

## **Langzeitverhalten von Abdichtungs- systemen für Tagbautunnel (LABSY-TBT)**

### **Zur Frage der Dichtheit von Tagbautunneln**

### **Eine Untersuchung an 63 Objekten eingeteilt nach der Materialkategorie des Abdichtungssystems**

#### **Le comportement à long terme des systèmes d'étanchéité de tranchées couvertes (LABSY-TBT)**

**La question de l'étanchéité des tranchées couvertes**

**Une étude portant sur 63 objets classifiés selon les matériaux employés pour  
le système d'étanchéité**

#### **Long-term Performance of Sealing Systems of Cut and Cover Tunnels (LABSY-TBT)**

**The question of water-tightness of cut and cover tunnels**

**An investigation carried out on 63 tunnels classified by material category of the  
sealing system**

**EMPA, Eidgenössische Materialprüfungs- und Forschungsanstalt, Dübendorf  
Abteilung Kunststoffe/Composites**

**P. Flüeler, dipl. Ing. ETH/SIA**

**Forschungsaufträge AGB 1998/106 und 1998/202 auf Antrag der  
Arbeitsgruppe Brückenforschung (AGB)**



Bundesamt für Strassen

Forschungsaufträge AGB 1998/106 und 1998/202 auf Antrag der Arbeitsgruppe Brückenforschung (AGB)

# **Langzeitverhalten von Abdichtungssystemen für Tagbautunnel (LABSY-TBT)**

**Zur Frage der Dichtheit von Tagbautunneln**

**Eine Untersuchung an 63 Objekten eingeteilt nach der Materialkategorie des Abdichtungssystems**

**Le comportement à long terme des systèmes d'étanchéité de tranchées couvertes (LABSY-TBT)**

La question de l'étanchéité des tranchées couvertes

Une étude sur l'étanchéité de 63 objets classifiés selon les matériaux employés pour le système d'étanchéité

**Long-term Performance of Sealing Systems of Cut and Cover Tunnels (LABSY-TBT)**

The question of water-tightness of cut and cover tunnels

An investigation carried out on 63 tunnels classified by material category of the sealing system

**Forschungsstelle:**

**EMPA Abteilung Kunststoffe/Composites, 8600 Dübendorf**

**In Zusammenarbeit mit**

- **Peter Zwicky, Sarnen**
- **Walter Frutig, Fällanden**
- **Hanspeter Olbrecht, EMPA Dübendorf**
- **und Fachstellen der beteiligten Kantone**

**Autor:**

**Peter Flüeler, EMPA Dübendorf (Projektleiter)**



## Vorwort

Mit der Verdichtung unseres Verkehrsnetzes und der vermehrten Berücksichtigung von Umweltaspekten werden heute immer mehr Bauwerke im Grundwasser erstellt. Gleichzeitig werden von der Benutzerseite immer höhere Ansprüche an den Komfort und auch höhere Erwartungen an die Nutzungsdauer gestellt. So erachtet man heute eine Nutzungsdauer von 80 – 100 Jahren als selbstverständlich. In der Praxis zeigt es sich jedoch, dass solche Bauwerke bereits nach 40 Jahren gravierende Mängel zeigen, so dass oftmals eine totale Erneuerung notwendig wird.

Eine der Hauptursachen für die Verschlechterung einer Bausubstanz ist neben der direkten Abnutzung durch den Betrieb in das Bauwerk eindringendes Wasser mit den darin gelösten Baustoff schädigenden Stoffen, sowie Eisbildung und techn. Einrichtungen. Schon früh wurde erkannt, dass eine **wirkungsvolle Abdichtung** die Nutzungsdauer wesentlich verlängern kann und damit die direkten Gesamtkosten (Kosten für Erstellung und Nachbesserungen, Betrieb, Unterhalt, Instand Setzungen, Folgekosten für Sperrungen, Umleitung etc.) eines Bauwerks günstig beeinflussen kann.

In den letzten 35 Jahren hat sich die Abdichtungstechnologie material- und methodenseitig enorm entwickelt. In immer kürzeren Zeitabständen werden so genannt verbesserte Materialien, neue Produkte und Bautechniken angeboten. Die Vielfalt und die Geschwindigkeit der Marktdurchdringung erschwert es selbst Fachleuten diese Vorgänge zu überblicken und kritisch einzuordnen. Versagen von Methoden und Misserfolge mit neuen Materialsystemen haben zu Verzögerungen und zu beträchtlichen Mehrkosten geführt. Ebenso hat auch die Normung Mühe diesem Trend zu folgen und klare Linien rechtzeitig zu erlassen, zumal dies nun auf internationaler Ebene koordiniert werden muss. Beispielsweise fehlte bisher in der CH-Normung eine klare Definition zum Begriff Dichtheit.

Im Rahmen dieses Projekts wurden bestehende Tagbautunnel mit den gebräuchlichsten Abdichtungssystemen auf den **Dichtheitszustand** untersucht. Für die Dichtheit wurden 5 einheitliche Klassen festgelegt. An Hand von Plänen, technischen Unterlagen, Bauakten und Befragungen wurden die Erfahrungen der Bauzeit soweit möglich erfasst und dokumentiert. Mit einer visuellen Inspektion durch Begehung des Bauwerks unter Verkehr und Befragung der Unterhaltsverantwortlichen wurde auch der aktuelle Zustand aufgenommen. Die Ergebnisse der ersten Projektphase basierend auf 23 Bauwerken zeigten, dass die Erkenntnisse statistisch auf eine breitere Basis abgestützt werden müssen. Daher wurde die Anzahl auf 63 Objekte erweitert. Soweit möglich wurden pro Abdichtungssystem je 8 - 10 Tagbautunnel untersucht.

Durch dieses Projekt wurde bei den Planern, Abdichtungsfirmen und Bauinstanzen eine merkbare Sensibilisierung für die Thematik „dichtes Bauwerk“ erreicht. Die Ergebnisse mit der sehr umfangreichen Datenbank bildet nun eine allgemeine Grundlage für gezielte Untersuchung einzelner Abdichtungssysteme und für die laufenden Normungsarbeiten des Sia. Vereinzelt wurden bei der Begehung als dicht geltende Objekte als undicht erkannt. Für die Umsetzung der Erkenntnisse in die Praxis wurde auch eine Vision mit dem Ziel entwickelt, dass künftig Bauwerke ohne aufwändige Nachbesserung, auf Anhieb, dicht erstellt werden können.

Beide Projekte wurden von der Begleitkommission A unter der Leitung von H. Fleischer begleitet. Die wertvollen Hinweise und Anregungen der Kommissionsmitglieder M. Donzel, Dr. M. Käser, Prof. Dr. F.H. Wittmann und Dr. D. Somaini sowie von Herrn P. Matt werden hiermit bestens verdankt. Ebenso wird auch die Mitarbeit der Fachleute P. Zwicky, W. Frutig, H.P. Olbrecht bestens verdankt.

Der Autor

## Zusammenfassung

Vom Juni 1999 bis Ende 2002 wurden 63, im Zeitraum von 1972 bis 2002 erstellte Tagbautunnel (TBT: Tunnel in offener Bauweise erstellt, nachträglich hinterfüllt) auf ihren Dichtheitszustand untersucht. Dazu wurden die Bauakten studiert, Baubeteiligte befragt und der Zustand vor Ort aufgenommen und beurteilt. 28 TBT sind als Druckwasser haltende und 35 TBT als nicht Druckwasser haltende Bauwerke konzipiert. Von den heute gebräuchlichen Abdichtungssystemen wurden je 8-10 Objekte einbezogen; nämlich wasserdichte Betonkonstruktion (WDB), Bitumen-Dichtungsbahnen (BDB), Polymer-Bitumen-Dichtungsbahnen (PDB), Kunststoff-Dichtungsbahnen lose verlegt (KDB lose), verklebt (KDB verkl) und nachdichtbar (KDB nachd), Flüssig-Kunststoff (FLK) und Tondichtungsbahnen mit Bentonit (TDB)

Von jedem Objekt wurde in Bezug auf die Dichtheit gegen Wasser von aussen ein detaillierter Beschrieb mit Fotos erstellt und in einer einfach lesbaren Form in einer Datenbank abgelegt. Nicht erfasst werden Einwirkungen aus dem Betrieb. Die Dichtheit wurde in 5 Klassen eingeteilt, wobei die Objekte Klasse 1 (trocken) und 2 (einzelne, unbedeutende Feuchtstellen) in diesem Bericht als dicht bezeichnet werden. Die Daten wurden geordnet nach Bauteil und Bauphase in einer Datenmatrix zusammengestellt. Daraus wurde für jedes Abdichtungssystem eine Übersichtsmatrix erstellt. Ergebnis: 13 von 63 Objekten blieben auch nach mehreren Instandsetzungen undicht und werden es vermutlich auch bleiben. 10 von 28 Druckwasser haltenden Objekten oder 35 % sind undicht. 3 von 35 nicht Druckwasser haltenden Objekten oder 9 % sind undicht. Das Leckwasser wird mit speziellen Drainageeinrichtungen oder gar mit einfachen Dachwasserrinnen abgeleitet und laufend abgepumpt.

Man erkennt, dass im Verlauf der Zeitspanne von 30 Jahren Fehler erkannt und behoben, sowie Materialien wesentlich verbessert wurden. Insgesamt wurde eine mittlere Mängelquote über alle Objekte von 19 % ermittelt. Die wichtigsten Mängel sind: Planungsfehler (konstruktive Mängel, mangelhafte Detailplanung), Verhalten des Abdichtungsmaterials (keine Schubfestigkeit, temperaturbedingte Bewegungen, Überschätzen der Dehnfähigkeit von Injektionsmaterial) sowie mechanische Beschädigung durch Nachfolgearbeiten wie Hinterfüllen und Ziehen von Spundwänden. Die Abklärungen zeigten aber auch, dass der Thematik Dichtheit in den letzten Jahren gegenüber früher ein höherer Stellenwert beigegeben wird z.B. in der Planung durch einen feineren Detaillierungsgrad. In der Ausführung werden aber immer noch oder wieder Fehler begangen, die auf ein gewisses Materialunverständnis und auf Unachtsamkeit (z.B. Beschädigung beim Hinterfüllen) zurückzuführen sind. Beim Abdichtungssystem mit Ton (Bentonit)-Dichtungsbahnen sind die Ergebnisse in Bezug auf das Langzeitverhalten noch nicht abschätzbar, da gewisse Effekte erst nach längerer Zeit feststellbar sind, z. B. Einwachsen von Wurzeln in die nicht verschweissten Überlappungsstösse oder das Verhalten im Kontakt mit Zement.

Zur Erreichung der Vision „*Bauwerk dicht auf Anhieb*“ muss die Abdichtung von allen Baubeteiligten, angefangen bei der Planung, Ausführung bis zum Hinterfüllen als System betrachtet werden, das vom Wasser intermittierend oder dauernd umgeben ist oder umflossen wird. Für die Einführung neuer Materialien und Abdichtungssysteme werden besondere Massnahmen vorgeschlagen. Die vorliegende Untersuchung bildet auch eine wichtige Grundlage für die laufende Normungsarbeit, da mehrere Abdichtungssysteme noch nicht genormt sind und Normen angepasst werden müssen.

## Abstract

An investigation of the water-tightness performance of 63 cut-and-cover tunnels (CCT: tunnel in open trench construction, subsequently back-filled) that had been constructed in the years 1972 to 2002 was undertaken between June 1999 and the end of 2002. This embraced an examination of the construction documents, interviewing persons involved in the construction, and on-site inspection and assessment. The design of 28 of the CCT was intended to withstand and of 35 CCT not to withstand ground-water pressure. Of the different waterproofing systems in use today, about 8 – 10 objects each were investigated. The sealing systems include watertight concrete (WPC), bitumen (BISM) and polymer-modified bitumen sheet membranes (PSM), polymer waterproofing membranes, loosely (PWM, loose) and adhesively installed (PWM, adhesive) as well as re-sealable (PWM seal), liquid polymer coatings (LPC), and bentonite sheet membranes (BESM).

Each object was entered into a data base comprising a detailed description of the waterproofing system including photographs, in an easily readable format. Effects from service were not included in the data base. Water-tightness performance was classified in five levels, with objects class 1 (water-tight) and class 2 (few, minor humid spots) considered to be watertight for the purpose of this report. A matrix was established that contains the data classified by building component and phase of construction. This yielded a summary matrix for each of the waterproofing systems with the following results: 13 out of 63 objects are not watertight, even after several attempts at repair and probably will continue to leak. 10 out of 28 objects, i.e. 35%, that were designed to withstand ground-water pressure are not watertight. 3 out of 35 objects, i.e. 9% built above ground-water level pressure are not watertight. Leaking water is drained with either special installations or even with simple troughs and continuously pumped out.

It can be noted that within 30 years time faults have been recognized and eliminated, and materials have been significantly improved. Of all investigated tunnel objects an over all quote of faults of 19 % could be calculated. The main faults are planning (design flaws, flawed planning of details), behaviour of the waterproofing material (no shear strength, temperature induced displacements, overestimated tractility of injection materials) as well as mechanical damage due to later work stages such as back-filling and extraction of sheet piling. The investigations, on the other hand have shown that the topic of waterproofing, in recent years, has received increased attention, e.g., during planning by a higher level of detailing. During construction, defects occur still or again due to a certain degree of lack of judgement with respect to material behaviour and to negligence (e.g., damage during back-fill). For the system based on waterproofing clay (bentonite) membranes the results can not yet be assessed with respect to their long-term behaviour, since certain effects become noticeable only after a considerable time delay, e.g., the intrusion of roots or the behaviour in contact with concrete.

The vision of "construction water-tight right away" requires that all people involved in the construction view waterproofing, starting from planning through construction all the way to back-filling as a system that is intermittently or permanently surrounded or flowed round by water. Special measures are proposed when introducing new materials or new waterproofing systems. The present report also constitutes an important basis for the on-going standardization efforts, since several waterproofing systems have not yet been standardized and existing standards have to be revised.

## Résumé

Une étude sur l'état de l'étanchéité de 63 tranchées couvertes (TC) construites entre 1972 et 2002 a été réalisée entre juin 1999 et fin 2002. Pour cela, on a consulté les dossiers de construction, interrogé les intervenants et procédé à un relevé et à une évaluation de l'état de ces ouvrages. 28 de ces TC avaient été conçues comme ouvrages résistant à une pression hydrostatique et 35 comme ouvrages non soumis à une pression hydrostatique. 8 à 10 ouvrages ont été pris en considération pour chacun des systèmes d'étanchéité actuellement courants, à savoir construction en béton étanche (CBE), lés d'étanchéité à base de bitume (LB), lés d'étanchéité à base de bitume-polymère (LBP), lés d'étanchéité polymères non-adhérents (LPlibre), collés (LPcollé), ré-étanchéifiables (LPré-étanch), polymères liquides (PL) et lés d'étanchéité à base d'argile colloïdale (bentonite) (LAC).

Pour chaque objet, on a établi une description détaillée documentée par des photographies sur l'étanchéité à l'eau pénétrant depuis l'extérieur qui a été présentée sous une forme facilement lisible dans une banque de données. Les effets de l'exploitation n'ont pas été pris en compte. Une classification en 5 classes de l'état des étanchéités a été établie. Les objets de la classe 1 (sec) et 2 (quelques taches d'humidité isolée insignifiantes) ont été désignés comme étanches dans ce rapport. Les données ont été rassemblées par éléments et phases de construction dans une matrice. A partir de là une matrice globale a été établie pour chaque système d'étanchéité. Les résultats montrent que 13 des 63 objets demeurent non-étanche même après plusieurs réparations et qu'ils le demeureront probablement. 10 des 28 (35%) ouvrages soumis à une pression hydrostatique et 3 des 35 (9 %) objets non soumis à une pression hydrostatique sont non-étanches. L'eau des fuites est recueillie au moyen de dispositifs de drainages spéciaux ou même avec de simples gouttières et pompée en permanence.

Cette étude montre qu'au cours de ces 30 dernières années certaines erreurs ont été reconnues et corrigées et que les matériaux ont été notablement améliorés. Sur tous les objets investigués un nombre de défauts moyen de 19 % a été calculé. Les défauts principaux sont: erreurs de conception (défauts de construction, conception des détails), comportement des matériaux d'étanchéité (manque de résistance au cisaillement, surestimation du pouvoir d'allongement des matériaux d'injection) ainsi qu'endommagements mécaniques lors des travaux subséquents tels que le comblement de la tranchée ou le retrait des palplanches. Ce travail montre aussi que ces dernières années une importance notablement accrue a été accordée au problème de l'étanchéité par rapport au passé, ce qui se manifeste par exemple par une étude plus finement détaillée au stade de la conception du projet. Toutefois des erreurs, dues à une insuffisante connaissance des matériaux ou à des négligences (p. ex. endommagement lors du remblayage), sont encore toujours commises. Sur les systèmes d'étanchéité à base de lés d'argile colloïdale (bentonite), le comportement à long terme est encore difficile à estimer car certains effets n'apparaissent qu'après longtemps, comme la pénétration de racines dans les joints par recouvrement non soudés ou le comportement au contact du ciment.

Pour que la vision «ouvrages étanches du premier coup» devienne réalité, il faut que tous les participants à la réalisation d'un ouvrage considèrent l'étanchéité comme un système global, soumis à une pression hydrostatique constante ou occasionnelle ou entouré d'eau, cela dès l'étude du projet en passant par sa réalisation et jusqu'au remblayage de la tranchée. La présente étude propose aussi des mesures particulières lors de la mise en œuvre de matériaux ou de systèmes d'étanchéité nouveaux et elle constitue encore une base importante pour les travaux de normalisation en cours car de nombreux systèmes pas encore normés demandent une adaptation des normes.

## Inhaltsverzeichnis

<b>1.</b>	<b>Allgemeines .....</b>	<b>8</b>
1.1	Auftrag.....	8
1.2	Grundlagen .....	8
1.3	Problemstellung .....	9
1.4	Projektziele.....	9
1.5	Vorgehen.....	10
<b>2.</b>	<b>Stand der Abdichtungstechnik.....</b>	<b>11</b>
2.1	Verfahren in der Schweiz.....	11
2.2	Verfahren im Ausland.....	13
2.3	Zusammensetzung zwischen Abdichtung und Entwässerung .....	13
<b>3.</b>	<b>Abdichtungssysteme und Einteilung.....</b>	<b>14</b>
3.1	Starre Abdichtungssysteme .....	14
3.2	Flexible Abdichtungssysteme .....	15
<b>4.</b>	<b>Definition der Dichtigkeit.....</b>	<b>23</b>
4.1	Allgemein .....	23
4.2	Klassierung der Dichtigkeit .....	23
4.3	Beurteilung der Dichtigkeit vor Ort.....	24
<b>5</b>	<b>Untersuchte Objekte .....</b>	<b>24</b>
5.1	Anzahl Objekte und Art der Konstruktion.....	24
5.2	Auswahl der Objekte.....	25
5.3	Einteilung nach der Art des Abdichtungsmaterials .....	26

<b>6</b>	<b>Ergebnisse und Auswertung der Mängel</b> .....	<b>27</b>
6.1	Mängel .....	27
6.2	Definition und Berechnung einer Mängelquote .....	27
6.3	Wasserdichte Betonkonstruktionen WDB (System 11) .....	27
6.4	Bitumen-Dichtungsbahnen BDB (System 21) .....	29
6.5	Polymerbitumen-Dichtungsbahnen PDB (System 22) .....	30
6.6	Kunststoff-Dichtungsbahnen KDB, lose verlegt (System 23) .....	31
6.7	Kunststoff-Dichtungsbahnen KDB, verklebt (System 24) .....	33
6.8	Kunststoff-Dichtungsbahnen KDB, nachdichtbar (System 25) .....	34
6.9	Flüssig-Kunststoffe FLK (System 26) .....	35
6.10	Ton-Dichtungsbahnen TDB (System 27) .....	37
<b>7</b>	<b>Analyse der Abdichtungssysteme</b> .....	<b>39</b>
7.1	Grundsätzliche Aspekte .....	39
7.2	Nach Einwirkung des Wassers .....	39
7.3	Nach Alter und Zeitpunkt des Undicht werdend .....	41
7.4	Nach der Notwendigkeit von Instandsetzungen .....	41
7.5	Nach Ursachen für die Undichtigkeiten .....	42
7.6	Nach Bauteil .....	43
7.7	Nach Abdichtungssystemen .....	44
7.8	Übersichtsmatrix .....	45
<b>8.</b>	<b>Folgerungen für die Praxis</b> .....	<b>47</b>
8.1	Planung und Projektierung .....	47
8.2	Material .....	48
8.3	Einbau .....	48
8.4	Prüfungen .....	49
8.5	Unterhalt .....	49
8.6	Überlegungen zum Kosten- Nutzenverhältnis .....	49
8.7	Vorgehen bei Einführung neuer Materialien und Abdichtungstechniken .....	50
8.8	Forschungsthemen und Ansätze .....	50
<b>9</b>	<b>Normen und Richtlinien</b> .....	<b>52</b>
<b>10</b>	<b>Referenzen</b> .....	<b>53</b>

**Anhänge:**

- Anhang 1: Tabelle der untersuchten Tagbautunnel Objekt
- Anhang 2: Legende für Matrizen, Objektmatrix und Objektbeschreibung "St. Blaise" (22.09)
- Anhang 3: Systemmatrizen für WDD, BDB, PDB, KDB lose verlegt, KDB verklebt, KDB nachdichtbar, FLK, TDB
- Anhang 4: Mängelquoten nach Bauteil und nach Bauphase
- Anhang 5: Übersichtmatrix alle Systeme  
Gesamtmatrix "Abdichtungen Tagbautunnel von 1970 – 2002"
- Anhang 6: Hinweise für die Ausführung von Abdichtungen

**Beilage: Beschreib der untersuchten Objekte (auf CD)**

- alle 63 Objektbeschriebe, mehrseitig mit Fotos, geordnet nach Abdichtungssystemen
- alle 63 Objektmatrizen geordnet nach Abdichtungssystemen
- Schlussbericht

## 1. Allgemeines

### 1.1 Auftrag

Auf Veranlassung des Bundesamtes für Strassen (ASTRA), Bereich Kunstbauten hat die EMPA - Abteilung Kunststoffe / Composites im Dezember 1997 einen Projektantrag zur Abklärung des Langzeitverhaltens von Abdichtungssystemen in Tagbautunnel (TBT) mit insgesamt fünf Projektmodulen eingereicht. Am 16. November 1998 wurde der Kredit für Projektmodul "Bestandserhebung der bisherigen Erfahrungen und Rohdatenbank" erteilt. Vom Mai 1999 bis Mitte 2000 wurden in einem ersten Teil 23 Tagbautunnel in Bezug auf den Dichtheitszustand untersucht. Die Ergebnisse dieser einjährigen Abklärung sind im EMPA-Bericht Nr. 201'043 zusammengefasst und die Spezifikationen der untersuchten Objekte sind in einer Datenbank als pdf-Files zusammengestellt. Diese Unterlagen wurden allen Kantonen zugestellt [1].

In der Folge davon wurde im Februar 2001 ein neuer Antrag für eine erweiterte Abklärung eingereicht, in der zur besseren Abstützung der Erkenntnisse ca. 40 zusätzliche TBT-Objekte untersucht werden sollten. Damit sollte für jedes Abdichtungssystem eine statistisch ausreichende Anzahl Objekte enthalten sein. Die Untersuchungen fanden im Zeitraum vom August 2001 bis Mai 2003 statt. Für die Ausführung des Projektes wurden neben den Mitarbeitern der EMPA P. Zwicky, Ingenieurbüro für Abdichtungstechnik, Sarnen und Walter Frutig, Asphalttechnik, Fällanden zugezogen.

Definitionen:

- Tagbautunnel [TBT]: Tunnelbauwerk, in der offenen Baugrube erstellt und hernach wieder hinterfüllt, kann permanent oder temporär unter dem Grundwasserspiegel des umgebenden Terrains liegen.
- Druckwasser haltend: Bauwerk ist dem hydrostatischen Wasserdruck ausgesetzt, keine Entwässerung aussen am Bauwerk.
- Nicht Druckwasser haltend: Bauwerk ist nicht dem hydrostatischen Wasserdruck ausgesetzt, mit aussen liegender Drainageschicht und Entwässerungsleitungen.

### 1.2 Grundlagen

#### 1.2.1 Allgemeines

- Forschungsauftrag Nr. 91/98 (AGB 1998/106) , datiert 16. November 1998
- EMPA-Bericht Nr. 201'043 mit Datenbank, datiert 12. Dezember 2000
- Referat P. Flüeler anl. Tagung der Brückenbauingenieure vom 2. November 2001 in Neuchâtel
- Projektantrag vom Februar 2001 und Krediterteilung, datiert 2. April 2001
- Protokolle der Begleitkommission D vom 21. Juni 2001, 23. Mai 2002 und 21. Mai 2003

#### 1.2.2 Normungen

In der Normung des SIA ist das Abdichten von Bauwerken in verschiedenen Normen geregelt. Eine zusammenfassende Norm stellt die Norm SIA 272 für Bauten im Grundwasser (Abdichtungen gegen nicht drückendes und gegen drückendes Wasser) [N10] dar. Für die Planung und Ausführung gelten entsprechend des verwendeten Abdichtungsmaterials – Beton, Bitumen, Polymerbitumen, Kunststoffe - die Normenwerke [N2, N5, N6, N8, N9, N11, N12]. Für neuere Abdichtungen wie Tondichtungsbahnen (Kombination Kunststoff und quellfähiger Ton) bestehen zurzeit noch keine Normen, ebenso sind Entwässerungen aussen an Bauwerken bisher noch nicht genormt (wird bei der Revision der Norm SIA 272 aufgenommen).

### 1.3 Problemstellung

In den letzten 35 Jahren sind in der Schweiz aus Gründen des Umweltschutzes, des Lärmschutzes, der Linienführung von Verkehrsbauten und der Schonung von Landreserven schätzungsweise mehr als 150 Tunnel in Tagbauweise erstellt worden. Davon befindet sich rund ein Drittel dauernd im Grundwasser d.h. mit drückendem Wasser. Mit dem weiteren Ausbau des Autobahnnetzes und der Eisenbahnlinien werden die Anzahl Bauten und die abgedichtete Tunnelfläche weiter zunehmen. Insbesondere dürften die Bauten im Grundwasser zahlreicher werden.

Die bisher durchgeführten Untersuchungen bezüglich der Dichtheit haben gezeigt [1], [2], [3], dass nur knapp die Hälfte der Druckwasser haltenden Tunnel erfolgreich abgedichtet werden konnte, während die nicht Druckwasser haltenden Tunnel zu 90 % dicht erstellt werden konnten. Der Erfolg einer Abdichtungsarbeit hängt neben der generellen Dichtheitsanforderung von vielen Faktoren ab wie Wahl des Abdichtungskonzepts und -systems, Planung, verwendete Materialien, Ausführung, Prüfungen, Nutzung bzw. Betriebsart und Unterhalt.

Im gleichen Zeitraum sind auch die Anforderungen an die Dichtheit gestiegen. Während man früher in einem Tunnel nasse Stellen als Folge von eindringendem Wasser als normal betrachtete, verlangt der Bauherr heute aus Gründen der Dauerhaftigkeit und Sicherheit einen trockenen Tunnel. Die Abdichtung eines Bauwerks ist mit hohen Kosten verbunden. Während einfache Systeme mit 30 Fr./m<sup>2</sup> erstellt werden konnten, sind neuere Systeme wesentlich teurer und erreichen heute bis 150 Fr./m<sup>2</sup>. Erfahrungen der jüngeren Zeit mit neueren Abdichtungssystemen lehrte, dass trotz der hohen Kosten und des sorgfältigen Einbaus die Dichtheit selten im ersten Anlauf, etwas häufiger dann durch Nachbesserung und in manchen Fällen überhaupt nicht mehr erreicht werden konnte. Die Gründe zum Versagen waren oft als Objekt spezifisch und für ein Abdichtungssystem nicht typisch aussagekräftig bezeichnet. Übergeordnete Betrachtungen für die wahren Ursachen wurden aus Zeit und Kostengründen nicht unternommen.

Definition Abdichtung und Entwässerung: Alle baulichen Massnahmen, welche dem Schutz des Bauwerks dienen. Sie umfassen Untergrund, Ausgleichsschichten, Dichtungsschichten, Schutzschichten sowie allfällige Rückfallebenen und beim nicht Druckwasser haltenden Konzept die Entwässerungen, aussen am Bauwerk.

### 1.4 Projektziele und Motivation

Mit dem vorliegendem Projekt soll eine solide Wissensbasis der in der Schweiz praktizierten Abdichtungstechniken und deren Erfahrungen im Verlauf der letzten 35 Jahre aufgebaut werden. Es war und ist nicht Absicht, Schadenverursacher zu eruieren, sondern im Sinn der Vorwärtsstrategie aus negativen und positiven Erfahrungen zu lernen, um künftige Bauprojekte im ersten Arbeitsgang abzudichten, Instandsetzungskosten und damit Unterhaltskosten zu minimalisieren. Der Schutz der kostspieligen Bauwerke gegen eindringendes Wasser ist eine sinnvolle Investition in die Zukunft. Denn Instandsetzungen im Tunnelbau sind auf dem Gebiet der Abdichtung kaum mehr möglich und sind generell sehr aufwändig und verkehrsbehindernd.

Als Vision mit einem längeren Zeithorizont wurde die Idee konkretisiert, dass die Abdichtung eines Bauwerks auf Anhieb zum Erfolg führen muss, d.h. die geplante Dichtheit erreicht wird, ohne dass zusätzliche Arbeiten notwendig sind und geplante Rückfallebenen nicht bereits vor der Bauwerksabnahme vorzeitig vergeben werden müssen.

**Motiv: Aus positiven und negativen Fallbeispielen lernen!**

**Vision: Bauwerk dicht auf Anrieb!**

Die Auswahl der Tagbautunnel soll System- und Material übergreifend erfolgen und möglichst verschiedenartige Bauweisen umfassen. In die Untersuchung sollen sowohl dichte wie auch undichte Tagbautunnel einbezogen werden.

Die Merkmale der untersuchten Tunnelobjekte sollen einheitlich zusammengestellt werden, so dass sie für allfällige Folgeprojekte als Basis benutzt werden können. Gleichzeitig sollten auch Erkenntnisse von neueren Bauwerken und neue wenig bekannte Abdichtungssysteme einbezogen werden.

### 1.5 Vorgehen

In einer ersten Phase ging es darum, einen einheitlichen Kriterienkatalog für alle TBT-Objekte aufzustellen. Darin sind alle für die Beurteilung der Dichtheit wesentlichen Aspekte enthalten. Ferner war der Begriff Dichtheit im Rahmen des Projekts festzulegen (siehe Kapitel 4) und die geeigneten Objekte auszuwählen.

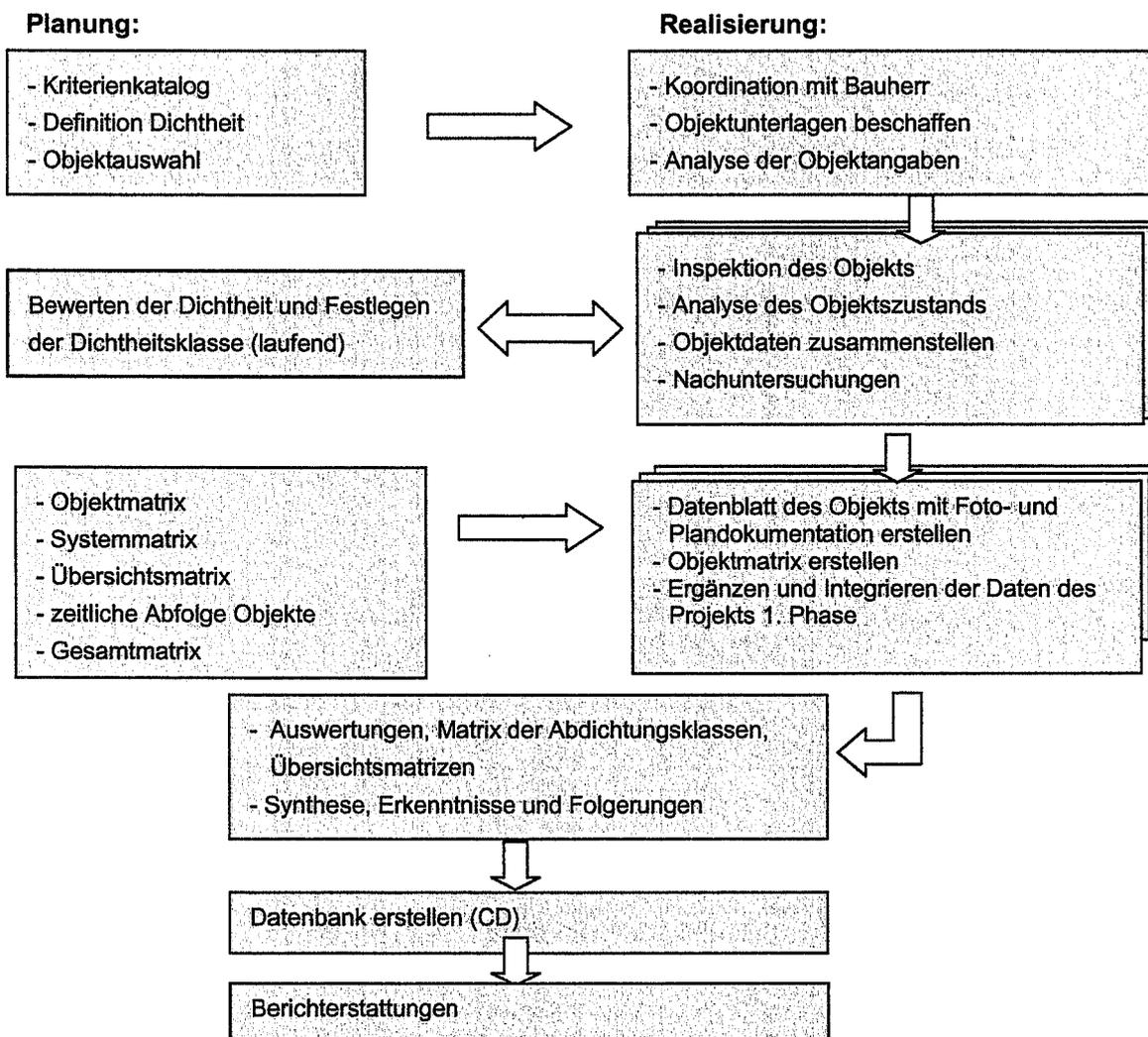


Fig. 1: Ablauf des Projekts LABSY

Bei der Erfassung eines TBT-Objekts wurden die Konstruktion und die Details des Boden-Wand- und des Wand-Deckenbereichs aufgenommen, die Fugenausbildung überprüft, Schutzmassnahmen und applizierte Schutzschichten untersucht. Undichtheiten im Sohlenbereich konnten mit dieser Methode nur zufällig festgestellt werden, wenn die Leckwassermengen im Tunnelinnern quantitativ erfasst waren. Wo dies möglich war, wurden auch die dem Bauherrn anfallenden Instandsetzungskosten erfasst und der Erfolg der Instandsetzung einbezogen.

Nicht berücksichtigt sind die Aufwendungen der Unternehmer zur Erreichen der Dichtheit vor der Abnahme des Bauwerks. Dies kann beachtliche Kosten verursachen, die mitunter über das weitere Fortbestehen einer Unternehmung entscheiden. Bei neueren TBT-Objekten mussten oftmals mehrere Instandsetzungen durchgeführt werden, insbesondere dann, wenn der Zustand in Trockenperioden erfasst wurde [6].

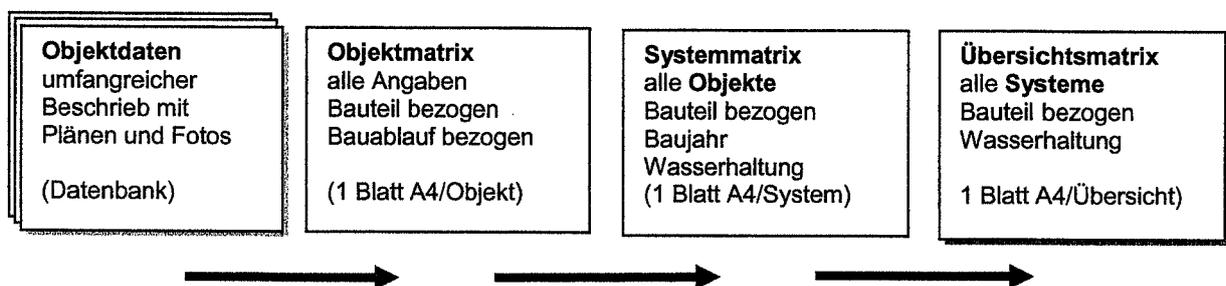


Fig. 2. Vorgehen der Datenerfassung der Tagbau-Tunnelobjekte mit Ablauffrichtung von links nach rechts.

## 2. Stand der Abdichtungstechnik

### 2.1 Verfahren in der Schweiz

In der Schweiz wurden in den letzten 40 Jahren sowohl flexible als auch starre Abdichtungssysteme verwendet. Dabei bezieht sich der Begriff flexibel auf das Verhalten der verwendeten Materialien bei Normaltemperatur, wenn sie Beanspruchungen ausgesetzt werden. Während früher vorwiegend bituminöse Werkstoffe (BDB) eingesetzt wurden, sind sie heute durch Mischungen von Bitumen mit Kunststoffen (PDB) oder ausschliesslich mit aus Kunststoff basierten Materialien ersetzt. Bis auf wenige Ausnahmen wurden die Materialien im Werk als Bahnen in Breiten von 1 bis 2.5 m gefertigt. Sie werden auf der Baustelle zu Flächen gefügt.

Die auf dem Bauwerk applizierte Abdichtung bestand anfänglich aus mehreren Lagen und wurde mehrheitlich mit dem Objekt vollflächig verklebt z.B. mit BDB. Mit dem Erscheinen von Kunststoffabdichtungen Ende der 60er Jahre, etablierte sich die lose auf der Tragkonstruktion aufliegende Abdichtung für nicht Druckwasser haltende Objekte, d.h. nur Sickerwasser. Später wurden auch für die Kunststoffabdichtungen die Vorteile der verklebten Applikation wieder erkannt (Vermeiden der Unterläufigkeit).

Mit dem vermehrten Bauen in Bereichen mit Druckwasser etablierte sich in den 80er Jahren die Methode mit Abstand haltenden Lagen aus Kunststoffen, deren Zwischenraum bei Undichtheit nachgedichtet werden kann. Hierzu wurden die grossen Flächen in Sektoren eingeteilt und mit Injektionsstutzen ausgerüstet.

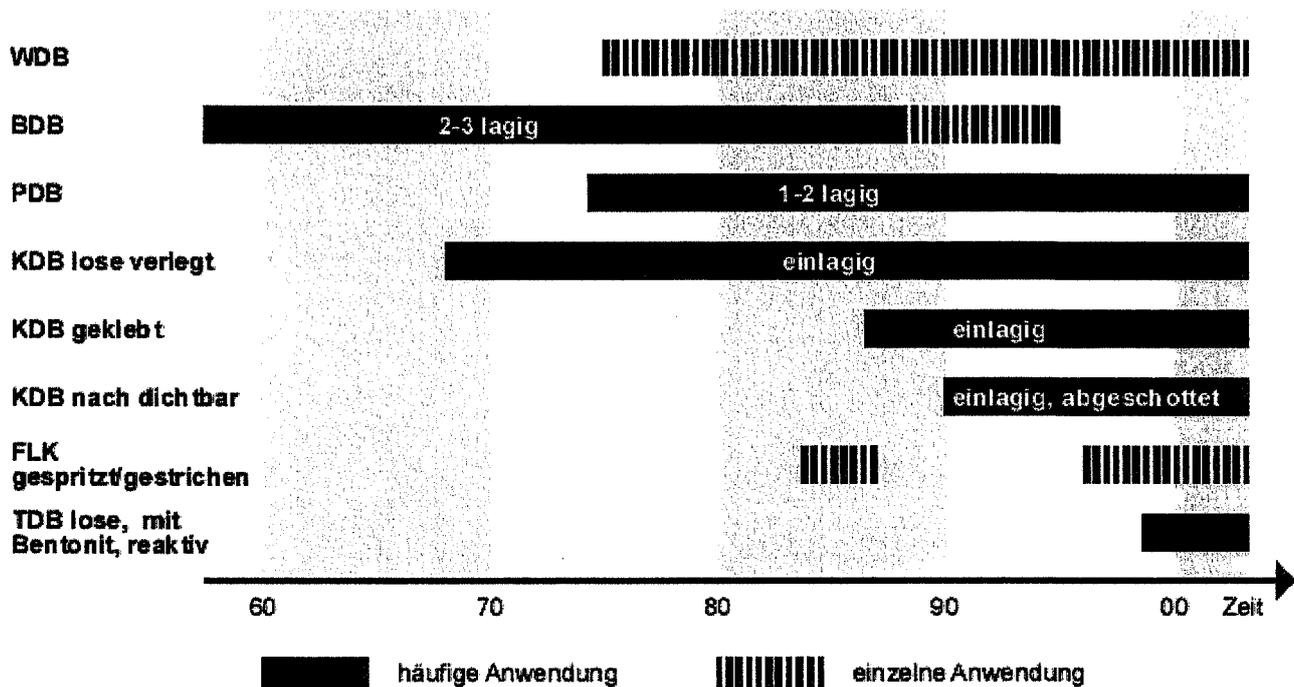


Fig. 3: Zeitliche Darstellung der häufigsten Abdichtungssysteme für Tagbautunnel in der Schweiz  
punktete Linie: einzelne Anwendungen

Ebenso wurden in den 80er Jahren erste Anläufe mit flüssigen Kunststoffen (FLK) meist auf der Basis von PUR gemacht, die entweder heiss gespritzt oder kalt mit einem Raketel aufgestrichen wurden. Letztere Verarbeitung wird vorzugsweise bei ebenen oder leicht geneigten Flächen angewendet.

Als jüngstes Abdichtungssystem sind die Tondichtungsbahnen (TDB) zu nennen. Auf einer Trägerfolie aus Kunststoff haftet granuliertes Bentonit, das bei Kontakt mit Wasser quillt und so kleine Undichtheiten dichten kann. Die quellbare Schicht ist dabei gegen das abzudichtende Objekt gerichtet. Die erste grossflächige Anwendung im Grundwasser mit ca. 90'000 m<sup>2</sup> wurde 2002 fertig gestellt. Reine Tondichtungsbahnen mit in Geotextilen eingearbeitetem Bentonit wurden bisher nicht eingesetzt.

Eine besondere Stellung nimmt die so genannte wasserdichte Betonkonstruktion (WDB) ein. Zu verschiedenen Zeiten wurden Objekte ohne Abdichtungsbahnen im Druckwasser erstellt. Das Abdichtungssystem besteht in einem möglichst dichten, Riss freien Beton, im Abdichten von Fugen und aller Durchdringungen.

## 2.2 Verfahren im Ausland

Übersichten über die Dichtheit bestehender Bauwerke, wie sie in dieser Arbeit beschrieben sind, bestehen nicht oder sind nicht öffentlich zugänglich. Systematische Nachforschungen sind nicht bekannt. Nach L. Leeuwe [13] gibt es in Holland sehr wenig dichte Bauwerke, wobei der Begriff „Dicht“ von Land zu Land unterschiedlich verstanden wird. In Holland werden Bauwerke durch Vorgabe einer maximalen Leckrate erstellt. Bei Unterschreiten derselben gilt das Objekt als dicht.

In Deutschland und in den Niederlanden werden Tagbautunnel häufig mit vorfabrizierten Betonelementen erstellt. Das Betonelement selber wird mit so genanntem dichtem Beton ohne eine zusätzliche Dichtschicht erstellt. Die Elementfugen werden mit eingelegten und/oder einbetonierten Fugenbändern aus Elastomeren gedichtet, vom Material her betrachtet meistens Chloroprene CR oder Styrol/Butadien/Ruber SBR. Die Fugen werden häufig mit einem Rohrsystem versehen, durch das die Fuge im Falle einer Undichtheit mit Dichtmasse injiziert werden kann. Die Erfahrungen zeigen, dass dies sehr oft notwendig ist, aber nicht immer die gewünschte Dichtheit erreicht wird. Mit der gleichen Methode wurde auch der so genannte „Channel-Tunnel“ - Eisenbahnverbindung zwischen England und Frankreich - gedichtet, der jedoch bergmännisch erstellt wurde. Über die erzielte Dichtheit liegen Informationen vor, wonach sich das anfänglich sehr trockene Tunnelklima zu einem feuchten und salzigem Klima verändert haben soll.

Als weiteres Abdichtungsverfahren ist die so genannte „Weisse Wanne“ oder die wasserdichte Betonkonstruktion zu nennen [11]. Sie wird in Deutschland, Holland und in Österreich vermehrt angewendet. In Österreich wurden von H. Kaltenböck die neuesten Erfahrungen in einer neuen Richtlinie des ÖVB zusammengestellt [N18].

Dänemark wendete bei den Tagbautunneln, die der Oeresund-Brücke, Verbindung zwischen Dänemark und Schweden, vorgelagert sind, die Abdichtungstechnik mit Tondichtungsbahnen an, eine Methode, über die in der Schweiz noch wenig Langzeiterfahrung vorliegt. Die Dichtungsbahnen bestanden aus einer dünnen Kunststoffolie, auf der in granulierter Form eine mit Wasser quellbare Schicht aus Bentonit haftet. Dabei wurden oft zwei Schichten übereinander ausgeführt.

## 2.3 Zusammenhang zwischen Abdichtung und Entwässerung

Bei Druckwasser haltenden Abdichtungen wird aussen am Bauwerk keine Drainageschicht und Entwässerungsleitung eingebaut. Die Tragkonstruktion muss auf den vollen Wasserdruck bemessen werden (siehe SIA 261 Einwirkungen auf Tragwerke, Kapitel 4.4).

Bei nicht Druckwasser haltenden Abdichtungen ist die Drainageschicht und die Entwässerungsleitung aussen an der Tragkonstruktion Bestandteil des Systems. Wenn die Funktion der Drainage während der Nutzungsdauer des Bauwerks erhalten bleibt und die drucklose Wasserableitung dauerhaft gewährleistet ist, muss die Tragkonstruktion nicht auf den vollen Wasserdruck bemessen werden.

Für das dauerhafte Funktionieren der Drainage und Entwässerung sind entsprechende Unterhaltmassnahmen zu planen, die dafür notwendigen Einrichtungen zu bauen, z.B. Kontroll- und Reinigungsschächte bzw. -Nischen und in der Betriebsphase so durchzuführen, dass die Drainage dauerhaft funktioniert. Noch unzureichend geklärt ist das dauerhafte Funktionieren der Drainageschichten auf der Aussenseite des Bauwerks (Versinterungsrisiko). Sie sind deshalb auf jeden Fall ausreichend zu dimensionieren und auszubilden.

Der Zusammenhang zwischen Abdichtung und Entwässerungen ist nach heutigem Stand der Technik noch nicht ausreichend beschrieben. In den neuen SIA-Normen, insbesondere SIA 197/198 (Untertagbau) und 272 (Abdichtungen und Entwässerungen) werden diese Zusammenhänge aufgezeigt und Empfehlungen für die diesbezüglichen Bauteile und deren Unterhalt beschrieben.

### **3. Abdichtungssysteme und Einteilung**

#### **3.1 Starre Abdichtungssysteme**

Als starre Systeme werden Abdichtungen mit Materialien bezeichnet, welche eine sehr geringe Dehnfähigkeit und einen vergleichsweise hohen E-Modul aufweisen (Dehnung  $\varepsilon < 1\%$ , E-Modul  $> 30 \text{ kN/mm}^2$ ). Darunter fallen Konstruktionen aus zementgebundenen Baustoffen ohne flexibilisierende Zusätze, wasserdichte Mörtel und Schichten aus metallischen Werkstoffen.

In den vorliegenden Untersuchungen sind nur Systeme mit wasserdichten Betonkonstruktionen aufgeführt. Tagbautunnel mit einem Abdichtungssystem aus wasserdichtem Mörtel sind in der Schweiz bisher keine ausgeführt worden.

##### **3.1.1 Wasserdichte Betonkonstruktionen**

Verdampft an der Bauteiloberfläche auf der Trockenseite mehr Wasser, als durch das Bauteil hindurch diffundiert, erscheint die Oberfläche trocken. Der Beton galt in diesem Fall nach SIA 162/1 als wasserdicht [N5].

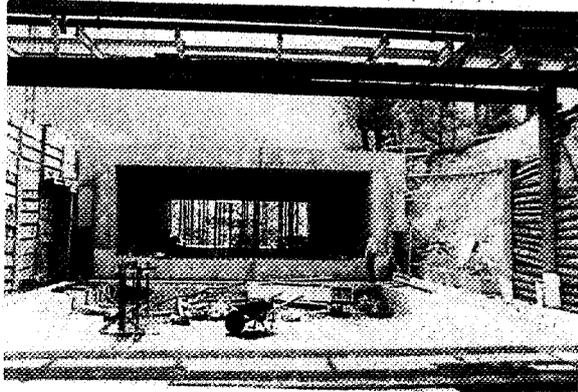
Die Wasserleitfähigkeit ( $q_w$ ) bezeichnet die Menge Wasser, welche über die benetzte Fläche pro Zeiteinheit aufgenommen wird, sie resultiert aus der kapillaren Saugkraft des Zementsteins (erhärtetes, mikroporöses Bindemittel des Betons). Gemäss neuer Norm SIA 262/1 [9] wird ein Beton mit  $q_w \leq 10 \text{ g/(m}^2\text{h)}$  bei nicht drückendem Wasser als wasserdicht beurteilt (bei  $15^\circ\text{C}$  Lufttemperatur). Dabei liegt der Bestimmung des  $q_w$ -Wertes eine Bauteildicke von 20 cm zugrunde.

Neben dieser Anforderung an die Betoneigenschaft gelten als Anforderung an wasserdichte Betonkonstruktionen weitere Massnahmen, wie z.B. Rissebeschränkungen, Risseverfüllungen, Fugendichtungen für Arbeits- und Bewegungsfugen, Abdichtungen für Durchdringungen, Ausführungsvorschriften [5], [10], [11], [12], [N5], [N8,] [N16].

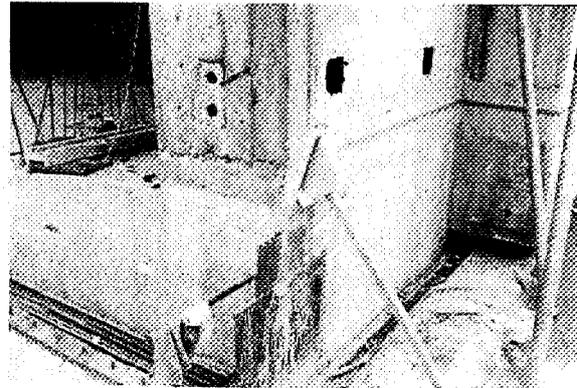
##### **Anmerkung:**

In Anlehnung an die Norm SIA 162/1 und 262/1, wird in der Schweiz der Ausdruck "Wasserdichte Betonkonstruktionen" als Systembezeichnung verwendet (siehe auch NPK 172 Abdichtungen für Bauwerke unter Terrain und für Brücken), dies im Gegensatz zur Bezeichnung in Deutschland, wo der Ausdruck "Wasserundurchlässige Bauwerke aus Beton" gebräuchlich ist (Richtlinie des DAfStB, zur Zeit. in Vernehmlassung). In diesem Projekt wird "wasserdicht" und "wasserundurchlässig" als gleich bedeutend betrachtet.

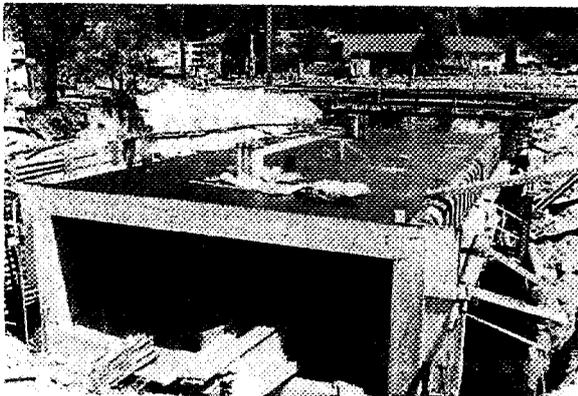
### Beispiel einer Abdichtung mit WD-Betonkonstruktion: Unterführung Reussacherstrasse Altdorf



*Bild 1-1: Kastenprofil (einschieben unter SBB-Gleise) im Jahr 1989*



*Bild 1-2: Detail: Eingelegte und aufgeklebte Fugenbänder in WDB-Konstruktion, Druckwasserhöhe 2 m*



*Bild 1-3: Detail: WDB-Konstruktion mit zusätzlicher PBD-Abdichtung auf Decke*

## 3.2 Flexible Abdichtungssysteme

Als flexible Abdichtungssysteme werden Abdichtungen mit Materialien bezeichnet, welche eine relativ hohe Dehnfähigkeit ( $\epsilon > 30\%$ , [N11], [N12] und [N16]) und eine relativ hohe Risseüberbrückungsfähigkeit aufweisen. Darunter fallen Dichtungsbahnen und Dichtungsschichten aus vorwiegend organischen Werkstoffen wie Bitumen, Polymerbitumen und Kunststoffen. Sie werden im Werk fabrikmässig gefertigt, vor Ort zu einer durchgehenden Dichtschicht gefügt oder vor Ort als Schicht aufgetragen oder gespritzt.

Abdichtungssysteme aus Dichtungsbahnen mit Bentonitschichten werden ebenfalls unter den flexiblen Abdichtungen aufgeführt.

Nachfolgend sind die flexiblen Abdichtungssysteme kurz charakterisiert.

### 3.2.1 Bitumen-Dichtungsbahnen

Bitumen-Dichtungsbahnen, abgekürzt BDB, bestehen aus einem Träger – in der Regel Jutegewebe, Glasvlies oder Glasgittervlies – und einer Beschichtung mit Oxydationsbitumen. Sie sind 3-4 mm dick und werden in der Regel zwei- oder dreilagig lose verlegt bzw. mit Heissbitumen verklebt (Sohle) bzw. aussen auf das Bauteil mit Heissbitumen aufgeklebt. Reissdehnung und Rissüberbrückung sind vom Träger abhängig und in der Regel begrenzt. Die mechanischen Eigenschaften sind stark Temperatur- und Zeit abhängig. Grundsätzlich können Dichtungsschichten aus Bitumen bei langfristiger Einwirkung keine Zug-/Schubkräfte und nur begrenzt Druckkräfte übertragen [N10]. Diese müssen deshalb mit verstärkten Schutzschichten oder durch geeignete konstruktive Massnahmen übertragen werden.

#### Beispiel einer Abdichtung mit Bitumen-Dichtungsbahnen: Galerien Misox GR



*Bild 2-1: Zustandserfassung der 1970 erstellten Abdichtung im Jahr 2002: Fugenabdichtung mit Rissen*



*Bild 2-2: Detail Rückwand mit Riss in der Abdichtung*

### 3.2.2 Polymerbitumen-Dichtungsbahnen

Polymerbitumen-Dichtungsbahnen, abgekürzt PBD, bestehen aus einem Träger – in der Regel ein Kunstfaservlies – und einer Beschichtung aus Polymerbitumen. Der Bitumenmasse werden Polymere (ataktische Polypropylene APP oder Styrol-Butadien-Styrole SBS) mit einem Anteil < 50% beigegeben, welche die Dehnfähigkeit, die Kälteflexibilität und die Rissüberbrückung verbessern. Die werkstoffgefertigten Dichtungsbahnen, in der Regel 3 bis 5 mm dick, werden ein- oder zweilagig lose verlegt (Sohle) bzw. vollflächig untereinander und auf das Bauteil aufgeschweisst (geflämmt). Das Schubverhalten ist ähnlich wie bei den Bitumenbahnen, und es sind stabile Schutzschichten erforderlich [N10].

### Beispiel einer Abdichtung mit Polymerbitumen-Dichtungsbahnen: Tunnel Pieterlen (Objekt 22.07)

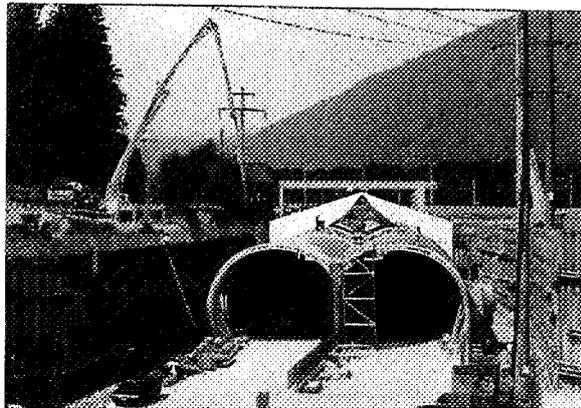


Bild 3-1: Übersicht Baustelle August 1997

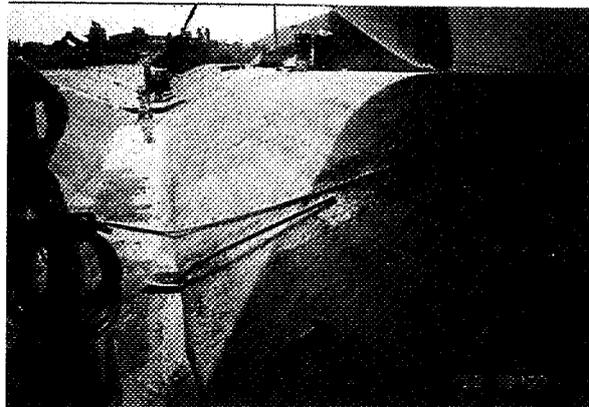


Bild 3-2: Untergrundvorbehandlung mit Hochdruckwasserstrahlen (HDW) mit mindestens 750 bar und Lunkern- und Porenverschluss mit Epocem-Mörtel



Bild 3-3: Aufklären der Polymerbitumen-Dichtungsbahn  
Achtung falsche Applikation !

#### 3.2.3 Kunststoff-Dichtungsbahnen, lose verlegt

Kunststoff-Dichtungsbahnen bestehen in der Regel aus thermoplastischen Kunststoffen wie weichgemachtes Polyvinylchlorid PVC-P oder Legierungen aus Polyolefinen wie Polyethylen PE, Polypropylen PP, Ethylen-Vinylazetat EVA, Polybutylen PB. Sie können mit einem Träger versehen sein, welcher die Bahnen dimensionsstabil macht. Der thermische Ausdehnungskoeffizient variiert in einem breiten Spektrum von 25 (verstärkt) bis  $250 \times 10^{-6} / ^\circ\text{C}$  (unverstärkt [7]). Die Materialien zeichnen sich durch grosse Dehnfähigkeit und niedrigem E-Modul aus, die stark Temperatur und Zeit abhängig sind. Die bis 3 m breiten im Werk gefertigten, 2-4 mm dicken Bahnen werden einlagig verlegt und thermisch untereinander verschweisst. Bei rauem Untergrund werden Ausgleichsschichten aus Kunstfaservlies verlegt. Das System kann keine Schubkräfte übertragen und erfordert grösste Sorgfalt beim Hinterfüllen. Beschädigungen bewirken ein nahezu unbegrenztes Verteilen des eindringenden Wassers infolge Unterläufigkeit.

Definition Unterläufigkeit:

Ausbreiten des Leckwassers zwischen der Dichtungsschicht und der Betonkonstruktion.

### Beispiel einer Abdichtung mit lose verlegten Kunststoff-Dichtungsbahnen: Tunnel Schinzacherfeld



*Bild 4-1: Hinterfüllen mit Aushubmaterial an Schutz- und Drainagematte 1989  
Starke Wellenbildung in der Dichtungsbahn aus PE-LD  
(ohne Träger) in Folge hohem thermischen Ausdehnungskoeffizienten  
und lokaler Fixation (Nische).*



*Bild 4-2: Maschinelles Eindecken mit Wandkies*

#### 3.2.4 Kunststoff-Dichtungsbahnen, vollflächig geklebt

Kunststoff-Dichtungsbahnen, in der Regel aus PVC-P, Dicke 2 mm, werden mit einem Polyurethan-Kleber vollflächig auf den gründlich vorbehandelten und trockenen Betonuntergrund geklebt. Die Blasen freie Verklebung verhindert die Unterläufigkeit und ist Schubkraft übertragend. Das System erlaubt den Einsatz von nicht Zement gebundenen Schutzschichten. Damit wird das Risiko der Versinterung von Drainageschichten und -leitungen massiv verkleinert [4].

### Beispiel einer Abdichtung mit vollflächig geklebten Kunststoff-Dichtungsbahnen: Lawinengalerie Sera bei Tiefencastel

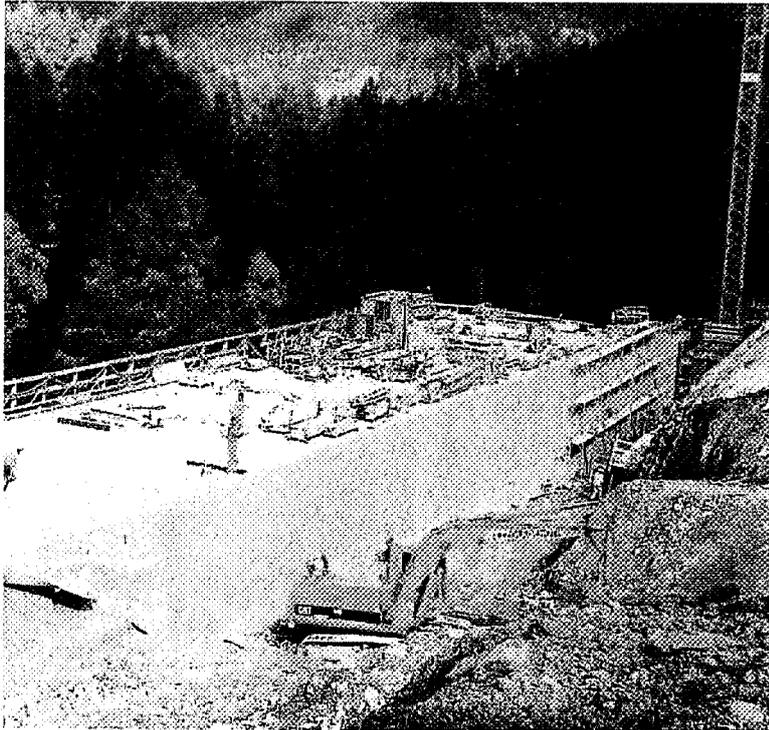


Bild 5-1: Einbau der Abdichtung 1992



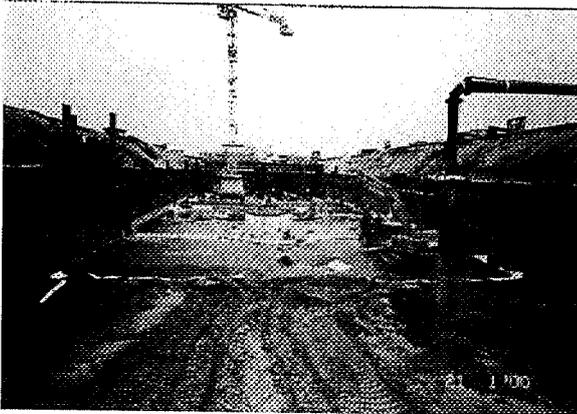
Bild 5-2: Detail Einbauvorgang

#### 3.2.5 Kunststoff-Dichtungsbahnen, nachdichtbar

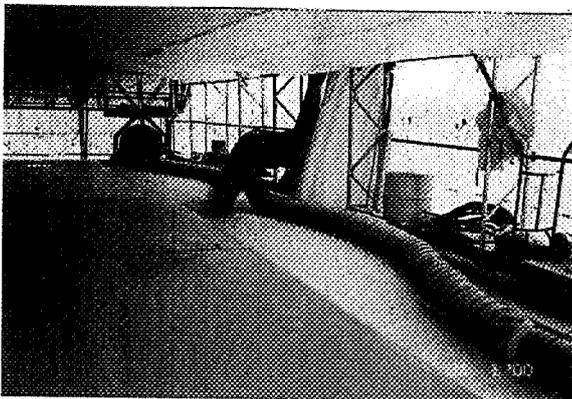
Bei diesem System wird die Abdichtung mittels Abschottungen in Sektoren unterteilt. Der durch Noppen oder Abstandshalter gebildete Hohlraum eines Sektors wird einzeln mit Stützen zur späteren Injektion angeschlossen. Damit wird der Vorteil der losen Verlegung genutzt und das Risiko von mechanischen Beschädigungen mit der Möglichkeit, zwischen Untergrund und Dichtungsbahn eine flexible Dichtungsmasse nachträglich bei Bedarf einzubringen, entschärft. Die Abschottungen mittels speziellen Profilen erfordern grösste Sorgfalt beim Einbau/Verbinden und die nachträgliche Verfüllung des Hohlraumes erfordert einen Gegendruck in Form von Auflasten.

Das Risiko dieses Systems besteht in der schwer berechenbaren Menge des Injektionsguts, welches zur Erzielung der Dichtigkeit des Bauwerkes erforderlich ist. Ob die heute gebräuchliche Kombination mit starren Zementinjektionen zur Füllung grosser Hohlräume und mit flexiblen Acrylgelen zur Erhaltung der flexiblen Eigenschaften langfristig die Anforderungen erfüllt, ist zurzeit offen.

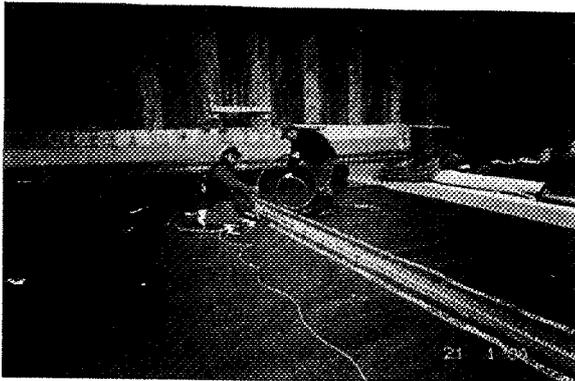
**Beispiel einer Abdichtung mit nachdichtbaren Kunststoff-Dichtungsbahnen: Tunnel Grenchener Witi (Objekt Nr. 25.02)**



*Bild 6-1: Übersicht Gesamtbaustelle. Januar 2000*



*Bild 6-2: Einbau Deckenabdichtung mit Abschottung unter Schutzdach*



*Bild 6-3: Einbau Sohlenabdichtung mit Abschottbändern und Hohlraum bildender Noppenbahn für nachträgliches Dichten*



*Bild 6-4: Hinterfüllen der setzlichen Baugrube mit Sand*

### 3.2.6 Flüssigkunststoffe

Unter diesem Begriff werden dichtende, flexible Schichten aus Kunststoff verstanden, in der Regel aus Polyurethan, die im Spachtel- oder Spritzverfahren auf eine Epoxidharz-Grundierung auf die Betonkonstruktion aufgetragen werden. Kritisch sind Oberflächenvorbereitung, das gleichmässige Auftragen der Schicht und deren Kontrolle, die Homogenität der Schichten (Blasen und Lunken) und die Applikationsbedingungen. Ein grosser Vorzug ist das Beherrschen komplexen Geometrien wie Ecken, Rundungen und auch schwierige Detailanschlüsse. Bisher sind relativ wenig grossflächige Objekte ausgeführt worden.

#### Beispiel einer Flüssigkunststoff-Abdichtung: Zentrale Anlieferung Hauptbahnhof Zürich

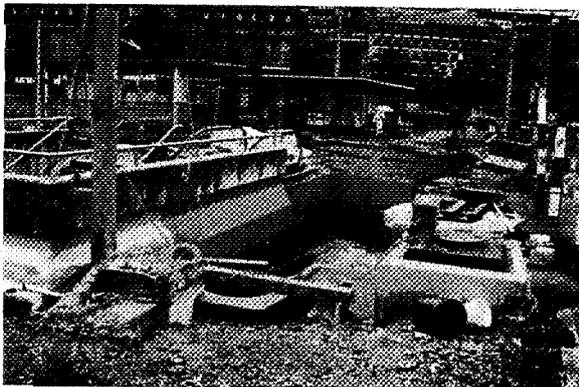


Bild 7-1: Die Zweifarbigkeit der Schichten erleichtert das Einhalten der Minimalschichtdicke, 1995

### 3.2.7 Tondichtungsbahnen

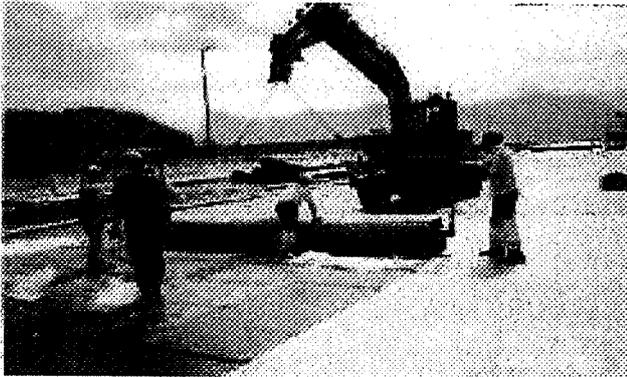
Bei den Ton-Dichtungsbahnen unterscheidet man geotextile Ton-Dichtungsbahnen, bei denen der Träger des Bentonits ein Geotextil ist, und Ton-Dichtungsbahnen, bei denen der Träger eine Kunststoff-Dichtungsbahn ist. Für die Bauwerksabdichtungen wird zurzeit in der Regel der letztere Typ verwendet. Dabei übernimmt die Kunststoff-Dichtungsbahn die primäre Dichtungsaufgabe und das Bentonit dient als Rückfallebene bei undichten Stössen und bei mechanischen Beschädigungen.

Seit etwa 1995 ist in der Schweiz ein System mit Tondichtungsbahnen bekannt, das auf einer dünnen Polyethylenfolie als Träger granuliertes Bentonit (Montmorillonit) enthält. Das Bentonit-Granulat mit einem Quellfaktor von ca. 6 verhindert im Falle einer mechanischen Beschädigung das Ausbreiten von Wasser zwischen Untergrund und Dichtungsbahn, wenn die Fliessgeschwindigkeit  $< 0.1$  m/s ist und der Überlagerungsdruck  $> 175$  N/m<sup>2</sup> beträgt.

Die Bahnen werden mit der Bentonitschicht gegen das Bauobjekt orientiert lose verlegt. Die Stösse werden einfach überlappt und mit Klebband gesichert. Oberflächen nahe Zonen müssen verschweisst werden (Wurzeleinwuchs).

Starke Säuren und Alkalien neutralisieren die Quellung des Bentonits. Nach [8] und [9] ist der Kontakt von Bentonit mit Zement bzw. bei  $< 5$  pH  $> 11$  zu vermeiden.

**Beispiel Abdichtung mit Tondichtungsbahnen: Tunnel Spier Horw (Objekt-Nr. 27.02)**



*Bild 8-1: Ausrollen der Bahnen auf Decke, 2002*



*Bild 8-2: Verkleben der Stösse*



*Bild 8-3: Wellenbildung in Folge hohem thermischen Ausdehnungskoeffizienten der PE-Trägerfolie*



*Bild 8-4: Überdecken Vlies mit Wandkies als Schutzmassnahme*

## 4. Definition der Dichtigkeit

### 4.1 Allgemein

Bei der Beurteilung eines Bauobjektes auf seine Dichtigkeit wird heute allgemein von Dichtigkeitsklassen gesprochen. Eine diesbezügliche Einteilung hat die STUVA Köln seit längerer Zeit vorgestellt, wobei dort zusätzlich "Leckraten", d.h. zulässige Leckwassermengen in  $l/m^2$  pro Tag pro 100 m Tunnel festgelegt sind. Diese Leckwassermengen sind in der Praxis kaum messbar und bei oberflächennahen Objekten, wie beispielsweise den Tagbautunnel, stark niederschlagsabhängig. Zudem sind in der Beschreibung der STUVA bei der Dichtigkeitsklasse 1 "vollständig trocken" und 2 "einzelne Feuchtstellen" Leckraten zulässig, was per Definition nicht der Fall sein kann.

In der Schweiz ist im NPK 172 "Abdichtungen für Bauwerke unter Terrain und für Brücken" der CRB [N19] eine Beschreibung der Dichtigkeitsklassen 1-3 enthalten und kann vom Bauherrn in der Ausschreibung als Anforderung formuliert werden. Bei der Revision der Norm SIA 272 wird diese Klasseneinteilung übernommen und um eine Klasse 4 "feucht bis nass" erweitert. Für die vorliegende Untersuchung wurde noch eine 5. Klasse verwendet, die ein vollständiges Versagen anzeigt.

### 4.2 Klassierung der Dichtigkeit

Innerhalb des Projekts werden in Anlehnung an die NPK-Formulierung und die neue SIA 272 folgende Klassen verwendet. Für die graphische Darstellung der einzelnen Objekte werden für die Beschreibung der Dichtigkeit die nachfolgenden Symbole (Tabelle 1) verwendet.

Klasse	1	2	3	4	5
Zustand	dicht	wenig undicht, (gilt als dicht!)	mässig undicht	stark undicht	sehr stark undicht
Beschreibung	vollständig trocken, keine feuchten Stellen	trocken bis leicht feucht, einzelne Feuchtstellen zugelassen	feucht, begrenzte Feuchtstellen und einzelne Tropfstellen zugelassen	feucht bis nass, Feucht- und Nass-Stellen zugelassen	starkes Tropf- und Fliesswasser, vollständiges Versagen
Symbol					

Tabelle 1: Einteilung der Dichtigkeitsklassen nach Entwurf Norm SIA 272

### 4.3 Beurteilung der Dichtheit vor Ort

Die Tunnelbauwerke wurden in der Regel mit einem Vertreter der zuständigen Instanzen inspiziert und die sichtbare Innenoberfläche visuell und ohne weitere Hilfen aus unterschiedlichem Abstand betrachtet. Die Beurteilung vor Ort erfolgte an Hand der an der Innenoberfläche des Tunnels vorgefundenen Phänomene. Diese wurden den Klassen gemäss Tabelle 1 zugeordnet.

Die Objekte wurden mehrheitlich im Zeitraum vom Frühsommer bis Herbst mit eher wenig Niederschlag inspiziert und beurteilt. Es ist daher durchaus möglich, dass einzelne Objekte in längeren Nassperioden in eine schlechtere Dichtheitsklasse eingeteilt werden müssten. Jüngere Objekte, die zum Teil noch im Bau waren oder deren Nachbesserung noch nicht abgeschlossen waren, z.B. TBT Schlund, Spier, Birchi, Lüsslingen, Grenchner Witi, Lawinengalerie Mitholz, mussten daher mehrmals inspiziert und beurteilt werden.

## 5. Untersuchte Objekte

### 5.1 Anzahl Objekte und Art der Konstruktion

Die 23 TBT-Objekte des Vorprojektes wurden mit 40 weiteren Objekten [1] ergänzt. Somit umfasst die Untersuchung insgesamt 63 TBT-Objekte mit einer abgedichteten Fläche von ca. 1.65 Mio. m<sup>2</sup>. Die Aufteilung der Objekte in Druckwasser haltende und nicht Druckwasser haltende Tunnels ergibt für die erste Gruppe 35 und für die zweiten 28 Objekte. Ein Druckwasser haltender Tunnel liegt permanent oder temporär (länger anhaltende Nasswetterperiode oder Starkregenfall) unter dem Grundwasserspiegel. Die resultierende Wassersäule belastet die Abdichtung und das ganze Bauwerk permanent oder temporär. Der Druckwasser haltende Tunnel erfordert in der Regel eine Abdichtung der Sohle, während der drucklos drainierende TBT im Gewölbe mit einer so genannten Schirmabdichtung und einer dauerhaft funktionierenden Drainage aussen am Bauwerk ausgerüstet ist.

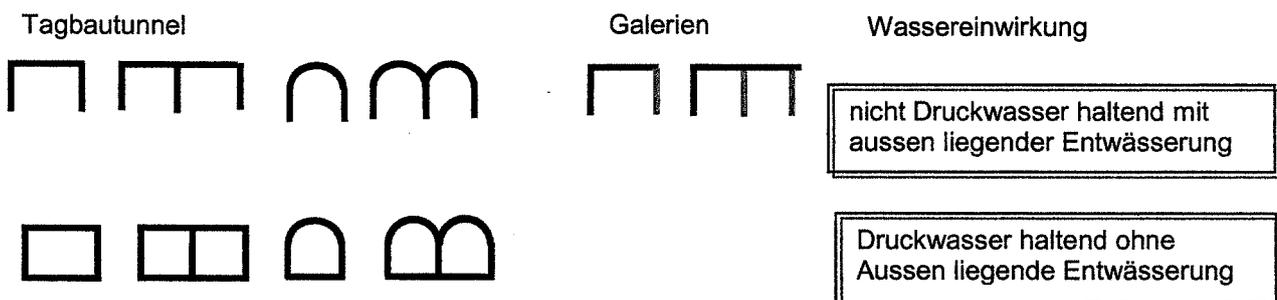


Fig. 4: Schemaquerschnitte und Wassereinwirkung der untersuchten Objekte

Druckwasser haltend		Nicht Druckwasser haltend	
Alusuisse, Sierre VS	Museumsbahnhof SBB ZH	Breewald Hinterrhein GR	Hirschwiesen-Buechegg ZH
Auvernier NE	Pieterien BE	Châbles FR	Honoret Urdorf ZH
Bahnhof St. Johann Basel BS	Rinderweid TG	Champ-Coco NE	Karlihof, Landquart GR
Birchi SO	S-Bahnst. Stettbach SBB ZH	Combette, Murten FR	La Huette/Metaire BE
Champsec West, Sion VS	Schlund LU	Crête Plane, Sierre VS	Lavin GR
Champsec Ost, Sion VS	Schönbühl ESS BE	Eich LU	Les Hauts-Geneveys NE
Emmenquerung SBB BE	Spitalhof SO	Eichrain ZH	Mariazell, Sursee LU
Flughafenstrasse Basel BS	St. Blaise NE	Flurlingen ZH	Mitholz BE
Flughafen Kloten SBB ZH	SZU-Hauptbahnhof SBB ZH	Förlibuck SBB ZH	Quarten Rütibach SG
Galerie de St. Maurice VS	Vaumarcus NE	Frasses FR	Quarten Eigis SG
Gishübel BE	Vignier NE	Galerie Fallenbach Gersau SZ	Rathausen LU
Grauholz Ost SBB BE		Galerien Pfaffensprung UR	Schöneich ZH
Grauholz West SBB BE		Galerie Cassanawald GR	Sévaz FR
Grenchener Witi SO		Galerie Sassella Susch GR	Spier LU
Les Vignes FR		Galerie Schönenberg SH	Stelzen Oberhausen ZH
Lüsslingen SO		Galerie Schoren SG	Thuner Allmend BE
Lütschine Interlaken BE		Galerie Sprenggi UR	Zurzach AG
	<b>28 Objekte</b>	Galerie Wasserwerkstr. ZH	<b>35 Objekte</b>

Tabelle 2: Liste der TBT-Objekte aufgeteilt nach dem Wasserhaltungskonzept

## 5.2 Auswahl der Objekte

Die Auswahl erfolgte eher zufällig, jedoch in der Art, dass von jedem Abdichtungssystem ca. 8 bis 10 Objekte der in den letzten 30 Jahren applizierten Abdichtungsverfahren einbezogen wurden. Von den neueren Abdichtungssystemen wie Tondichtungsbahnen TDB und Flüssigkunststoffe FLK konnten nur je 4 Objekte aufgenommen werden. Es wurden nach der Kenntnis der zuständigen Fachstellen sowohl dichte als auch undichte Objekte untersucht.

Die Anzahl und die Auswahl der Objekte erlauben eine gute Aussage über den Stand der Technik, die Erfahrungen mit einem bestimmten Abdichtungssystem, das Aufzeigen der Problempunkte und das formulieren von Folgerungen für die Praxis.

### 5.3 Einteilung nach der Art des Abdichtungsmaterials

Die Objekte wurden in die folgenden 8 Abdichtungssysteme eingeteilt:

System	Anzahl Objekte
11 Wasserdichte Betonkonstruktion WDB	9
21 Bitumen-Dichtungsbahnen BDB	10
22 Polymer-Bitumen-Dichtungsbahnen PDB	10
23 Kunststoff-Dichtungsbahnen lose verlegt KDB lose	9
24 Kunststoff-Dichtungsbahnen verklebt KDB verkl	9
25 Kunststoff-Dichtungsbahnen nachdichtbar KDB nachd	8
26 Flüssigkunststoff FLK	4
27 Ton-Dichtungsbahnen TDB (Bentonit/Kunststoff)	4

Bei einzelnen Objekten wurde das Abdichtungssystem im Verlauf der Bauausführung gewechselt z.B. Champsec Sion VS, Quarten Eigis und Rüti SG. Solche Objekte wurden wie zwei Einzelobjekte behandelt und sind nun in den betreffenden Kategorien aufgeführt. Einzelne Objekte wurden mehrmals abgedichtet, deren Gründe werden im Kapitel 6 und 7 behandelt.

Beim System WDB wurde die Decke meistens mit einer PDB/BDB **zusätzlich abgedichtet**. Dadurch wird keine reine WDB-Konstruktion erstellt, d.h. es ist somit ein gemischtes Abdichtungssystem. In dieser Untersuchung werden diese Objekte jedoch als WDB behandelt.

## 6 Ergebnisse und Auswertung der Mängel

### 6.1 Mängel

In der Untersuchung werden auf Grund der visuellen Feststellung von Undichtigkeiten am Objekt oder entsprechenden Ereignissen in der Baugeschichte ein oder mehrere Mängel vermutet. Die Mängel wurden von den Experten den Bauphasen Planung und Ausführung zugeordnet. Jede Phase wurde noch weiter unterteilt (Fig. 3). Entsprechend der Intensität der Undichtigkeit wurde die Dichtigkeitsklasse gewählt.

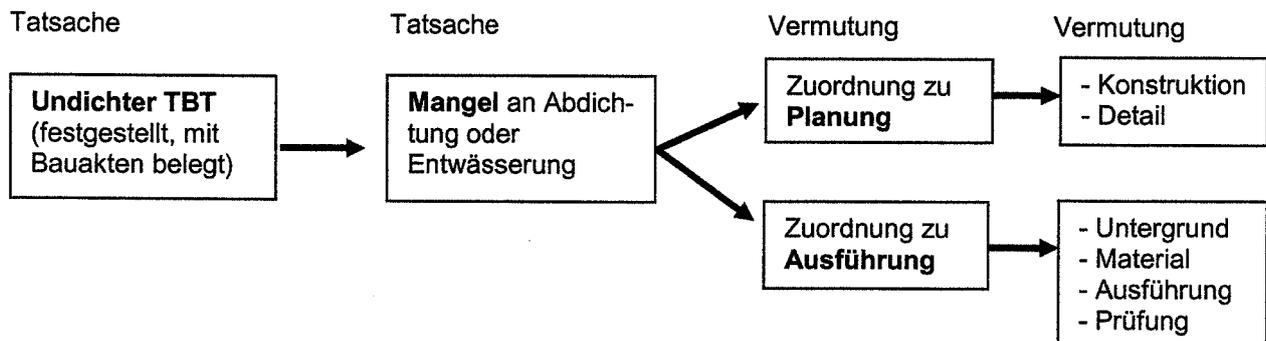


Fig. 5: Beziehung zwischen Feststellung und Mangelzuordnung

Aus den Systemmatrizen (Anhang 3) ist die Beziehung zwischen Undichtigkeit und Mangel eines Objektes ersichtlich, die mit dem Symbol der Dichtigkeitsklasse gemäss Kapitel 4.2 versehen sind (Anhang 3). Für die zusammenfassende Beurteilung wurde der Füllungsgrad (weiss-schwarz) der Symbole jedes Objektes quantifiziert (maximal 4 möglich).

### 6.2 Definition und Berechnung einer Mängelquote

Für die Berechnung der Mängelquote werden die Bauteile und die Bauphase in einer zweidimensionalen Matrix als Felder dargestellt. Diese Felder werden für mangelfrei mit grün und für mangelhaft mit rot gefüllt (siehe Objektmatrix Anhang 2). Mit dieser Darstellung werden die Mängelquoten pro Bauteil und Bauphase berechnet.

Die Mängelquote nach Bauteil wird berechnet als Quotient aus der Summe der roten Felder und der Gesamtsumme aller erfassten Kriterien eines Bauteils und aller Abdichtungssysteme (Anhang 3 und 4).

In gleicher Weise wird mit der Mängelquote pro Bauphase verfahren, wobei hier die einzelnen Objektmatrizen verwendet werden. Die Daten sind in der Datenbank enthalten.

### 6.3 Wasserdichte Betonkonstruktionen WDB (System 11)

#### 6.3.1 Planung

Bei der Planung der Konstruktion wurde bei 2 Bauwerken eine monolithische und bei deren 7 eine Bauweise mit Fugen gewählt. Bei 7 von 9 Bauwerken wurden zusätzlich zur wasserdichten Betonkonstruktion die Decken und teilweise auch die Wände mit PDB oder BDB abgedichtet.

Bei der Planung der Konstruktion zeigen sich bei einem Drittel der Objekte ein oder mehrere Mängel. Von den total 75 Merkmalen (alle Objekte) sind 10 Mängel behaftet bezeichnet.

Bei 5 von 9 Objekten werden Mängel in den Planungsdetails verzeichnet. Von den total 75 Merkmalen sind 14 mit Mangel behaftet bezeichnet.

Die Mängel liegen vor allem bei den Übergängen und bei den Fugen, teilweise auch in der Bodenplatte oder in den Wandflächen.

Beim Objekt (11.01), welches vollständig im Grundwasser liegt und das ohne zusätzliche Abdichtung gebaut wurde, sind am meisten Mängel aufgetreten.

Das Objekt (11.05) ist an einer Hügelkante gelegen. Der Tunnel wurde nachträglich mit Aushubmaterial überschüttet. Aus diesen Gründen ist der Wasseranfall gering (nur Sickerwasser, d.h. nicht druckhaltige Wasserbelastung). Ausserdem begünstigt die Gewölbeform des Tunnelprofils den Wasserabfluss. Bodenplatte und Wände wurden als wasserdichte Betonkonstruktion mit geklebten Dilatationsfugen ausgeführt.

### **6.3.2 Ausführung**

Bei den 7 Objekten, bei denen zusätzlich zur wasserdichten Betonkonstruktion auf den Decken und teilweise auch auf die Wände eine Abdichtung mit PDB oder BDB aufgebracht wurde, konnten bei der Untergrundvorbereitung keine Mängel festgestellt werden.

Unter der Rubrik Material werden Bauteile mit Wasser führenden Rissen, Kiesnester als Mangel behaftet bezeichnet.

Ausführungsmängel sind bei der Anordnung der Fugen, bei der Etappierung, bei den Übergängen Boden/Wand/Decke und der Drainage festgestellt worden. Auch sind vereinzelt (teilweise Wasser führend) Schwindrisse vorhanden.

Bei den Prüfungen am Bauwerk wurden vor allem beim Objekt (11.01), welches vollständig im Grundwasser liegt und nicht zusätzlich abgedichtet wurde, Mängel verzeichnet: fehlende Prüfungen bei den Übergängen Bodenplatte/Wand, Wand/Decke sowie der Betonflächen (Anhang 6, Seite 35).

### **6.3.3 Zustandserfassung**

Das Objekt (11.05) mit Sickerwasser ist dicht. Von 8 Objekten mit Druckwasser sind 3 Objekte von Anfang an undicht gewesen, wovon 2 Objekte auch noch nach der Instandsetzung undicht sind. Bei Objekten ohne zusätzliche Abdichtungsmassnahmen (11.01, 11.03) zeigen sich die Systemgrenzen deutlich: Die Wasserdichtigkeit eines Betonbauwerks kann nicht allein durch den Beton gewährleistet werden.

### **6.3.4 Zusammenfassung**

Bei Druckwasser haltenden Objekten zeigt sich, dass mit zusätzlichen Abdichtungsmassnahmen bessere Ergebnisse erzielt werden. Wegen unvorhersehbarer Rissbildung und Undichtigkeiten bei Fugen kann die Wasserdichtigkeit eines Bauwerkes nicht durch den Beton allein erreicht werden.

Nicht Druckwasser haltende Betonbauwerke können in reiner WDB-Konstruktion eher dicht erstellt werden, wenn die Drainage und Entwässerung funktionieren.

## **6.4 Bitumen-Dichtungsbahnen BDB (System 21)**

### **6.4.1 Planung**

Von 10 Objekten wurden 9 vor 1985 geplant und gebaut. 8 Objekte wurden in der Zwischenzeit Instand gesetzt, wovon 5 Objekte auch jetzt noch undicht sind. Dies ist zu einem Teil auf planungsbedingte Fehler zurückzuführen, indem vor allem Übergänge und Fugen zuwenig detailliert ausgearbeitet wurden. In extremer Weise zeigt es sich bei den beiden Druckwasser haltenden Objekten Flughafen, Kloten und Lütischine, Interlaken.

### **6.4.2 Ausführung**

Wie aus der Zusammenstellung ersichtlich, sind die älteren Tagbautunnels mit BDB Bahnen verklebt worden. Als Bitumen verwendete man 90/30er Oxydbitumen mit einem Träger aus Jute, Aluminium, Glasvlies oder Rohfilzpappe.

5 Objekte weisen Mängel auf, die auf ungenügende Untergrundvorbereitungen im Bereich der Randabschlüsse, Konsolköpfe und der Portalabschlüsse zurückzuführen sind. Die Betonoberfläche wird heute mit Hochdruck-Wasserstrahlen mit Drücken bis zu 850 bar gereinigt. Neuerdings wird auch mit Kugeln gestrahlt. Dies hat den Vorteil, dass der Beton nachher nicht getrocknet werden muss. Die Fugen wurden meistens nicht speziell ausgebildet d.h. nur mit BDB überklebt. Sie führten oft zu Wasserinfiltrationen. Die BDB-Bahnen müssen immer von unten nach oben mit mindestens 10cm Überlappung verlegt werden [N14]). Sie können nur minimale Schubkräfte übernehmen. Daher muss der TBT in kleinen Schichten hinterfüllt werden. 3 von 10 Objekten waren mechanisch beschädigt. In Oberflächen nahen Bereichen können sogar Wurzeln von aggressiven Pflanzen einwachsen.

Es konnte nicht ergründet werden, ob die Qualität der Abdichtungsbahnen beim Einbau überprüft wurde.

### **6.4.3 Zustandserfassung**

Bei mehreren TBT mussten noch während der Bauzeit die Abdichtungsbahnen neu aufgebracht werden. 3 von 5 drucklosen Objekten sind nach der Instandsetzung noch undicht und bei den Druckwasser haltenden Objekten sind beide untersuchten Objekte undicht.

### **6.4.4 Zusammenfassung**

Von 10 TBT wurden 9 vor 1985 erstellt. 7 Objekte wurden Instand gesetzt. Von diesen sind zurzeit immer noch 5 Objekte undicht. Dies ist vorwiegend auf eine unvollständige Planung der konstruktiven Details zurückzuführen. Bei vielen Objekten wurden die Fugen nicht speziell ausgebildet, Anschlüsse an Wand-Decke, Elemente Konsolköpfe und Portalanschlüsse nicht richtig ausgeführt. Bei einigen undichten Objekten wird das Leckwasser mit Blechkanälen an Decken und Wänden auf die Sohle abgeleitet.

Durch eine strengere Kontrolle der Ausführung verbunden mit einer besseren Qualitätssicherung z.B. nach ISO 9001 und ISO 14001 soll in Zukunft garantiert werden, dass neben dem richtigen Abdichtungssystem auch das richtige Material fachgerecht verlegt wird. Auf Grund der Schadenpraxis wurde das klassische, aus mehreren Schichten aufgebaute und heiss aufgetragene BDB-Abdichtungssystem in neuerer Zeit durch Abdichtungssysteme mit Polymer-Bitumen-Dichtungsbahnen ersetzt.

## 6.5 Polymerbitumen-Dichtungsbahnen (System 22)

### 6.5.1 Planung

Materialseitig werden zwei Systeme unterschieden, die entweder SBS-Bitumen oder APP-Bitumen als Matrix enthalten.

**SBS-Bitumen:** Styrol-Butadien-Styrol (SBS) ist ein thermoplastischer Kautschuk. Bei höheren Temperaturen (nahe des Schmelzbereichs) ist SBS warmverformbar und zeigt thermoplastische Eigenschaften. Es entstehen Vernetzungen, die bei Normaltemperatur **gummielastische** Eigenschaften bewirken. Sowohl die Styrol- wie auch die Butadienteile vernetzen sich mit dem Bitumen gut. Es entsteht ein dichtes, räumliches Netz in dem das Bitumen fein verteilt eingelagert ist. In der Regel wird SBS mit B200-Bitumen modifiziert. In Ausnahmefällen kann auch mit oxydiertem Bitumen modifiziert werden. Die SBS Bahnen können verklebt oder auch im thermisch verschweisst werden.

Sie weisen generell gute Kälteflexibilität, Wärmestandfestigkeit, Riss überbrückende Eigenschaften und UV-Beständigkeit auf.

**APP-Bitumen:** Ataktisches Polypropylen (APP) besteht aus langkettigen Kohlenwasserstoff-Molekülen mit geringen Seitenketten und Bitumen. APP hat **thermoplastische** Eigenschaften. Es wird ebenfalls mit einem B200-Bitumen modifiziert. Modifizierungen mit oxydiertem Bitumen sind nicht möglich. Ebenso ist gebläser Bitumen mit APP in Folge der Kolloid-Struktur des Oxydationsbitumens und der Art und Menge der Ölanteile des Bitumens unverträglich. Er ist durch Wärme verformbar und hat kein gummiartiges Verhalten. APP bewirkt bei kleinen Mengenanteilen keine verbessernden Eigenschaften auf das Bitumen. Bei hohen Mengenanteilen bildet sich eine äussere homogene Phase in der das Bitumen fein verteilt eingelagert ist. APP Bahnen dürfen nur geschweisst oder mit APP Bitumenmasse verklebt werden. Sie zeigen in der Regel gute Kälteflexibilität, Wärmestandfestigkeit, UV-Beständigkeit aber keine besonderen Riss überbrückende Eigenschaften.

Nur bei 2 Objekten von insgesamt 10 sind grössere Undichtheiten auf planungsbedingte Mängel zurückzuführen. Es betrifft dies Objekt Museumsbahnhof ZH und Tunnel de Champsec (22.02 und 22.10).

Die Mängel bei den undichten Tunnels liegen wie bei den BDB-Bahnen im vernachlässigen von Übergängen Wand-Decke, Elemente, Konsolköpfe, Portalabschlüsse. Die im Druckwasser liegenden Objekte zeigen mehr Mängel.

### 6.5.2 Ausführung

Bei 2 Objekten wurde der Untergrund vor allem im Bereich der Randabschlüsse, Konsolköpfe und der Portalabschlüsse mangelhaft vorbereitet. Als allgemein anerkannte Technik gilt die Behandlung der Betonoberfläche mit Hochdruckwasserstrahlen, wobei ein Wasserdruck bis 850 bar üblich ist. Neuerdings wird auch das Kugelstrahlverfahren angewendet. Es hat den Vorteil, dass der Beton nachträglich nicht getrocknet werden muss.

Die Fugen zwischen Wand und Decken, Elementen, Fugen bei Konsolkopf und Portalabschlüsse müssen vorgängig ausgebildet werden. Die Dichtungsbahnen müssen von unten nach oben verlegt werden, wobei die Bahnen mindestens 10 cm überlappt werden müssen [N10] und [N14]. Die fertig verlegten Abdichtungsbahnen müssen unbedingt auf Hohlstellen z.B. mit der Stahlbesentechnik, überprüft werden. Auch PBD-Bahnen können keine Schubkräfte übernehmen. Daher muss das Hinterfüllen in kleineren Schichten erfolgen.

Durch begleitende Haftzug- und Schälversuche soll der Verbund mit dem Untergrund überprüft und sichergestellt werden.

### 6.5.3 Zustandserfassung

Insgesamt sind gemäss Definition bei diesem System nur die beiden Druckwasser haltenden Objekte undicht. Durch nachträgliches Injizieren wurde versucht, die Leckstellen zu dichten. Dies ist bisher nicht gelungen. Das Leckwasser wird vorläufig abgepumpt. Kleinere Feuchtstellen wurden bei 3 weiteren Objekten gefunden.

In diese Kategorie gehört auch das Objekt Quarten-Eigis (26.01) und Quarten-Rüti (26.02), das nachträglich mit PDB gedichtet wurde, nachdem der erste Versuch mit einer FLK-Abdichtung misslang.

### 6.5.4 Zusammenfassung

Bei den 10 untersuchten Objekten mit einem Abdichtungssystem aus PBD sind 2 Objekte undicht. Davon liegen 7 Objekte im Druckwasser und die beiden undichten Objekte gehören in diese Kategorie. Alle nach 1989 erstellten Objekte sind dicht.

Sämtliche Arbeitsschritte und die konstruktiven Details müssen bereits in der Planung durchgedacht werden. Dies beginnt mit der Behandlung der Betonoberfläche. Sie wird entweder mit dem Hochdruck-Wasserstrahl mit Drücken bis 850 bar oder neuerdings mit Kugelstrahlen bearbeitet. Letzteres hat den Vorteil, dass die Betonoberfläche nach dem Reinigen nicht mehr getrocknet werden muss.

Die Fugen wurden bei diesem System konsequenter und besser ausgebildet als bei der BDB-Abdichtung. Die Element- und die Arbeitsfugen müssen vorgängig mit PBD Streifen abgeklebt werden.

Im Fall von nicht Druckwasser haltenden TBT (z.B. bei Galerien) werden die Wände oft nicht abgedichtet, nur drainiert. In diesem Fall muss die PBD Bahn mindestens 20 cm unter die Arbeitsfuge gezogen werden.

Brüstungen/Portale: Die Abdichtung muss ausreichend weit hochgezogen (>15 cm) werden, damit der Beton gegen die Auffüllung geschützt ist. Hier ergeben sich oft Differenzen zwischen der Planung und der Wirklichkeit. Der obere Abschluss soll ein Klebband mit Epoxi-Kleberand mit Fugenausbildung aufweisen.

Beim Hinterfüllen sind mechanisch Beschädigungen und zu grosse Füllhöhen Ursachen für Undichtheiten. Durch ausreichende Schutz- und Gleitschichten, sowie durch Baukontrollen können die Leckstellen minimiert werden.

Durch eine strengere Kontrolle der Ausführung verbunden mit einer besseren Qualitätssicherung z.B. nach ISO 9001 und ISO 14001 soll in Zukunft garantiert werden, dass neben dem richtigen Abdichtungssystem auch das richtige Material fachgerecht verlegt wird.

## 6.6 Kunststoff-Dichtungsbahnen, lose verlegt (System 23)

### 6.6.1 Planung

Bei der Planung der Konstruktion zeigen sich bei zwei Drittel der Objekte ein oder mehrere Mängel. Von den total 73 Kriterien aller Objekte sind 18 % mangelhaft.

Bei der Detailplanung werden bei 7 von 9 Objekten Mängel verzeichnet, von den total 65 Kriterien sind 23 % mangelhaft.

Die Mängel liegen grösstenteils bei den Übergängen und bei den Fugen. Besonders grosse Auswirkungen haben die Mängel bei Druckwasser. In den Flächen und bei Entwässerung, Drainage und Unterhalt sind praktisch keine Mängel feststellbar, ausser bei negativen Auswirkungen infolge eines hohen thermischen Ausdehnungskoeffizienten von unarmierten Dichtungsbahnen aus Polyolefinen.

### 6.6.2 Ausführung

Bei der Untergrundvorbereitung sind bei 4 von 9 Objekten Mängel festgestellt worden, jeweils im Bereich von Randanschlüssen Konsolkopf und Portal. In der Fläche sind keine Mängel festzustellen.

Als Materialmangel wird der hohe thermische Ausdehnungskoeffizient von Dichtungsbahnen aus unarmierten Polyolefine Materialien bezeichnet. Dieser liegt 10 - 20-mal höher als bei Beton, so dass sich bei Wärmeeinwirkungen Wellen bilden und bei Abkühlungen unzulässige Zugspannungen auf Schweissnähte ergeben können. Als weiterer Materialmangel wird bei einem Objekt die Nicht-Kompatibilität von Randabschluss- und Fugenmaterial im Konsolkopf-Bereich verzeichnet (Kittschiene).

Bei der Ausführung sind Mängel bei Schweissarbeiten von Polyolefin-Dichtungsbahnen zu verzeichnen sowie mechanische Beschädigungen der Dichtungsbahnen. Die Mängelquote liegt bei 9 von 73 Kriterien, was einem Prozentsatz von 12 % entspricht.

Bei den Prüfungen wurden an zwei Objekten Mängel verzeichnet: mangelhafte Prüfungen bei einem Übergang von einer Tagbaustrecke zur Bergbaustrecke und mangelhafte Überwachung bei der Einfüllung der Überdeckung.

### 6.6.3 Zustandserfassung

Im Bereich Sickerwasser sind alle Objekte dicht, bzw. weisen nur unbedeutende Undichtigkeiten auf. Bei einem Objekt ist die Abdichtung bei der Einfüllung durch unsachgemässes Vorgehen (kein schichtenweises Einfüllen und Verdichten) vollständig zerstört worden (Objekt 23.09). Die Abdichtung musste wieder freigelegt und neu erstellt werden. Bei den übrigen Objekten mussten keine Instandsetzungsarbeiten durchgeführt werden.

Die beiden Objekte mit Druckwasser waren von Anfang an undicht und sind es auch nach Instandsetzung teilweise noch. Diese Beispiele zeigen die Systemgrenzen deutlich: in Folge der so genannten Unterläufigkeit bei lose verlegten Dichtungsschichten hat ein einzelner lokaler Mangel oder Schaden grosse Auswirkungen, welche bis zur Unbrauchbarkeit des Systems führen können.

### 6.6.4 Zusammenfassung

Konstruktive Mängel, d.h. Mängel bei der Planung der Konstruktion und beim Detail sind häufig (bei zwei Dritteln der Objekte und bei etwa 20 % der Kriterien) und übertreffen die Mängel bei Material und Ausführung. Sie sind vor allem im Bereich von Übergängen (Wand-Decke, Konsolkopf, Portal) und Fugen festzustellen. Festzuhalten ist, dass das System nur sehr beschränkt Schubkräfte übertragen kann und deshalb entweder eine stabile Schutzschicht aus Schutzmörtel oder Schutzbeton benötigt oder bei der Einfüllung äusserst sorgfältig vorgegangen werden muss, wenn aus Gründen des Unterhalts (Beschränkung von sinterbildenden Stoffen in den Entwässerungsleitungen) auf solche Schutzschichten verzichtet werden soll.

Bei der Ausführung steht das Beschädigungsrisiko bei der Einfüllung des Aushubmaterials im Vordergrund. Beim Material ist der hohe thermischen Ausdehnungskoeffizient von Bahnen aus TPO als nachteilig zu bezeichnen. Hingegen ist die langfristige Gebrauchstauglichkeit des Materials gegeben. Das älteste Objekt ist seit 35 Jahre mit einer Dichtungsbahn aus PVC-weich in Betrieb.

Im Bereich Entwässerung, Drainage und Unterhalt sind praktisch keine Mängel zu verzeichnen.

Weil Mängel und Schäden bei Druckwasser in Folge der Unterläufigkeit grosse Auswirkungen haben, kann das System nur für den Einsatz bei Sickerwasserbelastung und auch da nur mit Einschränkungen (Beschädigungsrisiko, Schubeinwirkungen) empfohlen werden. Weil bei Entwässerung und Unterhalt keine Mängel feststellbar waren, ist von der konzeptionellen Seite her dem Ableitkonzept der Vorzug vor dem Verdrängungskonzept zu geben. Werden die konstruktiven und ausführungstechnischen Vorgaben beachtet, können die Systemvorteile wie geringe Anforderungen an die Untergrundvorbehandlung und der Kostenvorteil voll ausgenutzt werden.

## **6.7 Kunststoff-Dichtungsbahnen, verklebt (System 24)**

### **6.7.1 Planung**

Bei der Planung der Konstruktion zeigten sich bei 2 von 9 Objekten Mängel, bei der Detailplanung sind es 3 von 9 Objekten, was einer Mängelrate von 4 % bzw. 6 % entspricht. Die Mängel sind bei den ältesten Objekten, (Galerie Schoren und Galerie Sassella, 1985) und bei einem Objekt mit besonderen Bedingungen (Arbeitsfugen nicht verfüllt bei der Untergrundvorbereitung) festgestellt worden.

### **6.7.2 Ausführung**

Bei der *Untergrundvorbereitung* ist nur an einem Objekt ein Mangel festgestellt worden, es ist ebenfalls ein Objekt aus der Anfangszeit dieses Systems. Bei diesem Objekt wurde noch keine Untergrundvorbehandlung durchgeführt, wie dies bei den später erstellten Objekten der Fall war (Hochdruck-Wasserstrahlen, Kugelstrahlen, Sandstrahlen).

Beim Material sind keine Mängel festgestellt worden, weder bei den Klebern aus Polyurethan (PUR), noch bei den Dichtungsbahnen aus PVC-weich.

Bei der Ausführung sind die Mängel bei den gleichen Objekten festgestellt worden wie bei der Planung (Nicht verfüllen der Arbeitsfugen, mangelhafte Ausführung der Details beim ältesten Objekt 1985). Die Mängelquote beträgt 5 %. Die gleiche Aussage gilt auch für die Prüfungen.

Bei Entwässerungen, Drainagen und Unterhalt sind keine Mängel zu verzeichnen.

### **6.7.3 Zustandserfassung**

Von den 9 erfassten Objekten sind heute alle dicht oder weisen nur geringfügige Undichtigkeiten auf. Bei zwei Objekten musste eine Instandsetzung durchgeführt werden: bei der Galerie Schoren (24.09), dem ersten mit diesem System ausgeführten Objekt mussten die Randabschlüsse und die Fugen im Konsolkopfbereich erneuert werden, weil sie nicht System kompatibel ausgeführt wurden.

Beim Objekt Tunnel Combette (24.02) wurden die Längs-Arbeitsfugen des Werkleitungskanals im Gewölbe nicht verfüllt. Dadurch konnte Leckwasser längs des Tunnels in der Betonkonstruktion zirkulieren und durch Risse im Betongewölbe in den Nutzraum eindringen. Die Fugen wurden nachträglich mit Acrylgel verfüllt und das Objekt ist heute dicht.

#### **6.7.4 Zusammenfassung**

Das System mit vollflächig verklebten Kunststoff-Dichtungsbahnen ist bisher nur im Bereich mit Sickerwasser ausgeführt worden. Nach dem Überwinden der Kinderkrankheiten (Untergrundvorbereitung, Detailplanung und –ausführung für Randabschlüsse und Fugen im Konsolkopfbereich) hat es sich vollumfänglich bewährt.

Als Voraussetzung für den Erfolg ist eine einwandfreie Untergrundvorbereitung zu nennen (Druckstrahlen, Lunkern- und Porenverschluss) sowie in der Regel das Arbeiten unter einem Schutzdach. Ebenso dürfen in der Unterkonstruktion keine Hohlräume vorhanden sein, welche den Effekt der Unterläufigkeitssicherung aufheben.

Die vollflächige Verklebung ist die Antwort auf das Risiko der Unterläufigkeit bei lose verlegten Bahnen. Die durch die Verklebung und die Untergrundvorbereitung entstehenden relativ hohen Systemkosten werden aufgewogen durch die Kosteneinsparungen bei der Schutzschicht. Die vollflächige Verklebung mit Polyurethankleber erlaubt das Übertragen von Schubkräften ohne den Einsatz von Schutzmörtel oder Schutzbeton. Dadurch werden Kalkablagerungen in den Entwässerungsleitungen verhindert, was die Unterhaltskosten entscheidend reduziert.

Die Vorteile der Kunststoff-Dichtungsbahnen (lange Gebrauchsdauer, hohe Rissüberbrückung, einheitliche Schichtdicke, fabrikmäßige Herstellung) können voll genutzt werden. Die Verbindung Betonuntergrund/Kleber/Dichtungsbahn wird auf der Baustelle mittels einfachen und kostengünstigen Schälzugprüfungen nachgewiesen [4].

### **6.8 Kunststoff-Dichtungsbahnen, nachdichtbar (System 25)**

#### **6.8.1 Planung**

Die Konstruktion des Systems wurde bei allen Objekten als mängelfrei beurteilt. Das System ist vor allem als Antwort auf die hohen Systemrisiken bei der losen Verlegung von Kunststoff-Dichtungsbahnen entwickelt worden. Mittels der Flächeninjektion in einzelne, abgeschottete Sektoren soll die Dichtigkeit bei lokaler mechanischer Beschädigung wieder hergestellt werden. Dieser konstruktive Ansatz wird als positiv beurteilt, erlaubt er doch den Einsatz von lose verlegten Kunststoff-Dichtungsbahnen bei Druckwasser mit – theoretischer – Beherrschung der Risiken.

Bei der Detailplanung beträgt die Mängelrate 10 % (bei 2 von 8 Objekten). Bei diesen Objekten ist die nachfolgende Hinterfüllung ungenügend verdichtet, so dass sich bei der Reparaturinjektion ein hoher Materialbedarf ergeben hat.

#### **6.8.2 Ausführung**

Bei der Untergrundvorbereitung wurde bei einem Objekt ein Mangel registriert. Dies betrifft die Abschottung mit geklebten Bändern. Diese erfordern eine genau so gründliche Untergrundvorbereitung wie die verklebten Kunststoff-Dichtungsbahnen, was vorliegend nicht der Fall war.

Das Gleiche trifft auch beim Material zu. Die Mängel liegen bei den Abschottungen bei 4 von 8 Objekten. Darunter fallen die eingelegten Fugenbänder ohne Injektionsschläuche. Es hat sich herausgestellt, dass diese Bänder mit einer lokalen Injektionsmöglichkeit versehen werden müssen, um zu funktionieren.

Die häufigsten System-Mängel waren bei der Ausführung zu verzeichnen. Die Mängelquote von 36 % ist die höchste festgestellte Quote der ganzen Untersuchung. Diese Beurteilung basiert auf der unerwartet hohen Anzahl nachgedichteter Abschottungssektoren. Dies widerspiegelt einerseits das hohe Beschädigungsrisiko beim Einbau der Hinterfüllung und andererseits den unsorgfältigen Einbau der Abschottungen. Diese haben sich mindestens anfänglich als praktisch unwirksam gegen Druckwasser bzw. die unter Druck eingebrachte Nachdichtinjektion erwiesen.

Dementsprechend wurden auch bei den Prüfungen Mängel bei den Abschottungen registriert.

### **6.8.3 Zusammenfassung**

Die Erwartungen, welche man seitens Bauherren und Industrie in dieses System gesetzt hat, konnten nur teilweise erfüllt werden. Der Aufwand für die Instandsetzung vor der Inbetriebnahme – sie musste an 6 von 8 Objekten durchgeführt werden – war teilweise sehr hoch, nicht vollständig erfolgreich und mit hohen Zusatzkosten verbunden. Dies ist im Wesentlichen darauf zurück zu führen, dass der für die Instandsetzungs-Injektion erforderliche Gegendruck nicht vorhanden war (Aussenabdichtungen), die Hohlräume für die Injektion zu gross waren (Sohlenabdichtung) und die Abschottungen ihre Funktion nicht erfüllen konnten. Bei den beiden Objekten ohne Instandsetzung leitet man das auftretende Leckwasser ab und hat auf Nachdichtung mittels Injektionen verzichtet [6].

Ebenfalls besteht noch keine Klarheit über das Injektionsmaterial. System entsprechend sollte dies eigentlich ein flexibles Material sein (z.B. Acrylgel). Wegen den sehr hohen Kosten hat man bis jetzt jedoch die grossen Hohlräume vorerst mit Zement verfüllt und erst in einer zweiten Etappe das flexible Material verpresst. Ob diese Materialkombination die Anforderungen langfristig erfüllen kann, ist zurzeit offen.

7 von den insgesamt 8 Objekten sind im Druckwasserbereich erstellt und heute nach der Instandsetzung sind alle noch leicht bis mittel undicht. Das Objekt mit Sickerwasserbelastung ist nach einer nicht aufwändigen Injektion dicht.

## **6.9 Flüssig-Kunststoffe (System 26)**

### **6.9.1 Planung**

Bei der Planung ist die Konstruktionsart zu berücksichtigen, weil geneigte Flächen nur gespritzt werden können, während wenig geneigte Oberflächen gespritzt oder mit dem Spachtel flüssig appliziert werden können. Somit bestimmt die Konstruktionsart die Applikationsart oder umgekehrt.

Alle vier untersuchten TBT sind nicht Druckwasser haltend. Die beiden Objekte in Quarten SG, Nr. 26.01 Eigis und 26.02 Rüti, wurden in einem Zeitpunkt geplant und ausgeführt, in der das Abdichtungssystem FLK (auf Basis von Polyurethan PUR) für TBT neu war. In der Folge wurden die heiklen Punkte erst während der Ausführung erkannt z.B. Untergrundvorbereitung, Auftragsdicke, Kontrolle, Vernetzung des Materials, Haftung, Übergang Tagbau- zu Bergbautunnel. Die beiden Objekte können als Grossversuche eingestuft werden, mit dem erste Erfahrungen gesammelt wurden. Das Objekt Rüti wurde vollständig, das Objekt Eigis nur zu einem Teil mit FLK abgedichtet. Nach negativen Erfahrungen wurde die Anwendung beim Tunnel Eigis gestoppt, FLK entfernt und der ganze Tunnel mit PDB abgedichtet. Der Tunnel Rüti wurde schlussendlich mit einer KDB aus PVC-P abgedichtet. Rund 5 Jahre später wurde die Galerie Sprenggi (26.04.) und ca. 7 Jahre später die Galerie Schönenberg (26.03.) erstellt. Hier sind die früheren Erfahrungen und die neuen Entwicklungen in die Planung eingeflossen. Beide Objekte haben flache, wenig geneigte Decken.

## 6.9.2 Ausführung

Beim Material müssen gespritzte und gestrichen applizierte Produkte unterschieden werden, die entweder heiss oder kalt verarbeitet werden. Die Materialbasis aller vier Objekte bestand aus PUR.

Die Untergrundvorbereitung wurde bei den Objekten Quarten mangelhaft ausgeführt. Extreme Blasenbildungen bewirkten grossflächige Ablösungen, so dass die ganze Abdichtung entfernt werden musste. Sie sind auf mangelhafte Austrocknung und auf ungenügendes Bearbeiten der Betonoberfläche, sowie auf extreme Sonneneinwirkung der frei exponierten FLK zurückzuführen.

Die Ausführung als gespritzter Auftrag (Eigis, Rüti, Schönenberg) bewirkt eine schichtweise Vernetzung (Aushärtung) der flüssigen Schichten. Es kann die Bildung von Lunkern begünstigen, weil der Vernetzung sehr rasch erfolgt. Beim gestrichenen Auftrag trifft dies selten zu. Die Ausführung bei TBT Quarten Eigis und Rüti war derart mangelhaft, dass schlussendlich andere Abdichtungssysteme aufgebracht wurden.

Bei den Objekten Schönenberg und Sprenggi traten keine besonderen Schwierigkeiten auf.

## 6.9.3 Zustandserfassung

Bei den vier TBT handelt es sich mit total 15'000 m<sup>2</sup> um relativ kleine abgedichtete Flächen.

Die jetzt dichten Objekte Quarten Eigis und Rüti können nicht zu dieser Kategorie gerechnet werden, weil die Dichtheit durch andere Abdichtungssysteme erzielt wurde.

Somit verbleiben nur gerade 12'000 m<sup>2</sup> abgedichtete Fläche. Dies entspricht gerade 7.5 ‰ der in diesem Bericht zusammengestellten TBT-Fläche. In Bezug auf die Abdichtung sind diese beiden Objekte jedoch dicht.

Beim Objekt Sprenggi verursachte eine ungenügende Entwässerung des bergseitigen Auflagers Korrosionserscheinungen an mehreren Deckenstahlträgern, während die Abdichtung in Ordnung ist. Die Galerieüberdeckung und die Hinterfüllung der Stützmauer sind teilweise mit zu dichtem Material aufgefüllt.

## 6.9.4 Zusammenfassung

Abdichtungssysteme mit FLK wurden vorderhand nur für kleinere Flächen und bevorzugt bei komplexen geometrischen Formen erfolgreich angewendet. Daher sind die hier gewonnenen Kenntnisse mit Einschränkungen verbindlich. Nach den ersten Erfahrungen der 80er Jahre und den Verbesserungen der Materialien sind heute bei wenig geneigten Flächen dichte Bauwerke möglich. Eine wesentliche Voraussetzung ist aber die Untergrundvorbehandlung, ähnlich wie beim geklebten Abdichtungssystem (Hochdruckstrahlen bis 800 bar, Porenverschluss und Ausgleichsschicht) und das Arbeiten unter einem Schutzdach [N16].

Die geometrische Form, ob flach (streichen oder spritzen) oder geneigt (streichen), bestimmt somit die Applikationsart. Die verfügbaren Materialien ergeben je nach Applikation gespritzt oder gestrichen unterschiedliche Abdichtungseigenschaften. Die Schichtdicke kann durch Mehrschichtenauftrag und Farbgebung gesteuert werden.

Der Spritzauftrag erfordert ausserdem zusätzliche Schutzvorkehrungen für die Verarbeiter und gelegentlich für die Umgebung (Windverfrachtung).

## 6.10 Ton-Dichtungsbahnen (System 27)

### 6.10.1 Planung

Als erstes Grossobjekt wurde der Tunnel Schlund bei Horw mit 90'000 m<sup>2</sup> Dichtfläche erstellt. Dies ist die grösste abgedichtete Fläche, die bisher mit diesem System erstellt wurde. Die Planung erfolgte dem Stand der Erfahrung entsprechend äusserst sorgfältig und vorsichtig. Die sich durch die Bauweise ergebenden Arbeits- oder Etappenfugen wurden detailliert geplant und unter Beizug eines Prüffingenieurs sauber umgesetzt. Zur Planung ist auch ein Grossversuch zu erwähnen, bei dem ein kubisches Objekt von ca. 100 m<sup>3</sup> Inhalt ins Grundwasser gebaut, abgedichtet und während mehreren Jahren beobachtet wurde. Das Langzeitverhalten in Bezug auf die Dichtheit und ein spezieller Wurzeleinwuchsversuch ergaben soweit positive Ergebnisse, dass eingewachsene Wurzeln vorerst ausgetrocknet sind. Eine endgültige Beurteilung ist zu diesem Zeitpunkt noch nicht möglich.

Das angrenzende Objekt Tunnel Spier (65'000 m<sup>2</sup>) wurde analog geplant. Objekt Umfahrung Mitholz wurde sukzessive mit grobkörnigem Material des BLS-NEAT-Tunnels überdeckt. In der Zwischenzeit ist die TDB mit einem Geotextil abgedeckt und der Witterung (thermische Dilatation) ausgesetzt. Versteckte Beschädigungen sind somit möglich, sofern diese vor der Hinterfüllung nicht erkannt und behoben werden.

### 6.10.2 Ausführung

Die Ausführung erfordert für jeden Bauteil, d.h. für Fundament, Wände Decke, eine gesonderte Betrachtung und entsprechende Massnahmen.

**Sohle:** Es muss mit einem Schutzdach gearbeitet werden und die frisch verlegte TBD muss mit Schutzmörtel geschützt werden. Die Querfugen werden mit doppelter TDB verstärkt. Längsfugen mussten temporär geschützt werden, um Quellen zu verhindern. Eingelegt Bentonit-Profile erbrachten nicht die gewünschte Dichtwirkung. Einlagen in den Querfugen mit reinen Bentonit-Profilen als Rückfallsebene erwiesen sich als undicht (Kiesnester). Im Bereich der quer verlaufenden Arbeitsfugen wurde ein TDB-Streifen als zweite Lage eingelegt.

**Wände:** Ein Abreissen der hängenden TDB wird durch die besondere Gestaltung der Ecke verhindert. Langzeit-Setzungen des Auffüllmaterials wird ausserdem mit einer separaten Gleit-/Schutzschicht und punktwiser Fixierung der TDB verhindert, die auf dem Drainagematerial liegt. Nischenanschlüsse waren undicht und mussten nachgedichtet werden (Perforation durch Auffüllung in Folge gespannter Membran bei oberem Wandanschluss).

Beim nachfolgend gebauten Tunnel Spier wurden nur die bergseitigen Nischen mit PDB abgedichtet, die Wände wurden jedoch nicht abgedichtet.

**Decke:** Die freiständige Erstellung eines rechteckigen Tunnelquerschnitts benötigt meistens ein seitliches Geländer (Höhe ca. 8 m), das auf der TDB erstellt werden muss. Ebenso wird eine Vorlast von 175 kg/m<sup>2</sup> benötigt, die seitlich gehalten werden muss. Dazu mussten spezielle Details entwickelt werden. Bei Gewölben ist eine Sicherung gegen Abgleiten einzubauen.

Bei allen Objekten wurden die Stösse nur überlappt und mit Klebband fixiert, d.h. nicht geschweisst. Die überlappte Breite ist variabel und wurde im Verlauf der Arbeiten verbreitert.

### 6.10.3 Zustandserfassung

Bisher wurden nur 4 Objekte erfasst. Bei allen Objekten ist nur das unter dem Namen Dualseal bekannte Produkt aus den USA eingebaut. Vergleichbare Produkte fehlen und echte Langzeit - Erfahrungen von grösseren Objekten sind in der Schweiz noch nicht verfügbar.

3 Objekte sind in Betrieb, eingeeidet und dicht. Undichte Nischen beim Tunnel Schlund wurden während der Bauzeit durch nachträgliche Injektionen mit Acrylgel behoben. Ebenso musste auch beim Objekt Gishübel undichte Stellen nachgedichtet werden.

### 6.10.4 Zusammenfassung

Die Tondichtungsbahnen kombiniert mit einem Kunststoffträger stellen eine neue Möglichkeit für die Abdichtung von Tiefbauten dar. Mit den untersuchten TBT wurde gezeigt, dass mit dem zur Zeit angebotenen Produkten Paraseal, später Dualseal genannt, vorderhand dichte TBT erstellt werden können. Das auf der Dichtungsbahn haftende Bentonit quillt bei Kontakt mit Wasser, sofern die Wasserströmung niedrig ist, der Defekt nicht zu gross ist, ein minimale Auflast von  $175 \text{ kg/m}^2$  wirkt und der Bentonit nicht durch starke Säuren oder Alkalien passiviert ist. Dabei ist die quellfähige Schicht gegen das abzudichtende Objekt gerichtet. Ein Unterlaufen wird verhindert. Jedes Bauteil erfordert eine sorgfältige Analyse der einzelnen Bauzustände. Daraus ergeben sich entsprechende Massnahmen, wie die Verlegung unter einem Schutzdach und Schutzmörtel in der Fundamentsohle, Ausbildung von Gleitebenen an den Wänden und separate Ausbildung von Anschussdetails in Quer- und Längsrichtung. Beim etappierten Baufortschritt ist die TDB gegen vorzeitiges Quellen und Auswaschen zu schützen.

Bei allen Objekten wurde die vollständige Dichtheit mit nachträglichen Injektionen oder durch Einsatz von zusätzlichen Materialien erzielt. Dabei wurde in der Planung und Ausführung vielen Details besondere Beachtung geschenkt. Trotzdem verbleibt eine Reihe von ungeklärten Fragen. Es sind dies generelle Materialfragen wie Dicke der Schichten, mehrfaches vorzeitiges Quellen, Fliessgeschwindigkeit und Grösse der Beschädigung, Einfluss auf Quellen mit sauren und basischen Wässern  $5 < \text{pH} < 11$  (Zementmilch) [8] und [9], Permeation von Wasser durch partiell perforierten Folien im Fundament. Aber auch anwendungsbedingte Aspekte wie Nahtverbindung und langzeitiger Wurzeleinwuchs, Verhalten bei Mehrschichten und schiefer Bauwerkslagerung und langfristig nicht eingeeidete Objekte gehören dazu.

## **7 Analyse der Abdichtungssysteme**

### **7.1 Grundsätzliche Aspekte**

Von den 63 Objektmatrices wurde je Abdichtungssystem eine Zusammenstellung in Matrixform erstellt (Anhang 3). Die wesentlichen Merkmale im Bezug auf die Dichtheit bzw. Undichtheit werden nach der Einwirkung des Wassers (nicht drückendes/drückendes Wasser) und dem betroffenen Bauteil für den aktuellen Zustand und vor einer allfälligen Instandsetzung schematisch dargestellt. Dabei wird als Merkmal nur zwischen mangelhaft oder mangelfrei unterschieden. Ebenso werden die wesentlichsten Erkenntnisse mit allfälligen Erläuterungen angegeben. Nicht behandelt sind die Einwirkungen von Betriebswasser (von Fahrzeugen eingeschlepptes Wasser und Reinigungswasser).

### **7.2 Nach Einwirkung des Wassers**

Nicht Druckwasser haltende Abdichtung (Sickerwasser) 35 Objekte: Vor einer allfälligen Instandsetzung waren 11 Objekte oder 31 % undicht. Davon konnten durch Nachbesserung und Instandsetzungsmassnahmen 8 Objekte gedichtet werden. Schlussendlich verbleiben nach der Instandsetzung 3 Objekte oder 8 % undicht. Alle drei Objekte sind mit Bitumendichtungsbahnen abgedichtet. 14 Objekte zeigten leichte Undichtheiten, die aber gemäss Definition in der Dichtheitsklasse 2 liegen und somit als dicht gelten.

Druckwasser haltende Abdichtung 28 Objekte: Ursprünglich waren 14 Objekte oder 50 % undicht. Durch Nachbesserung und Instandsetzungsmassnahmen konnten 6 weitere Objekte gedichtet werden. Jedoch wurden 2 dichte Objekte mit der Zeit undicht. Somit sind 10 Objekte oder 39 % undicht. Dazu gehören beide mit Bitumendichtungsbahnen abgedichtete Objekte, beide Objekte lose verlegten Kunststoffdichtungsbahnen, 2 von 7 Objekten Polymerbitumen-Dichtungsbahnen, 2 von 8 Wasserdichte Betonkonstruktionen, 2 von 7 nachdichtbaren Kunststoffdichtungsbahnen. Beide mit Tondichtungsbahnen abgedichteten Objekte sind dicht.

Aus der zahlenmässigen Erfassung geht hervor, dass bei der Einwirkung von drückendem Wasser eine 4-5-mal höhere Häufigkeit für Undichtigkeiten besteht als bei der Einwirkung von nicht drückendem Wasser.

Zustand	Vor Instandsetzung					Nach Instandsetzung					Anzahl TBT	
Dichtigkeitsklasse											Inst.	Tot.
WDB	1					1					-	1
BDB	2	1	3	2		2	3	3			5	8
PDB	1	1			1	1	2				1	3
KDB lose	6				1	3	4				1	7
KDB geklebt	7		2			7	2				2	9
KDB nachdichtbar		1				1					1	1
FLK	2			2		1	3				2	4
TDB	2					2					-	2
<b>Total Objekte Sickerwasser</b>	<b>21</b>	<b>3</b>	<b>5</b>	<b>4</b>	<b>2</b>	<b>18</b>	<b>14</b>	<b>3</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>12</b>	<b>35</b>
WDB	3	1	3	1		5	1	1	1		3	8
BDB			1	1				2			2	2
PDB	5	1*		1		5		2*			1	7
KDB lose				2				2			2	2
KDB geklebt											-	0
KDB nachdichtbar	1	1*	4	1			5	2*			5	7
FLK											-	0
TDB	1	1				2					1	2
<b>Total Objekte Druckwasser</b>	<b>10</b>	<b>4</b>	<b>8</b>	<b>6</b>	<b>-</b>	<b>12</b>	<b>6</b>	<b>9</b>	<b>1</b>	<b>-</b>	<b>14</b>	<b>28</b>
<b>Total Objekte Sw + Dw</b>	<b>31</b>	<b>7</b>	<b>13</b>	<b>10</b>	<b>2</b>	<b>30</b>	<b>20</b>	<b>12</b>	<b>1</b>	<b>-</b>	<b>26</b>	<b>63</b>
<b>Total dichte Objekte vor Instandsetzung</b>	<b>38</b>										<b>25</b>	
<b>Total dichte Objekte nach Instandsetzung</b>	<b>50</b>										<b>13</b>	

Tabelle 3: Aufteilung aller Objekte nach Dichtigkeitsklasse vor und nach Instandsetzung,

\*) Objekt im Betrieb undicht geworden, keine Instandsetzung

Anmerkung: dicht bedeutet Klasse 1 und 2, undicht: Klasse 3 bis 5

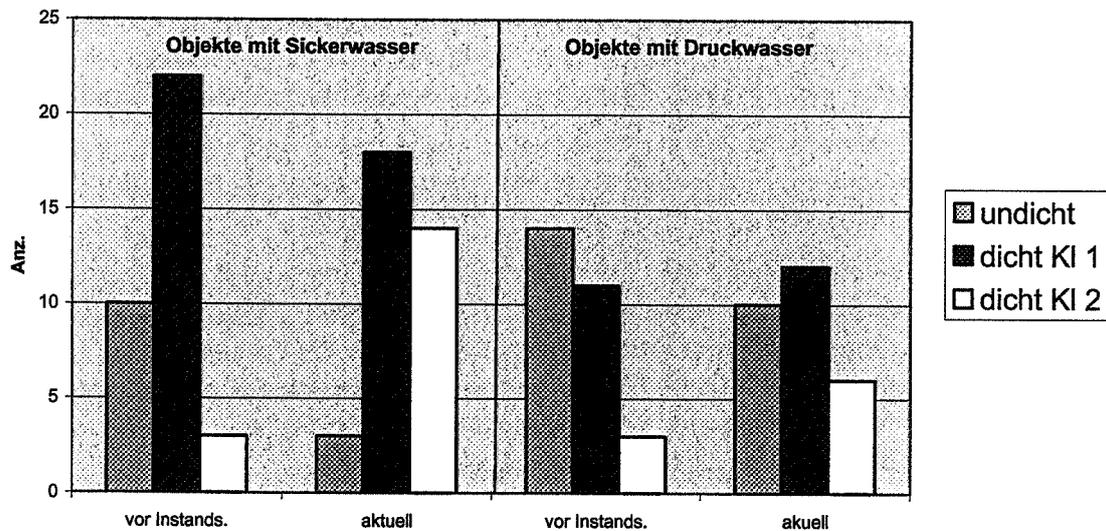


Fig. 6: Übersicht der Objekte über den Dichtheitszustand vor und nach der Instandsetzung.

### 7.3 Nach Alter und Zeitpunkt des Undichtwerdens

Die Undichtigkeiten wurden in der Regel vor oder kurz nach der Abnahme des Bauwerks durch den Bauherrn festgestellt. In einzelnen Fällen traten die Mängel erst später auf, vor allem beim System Bitumen-dichtungsbahnen.

Auf der Gesamtmatrix (Anhang 5) sind die Objekte auf der Zeitachse dargestellt. Ab etwa 1990 ist eine deutliche Verbesserung feststellbar. Diese Verbesserung ist einerseits auf Fortschritte bei der Planung und Projektierung sowie andererseits auf Fortschritte der Abdichtungstechnik zurückzuführen. Darunter fallen unter anderem die Einführung von Sollrissfugen bei WDB-Objekten, Wechsel von Bitumen zu Polymerbitumen bei den bituminösen Dichtungsbahnen, vollflächige Verklebung von Kunststoff-Dichtungsbahnen, Einführung von Tondichtungsbahnen, verbesserte Untergrundvorbehandlungen, verbesserte Details.

Ob diese Verbesserungen dauerhaften Charakter haben oder ob im Verlauf der Zeit mit einem ähnlichen Undichtigkeitspotential zu rechnen ist wie bei den Objekten zwischen 1970 und 1990, muss zur Zeit offen bleiben.

### 7.4 Nach der Notwendigkeit von Instandsetzungen

26 Objekte mit Undichtigkeit wurden Instand gesetzt (41 %). Mit je drei Ausnahmen im Sickerwasser- und Druckwasser-Bereich haben diese Massnahmen zum Erfolge geführt, d.h. die Objekte konnten als dicht oder wenig undicht beurteilt werden. Die Massnahmen betreffen 12 Objekte mit Sickerwasser und 14 Objekte mit Druckwasser (Tabelle 3).

Für die Instandsetzung wurden in den Beton oder bei den nachdichtbaren Kunststoff-Dichtungsbahnen Injektionen mit Zement- und Kunstharz-kombinationen eingesetzt. Bei Objekten mit leichter Zugänglichkeit, z.B. Galeriedächern, wurden nach Freilegen des Objektes Instandsetzungen von aussen durchgeführt.

Zu den Instandsetzungen zählen auch die Leckwasserableitungen, welche als letztes Mittel eingesetzt werden mussten, wenn andere Massnahmen versagt haben. Beispiele: SZU Zürich, Galerie de St. Maurice, Museumsbahnhof Zürich, Lütschine Interlaken, Champsec Sion, Grauholz Ost und West, Rinderweid Arbon.

Aus der Übersichts- und Gesamtmatrix [Anhang 5] geht auch hervor, dass nach 1990 11 Objekte Instand gesetzt wurden, davon 5 Objekte mit dem System Kunststoff-Dichtungsbahnen nachdichtbar. In der Periode von 1970 bis 1990 sind es 15 Objekte.

Eindeutig alterungsbedingte Undichtheiten sind nur in wenigen Fällen aufgetreten. Sie benötigen in den meisten Fällen Instandsetzungen. Dabei handelte es um Objekte mit dem System BDB. Der Erfolg war unterschiedlich. Somit kann festgestellt werden, dass die grosse Mehrheit der Objekte unter Zuordnung der Nachbesserung zum Bau entweder dicht erstellt werden können oder dann permanent undicht bleiben. Der Grund hierzu ist der enorme Kostenaufwand für die vollständige Freilegung des Objektes. Im Fall von Druckwasser haltenden Objekten ist dies unmöglich (Sohlbereich).

## 7.5 Nach Ursachen für die Undichtigkeiten

Die Übersichtsmatrix (Anhang 5) und die Objektmatrizen zeigen die Ursachen der Schäden und Mängel.

Im Bereich *Planung* sind bei der Konstruktion 11 % und bei der Detailplanung 15 % Mängel festzustellen (alle Systeme). Diese Quoten zeigen, dass im Bereich Planung und Detailprojektierung Verbesserungen erforderlich sind.

Bei der *Ausführung* sind bei der Untergrundvorbereitung 8 %, beim Material 12 %, bei der Ausführung 15 % und bei der Prüfung 9 % Mängel festgestellt worden. Die Untergrundvorbereitung muss bei Systemen mit Verbund verbessert werden. Materialmängel sind vor allem bei den Systemen Wasserdichte Betonkonstruktionen, Bitumendichtungsbahnen, Flüssigkunststoffe und Tondichtungsbahnen zu verzeichnen. Bei der Ausführung sind Mängel hauptsächlich bei den Systemen Wasserdichte Betonkonstruktionen, Bitumendichtungsbahnen und Kunststoff-Dichtungsbahnen nachdichtbar festzustellen, bei letzterem System betrifft dies vor allem die Abschottungen. Der Bereich Prüfungen ist ebenfalls verbesserungsfähig.

Abdichtungssystem	Planung		Ausführung			
	Konstruktion	Detailplanung	Untergrund	Material	Ausführung	Prüfung
Anzahl Kriterien total	511	503	384	459	508	370
Anzahl Mängel total (rot)	55	75	30	53	75	35
Mängelquote in %	10.7	14.9	7.8	11.5	14.7	9.4

Tabelle 4 : Aufteilung der Mängel nach Bauphasen (Details dazu siehe Anhang 4 "Mängelquoten")

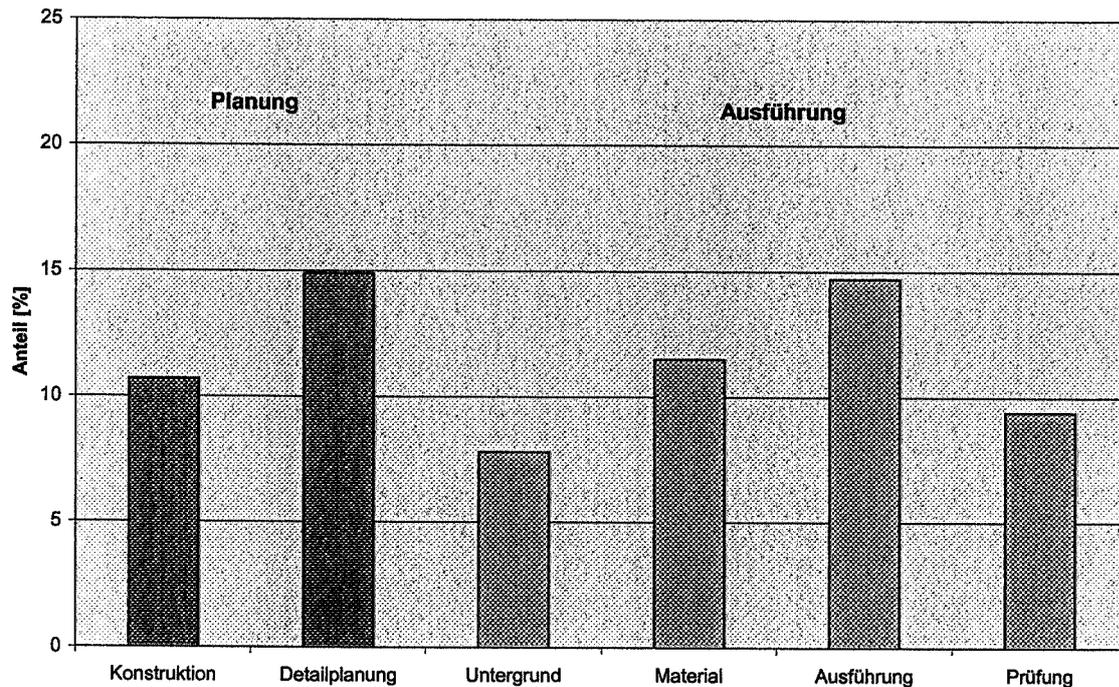


Fig. 7: Mängelquote nach Bauphasen

## 7.6 Nach Bauteil

In den Systemmatrizen sind die Mängel auf die Bereiche Flächen (Boden/Wand/Decke), Details (Fugen, Übergänge und Randanschlüsse), Entwässerungen sowie Unterhalt aufgeteilt.

Die Auswertung aller System zeigt bei den Flächen ein mittlere Mängelquote von 25 %, bei den Details 28 %, bei den Entwässerungen 7 % und beim Unterhalt 0 %.

Daraus lässt sich schliessen, dass im Bereich *Unterhalt und Entwässerungen inkl. Drainageschichten* für das nicht Druckwasser haltende Konzept bei allen Systemen ein guter Stand erreicht ist. Beim Unterhalt sind die Leckwasserableitungen in die Beurteilung einbezogen worden. Auch hier lässt sich ein guter Stand nachweisen.

Bei den Flächen wirkt sich vor allem die mangelhafte Untergrundvorbehandlung, die Verwendung von mangelhaften Materialien sowie das Risiko von mechanischen Beschädigungen bei lose verlegten Kunststoff-Dichtungsbahnen negativ auf das Resultat aus.

Bei den Details bewirken neben den Fugen (bei Bitumen-Dichtungsbahnen), die Übergänge Wand/Decke (z.B. keine Schubsicherung bei bituminösen Dichtungsbahnen) und die Randanschlüsse am Konsolkopf bei Galerien eine relativ hohe Mängelquote.

Bauteil	Boden	Wand	Decke	Fugen	Ü B/W	Ü W/D	Ü K/K	Ü POR	Entw	Drain	U'halt
Anzahl Kriterien total	29	58	63	63	34	60	17	62	37	35	58
Anz. Mängel total (rot)	10	10	17	22	15	18	7	5	3	2	1
Mängelquote in %	34.5	17.2	27.0	34.9	44.1	30.0	41.1	12.4	8.1	6.9	0.2
	Fläche 24.6 %			Details 28.4 %					Entw. 6.9 %		0.2 %

Tabelle 5: Aufteilung der Mängel nach Bauteilzuordnung (Details siehe Anhang 3)

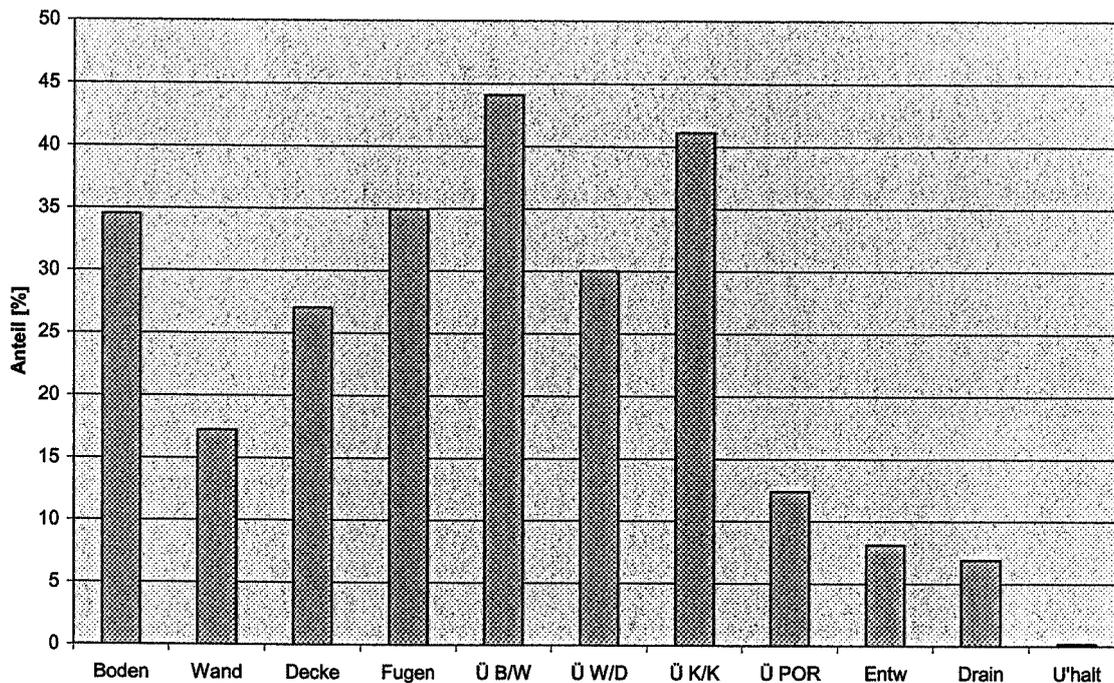


Fig. 8: Mängelquote nach Bauteil

## 7.7 Nach Abdichtungssystemen

Wegen ungleichen statistischem Zahlenmaterial haben die ermittelten Werte nur hinweisenden Charakter. Aus den Systemmatrizen und der Übersichtsmatrix resultiert eine mittlere Mängelquote von 18.9 %. Einzelne Systeme weisen eine besonders hohe Mängelquote auf. Es sind dies die Systeme Bitumen-Dichtungsbahnen (28 %) und die Kunststoff-Dichtungsbahnen nachdichtbar (34 %). Bei den Bitumendichtungsbahnen sind es konstruktive Mängel (keine Schubsicherung), Materialmängel (kleine Dehnfähigkeit) und Details (Fugen und Randanschlüsse), welche das Resultat negativ beeinflussen. Dieses System wird seit 1985 nur noch vereinzelt eingesetzt.

Bei den WDB Konstruktionen ergeben sich Werte im Bereich des Mittelwertes. Dies ist auf die zusätzliche Schirmabdichtung mit PDB und auf das Alter der Objekte (4 Objekte jünger als 5 Jahre) zurückzuführen. Hier haben sich Langzeitauswirkungen noch wenig bemerkbar gemacht.

Bei den nachdichtbaren Kunststoff-Dichtungsbahnen sind ungeeignete Konstruktionen, mangelhafte Abschottungen, Materialkombinationen und der daraus folgende hohe Materialbedarf für die Nachdichtungen für die negative Beurteilung verantwortlich.

Ein gutes Verhalten weisen die Systeme mit Polymerbitumen-Dichtungsbahnen (Mängelquote 14 %) und geklebte Kunststoff-Dichtungsbahnen (11 %) auf. Beide Systeme sind mit dem Objekt fest verbunden und werden seit etwa 1985 eingesetzt. Häufige Mängel bei Bitumen-Dichtungsbahnen lösten damals einen Systemwechsel aus.

Weil beim Flüssigkunststoff und bei den Tondichtungsbahnen vergleichsweise wenige Daten vorliegen (nur 4 Objekte, statt 8 - 10 Objekte) und die Einsatzzeit vergleichsweise kurz ist (Flüssigkunststoff seit 1985, Tondichtungsbahnen seit 1999) sind die gesicherten Aussagen über das Langzeitverhalten nicht möglich. Immerhin zeichnet sich ab, dass bei den Tondichtungsbahnen gute Resultate zu erwarten sind, wenn im Materialbereich (Stossverbindungen und Dicke der Dichtungsbahnen als Träger des Bentonits) Verbesserungen gelingen.

Die Mängelquoten korrespondieren im Allgemeinen gut mit den festgestellten Undichtigkeiten. In der Tabelle 6 sind die Mängelquoten für jedes Abdichtungssystem festgehalten. Zusammen mit der Mängelquote pro Bauteil (Tabelle 5, Fig. 8) kann eine Gesamtmängelquote für jedes System ermittelt werden.

Abdichtungssystem	11	21	22	23	24	25	26	27
Anzahl Kriterien total	424	408	409	374	391	370	188	171
Anz. Mängel total (rot)	48	83	31	50	14	40	37	20
Mängelquote in %	11.3	20.3	7.6	13.4	3.6	10.8	19.7	11.1

Tabelle 6: Aufteilung der Mängel nach der Art der Abdichtungssysteme (Details siehe Anhang 4)

## 7.8 Gesamtübersicht

Auf der Gesamtübersicht sind die erfassten Mängel und Dichtigkeitskriterien aus den Objekterfassungen und für alle Systeme zusammengestellt. Die Grafik in Figur 9 zeigt in der ersten Kolonne den prozentualen Anteil an Mängeln systembezogen nach Bauphasen (Planung und Ausführung). Die Detailangaben zu dieser Kolonne finden sich im Anhang 4 auf Seite 30. Sie gibt Auskunft über die Verantwortung für die Mängel.

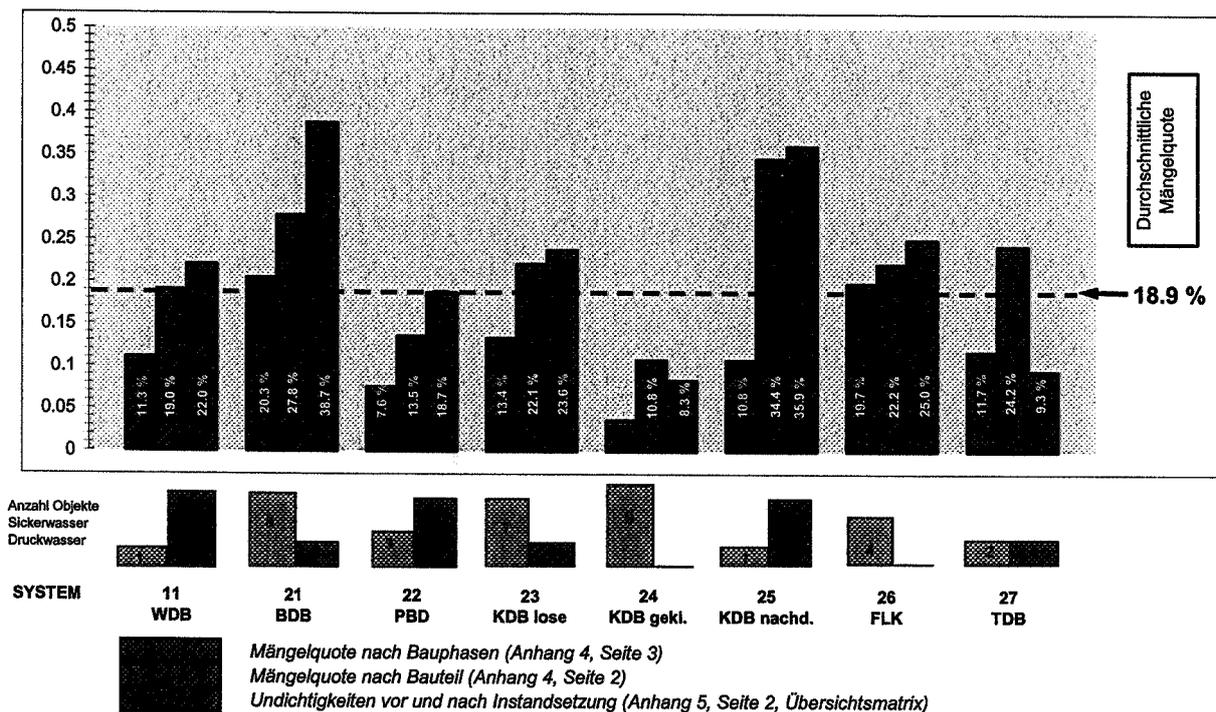


Fig. 9: Gesamtmängelquoten aller Objekte nach Abdichtungssystem für Bauphasen, Bauteil und Dichtigkeitsklasse

Die zweite Kolonne zeigt den prozentualen Anteil an Mängeln systembezogen nach Bauteilen (Flächen, Fugen, Übergängen etc). Die Details zu dieser Kolonne finden sich im Anhang 4 auf Seite 29. Sie zeigt auf, wo bei den einzelnen Systemen die Mängel festgestellt worden sind.

In der dritten Kolonne sind die prozentualen Anteile an Undichtigkeiten für jedes System berechnet, und zwar für den Stand vor und nach allfälligen Instandsetzungen. Als Undichtigkeit wird jedes schwarze Quadrat bei der Beurteilung der Dichtigkeit gewertet und in Beziehung gesetzt zur Gesamtheit der Quadrate eines Systems. Die Angaben sind der Übersichtsmatrix auf Seite 32 im Anhang 5 entnommen.

Eine Unterteilung der Auswertung nach Objekten bzw. Systemen mit Sickerwasser bzw. Druckwasserbelastung konnte aus statistischen Gründen erfolgen. Einerseits reicht die Anzahl der Objekte nicht aus und andererseits musste die Auswahl aus Kostengründen limitiert werden. Damit trotzdem eine Beziehung zwischen dem Ergebnis der Datenerfassung und der Beanspruchung hergestellt werden kann, wird die Anzahl der Objekte und ihre Belastungsart bezüglich Wasser beigefügt.

Weiter ist anzufügen, dass die Objektzahl bei den Systemen 26 FLK und 27 TDB mit je 4 Objekten nur eine ansatzweise Aussage über die Qualifikation dieser Systeme erlaubt.

Insgesamt ergibt die Figur 9 einen guten Überblick über die Dichtheiterfolg eines Abdichtungssystems und über den Stand der Abdichtungstechnik. Die durchschnittliche Mängelquote – sie ist berechnet aus dem Durchschnitt aller in der Figur 9 enthaltenen %-Zahlen – von 18,9 % zeigt, dass Verbesserungen notwendig sind. Solche Verbesserungen sind bei allen Abdichtungssystemen möglich und anzustreben. Die Hinweise im Anhang 6 ab Seite 35 zeigen, in welche Richtung diese Verbesserungen gehen sollen.

Die erkannten Mängel liefern zudem Hinweise für das Beschreiben der Regeln der Baukunde in den neuen Sia-Normen für Abdichtungen, die zur Zeit in Bearbeitung sind.

## 8. Folgerungen für die Praxis

Zur Erreichung dieses Ziels, dass die Bauwerke im ersten Anlauf dicht erstellt werden, ist gegenüber der heutigen Praxis in der Abdichtungstechnik eine Reihe von Massnahmen erforderlich. Mit der Deklaration einer eigenen Vision kann die Aufmerksamkeit gefördert und die Sensibilisierung gesteigert werden.

***Vision: Dicht auf Anhieb – im ersten Anlauf!***

Die Massnahmen umfassen Planung und Projektierung, Material und Ausführung, einschliesslich Prüfung und Unterhalt. In gleicher Weise sind auch im Bereich Forschung und Entwicklung Massnahmen für eine kontinuierliche Weiterentwicklung von Material und Systemverhalten notwendig. Die gewonnenen Erkenntnisse sind durch eigene Bildungsprogramme umzusetzen.

### 8.1 Planung und Projektierung

Zum Schutz der Bauwerke, der technischen Einrichtungen und der Benutzer vor Wasser ist Projekt bezogen ein klares **Abdichtungskonzept** (Ableiten, Verdrängen des Wassers oder Mischungskonzept) zu erstellen und ein **Abdichtungssystem** (starres System, flexibles System) auszuwählen. Konzept und System sollten in jedem Bauwerk einheitlich gestaltet und aufeinander abgestimmt sein und in jeder Phase wieder verifiziert werden.

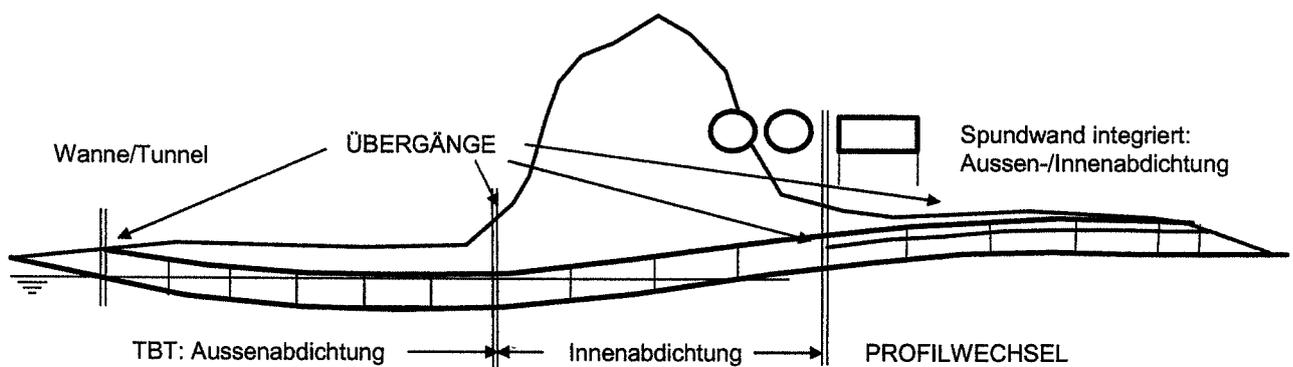


Fig. 10: Systemdenken: Erkennen von abdichtungstechnischen, heikeln Stellen beim Tagbautunnel und Bergmännischen Tunnel, in der Planungsphase.

In der Nutzungsvereinbarung sind die **Anforderungen an die Dichtigkeit** mittels Dichtigkeitsklassen gemäss Kapitel 4.2 (siehe auch N 19) sowie die **Nutzungsdauer** für die Abdichtung festzulegen. Als generelle Anforderung neben der Dichtigkeit gilt auch die Verhinderung von Bildung von Vereisungen und Eisdruck sowie Kondenswasser in technischen Räumen. Dies erfordert bereits in der Planung den Einbezug von wärmetechnischen Massnahmen.

Materialeigenschaften und konstruktive Einzelheiten sind in der Planungs- und Projektphase zu bearbeiten. Dazu gehört insbesondere die Planung der Konstruktionsdetails. Spezifische Hinweise für die einzelnen Abdichtungssysteme sind bereits in Kapitel 7 aufgeführt. Weitere Hinweise aus den Erfahrungen sind im Anhang 6 zu finden.

Für die Ausschreibung von Abdichtungsarbeiten, einschliesslich Untergrundvorbehandlungen, Schutzschichten und Nebenarbeiten (Entwässerungen, Wärmedämmungen) kann der Normpositionenkatalog NPK 172 [N19] verwendet werden. Neuere Abdichtungssysteme können sinngemäss mit den offenen Unterpositionen behandelt werden.

## 8.2 Material

Die einzelnen Schichten müssen funktional beschrieben und aufeinander abgestimmt sein. Zusammen mit den angrenzenden Materialien des Untergrunds und des Bauwerks funktionieren sie als System. Wechselwirkungen zwischen den beteiligten Schichten erfordern auch eine Systembetrachtung.

Die Anforderungen an Abdichtungsmaterialien sind in der Regel in den einschlägigen Normen enthalten. Die wichtigsten Normen sind in Kapitel 9 aufgelistet. Sie sind immer mit den objektspezifischen Einwirkungen abzustimmen und gegebenenfalls je nach Nutzungsvereinbarung und Nutzungsdauer anzupassen. Die Materialanforderungen für Dichtungsbahnen müssen zwingend auch **die Verbindungstechnik** einschliessen. Dabei muss zwischen einer generellen Eignung eines Materials und der am Objekt unter schwierigen Bedingungen erzielten Qualität unterschieden werden. In diesem Bereich bedarf es einer Klärung durch die Einführung allgemein akzeptierter Richtlinien. Hinweise über Erfahrungen mit bekannten Abdichtungsmaterialien sind auch im Anhang 4 enthalten.

Neuere Abdichtungs- und für Drainagematerialien wie z.B. Tondichtungsbahnen und Flüssigkunststoffe sind noch nicht genormt. Die Anforderungen müssen vorerst projektbezogen formuliert werden. Für die Einführung neuer Abdichtungssysteme werden besondere Massnahmen vorgeschlagen (siehe Kapitel 8.7).

Im Hinblick auf eine lange Nutzungsdauer und wegen des begrenzten Geltungsbereichs bestehender Normen wurde für die NEAT-Basistunnel ein eigenes Zulassungsverfahren etabliert [14]. Hierzu wurden umfangreiche Untersuchungen für die Beständigkeit, das Bauteil- und den Einbauverhalten durchgeführt [15].

## 8.3 Einbau

Die Anforderungen beim Einbau sind in den einschlägigen Normen und Richtlinien festgelegt. Für neuere Systeme sind noch keine Regelwerke vorhanden, die Einbaubedingungen sind in diesem Fall projektbezogen zu formulieren. Die generelle Einführung erfordert besondere Massnahmen wie sie in Kapitel 8.7 vorgeschlagen werden.

Hinweise aus den Erfahrungen mit den bisher verwendeten Abdichtungsmaterialien sind im Anhang 4 enthalten. Besonders zu beachten sind bei allen Systemen die Witterungsbedingungen beim Einbau. Je nach angewendetem System ist eine witterungsunabhängige Verlegung z.B. mit einer temporären Überdachung (Schutzdach) notwendig. Eine vollständig witterungsunabhängige Verlegung und Verarbeitung gibt es erfahrungsgemäss bei keinem System.

Bei der Personalausbildung sind in den letzten Jahren grosse Fortschritte erreicht worden mit der Einführung des Berufes Bausoleur. Es wird empfohlen für die Verschweissung von Dichtungsbahnen einen Fachausweis einzuführen, wie dies bei Kunststoff-Rohrleitungen seit einigen Jahren Praxis ist. Neben den Fachleuten der Spezialfirmen trägt das Verständnis und die Kenntnis der Einzelheiten der übrigen Baukader (Polier, Bauführer, Bauleiter, Bauherr) wesentlich zum Erfolg der Abdichtungsmassnahme bei.

Bei komplexen Bauvorhaben empfiehlt sich der Einsatz von Spezialisten für die Überwachung der Bauarbeiten. Diese kann mit dem NPK 172 beschrieben werden. Gleiches gilt auch für Grossversuche auf der Baustelle. Aus solchen Versuchen können wichtige Erkenntnisse für den Einbau gewonnen werden.

## 8.4 Prüfungen

Prüfungen an Materialien, Elementen und Systemen müssen auch dessen kurz- und langzeitiges Zusammenwirken umfassen. Dabei ist zwischen der generellen Eignungsprüfung und der auf der Baustelle erreichbaren Qualität zu unterscheiden. Es ist ein Prüf- und Kontrollplan mit Anforderungswerten aufzustellen. Dieser beschreibt die Eigenprüfungen des Unternehmers und die Kontrollprüfungen des Bauherrn. Im Prüfplan sind die Eigenkontrollen des Unternehmers zu beschreiben. Dies sind in der Regel die Materialprüfungen bei der Anlieferung, z.B. Frischbetonkontrollen sowie die Prüfungen beim Einbau, z.B. Prüfungen am Untergrund, Haft- und Schälzugprüfungen, Schweissnahtprüfungen und dergleichen.

Die Kontrollprüfungen des Bauherrn können nach [N20] beschreiben werden. Er lässt stichprobenweise Material-, Untergrund- und Einbauprüfungen durchführen. Beim Untergrund empfiehlt sich die systematische Prüfung der Festigkeit, der Rauhigkeit (einschliesslich die Sichtprüfung auf Poren und Risse), der Ebenheit, der Sauberkeit und der Trockenheit. Beim Einbau sind vor allem Haft- und Schälzugprüfungen an Dichtungsschichten im Verbund angezeigt. Weitere systembedingte Prüfungen sind Frischbetonkontrollen, Dichtigkeitsprüfungen an Bohrkernen und spezielle Überwachungen.

Besondere Beachtung ist dem Langzeitverhalten der Verbindung von Systemkomponenten zu schenken z. B. Fugenbänder mit Dichtungsbahn.

## 8.5 Unterhalt

Das wichtigste Element für den Unterhalt sind die Entwässerungsanlagen. Diese müssen in der Planungsphase so gestaltet werden, dass die Unterhaltsarbeiten möglichst einfach und schnell ausgeführt werden können. Das Prinzip „**gut zugänglich, einfach und wirkungsvoll**“ hat die besten Chancen umgesetzt zu werden. Wie die Untersuchungen an den 63 Tagbautunneln gezeigt haben, sind gute Unterhaltskonzepte angewendet und die Bauwerke generell erfreulich gut unterhalten.

Bisher sind flächige Drainagen nicht unterhaltbar ausgelegt worden. In besonders versinterungsgefährdeten Zonen sind neben der Entwässerungs- und Drainageleitungen auch die angrenzenden Bereiche wie Sickerpackungen unterhaltbar auszurüsten z.B. mittels permanent eingerichteten Spül- oder Härtestabilisationsanlagen.

Neben den Entwässerungen sind auch andere Bauteile unterhaltspflichtig, z.B. Randanschlüsse über Terrain oder Leckwasserableitungen. Auch diese müssen bei der Planung berücksichtigt werden.

## 8.6 Überlegungen zum Kosten – Nutzenverhältnis

Abdichtungssysteme können nicht oder nur mit sehr hohem Kostenaufwand erneuert werden. Die Erstausführung der Abdichtung muss auf Anhieb gelingen. Daher muss der Qualität der Abdichtungsarbeiten beginnend mit der Vorbereitung bis zum Abnahme des Bauwerks höchste Aufmerksamkeit geschenkt werden. Ein gewisser Mehraufwand ist gerechtfertigt. Diese Massnahmen sichern die langfristige Gebrauchstauglichkeit des Bauwerks, tragen zur Schonung der Ressource bei und reduzieren die Unterhaltskosten.

Abdichtungssysteme für Tagbautunnel beanspruchen bei nicht drückendem Wasser 5-6 % und bei drückendem Wasser 8-10 % der Rohbaukosten oder etwa 3-4 % resp. 4-5 % der Gesamtbaukosten. Systembedingte Kostenunterschiede sind vorhanden, jedoch sind sie bei einwandfreier Ausbildung aller Details, der Untergrundvorbehandlung, der Nacharbeiten (z.B. nachträgliche Injektionen) vergleichsweise klein.

## 8.7 Vorgehen bei Einführung neuer Materialien und Abdichttechniken

Das Abdichtungssystem Flüssigkunststoffe wurde erstmalig vor ca. 20 Jahren bei den Objekten Quarten Egis (26.01) und Rüti (26.02) angewendet. Wegen grosser Schwierigkeiten, die auf ungenügende technische Reife zurückzuführen waren, beschränkte sich die Anwendung auf ca. 80 m und der verbleibende Teil wurde mit BDB abgedichtet. Das Abdichtungssystem Tondichtungsbahnen wurde im Verlauf der letzten 5 Jahre ohne Normen und allgemein akzeptierten Richtlinien bei schweizerischen Strassenbauwerken eingeführt. Beim Tagbautunnel Schlund (27.01), Druckwasser haltend mit einer Abdichtfläche von ca. 90'000 m<sup>2</sup>, wurde es erstmalig in dieser Grösse angewendet. Mit umfangreichen Vorabklärungen und einem gut überwachten Einbau wurde das Bauwerk soweit erfolgreich abgedichtet. Bevor das Objekt fertig gestellt und dem Druckwasser ausgesetzt war, wurden weitere Objekte mit dem gleichen Abdichtungssystem bewilligt und ausgeführt. Die Lawinengalerie Mitholz (27.04) wurde im Jahr 2001 abgedichtet, mit einem Geotextil abgedeckt und nur teilweise mit Material überdeckt. Erst im Verlauf des Jahres 2003 wurde das ganze Bauwerk mit Aushubmaterial eingedeckt. In der Zwischenzeit bis zur definitiven Eindeckung herrschten mehrere ungünstige Bedingungen wie fehlender Anpressdruck, Beschädigungsmöglichkeit und dessen Kontrolle, Verschiebungen in Folge Wärme, Abreiben des Bentonits etc..

Neue Werkstoffe und Abdichttechniken erfordern eine vorsichtige Einführung, um Rückschläge mit kostspieligen Instandsetzungen zu vermeiden. Es wird vorgeschlagen, durch geeignete Massnahmen dieser Sachlage gerecht zu werden.

Es werden folgende Massnahmen vorgeschlagen:

- für eine beschränkte Zahl von Objekten einen Sonderstatus schaffen z.B. Testobjekt mit definierter Beobachtungszeit
- nur eine Anzahl typischer Objekte mit möglichst unterschiedlichen Eigenschaften zulassen z.B. , Druckwasser haltend, nicht Druckwasser haltend, schiefe Lagerung, lange Bauphasen, Übergänge
- technische Begleitung durch neutrale Experten anordnen
- positive Erfahrungsberichte über 3-5 Jahre müssen vorliegen
- weitere Massnahmen nach Ergebnis Expertengruppe

Die oben genannten Massnahmen sind nicht abschliessend. Sie sollten in einer neu zu bildenden Experten-Gruppe vervollständigt werden.

## 8.8 Forschungsthemen und Ansätze

Forschung und Entwicklung für Abdichtungstechniken und Materialien wurden bisher grösstenteils der Industrie überlassen. Eindeutig ungeklärt und nahezu unerforscht ist das Langzeitverhalten der heutigen Abdichtungsmaterialien und -systeme mit einem Nutzungshorizont von 70 und mehr Jahren. Angesichts der Bedeutung, welche die Schutzmassnahmen gegen Wasser und Schadstoffe allgemein für den langfristigen Bestand der Bauwerke im Infrastrukturbau hat sowie die zu erwartende intensive Nutzung, sind Mittel, welche in dieses Gebiet investiert werden, gut angelegt.

Konkret sind Erkenntnisse für die folgenden Bereiche notwendig:

- Allgemein bauphysikalische Zusammenhänge (Wasser- und Schadstofftransporte in Baustoffen), Auswirkungen von physikalischen, chemischen und biologischen Einwirkungen auf die langfristige, über 10 Jahre hinausreichende Gebrauchstauglichkeit.
- Langzeitverhalten von Materialien unter Beanspruchung, z.B. wasserdichte Betonkonstruktionen, Tondichtungsbahnen, Flüssigkunststoffe sowie die Verbindungen der Stoffe unter sich und Reaktionen mit anderen Stoffen.
- Systembeziehungen: Abdichtung und Entwässerung, sowie Untergrund, Dichtungsschichten, Schutzschichten.
- Systemverhalten neuer Abdichtungssysteme im Dauerdruck auf rauer Unterlage, Reibungseigenschaften etc.
- Konstruktive Fragen: Auswirkungen der monolythischen Bauweise, zweckmässige und sichere Fugenkonstruktionen.
- Systematische Materialüberwachungen an bezeichneten Versuchsobjekten mit neuen Abdichtungssystemen und Ausbau an alten Bauwerken mit gesicherter Baugeschichte.

Diese F+E-Ansätze sollten in einem langfristigen F+E-Programm zusammengefasst, priorisiert und sukzessive realisiert werden.

## 9. Normen und Richtlinien

- [N1] SIA Norm 190 "Kanalisationen" Ausgabe 2000
- [N2] SIA Norm 197 "Untertagbau Projektierung" 1993, zurzeit in Revision
- [N3] SIA Norm 198 "Untertagbau Ausführung" 1993, zurzeit in Revision
- [N4] SIA Empf. 205 "Verlegung von unterirdischen Leitungen" 1984, zurzeit in Revision
- [N5] SIA Norm 162/1 "Betonbauten Materialprüfung" 1989
- [N6] SIA Norm 162/5 "Erhaltung von Betontragwerken" 1997
- [N7] SIA Norm 261 "Einwirkungen auf Tragwerke" 2003
- [N8] SIA Norm 262 "Betonbau" 2003
- [N9] SIA Norm 262/1 "Betonbau-Ergänzende Festlegungen" 2003
- [N10] SIA: Norm 272 "Grundwasserabdichtungen" 1980, zurzeit in Revision
- [N11] SIA: Norm V280 "Kunststoffdichtungsbahnen" 1996, zurzeit in Revision
- [N12] SIA: Norm V281 "Bitumen und Polymerbitumen-Dichtungsbahnen" 1992, zurzeit in Revision
- [N13] SIA: Norm 469 "Erhaltung von Bauwerken" 1999
- [N14] SN 640 450 "Abdichtungssysteme und bitumenhaltige Schichten auf Betonbrücken", 2003, zurzeit in Vernehmlassung
- [N15] Richtlinie der deutschen Ausschusses für Stahlbeton "Schutz und Instandsetzung von Betonbauteilen", 2001
- [N16] Schweizerischer Verband Bautenschutz, Kunststofftechnik am Bau, "Leitfaden für die Planung und Ausführung von Abdichtungen in Flüssigkunststoff", 2003
- [N17] OeV: "Tunnelentwässerungen" 2001
- [N18] ÖBV: „Weisse Wannen- nach OBV-Richtlinie“, 01.2000 H. Kaltenböck, Salzburg
- [N19] Normpositionenkatalog CRB, NPK 172 Abdichtungen für Bauwerke unter Terrain und für Brücken, Schweiz. Zentralstelle für Baurationalisierung, Zürich
- [N20] Normpositionenkatalog CRB, NPK 112 Prüfungen, Schweiz. Zentralstelle für Baurationalisierung, Zürich (in Vorbereitung).

## 10. Referenzen

- [1] EMPA: Bericht Projekt LABSY TBT; Langzeitverhalten von Abdichtungssystemen; Zur Dichtheit von 23 Tagbautunneln; Zustandsanalyse per Juli 2000, 12. Dezember 2000; W. Frutig, P. Flüeler
- [2] P. Zwicky, "Abdichtungen von Tagbautunnel", Bericht im Auftrag der Baudirektion des Kantons Freiburg, Bureau des autoroutes, 17. März 1992
- [3] ASTRA: Auswertung der Umfrage betr. der Abdichtung von Tagbautunneln, Eindeckungen und Galerien Nov. 2000 (W. Schuler)
- [4] R. von Büren: Vollflächig verklebte PVC-Dichtungsbahnen - ein Abdichtungssystem mit Zukunft; tec 21, Heft Nr. 20/2001
- [5] W.D. Friebe: Abdichtung von Tagbautunnel, Eindeckungen und Galerien, Erfahrungen aus Deutschland, Regelbauweise WUB-KO mit Fugen, Referat Neuchâtel, 2./3. November 1999
- [6] K. Mettier: Erfahrungen im Kt. SO beim Bau der N5 (Birchitunnel, Eindeckung Lüsslingen) Referat Tagung kant. Brückenbauingenieure Neuchâtel, 2./3. November 1999
- [7] W. Müller: Handbuch der PE-HD-Dichtungsbahnen in der Geotechnik, Birkhäuserverlag 2001
- [8] DGGT: Empfehlungen zur Anwendung geosynthetischer Tondichtungsbahnen, EAG-GTD, Ernst & Sohn, 2002
- [9] DGGT: Stellungnahme zur chemischen Beanspruchung von Bentonitmatten in stark alkalischer Umgebung. F. Saathoff, 21. Januar 2003
- [10] A. Haack u. Eumig: Abdichtungen im Gründungsbereich und Parkdecks 2002
- [11] K. Ebeling: Bauberatung Zement; Wasserundurchlässige Betonbauwerke, Grundsätze der Planung und Ausführung Nr. H 10 August 2002
- [12] H.P. Olbrecht: Ergibt wasserdichter Beton ein wasserdichtes Bauwerk? Die Schweizer Baustoff-Industrie 2/99 S. 24-28
- [13] L. Leeuw: Dichtheit von TBT in NL, persönliche Mitteilung vom 16. April 2003
- [14] AlpTransit: Zulassungsprüfungen für Abdichtungssysteme: Bewerberunterlagen-Informationen und Grundlagen zum Prüfsystem der BLS AlpTransit AG und AlpTransit Gotthard AG, (E. Basler und Partner, Zürich) 11. Januar 1998
- [15] P. Flüeler: Evaluation von Abdichtungssystemen für die NEAT-Basistunnel, Proceedings ITA-Konferenz, Amsterdam NL, 14. April 2003



# **Langzeitverhalten von Abdichtungssystemen für Tagbautunnel (LABSY-TBT) EMPA-Nr. 201'043 und 202'248**

**Zur Frage der Dichtheit von Tagbautunneln**

**Eine Untersuchung an 63 Objekten eingeteilt nach  
der Materialkategorie des Abdichtungssystems**

## **Anhänge**

- 1. Tabelle der untersuchten Tagbautunnel und  
Übersicht über die generelle Dichtheit**
- 2. Legende für Objekt- und Systemmatrizen  
Beispiel für Objektmatrix ("St. Blaise" Objekt-Nr. 22.09)  
Beispiel für Objektbeschreibung ("St. Blaise" Objekt-Nr. 22.09)**
- 3. Systemmatrizen für WDB, BDB, PDB, KDB, FLK, TDB**
- 4. Mängelquote nach Bauteil  
Mängelquote nach Bauphase**
- 5. Übersichtsmatrix alle Systeme  
Gesamtmatrix "Abdichtungen Tagbautunnel von 1970 – 2002"**
- 6. Hinweise für die Ausführung von Abdichtungen**



## **Anhang 1**

### **Tabelle der untersuchten Tagbautunnel und Übersicht über die generelle Dichtheit**

## Tabelle der untersuchten Tagbautunnel-Objekte und Übersicht über die generelle Dichtheit der untersuchten Bauwerke

Nr.	Tunnelobjekt	Zugehörigkeit	Baujahr	Fläche [m <sup>2</sup> ]	Abdichtung	Druckhaltung	Zustand Bauende	Instandsetzung	Zustand aktuell
11.01	Tunnel SZU Zürich ZH	SZU	84	50'000	<b>WDB</b>	Druckwasser	undicht	ja	undicht
11.02	S-Bahnstation Stettbach ZH	SBB	85	1'600	<b>WDB</b>	Druck- und Sickerwasser	dicht	nein	dicht
11.03	Tunnel Emmenquerung BE	SBB	99	55'000	<b>WDB</b>	Druckwasser	undicht	ja	dicht
11.04	Entflechtung Schiene Strasse Schön- bühl BE	BE	95	4'070	<b>WDB</b>	Druck- und Sickerwasser	dicht	nein	dicht
11.05	Tunnel Förlibuck Dübendorf ZH	SBB	86	7'000	<b>WDB</b>	Sickerwasser	dicht	nein	dicht
11.06	Galerie de St. Maurice VS	A9	84	30'000	<b>WDB</b>	Druck- und Sickerwasser	undicht	nein	undicht
11.07	Tunnel Flughafenstrasse Basel BS	A2	01	9'100	<b>WDB</b>	Druck- und Sickerwasser	dicht	nein	dicht
11.08	Tunnel Bahnhof St. Johann Basel BS	A2	00	9'000	<b>WDB</b>	Druck- und Sickerwasser	dicht	nein	dicht
11.09	Tranchée couverte d'Auvernier NE	A5	73	3'870	<b>WDB</b>	Druck- und Sickerwasser	dicht	ja	dicht
21.01	Tunnel Flughafen Kloten ZH	SBB	80	50'000	<b>BDB</b>	Druck- und Sickerwasser	undicht	ja	undicht
21.02	Galerie Wasserwerkstrasse Zürich ZH	Stadt ZH	82	4'000	<b>BDB</b>	Sickerwasser	undicht	ja	dicht
21.03	Tunnel Hirschwiesen-Buchegg Zürich ZH	Stadt ZH	70	4'500	<b>BDB</b>	Sickerwasser	undicht	ja	undicht
21.04	Tunnel Honoret Urdorf ZH	A1c	83	16'000	<b>BDB</b>	Sickerwasser	dicht	nein	dicht
21.05	Tunnel Mariazell Sursee LU	A2	76	7'000	<b>BDB</b>	Sickerwasser	dicht	nein	dicht
21.06	Tunnel Schöneich ZH	A1	83	24'000	<b>BDB</b>	Sickerwasser	undicht	ja	undicht
21.07	Tunnel Stelzen Oberhausen ZH	A1	80	10'000	<b>BDB</b>	Sickerwasser	undicht	nein	undicht
21.08	Galerien Pfaffensprung UR	A2	72	35'000	<b>BDB</b>	Sickerwasser	dicht	ja	dicht
21.09	Tunnel Lüttschine Interlaken BE	A8	85	25'000	<b>BDB</b>	Druck- und Sickerwasser	dicht	ja	undicht
21.10	Tranchée couverte de Champ-Coco NE	A5	01	13'800	<b>BDB</b>	Sickerwasser	dicht	nein	dicht
22.01	Tunnel Eichrain ZH	Stadt ZH	92	6'500	<b>PBD</b>	Sickerwasser	dicht	nein	dicht
22.02	Museumsbahnhof Zürich ZH	SBB	84	90'000	<b>PBD</b>	Druckwasser	undicht	ja	undicht
22.03	Tunnel Vaumarcus NE	A5	97	13'000	<b>PBD</b>	Druck- und Sickerwasser	dicht	nein	dicht
22.04	Tunnel Vigner NE	A5	93	17'000	<b>PBD</b>	Druckwasser	dicht	nein	dicht
22.05	Tunnel Alusuisse Sierre VS	A9	97	13'000	<b>PBD</b>	Druckwasser	dicht	nein	dicht

Nr.	Tunnelobjekt	Zugehörigkeit	Baujahr	Fläche [m <sup>2</sup> ]	Abdichtung	Druckhaltung	Zustand Bauende	Instandsetzung	Zustand aktuell
22.06	Tunnel Crête Plane Sierre VS	A9	97	40'000	PBD	Sickerwasser	dicht	nein	dicht
22.07	Tunnel Pieterlen BE	A5	97	65'000	PBD	Druckwasser	dicht	nein	dicht
22.08	Galerie Fallenbach Gersau SZ	SZ	87	4'300	PBD	Sickerwasser	dicht	ja	dicht
22.09	Tranchée couverte St. Blaise NE	A5	92	57'000	PBD	Druckwasser	dicht	nein	dicht
22.10	Tunnel Champsec West Sion VS und gedeckter Einschnitt	A9	88	4'000 17'000	PBD	Druck- und Sickerwasser	dicht	nein	undicht
23.01	Tunnel Eich LU	A2	77	40'000	KDB iv	Sickerwasser	dicht	nein	dicht
23.02	Tunnel Grauholz Ost BE	SBB	89	35'000	KDB iv	Druckwasser	undicht	ja	undicht
23.03	Tunnel Grauholz West BE	SBB	89	15'000	KDB iv	Druckwasser	undicht	ja	undicht
23.04	Tunnel Rathausen LU	A14	85	20'000	KDB iv	Sickerwasser	dicht	nein	dicht
23.05	Tunnel Thuner Allmend, Thun BE	A6	68	28'000	KDB iv	Sickerwasser	dicht	nein	dicht
23.06	Tunnel Zurzach AG	AG	86	30'000	KDB iv	Sickerwasser	dicht	nein	dicht
23.07	Tranchée couverte La Heutte / Metairie BE	A16	93	10'000 18'000	KDB iv	Sickerwasser	dicht	nein	dicht
23.08	Lawinengalerie Casanawald GR	A13	80	24'500	KDB iv	Sickerwasser	dicht	nein	dicht
23.09	Tunnel Les Hauts-Geneveys NE	NE	91	5'700	KDB iv	Sickerwasser	undicht	ja	dicht
24.01	Tunnel Flurlingen ZH	A4	89	7'000	KDB v	Sickerwasser	dicht	nein	dicht
24.02	Tranchée couverte de Combette Murten FR	A1	94	48'000	KDB v	Sickerwasser	dicht	ja	dicht
24.03	Galerie Schoren SG	A1	85	2'300	KDB v	Sickerwasser	dicht	ja	dicht
24.04	Lawinengalerie Sassella Susch GR	GR	86	2'200	KDB v	Sickerwasser	dicht	nein	dicht
24.05	Lawinengalerie Breewald Hinterrhein GR	AFB	89	4'000	KDB v	Sickerwasser	dicht	nein	dicht
24.06	Tunnel Karlihof Landquart GR	GR	91	5'000	KDB v	Sickerwasser	dicht	nein	dicht
24.07	Tunnel Lavin GR	GR	93	5'000	KDB v	Sickerwasser	dicht	nein	dicht
24.08	Tranchée couverte de Sévaz FR	A1	99	24'500	KDB v	Sickerwasser	dicht	nein	dicht
24.09	Tranchée couverte de Frasses FR	A1	99	25'000	KDB v	Sickerwasser	dicht	nein	dicht
25.01	Tunnel Rinderweid Arbon TG	A7	92	16'000	KDB	Druck- und Sickerwasser	undicht	nein	undicht
25.02	Tunnel Grenchener Witi SO	A5	00	136'000	KDB nd	Druckwasser	undicht	ja <sup>2)</sup>	dicht
25.03	Tunnel Birchi (Tagbau) Solothurn SO	A5	98	50'000	KDB nd	Druckwasser	undicht	ja <sup>2)</sup>	dicht
25.04	Eindeckung Spitalhof Solothurn SO	A5	99	40'000	KDB nd	Druckwasser	dicht	ja <sup>2)</sup>	dicht
25.05	Tunnel Lüsslingen SO	A5	98	90'000	KDB nd	Druckwasser	undicht	ja <sup>2)</sup>	dicht
25.06	Tranchée couverte les Vignes FR	A1	95	15'000	KDB nd	Druckwasser	undicht	ja	dicht
25.07	Tranchée couverte de Châbles FR	A1	95	19'000	KDB nd	Sickerwasser	dicht	ja <sup>2)</sup>	dicht

Nr.	Tunnelobjekt	Zugehörigkeit	Baujahr	Fläche [m <sup>2</sup> ]	Abdichtung	Druckhaltung	Zustand Bauende	Instandsetzung	Zustand aktuell
25.08	Tunnel Champsec Ost Sion VS	A9	88	8'000	KDB nd	Druck- und Sickerwasser	dicht	nein	undicht
26.01	Tunnel Eigis Quarten SG	A3	84	3'000	FLK	Sickerwasser	undicht	ja	dicht
26.02	Tunnel Rüti (Nordröhre) Quarten SG	A3	84	2'500	FLK	Sickerwasser	undicht	ja	dicht
26.03	Galerie Schönenberg Schaffhausen SH	A4	92	8'000	FLK	Sickerwasser	dicht	nein	dicht
26.04	Galerie Sprenggi Göschenen UR	FO	89	1'200	FLK	Sickerwasser	dicht	nein	dicht
27.01	Tunnel Schlund Kriens LU	A2	99	90'000	TDB	Druckwasser	dicht	ja	dicht
27.02	Tunnel Spier Kriens LU <sup>1)</sup>	A2	99	65'000	TDB	Sickerwasser	dicht	nein	dicht
27.03	Tunnel Gishübel Herzogenbuchsee BE	SBB	02	32'000	TDB	Druckwasser	dicht	nein	dicht
27.04	Tunnel Mitholz BE	BE	01	14'000	TDB	Sickerwasser	dicht	nein	dicht
<b>Total Fläche 1'600'140 m<sup>2</sup></b>									
<b>Total 63 Objekte, davon 13 undicht</b>									

**Erläuterungen:**

<b>WDB</b>	Wasserdichte Betonkonstruktionen
<b>BDB</b>	Bitumendichtungsbahn
<b>PBD</b>	Polymerbitumen-Dichtungsbahn
<b>KDB lose</b>	Kunststoffdichtungsbahnen, lose verlegt
<b>KDB verl</b>	Kunststoffdichtungsbahnen, verklebt
<b>KDB nachd</b>	Kunststoffdichtungsbahnen, nachdichtbar
<b>FLK</b>	Flüssigkunststoff
<b>TDB</b>	Tondichtungsbahnen
dicht	kein oder wenig undicht gemäss Systemmatrix (Feuchtstellen)
undicht	mässig oder stark undicht gemäss Systemmatrix (tropfendes/fliessendes Wasser)
<sup>1)</sup>	im Bau bis 2003
<sup>2)</sup>	Instandsetzung bzw. Nachbesserung vor Inbetriebnahme (Nachdichtung)
Baujahr	Beginn der Abdichtungsarbeiten

## **Anhang 2**

- **Legende für Matrizen**
- **Beispiel für Objektmatrix ("St. Blaise"  
Objekt-Nr. 22.09)**
- **Beispiel für Objektbeschreibung ("St. Blaise"  
Objekt-Nr. 22.09)**

### Legende für Objekt- und Systemmatrizen

SYSTEME			
11	WDB		Wasserdichte Betonkonstruktionen
21	BDB		Bitumen-Dichtungsbahnen
22	PBD		Polymerbitumen-Dichtungsbahnen
23			Kunststoff-Dichtungsbahnen, lose verlegt
24			Kunststoff-Dichtungsbahnen, vollflächig verklebt
25			Kunststoff-Dichtungsbahnen, lose verlegt, mit Abschottungen, nachdichtbar
26	FLK		Beschichtung mit Flüssigkunststoff
27	TDB		Dichtungsbahnen mit Ton, lose verlegt

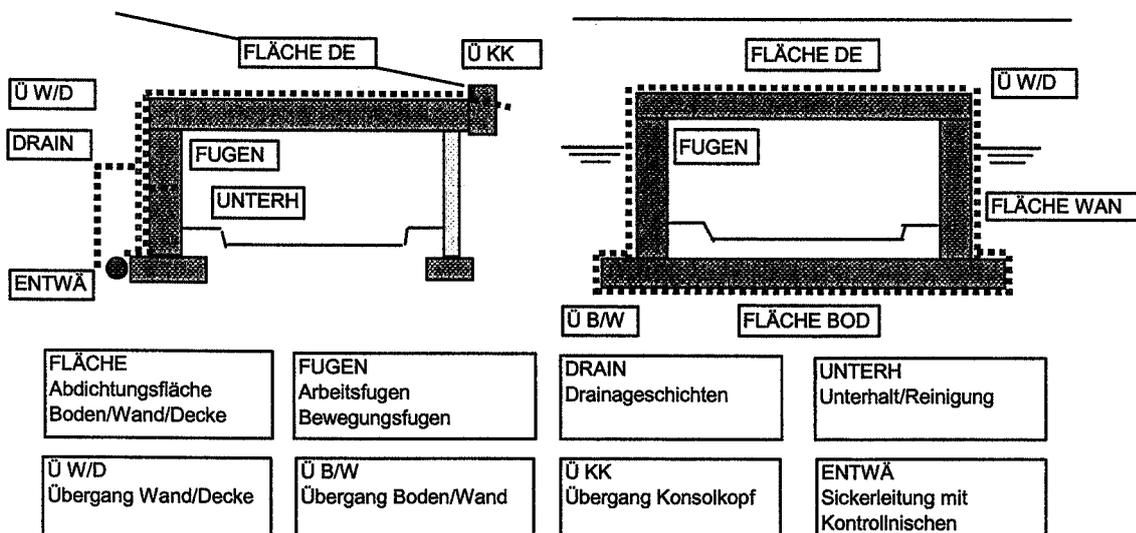
### QUERSCHNITTSTYPEN



WASSERBELASTUNG  Druckwasser  Sickerwasser

DICHTIGKEIT		Zustand Objektmatrix	
Dicht		Erste Spalte	Zustand Bauende
Wenig undicht		Zweite Spalte	Zustand vor Instandsetzung
Mässig undicht		Dritte Spalte	Zustand aktuell
Stark undicht			

### ABKÜRZUNGEN



**PROJEKT LABSY II / EMPA-Nr. 202 248**  
**ZUSTANDSERFASSUNG**

**22.09**

**Tranchée couverte St. Blaise NE**

**A5**

**Dichtigkeit**

Querschnittstyp



57'000 m<sup>2</sup>, 880 m

System

DECKE	PBD
WÄNDE	PBD
BODEN	PBD

Wasser-  
belastung



1992

2001



Planung		Ausführung				Zustand		
Konstruktion	Detail	Untergrund	Material	Ausführung	Prüfungen	Schaden	Instandsetzung	Aktuell

FLÄCHE BOD								
FLÄCHE WAN								
FLÄCHE DE								
FUGEN								
Ü B/W								
Ü W/D								
Ü KK								
Ü PORTAL								
ENTWÄ								
DRAIN								
UNTERH								

ERKENNTNISSE

Planung	i.O., Schubsicherung bei grossem Dachgefälle (6,5%)
Material	i.O.
Ausführung	i.O.
Schaden	keiner
Unterhalt	keiner

BEMERKUNGEN

Schubsicherung erforderlich wegen grossem Dachgefälle von 6,5 %. Durchdringungen mit Klemmflanschen. Untergrundvorbehandlung mit HDW 750 bar.

LEGENDE

	Mangelhaft
	Mängelfrei
	Bei diesem Objekt nicht relevant bzw. nicht ausgeführt

	Schaden
	Instandstz.
	NEIN
	Ergebnis

## Beispiel Objektbeschreibung Nr. 22.09 St. Blaise NE

22.09

<b>Tunnelobjekt:</b>	<b>Tranchée couverte de St. Blaise NE</b>
<b>Zugehörigkeit:</b>	A5 Route Nationale Neuchâtel-St.Blaise Section Yverdon-Soleure
<b>Bauherr:</b>	Département de la Gestion du Territoire Service des Ponts et Chaussées Pourtalès 13 2001 Neuchâtel
<b>Projekt- und Bauleitung:</b>	Office de Construction de la Route Nationale 5 Herr J. Brocard Pourtalès 13 2001 Neuchâtel Tel. 032 889 67 13
<b>Baujahr / Inbetriebnahme:</b>	Baubeginn 1992
<b>Aufnahmejahr:</b>	2002
<b>Fläche / Länge:</b>	57000 m <sup>2</sup> / 860 m
<b>Übersichtsplan:</b>	

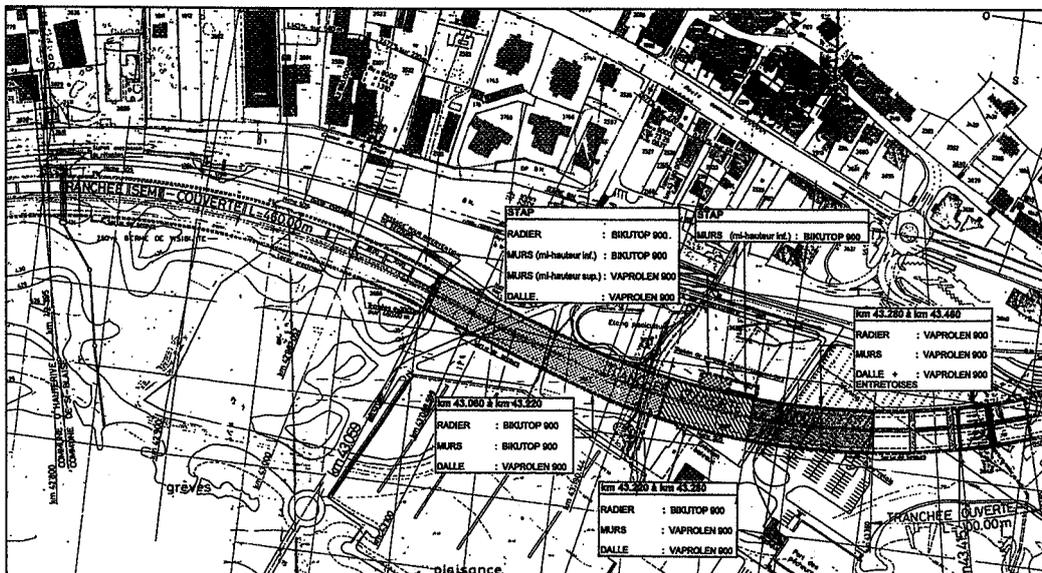


Abb. 1: Übersichtsplan.



---

<b>Tragkonstruktion:</b>	zwei schlaff armierte Kastenprofile Quergefälle Dach: 1.2 %, Bodenplatte: 6.5 % Siehe Abb. 2.
<b>Baugrund:</b>	unberührte, feste Molasse verschlechterte Molasse Moräne aus der Würmeiszeit, standfest angeschwemmtes Geschiebe Auffüllung
<b>Baugrubensicherung:</b>	offene Baugrube im Verhältnis 2:1
<b>Abdichtungskonzept:</b>	Verdrängungskonzept, Druckwasser haltend
<b>Abdichtungssystem:</b>	Vollabdichtung mit geklebten PBD-Bahnen (Bitumenkleber)
<b>Kontrolle und Unterhalt der Drainage:</b>	jährliche Kontrollen der Leitungen und Kontrollschächte
<b>Plan des Abdichtungssystem:</b>	Siehe Abb. 2.
<b>Abdichtungsmaterial :</b>	PBD Vaprolen 900 GA, geklebt, einlagig, 5 mm
<b>Schichten:</b>	<ol style="list-style-type: none"><li>1. Betontragkonstruktion armiert</li><li>2. keine Untergrundbehandlung</li><li>3. keine Ausgleichsschicht</li><li>4. Tunnelprofil vollflächig verklebt, PBD 5 mm mit 0.2 mm PVC Schutzfolie Boden: zweilagig, Wände und Decke: einlagig</li><li>5. Schutzschicht Boden: 4 cm Zementmörtel armiert Wände: 2 cm, Decke: 3 cm Gussasphalt</li><li>6. Auffüllmaterial ca. 1 m</li></ol>

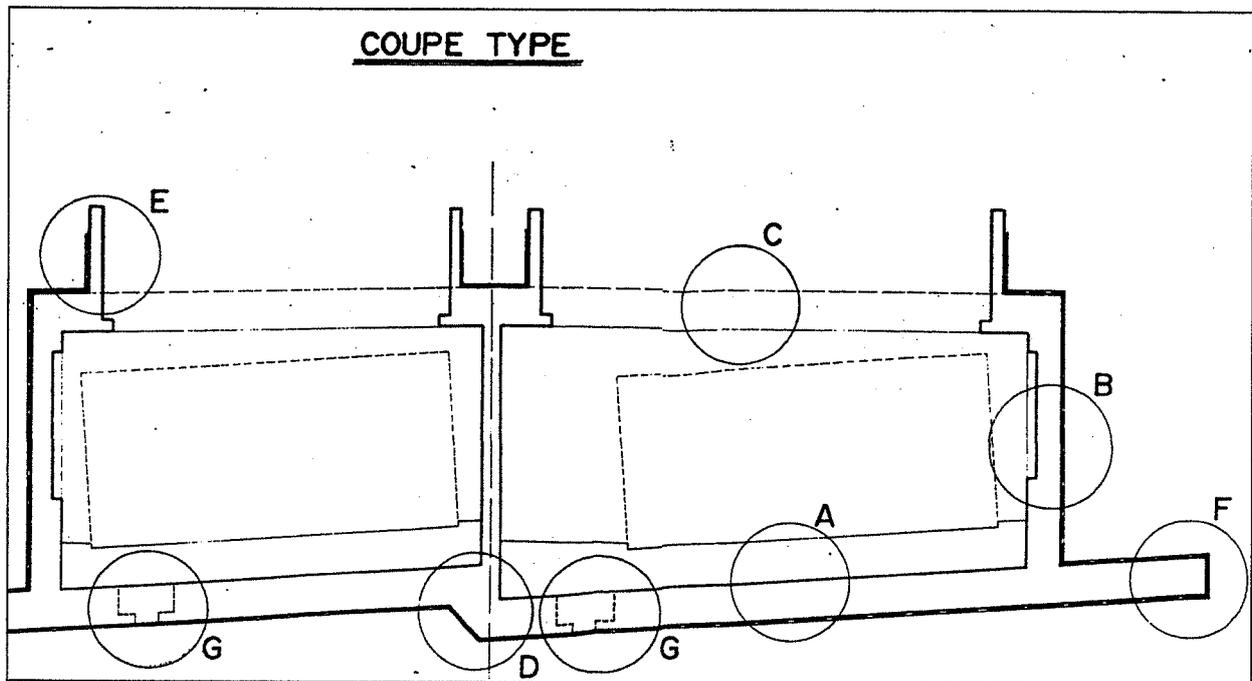


Abb. 3: Querschnitt mit Abdichtung, Detail A bis F.

**Fugen:**

Bei dieser Abdichtung mussten die Elementfugen nicht speziell ausgebildet werden. Lediglich die Arbeitsfugen in der Längsachse wurden mit zusätzlichen Schutzbänder verklebt (Dilatec PVC E/120).

Siehe Abb. 4 bis 10.

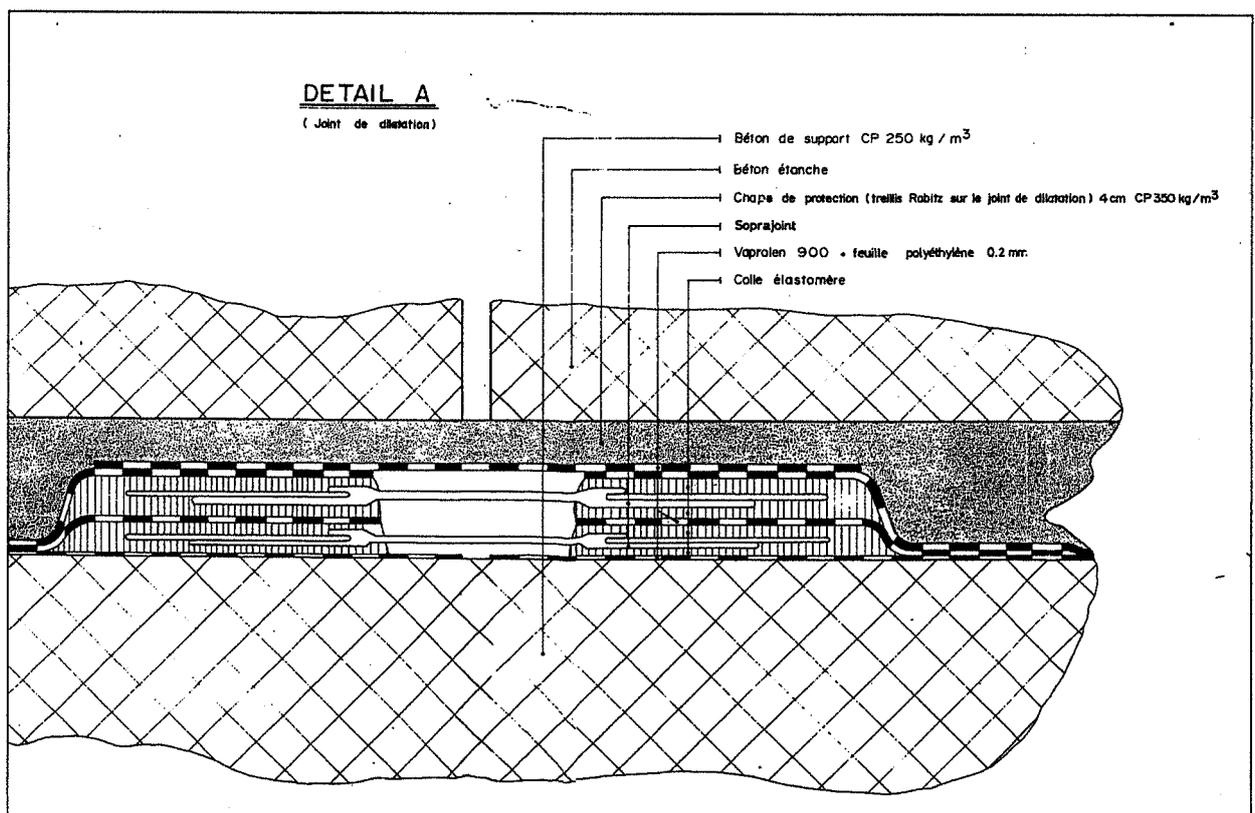


Abb. 4: Dilatationsfuge Boden.

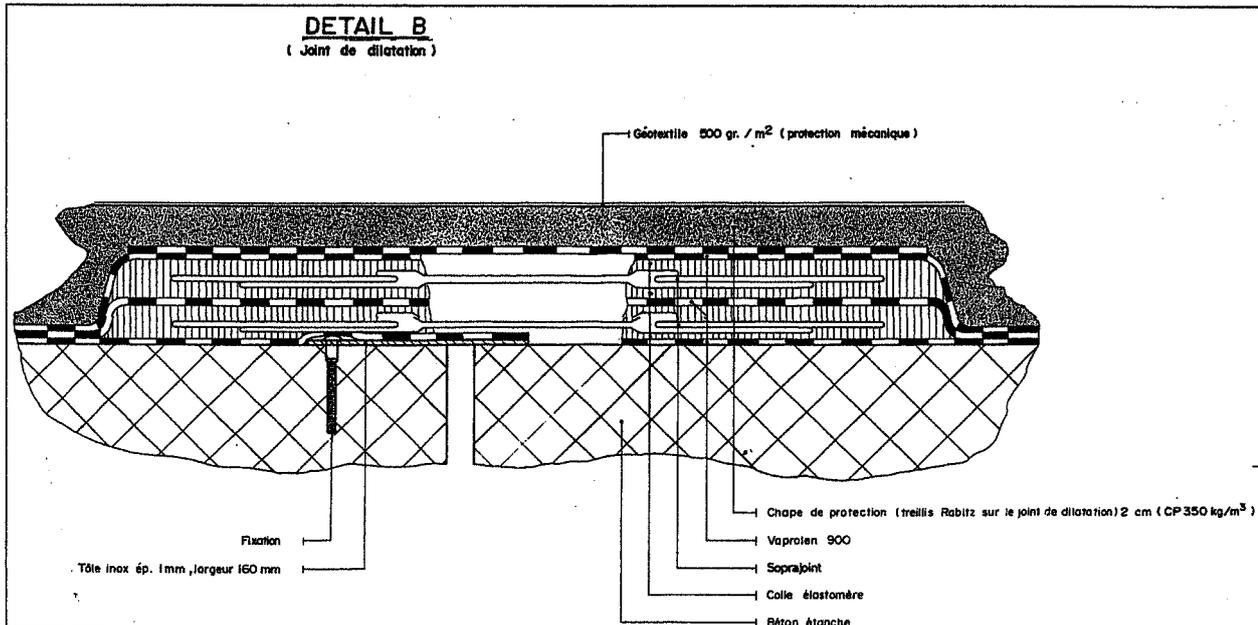


Abb. 5: Dilatationsfuge Wand.

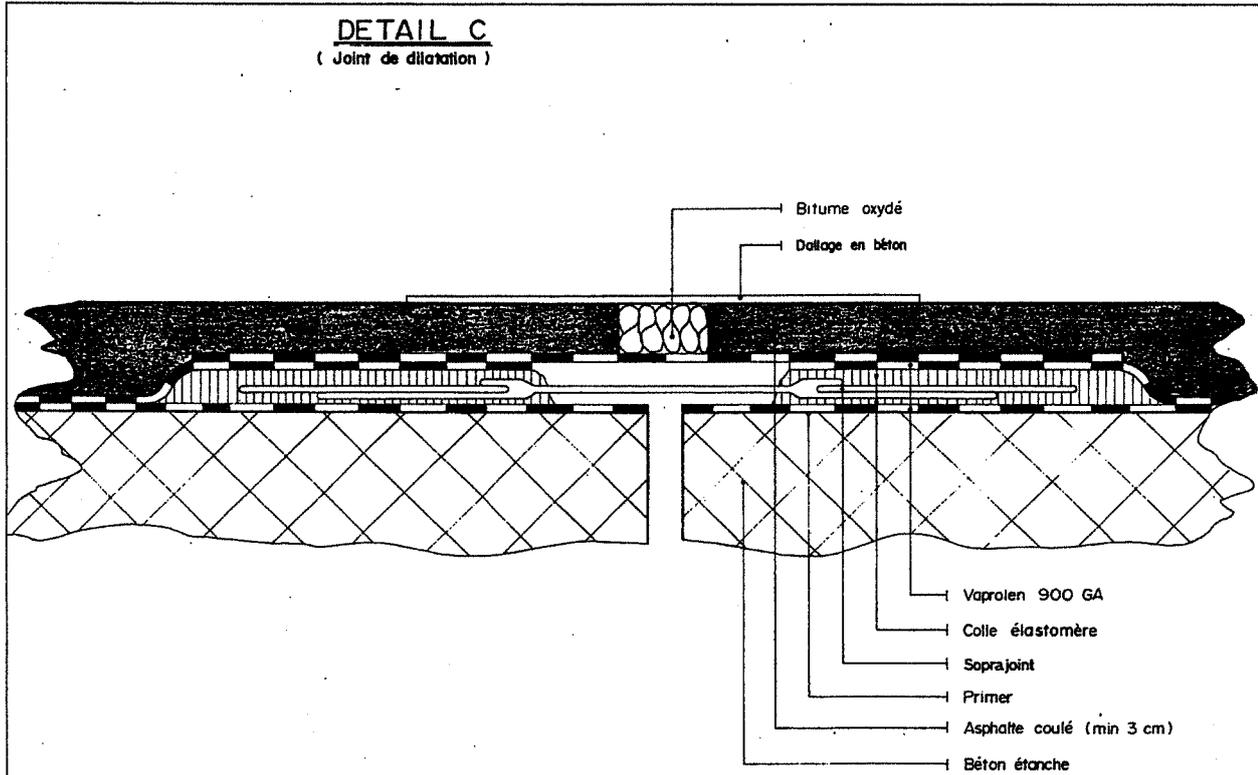


Abb. 6: Dilatationsfuge Decke.

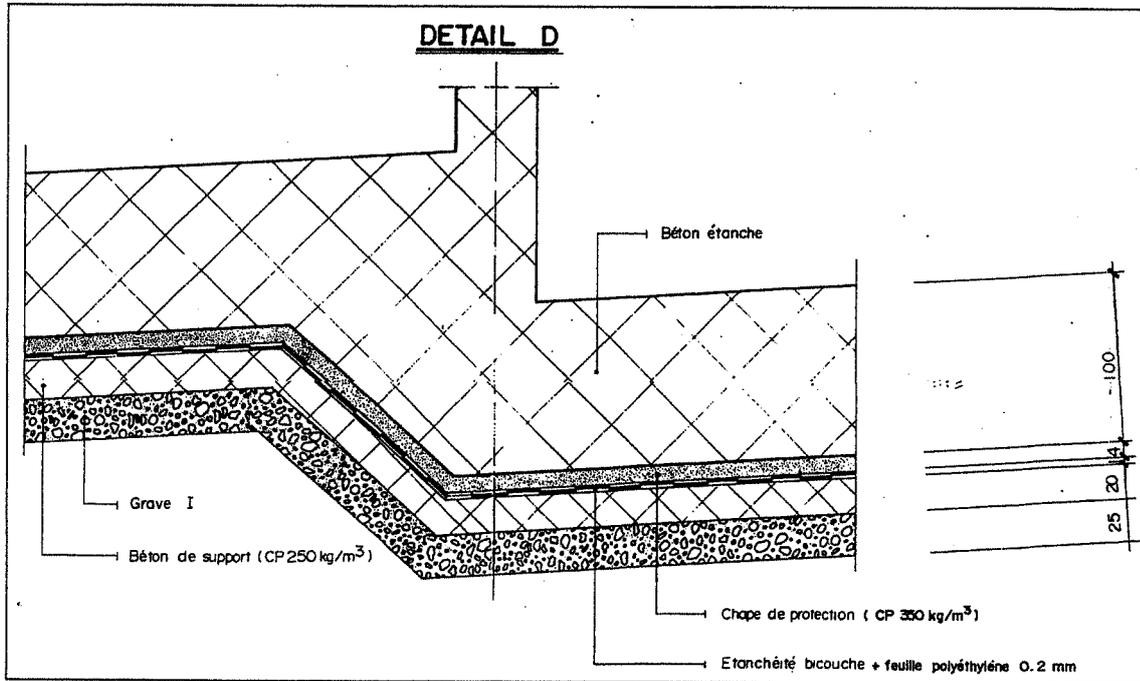


Abb. 7: Dilatationsfuge Fundamentabsatz.

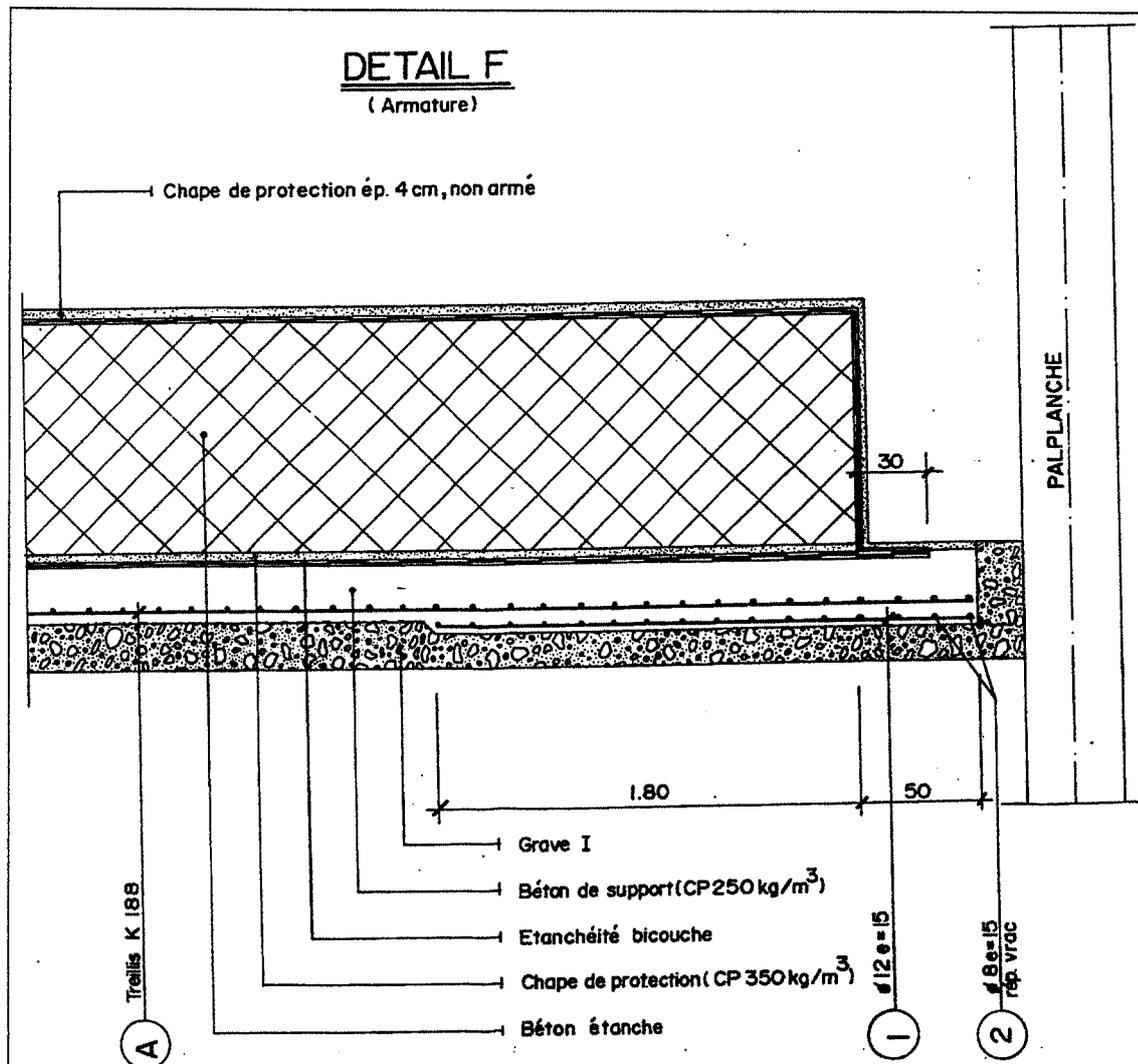


Abb. 8: Detail Fundamentvorsprung mit Armierung.

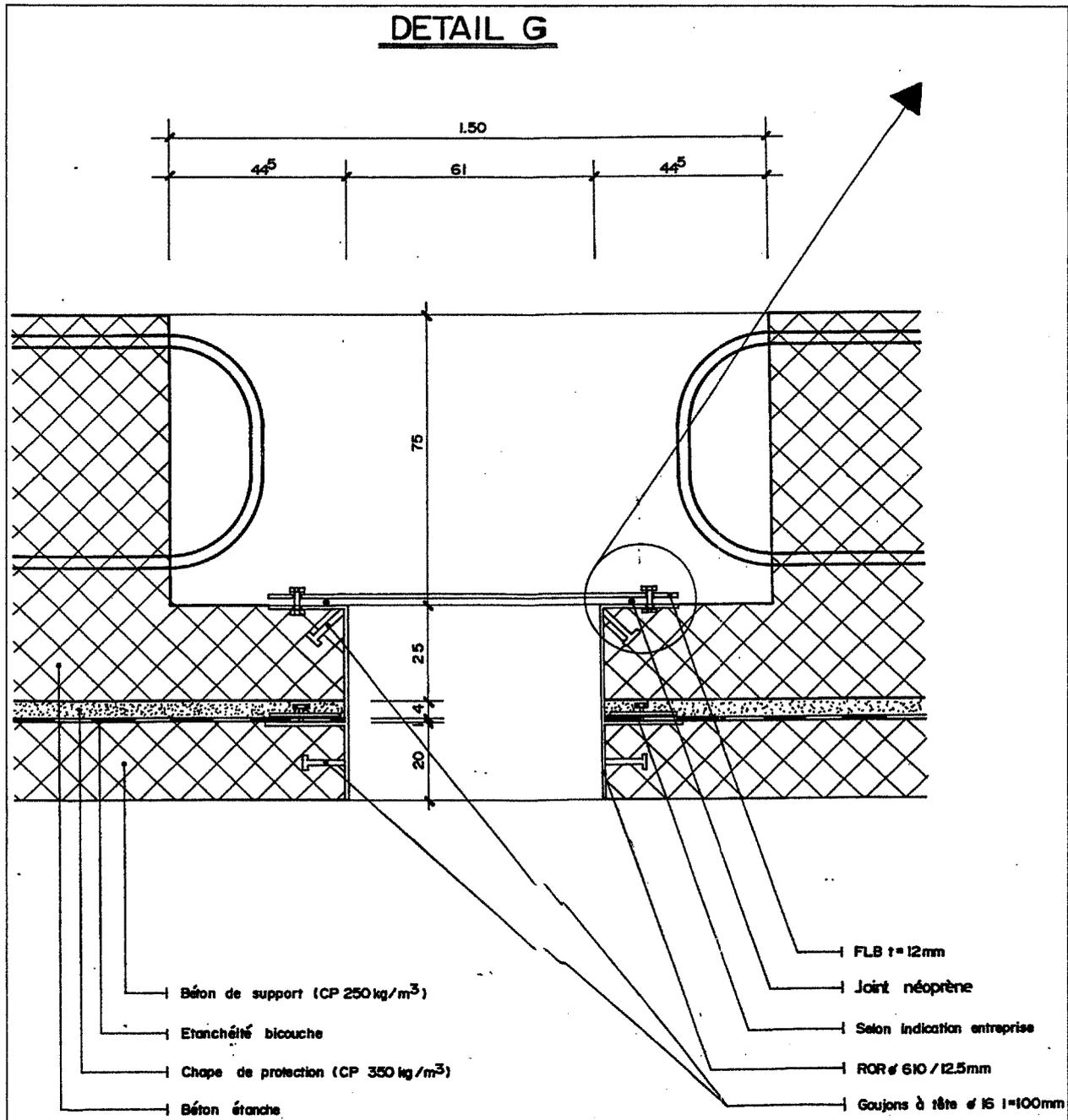


Abb. 9: Abdichtungsdetail bei Ablauf in Fundament.

**Übergänge:** Bergmännisch/Tagbau: keine Übergänge

Portalabschluss  
Lichtöffnungen:

nach vorherigem Sandstrahlen des Betons Verkleben eines  
Dilatec PVC E/120 Bandes.

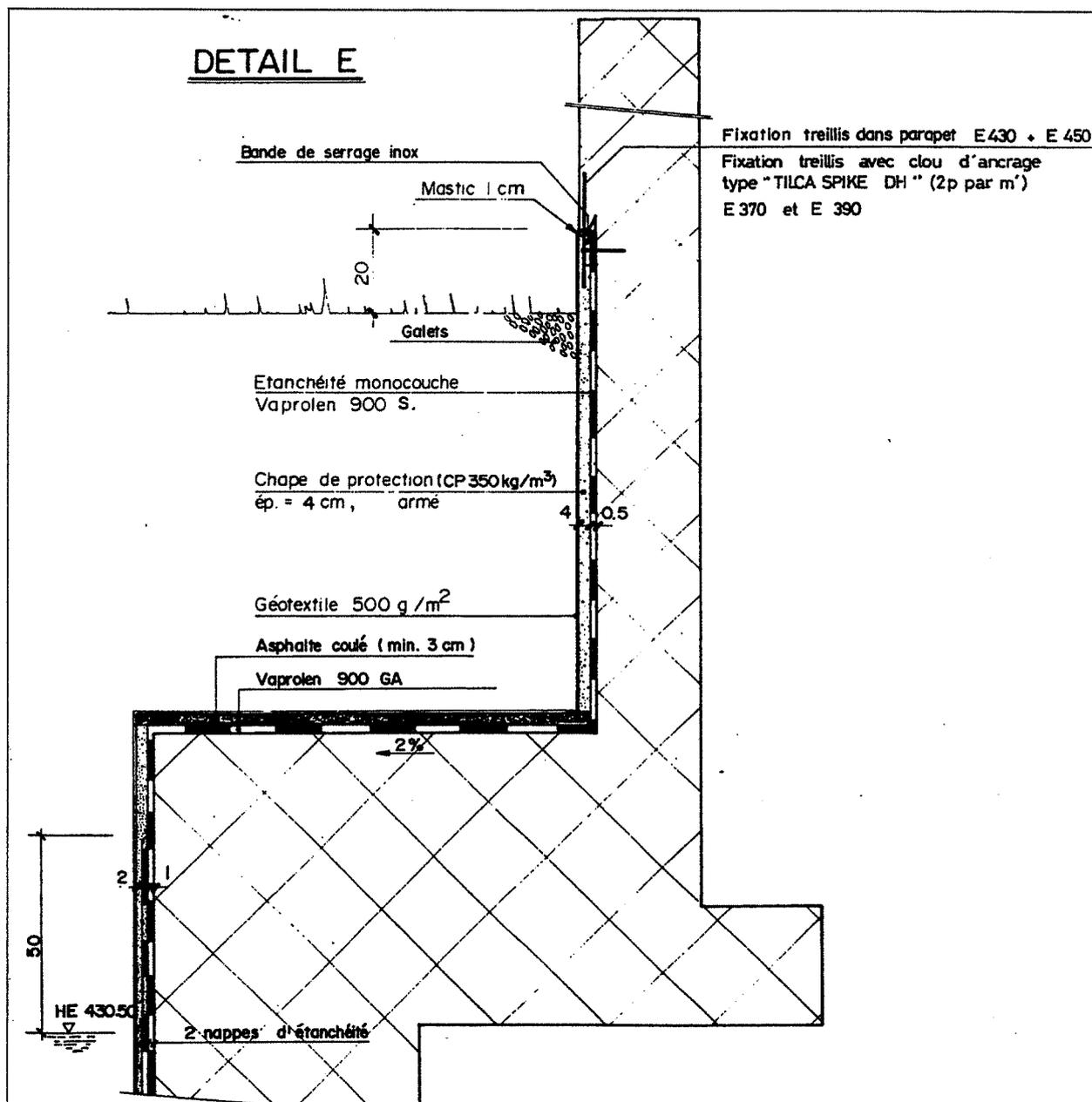


Abb. 10: Aufbordung bei Portalabschluss.

**Ausführung / Prüfung:**

visuell und mit Rechen, um Hohlstellen zu eliminieren  
keine Angaben zum Zeitpunkt

**Zustand nach Bauende:**

Bauwerk ist **dicht** nach Aussage und Kontrolle Tiefbau-  
amt Fribourg.

**Zustand aktuell**  
**(Gesamtbeurteilung):** Bauwerk ist **dicht**, keine sichtbaren Wassereintritte.

**Schäden:** keine

**Mängel:** keine

**Schadenbild:** keines

**Ursache der Mängel und Schäden:** keine

**Instandsetzungsmassnahmen:** keine

**Resultat der Instandsetzung:** keines

**Kosten der Instandsetzung:** keine

**Besonderes:** nichts

**Erkenntnisse:** absolut einwandfreies Abdichtungssystem  
Vorsicht beim Hinterfüllen  
Die Folie darf nicht lange ohne Schutz liegen.  
Es bilden sich Wülste und Wellen in Folge der  
Temperaturschwankungen.

**Planungsunterlagen:** Office de Construction de la Route Nationale 5  
Herr J. Brocard  
Pourtalès 13  
2001 Neuchâtel  
Tel: 032 889 67 13

<b>Literaturnachweis:</b>	keine Angaben
<b>Fotodokumentation:</b>	keine Bilder, nur schlechte schwarzweiss Abzüge
<b>Eingabedatum:</b>	30.05.2002 WF
<b>Änderung:</b>	05.08.2002 WF / 18.11.2002 ifl / 10.03.2004 wy

---

### **Abbildungsverzeichnis**

- Abb. 1: Übersichtsplan.
- Abb. 2: Tragkonstruktion mit Abdichtung und ausserhalb des Profils liegende Sickerleitungen.
- Abb. 3: Querschnitt mit Abdichtung, Detail A bis F.
- Abb. 4: Dilatationsfuge Boden.
- Abb. 5: Dilatationsfuge Wand.
- Abb. 6: Dilatationsfuge Decke.
- Abb. 7: Dilatationsfuge Fundamentabsatz.
- Abb. 8: Detail Fundamentvorsprung mit Armierung.
- Abb. 9: Abdichtungsdetail bei Ablauf in Fundament.
- Abb. 10: Aufbordnung bei Portalabschluss.



## **Anhang 3**

### **Systemmatrizen**

- WDB (Wasserdichte Betonkonstruktion)
- BDB (Bitumen-Dichtungsbahnen)
- PDB (Polymer-Bitumen-Dichtungsbahnen)
- KDB lose verlegt (Kunststoff-Dichtungsbahnen lose verlegt)
- KDB verkebt (Kunststoff-Dichtungsbahnen verklebt)
- KDB nachdichtbar (Kunststoff-Dichtungsbahnen nachdichtbar)
- FLK (Flüssigkunststoff)
- TDB (Ton-Dichtungsbahnen)

**SYSTEM-MATRIX**

11		Wasserdichte Betonkonstruktionen									WDB		
OBJEKT	Jahr	FLÄ B	FLÄ W	FLÄ D	FUG	Ü B/W	Ü W/D	Ü KK	Ü POR	ENTW	DRAIN	UNT	ZUST
													V   N
<b>Sickerwasser</b>													
11.05	F	1986	■	■	■	■	■	■	□	■	■	■	□ □

1)

<b>Druckwasser</b>													
11.01	M	1984	■	■	■	■	■	■	□	■	□	□	■ □
11.02*	F	1985	■	■	■	■	■	■	□	■	■	■	□ ■
11.03	F	1999	■	■	■	■	■	■	□	■	□	□	■ □
11.04*	M	1995	■	■	■	■	■	■	□	■	■	■	■ □
11.06*	F	1984	■	■	■	■	■	■	□	■	□	□	■ □
11.07*	F	2001	■	■	■	■	■	■	□	■	□	□	■ □
11.08*	F	2000	■	■	■	■	■	■	□	■	□	□	■ □
11.09**	F	1975	■	■	■	■	■	■	□	■	□	□	■ □

- \* Decken und teilweise Wände zusätzlich mit PDB oder BDB abgedichtet
- \*\* Innenseite mit Kathodenschutz ausgerüstet
- M Monolythische Bauweise, ohne Fugen F Bauweise mit Fugen, z.T. AF mit reduzierter Bewehrung

ERKENNTNISSE	Planung	Bewegungen infolge Temperaturdifferenzen, Fugenkonzept (M, F, Abstände)
	Material	Schwindverhalten des Betons, Fugenmaterial auf Konzept abstützen
	Ausführung	Etappierungen bewirken unterschiedliches Schwindverhalten, Fugen
	Schaden	Risse und Rissbreitenänderungen infolge Temperaturdifferenzen, Fugenkonzepte (zu grosse Abstände), Fugenmaterial
	Unterhalt	Leckwasserableitungen, Reinigung der Entwässerung

**BEMERKUNGEN**  
Wasserdichte Betonkonstruktionen in der Regel ergänzt mit flexibler Abdichtung auf Decke; Konzept, Material und Ausführung für Fugen (Fugenabstände, Arbeitsfugen mit reduzierter Längsbewehrung, Bewegungsfugen) wichtig. Entwässerungsleitungen auf Kote Grundwasserspiegel zur Vermeidung von Stauwasser und Leckwasserableitungen je nach Verhältnissen erforderlich, benötigen Unterhalt (Reinigungsmöglichkeiten). Monolythische Bauweise ohne Bewegungsfugen oder ohne Arbeitsfugen mit reduzierter Bewehrung kritisch.

<b>ABKÜRZUNGEN</b>	Siehe Legende Objektmatrix	<b>ZUSTAND</b>
<b>LEGENDE</b>	<p>■ Mangelhaft</p> <p>□ Mängelfrei</p> <p>□ Bei diesem Objekt nicht ausgeführt bzw. nicht relevant</p>	<p>V Vor Instandsetzung</p> <p>N Nach Instandsetzung</p> <p>□ Dicht</p> <p>■ □ Wenig undicht</p> <p>■ □ Mässig undicht</p> <p>■ □ Stark undicht</p>

1) Anteil Undichtigkeiten total (Schwarze Felder): 22,0 %

**SYSTEM-MATRIX**

**21 Bitumen-Dichtungsbahnen**

**BDB**

OBJEKT	Jahr	FLÄ B	FLÄ W	FLÄ D	FUG	Ü B/W	Ü W/D	Ü KK	Ü POR	ENTW	DRAIN	UNT	ZUST
													V   N

**Sickerwasser**

21.02	1982	□	□	■	■	□	■	■	■	■	■	■	□   □
21.03	1970	□	□	■	■	□	■	□	■	■	□	■	□   □
21.04	1983	□	■	■	■	□	■	□	■	■	■	■	□   □
21.05	1976	□	■	■	■	□	■	□	■	■	■	■	□   □
21.06	1983	□	■	■	■	□	■	□	■	■	■	■	□   □
21.07	1980	□	■	■	■	□	■	□	■	■	■	■	□   □
21.08	1972	□	□	■	■	□	■	■	■	■	■	■	□   □
21.10	2001	□	■	■	■	□	■	■	■	■	■	■	□   □

**Druckwasser**

21.01	1980	■	■	■	■	■	■	□	■	□	□	■	□   □
21.09	1985	■	■	■	■	■	■	□	■	□	□	■	□   □

ERKENNTNISSE	Planung	Fugen- und Übergangs-Details fehlen, Schubsicherung fehlt
	Material	i.O.
	Ausführung	i.O.
	Schaden	Wassereintritte Fugen und Übergänge, Risse Abdichtung und Schutzschicht
	Unterhalt	Leckwasserableitungen

**BEMERKUNGEN**  
 Vergleichsweise viele Schäden. Ursache: Planung und Ausführung der Details (Fugen und Übergänge) und der Schubsicherung (Bituminöse Abdichtungen können keine Schubkräfte übertragen). Für den Fall von mechanischen Beschädigungen der Dichtungsschicht sind im Druckwasserbereich Rückfallebenen zu planen und auszuführen. Injektionen als Sanierung fraglich. Unterhaltsarbeiten erfolgen regelmässig.

**ABKÜRZUNGEN** Siehe Legende Objektmatrix

ZUSTAND	
V Vor Instandsetzung	
N Nach Instandsetzung	
Dicht	□
Wenig undicht	□
Mässig undicht	□
Stark undicht	□

LEGENDE		
■	Mangelhaft	
□	Mängelfrei	
□	Bei diesem Objekt nicht ausgeführt bzw. nicht relevant	

1) Anteil Undichtigkeiten total (Schwarze Felder): 38.7 %

**SYSTEM-MATRIX**

**22 Polymer-Bitumen-Dichtungsbahnen**

PBD

OBJEKT	Jahr	FLÄ B	FLÄ W	FLÄ D	FUG	Ü B/W	Ü W/D	Ü KK	Ü POR	ENTW	DRAIN	UNT	ZUST	
													V	N

Sickerwasser

1)

22.01	1992													
22.06	1997													
22.08	1987													

Druckwasser

22.02	1984													
22.03	1997													
22.04	1993													
22.05	1997													
22.07	1997													
22.09	1992													
22.10	1988													

ERKENNTNISSE

Planung	i.O., mit Ausnahme der Schubsicherung und teilweise Übergänge
Material	i.O.
Ausführung	i.O.
Schaden	Wassereintritte Fugen und Übergänge, Abgleiten Abdichtung
Unterhalt	Leckwasserableitungen, Reinigung der Entwässerung

BEMERKUNGEN

Vergleichsweise wenig Schäden. Ursache: Planung und Ausführung der Details (Übergänge) und der Schubsicherung (Bituminöse Abdichtungen können keine Schubkräfte übertragen). Für den Fall von mechanischen Beschädigungen der Dichtungsschicht sind im Druckwasserbereich Rückfallenen zu planen und auszuführen. Unterhaltsarbeiten für Entwässerungen und für Leckwasserableitungen. Untergrundvorbereitung mit HDW 750 bar (Haftung, vermeiden der Unterläufigkeit).

ABKÜRZUNGEN

Siehe Legende Objektmatrix

ZUSTAND

V Vor Instandsetzung  
N Nach Instandsetzung

LEGENDE

 Mangelhaft  
 Mängelfrei  
 Bei diesem Objekt nicht ausgeführt bzw. nicht relevant

Dicht 

Wenig undicht 

Mässig undicht 

Stark undicht 

1) Anteil Undichtigkeiten total (Schwarze Felder): 18.7 %

**SYSTEM-MATRIX**

**23 Kunststoff-Dichtungsbahnen, lose verlegt**

KDB los

OBJEKT	Jahr	FLÄ B	FLÄ W	FLÄ D	FUG	Ü BW	Ü W/D	Ü KK	Ü POR	ENTW	DRAIN	UNT	ZUST
													V   N

Sickerwasser

23.01	1977												
23.04	1985												
23.05	1968												
23.06	1986												
23.07	1993												
23.08	1980												
23.09	1991												

Druckwasser

23.02	1989												
23.03	1989												

**ERKENNTNISSE**

Planung	Fugen, Schutzschichten, Übergänge planen
Material	Ausdehnungskoeffizient von nicht armierten KDB beachten
Ausführung	Hinterfüllungen überwachen
Schaden	Mechanische Beschädigungen, Spannungsrisse, Unterläufigkeit
Unterhalt	Reinigung der Entwässerung

**BEMERKUNGEN**

Das Risiko der Unterläufigkeit ist mit besonderen Massnahmen abzudecken, insbesondere bei druckwasserhaltenden Abdichtungen, Materialien müssen dimensionsstabil sein (keine unzulässigen Spannungen, keine Wellen- und Faltenbildung), Übergänge und Fugendetails sorgfältig planen und ausführen. Schutzschichten und sorgfältiges, kontrolliertes Hinterfüllen erforderlich. Schubeinwirkungen vermeiden.

**ABKÜRZUNGEN**

Siehe Legende Objektmatrix

**ZUSTAND**

V Vor Instandsetzung  
N Nach Instandsetzung

**LEGENDE**

	Mangelhaft
	Mängelfrei
	Bei diesem Objekt nicht ausgeführt bzw. nicht relevant

Dicht 

Wenig undicht 

Mässig undicht 

Stark undicht 

1) Anteil Undichtigkeiten total (Schwarze Felder): 23.6 %

**SYSTEM-MATRIX**

**24 Kunststoff-Dichtungsbahnen, verklebt**

OBJEKT	Jahr	FLÄ B	FLÄ W	FLÄ D	FUG	Ü BW	Ü W/D	Ü KK	Ü POR	ENTW	DRAIN	UNT	ZUST
													V   N
Sickerwasser													1)
24.01	1989												
24.02	1994												
24.03	1985												
24.04	1986												
24.05	1989												
24.06	1991												
24.07	1993												
24.08	1999												
24.09	1999												

**Druckwasser**

ERKENNTNISSE	Planung	Untergrundvorbereitung, Detail Fugen und Konsolkopf
	Material	Kleber und Dichtungsbahnen kompatibel
	Ausführung	Untergrundvorbehandlung, Schutzdach, Prüfungen
	Schaden	Teilweise kein kompakter Untergrund, Konsolkopf
	Unterhalt	Reinigung der Entwässerung

**BEMERKUNGEN**

Nach dem Ausmerzen von "Kinderkrankheiten" (Detailplanung Fugen und Konsolkopf, Einfluss von Feuchtigkeit, Untergrundvorbehandlung, kompakter Untergrund) bewährt sich das System. Vorteil: Das System kann Schubkräfte übertragen, die Schutzschichten können kostengünstig und ohne zementgebundene Materialien = Schutzmörtel, Schutzguntit, ausgeführt werden. Dadurch weniger Versinterungsrisiko für Entwässerungen und weniger Unterhaltsaufwand.

**ABKÜRZUNGEN** Siehe Legende Objektmatrix

**LEGENDE**

 Mangelhaft  
 Mängelfrei  
 Bei diesem Objekt nicht ausgeführt bzw. nicht relevant

**ZUSTAND**

V Vor Instandsetzung  
N Nach Instandsetzung

Dicht   
 Wenig undicht   
 Mässig undicht   
 Stark undicht 

1) Anteil Undichtigkeiten total (Schwarze Felder): 8.3 %

**SYSTEM-MATRIX**

**25 Kunststoff-Dichtungsbahnen, nachdichtbar**

OBJEKT	Jahr	FLÄ B	FLÄ W	FLÄ D	ABS	Ü B/W	Ü W/D	Ü KK	Ü POR	ENTW	DRAIN	UNT	ZUST
													V N

**Sickerwasser**

25.07	1995												
-------	------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--

**Druckwasser**

25.01	1992												
25.02	2000												
25.03	1998												
25.04	1999												
25.05	1998												
25.06	1995												
25.08	1988												

**ERKENNTNISSE**

Planung	Detailplanung (Abschottungen, Übergänge), Hohlraum minimalisieren
Material	i.O, ausg. Abschottungen
Ausführung	Abschottungen mangelhaft, Einfluss Witterung
Schaden	Anzahl undichte Sektoren hoch wegen Umläufigkeit Abschottungen
Unterhalt	Nachdichtungen, vereinzelt Leckwasserableitung

**BEMERKUNGEN**

Systemvorteil: wenig Untergrundvorbehandlung wegen loser Verlegung der KDB. Systemnachteil: Um- und Unterläufigkeit der Dichtungsbahnen bei mechnischen Beschädigungen, führt vor allem im Druckwasser zu grossflächigen Vernässungen auf der Trockenseite. Nachteil wird durch Nachdichtungsmöglichkeit in sektorenweise abgeschottete Hohlräume behoben. Mängel an Abschottungen, dadurch und wegen grossen Hohlräumen (Noppenbahnen 8 mm) grosse Mengen an Injektionsgut erforderlich für das Erreichen der Dichtigkeit. Langzeiterfahrung mit Injektionsgut fehlt (Kombination Zement und Acrylgel). Im Wand/Deckenbereich grosse Mengen an Injektionsgut wegen fehlendem Gegendruck. Mit zunehmender Erfahrung konnten diese Mängel des Systems teilweise behoben werden. Offen ist die Frage, ob die Nachdichtungen mit Injektionen als Ergänzungsmassnahmen oder als Garantierarbeiten zu betrachten sind.

**ABKÜRZUNGEN**

Siehe Legende Objektmatrix  
 ABS = Abschottungen

**ZUSTAND**

V Vor Instandsetzung  
 N Nach Instandsetzung

**LEGENDE**

 Mangelhaft  
 Mängelfrei  
 Bei diesem Objekt nicht ausgeführt bzw. nicht relevant

Dicht   
 Wenig undicht   
 Mässig undicht   
 Stark undicht 

1) Anteil Undichtigkeiten total (Schwarze Felder): 35.9 %

**SYSTEM-MATRIX**

**26 Flüssigkunststoff**

FLK

OBJEKT	Jahr	FLÄ B	FLÄ W	FLÄ D	FUG	Ü B/T	Ü W/D	Ü KK	Ü POR	ENTW	DRAIN	UNT	ZUST
													V   N
		Sickerwasser											
													1)
26.01	1984												
26.02	1984												
26.03	1992												
26.04	1989												

**ERKENNTNISSE**

Planung	Gute Detailplanung erforderlich, Untergrundvorbehandlung planen
Material	Nach Überwinden "Kinderkrankheiten" i.O.
Ausführung	Untergrundvorbehandlung wichtig, Schichtdickenkontrolle
Schaden	Blasenbildung, Schichttrennung bei mangelh. Untergrundvorbehandlung
Unterhalt	Reinigung der Entwässerung, teilweise Leckwasserableitung

**BEMERKUNGEN**

Das System wird wenig angewendet. Nach Anfangsschwierigkeiten jedoch gute Resultate bei guter Detailplanung (Fugen, Konsolkopf, Übergänge) und Untergrundvorbehandlung mit HDW 750 bar und Lunkern- und Porenverschluss mit ECC-Mörtel oder Epoxidharz-Kratzspachtelung.

**ABKÜRZUNGEN**

Siehe Legende Objektmatrix

**ZUSTAND**  
V Vor Instandsetzung  
N Nach Instandsetzung

**LEGENDE**

 Mangelhaft  
irregulär  
 Bei diesem Objekt nicht ausgeführt bzw. nicht relevant

Dicht   
Wenig undicht   
Mässig undicht   
Stark undicht 

1) Anteil Undichtigkeiten total (Schwarze Felder): 25.0 %

**SYSTEM-MATRIX**

**27 Tondichtungsbahnen**

TDB

OBJEKT	Jahr	FLÄ B	FLÄ W	FLÄ D	FUG	Ü B/W	Ü W/D	Ü KK	Ü POR	ENTW	DRAIN	UNT	ZUST		
													V	N	
Sickerwasser													1)		
27.02	1999														
27.04	2001														

	27.01	1999													
	27.03	2002													

ERKENNTNISSE	Planung	Details, Schutzmassnahmen bei Etappierung
	Material	Dünne KDB als Träger, Verträglichkeit: < 5 pH > 11 mit Zementwasser.
	Ausführung	Keine Verschweissung, therm. bedingte Wellenbildung, Schutz
	Schaden	Nischen und Übergänge
	Unterhalt	Langzeitverhalten, Wurzelbeständigkeit

**BEMERKUNGEN**

Die KDB ist zu verschweissen, dies bedingt dickere KDB als Träger. Verlegetechnik optimieren, Schweissttechnik entwickeln, Verträglichkeit mit Zementwasser: bei < 5 pH > 11 nicht beständig (reduzierte Quellfähigkeit). Bei geeigneten Konstruktionen kann eine durchfeuchtete TDB abgleiten und muss gesichert werden. Temperaturunterschiede beim Verlegen können Spannungen an Aufbordungen oder bei Nischen erzeugen (Hoher Ausdehnungskoeffizient der KDB).

**ABKÜRZUNGEN** Siehe Legende Objektmatrix

LEGENDE		Mangelhaft	<table border="1"> <tr> <td colspan="2" style="text-align: center;"><b>ZUSTAND</b></td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">V</td> <td style="text-align: center;">Vor Instandsetzung</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">N</td> <td style="text-align: center;">Nach Instandsetzung</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">Dicht</td> <td style="text-align: center;"><input type="checkbox"/></td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">Wenig undicht</td> <td style="text-align: center;"><input type="checkbox"/></td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">Mässig undicht</td> <td style="text-align: center;"><input type="checkbox"/></td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">Stark undicht</td> <td style="text-align: center;"><input type="checkbox"/></td> </tr> </table>	<b>ZUSTAND</b>		V	Vor Instandsetzung	N	Nach Instandsetzung	Dicht	<input type="checkbox"/>	Wenig undicht	<input type="checkbox"/>	Mässig undicht	<input type="checkbox"/>	Stark undicht	<input type="checkbox"/>
	<b>ZUSTAND</b>																
	V	Vor Instandsetzung															
N	Nach Instandsetzung																
Dicht	<input type="checkbox"/>																
Wenig undicht	<input type="checkbox"/>																
Mässig undicht	<input type="checkbox"/>																
Stark undicht	<input type="checkbox"/>																
	Mängelfrei																
	Bei diesem Objekt nicht ausgeführt bezw. nicht relevant																

1) Anteil Undichtigkeiten total (Schwarze Felder): 9.3 %

30.01.03 fl/24.03.03 ZY



## **Anhang 4**

- **Mängelquote nach Bauteil**
- **Mängelquote nach Bauphase**

### Mängelquote nach Bauteil

BAUTEILE																			UNT'H.							
FLÄ B	FLÄ W	FLÄ D	FUG	Ü B/W	Ü W/D	Ü KK	Ü POR	ENTW	DRAIN										TOTAL							
Merkmale																			SYSTEM							
	Alle	rot	Alle	rot	Alle	rot	Alle	rot	Alle	rot	Alle	rot	Alle	rot	Alle	rot	Alle	rot	Alle	rot	Alle	rot				
11	WDB	9	3	9	2	9	1	9	4	9	3	9	2	0	0	9	0	3	0	4	0	9	0	79	15	19,0 %
21	BDB	2	0	7	1	10	1	10	8	2	1	10	7	3	2	10	1	8	0	7	1	10	0	79	22	27,8 %
22	PBD	7	0	8	1	10	1	10	2	7	1	10	3	1	1	10	1	3	0	3	0	5	0	74	10	13,5 %
23		2	0	9	0	9	5	9	2	2	1	6	3	8	2	9	3	7	1	7	0	9	0	77	17	22,1 %
24		0	0	9	0	9	1	9	2	0	0	9	1	3	2	8	0	9	1	9	0	9	1	74	8	10,8 %
25		7	7	8	4	8	2	8	4	7	5	8	0	0	0	8	0	1	0	1	0	8	0	64	22	34,4 %
26	FLK	0	0	4	2	4	2	4	0	4	2	4	0	2	0	4	0	4	1	2	1	4	0	36	8	22,2 %
27	TDB	2	0	4	0	4	4	4	0	3	2	4	2	0	0	4	0	2	0	2	0	4	0	33	8	24,2 %
TOTAL		29	10	58	10	63	17	63	22	34	15	60	18	17	7	62	5	37	3	35	2	58	1			

FLÄCHEN		DETAILS		ENTWÄSSER.	UNT'H.
Alle Merkmale	150		236	72	58
Anzahl Mängel	37		67	5	1
Mängelquote in %	24,6		28,4	6,9	0,2

**Erläuterungen:**

Definitionen: Die Mängelquote ist der Quotient aus der Summe der Anzahl Mängel (rote Felder) eines Bauteils und der Summe aller erfassten Merkmale eines Bauteils aller Systeme (Zusammenzug unten).

Im Zusammenzug rechts ist die Mängelquote eines Systems bezogen auf die Bauteile berechnet. Die Daten sind den Systemmatrizen im Anhang 3 entnommen.

Beispiel: Im System WDB sind beim Bauteil Boden total (alle Objekte) 9 Merkmale erfasst. Davon sind 3 mangelhaft (rote Felder). Siehe System-Matrix 11 WDB im Anhang 3.

Alle Abdichtungssysteme ergeben 29 Merkmale und 10 Mängel. Ergibt für alle Flächen (Boden/Wand/Decke) 150 Merkmale und 37 Mängel.

Abkürzungen siehe Legende im Anhang 2

## Mängelquote nach Bauphasen

	PLANUNG				AUSFÜHRUNG								TOTAL			
	Konstr		Detail		U'grund		Material		Ausf		Prüf		SYSTEM			
	Alle	rot	Alle	rot	Alle	rot	Alle	rot	Alle	rot	Alle	rot	Alle	rot		
11	WDB	75	9	75	14	66	0	68	9	73	11	67	5	424	48	11,3 %
21	BDB	79	21	79	23	53	11	70	9	79	11	48	8	408	83	20,3 %
22	PBD	74	5	74	4	61	5	69	6	74	6	57	5	409	31	7,7 %
23		73	13	66	15	50	6	66	3	73	9	46	4	374	50	13,4 %
24		77	3	77	4	50	1	68	0	77	4	42	2	391	14	3,6 %
25		66	0	66	7	56	1	58	4	66	23	58	5	370	40	10,8 %
26	FLK	36	4	36	7	24	6	32	8	36	6	24	6	188	37	19,7 %
27	TDB	31	0	30	1	24	0	28	14	30	5	28	0	171	20	11,7 %
TOTAL		511	55	503	75	384	30	459	53	508	75	370	35			
PHASE		10,7 %		14,9 %		7,8 %		11,5 %		14,7 %		9,4 %				

### Erläuterungen

Definitionen: Die Mängelquote ist der Quotient aus der Summe der Anzahl Mängel (rote Felder) einer Bauphase und der Summe aller erfassten Merkmale einer Bauphase aller Systeme (Zusammenzug unten).

Im Zusammenzug rechts ist die Mängelquote eines Systems bezogen auf die Bauphasen berechnet. Die Daten sind den Objektmatrizen entnommen (Datenbank alle Objekte).

Beispiel: Im System WDB sind in der Bauphase Konstruktion total (alle Objekte) 75 Merkmale erfasst. Davon sind 9 mangelhaft (rote Felder). Details in den Objekt-Matrixen.  
Alle Abdichtungssysteme ergeben 511 Merkmale und 55 Mängel.



## **Anhang 5**

- **Übersichtsmatrix**
- **Gesamtmatrix "Abdichtungen Tagbautunnel von 1970 – 2002"**

## Übersichtsmatrix

	PLANUNG				AUSFÜHRUNG				UNT'H	ZUSTAND										
	Sickerwasser									VOR INSTA				NACH INSTA						
11	WDB	11.05				11.05				11.05					11.05					
21	BDB	21.02	21.03	21.04	21.05	21.02	21.03	21.04	21.05		21.02	21.03	21.04	21.05	21.02	21.03	21.04	21.05		
		21.06	21.07	21.08	21.10	21.06	21.07	21.08	21.10		21.06	21.07	21.08	21.10	21.06	21.07	21.08	21.10		
22	PBD	22.01	22.06	22.08		22.01	22.06	22.08			22.01	22.06	22.08		22.01	22.06	22.08			
23		23.01	23.04	23.05	23.06	23.01	23.04	23.05	23.06		23.01	23.04	23.05	23.06	23.01	23.04	23.05	23.06		
		23.07	23.08	23.09		23.07	23.08	23.09			23.07	23.08	23.09		23.07	23.08	23.09			
24		24.01	24.02	24.03	24.04	24.05	24.01	24.02	24.03	24.04	24.05	24.01	24.02	24.03	24.04	24.05	24.01	24.02	24.03	24.04
		24.06	24.07	24.08	24.09		24.06	24.07	24.08	24.09		24.06	24.07	24.08	24.09	24.06	24.07	24.08	24.09	
25		25.07				25.07					25.07				25.07					
26	FLK	26.01	26.02	26.03	26.04	26.01	26.02	26.03	26.04		26.01	26.02	26.03	26.04	26.01	26.02	26.03	26.04		
27	TDB	27.02	27.04			27.02	27.04				27.02	27.04			27.02	27.04				
Druckwasser										1)										
11	WDB	11.01	11.02	11.03	11.04	11.01	11.02	11.03	11.04		11.01	11.02	11.03	11.04	11.01	11.02	11.03	11.04		
		M 2) F	F 2) M																	
		11.06	11.07	11.08	11.09	11.06	11.07	11.08	11.09		11.06	11.07	11.08	11.09	11.06	11.07	11.08	11.09		
		2) F	2) F	2) F	2) F															
21	BDB	21.01	21.09			21.01	21.09				21.01	21.09			21.01	21.09				
22	PBD	22.02	22.03	22.04	22.05	22.02	22.03	22.04	22.05		22.02	22.03	22.04	22.05	22.02	22.03	22.04	22.05		
		22.07	22.09	22.10		22.07	22.09	22.10			22.07	22.09	22.10		22.07	22.09	22.10			
23		23.02	23.03			23.02	23.03				23.02	23.03			23.02	23.03				
25		25.01	25.02	25.03	25.04	25.01	25.02	25.03	25.04		25.01	25.02	25.03	25.04	25.01	25.02	25.03	25.04		
		25.05	25.06	25.08		25.05	25.06	25.08			25.05	25.06	25.08		25.05	25.06	25.08			
27	TDB	27.01	27.03			27.01	27.03				27.01	27.03			27.01	27.03				

Objekte mit Instandsetzung 1) Unterhalt: SiW = Reinigung Entwässerung, DrW = Leckwasserableitung oder Nachinjektionen

05.11.03/ZY

2) Decken und teilweise Wände mit BDB/PBD abgedichtet

M Monolithische Bauweise ohne Fugen, F Bauweise mit Fugen, z.T. AF





## **Anhang 6**

- **Hinweise für die Ausführung von Abdichtungen**

## Hinweise für die Ausführung von Abdichtungen

Diese Hinweise sind ein Zusammenzug der in diesem Bericht beschriebenen Erfahrungen sowie von Normen und Richtlinien, welche sich zur Zeit teilweise in Überarbeitung befinden. Sie sind verfasst worden von Hanspeter Olbrecht, EMPA Dübendorf und Peter Zwicky, Präsident der SIA Kommission 272, Sarnen.

### A. Allgemeine Hinweise

#### Untergrund

Für wasserdichte Betonkonstruktionen und Abdichtungssysteme ohne Verbund (Kunststoff-Dichtungsbahnen, Tondichtungsbahnen) gelten in der Fläche die Anforderungen gemäss Typ I im Anhang 3. Bei Tondichtungsbahnen ist die Zementhaut zu entfernen.

Für Systeme mit Verbund (Polymerbitumen-Dichtungsbahnen, Kunststoff-Dichtungsbahnen verklebt und Flüssigkunststoffe) sowie für Randanschlüsse, Fugen, geklebte Abschottungen, Durchdringungen und dergl. gelten die Anforderungen gemäss Typ II.

Die Prüfungen am Untergrund erfolgen je nach System vor oder nach dem Einbau von Ausgleichsschichten.

#### Tabelle Anforderungen an den Untergrund

Die Anforderungswerte entsprechen denjenigen des NPK 172.

Eigenschaft	Typ I Lose verlegte Abdichtungen	Typ II Verbundabdichtungen
Festigkeit	<b>F</b> keine losen Bestandteile	Haftfestigkeit $\geq 1,5 \text{ N/mm}^2$
Rauhigkeit	<b>R</b> Rautiefe zwischen 1mm und 3 mm	Rautiefen zwischen 0,5 und 1,5 mm. Poren aufgeweitet
Ebenheit	<b>E</b> unter 2 m-Latte: $\leq 30 \text{ mm}$	unter 2 m-Latte: $\leq 10 \text{ mm}$
Sauberkeit	<b>S</b> kein Staub, Sand, Zementschlamm	kein Staub, Sand, Zementschlamm, Rost, lose Teile, Farbresten, Öl, Nachbehandlungsmittel, Strahlgut
Trockenheit	<b>T</b> kein fließendes und stehendes Wasser	trocken. Restfeuchte im Untergrundmaterial $\leq 4 \text{ Masse-\%}$ . Wasseraufnahmekoeffizient von Untergrundmaterial bei zementgebundenen Ausgleichsschichten nach DIN 52 617: $W \leq 0,1 \text{ kg/m}^2\sqrt{\text{h}}$

#### Ausgleichsschichten und Trennlagen

Trennlagen sind erforderlich, wenn sich ein Verbund zwischen Untergrund und wasserdichter Betonkonstruktion nachteilig auf das Schwind- und Zwängungsverhalten auswirkt und dadurch Risse entstehen können.

Ausgleichsschichten sind erforderlich, wenn die Rauhigkeit (Rautiefe) oder die Unebenheit für den Einbau einer Dichtungsschicht zu gross ist. Bei Verbundabdichtungen dürfen Ausgleichsschichten nicht zu Unterläufigkeiten führen. Für zementgebundene Ausgleichsschichten gilt ein Wert für den Wasseraufnahmekoeffizienten nach DIN 52 617 von  $\leq 0,1 \text{ kg/m}^2\sqrt{\text{h}}$ .

#### Risse und Rissbreitenänderungen

Die zu erwartenden Rissbreiten und die Änderungen von Rissbreiten in der Unter- und Tragkonstruktion infolge Temperaturänderungen, Bewegungen (Setzungen) und dergl. sind im Projekt zu definieren. Sie müssen konstruktiv so beherrscht werden, dass die zulässigen Rissbreiten und Rissbreitenänderungen der Abdichtungssysteme nicht überschritten werden. Dies gilt insbesondere für die Rissverpressungen mit Kunstharz und für Flüssigkunststoffe.

## **Anschlüsse**

Bei Anschlüssen an andere Bauteile oder Abdichtungssysteme sind geeignete Massnahmen zu treffen, damit die Dichtungsfunktion des ganzen Bauwerk oder Bauteils sichergestellt ist, z.B. mit der Anordnung von Fugen.

## **Fugen**

Es wird unterschieden zwischen Arbeitsfugen mit durchgehender Bewehrung und Bewegungsfugen ohne durchgehende Bewehrung.

Die Fugenbewegungen müssen für beide Arten von Fugen im Projekt definiert werden.

Die Fugenabdichtungen müssen auf der gleichen Abdichtungsebene liegen (aussen, mittig oder innen an der wasserdichten Betonkonstruktion).

Für das Abdichten von Fugen gelten die konstruktiven Anforderungen der Norm SIA 272.

## **Durchdringungen**

Durchdringungen müssen möglichst rechtwinklig durch die Betonkonstruktion geführt werden. Zu Fugen muss ein Mindestabstand von 250 mm eingehalten werden.

Durchdringungen müssen mit geeigneten Massnahmen wasserdicht an die Abdichtung angeschlossen werden.

Beim Konzept der Druckwasser haltenden Abdichtung sind für die Durchdringungsanschlüsse Klemmflanschen vorzusehen. Beim Konzept der nicht Druckwasser haltenden Abdichtung sind Manschetten oder Verklebungen möglich.

## **Schutzschichten**

In der Regel sind Schutzschichten für Dichtungsschichten und für Fugenabdichtungen erforderlich. Ausnahme: wasserdichte Betonkonstruktionen (Massnahmen für die Nachbehandlung des Betons gelten nicht als Schutzschichten).

Schutzschichten müssen die Dichtungsschicht vor mechanischen Einwirkungen schützen und im Falle von bituminösen Abdichtungen Schubkräfte aus Setzungen aufnehmen können, z.B. durch Verstärkung auf eine Dicke von 80 mm. Bei Schutzschichten auf der Trockenseite der Abdichtung muss die Umläufigkeit verhindert werden, z.B. mit Gussasphalt als Schutzschicht.

Beim Konzept mit nicht Druckwasser haltenden Abdichtungen dürfen keine zementgebundenen Schutzschichten verwendet werden. Damit werden Kalkablagerungen in den Entwässerungsleitungen verhindert.

Bei Systemen mit eingebauter Rückfallebene, z.B. Kunststoffdichtungsbahnen nachdichtbar oder verklebt und bei Tondichtungsbahnen (bei ausreichender Dicke der Trägerfolie) können die Anforderungen an die Schutzschicht reduziert werden, z.B. Gummischrotmatten oder Vliese an Stelle von Schutzmörtel.

## **Rückfallebene**

Als Rückfallebene werden Verpressungen mit Injektionen in die Betonkonstruktion oder zwischen Betonkonstruktion und Dichtungsschicht sowie Leckwasserableitungen bezeichnet. Sie sind beim Konzept der Druckwasser haltenden Abdichtung in das Projekt aufzunehmen. Bei Injektionen in abgeschottete Felder ist sicherzustellen, dass der notwendige Gegendruck vorhanden ist und keine nachgiebigen Schichten eingebaut werden, welche ein Übermass an Injektionsgut erfordern.

## B. Hinweise zu den einzelnen Systemen

### Wasserdichte Betonkonstruktionen

- **Konstruktive Massnahmen:** Durchdringungen z. B. von Schalungsbindern, Dilatations- und vor allem Arbeitsfugen sind oft Ursachen von Undichtigkeiten. Art und Abstand der Fugen beeinflussen die Bildung von Rissen wesentlich. Deshalb sind geeignete Fugenausbildungen zu wählen. Eine Erhöhung der Wanddicke verringert die effektive Wasserleitfähigkeit des Bauteils.

Durch eine zweckmässige Bewehrung kann das Auftreten von breiten (Schwind-) Rissen stark reduziert werden. Einzelne Risse treten praktisch immer auf und können nachträglich injiziert werden. Bei Tagbautunnels ist zu beachten, dass nach 2 Jahren erst etwa ein Drittel der Schwindverformung eingetreten ist. Sind nun bei der Abnahme des Bauwerkes die vorhandenen Risse injiziert, so ist in den folgenden Jahren noch mit weiteren Rissen in Folge des fortschreitenden Schwindens zu rechnen.

Risse in der Betonkonstruktion können ab einer Breite von 0,1 mm wasserführend sein. Grössere Risse sind mittels entsprechender Bewehrung zu vermeiden. Siehe Norm SIA 262 Art. 4.4.2. Die Betonieretappen sind im Projekt zu definieren.

- **Betonrezept:** Wassorzementwert und Zementdosierung sind so zu wählen, dass der Zementleim die Hohlräume im Zuschlag zu füllen vermag. Der Beton soll gut verarbeitbar sein, so dass er mit vernünftigem Aufwand eingebaut werden und das Auftreten von Kiesnestern auf ein Minimum beschränkt werden kann.

Damit eine gute Verarbeitbarkeit gewährleistet ist, sind in der Regel Zusatzmittel zu verwenden. Die Verarbeitbarkeit des Betons wird jedoch auch stark durch die Korngrößenverteilung und die Kornform des Zuschlages bestimmt. Deshalb kann nicht allgemein gesagt werden, unterhalb welchem WZ-Wert Zusatzmittel für eine genügende Verarbeitbarkeit des Betons angezeigt sind. Der Einsatz hoher Zusatzmitteldosierungen (und einhergehend geringerer Wasserdosierung) kann über die Festigkeitsentwicklung und das Schwinden zu nachteiligen Rissbildern führen. Übertriebene Anforderungen an  $q_w$  sind daher zu vermeiden.

- **Verarbeitung:** Durch fachmännisches Einbringen des Betons, optimale Nachbehandlung und zweckmässige Wahl der Fugenabstände kann das Auftreten von undichten Stellen stark reduziert werden. Beim Verdichten des Betons muss darauf geachtet werden, dass der Beton nicht übervibriert wird, da sonst mit Entmischungserscheinungen zu rechnen ist.
- **Nachbehandlung:** Mit der Nachbehandlung des Betons (Feuchthalten) ist frühzeitig zu beginnen, denn sie hat einen grossen Einfluss auf das Schwindverhalten und damit auf die Entstehung von Schwindrissen. Durch eine sorgfältige Nachbehandlung lassen sich die Schwindrisse stark reduzieren aber nicht vollständig verhindern.
- **Abnahme des Bauwerks:** Vor der Abnahme eines Bauwerks sind die Betonflächen, die mit Wasser in Berührung kommen, genau auf Risse und Fehlstellen zu kontrollieren. Allfällige Schwindrisse sind wenn möglich auf der Wasserseite abzukleben und so abzudichten.

Ebenso sind alle Fugen soweit möglich auf Wasserdichtigkeit zu prüfen und bei Undichtheit mit einer zusätzlichen Membrandichtung abzudichten.

### **Polymerbitumen-Dichtungsbahnen**

Für Dichtungsschichten, welche als Verbundabdichtung eingebaut werden, sind eine Untergrundvorbehandlung mittels Hochdruck-, Sand-, oder Kugelstrahlen, Ausgleichsschichten und ein Haftvermittler erforderlich. Zementgebundene Ausgleichsschichten müssen zur Verhinderung der Unterläufigkeit einen Wasseraufnahmekoeffizienten von  $< 0.1 \text{ kg/m}^2/\text{h}$  aufweisen.

Die Schichtdicken einer Dichtungsschicht aus Polymerbitumen-Dichtungsbahnen sollen mindestens 5 mm bei nicht drückendem Wasser und 10 mm bei drückendem Wasser betragen [N 12].

Risse und Rissbreitenänderungen in der Unter- und der Tragkonstruktion dürfen in und quer zur Abdichtungsebene nicht grösser sein als  $1/3$  bzw.  $1/5$  der Schichtdicke der Dichtungsschicht.

Richtwerte für zulässige Druckspannungen:

In der Regel  $0.8 \text{ MN/m}^2$  bei Massnahmen gegen ausquetschen  $1.2 \text{ MN/m}^2$

Dichtungsschichten aus Polymerbitumen-Dichtungsbahnen können keine Schubkräfte übertragen. Bei Schubeinwirkungen auf die Abdichtungsebene sind konstruktive Massnahmen zu treffen, welche solche Einwirkungen verhindern, z.B. Schubnocken oder Schubdorne.

Randanschlüsse müssen mit Anschlussbändern mit Epoxidharz-Kleberand oder mit Flüssigkunststoff ausgeführt werden.

### **Kunststoff-Dichtungsbahnen**

Für Dichtungsschichten und Abschottbänder, welche als Verbundabdichtung auf die Tragkonstruktion eingebaut werden, sind eine Untergrundvorbehandlung mittels Hochdruck-, Sand-, oder Kugelstrahlen, Ausgleichsschichten und ein Haftvermittler erforderlich. Die Prüfungen am Untergrund erfolgen nach dem Einbau der Ausgleichsschicht. Zementgebundene Ausgleichsschichten müssen zur Verhinderung der Unterläufigkeit einen Wasseraufnahmekoeffizienten von  $< 0.1 \text{ kg/m}^2/\text{h}$  aufweisen.

Bei der losen Verlegung werden Ausgleichsschichten verlegt. Sie können auch die Funktion als Drainageschicht übernehmen.

Die Stösse von Ausgleichs- und Drainageschicht sind mindestens 10 cm zu überlappen und zu verkleben..

Bei einlagigen Abdichtungen mit Abschottungen, bei denen ein nachträgliches Abdichten mittels Injektionen vorgesehen ist, sind keine Ausgleichsschichten aus Geotextilien zugelassen.

Die Mindestschichtdicken einer Dichtungsschicht aus Kunststoff-Dichtungsbahnen betragen: 2.0 mm bei nicht drückendem Wasser und 3 mm bei drückendem Wasser.

Bei verklebten KDB dürfen Risse und Rissbreitenänderungen in der Unter- und der Tragkonstruktion in und quer zur Abdichtungsebene nicht grösser sein als  $1/2$  bzw.  $1/3$  der Schichtdicke der Dichtungsschicht.

Richtwerte für zulässige Druckspannungen: In der Regel  $2.0 \text{ MN/m}^2$  bei Massnahmen gegen ausquetschen  $3.0 \text{ MN/m}^2$

Dichtungsschichten aus lose verlegten Kunststoff-Dichtungsbahnen können keine Schubkräfte übertragen. Bei Schubeinwirkungen auf die Abdichtungsebene sind konstruktive Massnahmen zu treffen, welche solche Einwirkungen verhindern, z.B. Schubnocken oder Schubdorne. Bei Abdichtungen mit Verbund ist die Übertragung von Schubkräften abhängig von der Art des Klebers. Die Übertragung von Schubkräften ist nachzuweisen.

Randanschlüsse müssen mit Anschlussbändern mit Epoxidharz-Kleberand oder mit Flüssigkunststoff ausgeführt werden.

### **Flüssigkunststoffe**

Für Dichtungsschichten sind eine Untergrundvorbehandlung mittels Hochdruck-, Sand-, oder Kugelstrahlen, Ausgleichsschichten und ein Haftvermittler erforderlich. Die Prüfungen am Untergrund erfolgen nach dem Einbau der Ausgleichsschicht. Zementgebundene Ausgleichsschichten müssen zur Verhinderung der Unterläufigkeit einen Wasseraufnahmekoeffizienten von  $< 0.1 \text{ kg/m}^2/\text{h}$  aufweisen.

Die Mindestschichtdicken einer Dichtungsschicht aus Flüssigkunststoff betragen: 2.0 mm in zwei Schichten bei nicht drückendem Wasser und 3.0 mm in zwei Schichten bei drückendem Wasser.

Risse und Rissbreitenänderungen in der Betonkonstruktion und in der Unterkonstruktion dürfen in und quer zur Abdichtungsebene nicht grösser sein als  $1/5$  bzw.  $1/10$  der Schichtdicke.

Richtwert für zulässige Druckspannungen: In der Regel  $2.0 \text{ MN/m}^2$

Dichtungsschichten aus Flüssigkunststoffen können Schubkräfte übertragen. Bei Schubeinwirkungen auf die Abdichtungsebene ist mit Haftvermittlern die Schubkraftübertragung sicherzustellen und nachzuweisen.

Randanschlüsse und Anschlüsse an Durchdringungen müssen mit Flüssigkunststoff an die Dichtungsschicht angeschlossen werden.

### **Ton-Dichtungsbahnen**

Untergrundvorbehandlung: Die Zementhaut muss entfernt werden.

Die Schichtdicken der quellenden Dichtungsschicht aus Ton soll mind. 6 mm bei nicht drückendem Wasser und 8 mm bei drückendem Wasser betragen. Die Dicke der Trägerfolie muss auf die Rauigkeit des Untergrunds abgestimmt werden.

Risse und Rissbreitenänderungen in der Betonkonstruktion und in der Unterkonstruktion dürfen in und quer zur Abdichtungsebene nicht grösser sein als  $1/20$  bzw.  $1/50$  der Schichtdicke der Dichtungsschicht.

Richtwerte für zulässige Druckspannungen: In der Regel  $1.0 \text{ MN/m}^2$ , bei Massnahmen gegen Ausquetschen  $1.5 \text{ MN/m}^2$

Dichtungsschichten aus Ton-Dichtungsbahnen können keine Schubkräfte übertragen. Bei Schubeinwirkungen auf die Abdichtungsebene sind konstruktive Massnahmen zu treffen, welche solche Einwirkungen verhindern, z.B. Schubnocken oder Schubdorne.

Randanschlüsse und Anschlüsse an Durchdringungen sollen mit Flüssigkunststoff an die Dichtungsschicht angeschlossen werden. Die Verbindung zwischen den Ton-Dichtungsbahnen und den Dichtungsschichten aus Flüssigkunststoff muss mit gut haftenden Klebbändern ausgeführt werden.

Anschlüsse an Durchdringungen ab einer Wasserdruckhöhe von 1m müssen zusätzlich gedichtet werden z.B. mittels Dichtungsbändern aus Bentonit, Bentonitpasten oder gleichwertigen Stoffen.



