wird nicht als Teil des *Nutgrundabstandes* angerechnet und geht auch nicht in die Ermittlung eines *Nutfüllungsgrades* ein.

### Groove bottom plate

With anchored *gasket profiles*, a groove bottom plate (**Fig. 4**) is provided at the base. This prevents the penetration of concrete into the space between the *sealing ribs* of the profile and thus ensures that the *moulded grooves* remain open. The thickness of the groove bottom plate is not considered as part of the groove bottom distance and is also not considered in the determination of the *degree of groove filling*.

### Öffnungswinkel

Unter dem Öffnungswinkel  $\alpha$  (**Bild 7**) versteht man den Winkel der Profilachsen von Ring- und Längsfugen in den *Rahmenecken*. Am Schlussstein wird er auf der schildzugewandten Seite kleiner als  $90^\circ$ , auf der schildabgewandten Seite größer als  $90^\circ$ .

### Opening angle

The opening angle  $\alpha$  (**Fig. 7**) denotes the angle of the gasket axes in the longitudinal and circumferential joints in the *gasket corner*. At the keystone, it is less than  $90^\circ$  on the side towards the shield tail, and on the side away from the shield tail, it is more than  $90^\circ$ .

### Profilbreite

Die nominelle Profilbreite entspricht der *Nutgrundbreite* (**Bild 6**).

### Profile width

The nominal profile width corresponds to the *groove bottom width* (**Fig. 6**).

### Profilhöhe

Unter Profilhöhe versteht man bei eingeklebten *Dichtungsprofilen* die Gesamthöhe des Profils (**Bild 3**). Bei verankerten Dichtungsprofilen wird sie ab Oberkante der *Nutgrundplatte* gemessen (**Bild 4**).

### Profile height

The profile height of glued-in *gasket profiles* denotes the overall height of the profile (**Fig. 3**). With anchored gasket profiles, it is measured starting at the top of the *groove bottom plate* (**Fig. 4**).

### Prüfwasserdruck

Der Prüfwasserdruck ist der um einen angemessenen Faktor zum Kompensieren der *Spannungsrelaxation* erhöhte *Bemesungswasserdruck*.

### Test water pressure

The test water pressure is the *design water pressure* increased by a reasonable factor to compensate for *stress relaxation*.

### Rahmenecke

Die Rahmenecken verbinden die Dichtungsprofilabschnitte zu einem *Dichtungsrahmen* (**Bild 9**).

### Gasket corner

The gasket corners connect the gasket profile sections to form a *gasket frame* (**Fig. 9**).

### Randabstand

Unter dem Randabstand versteht man den Abstand der Nut zur Betonkante des Tübbings, gemessen in Höhe des *Nutgrundes* (Bild 6).

### Rückstellkraft

Durch die *Kompression* der sich gegenüberliegenden *Dichtungsprofile* wird eine Rückstellkraft in den Dichtungsprofilen erzeugt. Die zugehörige Spannung im Dichtungsprofil wirkt sowohl auf die *Nutgründe* als auch auf die *Nutflanken*.

### Spannungsrelaxation

Die *Rückstellkraft* der *Dichtungsprofile* verringert sich bei festgesetzter *Kompression* über die Zeit; anfangs sehr schnell, später sehr langsam. Dieser Vorgang wird als Spannungsrelaxation bezeichnet und verringert die Dichtwirkung.

### Versatz

Als Versatz bezeichnet man die gegenseitige Verschiebung sich gegenüberliegender *Dichtungsrahmen* quer zur Profillängsrichtung (Bild 2). Hierdurch verringert sich die dichtungswirksame *Kontaktfläche* zwischen den beiden Dichtungsrahmen.

### Verdrehungswinkel

Der Verdrehungswinkel  $\beta$  (Bild 8) ist der Winkel, um den die Ebenen der *Nutgründe* des *Dichtungsprofils* in der Tübbingecke zwischen der Ringfuge und der Längsfuge verkippen, z. B. am Schlussstein oder bei Trapeztübbingen. Bei einem Standardtübbing mit Längsfugen parallel zur Tunnelachse beträgt  $\beta = 0^\circ$ .

### Edge spacing

The edge spacing is the distance from the *groove* to the concrete edge of the segment measured at the *groove bottom* (Fig. 6).

### Deflection Force

Due to the *compression* of opposing *gasket profiles*, a deflection force is induced in the gasket profiles. The associated stress in the gasket profile acts both on the *groove bottom* and the *groove flanks*.

### Stress relaxation

The *deflection force* of *gasket profiles* reduces over time under constant *compression*; at first very fast, later very slowly. This process is described as stress relaxation and reduces the sealing effect.

### Offset

The offset describes the mutual displacement of opposing *gasket frames* perpendicular to the gasket axis (Fig. 2). This reduces the *contact surface* between the two gaskets which seals the joint.

### Twist angle

The twist angle  $\beta$  (Fig. 8) is the angle by which the layers of *groove bottom* of the *gasket profiles* tilt in the segment corner between the circumferential joint and the longitudinal joint, e.g. at the keystone or for trapezoidal segments. For a standard segment with longitudinal joints parallel to the tunnel axis  $\beta = 0^\circ$  applies.

## 4 Grundsätze für die Planung und Ausführung

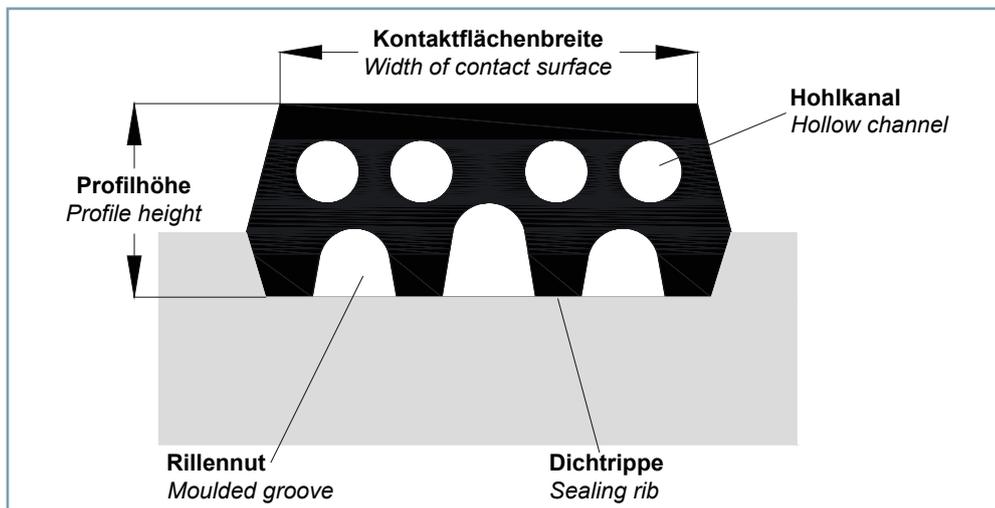
### 4.1 Allgemeine Hinweise

Es wird zwischen **eingeklebten** und verankerten Dichtungsrahmen unterschieden. Bei eingeklebten Dichtungsprofilen (Bild 3) erfolgt deren Montage mit Hilfe eines speziellen Klebers nach der Herstellung der Tübbinge. Das **verankerte** Dichtungsprofil hat an seiner Unterseite spezielle Verankerungen. Diese Verankerungen werden bei der Herstellung des

## 4 Basic principles of design and construction

### 4.1 General notes

**Glued-in** and anchored (cast-in) gasket frames are differentiated. Glued-in gasket profiles (Fig. 3) are fixed using a special adhesive following the production of the segments. The **anchored** (cast-in) gasket profile has special anchorings at its underside. These anchorings are concreted in when the segment is poured, so no work with adhesives is necessary. One



**Bild 3** Eingeklebtes Dichtungsprofil

**Figure 3** Glued-in gasket profile

Tübbings einbetoniert, wodurch Verklebungsarbeiten entfallen. Eine gängige Methode zur Verankerung ist, sogenannte Verankerungsfüße als Teil des Profilquerschnitts an der Profilunterseite mit zu extrudieren (**Bild 4**).

Als Besonderheit gegenüber den eingeklebten Dichtungsrahmen weisen die verankerten Dichtungsrahmen an ihrer Unterseite eine Nutgrundplatte und beidseitig an ihrer Oberseite Halte-Nasen und Dichtungslippen auf. Mit den Halte-Nasen wird der Dichtungsrahmen in entsprechende Aussparungen in der Schalung (Halte-Nut) durch Einklipsen befestigt und bleibt damit während der Betonage fixiert. Die seitlichen Dichtungslippen legen sich an die Schalung an und verhindern das Eindringen von Zementschlämme in die Halte-Nut.

Im Vergleich zu eingeklebten Dichtungsrahmen ergeben sich bei den verankerten Dichtungsrahmen folgende Besonderheiten:

- Bei Verwendung von Verankerungsfüßen wird der Sickerweg für eventuelle Wasserumfläufigkeiten zwischen Beton und Dichtungsrahmen verlängert.
- Aufgrund der Verankerung der Dichtungsrahmen im Beton kommt es während der Transporte und der Lagerung der Tübbingge praktisch nicht mehr zum Ablösen der Dichtungsrahmen.
- Durch Verankerungsfüße findet im Vergleich zu eingeklebten Dichtungsrahmen ein tieferer Eintrag der Rückstellkräfte in den Beton statt. Zusätzlich ist die seitliche Begrenzung der Dichtungsprofile um die Höhe des Verankerungsfußes vergrößert. Dadurch tritt eine höhere Kerbwirkung im Beton auf, welche das Risiko für Betonabplatzungen insbesondere an den Tübbingecken erhöhen kann.

Für alle Dichtungsrahmen gilt:

- Im Regelfall werden für die einzelnen Tübbingge eines Tübbingrings individuelle Dichtungsrahmen benötigt.
- Im zur Tübbingoberfläche gelegenen Nutflankenbereich können Risse und Abplatzungen im Beton auftreten, wenn die Rückstellkräfte des Dichtungsprofils und insbesondere die der Rahmenecke vom Beton nicht aufgenommen werden können. Solche Schäden am Beton müssen vermieden werden, da sie zu Wasserumfläufigkeiten des Dichtungsrahmens und somit zu Undichtigkeiten im Tunnel führen. Die genannten Schäden können verhindert werden, wenn die Belastung durch die Rückstellkraft des Dichtungsprofils

common method of anchoring is to extrude so-called anchoring feet to the underside of the profile section (**Fig. 4**).

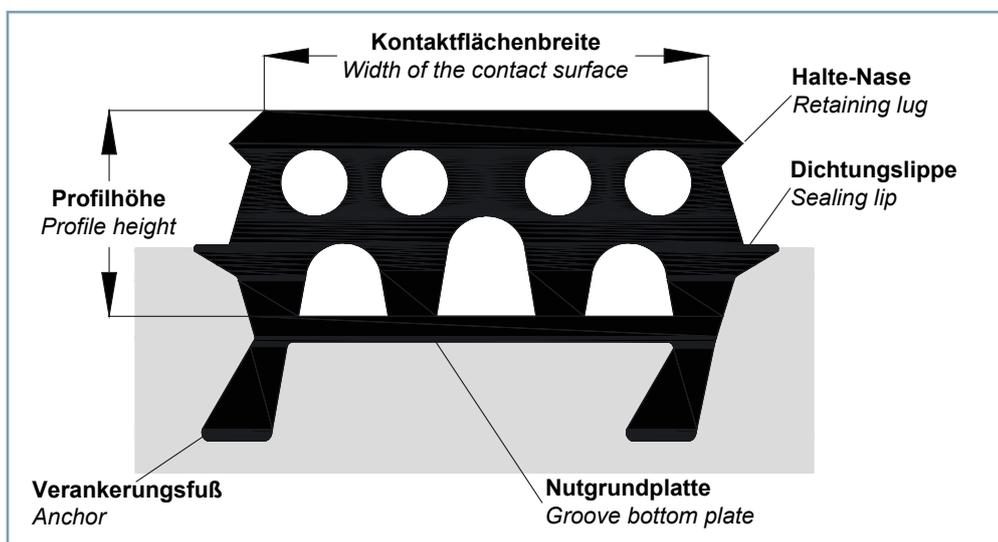
As a special feature in comparison with glued-in gasket frames, anchored gasket frames have a groove bottom plate at their underside and retaining lugs and sealing lips to both sides at its top. The gasket frame is fixed by clipping the retaining lugs into appropriate slots in the formwork (retaining groove) and thus remains fixed during concreting. The sealing lips to the sides press against the formwork and prevent penetration of cement paste into the retaining groove.

In contrast to glued-in gasket frames, anchored (cast-in) gasket frames have the following special features:

- If anchoring feet are used, the path of seepage for water potentially passing between the concrete and the gasket frame is lengthened.
- Due to the anchoring of the gasket frame in the concrete, the gasket practically does not loosen anymore during transport and storage.
- Due to the anchoring feet, the transfer of deflection forces occurs deeper into the concrete in comparison to glued-in gasket frames. Furthermore, the sideward height of the gasket profile is increased by the height of the anchoring foot. This leads to a greater notching effect in the concrete, which may increase the risk of concrete spalling, especially at the segment corners.

The following applies for all gasket frames:

- Normally, individual gasket frames are needed for each individual segment of a ring.
- Cracks and spalling of the concrete may occur in the area of the groove flank closer to the segment surface if the deflection forces of the gasket frame cannot be sustained by the concrete, especially at the gasket corner. Such damage to the concrete must be avoided since it leads to water bypassing the gasket frame and thus to leakage into the tunnel. Such damage can be prevented if the loading from the deflection force of the gasket profile or the gasket corner do not exceed the concrete strength. In this regard, the degree of groove filling, the edge spacing and the concrete strength are of significance.
- With regard to the selection of gasket profiles, the deflection force  $F$ , the water tightness corresponding to the test



**Bild 4** Verankertes Dichtungsprofil

**Figure 4** Anchored gasket profile

bzw. der Rahmenecke die Betonfestigkeit nicht überschreitet. Dabei sind insbesondere der Nutfüllungsgrad, der Randabstand und die Betonzugfestigkeit von Bedeutung.

- Im Hinblick auf die Auswahl von Dichtungsprofilen sind die Rückstellkraft  $F$ , die Wasserdichtigkeit entsprechend dem Prüfwasserdruck  $p$  und die Profilquerschnittsfläche  $A$  von Bedeutung.

In dem Diagramm **Bild 5** ist die gegenseitige Abhängigkeit dieser Größen darstellt, dabei handelt es sich im Detail um:

- Die nach 5 Minuten Relaxation gemessene Rückstellkraft  $F$  [kN/m].
- Die Dichtigkeit bei einem Prüfwasserdruck  $p$  [bar] nach 20 bis 24 Stunden Versuchszeit, einem Versatz von 10 mm und einem Nutgrundabstand, der 5 mm größer als derjenige ist, der der zugehörigen Rückstellkraft zugrunde liegt.
- Die Profilquerschnittsfläche  $A$  [mm<sup>2</sup>] des Profils.

Dem Diagramm liegen die Daten von 25 Dichtungsrahmen der an der Ausarbeitung dieser Empfehlung beteiligten Firmen zugrunde. Mit jeweils einer Ausnahme in den Diagrammteilen für die Rückstellkraft  $F$  und für die Profilquerschnittsfläche  $A$  befinden sich alle Daten innerhalb der schraffierten Bereiche.

Anhand des Diagramms kann ermittelt werden, welche Rückstellkräfte bzw. Profilquerschnittsfläche ein Dichtungsprofil voraussichtlich aufweisen wird, um gegenüber einem bestimmten Prüfwasserdruck dicht zu sein. Beispielsweise liegen profilabhängig für einen Prüfwasserdruck  $p$  von 12 bar die zu erwartenden Rückstellkräfte  $F$  zwischen 30 und 62 kN/m und die Profilquerschnittsfläche  $A$  zwischen 200 und 500 mm<sup>2</sup>. Bei einem Prüfwasserdruck von 30 bar muss hingegen von einer Rückstellkraft von mindestens 50 kN/m sowie von einer erforderlichen Profilquerschnittsfläche um 500 mm<sup>2</sup> ausgegangen werden.

Höhere Dichtigkeiten als die in diesem Diagramm angegebenen können dann erreicht werden, wenn ein Versatz von weniger als 10 mm bzw. geringere Nutgrundabstände als der um 5 mm vergrößerte minimale Nutgrundabstand angesetzt werden. Dies kann durch entsprechende konstruktive Maßnahmen während der Tübbingplanung und einem qualitativ hochwertigen Ringbau erreicht werden.

water pressure  $p$  and the cross-section of the profile  $A$  are of significance.

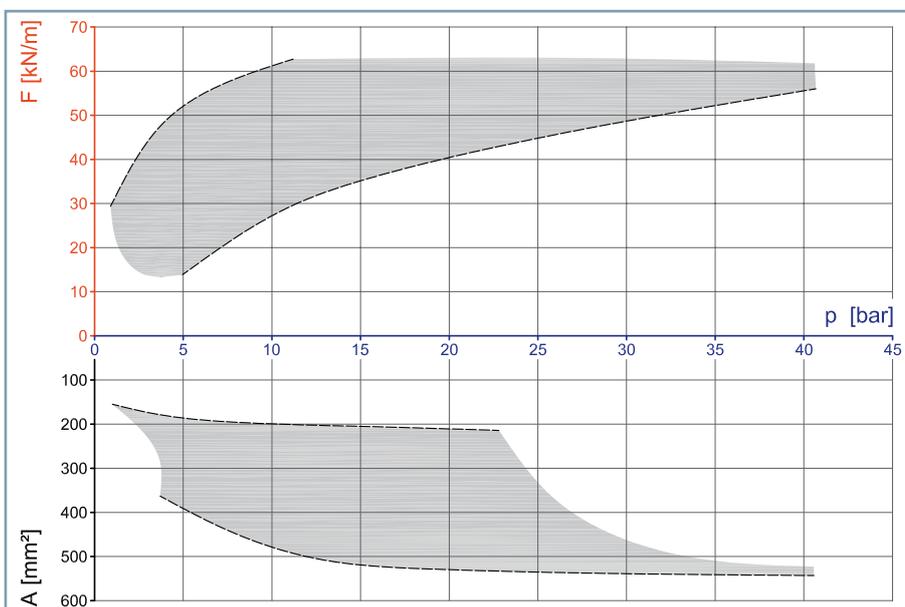
The diagram in **Fig. 5** shows the mutual dependency of these parameters, in detail specifically:

- the deflection force  $F$  [kN/m], measured after 5 minutes of relaxation.
- the water tightness for a test water pressure  $p$  [bar] after 20 to 24 hours of test duration, an offset of 10 mm and a groove bottom distance that is 5 mm larger than the one that the respective deflection force is based on.
- the cross-section  $A$  [mm<sup>2</sup>] of the profile.

The diagram is based on 25 gasket profiles from the companies involved in the preparation of these recommendations. With one exception each in the parts of the diagram for the deflection force  $F$  and the profile cross-section  $A$ , all data is within the shaded areas.

The diagram can be used to determine which deflection force or profile cross-section a gasket profile will probably exhibit to be watertight against a certain test water pressure. For example, depending on the profile, the deflection force  $F$  lies between 30 and 62 kN/m and its cross-section  $A$  between 200 and 500 mm<sup>2</sup> for a test water pressure  $p$  of 12 bar. On the other hand, for a test water pressure of 30 bar a deflection force of at least 50 kN/m and a required cross-section of about 500 mm<sup>2</sup> have to be assumed.

A higher water tightness than given in this diagram can be achieved if an offset of less than 10 mm or a groove bottom distance less than the minimum groove bottom distance increased by 5 mm is assumed. This can be achieved by appropriate constructional provisions in the design of the segments and through ring building of high quality.



**Bild 5** Kraft-Dichtigkeit-Querschnitt-Diagramm

**Figure 5** Force-watertightness-cross-section diagram

## 4.2 Geometrische Ausbildung des Tübbings

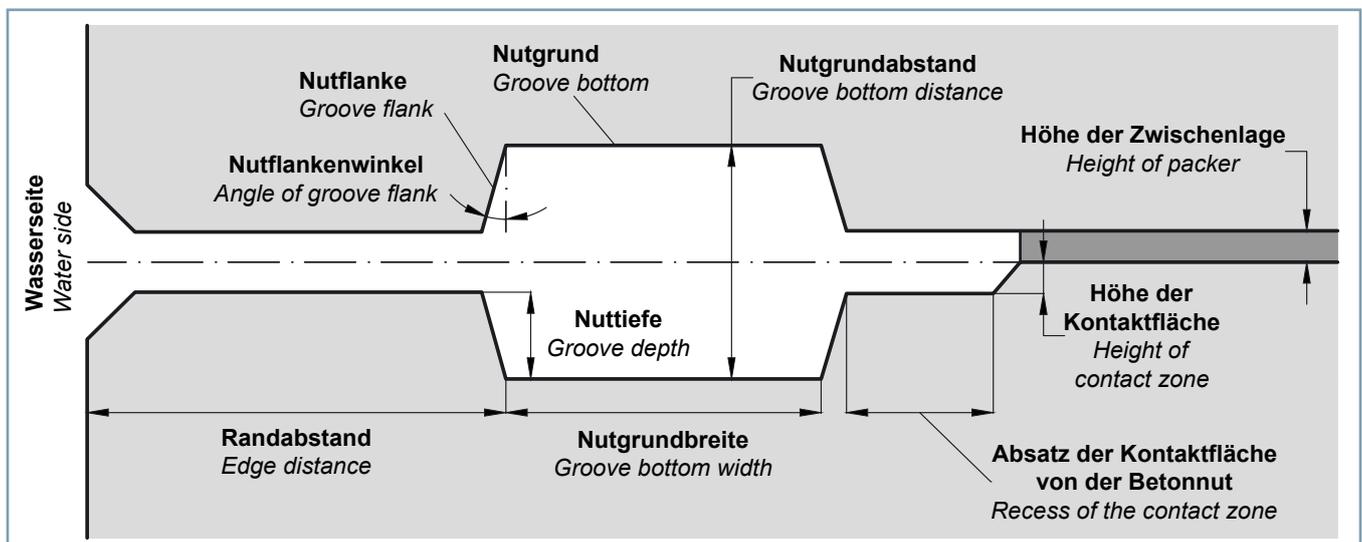
Die Nut soll sicherstellen, dass das Dichtungsprofil während des Einbaus und nachfolgend im eingebauten Zustand in der vorgesehenen Lage bleibt und die Dichtwirkung aufgebaut werden kann. Hinsichtlich der Ausbildung der Nut sowie des Tübbings (**Bild 6**) ist Folgendes zu beachten:

- Die Nutabmessungen sind durch den Planer unter Berücksichtigung der Vorgaben des Dichtungsprofilherstellers zu wählen und nur nach Rücksprache mit dem Hersteller zu verändern.
- Die Abmessungen der Nut werden im Wesentlichen durch das für den aufzunehmenden Bemessungswasserdruck gewählte Profil vorgegeben. Das gewählte Profil und die konstruktive Ausbildung der Nut stehen in ursächlichem Zusammenhang und beeinflussen maßgeblich die Fähigkeit des Dichtungsrahmens, seine Dichtfunktion zu erfüllen. Der planmäßige Nutgrundabstand ist bestimmend für die Rückstellkraft sowie für die Dichtigkeit. Wird für ein Dichtungsprofil bei gleichem Nutgrundabstand die Nuttiefe vergrößert, also die seitliche Stützung des Dichtungsprofils erhöht, kann die Dichtigkeit verbessert werden. Dies führt in der Regel zu einer Erhöhung der Rückstellkraft und kann damit das Abplatzverhalten ungünstig beeinflussen.
- Für die geometrische Ausbildung des Tübbings im Bereich der Nut sollten unter anderem folgende Größen durch den Planer beachtet werden:
  - Der Absatz der Tübbingkontaktfläche in den Längs- und Ringfugen von der Nut, d. h. der Abstand von der Kante der Nut bis zur Betonaufkantung bzw. der planmäßigen Lage der Zwischenlage (Packer), sollte mindestens 10 mm, besser 20 mm betragen. Im Bereich dieses Absatzes sollte der Abstand der Betonoberflächen zwischen benachbarten Tübbings mindestens 3 mm betragen. Dieser Abstand entspricht somit der Summe aus den Höhen von Tübbingkontaktfläche(n) und einer eventuellen Zwischenlage.
  - Der Randabstand der Nut sollte nicht zu klein gewählt werden, damit der Beton insbesondere im Eckbereich die Rückstellkräfte ohne Abplatzungen aufnehmen

## 4.2 Geometrical detailing of the segment

The groove shall ensure that the gasket profile remains in its intended position during installation and later in installed state so that the sealing effect can be achieved. Regarding the detailing of the groove and the segment (**Fig. 6**), the following points must be observed:

- The groove dimensions are chosen by the designer under consideration of the specifications by the manufacturer of the gasket profile and only to be changed after consultation with the manufacturer.
- The dimensions of the groove are essentially given by the profile, which is selected based on the design water pressure to be resisted. The selected profile and the constructional detailing of the groove have a causal relationship and a decisive influence on the capability of the gasket frame to fulfil its sealing function. The designed groove bottom distance determines the deflection force and the water tightness. If the groove depth for a gasket profile is increased while the groove bottom distance remains the same, i.e. the side support to the gasket profile is increased, then the water tightness can be improved. This normally leads to an increase of the deflection force and may thus have an unfavourable influence on the spalling behaviour.
- For the segment geometry in the area of the groove, the following parameters should be taken into account by the designer:
  - The recess of the segment contact zone in the longitudinal and circumferential joints from the groove, i.e. the distance from the edge of the groove to the concrete edge or the designed location of a packer should be at least 10 mm, better 20 mm. In the area of this recess, the spacing of the concrete surfaces between adjacent segments should be at least 3 mm. This spacing thus corresponds to the sum of the heights of the segment contact surface(s) and any packer.
  - The edge distance of the groove should not be selected too small, so that the concrete can resist the deflection forces without spalling, especially in the corners. As a recommendation, the edge distance should be greater



**Bild 6** Nutgeometrie bei außenliegendem Dichtungsrahmen  
**Figure 6** Groove geometry with external gasket frames

kann. Als Empfehlung sollte der Randabstand größer oder gleich der Nutgrundbreite sein, mindestens aber 30 mm betragen. Bei hohen Rückstellkräften, großen Nuttiefen oder Dichtungsrahmen mit Verankerungsfüßen sollte der Randabstand demgegenüber vergrößert werden.

- Benachbarte Tübbinge sollten im Bereich des Randabstandes einen durchgängigen Spalt von mindestens 3 mm, besser 5 mm aufweisen. Aus konstruktiven Gründen kann der Spalt größer sein.

### 4.3 Fugenverlauf

Einschalige Tübbingauskleidungen werden in der Regel so geplant, dass die Längsfugen in benachbarten Ringen versetzt zueinander angeordnet sind und damit nur **T-Fugen** vorliegen.

Obwohl **Kreuzfugen** in der Vergangenheit nicht nur bei Sonderkonstruktionen (z. B. im Bereich von Querschlägen, Querverbindungen oder Anschlüssen an Rettungsschächte) erfolgreich ausgeführt wurden, sind diese aus abdichtungs-technischer Sicht möglichst zu vermeiden.

### 4.4 Geometrische Form von Dichtungsprofilen

Die geometrische Form des Dichtungsprofils beeinflusst die Kompressionsfähigkeit und die Dichtigkeit. Deshalb sollten folgende Empfehlungen für die geometrische Form von Dichtungsprofilen beachtet werden:

- Die **Profilhöhe** wird vom Hersteller vorgegeben. Sie steigt zumeist mit dem Wasserdruck und der Größe des projektbezogenen erforderlichen Arbeitsbereichs.
- Die **Profilbreite**, im Nutgrund gemessen, sollte etwa zwischen 20 mm und 50 mm betragen. Die Profilbreite ist abhängig von der Profilhöhe. Eine größere Profilbreite kann erforderlich sein, wenn infolge höherer Wasserdrücke eine größere Profilhöhe notwendig wird. Die Profilbreite sollte mindestens das 1,6-fache der Profilhöhe betragen, um einem Verkippen des Profils vorzubeugen, z. B. beim Einschleiben der Tübbinge während des Ringbaus.
- Bei der **Maßgenauigkeit der Profile** ist üblicherweise die Genauigkeitsklasse E2 nach ISO 3302-1 [5] einzuhalten (**Table 1**). In Sonderfällen kann die Genauigkeitsklasse E1 erforderlich werden, beispielsweise, wenn hohe Nutfüllungsgrade vorgesehen sind.

than or equal to the groove bottom width, but at least 30 mm. In case of high deflection forces, large groove depths or gasket frames with anchoring feet the edge distance should be further increased.

- Adjacent segments should have a continuous spacing of at least 3 mm, better 5 mm, at the edge distance. The spacing may be larger for constructional reasons.

### 4.3 Joint pattern

Single-layer segment linings are normally designed so that the longitudinal joints in adjacent segments are offset to each other and only **T-joints** prevail.

Although **cross joints** have also been successfully executed in the past for special constructions (e.g. at cross passages, cross links or connections to escape shafts), with regard to sealing capacity they should be avoided where ever possible.

### 4.4 Geometrical shape of gasket profiles

The geometrical shape of the gasket profile influences its compression capacity and water tightness. Therefore the following recommendations should be observed with regard to the geometrical shape of gasket profiles:

- The **profile height** is given by the manufacturer. It generally increases with water pressure and the size of the working range required for the specific project.
- The **profile width**, measured in the groove bottom, should be between about 20 mm and 50 mm. The profile width depends on the profile height. A larger profile width may be required if a higher profile height becomes necessary due to higher water pressures. The profile width should be at least 1.6 times the profile height in order to prevent tilting of the profile, e.g. when pushing in the segment during ring erection.
- For the **dimensional precision of the profiles**, normally the tolerance class E2 according to ISO 3302-1 [5] must be complied with (see **Table 1**). In special cases, the tolerance class E1 can be required, for example when high degrees of groove filling are intended.

**Table 1** Zulässige Toleranzen der Profilhöhe und -breite nach ISO 3302-1

**Table 1** Allowed tolerances of the profile height and width according to ISO 3302-1

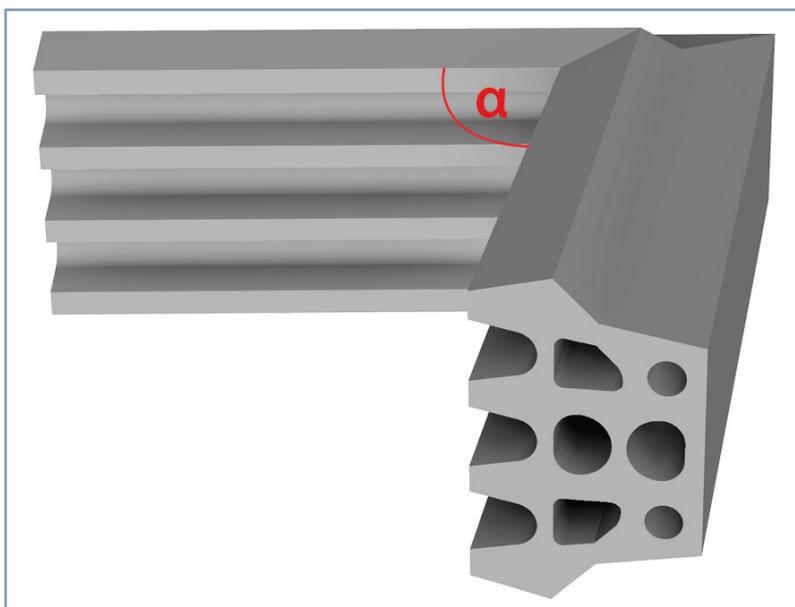
Klasse Class	Profilhöhe und -breite (nominell) Profile height and width (nominal)				
	≤ 10 mm	≤ 16 mm	≤ 25 mm	≤ 40 mm	≤ 63 mm
E1	± 0,4 mm ± 0.4 mm	± 0,5 mm ± 0.5 mm	± 0,7 mm ± 0.7 mm	± 0,8 mm ± 0.8 mm	± 1,3 mm ± 1.3 mm
E2	± 0,7 mm ± 0.7 mm	± 0,8 mm ± 0.8 mm	± 1,0 mm ± 1.0 mm	± 1,3 mm ± 1.3 mm	± 1,6 mm ± 1.6 mm

- Um zu hohe Rückstellkräfte zu vermeiden, soll der **Nutfüllungsgrad** des Dichtungsprofils bei planmäßiger Kompression kleiner als 95 % gewählt werden. Auch bei ungünstiger Kombination der zulässigen Toleranzen (kleine Nutfläche / große Profilquerschnittsfläche) muss der Nutfüllungsgrad weniger als 100 % betragen (d. h. es darf keine vollständige Nutfüllung vorliegen). Die Querschnittsfläche des Dichtungsprofils kann dazu beispielsweise durch Wägung oder Schnittflächenmessung überprüft werden.
- Das Ausmaß und das Volumen der anvulkanisierten **Rahmenecke** ist ebenfalls ausreichend zu begrenzen.
- Die **Kontaktflächenbreite** sollte mindestens 5,0 mm breiter sein als der zu erwartende maximale Versatz. Der Versatz gegenüberliegender Profile sollte durch konstruktive Maßnahmen und präzisen Ringbau grundsätzlich so gering wie möglich gehalten werden.
- Das Profil sollte über eine **innere Stützkonstruktion** aus Verstrebungen und Hohlkanälen verfügen, um auch bei unterschiedlichen Profilversätzen die Fuge abdichten zu können.
- In der Regel sollte ein Profil ohne Nutgrundplatte am Nutgrund Dichtrippen aufweisen. Die Dichtrippenbreite sollte an der Kontaktfläche zum Nutgrund mindestens 2,0 mm betragen.

#### 4.5 Beschaffenheit der Dichtungsrahmen

Folgende Anforderungen sind an die Beschaffenheit von Dichtungsrahmen zu stellen:

- Die **Ecken** der Dichtungsrahmen sind im Herstellerwerk zu fertigen, um die erforderliche Maßgenauigkeit der Rahmen und die Qualität der Eckvulkanisation sicherzustellen.
- Der **Öffnungswinkel  $\alpha$  von Rahmenecken (Bild 7)** wird im Regelfall zu 90° gefertigt. Die an den montierten Dichtungsrahmen ggf. zu beobachtende Vertiefung bzw. Erhöhung der Eckenspitze gegenüber der Profilkontaktfläche sollte 5 mm nicht überschreiten. Deshalb kann es erforderlich werden, den Öffnungswinkel an die Eckwinkel der Tübbinge anzupassen.



**Bild 7** Öffnungswinkel  $\alpha$

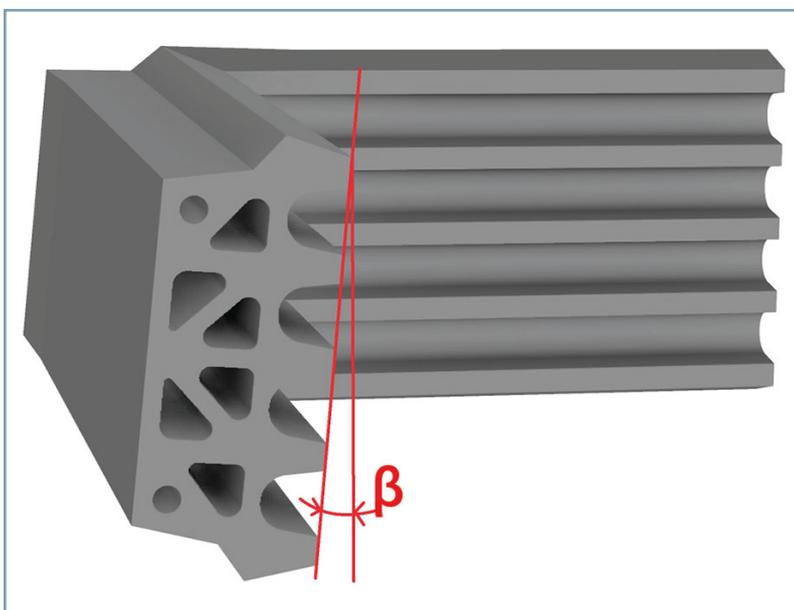
**Figure 7** Opening angle  $\alpha$

#### 4.5 Properties of the gasket frames

The following requirements apply to the properties of gasket frames:

- The **gasket corners** of gasket frames must be produced in the manufacturer's workshop to ensure the necessary precision of the frame and the quality of the vulcanisation in the corner.
- The **opening angle  $\alpha$  of gasket corners (Fig. 7)** is normally manufactured with 90°. An indentation or elevation in the corner tip with respect to the profile's regular contact surface may be observed on the mounted gasket frames and should not exceed 5 mm. Therefore, it may be necessary to adapt the opening angle to the corner angle of the segments.

- Der **Verdrehungswinkel  $\beta$  von Rahmenecken (Bild 8)** beträgt im Regelfall  $0^\circ$ . Bei Längsfugen, die deutlich von der radialen Richtung abweichen, z. B. bei breiten Schlusssteinen mit annähernd parallelen Einschubflächen, ergeben sich Verdrehungswinkel, die – abhängig vom Dichtungsprofil – ein Anpassen des Verdrehungswinkels an die Eckwinkel der Tübbinge erforderlich machen können.
- Die **Rahmenecke** soll so ausgebildet sein, dass einerseits die Dichtigkeit gewährleistet ist und andererseits die Rückstellkräfte der Rahmenecke ohne Abplatzen und ohne Rissbildung des Tübbingbetons aufgenommen werden können. Der Hersteller muss die Form für die Rahmenecken so gestalten, dass die zwangsweise in der Ecke entstehende Volumenkonzentration von Gummi möglichst begrenzt wird, indem zum Beispiel
  - der Eindringweg des eingepressten Roh-Gummis in die Hohlkanäle der Profile klein gehalten wird und/oder
  - Hohlräume oder vergrößerte Rillennuten eingeformt werden und/oder
  - die angeformte äußere Eckenlänge bzw. die innere Verbindungslänge zwischen den Profildenden gering ist.
 Die Verbindungslänge in der Innenseite der Rahmenecke, senkrecht zur Gehrung gemessen, soll hinreichend lang sein, um Toleranzen der zu verbindenden Dichtungsprofile auszugleichen und gleichzeitig genügend Verformungsfähigkeit der Rahmenecke bei der Verpackung und der Montage vorzuhalten. Eine ausschließliche Folienvulkanisation stellt keine ausreichende Verbindung dar.
- Die **Abmessungen der Dichtungsrahmen** werden vom Hersteller auf Grundlage der Schalpläne für die einzelnen Tübbinge des Tübbingrings individuell festgelegt. Bei eingeklebten Dichtungsprofilen sind Vorspannungen (Dehnung) der Dichtungsprofile bis ca. 2 % üblich, bei verankerten Dichtungsprofilen Stauchungen von ca. 0,5 %. Damit werden die Schnittlängen- und Ecken-Fertigungstoleranzen der Rahmen abgedeckt und ein korrekter Sitz der Rahmenecken am Tübbing gewährleistet.
- Vor Beginn der Serienproduktion ist am fertigen Tübbing der Sitz des Dichtungsrahmens zu prüfen.
- The **twist angle  $\beta$  of gasket corners (Fig. 8)** is normally  $0^\circ$ . For longitudinal joints that deviate considerably from the radial direction, e.g. for large keystones with almost parallel planes for sliding in, distortion angles may result, which – depending on the gasket profile – may require an adaptation of the distortion angle at the corner of the segments.
- The **gasket corner** shall be designed so that on the one hand the water tightness is ensured and on the other hand the deflection forces in the corner of the frame can be resisted without the forming of spalling or cracks in the segment concrete. The manufacturer must design the shape of the gasket corner so that the inevitable concentration of rubber volume in the corner is limited as far as possible, for example by
  - keeping the penetration distance of the raw rubber pressed into the hollow channels of the profile short and/or
  - forming hollow spaces or enlarged moulded grooves into the corner, and/or
  - keeping the external corner length or the internal connection length formed between the ends of the profiles small.
 The connecting length inside the gasket corner, measured perpendicular to the mitre, should be sufficiently long to compensate for tolerances of the gasket profiles to be joined and at the same time provide sufficient deformation capacity of the gasket corner for packing and mounting. The sole use of vulcanisation with films does not provide a sufficient connection.
- The **dimensions of the gasket frames** are determined individually by the manufacturer based on the formwork drawings for the individual segments of a ring. For glued-in gasket profiles, prestressing (stretching) of the gasket profiles up to about 2 % is common, for anchored gasket profiles compression of about 0.5 %. This covers the tolerances for the cut lengths and the corner production of the gasket frames and ensures correct placing of the gasket corners on the segments.
- Before starting serial production, the placing of the gasket frame on the cast segment is to be checked.



**Bild 8** Verdrehungswinkel  $\beta$

**Figure 8** Distortion angle  $\beta$

## 4.6 Anordnung von Dichtungsrahmen

Bei Verkehrstunneln sind im Regelfall die Dichtungsrahmen auf der Außenseite der Tübbing angeordnet und dichten die Tunnel außen gegen das Grundwasser ab.

In Wasser- und insbesondere Abwassertunneln befinden sich die Dichtungsrahmen oft auf der Innenseite der Tübbing. Die Dichtungswirkung wird dann vornehmlich innen erbracht. In Druckwassertunneln erfolgt dies gegen den Innendruck, in Abwassertunneln zum Schutz vor dem geförderten Medium.

Einen Sonderfall stellen doppelte Rahmendichtungen dar, bei denen Dichtungsrahmen sowohl auf der Außen- als auch der Innenseite der Tübbing angeordnet sind. Aufgrund der parallelen Anordnung der Dichtungsebenen besteht aber kein redundantes unabhängiges Dichtungssystem. Soll bei doppelten Dichtungssystemen eine Abschottung erzielt werden, sind z. B. in der Ringfuge radiale Rahmenverbindungsstücke anzuordnen, die die außen- und die innenliegende Dichtungsebene verbinden und damit Kompartimente erzeugen.

Die Herstellung und der Einbau von Doppelrahmendichtungen ist aufwendig und die aus der Doppeldichtung erhofften Vorteile einer höheren Dichtigkeit sind nicht nachhaltig bestätigt. Weiter sind bei der Planung zum Einsatz eines doppelten Dichtungssystems frühzeitig sorgfältige Überlegungen anzustellen.

## 4.7 Eingeklebte Dichtungsrahmen

### 4.7.1 Beschaffenheit der Nut

Folgende Anforderungen werden an die Beschaffenheit der Nut vor dem Einbau des Dichtungsrahmens gestellt:

- Die Form der Nut muss so gestaltet sein, dass das Dichtungsprofil Kontakt zum Nutgrund und zu den Nutflanken hat.
- Die Betonoberfläche der Nut zur Aufnahme des Dichtungsprofils ist zu entgraten.
- Fehlstellen, z. B. Lunkerstellen oder Luftporen, können zu Wasserumlaufigkeiten führen, die auszuschließen sind. Einzelne Stellen sind als unbedenklich anzusehen, sofern deren Durchmesser kleiner ist als die Breite der im Nutgrund aufstehenden Profilfüße.

Zur Beurteilung der Fehlstellengröße kann es erforderlich werden, die Nut mit Drahtbürsten zu behandeln, damit auch mit Zementschlämme bedeckte Fehlstellen freigelegt werden. Die so vorbereitete Nutgrundfläche inkl. Nutflanke ist bei Erfordernis zu spachteln (z. B. mit Zweikomponentensanierungsmörtel), um eine ebene Kontaktfläche für den Dichtungsrahmen zu erhalten.

- Poröse Betonbereiche, Risse und Abplatzungen im Bereich der Nutflanken und im Nutgrundbereich beeinträchtigen die Wasserdichtigkeit. Solche Schäden dürfen in Stand gesetzt werden, wenn dies in einem Sanierungskonzept mit dem Bauherrn vereinbart worden ist.

### 4.7.2 Einbau der Dichtungsrahmen

Beim Einkleben der Dichtungsrahmen sollte Folgendes beachtet werden:

- Der Kleber soll den Dichtungsrahmen während der Tübbinglagerung, dem Transport und der Tübbingmontage fixieren.

## 4.6 Position of gasket frames

In traffic tunnels, gasket frames are normally situated on the outside of the segments and seal the tunnel against ground-water from the outside.

In water and particularly in sewer tunnels, gasket frames are often situated on the inside of the segments. The sealing effect is then mainly to the inside. In pressurised water tunnels, this is often done against the internal pressure, in sewer tunnels against the transported medium.

Double gasket frames are a special case, in which gaskets are situated both on the inside and on the outside of the segments. Due to the parallel arrangement of the sealings, however, this does not represent a redundant independent sealing system. If a bulkhead effect is intended with a double sealing system, this can be achieved for example by installing radial connections between the gasket frames in the circumferential joint that connect the external and internal sealings and thus create compartments.

The production and installation of double gasket sealing systems is laborious and the envisioned advantage of a better water tightness from the double sealing is not sustainably confirmed. Furthermore, when designing a double sealing system, careful consideration must be given at an early design stage.

## 4.7 Glued-in gasket frames

### 4.7.1 Properties of the groove

The following requirements apply for the properties of the groove prior to the installation of the gasket frame:

- The shape of the groove must be designed so that the gasket profile has contact with the groove bottom and the groove flanks.
- The concrete surface of the groove for receiving the gasket profile must be deburred.
- Defects such as honeycombing or air voids may lead to the circulation of water, which must be excluded. Individual defects are considered unproblematic provided their diameter is smaller than the width of the sealing ribs upstanding on the groove bottom.

To assess the size of defects, it may be necessary to treat the groove with wire brushes to expose any defects hidden by cement paste. The groove bottom (incl. groove flanks) prepared in this way should be levelled (e.g. with two-component repair mortar) to obtain a flat contact surface for the gasket frame.

- Porous areas of concrete, cracks and spalling in the area of the flanks and the groove bottom impair the water tightness. Such damage may be repaired if this has been agreed in a repair concept with the client.

### 4.7.2 Installation of gasket frames

When gluing the gasket frames, the following should be noted:

- The adhesive should fix the gasket frame during segment storage, transport and ring erection.
- Before gluing the gasket frames, if the repair of defects is required, the bonding times recommended by the manufacturer of the repair mortar must be adhered to.

- Vor dem Einkleben der Dichtungsrahmen müssen bei ggf. vorhandenen Sanierungsstellen die vom Reparaturmörtel-Hersteller empfohlenen Abbindezeiten eingehalten werden.
- Der Nutbereich zur Aufnahme der Dichtungsrahmen muss beim Einbau trocken sowie staub- und fettfrei sein.
- Die einzuklebenden Dichtungsrahmen müssen ebenfalls trocken sowie staub- und fettfrei sein.
- Zum Einbau der Dichtungsrahmen müssen vom Hersteller freigegebene Kleber verwendet werden. Die Anwendung des Klebers erfolgt nach den speziellen Vorgaben des Dichtungsrahmenherstellers. Die Angaben zur Lagerung und Anwendung des Klebers sind zu beachten (Arbeits- und Gefahrenschutz sowie Umweltschutzbestimmungen).
- Die Dichtungsrahmen können auf folgende zwei unterschiedliche Arten in die Nut eingeklebt werden:
  - Trockenbettverklebung (zweiseitiger Kleberauftrag)  
Die Nut, dabei insbesondere die Nutflanken, und der Dichtungsrahmen (auf seinen drei zur Nut gewandten Kontaktflächen) werden mit Kleber eingestrichen. Nach dem Ablüften des Klebers wird der Rahmen, beginnend mit den Rahmenecken, in die vorbereitete Nut eingedrückt.  
Der Dichtungsrahmen wird mit einem Gummihammer in kurzen Abständen über die gesamte Umfangslänge in der Nut angeschlagen, wodurch die Verklebung aktiviert wird.
  - Nassbettverklebung (einseitiger Kleberauftrag)  
Nur die Nut, dabei insbesondere die Nutflanken, wird mit dem Kleber eingesprüht. Anschließend wird der Dichtungsrahmen, beginnend mit den Rahmenecken, in den feuchten Kleber in die Nut eingelegt. Mit einem Pressrahmen wird der Dichtungsrahmen einige Minuten lang in die Nut hineingedrückt, bis der Kleber ausreichend abgebunden hat. Vorzugsweise soll das Andrücken des Dichtungsrahmens mithilfe von pneumatischen oder hydraulischen Pressrahmen im Tübbingwerk erfolgen.  
Es ist darauf zu achten, dass die Krafteinleitung über den Pressrahmen gleichmäßig und bis in die Eckenbereiche hinein stattfindet. Insbesondere bei zum rechteckigen Pressrahmen abgewinkelten Tübbingseiten darf kein seitliches Verschieben des im nassen Klebstoffbetts eingelegten Dichtungsrahmens stattfinden.
- The area of the groove receiving the gasket frame must be dry as well as free of dust and grease for the installation.
- The gasket frames for gluing-in must also be dry as well as free of dust and grease.
- Adhesive approved by the manufacturer must be used to install the gasket frames. The adhesive must be used according to the special specifications of the manufacturer of the gaskets. The instructions regarding the storage and application of the adhesive must be observed (occupational health and safety as well as environmental protection regulations).
- Gasket frames can be glued into the grooves in the following two different ways:
  - Dry bed adhesion (two-sided adhesive application)  
The groove, particularly the groove flanks, and the gasket frame (on its three sides in contact with the groove) are coated with the adhesive. After the adhesive has air-dried, the gasket is pressed into the thus prepared groove, starting at the corners.  
The gasket frame is butted into the groove at short intervals over the entire circumferential length with a rubber hammer, whereby the adhesive is activated.
  - Wet bed adhesion (one-sided adhesive application)  
Only the groove, particularly the groove flanks, is sprayed with the adhesive. Then the gasket frame, starting with the corners, is inserted into the wet adhesive in the groove. Using a pressing frame, the gasket frame is pressed into the groove for a few minutes until the adhesive has sufficiently bonded. The gasket frame should preferably be pressed with pneumatic or hydraulic pressing frames at the segment factory.  
Care should be taken that the force is applied evenly over the entire pressing frame and into the corners. Particularly with segment sides that are at an angle to the rectangular pressing frame, no lateral displacement of the gasket frame inserted into the wet adhesive bed may occur.

## 4.8 Verankerte Dichtungsrahmen

### 4.8.1 Beschaffenheit der Schalung

Die Schalungen müssen mit einer innenliegenden Halte-Nut (**Bild 9**) für die zu verankernden Dichtungsprofile ausgestattet werden. Diese ist zu entgraten.

Beim Einklipsen des Dichtungsrahmens in die Schalung schnappen die Halte-Nasen des Profils hinter die Öffnung der Halte-Nut. Seitliche Dichtungslippen legen sich an die Schalung und verhindern das Eindringen von Zementschlämme.

Eine frühzeitige und enge Abstimmung zwischen Planer, Schalungshersteller und Profilhersteller ist bei verankerten Dichtungsprofilen besonders wichtig. Zum einen ist dies für das Zusammenspiel zwischen den Toleranzen der Dichtungsrahmen und der Aufnahmenut und damit dem optimalen Sitz des Dichtungsrahmens von Bedeutung, zum anderen für die

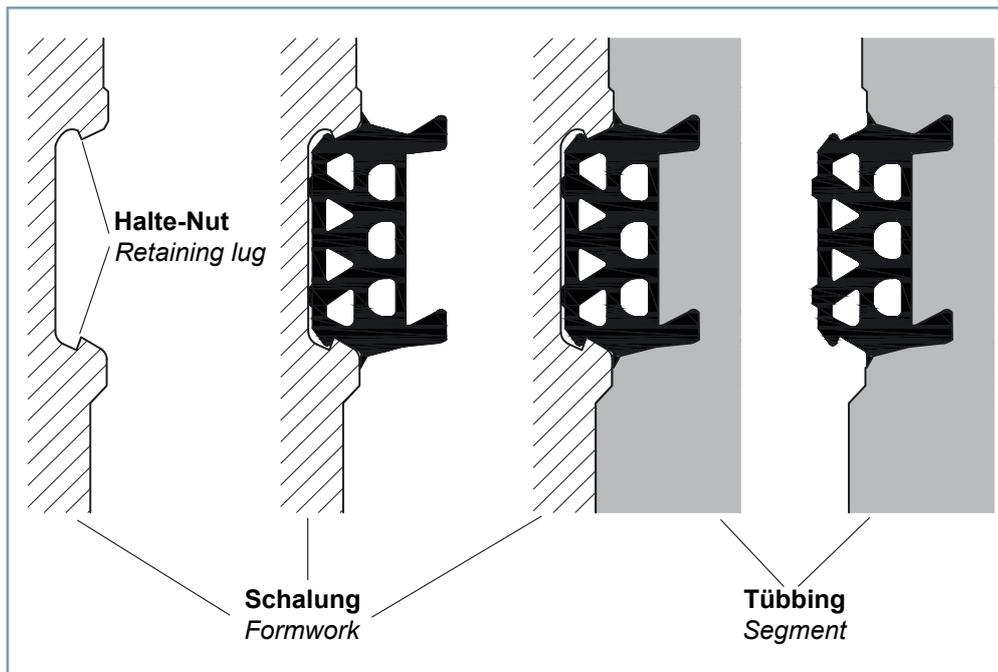
## 4.8 Anchored gasket frames

### 4.8.1 Properties of the formwork

The formwork must be provided with a retaining lug to its inside (**Fig. 9**) for the gasket profile to be anchored. This must be deburred.

When the gasket frame is clipped into the formwork, the retaining lugs of the profile click behind the opening of the retaining lug. Sealing lips to the sides press to the formwork and prevent the penetration of cement paste.

An early and close coordination between designer, formwork manufacturer and profile manufacturer is particularly important when using anchored gasket profiles. This is important both for the interaction between the tolerances of the gasket frame and the retaining groove and thus the optimal fit of the gasket frame and for the geometric design of the seg-



**Bild 9** Halte-Nut in der Schalung für verankerte Dichtungsprofile

**Figure 9** Retaining lug in the formwork for anchored gasket profiles

geometrische Ausbildung des Tübbings mit den Kontaktflächen und den Kanten zur Tübbingoberfläche.

#### 4.8.2 Einbau der Dichtungsrahmen

Die Dichtungsrahmen mit Verankerungen werden, beginnend mit den Rahmenecken, in die umlaufende Nut in den Seiten der geschlossenen Schalungsform eingeklipst. Auf den korrekten Sitz der Rahmenecken ist zu achten. Das vollständige Einklipsen des Rahmens an Nutober- und -unterseite ist visuell oder manuell zu überprüfen, um das Anliegen der seitlichen Dichtungslippen sicherzustellen.

#### 4.8.3 Sonstige Hinweise

- Bei der Planung und der Fertigung von Bewehrungskörben ist zu beachten, dass die Körbe zu den Ring- und Längsfugen einen ausreichenden Abstand aufweisen, damit sie konfliktfrei durch die bereits befestigten Dichtungsrahmen in die Schalungen eingehoben werden können. Eine Befestigung der Dichtungsrahmen im Anschluss an das Einheben der Bewehrungskörbe ist praktisch nicht mehr möglich.
- Beim Einsetzen des Bewehrungskorbs ist darauf zu achten, dass der Dichtungsrahmen nicht aus seiner Halterung gestoßen wird.
- Hinsichtlich der Anforderungen an den Mischungsentwurf des Betons ist zu beachten, dass gegebenenfalls Beschränkungen an das Größtkorn bestehen (Abstand Verankerungsfüße zu Bewehrung bzw. Verankerungsfüße untereinander).
- Erfahrungsgemäß benötigen Dichtungsrahmen mit Verankerungsfüßen zum Ausschalzeitpunkt eine charakteristische Zylinderdruckfestigkeit von mindestens 12 N/mm<sup>2</sup>.

### 4.9 Dichtungsrahmen an schrägen Längsfugen

Beim Einschieben von Tübbingen mit schrägen Längsfugen, z. B. Schlusssteinen, entstehen durch die Reibung zwischen den beiden aufeinanderliegenden Dichtungsrahmen Kräfte in Längsrichtung der Dichtungsrahmen. Diese Kräfte können die

ment with its contact zones and edges to the segment surface.

#### 4.8.2 Installation of the gasket frames

Starting with the gasket corners, the anchored gasket frames are clipped into the retaining grooves in the sides of the closed formwork. Care must be taken that the gasket corners are in the correct position. The complete clipping of the frame at the upper and lower sides of the retaining groove must be checked visually or manually to ensure that the sealing lips press to the formwork on both sides.

#### 4.8.3 Additional information

- When designing and manufacturing the reinforcement cages, care must be taken to provide sufficient space between the cages and the circumferential and longitudinal joints so that the cages can be lifted into the formwork and through the already fixed gasket frames without conflict. Fixing of the gasket frames after inserting the reinforcement cages is practically no longer possible.
- When inserting the reinforcement cage, care must be taken that the gasket frame is not pushed out of the retaining grooves.
- With regard to the requirements for the mix design of the concrete, it should be noted that the maximum aggregate size may have to be limited (spacing of the anchoring feet to the reinforcement or to each other).
- Experience has shown that gasket frames with anchoring feet require a characteristic cylinder strength of at least 12 N/mm<sup>2</sup> before stripping.

### 4.9 Gasket frames to angled longitudinal joints

When sliding in segments with inclined longitudinal joints, e.g. keystones, friction between the two opposing gasket frames induces forces along the gasket frame. These forces can unduly stress the gasket frames and displace them lengthwise.

Dichtungsrahmen unzulässig beanspruchen und in Längsrichtung verschieben.

Die Reibung sollte durch die Verwendung eines geeigneten Schmiermittels, das auf die Dichtungsrahmen aufgetragen wird, reduziert werden. Die verwendeten Schmiermittel dürfen die Dichtwirkung nicht negativ beeinträchtigen, z. B. durch Materialunverträglichkeit. Dabei darf das Schmiermittel nicht auf die (Beton-) Kontaktflächen der Längsfugen gelangen, da ansonsten das Risiko besteht, dass sich Tübbinge mit schrägen Längsfugen aus ihrer Position verschieben.

Die Dichtungsrahmen und die Rahmenecken an Tübbingen mit schrägen Längsfugen müssen in ihrer Lage gegen Verschieben in Längsrichtung gesichert werden, z. B. durch besonders sorgfältiges Verkleben oder Ausklinken der Verankerungsfüße im Eckbereich.

Der Winkel der schrägen Längsfugen muss unter Berücksichtigung der statischen Erfordernisse geometrisch so optimiert sein, dass sich eine möglichst kurze Reibungsstrecke zwischen den Dichtungsprofilen benachbarter Tübbinge ergibt, aber gleichzeitig die Lagesicherheit der Tübbinge nach dem Einschieben gewährleistet bleibt, damit ihr Herausrutschen im Zuge der Ringspaltverpressung verhindert wird.

#### 4.10 Brandschutz von Dichtungsrahmen

In den meisten Tunneln sind die Dichtungsrahmen gebirgsseitig, also bei einem Brand im Tunnel auf der dem Feuer abgewandten Seite angeordnet. Für diesen Fall sind auf Grund des Temperaturgradienten über die Tübbingdicke in der Regel keine besonderen Brandschutzmaßnahmen erforderlich.

Bei innenliegenden Dichtungsrahmen kann im Brandfall in der Regel die Dichtigkeit nicht ohne zusätzliche Brandschutzmaßnahmen gewährleistet werden.

## 5 Anforderungen und Prüfungen

Die Anforderungen an Dichtungsprofile und –rahmen sind in **Tabelle 2** zusammengefasst. Die Einhaltung der Anforderungen wird über Grund- sowie Eignungsprüfungen nachgewiesen. In den nachfolgenden Abschnitten wird die Durchführung dieser Prüfungen beschrieben. Nähere Informationen zum Umfang der jeweiligen Prüfungen enthält Abschnitt 6.

Für die projektspezifischen Eignungsprüfungen ist eine ausreichende Anzahl von Dichtungsrahmensätzen derart zu liefern, dass

- die erforderlichen Dichtigkeitsversuche mit kompletten Rahmensätzen durchgeführt werden können;
- mit Ausnahme der Betonabplatzversuche die für weitere Prüfungen erforderlichen Rahmenstücke und Profilabschnitte aus den gelieferten Rahmensätzen durch entsprechendes Schneiden gewonnen werden können;
- ein Rahmensatz als Rückstellprobe vorliegt;
- ein Rahmensatz als Reserve vorliegt.

Die Auswahl der Rahmen für die einzelnen Versuche erfolgt nach dem Zufallsprinzip.

Sollten keine Versuche zur Dichtigkeit ausgeführt werden, können die erforderlichen Rahmenstücke bzw. Profilabschnitte unmittelbar für die jeweiligen Versuche geliefert werden.

The friction should be reduced by using a suitable lubricant applied to the gasket frame. The lubricant used must not impair the sealing effect, e.g. due to material incompatibility. The lubricant must not get onto the (concrete) contact zones of the longitudinal joints; otherwise there is a risk that segments with inclined longitudinal joints shift out of position.

The gasket frames and frame corners on segments with inclined longitudinal joints must be secured in their position against lengthwise displacement, e.g. by particularly careful gluing or cutting of the anchoring feet in the corner.

Taking into account structural requirements, the angle of the inclined longitudinal joints must be geometrically optimised to result in the shortest possible stretch with friction between the gasket profiles of adjacent segments, while at the same time ensuring the unaltered location of the segments after erection so that they do not slide out when the annular gap is grouted.

#### 4.10 Fire protection of gasket frames

In most tunnels, the gasket frames are situated on the outside, which is the side away from any fire in the tunnel. In this case, normally no particular fire protection measures are necessary due to the temperature gradient over the thickness of the segment.

With gasket frames situated on the inside, in case of a fire the water tightness can generally not be ensured without additional fire protection measures.

## 5 Requirements and testing

The requirements for gasket profiles and gasket frames are summarised in **Table 2**. Compliance with the requirements is verified with initial and suitability testing. The following sections describe how to perform these tests. More information about the scope of the relevant tests is given in section 6.

For the project-specific suitability tests, an adequate number of sets of gasket frames shall be provided, with which

- the required water tightness tests can be performed with complete gasket sets;
- with the exception of the concrete spalling tests, the frame pieces and profile sections required for further tests can be obtained from the provided frame sets by appropriate cutting;
- one frame set is retained as a reference sample;
- one frame set is retained for reserve.

The selection of the frames for the individual tests is random.

If no water tightness tests are performed, the required frame pieces or profile sections can be supplied directly for the respective tests.

**Tabelle 2** Anforderungen an Dichtungsprofile und -rahmen

**Table 2** Requirements for gasket profiles and frames

Nr. No.	Art der Prüfung Type of test	Prüfung nach Abschnitt Test according to section	Anforderung Requirement	
1	Grenzabmaße Profile tolerances	5.1	Mindestens Klasse E2 Minimum Class E2	
2	Materialeigenschaften Material properties			
	2 a Härte IRHD Hardness IRHD	5.2	Zulässige Toleranz auf den Härte-Nennwert: ± 5 IRHD Permissible tolerance from the nominal hardness: ± 5 IRHD	
	2 b Reißfestigkeit Tensile strength	5.2	≥ 9 MPa	
	2 c Reißdehnung Elongation at break	5.2	Bei Härteklasse For hardness class	Reißdehnung Elongation at break
			56-65 IRHD	≥ 300 %
			66-75 IRHD	≥ 200 %
			76-85 IRHD	≥ 175 %
3	Druckverformungsrest (DVR) Compression set	5.3	≤ 20 %	
4	Ozonbeständigkeit Ozone resistance	5.4	Kein Riss No crack	
5	Wärmealterung Artificial ageing			
	5 a Änderung Härte Change of hardness	5.5	- 5 % bis + 8 % - 5 % to + 8 %	
	5 b Änderung Reißfestigkeit Change of tensile strength	5.5	- 20 % bis + 10 % - 20 % to + 10 %	
	5 c Änderung Reißdehnung Change of elongation at break	5.5	- 30 % bis + 10 % - 30 % to + 10 %	
6	Rückstellkraft Deflection force			
	6 a Kraft-Weg-Verhalten Profil Load-displacement behaviour of profile	5.6.1	Ermittlung der Rückstellkraft Determination of the deflection force	
	6 b Kraft-Weg-Verhalten Rahmenecke Load-displacement behaviour of frame corner	5.6.2	Ermittlung der Rückstellkraft Determination of the deflection force	
7	Spannungsrelaxation Stress relaxation	5.7	≤ 45 % Spannungsabfall ≤ 45 % stress reduction	
8	Rückstellfähigkeit Restorative capacity	5.8	≥ 90 %	
9	Dichtigkeit Water tightness	5.9	Dicht über 20 Stunden Watertight after 20 hours	
10	Abplatzverhalten an Betonkörpern Spalling behaviour on concrete samples	5.10	Keine Abplatzungen oder Risse No spalling or cracks	

## 5.1 Grenzabmaße

Die Grenzabmaße sind nach ISO 3302-1 [5] zu bestimmen (siehe Abschnitt 4.4).

## 5.2 Härte, Reißfestigkeit und Reißdehnung

Die Prüfungen der Härte, der Reißfestigkeit und der Reißdehnung erlauben wegen der kurzen Prüfdauer eine rasche Kontrolle der Qualität des vulkanisierten Materials des Dichtungsprofils. Die Bestimmung der Härte erfolgt nach dem Mikro-Prüfverfahren nach ISO 48 [6] (Mikrohärteprüfung). Die Härte der anvulkanisierten Ecke kann von der Härte des Profils abweichen. Die Reißfestigkeit und die Reißdehnung werden nach ISO 37 [7] geprüft. Normstäbe der Typen 1, 2 oder 3 nach ISO 37 sind zulässig; Typ 2 ist zu bevorzugen. Im Prüfbericht muss der Typ des Normstabes angegeben werden.

Nur wenn eine Probengewinnung aus dem Profil nicht möglich ist, können Prüfungen an pressvulkanisierten Platten der gleichen Elastomermischungscharge zugrunde gelegt werden.

## 5.3 Druckverformungsrest

Der Druckverformungsrest erlaubt eine rasche Kontrolle der Qualität der Vulkanisation hinsichtlich der Elastizität. Der Druckverformungsrest wird nach ISO 815 [8] mit dem „kleinen Prüfkörper“ über 22 Stunden bei 70 °C geprüft. Wenn die Prüfkörper aus dem Profil entnommen werden, müssen die Messungen möglichst so durchgeführt werden, dass sie der Richtung der Kompression des Profils entsprechen. Wenn eine Probengewinnung aus dem Profil nicht möglich ist, dürfen drei Profilabschnitte von 12,5 mm Länge verwendet und in Profillängsrichtung verformt werden.

## 5.4 Ozonbeständigkeit

Die Ozonbeständigkeit gibt eine wichtige Auskunft über das Verhalten des gedehnten Gummis bei Sonneneinstrahlung bzw. in der Nähe von Ozonquellen. Die Ozonbeständigkeit ist bei Dichtungsprofilen aus EPDM prinzipiell gegeben; in diesem Fall kann der Nachweis entfallen. Die Prüfung der Ozonbeständigkeit wird an Plattenmaterial durchgeführt. Die Ergebnisse sind dann für alle Profile aus derselben Mischung gültig. Die Prüfung wird nach ISO 1431-1 [9] bei den in **Tabelle 3** angegebenen Bedingungen durchgeführt.

**Tabelle 3** Prüfbedingungen nach ISO 1431-1 [9]

Parameter	Wert
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 %

## 5.1 Profile tolerances

The profile tolerances are determined according to ISO 3302-1 [5] (see section 4.4).

## 5.2 Hardness, tensile strength and elongation at break

The tests of hardness, tensile strength and elongation at break allow rapid checking of the quality of the vulcanised material of the gasket profile due to the short test duration. The hardness is determined according to the micro test procedure of ISO 48 [6] (micro hardness test). The hardness of the vulcanised corner may differ from the hardness of the profile. The tensile strength and elongation at break are tested according to ISO 37 [7]. Standard test pieces of Types 1, 2 or 3 according to ISO 37 are permissible; Type 2 is to be preferred. The type of the test piece must be stated in the test report. Only if it is not possible to obtain a sample from the profile, tests can be based on press-vulcanised plates from the same batch of Elastomer mix.

## 5.3 Compression set

The compression set allows rapid checking of the quality of the vulcanisation regarding its elasticity. The compression set is tested according to ISO 815 [8] with the "small test specimen" for 22 hours at 70 °C. If the specimens are extracted from the profile, the measurements must, if possible, be made such that they correspond to the direction of compression of the profile. If it is not possible to extract a specimen from the profile, three profile sections of 12.5 mm length may be used and deformed in the longitudinal direction of the profile.

## 5.4 Ozone resistance

The ozone resistance gives important information about the behaviour of the stretched rubber in sunlight or in the vicinity of ozone sources. The ozone resistance is given in principle for gasket profiles made of EPDM; in this case the verification can be omitted. The ozone resistance test is performed on plate material. The results are then valid for all profiles from the same mix. The test is performed according to ISO 1431-1 [9] under the conditions given in **Table 3**.

**Table 3** Test conditions according to ISO 1431-1 [9]

Parameter	Value
Ozone concentration	50 ± 5 pphm
Temperature	40 ± 2 °C
Prestress (conditioning)	72 + 0/- 2 h
Action time	48 + 0/- 2 h
Strain at IRHD hardness 36 to 75 IRHD	20 ± 2 %
Strain at IRHD hardness 76 to 85 IRHD	15 ± 2 %
Relative air humidity	55 ± 5 %

## 5.5 Wärmealterung

Bei der Prüfung zur Wärmealterung wird durch hohe Temperaturen die Alterung des Gummis beschleunigt. Ändern sich dabei die Eigenschaftswerte Härte, Reißfestigkeit und Reißdehnung zu stark, 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.

Die Proben werden in einem Wärmeschrank nach ISO 188 [10] über 168 Stunden bei 70 °C in Luft gealtert. Danach erfolgt die Bestimmung der Härte nach ISO 48 [6] und die Prüfung der Reißfestigkeit und Reißdehnung nach ISO 37 [7] (siehe Abschnitt 5.2) nach vorheriger Konditionierung der Proben bei Labortemperatur.

Wenn eine Probengewinnung aus dem Profil nicht möglich ist, dürfen Prüfungen an pressvulkanisierten Platten der gleichen Elastormischungsladung zugrunde gelegt werden.

## 5.6 Rückstellkraft

### 5.6.1 Kraft-Weg-Verhalten des Dichtungsprofils

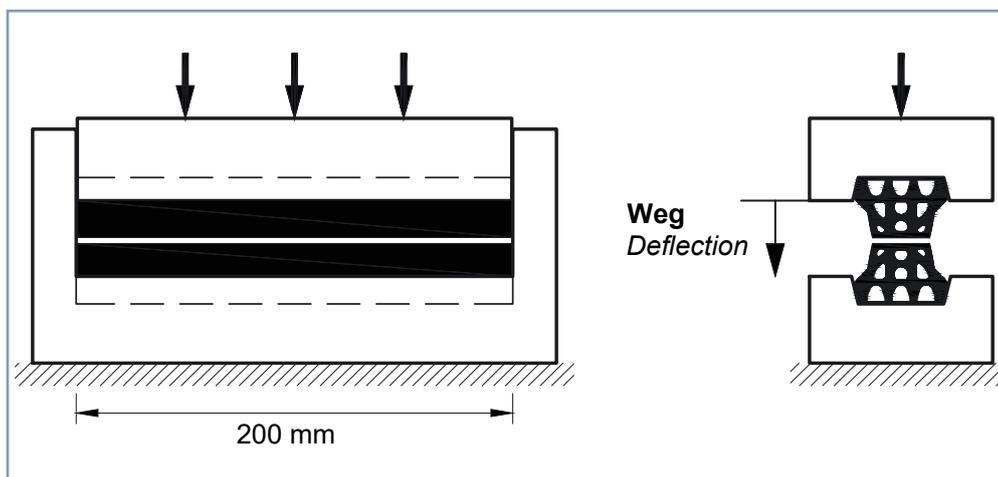
Das Kraft-Weg-Verhalten des Dichtungsprofils ist insbesondere bei der Montage von Tübbingen von Bedeutung, weil dabei planmäßig die Profile bis auf den minimalen Nutgrundabstand zusammengepresst werden. Mit der ermittelten Rückstellkraft können Steckdübel oder Verbindungsschrauben auf die Herausziehkraft bemessen werden.

Im Allgemeinen nehmen die Rückstellkräfte mit zunehmendem Nutfüllungsgrad sowie mit höheren Anforderungen an den Prüfwasserdruck zu.

### Allgemeine Anforderung und Ausstattung

Für die Ermittlung der maximalen Rückstellkraft werden grundsätzlich zwei Dichtungsprofilabschnitte mit einer Länge von jeweils 200 mm (Toleranz  $-1,0/+0,0$  mm) verwendet. Die Prüfung ist unter Laborbedingungen bei einer Raumtemperatur von  $20 \pm 5$  °C mindestens dreimal mit unterschiedlichen Dichtungsprofilabschnitten durchzuführen (Bild 10).

Es ist eine Druckprüfmaschine gemäß ISO 5893 [11] mit einer Genauigkeit der Kraftmessung der Klasse 2 und einer Wegregelung mit einer Geschwindigkeit von 50 mm/min erforderlich. Die Wegmessung erfolgt an der Maschine (Traversenmessung) und nicht am Profil.



**Bild 10** Prüfeinrichtung Kraft-Weg-Verhalten des Dichtungsprofils

**Figure 10** Test apparatus for the Load-displacement behaviour of the gasket profile

## 5.5 Artificial ageing

In the thermal ageing test, the ageing of the rubber is accelerated through high temperatures. If the properties for hardness, tensile strength and elongation at break change too much, this is normally an indication of incomplete vulcanisation. It may also indicate an unintended over-vulcanisation or an insufficient vulcanisation system in the rubber mix.

The samples are aged in a heating cabinet according to ISO 188 [10] over 168 hours at 70 °C in air. The hardness is then determined according to ISO 48 [6] and the tensile strength and elongation at break according to ISO 37 [7] (see Section 5.2) following previous conditioning of the samples at laboratory temperature.

If it is not possible to obtain samples from the profile, tests may be performed on press-vulcanised plates from the same batch of Elastomer mix.

## 5.6 Deflection force

### 5.6.1 Load-displacement behaviour of the gasket profile

The load-displacement behaviour of the gasket profile is particularly significant for the assembly of the segments, because the profiles are intentionally compressed to the minimum groove bottom distance. With the determined deflection force the dowels or connecting bolts can be dimensioned for their pull-out forces.

In general, the deflection forces increase with an increasing degree of groove filling and with a higher requirement for the test water pressure.

### General requirements and equipment

Two sections of gasket profile, each with a length of 200 mm (tolerance  $-1.0/+0.0$  mm), are generally used to determine the maximum deflection force. The test shall be performed under laboratory conditions at a room temperature of  $20 \pm 5$  °C at least three times with different sections of gasket profile (Fig. 10).

A compression testing machine according to ISO 5893 [11] with Class 2 precision of force measurement and stroke control at a rate of 50 mm/min is required. The deflection is measured at the machine (measurement at the traverse) and not at the profile.

Es sind ausreichend steife Prüfformen aus Stahl oder Aluminium mit einer Länge von 200 mm zu verwenden.

Die Enden müssen verschlossen sein, um ein Ausweichen der Dichtungsprofile zu verhindern. Die Endverschlüsse dürfen nicht mit Gleitmittel versehen werden.

Die geometrische Ausbildung der Nut in der Prüfform muss der Nut im Tübbing entsprechen, insbesondere betrifft dies die planmäßige Nuttiefe.

Die Werte der Rückstellkraft von in die Nut eingelegten Profilen können auch für verankerte Profile übernommen werden, wenn eine Übereinstimmung der inneren Geometrie und ein gleicher Nutflankenwinkel gegeben sind. Alternativ kann für die Prüfung der Rückstellkraft von verankerten Dichtungsprofilen entweder ein ausreichend steifer Betonprobekörper verwendet werden, eine angepasste Metallform mit Ausnehmungen für die Nutgrundplatte und die Verankerungsfüße oder – nach Entfernen der Verankerungsfüße – die um die Dicke der Nutgrundplatte angepasste Prüfform. Das Abschneiden der Nutgrundplatte ist nicht zulässig. Für die Abmessungen der Betonprobekörper gelten dieselben Toleranzen wie für die Tübbinge, mit Ausnahme der Lage der Nut, die auf  $\pm 0,5$  mm herzustellen ist.

Sonderprüfungen, um beispielsweise den Temperatureinfluss bei niedrigen Temperaturen zu ermitteln, müssen speziell vereinbart werden.

### Durchführung

Es sind zunächst die entsprechenden Maße (Länge, Breite, Höhe) sowie die Massen aller zu prüfenden Dichtungsprofilabschnitte aufzunehmen. Ebenso sind die Maße der verwendeten Prüfform zu bestimmen.

Bevor das zu prüfende Dichtungsprofil paarweise in die Prüfform eingelegt wird, ist eine Referenzfahrt der Prüfmaschine ohne Profil bis auf den minimalen Nutgrundabstand durchzuführen.

Die Prüfung wird an Dichtungsprofilen ohne Versatz durchgeführt.

Die mit Profilen bestückte Prüfform ist mit einer Vorkraft von 100 N zu belasten. Das Zusammendrücken auf den minimalen Nutgrundabstand der Prüfform erfolgt dann mit einer Geschwindigkeit von 50 mm/min. Der minimale Nutgrundabstand wird konstant gehalten und die innerhalb von 5 Minuten eintretende Relaxation aufgenommen.

Die nach 5 Minuten festgestellte Kraft wird als maßgebende Rückstellkraft des Prüflings bestimmt.

### Prüfbericht

Über die Prüfung zur Ermittlung der Rückstellkraft des Dichtungsprofils ist ein Prüfbericht mit folgendem Inhalt anzufertigen:

- Hinweis auf diese Empfehlung,
- Bezeichnung des Dichtungsprofils einschließlich Nennmaßen und der Elastormischung,
- Nennmaße und Material der verwendeten Prüfform,
- Messwerte für Maße und Massen der Dichtungsprofilabschnitte sowie Maße der Prüfform,
- Darstellung der Kraft-Nutgrundabstand-Kurve, Kraft bezogen auf 1 m Profilabschnitt (Multiplikation mit Faktor 5 für die 200 mm langen Prüflinge),
- Darstellung der Kraft-Zeit-Kurve bis 5 Minuten, absolut und prozentual vom Höchstwert,

Adequately stiff testing forms of steel or aluminium with a length of 200 mm must be used.

The ends must be closed in order to avoid evasion of the gasket profile. The end caps may not be lubricated.

The geometry of the groove in the testing form must correspond to the groove in the segment; in particular, this applies to the designed groove depth.

The values of the deflection force of profiles fitted into the groove may also be used for anchored profiles, if the internal geometry and the angle of the groove flanks are the same. Alternatively, either an adequately stiff concrete specimen may be used for the testing of the deflection force of anchored gasket profiles, or an adapted metal form with recesses for the groove bottom plate and the anchoring feet, or – after removing the anchoring feet – a testing form adapted to accommodate the thickness of the groove bottom plate. Cutting off the groove bottom plate is not permitted. For the dimensions of the concrete specimen the same tolerances apply as for the segments, with the exception of the location of the groove, which shall be  $\pm 0.5$  mm.

Special tests, for example to determine the effect of low temperatures, have to be agreed separately.

### Procedure

First, the dimensions (length, width, height) and the masses of all sections of gasket profiles for testing must be measured. Likewise, the dimensions of the used testing form must be determined.

Before a pair of gasket profiles is fitted into the testing form for testing, a reference run of the testing machine without profile must be carried out to the minimum groove bottom distance.

Testing is performed on gasket profiles without offset.

The testing form fitted with the profiles shall be loaded with a pre-load of 100 N. The compression to the minimum groove bottom distance of the testing form is carried out at a rate of 50 mm/min. The minimum groove bottom distance is kept constant and the relaxation occurring within 5 minutes is recorded.

The force observed after 5 minutes is determined as the decisive deflection force of the test specimen.

### Test report

A test report concerning the testing to determine the deflection force of the gasket profile shall be drawn with the following content:

- reference to these recommendations,
- nomination of the gasket profile including the nominal dimensions and the Elastomer mix,
- nominal dimensions and material of the testing forms used,
- measured values of the dimensions and masses of the gasket profile sections as well as the dimensions of the testing forms,
- illustration of the load-displacement curve with the force related to 1 m of profile (multiplication by a factor of 5 for the 200 mm long test sample),

- Angabe der Maximalkraft, Rückstellkraft infolge Relaxation nach 5 Minuten und die Relaxation in Prozent, jeweils als Mittelwertbildung aus den drei Versuchen,
- Abweichungen von dieser Empfehlung, z. B. andere Versuchstemperatur.

### 5.6.2 Kraft-Weg-Verhalten der Rahmenecke

Das Kraft-Weg-Verhalten der Rahmenecke ist ebenfalls zu ermitteln. Beim Zusammenbau zweier aufeinanderfolgender Tübbingringe kommt es planmäßig zu T-Fugen oder Kreuzfugen. Die Eckbereiche der Dichtungsrahmen sind üblicherweise etwas voluminöser als der laufende Meter Profil ausgebildet, weshalb es im Eckbereich zu erhöhten Rückstellkräften kommt.

#### Allgemeine Anforderung und Ausstattung

Für die Ermittlung der Rückstellkraft an der Rahmenecke bei einer T-Fuge wird grundsätzlich ein 202 mm langer Dichtungsprofilabschnitt (Toleranz  $-1,0/+0,0$  mm) verwendet sowie zwei Dichtungsrahmenabschnitte, deren Schenkellängen auf die untere Prüfform und die Versuchskonstellation anzupassen sind. Die Prüfung ist unter Laborbedingungen bei einer Raumtemperatur von  $20 \pm 5$  °C mindestens dreimal mit unterschiedlichen Dichtungsrahmenabschnitten durchzuführen (Bild 11).

Es ist eine Druckprüfmaschine gemäß ISO 5893 [11] mit einer Genauigkeit der Kraftmessung der Klasse 2 und einer Wegregelung mit einer Geschwindigkeit von 50 mm/min erforderlich. Die Wegmessung erfolgt an der Maschine (Traversenmessung) und nicht am Profil.

Es sind zwei Prüfformen (untere Prüfformen) mit einer Seitenlänge von je ca. 100 mm und einer Nutausbildung über zwei aneinander liegenden Seiten zu verwenden sowie eine Prüfform (obere Prüfform) mit einer Seitenlänge von 202 mm und einer Nutausbildung an einer Seite (Unterseite). Die Prüfformen müssen ausreichend steif und aus Stahl oder Aluminium sein.

- illustration of the load-time curve up to 5 minutes, absolute and as a percentage of the maximum value,
- specification of the maximum deflection force, and the deflection force due to relaxation after 5 minutes and the relaxation in percent, each as an average of the three tests,
- deviations from these recommendations, e.g. deviating test temperature.

### 5.6.2 Load-displacement behaviour of the gasket corner

The load-displacement behaviour of the gasket corner must also be determined. The assembly of two successive segment rings will result in T-joints or cross joints. The corners of gasket frames are normally manufactured somewhat more voluminous than the running metre profile, which causes higher deflection forces in the corners.

#### General requirements and equipment

To determine the deflection force at the frame corner in a T-joint, a 202 mm long section of gasket profile is used (tolerance  $-1.0/+0.0$  mm) with two sections of gasket frame, whose leg length must be adapted to the lower testing form and the test set-up. The test shall be performed under laboratory conditions at a room temperature of  $20 \pm 5$  °C at least three times with different sections of gasket frame (Fig. 11).

A compression testing machine according to ISO 5893 [11] with Class 2 precision of force measurement and stroke control at a rate of 50 mm/min is required. The deflection is measured at the machine (measurement at the traverse) and not at the profile.

Two testing forms (lower testing forms) each with a side length of about 100 mm are to be used with a groove over two adjacent sides as well as one testing form (upper testing form) with a side length of 202 mm and a groove at one side (bottom). The testing forms of steel or aluminium must be adequately stiff.

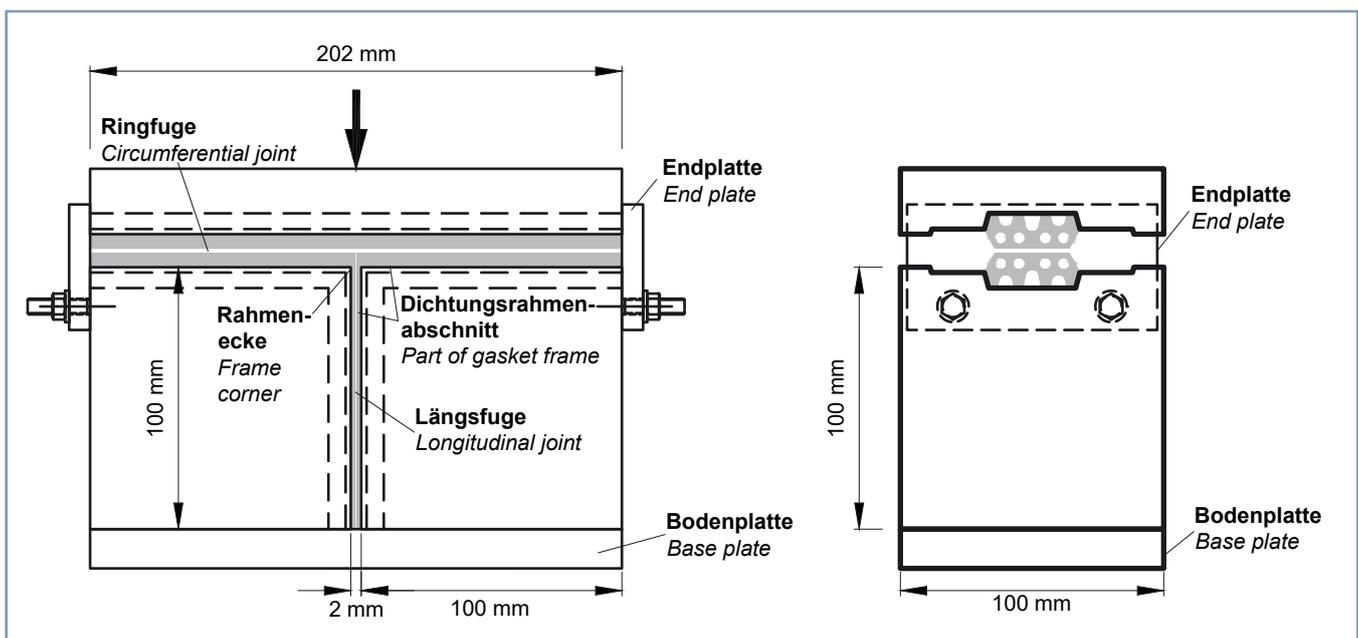


Bild 11 Prüfeinrichtung Kraft-Weg-Verhalten der Rahmenecke

Figure 11 Test apparatus load-displacement behaviour of the gasket corner

Alle Enden sind zu verschließen, um ein Ausweichen der Dichtungsprofile zu verhindern. Die Endverschlüsse dürfen nicht mit Gleitmittel versehen werden.

Die geometrische Ausbildung der Nut in der Prüfform muss der Nut im Tübbing entsprechen, insbesondere betrifft dies die planmäßige Nuttiefe.

Die Werte der Rückstellkraft von in die Nut eingelegten Profilen können auch für verankerte Profile übernommen werden, wenn eine Übereinstimmung der inneren Geometrie und ein gleicher Nutflankenwinkel gegeben sind. Alternativ kann für die Prüfung der Rückstellkraft von verankerten Dichtungsprofilen entweder ein ausreichend steifer Betonprobekörper verwendet werden, eine angepasste Metallform mit Ausnehmungen für die Nutgrundplatte und die Verankerungsfüße oder – nach Entfernen der Verankerungsfüße – die um die Dicke der Nutgrundplatte angepasste Prüfform. Das Abschneiden der Nutgrundplatte ist nicht zulässig. Für die Abmessungen der Betonprobekörper gelten dieselben Toleranzen wie für die Tübbinge, mit Ausnahme der Lage der Nut, die auf  $\pm 0,5$  mm herzustellen ist.

Sonderprüfungen, um beispielsweise den Temperatureinfluss bei niedrigen Temperaturen zu ermitteln, müssen speziell vereinbart werden.

### Durchführung

Es sind zunächst die entsprechenden Maße (Länge, Breite, Höhe) sowie die Massen aller zu prüfenden Dichtungsprofile aufzunehmen. Ebenso sind die Maße der verwendeten Prüfformen zu bestimmen.

Bevor die zu prüfenden Rahmenecken und das Profilstück in die Prüfformen eingelegt werden, ist eine Referenzfahrt der Prüfmaschine ohne Rahmenecken und Profil bis auf den minimalen Nutgrundabstand in der Ringfuge durchzuführen.

Beim Einbau werden zuerst die Rahmenecken in die beiden unteren Prüfformen eingelegt und dann im Bereich der Längsfuge ohne Versatz gegeneinander bis auf den minimalen Nutgrundabstand + 2,0 mm zusammengeschoben. Damit ist die Längsfuge nachgebildet.

Zum Nachbilden der Ringfuge wird der 202 mm lange Dichtungsprofilabschnitt in die obere Prüfform gelegt und ohne Versatz auf die Dichtungsrahmenabschnitte der unteren Prüfformen aufgesetzt.

Die bestückte Prüfform ist mit einer Vorkraft von 100 N vertikal zu belasten. Das Zusammendrücken der oberen Prüfform gegen die unteren Prüfformen bis auf den minimalen Nutgrundabstand erfolgt dann mit einer Geschwindigkeit von 50 mm/min. Der minimale Nutgrundabstand wird konstant gehalten und die innerhalb von 5 Minuten eintretende Relaxation aufgenommen.

Die nach 5 Minuten festgestellte Kraft wird als maßgebende Rückstellkraft des Prüflings bestimmt.

### Prüfbericht

Über die Prüfung zur Ermittlung der Rückstellkraft der Rahmenecke ist ein Prüfbericht mit folgendem Inhalt anzufertigen:

- Hinweis auf diese Empfehlung,
- Bezeichnung des Dichtungsprofils einschließlich Nennmaßen und der Elastormischung,
- Nennmaße und Material der verwendeten Prüfformen,
- Messwerte für Maße und Massen der Dichtungsprofilabschnitte sowie Maße der Prüfformen,

All ends must be closed in order to avoid evasion of the gasket profile. The end caps may not be lubricated.

The geometry of the groove in the testing form must correspond to the groove in the segment; in particular, this applies to the designed groove depth.

The values of the deflection force of profiles fitted in the groove may also be used for anchored profiles, if the internal geometry and angle of the groove flanks are the same. Alternatively either an adequately stiff concrete specimen may be used for the testing of the deflection force of anchored gasket profiles, or an adapted metal form with recesses for the groove bottom plate and the anchoring feet, or – after removing the anchoring feet – a testing form adapted to accommodate the thickness of the groove bottom plate. Cutting off the groove bottom plate is not permitted. For the dimensions of the concrete specimen, the same tolerances apply as for the segments, with the exception of the location of the groove, which shall be  $\pm 0.5$  mm.

Special tests, in order for example to determine the effect of low temperatures, have to be agreed separately.

### Procedure

First, the dimensions (length, width, height) and the masses of all sections of gasket profiles for testing are to be measured. Likewise, the dimensions of the used testing form must be determined.

Before the frame corners and the profile section for testing are fitted into the testing forms, a reference run of the testing machine without gaskets must be carried out to the minimum groove bottom distance in the circumferential joint.

When installing, first the frame corners are fitted into the two lower testing forms and then compressed without offset to the minimum groove bottom distance + 2.0 mm. Thus, this models the longitudinal joint.

To model the circumferential joint, the 202 mm long section of gasket profile is fitted into the upper testing form and mounted without offset onto the gasket sections of the lower forms.

The assembled testing forms shall be loaded vertically with a preliminary load of 100 N. The compression of the upper testing form against the lower testing forms to the minimum groove bottom distance is then carried out at a rate of 50 mm/min. The minimum groove bottom distance is kept constant and the relaxation occurring within 5 minutes is recorded.

The force observed after 5 minutes is determined as the decisive deflection force of the test specimen.

### Test report

A test report concerning the testing to determine the deflection force of the gasket corner shall be drawn with the following content:

- reference to these recommendations,
- nomination of the gasket profile including the nominal dimensions and the Elastomer mix,
- nominal dimensions and material of the testing forms used,

- Darstellung der Kraft-Nutgrundabstand-Kurve als Absolut-Kraft für den T-Stoß,
  - Darstellung der Kraft-Zeit-Kurve bis 5 Minuten, absolut und prozentual vom Höchstwert,
  - Angabe der Maximalkraft, Rückstellkraft infolge Relaxation nach 5 Minuten und die Relaxation in Prozent, jeweils als Mittelwertbildung aus den drei Versuchen. Angabe als Absolutwert,
  - Abweichungen von dieser Empfehlung, z. B. andere Versuchstemperatur.
- measured values of the dimensions and masses of the gasket profile sections and dimensions of the testing forms,
  - illustration of the load-displacement curve as an absolute force for the T-joint,
  - illustration of the load-time curve up to 5 minutes, absolute and as a percentage of the maximum value,
  - specification of the maximum deflection force, and the deflection force due to relaxation after 5 minutes and the relaxation in per cent, each as an average of the three tests. Indication as an absolute value,
  - Deviations from these recommendations, e.g. deviating test temperature.

## 5.7 Spannungsrelaxation

Die Untersuchung des Spannungsrelaxationsverhaltens zeigt auf, wie die Spannung im Dichtungssystem bei einem fest eingestellten Nutgrundabstand im Laufe der Zeit langfristig abnimmt. Der Verlust an Spannung ist zu Anfang relativ hoch und verlangsamt sich im Laufe der Zeit erheblich. In ähnlichem Maße wie die Spannung verringert sich auch die Wasserdichtigkeit des Dichtungssystems.

Zur Beschleunigung der Relaxation wird das Dichtungsprofil zwischen einzelnen Messungen eines Versuchs thermisch konditioniert. Dies ermöglicht eine Extrapolation der Ergebnisse auf das Verhalten nach z. B. 100 Jahren. Grundlage für die Extrapolation ist die Gleichung nach Williams-Landel-Ferry [12].

### Allgemeine Anforderung und Ausstattung

Für die Ermittlung des Spannungsrelaxationsverhaltens werden grundsätzlich Dichtungsprofile mit einer Länge von 100 mm (Toleranz  $-0,5/+0,0$  mm) verwendet. Die Prüfung ist unter Laborbedingungen bei einer Raumtemperatur von  $20 \pm 5$  °C mindestens zweimal mit unterschiedlichen Dichtungsprofilabschnitten durchzuführen.

Es ist eine Druckprüfmaschine gemäß ISO 5893 [11] mit einer Genauigkeit der Kraftmessung der Klasse 2 und einer Wegregelung erforderlich. Die Wegmessung erfolgt an der Maschine (Traversenmessung) und nicht am Profil.

Es ist eine ausreichend steife Prüfform aus Stahl oder Aluminium mit einer Länge von 100 mm zu verwenden.

Die Enden müssen verschlossen sein, um ein Ausweichen der Dichtungsprofile zu verhindern. Die Endverschlüsse dürfen nicht mit Gleitmittel versehen werden.

Die geometrische Ausbildung der Nut in der Prüfform muss der Nut im Tübbing entsprechen, insbesondere betrifft dieses die planmäßige Nuttiefe.

Die Werte der Rückstellkraft für in die Nut eingelegte Profile können auch für verankerte Profile übernommen werden, wenn eine Übereinstimmung der inneren Geometrie und ein gleicher Nutflankenwinkel gegeben sind.

Eine Vorrichtung zur Fixierung des Nutgrundabstandes in der Prüfform ist vorzusehen.

Zur thermischen Konditionierung wird ein Wärmeschrank mit einer einstellbaren Temperatur von  $70 \pm 3$  °C benötigt.

### Durchführung

Es sind zunächst die entsprechenden Maße (Länge, Breite, Höhe) sowie die Massen aller zu prüfenden Dichtungsprofilabschnitte aufzunehmen. Ebenso sind die Maße der verwendeten Prüfformen zu bestimmen.

## 5.7 Stress relaxation

Investigation of the stress relaxation behaviour shows how over time the stress in the sealing system reduces in the long term for a constant groove bottom distance. The loss of stress is relatively high at the beginning and slows down considerably over time. Similar to the stress, also the water tightness of the sealing system is reduced.

To accelerate the relaxation, the gasket profile is thermally conditioned between the individual measurements of a test. This allows extrapolation of the results to the behaviour after for example 100 years. The basis for the extrapolation is the equation according to Williams-Landel-Ferry [12].

### General requirements and equipment

To determine the stress relaxation, gasket profiles with a length of 100 mm (tolerance  $-0.5/+0.0$  mm) are generally used. The test shall be performed under laboratory conditions at a room temperature of  $20 \pm 5$  °C at least twice with different gasket profile sections.

A compression testing machine according to ISO 5893 [11] with Class 2 precision of force measurement and stroke control is required. The deflection is measured at the machine (measurement at the traverse) and not at the profile.

Adequately stiff testing forms of steel or aluminium with a length of 100 mm must be used.

The ends must be closed in order to avoid evasion of the gasket profile. The end caps may not be lubricated.

The geometry of the groove in the testing form must correspond to the groove in the segment; in particular, this applies to the designed groove depth.

The values of the deflection force for the profile fitted into the groove may also be used for anchored profiles, if the internal geometry and the angle of the groove flanks are the same.

A device to fix the groove bottom distance in the testing form must be provided.

For thermal conditioning, a heating cabinet with an adjustable temperature of  $70 \pm 3$  °C is required.

### Procedure

First, the dimensions (length, width, height) and the masses of all test sections of gasket profiles for testing must be measured. Likewise, the dimensions of the used testing form must be determined.

Die Prüfung wird in Anlehnung an ISO 3384 [13] mit dem Prüfverfahren B mit mechanischer und thermischer Konditionierung vorgenommen. Hierfür werden die Dichtungsprofile zunächst für 3 h bei  $70 \pm 3 \text{ °C}$  im Wärmeschrank und anschließend 16 h bis 48 h bei Raumtemperatur ( $20 \pm 5 \text{ °C}$ ) gelagert. Zur mechanischen Vorkonditionierung werden die Dichtungsprofile in die Prüfformen ohne Versatz eingelegt und 5-mal einer Vorbelastung bis zum Referenz-Nutgrundabstand mit sofortiger Entlastung ausgesetzt.

Der einzustellende Prüf-Nutgrundabstand wird nach der folgenden Formel berechnet:

$$\text{Prüf-Nutgrundabstand [mm]} = 0,6 \times H + 0,7 \times \text{min NGA}$$

Dabei entspricht H der Nennhöhe des unkomprimierten Profils und min NGA dem planmäßigen Nutgrundabstand. Der berechnete Prüf-Nutgrundabstand darf für die Versuchsdurchführung auf den nächsten vollen Millimeterbetrag auf- oder abgerundet werden.

Nach der Vorkonditionierung wird zunächst der Prüf-Nutgrundabstand angefahren, die Prüfformen fixiert und für 60 Minuten bei Raumtemperatur gelagert. Im Anschluss wird die Kraft gemessen, die nötig ist, um die in die Prüfformen eingelegten Dichtungsprofile um 0,5 mm zusammen zu drücken.

Als Ausgangs- bzw. Nullwert gilt der Wert bei Raumtemperatur nach 60 Minuten. Weiterhin werden Messungen nach 3 Stunden, 2 Tagen, 3 Tagen, 7 Tagen, 14 Tagen, 28 Tagen, 42 Tagen, 56 Tagen sowie nach 90 Tagen durchgeführt. Die Prüfformen werden für die angegebenen Zeiten bei  $70 \pm 3 \text{ °C}$  im Wärmeschrank gelagert und jeweils vor der Messung über 2 Stunden bei Raumtemperatur abgekühlt. Ab 7 Tagen können die Messungen um  $\pm 3$  Tage abweichend durchgeführt werden. Für die weitere Berechnung sind die realen Lagerungszeiträume im Wärmeschrank zu verwenden.

In einem Diagramm mit logarithmischer Zeitskala und linearer Skala für die auf den Ausgangswert bezogene Kraft wird durch eine Regressionsanalyse eine Gerade ermittelt und die Verringerung der Kraft nach 90 Tagen bestimmt.

## Prüfbericht

Über die Prüfung zur Ermittlung des Spannungsrelaxationsverhaltens ist ein Prüfbericht mit folgendem Inhalt anzufertigen:

- Hinweis auf diese Empfehlung,
- Bezeichnung des Dichtungsprofils einschließlich Nennmaßen und der Elastormischung,
- Nennmaße und Material der verwendeten Prüfformen,
- Messwerte für Maße und Massen der Dichtungsprofilabschnitte sowie Maße der Prüfformen,
- Messwerte der Kräfte,
- Darstellung in einem Diagramm mit auf den Ausgangswert bezogener Kraft und logarithmischer Zeitskala, Regressionsanalyse mit einer Geraden, Bestimmung der bezogenen Kraft auf der Regressionsgeraden nach 90 Tagen,
- Abweichungen von dieser Empfehlung, z. B. andere Versuchstemperatur.

The test is performed based on ISO 3384 [13] using test procedure B with mechanical and thermal conditioning. For this purpose, the gasket profiles are first stored for 3 h at  $70 \pm 3 \text{ °C}$  in the heating cabinet and then for 16 h to 48 h at room temperature ( $20 \pm 5 \text{ °C}$ ). For mechanical preconditioning, the gasket profiles are fitted into the testing forms without offset and subjected 5 times to a preload up to the reference groove bottom distance with immediate relief.

The groove bottom distance for testing is calculated according to the following formula:

$$\text{Test groove bottom distance [mm]} = 0.6 \times H + 0.7 \times \text{min NGA}$$

Where H is the nominal height of the uncompressed profile and min NGA the designed minimum groove bottom distance. The calculated groove bottom distance for testing may be rounded up or down to the nearest full millimetre.

After preconditioning, the compression is set to the groove bottom distance for testing first, and then the testing forms are fixed and stored for 60 minutes at room temperature. Subsequently, the force necessary to compress the gasket profiles fitted into the testing forms by 0.5 mm is measured.

The initial or zero value is the value at room temperature after 60 minutes. Furthermore, measurements are made after 3 hours, 2 days, 3 days, 7 days, 14 days, 28 days, 42 days, 56 days and after 90 days. The testing forms are stored for the given times at  $70 \pm 3 \text{ °C}$  in a heating cabinet and cooled before each measurement at room temperature for 2 hours. From 7 days on, the measurements can be performed with a deviation of  $\pm 3$  days. For further calculation, the actual periods of storage in the heating cabinet must be used.

In a diagram with logarithmic time scale and linear scale for the force related to the initial value, regression analysis is used to determine a straight line and the relaxation of the force after 90 days.

## Test report

A test report concerning the testing to determine the stress relaxation behaviour of the gasket profile shall be drawn with the following content:

- reference to these recommendations,
- nomination of the gasket profile including the nominal dimensions and the Elastomer mix,
- nominal dimensions and material of the testing forms used,
- measured values of the dimensions and masses of the gasket profile sections and dimensions of the testing forms,
- measured values of the forces,
- illustration in a diagram with the forces related to the initial value against a logarithmic time scale. Regression analyses with a straight line, determination of the relative force on the regression line after 90 days,
- deviations from these recommendations, e.g. deviating test temperature.

## 5.8 Rückstellfähigkeit

Die Rückstellfähigkeit zeigt, wie weit sich ein zusammengedrücktes Dichtungsprofil innerhalb von einer Stunde wieder in Richtung der unbelasteten Ausgangshöhe rückverformt. Im Gegensatz zum **Druckverformungsrest** wird der Geometrieinfluss des Dichtungsprofils voll erfasst.

### Allgemeine Anforderung und Ausstattung

Für die Ermittlung der Rückstellfähigkeit werden grundsätzlich zwei Dichtungsprofile mit einer Länge von 200 mm (Toleranz  $-1,0/+0,0$  mm) verwendet. Die Prüfung ist unter Laborbedingungen bei einer Raumtemperatur von  $20 \pm 5$  °C mindestens dreimal mit unterschiedlichen Dichtungsprofilabschnitten durchzuführen.

Es ist eine ausreichend steife Prüfform aus Stahl oder Aluminium mit einer Länge von 200 mm zu verwenden.

Die Enden müssen verschlossen sein, um ein Ausweichen der Dichtungsprofile zu verhindern. Die Endverschlüsse dürfen nicht mit Gleitmittel versehen werden.

Die geometrische Ausbildung der Nut in der Prüfform muss der Nut im Tübbing entsprechen, insbesondere betrifft dieses die planmäßige Nuttiefe.

Die Rückstellfähigkeit von in die Nut eingelegten Profilen kann auch für verankerte Profile übernommen werden, wenn eine Übereinstimmung der inneren Geometrie und ein gleicher Nutflankenwinkel gegeben sind.

Eine Vorrichtung zur Fixierung des Nutgrundabstandes in der Prüfform ist vorzusehen.

Für die Prüfung der Rückstellfähigkeit an verankerten Dichtungsprofilen werden die Verankerungsfüße entfernt. Das Abschneiden der Nutgrundplatte ist nicht zulässig.

### Durchführung

Es sind zunächst die entsprechenden Maße (Länge, Breite, Höhe) sowie die Massen aller zu prüfenden Dichtungsprofilabschnitte aufzunehmen. Ebenso sind die Maße der verwendeten Prüfform zu bestimmen.

Die Dichtungsprofile werden ohne Versatz in die Prüfform eingelegt und auf den minimalen Nutgrundabstand + 2 mm zusammengedrückt und fixiert. Im Anschluss wird die Prüfform mit den Dichtungsprofilen für 72 Stunden bei Laborbedingungen gelagert. Danach wird die Fixierung gelöst und die entnommenen Dichtungsprofile werden im entspannten Zustand für eine Stunde bei Laborbedingungen gelagert. Anschließend wird die Höhe bestimmt. Bei verankerten Profilen ist die Höhe der Nutgrundplatte, sowohl vor der Rückstellung als auch nach der Belastung, von der Profilhöhe abzuziehen.

Die Rückstellfähigkeit wird wie folgt berechnet:

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

### Prüfbericht

Über die Prüfung zur Ermittlung der Rückstellfähigkeit eines Dichtungsprofils ist ein Prüfbericht mit folgendem Inhalt anzufertigen:

- Hinweis auf diese Empfehlung,
- Bezeichnung des Dichtungsprofils einschließlich Nennmaßen und der Elastormischung,
- Nennmaße und Material der verwendeten Prüfform,

## 5.8 Restorative capacity

The restorative capacity shows how far a compressed gasket profile deforms back to the initial, unloaded height within one hour. In contrast to the **compression set**, the geometric influence of the gasket profile is fully captured.

### General requirements and equipment

To determine the restorative capacity, two gasket profiles with a length of 200 mm (tolerance  $-1.0/+0.0$  mm) are used. The test shall be performed under laboratory conditions at a room temperature of  $20 \pm 5$  °C at least three times with different sections of gasket profile.

Adequately stiff testing forms of steel or aluminium with a length of 200 mm must be used.

The ends must be closed in order to avoid evasion of the gasket profile. The end caps may not be lubricated.

The geometry of the groove in the testing form must correspond to the groove in the segment; in particular, this applies to the designed groove depth.

The values of the deflection force of profiles fitted into the groove may also be used for anchored profiles, if the internal geometry and the angle of the groove flanks are the same.

A device to fix the groove bottom distance in the testing form must be provided.

For testing the restorative capacity of anchored gasket profiles, the anchoring feet are removed. Cutting off the groove bottom plate is not permitted.

### Procedure

First, the dimensions (length, width, height) and the masses of all sections of gasket profiles for testing must be measured. Likewise, the dimensions of the used test form must be determined.

The gasket profiles are fitted into the testing forms without offset, compressed to the minimum groove bottom distance + 2 mm and fixed. The testing forms with the gasket profiles are then stored for 72 hours under laboratory conditions. Thereafter, the fixation is released, the gasket profiles are removed and stored in unloaded state for one hour under laboratory conditions. Then the height is determined. For anchored profiles, the height of the groove bottom plate must be deducted from the profile height, both before restoration and after loading.

The restorative capacity is calculated as follows:

$$\text{Restorative capacity [\%]} = \frac{\text{profile height after restoration}}{\text{profile height before loading}} \times 100 \%$$

### Test report

A test report concerning the testing to determine the recovery of the gasket profile shall be drawn with the following content:

- reference to these recommendations,
- nomination of the gasket profile including the nominal dimensions and the Elastomer mix,
- nominal dimensions and material of the testing forms used,

- Messwerte für Maße und Massen der Dichtungsprofilabschnitte sowie Maße der Prüfform,
- Angabe der ermittelten Rückstellfähigkeit [%],
- Abweichungen von dieser Empfehlung, z. B. andere Versuchstemperatur.

## 5.9 Dichtigkeit

In den Dichtigkeitsversuchen wird die Gesamtkonstruktion des Dichtungsrahmens in der Kombination von Nutgrundabstand und Versatz in der T-Fuge beziehungsweise Kreuzfuge – falls planmäßig vorhanden – geprüft. Dieser Dichtigkeitsversuch ist als Kurzzeitversuch zu bewerten, da Relaxationseinflüsse nur über die Dauer der Versuchszeit erfasst werden.

Werden für den Prüfwasserdruck projektspezifisch keine Vorgaben gemacht, ist unter Berücksichtigung der Anforderungen an das Relaxationsverhalten ein Prüfwasserdruck in Höhe des 2-fachen Bemessungswasserdrucks zu wählen.

Die Randbedingungen für die Dichtigkeitsprüfung sind projektspezifisch als maximaler Nutgrundabstand und größter Versatz festzulegen. Es sind Versätze von 0 mm bis einschließlich zum größten Versatz in Schritten von 5 mm zu prüfen.

### Allgemeine Anforderung und Ausstattung

Für die Ermittlung der Dichtigkeit werden grundsätzlich Dichtungsrahmen verwendet, die hinsichtlich ihrer Länge entsprechend den Prüfformen dimensioniert sind. Die Profilabschnitte zwischen den Rahmenecken und den flachen Bilderrahmenecken (**Bild 12**) sollen jeweils mindestens 100 mm lang sein. Die Prüfung ist unter Laborbedingungen bei einer Raumtemperatur von  $20 \pm 5 \text{ °C}$  mindestens zweimal mit unterschiedlichen Dichtungsrahmen durchzuführen. Bei stark abweichenden Versuchsergebnissen kann eine dritte Prüfung zur Bestätigung des Versuchsergebnisses durchgeführt werden.

Es ist eine ausreichend steife Prüfform aus Stahl, Aluminium oder Beton zu verwenden.

Die geometrische Ausbildung der Nut in der Prüfform muss im Eckbereich und auf der Länge des Profilabschnitts der Nut im Tübbing entsprechen. Die geometrische Ausbildung der Nut außerhalb des Profilabschnitts (flache Bilderrahmenecke) darf die Dichtigkeit im zu prüfenden Profilabschnitt nicht beeinflussen.

Liegen für die zu prüfenden Dichtungsrahmen bereits Ergebnisse aus vorangegangenen Dichtigkeitsversuchen mit gleichem Nutgrundabstand vor, bei denen die Nuttiefe jedoch kleiner war, können auf der sicheren Seite liegend diese Ergebnisse auch für eine größere Nuttiefe verwendet werden.

Für jeden Versuch sind fabrikneue Dichtungsrahmen zu verwenden.

Abhängig von der Art der Fuge und den Prüfkörpern sind die im Folgenden aufgeführten Besonderheiten zu berücksichtigen.

#### a) Prüfung an der T-Fuge

Die Prüfungen sind an Prüfformen (**Bild 12**) durchzuführen, die eine T-Fuge nachbilden. Die Prüfvorrichtung besteht aus zwei Winkелеlementen und einem Deckel, in die die Prüfraahmen eingelegt sind (nicht geklebt). Es kommen damit 4 echte Rahmenecken zur Prüfung. Die 12 flachen Bilderrahmenecken,

- measured values of the dimensions and masses of the sections of gasket profile as well as the dimensions of the test forms,
- indication of the restorative capacity [%],
- deviations from these recommendations, e.g. deviating test temperature.

## 5.9 Water tightness

In the water tightness tests, the overall construction of the gasket frame is tested in the combination of groove bottom distance and offset in the T-joint or cross joint – if intended in construction. This water tightness test must be considered as a short-term test, since relaxation effects are only included over the duration of the test period.

If for a project no specification for the test water pressure is made, a test water pressure of twice the design water pressure shall be selected taking into account the requirements for the relaxation behaviour.

The boundary conditions for the water tightness test shall be specified for each project specifically as maximum groove bottom distance and maximum offset. Offsets from 0 mm up to and including the maximum offset shall be tested in steps of 5 mm.

### General requirements and equipment

To determine the water tightness, gasket frames must be used with lengths suitable for the testing forms. The sections of profile between the frame corners and the flat picture frame corners (**Fig. 12**) should each be at least 100 mm long. The test shall be performed under laboratory conditions at a room temperature of  $20 \pm 5 \text{ °C}$  at least twice with different gasket frames. In case the test results deviate strongly, a third test may be performed to confirm the test results.

Adequately stiff testing forms of steel, aluminium or concrete must be used.

The geometry of the groove in the testing forms must correspond to the groove in the segment in the corner area and to the length of the section of profile. The geometry of the groove outside the profile section (flat picture frame corner) must not affect the water tightness in the tested profile section.

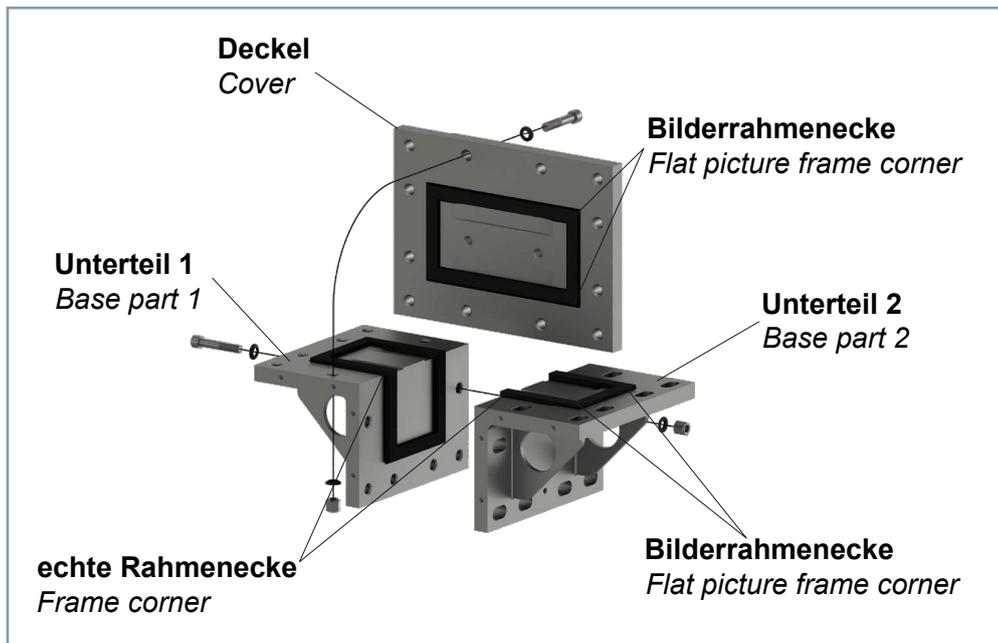
If results from previous water tightness tests are available with the same groove bottom distance as the gasket frames to be tested, but in which the groove depth was smaller, then these results can also be used for a larger groove depth on the safe side.

New, unused gasket frames must be used for each test.

Depending on the type of joint and the test samples, the following special features must be considered.

#### a) Testing of a T-joint

The tests are performed on testing forms (**Fig. 12**) that model a T-joint. The test-layout consists of two angled elements and a cover, into which the test frames are fitted (not glued-in). Thus, 4 actual gasket corners are tested. The 12 flat picture



**Bild 12** Stahlprüfform für Dichtigkeitsversuche; echte Rahmenecken und flache Bilderrahmenecken

**Figure 12** Steel testing form for water tightness tests; real gasket corners and flat picture frame corners

die in der Tübbingauskleidung nicht vorkommen, gehören nicht zum Prüfbereich.

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

#### b) Prüfung an der Kreuzfuge

Die Prüfungen sind an Prüfrahmen durchzuführen, die eine Kreuzfuge nachbilden. Die Prüfvorrichtung besteht aus vier Winkelteilen, in die die Prüfrahmen 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 Prüfbereich.

Für das Einrichten der Versatzsituation bei der Kreuzfugen-Prüfung ist nur ein einziges Winkelelement gegen die restlichen drei Winkelelemente zu verschieben.

#### c) Prüfung mit Betonprüfkörpern

Es wird empfohlen, Dichtigkeitsprüfungen nicht an Betonprüfkörpern durchzuführen, da es dabei erfahrungsgemäß zu erheblichen Schwierigkeiten kommen kann. Verankerte Dichtungsprofile können mit ausreichender Genauigkeit in Stahlformen geprüft werden, indem die Verankerungsfüße abgeschnitten werden.

Sollen die unter a) und b) genannten Prüfungen dennoch an Betonprüfkörpern durchgeführt werden, ist unbedingt auf die Maßgenauigkeit der Nuten sowie der Betonprüfkörper allgemein zu achten. Für die Abmessungen gelten dieselben Toleranzen wie für die Tübinge, mit Ausnahme der Lage der Nut, die auf  $\pm 0,5$  mm herzustellen ist.

Da Beton nur im wassergesättigten Zustand wasserundurchlässig ist, sollten die Betonprüfkörper direkt nach der Herstellung bis zur Prüfung unter Wasser gelagert werden.

### Durchführung

Es sind zunächst die entsprechenden Maße (Länge, Breite, Höhe) sowie die Massen aller zu prüfenden Dichtungsrahmen aufzunehmen. Ebenso sind die Maße der verwendeten Prüfform zu bestimmen, insbesondere die Maße der Nuten.

Zu Beginn sind die Dichtungsrahmen in die unteren beiden

frame corners, which do not exist in the segmental lining, are not part of the test area.

To set up the offset situation for T-joint testing, one of the two lower elements must be placed with the same offset to the other lower element as to the cover.

#### b) Testing a cross joint

The tests must be performed on testing forms that model a cross joint. The test test-layout consists of four angled elements, into which the test gaskets are fitted (not glued-in). Thus, 8 actual frame corners are tested. The 16 flat picture frame corners, which do not exist in the segment lining, are not part of the test area.

To set up the offset situation in cross joint testing, one angled element must be placed with the same offset to the all other angled elements.

#### c) Testing with concrete specimen

It is recommended not to perform water tightness tests on concrete specimen as experience has shown that this can lead to considerable difficulties. Anchored gasket profiles can be tested with sufficient accuracy in steel forms by cutting off the anchoring feet.

If the tests described under a) and b) shall be performed on concrete samples nonetheless, attention must be paid to the dimensional precision of the grooves and the concrete specimen in general. The same tolerances as for the segments apply to the dimensions of the specimen, with the exception of the position of the groove, which must be  $\pm 0.5$  mm.

Since concrete is impermeable to water only in water-saturated state, the concrete specimen should be stored under water immediately after casting until testing.

### Procedure

First, the dimensions (length, width, height) and the masses of all test gasket profiles must be measured. Likewise, the dimensions of the used testing forms must be determined, especially the dimensions of the groove.

Initially, the gasket frames must be fitted loosely into the

Winkelelemente lose in die Nuten der Prüfrahmen einzulegen, der zu prüfende Versatz einzustellen und die Winkelelemente dann bis zum zu prüfenden Nutgrundabstand + 2 mm zusammen zu schrauben. Dabei ist darauf zu achten, dass die Ecken- spitzen auf derselben Höhe liegen und der geplante Versatz auch an den Ecken eingestellt ist.

Nach Einlegen des Dichtungsrahmens in den Deckel erfolgt das Aufsetzen auf die Winkelelemente mit anschließendem Zusammenziehen aller Winkel- und Deckelteile bis zum zu prüfenden Nutgrundabstand.

Im Bereich der flachen Bilderrahmenecken sind zusätzliche Abdichtungsmaßnahmen zulässig. Zusätzliche Maßnahmen dürfen das Prüfergebnis im Bereich der echten Rahmenecken jedoch nicht verfälschen.

Nach der Montage ist der Versuch zügig zu starten, um Rückstellkraftverluste aus Relaxation gering zu halten.

Die durch die aufeinander gepressten Dichtungsrahmen gebildete Kammer wird mit Wasser gefüllt und entlüftet. Anschließend wird der Druck auf 1 bar eingestellt. Dieser Druck soll bei Prüfrahmen aus Stahl 5 Minuten gehalten werden. Tritt innerhalb dieser 5 Minuten keine Leckage auf, wird der Druck bei einem Prüfwasserdruck kleiner als 10 bar stufenweise um 1 bar gesteigert und wieder jeweils 5 Minuten gehalten. Dies wird solange fortgesetzt, bis eine Leckage auftritt bzw. der Prüfwasserdruck erreicht ist. Bei hohen Prüfwasserdrücken ( $\geq 10$  bar) darf der Stufenanstieg angepasst werden, so dass der Prüfwasserdruck innerhalb einer kürzeren Zeit (z. B. einer Stunde) erreicht werden kann.

Der maßgebliche Prüfwasserdruck ist mindestens 20 Stunden bei einer Genauigkeit von  $+1,0/-0,0$  bar zu halten und messtechnisch aufzuzeichnen. Treten während dieser Zeit keine Leckagen auf, ist der Nachweis für den Prüfwasserdruck erbracht. Der Austritt einzelner Wassertropfen ist nicht als Leckage zu werten.

Zur Bestimmung der weiteren Leistungsfähigkeit des Dichtungsprofils wird der Druck anschließend in 5-Minuten-Schritten gesteigert, z. B. um jeweils 1 bar, bis eine Leckage auftritt. Die höchste Druckstufe ohne Leckage gibt die Leistungsfähigkeit des Dichtprofils an.

Nach Abschluss eines jeden Dichtigkeitsversuchs sind die Prüfrahmen zur visuellen Kontrolle des Profilquerschnitts aufzuschneiden.

## Prüfbericht

Über die Prüfung zur Ermittlung der Dichtigkeit eines Dichtungsprofils ist ein Prüfbericht mit folgendem Inhalt anzufertigen:

- Hinweis auf diese Empfehlung,
- Bezeichnung des Dichtungsprofils einschließlich Nennmaßen und der Elastomermischung,
- Nennmaße und Material der verwendeten Prüfrahmen,
- Messwerte für Maße und Massen der Dichtungsprofilabschnitte sowie Maße der Prüfrahmen,
- Darstellung der Versuchsergebnisse in Tabellenform. Sofern unterschiedliche Nutgrundabstände untersucht worden sind, können die Ergebnisse auch in einem Nutgrundabstand-Dichtigkeitsdruck-Diagramm für verschiedene Versatzmaße dargestellt werden,
- Darstellung der angefahrenen Druckstufen mit Beobachtungen zu Leckagen (einschließlich dem Austritt einzelner Wassertropfen),

grooves of the two lower angled elements, the offset to be tested is set and the angled elements are bolted to the groove bottom distance that is to be tested + 2 mm. Care should be taken that the corner tips are at the same height and the intended offset is also set at the corners.

After fitting the gasket frame into the lid, the lid is mounted onto the angled elements and the angled elements are bolted to the lid up to the groove bottom distance to be tested.

At the flat picture frame corners, additional sealing measures are permitted. However, additional measures may not affect the test result in the area of the actual gasket corners.

After assembly, the test must be started promptly to keep losses of the deflection force due to relaxation small.

The chamber formed by the compressed gasket frames is filled with water and vented. Then the pressure is raised to 1 bar. This pressure should be kept for 5 minutes when using testing forms of steel. If there is no leakage during these 5 minutes, the pressure is gradually increased by 1 bar for a test water pressure of less than 10 bar and kept for 5 minutes at each step. This is continued until a leak occurs or the test water pressure is reached. For high test water pressures ( $\geq 10$  bar), the gradual increase may be adapted so that the test water pressure can be reached within a shorter time (e.g. one hour).

The relevant test water pressure must be maintained for at least 20 hours with an accuracy of  $+1.0/-0.0$  bar and recorded by measurement. If no leaks occur during this period, the test water pressure is verified. The discharge of singular water drops is not to be considered as leakage.

To determine the further performance of the gasket profile, the pressure is then increased in steps of 5 minutes, e.g. 1 bar each, until leakage occurs. The highest pressure level without leakage indicates the performance of the gasket profile.

After completion of each water tightness test, the test frames must be cut open for visual inspection of the profile cross-section.

## Test report

A test report concerning the testing to determine the water tightness of the gasket profile shall be drawn with the following content:

- reference to these recommendations,
- nomination of the gasket profile including the nominal dimensions and the Elastomer mix,
- nominal dimensions and material of the testing forms used,
- measured values of dimensions and masses of the gasket profile sections as well as the dimensions of the test forms,
- presentation of the test results in tabular form. If different groove bottom distances were tested, the results may also be displayed in a diagram showing water tightness over groove bottom distance and for the various offsets,
- illustration of the pressure steps with observations of leakage (including the emergence of singular water drops),

- Gesamtbewertung des nachgewiesenen Prüfwasserdrucks, der niedrigere der beiden ermittelten aufnehmbaren Wasserdrücke ist maßgebend,
- Sollten mehr als zwei Versuche durchgeführt werden und weicht bei einem von drei Versuchen der erreichte Prüfwasserdruck um mehr als 50 % von dem Mittelwert der anderen beiden Versuche ab, kann dieser eine Versuch als Ausreißer gewertet werden. Zeigen alle drei Prüfwasserdrücke erhebliche Abweichungen untereinander, sollte ein vierter Versuch durchgeführt werden,
- Druck-Zeit-Diagramm,
- Abweichungen von dieser Empfehlung.

## 5.10 Abplatzverhalten

Zu hohe Rückstellkräfte der Dichtungsrahmen verursachen ein Abplatzen von Beton – speziell im Eckbereich der Tübbinge. Das Abplatzen bzw. bereits die Rissbildung im Nutbereich sind deshalb problematisch, da mit ihnen eine Verringerung oder gar ein Verlust der Dichtigkeit der Rahmendichtung einhergehen kann. Abplatzungen an den Tübbingungen treten vornehmlich im Zuge des Ringbaus bzw. dem anschließenden Belasten durch die Vortriebspresen auf.

Abplatzversuche sind wegen der erforderlichen Genauigkeit bei der Herstellung der Betonversuchskörper besonders aufwendig. Weiter ist ein ausreichender zeitlicher Vorlauf der Versuche vor der Produktion der Tübbingschalung vorzusehen, damit die Geometrie der Nut (insbesondere der Randabstand) angepasst werden kann.

Auf Abplatzversuche kann verzichtet werden, wenn über das Abplatzverhalten des gewählten Dichtungsrahmens ausreichende praktische Erfahrungen sowie ggf. ergänzende rechnerische Abschätzungen oder Versuchsergebnisse vorliegen, die unter vergleichbaren Projektbedingungen gemacht wurden. Für eine Vergleichbarkeit sind mindestens die folgenden Größen zu betrachten:

- Rückstellkräfte der Dichtungsprofile und -rahmenecken,
- Geometrische Ausbildung der Tübbingkanten und -ecken (Randabstand, Nuttiefe, Eckwinkel),
- Druck- und Spaltzugfestigkeit sowie E-Modul des Betons,
- Typ des Dichtungsprofils (eingeklebt oder verankert).

### Allgemeine Anforderung und Ausstattung

Für die Ermittlung des Abplatzverhaltens werden Dichtungsrahmen bzw. -abschnitte verwendet. Die Schenkellängen der Dichtungsrahmen an den Ecken sollen jeweils mindestens 300 mm bzw. die Dichtungsprofilabschnitte mindestens 600 mm lang sein. Die Prüfung ist unter Laborbedingungen bei einer Raumtemperatur von  $20 \pm 5$  °C mindestens zweimal mit unterschiedlichen Betonprobekörpern und unterschiedlichen Dichtungsprofil-Rahmensätzen durchzuführen.

Die Betonversuchskörper sind vorzugsweise aus der gleichen, jedoch mindestens aus einer vergleichbaren Betonrezeptur herzustellen, wie die später zu produzierenden Tübbinge. Die tatsächliche Betondruck- und -spaltzugfestigkeit der Versuchskörper ist nach DIN EN 12390-3 [14] bzw. DIN EN 12390-5 [15] zu ermitteln und im Prüfbericht anzugeben.

Die äußeren Abmessungen der unteren beiden Betonversuchskörper (Typ 1) betragen Länge × Breite × Höhe = 40 cm × 40 cm × 40 cm, die des oberen Betonversuchskörpers (Typ 2) 80 cm × 40 cm × 40 cm (Bild 13). Für den Fall, dass

- overall assessment of the verified test water pressure; the lower of the two determined resisted water pressures is decisive,
- if more than two tests are performed and if the test pressure achieved in one of the three tests differs by more than 50 % from the average of the other two tests, this test can be regarded as an outlier. If all three test water pressures deviate considerably from each other, a fourth test should be performed,
- pressure-time diagram,
- deviations from these recommendations.

## 5.10 Spalling behaviour

Too high deflection forces of the gasket frames cause spalling of the concrete – especially at the corners of the segments. The spalling or already the forming of cracks at the groove is problematic because this can lead to a reduction or the loss of water tightness of the gasket frame. Spalling of the segments occurs mainly during ring erection or the subsequent loading from the thrust rams.

Spalling tests require a particularly high effort due to the high precision required in the production of the concrete specimen. Furthermore, the tests must be performed with sufficient lead time before the production of the segment formwork so that the geometry of the groove (particularly the edge distance) can be adapted.

Spalling tests may be omitted if there is sufficient practical experience on the spalling behaviour of the selected gasket frames and, where appropriate, supplementary structural assessments or test results are available, which were made under comparable project conditions. For comparability, at least the following parameters shall be considered:

- deflection force of the gasket profile and gasket corners,
- geometry of the segment edges and corners (edge spacing, groove depth, corner angle),
- compressive strength and tensile splitting strength as well as E-modulus of the concrete,
- type of gasket profile (glued-in or anchored).

### General requirements and equipment

To determine the spalling behaviour, gasket frames or sections are used. The leg lengths of the gasket frames at the corners shall be at least 300 mm or the gasket profile sections at least 600 mm long. The test shall be performed under laboratory conditions at a room temperature of  $20 \pm 5$  °C at least twice with different concrete specimen and different frame sets of gasket profile.

The concrete specimen are preferably made of the same, but at least a comparable concrete mix, as the later to be produced segments. The actual concrete compressive strength and the tensile splitting strength of the specimen must be determined according to DIN EN 12390-3 [14] and DIN EN 12390-5 [15] and specified in the test report.

The external dimensions of the two lower concrete specimen (type 1) are length × width × height = 40 cm × 40 cm × 40 cm, and those of the upper concrete test specimen (type 2) 80 cm × 40 cm × 40 cm (Fig. 13). If it is intended to use cross joints in the segmental lining, the upper specimen

für die Tübbingauskleidung Kreuzfugen vorgesehen sind, ist der obere Probekörper durch zwei Probekörper vom Typ 1 zu ersetzen.

Die Verformung des Dichtungsrahmenabschnitts in Längsrichtung der Nut ist durch geeignete Maßnahmen (Verschluss der Nutenden z. B. durch Metallplatten) zu verhindern.

Die geometrische Ausbildung der Nut in den Betonversuchskörpern muss der Nut im späteren Tübbing entsprechen. Die Betonversuchskörper sind möglichst ähnlich wie der spätere Tübbing der Tunnelauskleidung auszubilden (Betondruckfestigkeit, Betonspaltzugfestigkeit, Stahlfasern usw.). Auf das Anordnen einer Bewehrung kann verzichtet werden. Für die Abmessungen gelten dieselben Toleranzen wie für die Tübbinge, mit Ausnahme der Lage der Nut, die auf  $\pm 0,5$  mm herzustellen ist.

### Durchführung

Es sind zunächst die entsprechenden Maße (Länge, Breite, Höhe) sowie die Massen aller zu prüfenden Dichtungsprofilabschnitte bzw. -rahmen aufzunehmen. Ebenso sind die Maße der verwendeten Betonversuchskörper zu bestimmen, insbesondere die Maße der Nuten. Bei verankerten Dichtungsprofilen sollten die Maße und Massen möglichst vor dem Einbetonieren bestimmt werden.

Zu Beginn sind in die Nuten der beiden unteren Betonversuchskörper (Typ 1) je zwei Dichtungsrahmenecken einzukleben. Der obere Betonversuchskörper (Typ 2) wird mit zwei Dichtungsprofilabschnitten versehen. Bei der Prüfung mit verankerten Dichtungsprofilen werden die Rahmen und Abschnitte bei der Herstellung der Probekörper mit einbetoniert.

Die drei Betonversuchskörper werden so aufgebaut, dass die mit Dichtungsrahmenabschnitten versehenen Seiten eine T-Fuge bilden.

Zuerst wird die vertikale Fuge zwischen den beiden unteren Probekörpern auf den minimalen Nutgrundabstand + 2 mm

must be replaced by two specimen of type 1.

The evasion of the sections of gasket frame in the longitudinal directions of the groove must be prevented by suitable measures (closure of the groove caps, for example with metal plates).

The geometry of the groove in the concrete specimen must correspond to that in the later segments. The concrete test samples shall be as similar as possible to the later segment for the tunnel lining (concrete compression strength, concrete tensile splitting strength, steel fibres, etc.). The provision of reinforcement can be omitted. For the dimensions of the concrete specimen the same tolerances apply as for the segments, with the exception of the location of the groove, which shall be  $\pm 0.5$  mm.

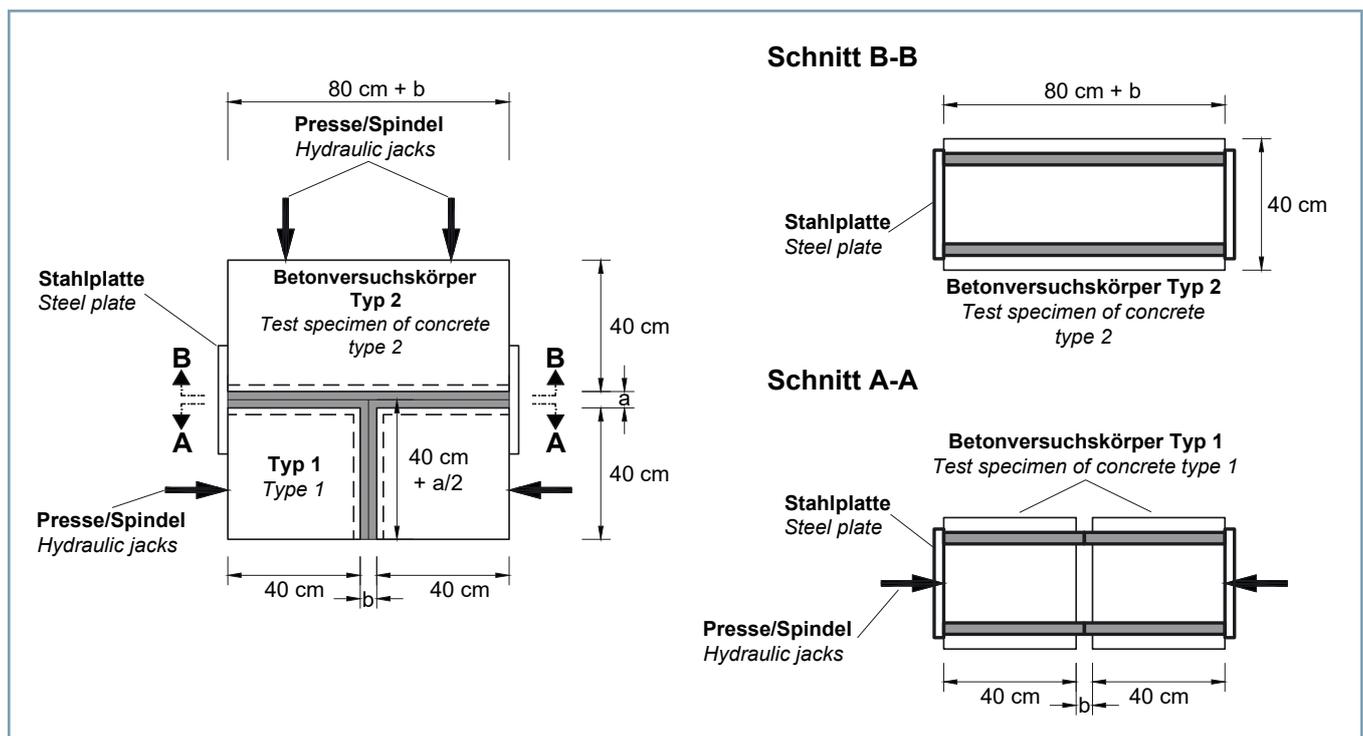
### Procedure

First, the dimensions (length, width, height) and the masses of all test sections of gasket profile or frames for testing must be measured. Likewise, the dimensions of the used concrete specimen must be determined, particularly the dimensions of the grooves. When testing anchored gasket profiles, if possible, the dimensions and masses should be determined before the casting.

At the beginning, two gasket frame corners must be glued into the grooves of the two lower concrete specimens (type 1). The upper concrete specimen (type 2) is provided with two sections of gasket profile. When testing anchored gasket profiles, the gasket frames and sections are cast into the concrete specimens.

The three concrete specimens are assembled so that the sides provided with the gasket frames form a T-joint.

First, the vertical joint between the two lower specimens is closed to the minimum groove bottom distance + 2 mm. Then the upper specimen is mounted and compressed with



**Bild 13** Betonprüfkörper für den Abplatzversuch  
**Figure 13** Concrete test sample for the spalling test

geschlossen. Dann wird der obere Probekörper aufgesetzt und mit mindestens einer Presse zusammengedrückt, bis der minimale Nutgrundabstand erreicht ist. Um im Falle von Schäden die Ursachen leichter ermitteln zu können, wird empfohlen, die vertikalen Pressenkräfte zu messen und aufzuzeichnen.

Der Abplatzversuch ist bestanden, wenn nach Erreichen des minimalen Nutgrundabstandes keine Schäden am Beton (z. B. Risse oder Abplatzungen) über eine Belastungszeit von 30 Minuten auftreten.

Sind Kreuzfugen planmäßig vorgesehen, ist analog zu verfahren. Auch die obere vertikale Fuge ist dabei auf den minimalen Nutgrundabstand + 2 mm zu schließen.

### Prüfbericht

Über die Prüfung zur Ermittlung des Abplatzverhaltens ist ein Prüfbericht mit folgendem Inhalt anzufertigen:

- Hinweis auf diese Empfehlung,
- Betondruck- und -spaltzugfestigkeit sowie Alter der Betonprobekörper,
- Bezeichnung des Dichtungsprofils einschließlich Nennmaßen und der Elastormischung,
- Nennmaße der verwendeten Betonversuchskörper,
- Messwerte für Maße und Massen der Dichtungsprofilabschnitte,
- Darstellung der Nutgrundabstände mit Beobachtungen zu Abplatzungen,
- Optional: Zeitlicher Verlauf der vertikalen Pressenkräfte bis zum Erreichen des minimalen Nutgrundabstandes bzw. bis zum Auftreten von Rissen oder Abplatzungen,
- Ergebnisse der Abplatzversuche mit Dokumentation eines ggf. aufgetretenen Versagens,
- Abweichungen von dieser Empfehlung, z. B. andere Versuchstemperatur.

## 6 Grund- und Eignungsprüfungen – Art und Umfang

Die Grund- und Eignungsprüfungen sind von unabhängigen, anerkannten Prüfstellen durchzuführen, die über ausreichende Erfahrungen mit den jeweiligen Prüfungen verfügen.

Im Rahmen einer **Grundprüfung** werden die generellen Eigenschaften eines Dichtungsprofils untersucht. Zur Ermittlung dieser Eigenschaften sind folgende der im Abschnitt 5 beschriebenen Prüfungen durchzuführen:

- Grenzabmaße,
- Materialeigenschaften (Härte IRHD, Reißfestigkeit und Reißdehnung),
- Druckverformungsrest,
- Ozonbeständigkeit,
- Wärmealterung,
- Spannungsrelaxation,
- Rückstellfähigkeit.

Ergänzend zur Grundprüfung ist projektbezogen eine Eignungsprüfung notwendig. Auf diese kann verzichtet werden, sofern entsprechende Ergebnisse aus vorherigen Projekten mit vergleichbaren Randbedingungen vorliegen.

Im Rahmen einer **Eignungsprüfung** sind folgende Prüfungen mit den projektspezifischen Bedingungen, wie beispielsweise Nutgeometrie oder Wasserdruck, durchzuführen:

at least one thrust cylinder until the minimum groove bottom distance is reached. In order to be able to determine the causes of damage more easily, it is recommended to measure and record the vertical press forces.

The spalling test is passed if there is no damage (e.g. cracks or spalling) to the concrete after reaching the minimum groove bottom distance over a loading period of 30 minutes.

If cross joints are intended, the procedure is analogous. The upper vertical joint is also to be closed to the minimum groove bottom distance + 2 mm.

### Test report

A test report concerning the testing to determine the spalling behaviour shall be drawn with the following content:

- reference to these recommendations,
- compressive and tensile splitting strengths of the concrete and age of the concrete test samples,
- nomination of the gasket profile including the nominal dimensions and the Elastomer mix,
- nominal dimensions of the concrete specimen used,
- measured values of dimensions and masses of the sections of gasket profile,
- illustration of the groove bottom distance with observations of spalling,
- optional: diagram showing the vertical press forces over time until reaching the minimum groove bottom distance or until the occurrence of cracks or spalling,
- results of the spalling test with documentation of a possibly occurring failure,
- deviations from these recommendations, e.g. deviating test temperature.

## 6 Initial and suitability testing – Type and scope

Initial and suitability testing must be performed by independent, recognised testing bodies that have sufficient experience of the respective tests.

With **initial testing**, the general properties of a gasket profile are examined. To determine these properties, the following of the tests described in Section 5 shall be performed:

- Limit deviations,
- Material properties (hardness IRHD, tensile strength and elongation at break),
- Compression set,
- Ozone resistance,
- Thermal ageing,
- Stress relaxation,
- Restorative capacity.

In addition to the initial testing, suitability testing is required for each project. This may be omitted if appropriate results are available from previous projects with comparable conditions.

As part of **suitability testing**, the following tests with the project-specific conditions, such as groove geometry or water pressure, shall be performed:

- Rückstellkraft,
- Dichtigkeit,
- Abplatzverhalten.

Im Rahmen der Grund- und Eignungsprüfung sind jeweils mehrere Versuche je Prüfung durchzuführen. Die nachfolgende **Tabelle 4** enthält entsprechende Angaben zur Anzahl der Versuche, die innerhalb der Prüfungen mindestens durchzuführen sind.

- Deflection force,
- Water tightness,
- Spalling behaviour.

The initial and suitability testing consists of several individual tests per test type. The following **Table 4** contains respective information concerning the minimum number of tests for each test type.

**Tabelle 4** Umfang der einzelnen Prüfungen im Rahmen der Grund- und Eignungsprüfung

**Table 4** Extent of individual tests in the course of initial and suitability testing

Nr. No.	Art der Prüfung Type of test	Prüfung nach Abschnitt Testing according to section	Anzahl an Versuchen Number of tests		
			am Profil on the profile	an der Rahmenecke on the gasket corner	am Rahmen on the gasket frame
1	Grenzabmaße Profile tolerances	5.1	3	3	–
2	Materialeigenschaften Material properties				
	2 a Härte IRHD Hardness IRHD	5.2	3	–	–
	2 b Reißfestigkeit Tensile strength	5.2	3	–	–
	2 c Reißdehnung Elongation at break	5.2	3	–	–
3	Druckverformungsrest (DVR) Compression set	5.3	3	–	–
4	Ozonbeständigkeit Ozone resistance	5.4	3	–	–
5	Wärmealterung Artificial ageing				
	5 a Änderung Härte Change of hardness	5.5	3	–	–
	5 b Änderung Reißfestigkeit Change of tensile strength	5.5	3	–	–
	5 c Änderung Reißdehnung Change of elongation at break	5.5	3	–	–
6	Rückstellkraft Deflection force				
	6 a Kraft-Weg-Verhalten Profil Load-displacement behaviour of profile	5.6.1	3	–	–
	6 b Kraft-Weg-Verhalten Rahmenecke Load-displacement behaviour of frame corner	5.6.2	–	3	–
7	Spannungsrelaxation Stress relaxation	5.7	2	–	–
8	Rückstellfähigkeit Restorative capacity	5.8	3	–	–
9	Dichtigkeit Watertightness	5.9	–	–	2
10	Abplatzverhalten Spalling behaviour	5.10	–	2	–

## 7 Güteüberwachung – Lieferbedingungen und Lagerung

### 7.1 Werkseigene Produktionskontrolle

Im Rahmen einer Güteüberwachung der gefertigten Dichtungsrahmen stellt die regelmäßige werkseigene Produktionskontrolle (WPK) einen wesentlichen Teil dar. Dabei soll der Hersteller die wichtigsten Eigenschaften der Dichtungsrahmen nach **Tabelle 5** prüfen. Die Ergebnisse der WPK sind aufzuzeichnen und auf Grundlage der Ergebnisse der Grund- bzw. Eignungsprüfung zu beurteilen. Die Aufzeichnungen müssen mindestens folgende Angaben enthalten:

- eindeutige Bezeichnung der Probe,
- Art und Zeitpunkt der Prüfung,
- Ergebnis der Prüfung und Vergleich mit den Anforderungen,
- Unterschrift des Verantwortlichen für die WPK.

Die Aufzeichnungen sind mindestens 5 Jahre aufzubewahren.

Für die Überwachung der Produktion kann auch die Fremdüberwachung durch eine unabhängige Stelle vereinbart werden. Der Umfang der Überwachung kann sich an den Systemen der Konformitätsbescheinigung nach Bauproduktenverordnung (BauPVO) [16] für die Systeme 1 bis 4 orientieren.

### 7.2 Lieferbedingungen und Lagerung

Für die Anlieferung der Dichtungsrahmen in das Tübingwerk oder ggf. auf die Tunnelbaustelle werden typenreine, d. h. nicht satzweise zusammengestellte Verpackungseinheiten empfohlen. Die Verpackungseinheiten sind jeweils von außen deutlich sichtbar mit der Rahmentypenkennzeichnung zu versehen. Dies erleichtert die eindeutige Zuordnung sowie den schnellen Zugriff auf den jeweils benötigten Dichtungsrahmen in der Verklebe- bzw. Montagestation.

Für die Rückverfolgbarkeit im Reklamationsfall empfiehlt sich zusätzlich die Angabe der Menge und des Herstell- bzw. Packdatums auf der Verpackung.

Dichtungsrahmen aus EPDM müssen auf Grund ihrer Alterungsbeständigkeit auch bei längerer Transport- und Lagerzeit nicht unbedingt gegen UV-Licht und Witterungseinflüsse geschützt werden. Allerdings wird bis zum Zeitpunkt der Montage der Dichtungsrahmen die Einlagerung bzw. der Verbleib in einer ausreichend stabilen und wetterfesten Verpackung empfohlen, so dass sich die Dichtungsrahmen auch nach längerer Lagerungsdauer in einem sauberen, d. h. insbesondere staub- und fettfreien Zustand befinden. Zudem sind Dichtungsrahmen aus anderem, weniger witterungsbeständigem Elastomer bis zur Entnahme und Montage zu schützen. Es wird grundsätzlich eine Verpackung und Lagerung der Dichtungsrahmen empfohlen, die den Anforderungen der DIN 7716 [17] entspricht.

Das werkseitige Zusammenlegen und ggf. Binden der einzelnen Dichtungsrahmen muss so erfolgen, dass Einschnürungen oder Beschädigungen durch ein zu strammes Binden vermieden werden. Enge Schlaufen und Knickstellen können die spätere Montage der Dichtungsrahmen erschweren oder vorübergehend verhindern. Für Dichtungsrahmen aus verankerten Dichtungsprofilen muss insbesondere darauf geachtet werden, dass Deformationen im Bereich der Verankerungs-

## 7 Quality control – Delivery conditions and storage

### 7.1 Factory production control

Within the scope of quality control of the manufactured gasket frames, the factory production control represents an essential part. As part of it, the manufacturer shall test the most important properties of the gasket frames according to **Table 5**. The results of the factory production control shall be recorded and evaluated based on the results of the initial and suitability testing. At least the following data must be recorded:

- unique identification of the sample,
- type and time of test,
- result of the test and comparison with the requirements,
- signature of the person responsible for the factory production control.

The records must be kept for at least 5 years.

External monitoring by an independent body can also be agreed for the monitoring of production. The scope of the monitoring may be based on the systems for conformity certification according to the Construction Products Regulation (CPR) [16] for systems 1 to 4.

### 7.2 Delivery conditions and storage

It is recommended to deliver the gasket frames to the segment factory or to the tunnel construction site in packaging units for each type, i.e. not assembled as sets. The packaging units shall be provided with from the outside clearly visible labelling identifying the type of gasket frame. This facilitates the correct assignment and permits quick access to the respective required gasket frame at the gluing or assembly station.

For the traceability in case of a complaint, it is also recommended to specify the quantity and the date of manufacturing or packing on the packaging.

Owing to their ageing resistance, EPDM gasket frames do not need to be protected against UV light and weather effects even during prolonged transport and storage periods. However, the storage or remaining in an sufficiently stable and weatherproof packaging is recommended until the gasket frames are installed, so that the frames remain in a clean condition, i.e. especially dust and grease-free, even after prolonged storage. Gasket frames made of other, less weather-resistant Elastomer must be protected until taken out and installed. It is generally recommended to pack and store the frames in accordance with the requirements of DIN 7716 [17].

The folding and possibly binding of individual gaskets frames at the factory must be accomplished so that constrictions or damage from an excessively tight binding is avoided. Tight loops and kinks can complicate or temporarily prevent the later installation of the frames. For frames made of anchored gasket profiles particular care must be taken to avoid deformation of the anchoring feet and the sealing lips.

If, after unpacking, the frames show heavy kinking or constriction, it is recommended to hang up the frames in a warm environment and without stress until they have recovered.

füße sowie der Dichtlippen vermieden werden.

Sollten die Dichtungsrahmen nach dem Auspacken starke Knickstellen oder Einschnürungen aufweisen, wird empfohlen, die Dichtungsrahmen in warmer Umgebung so lange spannungsfrei aufzuhängen, bis sich diese zurückgebildet haben. Für den Transport und die Lagerung von Montageklebern und Reinigern sind je nach Gefahrstoffklasse und Gefährdungsart die geltenden gesetzlichen Vorschriften einzuhalten.

For the transport and storage of assembly adhesives and cleaners, the applicable statutory regulations for the relevant hazardous material class and type of hazard must be observed.

**Tabelle 5** Werkseigene Produktionskontrolle

**Table 5** Works production controls

Nr. No.	Art der Prüfung Type of test	Prüfung nach Abschnitt Testing according to section	Produktionskontrolle Production control		
			Täglich Daily	Wöchentlich Weekly	Jährlich Annually
2	Materialeigenschaften Material properties				
	2 a Härte IRHD Profil Hardness IRHD profile	5.2	X		
	2 a Härte IRHD Ecke Hardness IRHD corner	5.2		X	
	2 b Reißfestigkeit Profil Tensile strength profile	5.2	X		
	2 c Reißdehnung Profil Elongation at break profile	5.2	X		
3	Druckverformungsrest (DVR) Compression set	5.3	X		
4	Ozonbeständigkeit Ozone resistance	5.4			X (entfällt bei EPDM) (n/a for EPDM)
5	Wärmealterung Artificial ageing				
	5 a Änderung Härte Change of hardness	5.5			X
	5 b Änderung Reißfestigkeit Change of tensile strength	5.5			X
	5 c Änderung Reißdehnung Change of elongation at break	5.5			X
6	Rückstellkraft Deflection force				
	6 a Kraft-Weg-Verhalten Profil Load-displacement behaviour of profile	5.6.1			X (fremd geprüft) 1 mal je Projekt (external test) once per project
	6 b Kraft-Weg-Verhalten Rahmenecke Load-displacement behaviour of gasket corner	5.6.2			X (fremd geprüft) 1 mal je Projekt (external test) once per project
7	Spannungsrelaxation Stress relaxation	5.7			X (fremd geprüft) alle 5 Jahre (external test) every 5 years
8	Rückstellfähigkeit Restorative capacity	5.8			X

## 8 Literaturverzeichnis

- [1] „STUVA-Empfehlung für die Prüfung und den Einsatz von Dichtungsprofilen in Tübbingauskleidungen,“ Tunnel, Nr. 08/2005, 2005.
- [2] „STUVA-Empfehlung für die Verwendung von Dichtungsrahmen in Tübbingauskleidungen,“ Tunnel, Nr. 02/2006, 2006.
- [3] DIN 7865: Elastomer-Fugenbänder zur Abdichtung von Fugen in Beton, 2015-02.
- [4] DIN 18541: Fugenbänder aus thermoplastischen Kunststoffen zur Abdichtung von Fugen in Beton, 2014-11.
- [5] DIN ISO 3302-1: Gummi – Toleranzen für Fertigteile – Teil 1: Maßtoleranzen, 2018-06.
- [6] DIN ISO 48: Elastomere oder thermoplastische Elastomere – Bestimmung der Härte, 2016-09.
- [7] ISO 37: Elastomere oder thermoplastische Elastomere – Bestimmung der Zugfestigkeitseigenschaften, 2017-11.
- [8] DIN ISO 815: Elastomere oder thermoplastische Elastomere – Bestimmung des Druckverformungsrestes, 2016-09.
- [9] DIN ISO 1431-1: Elastomere oder thermoplastische Elastomere – Widerstand gegen Ozonrissbildung, 2017-04.
- [10] ISO 188: Elastomere oder thermoplastische Elastomere – Prüfung zur Bestimmung der beschleunigten Alterung und der Hitzebeständigkeit, 2011-10.
- [11] ISO 5893: Prüfeinrichtungen für Elastomere und Kunststoffe – Zug-, Biege- und Druckprüfmaschinen mit konstanter Geschwindigkeit – Beschreibung, 2002-07.
- [12] M. L. Williams, R. F. Landel und J. D. Ferry, The Temperature Dependence of Relaxation Mechanisms in amorphous Polymers and Other Glass-forming Liquids, Journal of the American Chemical Society, 1955.
- [13] DIN ISO 3384: Elastomere oder thermoplastische Elastomere – Bestimmung der Spannungsrelaxation unter Druck, 2015-12.
- [14] DIN EN 12390-3: Prüfung von Festbeton – Teil 3: Druckfestigkeit von Probekörpern, 2009-07.
- [15] DIN EN 12390-5: Prüfung von Festbeton – Teil 5: Biegezugfestigkeit von Probekörpern, 2009-07.
- [16] Bauproduktenverordnung: EU-Verordnung Nr. 305/2011 des europäischen Parlaments und des Rates vom 9. März 2011 zur Festlegung harmonisierter Bedingungen für die Vermarktung von Bauprodukten und zur Aufhebung der Richtlinie 89/106/EWG des Rates.
- [17] DIN 7716: Erzeugnisse aus Kautschuk und Gummi; Anforderungen an die Lagerung, Reinigung und Wartung, 1982-05.

## 8 References

- [1] “STUVA Recommendations for Testing and Application of gasket frames in segmental Linings” Tunnel, No. 08/2005, 2005.
- [2] “STUVA Recommendations for the Use of Gaskets for sealing segmental Linings” Tunnel, No. 02/2006, 2006.
- [3] DIN 7865: Elastomeric waterstops for sealing joints in concrete, 2015-02.
- [4] DIN 18541: Thermoplastic waterstops for sealing joints in concrete, 2014-11.
- [5] DIN ISO 3302-1: Rubber – Tolerances for products – Part 1: Dimensional tolerances, 2018-06.
- [6] DIN ISO 48: Rubber, vulcanized or thermoplastic – Determination of hardness, 2016-09.
- [7] ISO 37: Rubber, vulcanized or thermoplastic – Determination of tensile stress-strain properties, 2017-11.
- [8] DIN ISO 815: Rubber, vulcanized or thermoplastic – Determination of residual pressure deformations, 2016-09.
- [9] DIN ISO 1431-1: Rubber, vulcanized or thermoplastic – Resistance to ozone cracking, 2017-04.
- [10] ISO 188: Rubber, vulcanized or thermoplastic – Accelerated ageing and heat resistance tests, 2011-10.
- [11] ISO 5893: Rubber and plastics test equipment – Tensile, flexural and compression types (constant rate of traverse) – Specification, 2002-07.
- [12] M. L. Williams, R. F. Landel und J. D. Ferry, The Temperature Dependence of Relaxation Mechanisms in amorphous Polymers and Other Glass-forming Liquids, Journal of the American Chemical Society, 1955.
- [13] DIN ISO 3384: Rubber, vulcanized or thermoplastic – Determination of stress relaxation in compression, 2015-12.
- [14] DIN EN 12390-3: Testing hardened concrete – Part 3: Compressive strength of test specimens, 2009-07.
- [15] DIN EN 12390-5: Testing hardened concrete – Part 5: Flexural strength of test specimens, 2009-07.
- [16] Construction Products Regulation: EU Regulation No. 305/2011 of the European Parliament and the Council from 9 March 2011 laying down harmonised conditions for the marketing of construction products and repealing Council Directive 89/106/EEC.
- [17] DIN 7716: Rubber products; requirements for storage, cleaning and maintenance, 1982-05.