

1.2 Bauzustand

Zu 2): Die Ortsbruststützung im Vortrieb ist relevant für die Standsicherheit des Tunnelvortriebes. Die Dimensionierung und Steuerung der Ortsbruststützung bestimmt mit über das Maß der Setzung [3].

Zu 3): Mit den Schildschwanzdichtungen ist die Schnittstelle Maschine – Tübbing mittlerweile zuverlässig gelöst. Stand der Technik ist eine Mehrfachbürstendichtung, die mit kontinuierlicher Fettverpressung gegen das Grundwasser abdichtet.

Zu 4) Die Qualität der Ringspaltverpressung ist ein weiterer setzungsbestimmender Parameter [3].

Zu 1) und 6): Der Bauzustand der Schnittstelle Schildmaschine zum Bauwerk, nämlich der Start- und Zielvorgang ist das Thema des vorliegenden Vortrages. Stand der Technik ist dabei, die Stirnwand mit einem „Dichtblock“ zu verstärken [4], sowie eine weitere Dichtung in einer Start- bzw. Zielbrille (Bild 2).

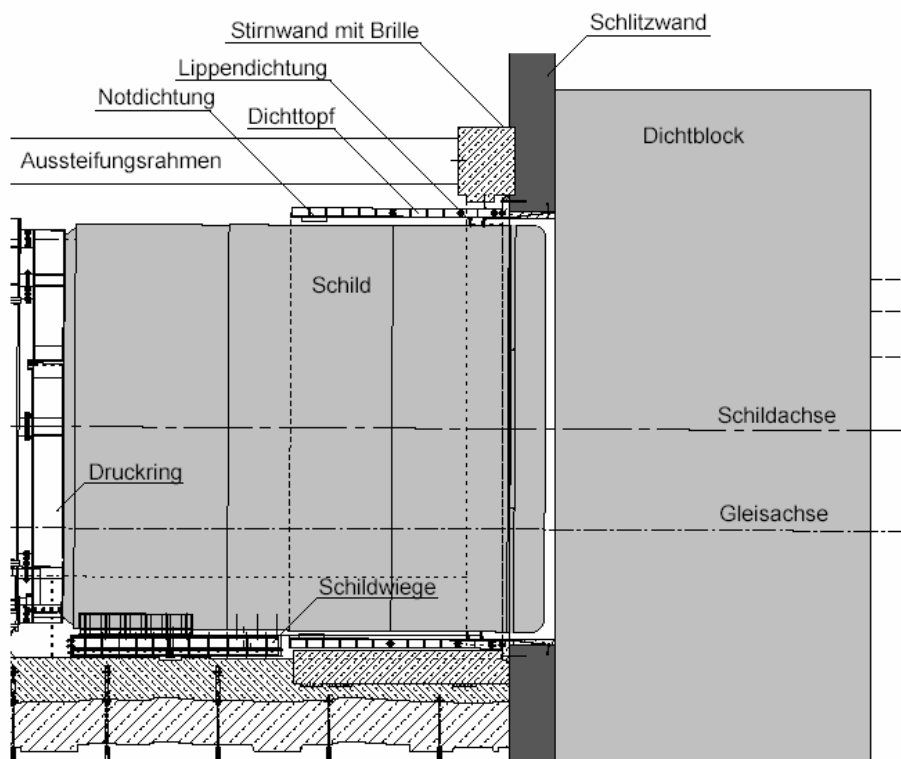


Bild 2: Vorgelagerter Dichtblock Startsituation

Obwohl es bei den Start/Ziel-Vorgängen immer wieder zu Schäden und Havarien gekommen ist [5], ist die Entwicklung von Dichtungssystemen für die Brillen in den letzten Jahren kaum vorangetrieben worden. Ein Grund mag die scheinbar geringere wirtschaftliche Bedeutung der verwendeten Dichtprofile gegenüber z.B. Tübbingprofilen sein: Ein 1.000 Meter langer Tunnel mit 10 Meter Durchmesser hat 60 m Brillendichtung, aber 60.000 m Tübbing - Dichtprofile. Die wirtschaftliche Rechnung für die gesamte Baumaßnahme stellt sich aber anders dar, wenn man das Risikopotential der Start-/ Zielvorgänge mit einrechnet. Havarien bei Start und Ziel sind mit die häufigsten Unfälle im maschinellen Tunnelbau. Sie verzögern oder gefährden das gesamte Projekt und stellen die Zuverlässigkeit der Technologie insgesamt in Frage.

2 Anlass und Abgrenzung

Der Anlass, das Thema der Brillendichtungssysteme erneut aufzugreifen, ergab sich aus dem konkreten Projekt City – Tunnel Leipzig, hier Start/ Ziel Station Markt. Aus Platzgründen konnte für die vorgelagerten Dichtblöcke nur das Düsenstrahlverfahren zur Anwendung kommen. Das Düsenstrahlverfahren ist als alleinige Dichtebene nicht geeignet [4], und große Bereiche von eingelagerter Kohle („inkohltes Holz“) verhinderten die Herstellung eines homogenen Dichtkörpers. Für die weitere Ausführung und Planung musste vom vollständigen Fehlen einer der Stirnwand vorgelagerten Dichtebene ausgegangen werden, zusammen mit anspruchsvollen hydrologischen und geotechnischen Randbedingungen. Um diese Problematik zu lösen, war es zunächst Ziel der Planung, innerhalb der Dichtbrille ein zuverlässiges und redundantes Dichtsystem einzubauen. Dieses Ziel wurde mit allen verfügbaren Dichtsystemen untersucht, auch neue Lösungen wurden entworfen. Die Lösung der Aufgabe mit einem Dichtsystem allein in der Brille scheiterte letztlich:

- Es gibt kein geprüftes Brillendichtungssystem.
- Es gibt keine Prüfkriterien, die man als „Stand der Technik“ bezeichnen kann.
- Es gibt keine anerkannten Versuche für die Prüfung.
- Es gibt keine zugelassenen Systeme.
- Der Begriff „Redundanz“ ist für diese Situation nicht einheitlich definiert.

Letztlich musste man sich für das Projekt in Leipzig für eine völlig andere Lösung entscheiden: Die Start- und Zielvorgänge erfolgen in einem „Betontopf“ gemäß einer Patentanmeldung der DYWIDAG, des Federführers der ausführenden ARGE (Bild 3). Über dieses System wird an anderer Stelle berichtet.

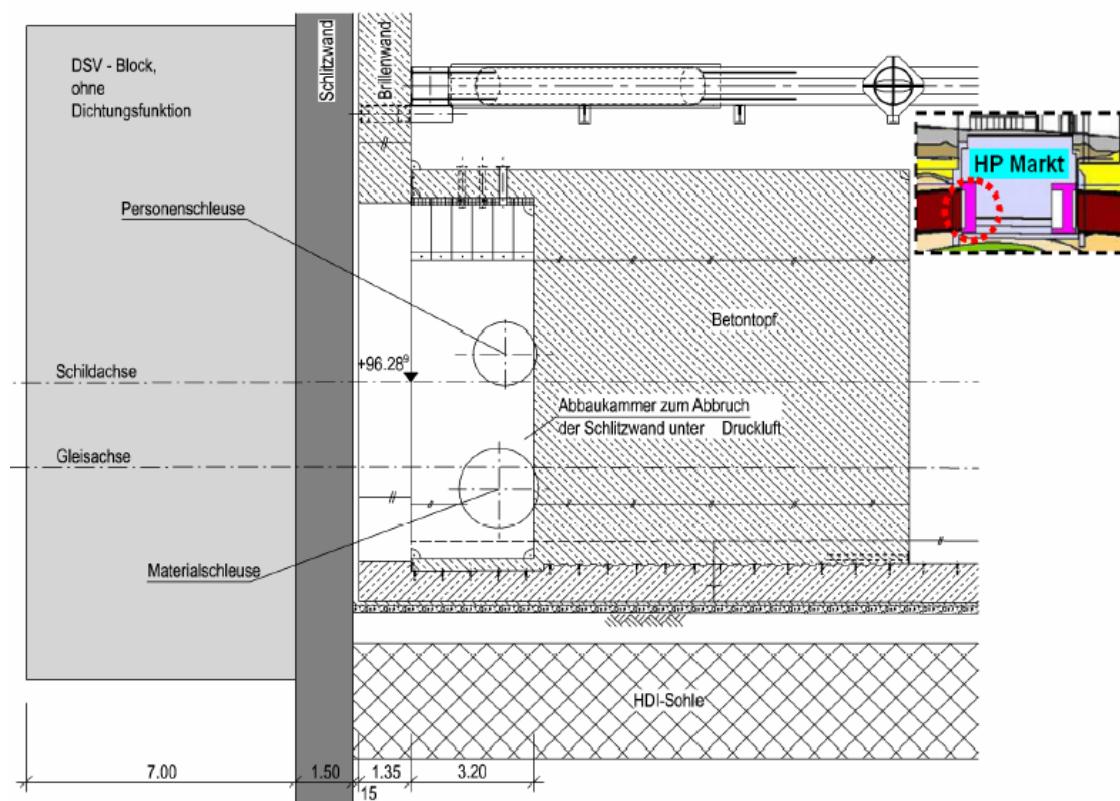


Bild 3: Schema Betontopf

Trotz dieser projektbezogenen Entscheidung waren die Überlegungen für neue geprüfte Brillendichtungssysteme schon weit vorangetrieben worden, so dass diese für zukünftige Fragestellungen und Projekte genutzt werden sollen. Daraus ergeben sich die Abgrenzung und Aufgabenstellung für diesen Beitrag:

- Welche Brillendichtungssysteme gibt es zurzeit?
- Welche Anforderungen müssen an die Brillendichtung gestellt werden? Hier sind exemplarisch zu nennen: Erforderliche Dichtigkeit, Aufnahme von Toleranzen und Verformungen.
- Wie ist die Zuverlässigkeit und Nachprüfbarkeit der Systeme?
- Wie ist das Zusammenwirken mit den anderen Systemen, insbesondere den vorgelagerten Dichtblöcken oder Bodenverfestigungen?
- Welche Länge müssen Dichtbrillen unter verschiedenen Randbedingungen haben?

Der Begriff der Redundanz muss, wenn diese „Eigenschaft“ eine Forderung ist, klar definiert werden. Im Folgenden wird er so verstanden: Es gibt mindestens zwei unabhängige und vollständig wirksame Dichtebenen. Beim Versagen der ersten Dichtebene wird die zweite nicht beeinflusst und übernimmt vollständig die Dichtfunktion.

Systematisch unterschieden wird im Folgenden zwischen den Dichtsystemen:

- Typ 1: Feste Dichtung (keine Bewegung in der Dichtebene), Dichtung geprüft
- Typ 2: wie Typ 1, Dichtung ungeprüft
- Typ 3: Bewegliche Dichtung (Bewegung zwischen Dichtprofil und Schildmantel), Dichtungssystem geprüft
- Typ 4: wie Typ 3, Dichtungssystem nicht geprüft

3 Stand der Technik zu Herstellung von Dichtblöcken

Ein dem Bauwerk vorgelagerter Dichtblock kann auf mehrere Arten ausgebildet werden. Wichtige Kriterien bei der Entscheidungsfindung sind örtliche und geometrische Randbedingungen, die Homogenität des Dichtblocks, seine Erosionsstabilität, die Prüfbarkeit der Dichtigkeit, die Lösung der Schnittstelle Baugrubenwand/Dichtblock und Boden/Dichtblock. Die Herstellung des Dichtblocks kann erfolgen mittels Unterwasserbeton in einer Baugrube, im Düsenstrahlverfahren oder als überschnittener Lamellenblock, weiteres siehe [4].

4 Darstellung der Abhängigkeiten der Elemente des Dichtsystems

Der Start- und Zielvorgang einer Schildmaschine ist ein technisch hochkomplexer Vorgang, da statische Bauteile mit sich bewegenden Bauteilen aufeinandertreffen. Hier sind hohe Anforderungen an das Material, die Planung, die Ausführung und nicht zuletzt an das Personal auf der Baustelle zu erfüllen.

4.1 Die Startsituation

Nachdem die Startbaugrube hergestellt ist, werden die baubetrieblichen Hilfskonstruktionen für den Schildvortrieb montiert. Hierzu zählen die Schildwiege, die Nachläuferwiege, die Anfahrbrille, der Abstützbock, Hilfsabstützung für die Blindtübblinge, Gleise, Silos etc.

4.1.1 Dichtungssystem 1: Stirnschlitzwand – Dichtblock

Parallel zum Aufbau der Einrichtungen für den Schildvortrieb wird die Schlitzwand (Brillenwand) im Bereich des späteren Tunnels aufgebrochen (Bild 4, Phase a). Wenn die Stirnwand mit GFK-Bewehrung ausgeführt worden ist, entfällt Phase a. Zu diesem Zeitpunkt stellt der vorgelagerte Dichtblock die einzige Dichte Ebene für die Startbaugrube dar.

Nach dem Abbrechen der Stirnschlitzwand erfolgt die Montage der Startbrille. Im Anschluss daran wird die TBM in die Startbrille geschoben, die Abstützkonstruktion montiert und die Nachläufer an die TBM gekoppelt. Mit dem Bau des ersten Blindtübblings startet der Tunnelvortrieb (Bild 4, Phase b).

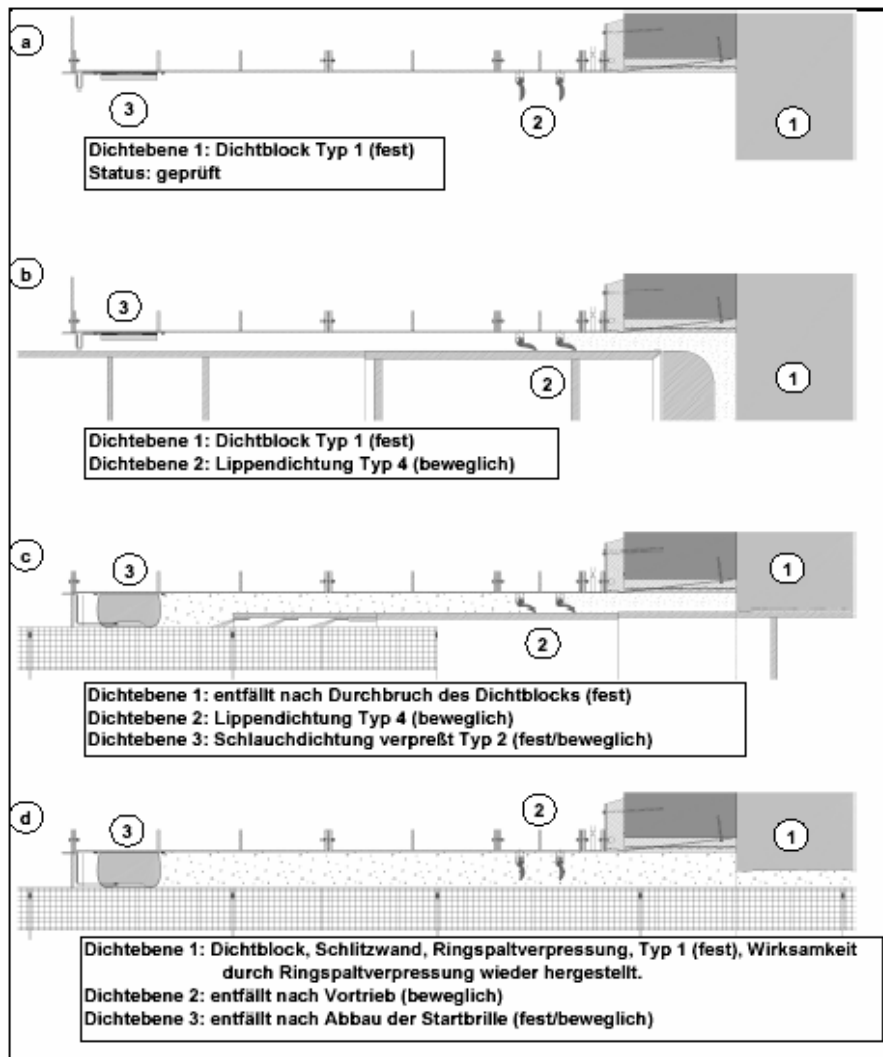


Bild 4: Dichtungsebenen in der Startsituation

4.1.2 Dichtungssystem 2: Startbrille – Schildmantel der TBM

In Phase b gibt es zwei Dichtebenen, das sind der Dichtblock und die Startbrille. In der Startbrille sind zwei Dichtungssysteme enthalten. Die Lippendichtungen schließen den Ringspalt zwischen Schildmantel und Startbrille. Eine Schlauchdichtung schließt später (Phase c) den Ringspalt zwischen dem Blindtübblingring und der Startbrille und dient zusätzlich in Phase b als Notdichtung.

Durch den Einsatz der Lippendichtung und des vorgelagerten Dichtblocks ist ein redundantes Dichtungssystem sichergestellt. Falls der vorgelagerte Dichtblock versagt, wird die Dichtung durch die eingebaute 2. Dichtungsebene (Lippendichtung) sichergestellt.

4.1.3 Dichtungssystem 3: Startbrille – Blindtübblingring

Vor dem Verlassen der TBM aus dem der Startbaugrube vorgelagerten Dichtblock wird das Dichtungssystem 3 aktiviert (Phase c). Mit dem Aufblasen der Schlauchdichtung zwischen Startbrille und Blindtübblingring wird die Redundanz der Dichtungen beim Anfahrvorgang nur dann weiter sichergestellt, wenn Dichtblock und Dichtbrille so lang sind, dass vor dem Ausfahren aus dem Dichtblock die Schlauchdichtung wirksam ist.

4.1.4 Dichtungssystem 4: Tübbling – Stirnschlitzwand

Mit dem Einbau des ersten verbleibenden Tübblingrings und dessen anschließenden Verpressen gegen die Stirnschlitzwand wird das vierte Dichtungssystem installiert. Nach dem Aushärten des Mörtels in dem Ringspalt wird die Startbrille zurückgebaut. Nach Herstellung der Innenschale der Startbaugrube wird die Dichtung für den Endzustand eingebaut (Phase d). Zu diesem Zeitpunkt wirkt einzig der verpresste Ringspalt zwischen Tübbling und Stirnschlitzwand sowie Tübbling und Dichtblock als Dichtung. Eine Redundanz ist hier nicht mehr gegeben, die geprüfte feste Dichtung (Typ 1) übernimmt die Dichtfunktion allein.

4.2 Die Zielsituation

Während des Vortriebs wird der Zielschacht für das Einfahren der TBM vorbereitet. Die Arbeitsschritte sind das Prüfen des vorgelagerten Dichtblocks, das Abbrechen der Stirnschlitzwand, die Installation der Zielbrille (Stahldichttopf), das Montieren des Abstützbockes sowie der Schildwiege (Bild 5).

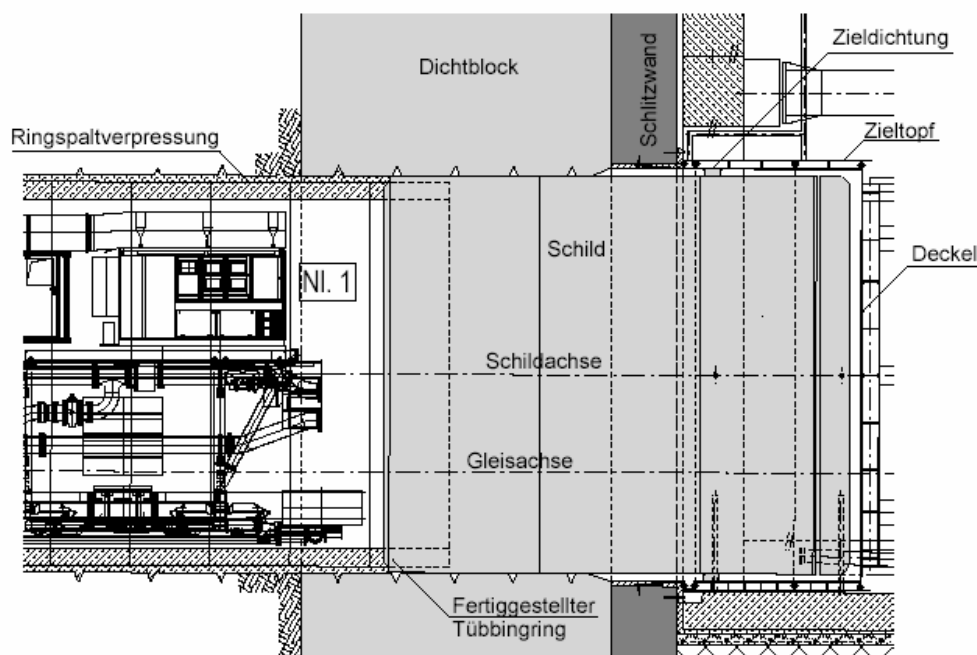


Bild 5: Übersicht Zielsituation

4.2.1 Dichtungssystem 1: Stirnschlitzwand – Dichtblock

Das Dichtungssystem 1 gleicht dem der Startsituation. Der vorgelagerte Dichtblock ist die einzige wirksame Dichtebene nach Abbruch der Stirnschlitzwand. Ein redundantes Dichtungssystem liegt nicht vor (Bild 6, Phase a)

4.2.2 Dichtungssystem 2: Dichtblock – Dichttopf

Mit dem Installieren und Schließen des Stahldichttopfes vor der ausgebrochenen Stirnschlitzwand wird eine 2. unabhängige Dichtungsebene für die Zielsituation errichtet. Es liegt damit ein redundantes Dichtungssystem vor. In dem Dichttopf ist bereits die Zieldichtung (Bild 6, Phase b) installiert.

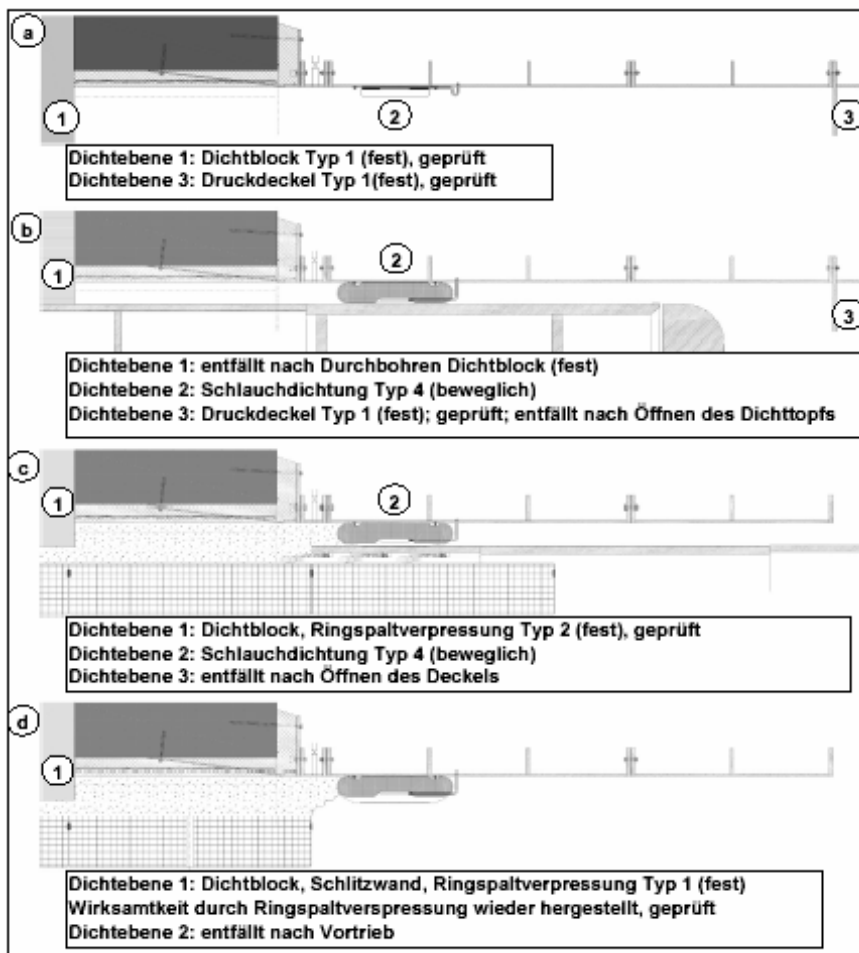


Bild 6: Dichtungsebenen in der Zielsituation

4.2.3 Dichtungssystem 3: Zieldichtung – Ringspaltverpressung Tübbing gegen Dichtblock

Nachdem die TBM den Dichtblock durchfahren hat verliert dieser seine Funktion. Erst mit dem Verpressen des Ringspalts zwischen Tübbingausbau und Dichtblock entsteht wieder eine redundante Dichtungsebene. Redundanz in dieser Phase besteht, wenn Dichtblock und Zieldichtung so lang sind, dass der Ringspalt im Dichtblock in ausreichender Länge verpresst werden kann, bevor der Zieldichtung geöffnet wird.

Mit dem Aktivieren der Zieldichtung gegen den Schildmantel wird eine „bewegliche“ Dichtungsebene geschaffen, die die Redundanz nach Öffnen des Zieldichtung herstellt (Bild 6, Phase c).

4.2.4 Dichtungssystem 4: Tübbing – Stirnschlitzwand

Nachdem die TBM soweit in den Haltepunkt hinein gefahren ist, dass sich der Schildmantel innerhalb des Dichttopfs befindet, jedoch noch nicht außerhalb der Zieldichtung, wird der Ringspalt zwischen dem Tübbingausbau und der Stirnschlitzwand verpresst und kontrolliert. Nach dem Nachweis ausreichender Dichtigkeit des Ringspalts fährt die TBM vollständig aus dem Dichttopf heraus (Bild 6, Phase d).

Zu diesem Zeitpunkt ist der verpresste Ringspalt die einzig wirksame Dichtungsebene. Ein redundantes Dichtungssystem liegt zu diesem Zeitpunkt nicht mehr vor.

5 Anforderungen an Brillendichtungssysteme

Der anspruchsvollste Teil des Gesamtsystems Start- bzw. Zieldichtung ist die „bewegliche Dichtung“ (\cong Dichtung zwischen Bauwerk und dem sich bewegenden Schildmantel).

Die primäre Anforderung ist:

- Überbrückung eines definierten Spaltes zwischen Bauwerk und Maschine bei Abdichtung gegen einen definierten Wasserdruck.

Diese statische Anforderung ist vergleichsweise leicht zu erfüllen, es kommen weitere Forderungen dazu:

- Überbrückung von unterschiedlichen Spaltweiten. Die unterschiedlichen Spaltweiten können stufenweise auftreten (z.B. Schildkonizität, Fertigungstoleranzen im Stahlbau) aber auch allmählich (z.B. nicht konzentrische Lage der Maschine zu der Brille).
- Dichtung unter Bewegung, beim Durchschieben der Schildmaschine; dadurch wechselnde Lastzustände (daraus kann die Forderung nach Vorspannung der Dichtung resultieren) und wechselnde Spaltweiten durch Verformung der Komponenten.

Das System der Zieldichtung muss zusätzlich in der Lage sein, die Toleranzen der Schildfahrt aufzunehmen.

Bei der Festlegung der Anforderungen muss auch die erforderliche Dichtigkeit definiert werden. Welcher Wasser- oder Suspensionszutritt kann insgesamt toleriert werden? Hier ist das oben beschriebene Gesamtsystem aller Dichtebenen mit dem anstehenden Boden (z. B. Erosionsstabilität) und dem Wasserdruck insgesamt zu bewerten.

Ein weiteres Beurteilungskriterium ist die Empfindlichkeit der Dichtung: Kann eine kleine Undichtigkeit zum plötzlichen Versagen des gesamten Systems führen oder kann man mit einer Selbstdichtung rechnen? Eine Forderung kann auch die Kontrollierbarkeit der Dichtwirkung während der Funktion der Dichtung sein.

6 Stand der Technik für Brillendichtungssysteme

6.1 Lippendichtungen (Typ 3)

Die elastomeren Lippendichtungen für den Schildstart sind in dem oben beschriebenen Ablauf erforderlich, wenn der Vortrieb beginnt. In der Phase b, Bild 4 beim Vor-

trieb im Dichtblock wird der Ringspalt abgedichtet, damit ein Druck in der Abbaukammer aufgebaut werden kann (Sicherung der Steuerbarkeit der Maschine), erst in der Phase c ist die Lippendichtung die erste Dichtebene zur Sicherstellung der Ortsbruststützung (Sicherung der Standsicherheit der Ortsbrust gegen Erd- und Wasserdruck) im Vortrieb.

Die Dichtwirkung beruht darauf, dass die Lippendichtung aus ihrer Eigenspannung gegen den Schildmantel gepresst wird. Zusätzlich erhöht der Wasserdruck den Anpressdruck (Bild 7). Für die aufnehmbare Spaltbreite geben die Hersteller Toleranzbereiche (Arbeitsbereiche) an, die sich zwischen ± 25 mm und ± 45 mm bewegen [8,10]. Davon werden durch Herstellungstoleranzen und die Konizität des Schildmantels mindestens 20 mm verbraucht. Für Imperfektionen des Startvorganges selbst bleibt nur ein kleiner Spielraum, z. B. $4,5^\circ$ Winkelabweichung bei einem 9 m-Schild.

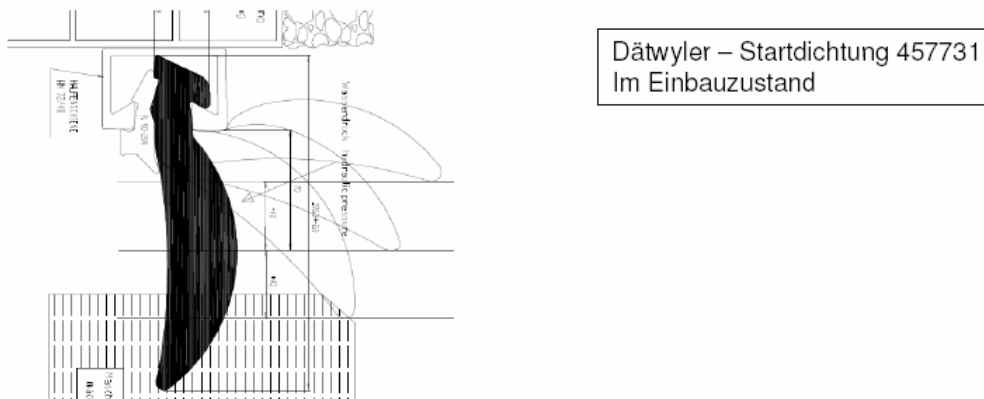
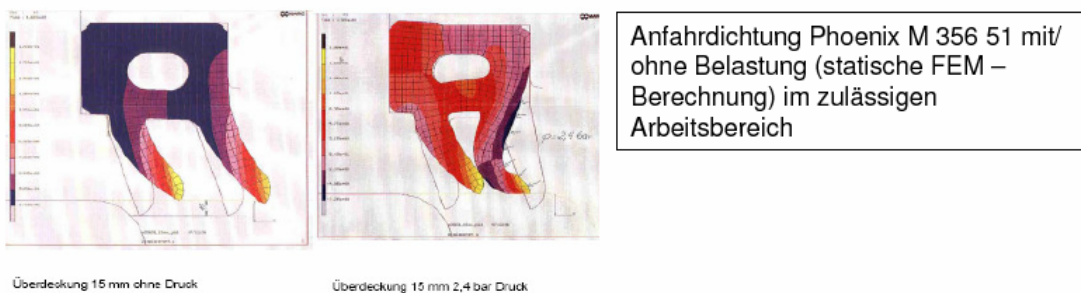


Bild 7: Lippendichtungen für die Startsituation

Zusätzlich gibt es Bemessungsdiagramme der Hersteller, die den aufnehmbaren Druck über die überbrückte Spaltweite darstellen. Drücke bis zu 4 bar werden bei kleinen Spaltweiten als aufnehmbar angegeben.

Grundlage dieser Angaben sind aber keine nachvollziehbaren Versuche (statisch oder unter Bewegung), es gibt nur spezielle am ebenen System durchgeführte statische FEM - Berechnungen [10]. Außerdem beruhen die Angaben auf Erfahrungswerten ausgeführter Projekte. Es gibt keine Berechnungen und Versuche über die Empfindlichkeit der Dichtlippen, z.B. bei örtlichem Überschreiten der Toleranzen.

Keines der Lippendichtungssysteme kann als Typ 3 (= geprüft) eingestuft werden. Die Konstruktionsgrundlage ist letztlich ein Erfahrungswert.

6.2 Elastomere Zieldichtungen (Typ 4)

Die oben beschriebenen Lippendichtungen sind für die Zielsituation nicht geeignet. Die Lippendichtung klappt immer in die Vortriebsrichtung um und der aufzunehmenden

de Druck würde in der Zielsituation die Lippe vom Schildmantel wegpressen, statt gegen den Schildmantel drücken (Bild 7).

Für die Zielsituation wurden deshalb aktivierbare Elastomerdichtungen entwickelt (Bild 8). Nach Einfahren des Schildmantels in den Dichtring wird das Dichtungsprofil mittels Druckschlauch gegen den Schildmantel gepresst. Systematisch ist diese Dichtung als Dichtebene 2 in Bild 6 dargestellt.

Die Zieldichtung muss zusätzlich zu den geometrischen Toleranzen die Fahrtoleranz der Maschine aufnehmen. Dies ist mit dem Dichtungssystem selbst nicht möglich. Erforderlich ist eine aufwändige Stahlbaukonstruktion, die es erlaubt, den Dichtring in die tatsächliche Position der ankommenden Schildmaschine zu schieben (Bild 8).

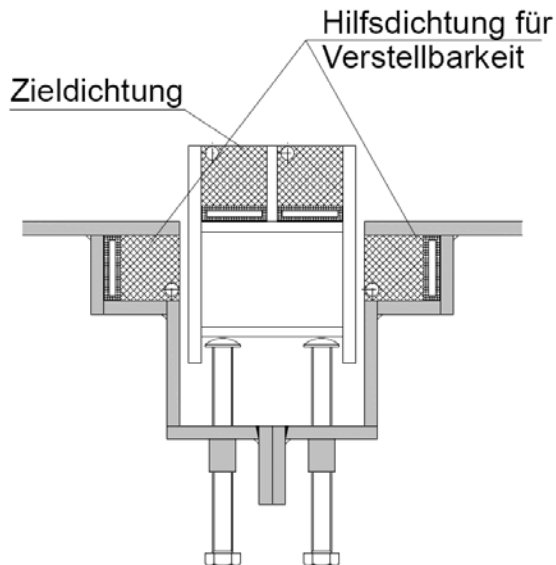


Bild 8: Aktivierbare und verstellbare Elastomerdichtung

Für die Prüfung gelten die zuvor bei den Lippendichtungen genannten Erfahrungen. Die statische Dichtigkeit ist durch den ausreichenden Anpressdruck sicherzustellen. Für die Dichtung unter Bewegung gibt es dagegen keine Prüfungen. Zu beachten sind die großen Horizontalkräfte aus der Schildbewegung bei hohen Anpressdrücken, die bei hohen Wasserdrücken erforderlich sind.

Auch die aktivierte Zieldichtung ist im Einsatz als bewegliche Dichtung als Typ 4 (ungeprüft) einzustufen.

6.3 Schlauchdichtungen

Schlauchdichtungen wurden ursprünglich nur als statische Dichtungen (wie Bild 4, Dichtebene 3) und als statisch wirkende Notdichtung konzipiert. Mit der Ergänzung einer Schaumstoffauflage können die Schlauchdichtungen auch als bewegliche Dichtungen eingesetzt werden. Eine weitere Verbesserung bringt die Möglichkeit eines zweiten Schlauches (Bild 9). Der erste Schlauch wird mit Mörtel gefüllt, der zweite z.B. mit Bentonit, kann also durch seinen Innendruck aktiv nachgestellt werden.

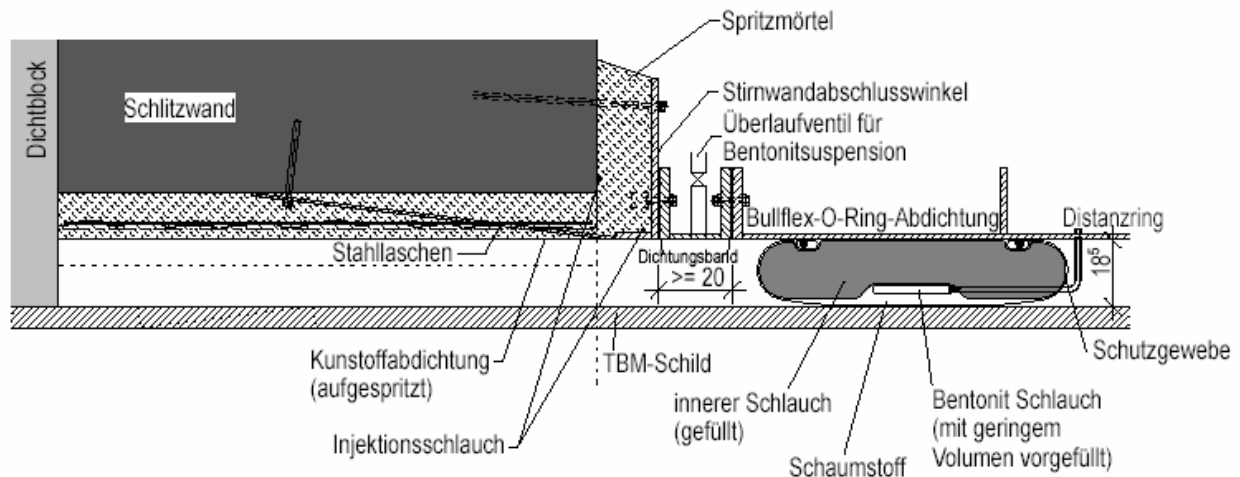


Bild 9: Doppelte Schlauchdichtung mit Schaumstoffauflage

Ein Vorteil ist die Flexibilität des Dichtungssystems: Auch unterschiedliche Spaltweiten im Umfang können ohne Qualitätsverlust gedichtet werden. Nach dem Aufblasen (Verpressen) sind nur die Toleranzen des Schildmantels bei der Funktion als Zieldichtung (Bild 6, Dichtebene 2) aufzunehmen. Die Schaumstoffauflage kann nach Herstellerangabe 1,5 cm aufnehmen (abhängig von Druck und Breite), für weitere Toleranzen oder als Notdichtung dient der zweite Schlauch. Vom Hersteller wird der erforderliche Schlauchdurchmesser angegeben bzw. berechnet: Je höher der Wasserdruck, desto größer der Durchmesser, je größer die Spaltweite, desto größer der erforderliche Schlauchdurchmesser [9].

Der Nachteil des Systems gegenüber elastomeren Systemen ist, dass die Wirkung des Dichtsystems erst nach Schildeinfahrt und Verpressung des Schlauches gegeben ist. Dies erschwert die Nachprüfbarkeit. Der Vorteil liegt in der flexiblen Einsatzmöglichkeit.

Es gibt keine Prüfung des Schlauchdichtungssystems, auch hier liegt Typ 4 (ungeprüft) vor.

7 Prüfung von Brillendichtungssystemen

Keine der zurzeit angebotenen und eingesetzten Dichtungsprofile ist nach definierten Kriterien geprüft, es gibt nicht einmal derartige Kriterien. Dies ist wegen der Brisanz der Problematik ein zunächst nicht erwartetes Ergebnis.

Im Folgenden werden deshalb Vorschläge für die notwendigen Prüfungen zusammengestellt, um hier den Anstoß für die Entwicklung entsprechender Richtlinien zu geben. Für Materialprüfungen elastomerer Materialien und für statische Dichtigkeitsprüfungen kann man Prüfungen in Anlehnung an die Prüfung der Tübbingdichtungen [2] entwickeln. Das sind:

- Materialprüfungen
- Prüfung des Spannungs- Dehnungsverhaltens
- Dichtigkeitsprüfung im Dichtrahmen

Unverzichtbar für eine vollständige Prüfung ist zusätzlich die Prüfung unter Bewegung entsprechend der tatsächlichen Beanspruchung. Dazu ist eine neue Versuchseinrichtung zu entwickeln, die unter anderen folgende Prüfungen zulässt:

- Messung des Wasserzutritts bei verschiedenen Lastzuständen
- Einfluss von „Stufen“ im Schildmantel quer zur Bewegungsrichtung (Schildkonizität)
- Einfluss von Stufen und Toleranzen längs zur Bewegungsrichtung (Imperfektionen im Schildmantel vor und nach der Schildfahrt)
- Variation des Wasserdruckes und/oder der Spaltweite bis zum Versagen der Dichtung (plötzliches Versagen wie „Umklappen“ der Dichtung oder allmähliche Erhöhung der Wassermenge)

Erst die nachvollziehbare Prüfung der Profile macht eine gezielte Auswahl und Klassifizierung, abgestimmt auf die bestehende Anforderung, möglich.

8 Zusammenfassung und Ausblick

Für das Gesamtsystem Start-Zielvorgang sind Prüfungen der „beweglichen“ Dichtungen notwendig, aber nicht ausreichend. Ziel muss es sein, in jeder Ausschreibung eine verbindliche Klassifizierung des gesamten Vorganges anzugeben, aus der die Anforderung an das System mit allen Komponenten abzuleiten ist. Vorgeschlagen wird eine Klassifizierung, in der zunächst qualitativ Anwendungsbereiche für die einzelnen Dichtungssysteme abgegrenzt werden (Bild 10).

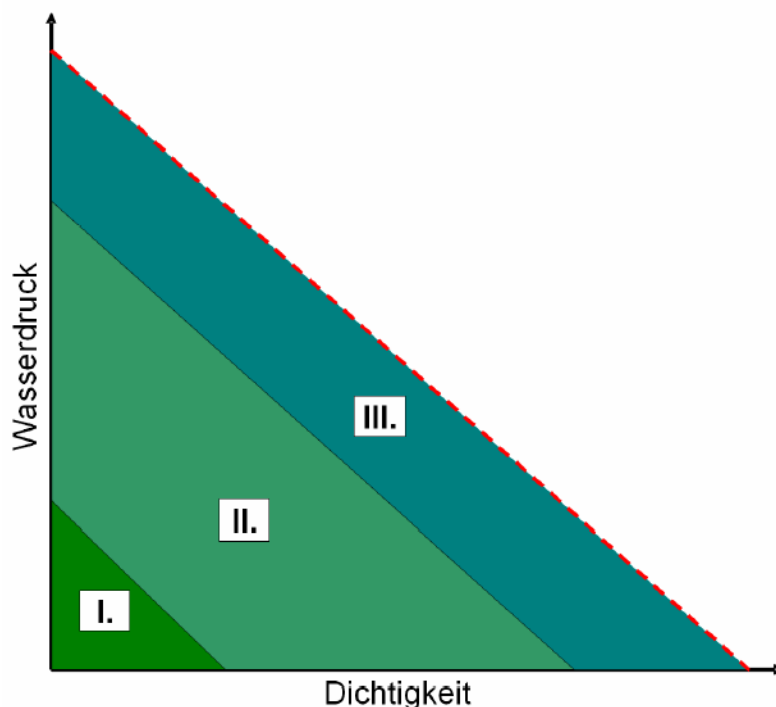


Bild 10: Wasserdruck – Dichtigkeitsdiagramm zur Anwendbarkeit von Dichtsystemen

Der Bereich I beschreibt Tunnelvortriebe mit geringem Wasserdruck und einer geringeren Dichtigkeitsanforderung. Die geringere Dichtigkeitsanforderung kann z. B. mit ausreichender Erosionsstabilität des anstehenden Bodens begründet werden. Dieser

Bereich kann mit einfachen Dichtungssystemen sicher abgedeckt werden. Mögliche Systeme sind:

- geprüfte feste Systeme Typ 1 oder
- geprüfte bewegliche Systeme Typ 3

Der Bereich II stellt höhere Anforderungen an die Dichtungssysteme. Start- und Zielvorgänge in diesem Bereich müssen durch mindestens 2 Dichtungssysteme abgedichtet werden. Die Dichtungssysteme dürfen noch gleicher Bauart sein. Eines der beiden Dichtungssysteme sollte geprüft sein (Typ 1 oder 3).

Der Bereich III stellt die höchsten Anforderungen an das Dichtungssystem. In diesem Bereich muss das Dichtungssystem einen vollständig redundanten Start- bzw. Zielvorgang ermöglichen, d. h. zu jedem Zeitpunkt müssen zwei baulich unterschiedliche Dichtungssysteme wirksam sein, damit sichergestellt ist, dass der Anfahrvorgang bzw. Zielvorgang auch bei Ausfall eines Dichtungssystems noch eine ausreichende Dichtigkeit aufweist. Für den Bereich III sind mindestens 2 geprüfte Dichtebenen erforderlich und eine davon muss den Anforderungen einer festen Dichtebene entsprechen.

Mit der Prüfung und Klassifizierung von Dichtungssystemen für die Ein- und Ausfahrt aus Baugruben soll ein Standard geschaffen werden, der es dem Planer und Ausführenden nach Vorgabe des Bauherrn ermöglicht, sichere und vergleichbare Systeme auszuwählen. Insgesamt wird damit ein höherer und angepasster Sicherheitsstandard erreicht, der dem Tunnelbau im Grundwasser zu mehr Verlässlichkeit und damit öffentlicher Akzeptanz verhilft.

Literatur, Unterlagen

- [1] Schwarz, Jürgen; Behnen, Gereon: *Gekoppelte Tübbingfugen unter Verwendung thermoplastischer Elastomere und Thermoplaste für den einschaligen Ausbau; STUVA-Tagung 2003*
- [2] Autorenteam STUVAtec: *STUVA-Empfehlungen für die Prüfung und den Einsatz von Dichtungsprofilen in Tübbingauskleidungen; Tunnel 8/2005*
- [3] Schwarz, Jürgen; Schmidt, Jan; Maidl, Reinhold; Handke, Dieter: *Stützdruckberechnung beim Hydroschildvortrieb – Stand der Technik, dargestellt am City-Tunnel Leipzig; TU München Zentrum Geotechnik, Beiträge zum 5. Geotechniktag in München, 2006*
- [4] Schwarz, Jürgen: *Dichtkörper beim maschinellen Tunnelbau; TU München Zentrum Geotechnik, Beiträge zum 4. Geotechnik-Tag in München, 2005*
- [5] Schwarz, Jürgen; Otten, Bernd: *Lösungen für den Anfahrvorgang von Hydroschilden unter hohem Wasserdruck, STUVA-Tagung 1999*
- [6] DYWIDAG Bau GmbH: *Planauszüge der Start-/Zielsituationen City-Tunnel Leipzig*
- [7] Ed. Züblin AG, Zentrale Technik: *Planauszug Zieldichtung, Tunnel Statenweg, Rotterdam*
- [8] Dätwyler Rubber, CH-6467 Schattdorf: *Unterlagen zur Startdichtung*
- [9] Beton- und Monierbau GmbH: *Unterlagen zu Bullflex® -O-Ring-Abdichtungen*
- [10] Phoenix-Dichtungstechnik GmbH: *Unterlagen zu Lippendichtungen und aktivierbaren Dichtungskonstruktionen*

Enthaltene Abbildungen und Tabellen

Bild 1: Schnittstellen beim Schildvortrieb im Grundwasser

Bild 2: Vorgelagerter Dichtblock Startsituation

Bild 3: Schema Betontopf

Bild 4: Dichtungsebenen in der Startsituation

Bild 5: Übersicht Zielsituation

Bild 6: Dichtungsebenen in der Zielsituation

Bild 7: Lippendichtungen für die Startsituation

Bild 8: Aktivierbare und verstellbare Elastomerdichtung

Bild 9: Doppelte Schlauchdichtung mit Schaumstoffauflage

Bild 10: Wasserdruck – Dichtigkeitsdiagramm zur Anwendbarkeit von Dichtsystemen

Zusammenfassung

Die Schnittstelle zwischen Start- bzw. Zielschacht und dem eigentlichen Tunnelvortrieb ist bei hohem Wasserdruck nach wie vor eine der kritischsten Phasen der Tunnelherstellung. Zur Fassung dieser Schnittstellenthematik wird ein Zusammenwirken verschiedener Sicherungsebenen, bestehend einerseits aus meist mit Technologien des Spezialtiefbaus hergestellten Dichtkörpern und andererseits von Dichtelementen, die in die Start- bzw. Zielbrille integriert sind, angesetzt.

Die verschiedenen bekannten Dichtungssysteme der Brillen, wie Lippendichtungen und Schlauchdichtungen werden beschrieben. Schwerpunkt ist die Darstellung der Wirksamkeit der einzelnen Systeme in den einzelnen Phasen unter Berücksichtigung der unvermeidlichen Toleranzen und der Nachstellbarkeit während des gesamten Vorgangs. Es wird der aktuelle Stand der Technik dargelegt, wobei deutlich wird, dass Prüfungen und Prüfkriterien für derartige Dichtungen fehlen. Dafür werden Anregungen gegeben.

Abschließend wird ein Vorschlag für die Klassifizierung des Vorgangs zur Bestimmung des Dichtsystems vorgestellt, auf dessen Basis es allen Beteiligten ermöglicht wird, sichere und vergleichbare Systeme auszuwählen.