

## TORRENT Permeabilitäts-Tester



## A. Einleitung

Der TORRENT Permeability Tester ist ein Messgerät, das geeignet ist zur zerstörungsfreien Bestimmung der Luftdurchlässigkeit des Überdeckungsbetons.

Er arbeitet mit Vakuum und kann auf der Baustelle und auch im Labor eingesetzt werden.

Die wesentlichen Merkmale der TORRENT-Messmethode sind eine Zweikammer-Vakuumzelle und ein Druckregler, die für einen rechtwinklig zur Oberfläche gerichteten Luftstrom zur inneren Kammer sorgen. Dadurch wird die Berechnung des Permeabilitätskoeffizientes  $k_T$  auf der Basis eines theoretischen Modelles möglich.

Bei trockenem Beton zeigen die Resultate gute Übereinstimmung mit Labormethoden wie Sauerstoff-Permeabilität, Kapillarwasser-Saugfähigkeit, Chlorid-Permeabilität und anderen. In einer Tabelle bestimmt man aus  $k_T$  die Qualitätsklasse des Überdeckungsbetons.

Die Feuchtigkeit als Haupteinfluss auf die Permeabilität wird kompensiert, indem man zusätzlich noch den elektrischen Betonwiderstand  $\rho$  misst. Mit  $k_T$  und  $\rho$  erhält man aus einem Nomogramm die Qualitätsklasse.

Schematische Darstellung der Messeinrichtung:

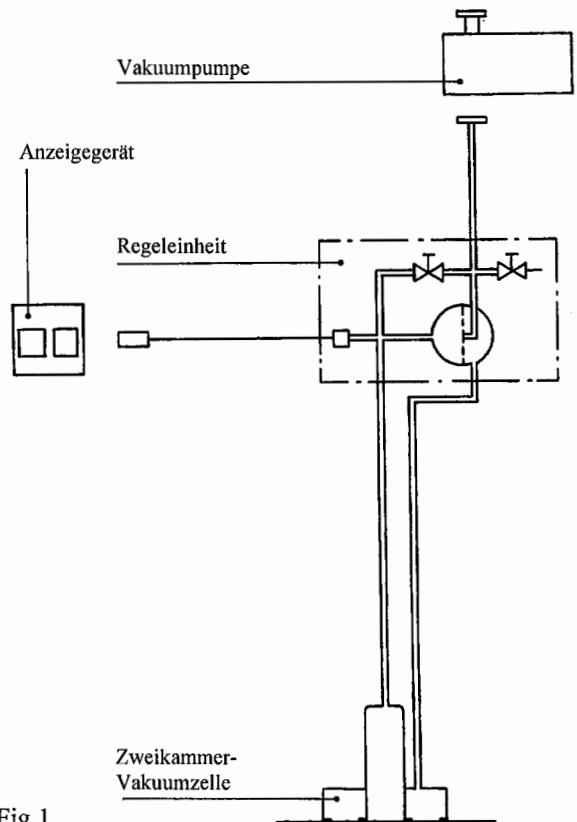
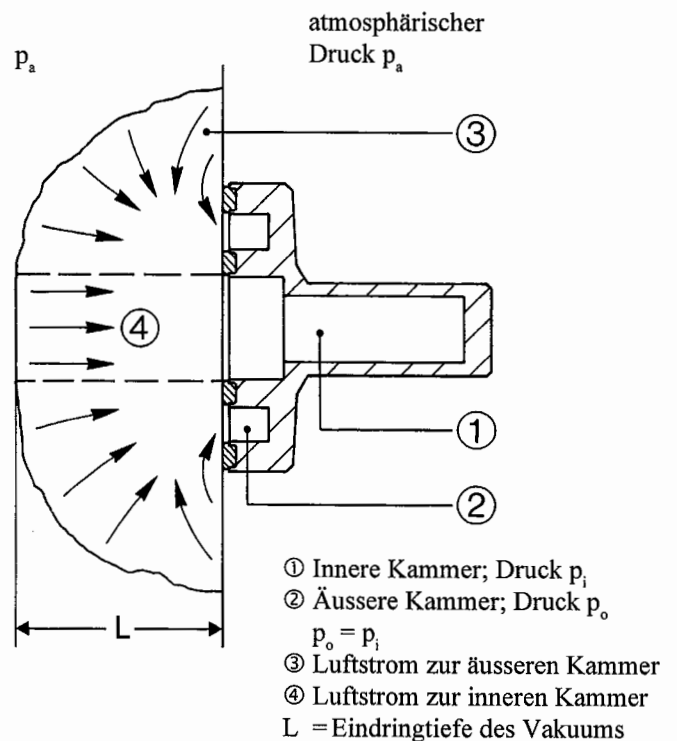
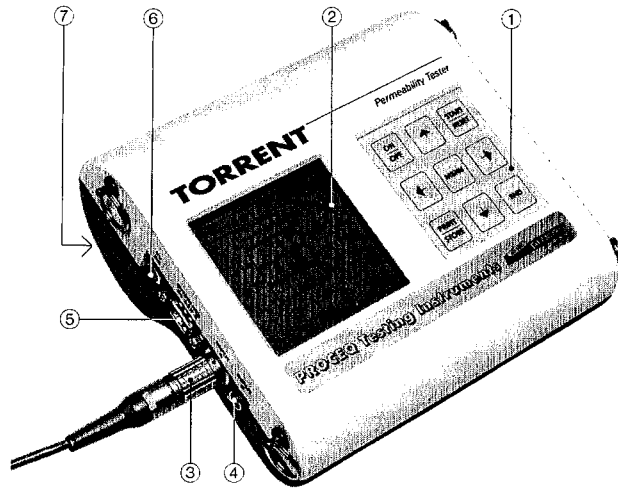


Fig. 1

Zweikammer-Vakuumzelle:

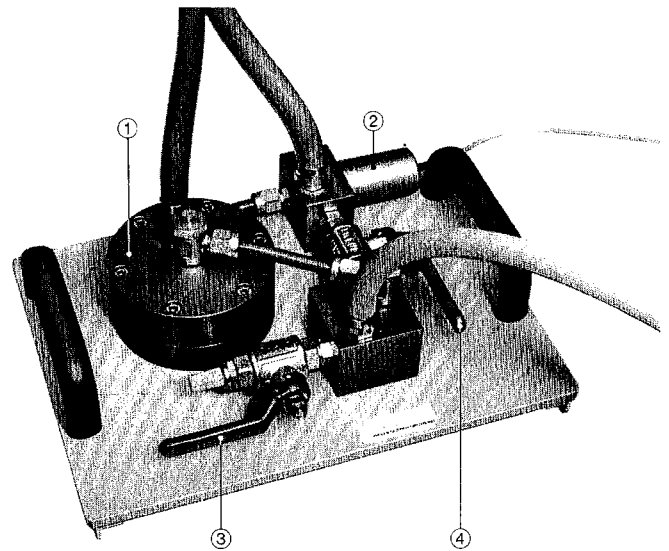


Elektronisches Anzeigerät:



- ① Bedienungsfeld
- ② Graphik-LCD
- ③ Input A
- ④ Input B
- ⑤ Signalausgang RS 232 C
- ⑥ Ext. Batterie-Anschluss 9 VDC
- ⑦ Batteriefach

Regeleinheit:



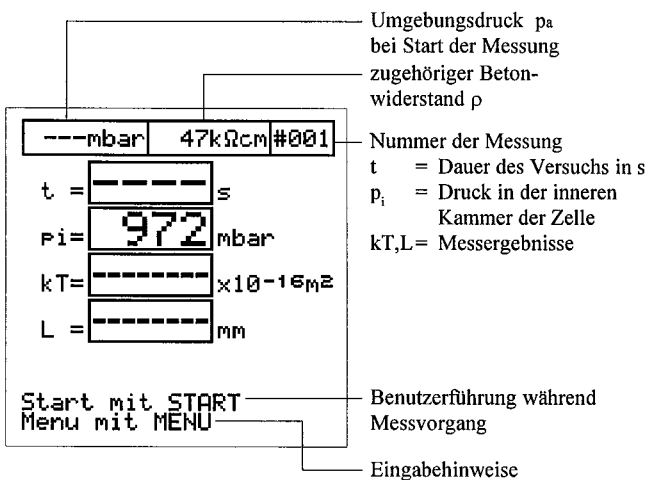
- ① Druckregler
- ② Druckaufnehmer
- ③ Roter Hahn
- ④ Blauer Hahn

## B. Bedienung des Gerätes

### 1. Anzeigerät

Taste "ON" drücken. Kurzzeitig wird die Serie Nr. des Gerätes, die installierte Softwareversion, ob der automatische Selbsttest o.k. ist und wie lange die Lebensdauer der Batterie noch beträgt angezeigt. Wenn keine Anzeige erscheint, sind die Batterien zu ersetzen.

Anschliessend erscheint das Messen-Bild:



### 2. Messen der Permeabilität

Messanordnung gemäss Fig. 1

Regeleinheit:

- beide Hahnen offen (horizontal)
- Kleinflansch an Vakuumpumpe anschliessen
- Stecker von Druckaufnehmer an Anzeigerät Input A anschliessen

Zur Erreichung des Betriebszustandes das Gerät ca. 10 min unter Vakuum setzen, d.h. Pumpe laufen lassen, roter Hahn zu, Vakuumzelle auf Beton. Entfernen der Vakuumzelle: blauen Hahn schliessen, roten und blauen Hahn öffnen.

Eine Messung wird immer nach dem gleichen Ablauf durchgeführt. Dazu folgt man den Anweisungen auf dem Display.

Vakuumpumpe starten.

Aktion:	Funktion/Erklärung:
Anzeigerät einschalten.	Durch die offene Vakuumzelle wird der Umgebungsdruck $p_a$ als $p_i$ angezeigt.
START-Taste drücken.	Die Messung-Nr. wird um 1 erhöht, falls unter der beim Einschalten angezeigten Nummer schon Messwerte vorhanden sind. Umgebungsdruck $p_a$ erscheint im Feld oben links. Gerät verlangt: "Schliesse roten Hahn".

Aktion:	Funktion/Erklärung:
Vakuumpzelle auf zu messende Oberfläche setzen. Roten Hahn schliessen.	$p_i$ beginnt kleiner zu werden. $t$ beginnt zu laufen. Nach $t = 30$ s verlangt Gerät: "Schliesse blauen Hahn"; 5 s danach: "Öffne blauen Hahn". Dies wird zur Aktivierung des Druckreglers durchgeführt.
Schliessen und Öffnen des blauen Hahns.	Bei $t = 55$ s ertönt Pieps zur Bereitstellung für das Schliessen des blauen Hahns bei $t = 60$ s. Von diesem Zeitpunkt an wird $\Delta p_i =$ gemessener Druckanstieg in mbar angezeigt.
Schliessen des blauen Hahns.	Die <b>Messung wird automatisch beendet</b> und $kT$ und $L$ berechnet, wenn: effektiver Druckanstieg = gemessener Druckanstieg – kalibrierter Druckverlust $\geq 20$ mbar, oder $t = 720$ s.
Drücken der END-Taste bewirkt Abbruch der Messung.	Es werden keine Werte gespeichert und nichts berechnet.
Zum Entfernen der Vakuumpzelle von der Betonoberfläche zuerst <b>roten</b> , dann <b>blauen</b> Hahn öffnen. Pumpe erst abschalten, nachdem die Hahnen geöffnet wurden!	Dadurch werden beide Kamern belüftet.  Ein Rücksteigen des Pumpenöls in die Ansaugleitung wird so verhindert.

### 3. Menüpunkte

<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Datenausgabe</li> <li>□ Messung-Nr.</li> <li>□ Elektr. Widerstand</li> <li>□ Kalibrierung</li> <li>□ Gerätekonstanten</li> <li>□ Sprache/Language</li> </ul> <p>Auswahl mit <math>\uparrow\downarrow</math> Start mit START Ende mit END</p>	<p>Durch Drücken der MENU-Taste erscheint nebenstehende Liste. Auswahl mit <math>\uparrow\downarrow</math> und START. Drücken von END führt zum Messen-Bild.</p>
---	--

### 4. Messung-Nr.

Einstellung gemäss Hinweise unten auf Display. Die Nummer wird für die anschliessende Messung automatisch um 1 erhöht.

## 5. Elektrischer Widerstand $\rho$

Elektr. Widerstand	
<input type="checkbox"/> Manuelle Eingabe	$\rho = 047 \text{ k}\Omega\text{cm}$
<input type="checkbox"/> Wenner Messung	
<input type="checkbox"/> Mittelwert löschen	$\rho = 27 \text{ k}\Omega\text{cm} \text{ 100\%}$
	$\bar{\rho} = 32 \text{ k}\Omega\text{cm}$
	3 Messungen
Speichern mit STORE Ende mit END	

Es wird der elektrische Betonwiderstand in  $\text{k}\Omega\text{cm}$  verwendet, wie er nach der Methode von Wenner bestimmt wird.

5.1 Wird der elektrische Widerstand mit einem separaten Gerät gemessen, kann  $\rho$  manuell eingegeben werden: Cursor auf "Manuelle Eingabe" setzen und START-Taste drücken. Wert eingeben und durch Drücken der END-Taste abschliessen.

#### 5.2 Messen mit Widerstandssonde WENNER-PROCEQ:

- Löschen eines vorhandenen Mittelwertes geschieht durch Setzen des Cursors auf "Mittelwert löschen" und drücken der START-Taste.

- Sonde an Anzeigegerät Input B anschliessen. Die vier Schaumstoffe mit Wasser befeuchten, damit der elektrische Kontakt zum Beton ermöglicht wird. "Wenner Messung" wählen und START drücken.

Kontaktpunkte der Sonde auf den Beton setzen. Das Gerät misst den Widerstand und zeigt ihn bei  $\rho$  an. Daneben wird eingeblendet, wieviel % des Nennstromes unter den vorliegenden Bedingungen durch den Beton fliesst.

Ist der Messwert stabil, wird er durch Drücken von STORE gespeichert und als neuer Mittelwert  $\bar{\rho}$  angezeigt bzw. zu den schon gespeicherten Werten einer Messstelle addiert und der sich ergebende  $\bar{\rho}$  angezeigt. Max. Anzahl Einzelwiderstände = 24.

Das Erfassen dieser Widerstandswerte wird ebenfalls durch Drücken der END-Taste abgeschlossen.

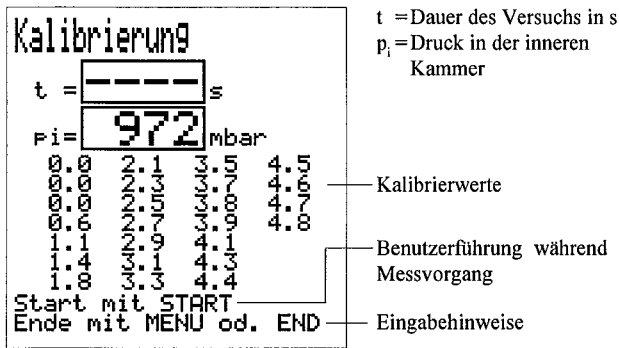
Erscheint der Hinweis "Messung ungenau" heisst das, dass die Befeuchtung der vier Kontaktpunkte der Sonde ungenügend oder der Beton sehr trocken und somit  $\rho$  sehr gross ist.

5.3 Im Messen-Bild und bei den gespeicherten Daten einer Messstelle erscheint der manuell eingegebene bzw. der mit der PROCEQ Sonde gemessene Widerstand  $\rho$ , je nach Ort, an dem der Cursor beim Verlassen der Widerstandsmessfunktion steht.

#### Hinweis:

Die angeschlossene Widerstandssonde verbraucht Strom, auch wenn nicht gemessen wird. Stecker am Anzeigegerät herausziehen, wenn Sonde nicht im Einsatz.

## 6. Kalibrierung



Bei der Kalibrierung wird der Druckverlust des Geräts gemessen. Die Vakuumpzelle wird dabei auf die im grossen Koffer eingeklebte, polierte Stahlplatte gesetzt. Die Durchführung der Kalibrierung erfolgt dann wie beim Messen (siehe B. 2). Der Druckanstieg wird in Intervallen von 30 s gemessen und gespeichert. Dieser Druckverlust wird bei jeder Messung automatisch subtrahiert.

### Durchführung der Kalibrierung

Gerät anschliessen.	$p_i$ wird angezeigt.
START-Taste drücken.	Unten angezeigte Kalibrierwerte verschwinden.
Weiterer Ablauf der Kalibrierung wie beim Messen.	Die Kalibrierwerte werden aus dem Speicher gelöscht, sobald $t$ zu laufen beginnt. Dauer der Kalibrierung $t = 720$ s.

## 7. Gerätekonstanten

Die Liste zeigt die Werte der Konstanten, die in der Berechnung von  $kT$  und  $L$  verwendet werden. Sie sind nicht veränderbar. Darunter steht der Code der Widerstandssonde WENNER-PROCEQ. Die Einstellung **muss identisch** sein mit Code auf Sonde. Änderung gemäss Hinweise unten auf Display.

## 8. Datenausgabe

### 8.1 Daten anzeigen:

Die Hauptdaten einer Messung werden auf einer Seite angezeigt. Mit den Tasten  $\uparrow$   $\downarrow$  kann zur vorherigen bzw. nachfolgenden Messung geblättert werden.

Die zugehörigen Hilfsdaten befinden sich auf der Seite rechts daneben und erscheinen durch Drücken der Taste  $\Rightarrow$ . Es sind dies: Messzeit und effektiver Druckanstieg in Intervallen von 60 s.

### 8.2 Daten an Drucker:

Der Ausdruck kann mit allen handelsüblichen Druckern mit serieller Schnittstelle ausgeführt werden. Printer-kabel: Art. Nr. 330 00 460.

Drucker gemäss separater Bedienungsanleitung betriebsbereit machen und am Anzeigegerät anschliessen. Durch Drücken der START-Taste bei "Daten an Drucker" werden alle Objekte übertragen und der Reihe nach ausgedruckt.

### Ausdruck eines Objekts:

#015		Datenformat: 9600 Baud
Rho	= 39	8 Datenbits
pa	= 965.3	1 Stopbit
tmax	= 450	keine Parität
dpmax	= 20.4	
		-16 2
kT	= 0.873*10	m
L	= 50.3	mm

### 8.3 Daten an PC:

Datenübertragung Anzeigegerät TORRENT zu PC unter WINDOWS 3.1 (WIN 95 siehe nächste Seite)

- Anzeigegerät vorbereiten:  
Serieller Port (COM1) des PC mit dem Transferkabel Art. Nr. 33000269 mit der seriellen Schnittstelle des Anzeigegeräts verbinden. Anzeigegerät einschalten und Menüpunkt "Datenausgabe" anwählen.
- PC vorbereiten:
  - WINDOWS 3.1 starten.
  - Verzeichnis C:\TORRENT erzeugen.
  - Gruppe "Zubehör" starten.
  - Hilfsprogramm "Terminal" starten.
  - In der Menüleiste "Einstellungen" anwählen.
  - "Datenübertragung" auswählen.
  - Folgende Parameter im Datenübertragungsfenster einstellen:
 

Anschluss	: COM1
Übertragungsrate (Baud)	: 9600
Datenbits	: 8
Stopbits	: 1
Parität	: keine
Protokoll	: Xon / Xoff
  - In Menüleiste "Übertragung" auswählen.
  - "Textdatei empfangen" auswählen.
  - Folgende Angaben in der Dialogbox "Textdatei empfangen":
 

Verzeichnis wählen	: C:\TORRENT
Dateiname eingeben	: z. B. TORR1.TXT

Durch das Betätigen der "OK" Taste wurde der PC gleichzeitig auf Empfang geschaltet, zur Kontrolle erscheinen am unteren Rand des Text-Fensters die Angaben: "Byte = 0" und "Empfängt: TORR1.TXT".

- Übertragung starten:  
Im Anzeigegerät den Cursor im Menü "Datenausgabe" auf den Punkt "Daten an PC" setzen. Mit der Taste START wird die Datenübertragung gestartet und der gesamte Speicherinhalt wird übertragen. Am Bildschirm werden die empfangenen Zeichen dargestellt.

- Nachdem Übertragung beendet wurde:
  - Im Menü "Übertragung" "Abbrechen" wählen.
  - Im Menü "Datei" "Beenden" wählen.
  - Die evt. erscheinende Frage "Möchten Sie die Einstellungsänderungen speichern?" mit "Nein" bestätigen.
  - Die Daten werden in der zuvor angegebenen Datei TORR1.TXT gespeichert und sind für die Weiterverarbeitung in Form einer Textdatei bereit.
- Daten anzeigen:
  - Die übertragenen Daten können mit jedem Texteditor oder Textverarbeitungsprogramm angezeigt werden.

**Datenübertragung Anzeigegerät TORRENT zu PC unter WINDOWS 95**

- Anzeigegerät vorbereiten:
  - Serieller Port (COM1) des PC mit dem Transferkabel Art. Nr. 33000269 mit der seriellen Schnittstelle des Anzeigegeräts verbinden. Anzeigegerät einschalten und Menüpunkt "Datenausgabe" anwählen.
- PC vorbereiten:
  - WINDOWS 95 starten.
  - Beim ersten Mal:
    - Verzeichnis C:\TORRENT erzeugen.
    - Öffnen von "Programm" → "Zubehör" → "HyperTerminal".
    - "Hypertrm" starten.
    - Kein Modem installieren.
    - Name "TORRENT" eingeben und Icon wählen.
    - Mit "OK" bestätigen.
    - Menü "Direktverbindung über Com1" wählen.
    - Mit "OK" bestätigen.
    - Bits pro Sekunde : 9600
    - Datenbits : 8
    - Parität : keine
    - Stopbits : 1
    - Protokoll : Xon / Xoff
    - Mit "OK" bestätigen.

- Im Menü "Übertragung" "Text aufzeichnen" auswählen.
- Folgendes in der Dialogbox "Datei aufzeichnen" eingeben: z.B. C:\TORRENT\TORR1.TXT.
- Mit "Starten" bestätigen.
- Ihr PC ist nun bereit, die Daten zu empfangen.

- Übertragung starten:
  - Im Anzeigegerät den Cursor im Menü "Datenausgabe" auf den Punkt "Daten an PC" setzen. Mit der Taste START wird die Datenübertragung gestartet und der gesamte Speicherinhalt wird übertragen. Am Bildschirm werden die empfangenen Zeichen dargestellt.
- Nachdem Übertragung beendet ist:
  - Im Menü "Übertragung" "Text aufzeichnen" und "Beenden" wählen.
  - Die Daten sind nun in der speziell bezeichneten Datei TORR1.TXT gespeichert und sind für die Weiterverarbeitung in Form einer Textdatei bereit.
- Einstellungen des Terminal-Programms speichern:
  - Im Menü "Datei" "Beenden" wählen.
  - Bestätigen Sie die Frage "Es besteht noch eine Verbindung. Bestehende Verbindung beenden?" mit "Ja".
  - Beim ersten Mal:
    - Bestätigen Sie die Frage "Sitzung TORRENT speichern?" mit "Ja".
    - Kontrollieren Sie: Das neue Icon mit den oben gemachten Einstellungen erscheint am Bildschirm.
    - Um das nächste Mal das Programm TORRENT zu starten, genügt ein einfacher Doppelklick auf dieses Icon.
- Daten anzeigen:
  - Die übertragenen Daten können mit jedem Texteditor oder Textverarbeitungsprogramm angezeigt werden.

**8.4 Speicher löschen:**

Objekte können nicht einzeln gelöscht werden.

	A	B	C	D	E	F	G
1	TORRENT Permeability Tester		1.43				
2		15	39	11.014			
3		0	965.3				
4		30	5.3				
5		60	5.3				
6		90	2				
7		120	4				
8		150	5.8				
9		180	7.5				
10		210	9.1				
11		240	10.6				
12		270	12.1				
13		300	13.6				
14		330	15				
15		360	16.4				
16		390	17.8				
17		420	19.1				
18		450	20.4				

Darstellung der Daten eines Messobjektes in Windows-Datei

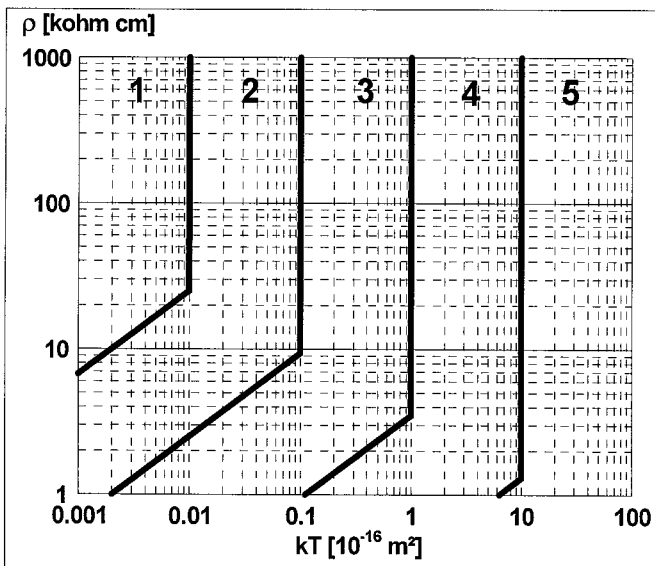
## C. Praktische Durchführung der Messung

- Beschaffenheit der Messfläche:
  - Lage beliebig, Oberfläche **nicht** nass.
  - Ebenheit so, dass die Dichtringe beide Kammern abdichten können.
  - Beton darf keine Risse aufweisen.
  - Abstand zwischen Aussenkante des Bauelementes und Aussendurchmesser der Zelle min. 20 mm.
  - Die innere Kammer sollte nicht über einem Bewehrungsstab liegen.
- Kalibrierung des Druckverlustes von Zeit zu Zeit durchführen, spätestens nach grösserer Änderung von Temperatur und Luftdruck.
- Drei bis sechs Messungen des elektrischen Betonwiderstandes  $\rho$  und Bildung des Mittelwertes.
- Messung von  $kT$ .
- Bestimmung der Qualitätsklasse des Überdeckungsbetons: Für trockenen Beton anhand  $kT$  aus Tabelle 1, für feuchten Beton anhand  $kT$  und  $\rho$  aus Nomogramm Abb. 2.

Tabelle 1: Überdeckungsbeton-Qualitätsklassen

Überdeckungsbetonqualität	Index	$kT$ ( $10^{-16} \text{ m}^2$ )
sehr schlecht	5	> 10
schlecht	4	1.0 - 10
mittelmässig	3	0.1 - 1.0
gut	2	0.01 - 0.1
sehr gut	1	< 0.01

Abb. 2: Nomogramm zur Bestimmung der Qualitätsklasse des Überdeckungsbetons:



- Die Dicke des Betonelementes muss grösser sein als die Eindringtiefe  $L$  des Vakuums. Dies ist eine Voraussetzung für die Berechnungsformel für  $kT$ .

## D. Bemerkungen zu Funktion, Kontrolle und Wartung des Gerätes

Wiederholbarkeit der Permeabilitätsmessung:

Die Wiederholbarkeit einer Messung an der gleichen Stelle ist sehr gut. Es muss allerdings beachtet werden, dass es ca. ½ h dauert, bis im Inneren des Betons wieder überall der Umgebungsdruck  $p_a$  herrscht.

Kalibrierung Druckverlust:

Der Druckverlust des Gerätes beträgt normalerweise einige mbar in 720 s. Wird die Kalibrierung mehrmals kurz nacheinander durchgeführt, werden die Verlustwerte etwas kleiner.

Ist Feuchtigkeit in der inneren Kammer oder im Schlauch, wird der gemessene Druckverlust viel grösser als üblich. Durch Abpumpen während ca. ½ h bei geschlossenem roten Hahn kann die Feuchtigkeit entfernt werden.

Ein Leck im System wird vom Gerät 120 s nach Start der Kalibrierung angezeigt und die Kalibrierung wird abgebrochen.

Bei sehr dichtem Beton kann es sein, dass während einer gewissen Zeit die effektive Druckzunahme negativ ist, d.h. der kalibrierte Druckverlust ist grösser als der gemessene Druckanstieg. " $\Delta p_i$  eff. negativ" wird angezeigt. Sofern  $\Delta p_i$  nicht negativer als  $-1 \text{ mbar}$  ist, ergibt sich bei der Berechnung von  $kT$  praktisch keine Abweichung und eine Neukalibrierung ist nicht nötig.

Regeleinheit und Vakuumpumpe:

Die Teile benötigen keine spezielle Wartung. Es ist darauf zu achten, dass die Dichtungsringe nicht beschädigt werden. Als Reinigungsmittel ist nur Seifenwasser zu verwenden.

## E. Technische Daten

Anzeigegerät:

- Nichtflüchtiger Speicher für bis zu 200 Messobjekte.
- Anzeige auf 128 x 128 Graphik-LCD.
- Schnittstelle RS 232 C.
- Integrierte Software für Ausdruck der Messobjekte und Übertragung an PC.
- Betrieb mit 6 Batterien LR6 1,5 V für ca. 60 h oder handelsüblichem Netzgerät 9 VDC/0.2 A.
- Temperaturbereich  $-10^\circ$  bis  $+60^\circ \text{C}$ .
- Tragkoffer 320/285/105 mm, Gewicht total 2,1 kg.

Regeleinheit und Vakuumpumpe:

- Das Volumen von innerer Kammer und Schlauch sowie die Querschnittsfläche der inneren Kammer sind in der Berechnungsformel von  $kT$  und  $L$  enthalten. Sie dürfen somit nicht verändert werden.
- Vakuumanschluss: Kleinflansch 16 KF.
- Tragkoffer 520/370/125 mm, Gewicht total 6,3 kg.

Widerstandssonde WENNER-PROCEQ:

Abstände der Elektroden 50 mm

Vakuumpumpe:

Das Messgerät wird mit einer handelsüblichen Vakuumpumpe betrieben.

Technische Daten nach DIN 28 400:

Saugvermögen	1,5 $\text{m}^3/\text{h}$
Endtotaldruck	ca. 10 mbar
Anschluss Saugseite	Kleinflansch 10 KF/16 KF
Hohe Wasserdampfverträglichkeit	

Für Betrieb und Wartung der Pumpe bitte zugehörige Anweisung beachten.

## F. Hinweise zu Anwendung und Interpretation

Siehe Anhang: "Über die Permeabilität des Überdeckungsbetons" von R. J. Torrent und G. Frenzer, Holderbank Management & Beratung, Holderbank, Schweiz.

# Über die Permeabilität des Überdeckungsbetons

R.J. Torrent, G. Frenzer, Holderbank Management & Beratung, Schweiz

## 1. Prinzip und Bedeutung des Überdeckungsbetons

Während die Tragfähigkeit eines Strukturelementes in einer Betonkonstruktion auf den mechanischen Eigenschaften des gesamten Elements beruht, hängt seine Dauerhaftigkeit gegenüber aggressiven Umwelteinflüssen im wesentlichen von der Qualität einer relativ dünnen Oberflächenschicht (20-50 mm) ab. Diese Schicht soll die Bewehrung gegen Korrosion schützen, die infolge Karbonatisierung des Betons, durch Chloride oder andere chemische Einwirkungen eintreten kann. Die genannten Einflüsse werden durch Frost-Tau- oder Frost-Tau-Salz-Schädigung verstärkt.

Die grundlegende Bedeutung dieser Schicht (kurz "Überdeckungsbeton" genannt) für die Dauerhaftigkeit von Betonbauten gewinnt mehr und mehr Aufmerksamkeit und Beachtung bei Forschern und Ingenieuren, seit man erkannt hat, dass aufgrund des geringen Abstands zwischen Schalung und Armierung, durch Vorgänge wie Segregation und Bluten, durch das Abglätten und Nachbehandeln, durch Mikrorissbildung usw. die Zusammensetzung und Eigenschaften des "Überdeckungsbetons" ganz erheblich von denjenigen des Kernbetons abweichen können (Abb. 1). Ausserdem werden die für Qualitätskontrollen verwendeten Betonprüfkörper niemals die Qualität und Eigenschaften der Betonüberdeckung wiedergeben können, da sie nach einer völlig anderen Methode hergestellt und gelagert werden ("Laborbeton").

Man glaubt nun, dass eine Verbesserung der zum Teil unbefriedigenden Dauerhaftigkeitseigenschaften von schlaff bewehrten und vorgespannten Betonstrukturen dann erreicht werden könnte, wenn es gelänge, die Qualität des Überdeckungsbetons mit Blick auf die jeweils zu erwartenden Expositionsbedingungen zu spezifizieren und an der fertiggestellten Struktur zu überprüfen (vorzugsweise mit zerstörungsfreien Prüftechniken).

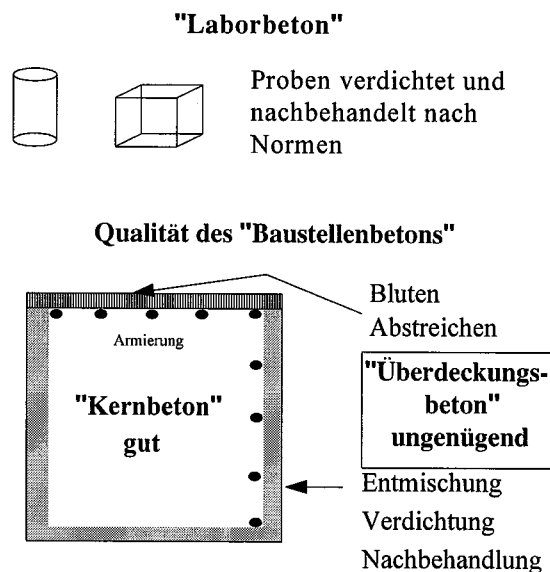


Abb. 1 : Konzept des "Überdeckungsbetons"



Die Schädigungsprozesse an Betonstrukturen sind so vielfältig und umfassen so viele verschiedene und oft untereinander verknüpfte Mechanismen (physikalische, chemische, physikalisch-chemische, elektrochemische, mechanische), dass man unmöglich erwarten kann, dass nur ein oder zwei Parameter der Überdeckungsбетонqualität genügen werden, um die Dauerhaftigkeit vorauszusagen. Dessen ungeachtet gibt es eine allgemeine Übereinstimmung in dem Punkt, dass die Permeabilität des Überdeckungsбетons die relevanteste Eigenschaft ist, die die potentielle Dauerhaftigkeit eines individuellen Betons misst. Klar zum Ausdruck kommt dies auch in den folgenden Paragraphen (übersetzt aus dem Abschnitt d.5.3 'Classification by Durability', Final Draft CEB-FIP Model Code 1990) [1] :

"Es gibt noch kein allgemein anerkanntes Verfahren, das die Charakterisierung der Porenstruktur des Betons erlaubt und diese in Beziehung zu dessen Dauerhaftigkeit stellt. Mehrere Experimentalarbeiten haben jedoch gezeigt, dass die Betonpermeabilität bezüglich Luft und Wasser ein ausgezeichnetes Mass zur Beschreibung des Penetrationswiderstandes gegenüber aggressiven Medien in gasförmigem oder flüssigem Zustand darstellt und somit ein Mass für die potentielle Dauerhaftigkeit eines individuellen Betons ist."

"Gegenwärtig fehlen allgemein anerkannte Verfahren, die eine schnelle Bestimmung der Betonpermeabilität und das Festlegen von Permeabilitätsgrenzwerten für verschiedenen Umweltbedingungen ausgesetzte Betone erlauben würden. Es ist jedoch wahrscheinlich, dass solche Verfahren, die eine Betonklassifikation auf der Basis der Permeabilität erlauben, in Zukunft zur Verfügung stehen werden. Die Anforderungen an die Betonpermeabilität können dann postuliert werden; diese würden in Abhängigkeit von den beeinflussenden Umweltbedingungen festgelegt werden."

"Obwohl Beton mit einer hohen Festigkeit in den meisten Fällen dauerhafter ist als ein Beton mit einer niedrigen Festigkeit, so kann die Druckfestigkeit allein nicht als vollkommenes Mass für die Betondauerhaftigkeit angesehen werden, da die Dauerhaftigkeit in erster Linie von den Eigenschaften der Oberflächenschichten eines Betonteils abhängen, die nur einen begrenzten Einfluss auf die Betondruckfestigkeit ausüben."

Der Torrent Permeability Tester ermöglicht es, schnell und zerstörungsfrei die Qualität des Überdeckungsбетons in Bezug auf seine Dauerhaftigkeit zu messen.

## 2. Auswertung der Messwerte

Basierend auf den Ergebnissen verschiedener Untersuchungen über die Dauerhaftigkeit des Überdeckungsбетons [2], wurde folgende Vorgehensweise zur Evaluierung der Qualität des Überdeckungsбетons in bezug auf seine Dauerhaftigkeit definiert :

### 2.1 Für "trockene" Betone

Werden die Messungen an trockenem Beton durchgeführt (d.h. die Betonoberfläche war nicht in Kontakt mit Wasser während der letzten. 2 Wochen), so kann die Überdeckungsбетонqualität direkt anhand der gemessenen kT-Werte und der Tabelle 1 bestimmt werden.

Tabelle 1 : Überdeckungsбетон-Qualitätsklassen

Überdeckungsбетонqualität	Index	kT ( $10^{-10} \text{ m}^2$ )
sehr schlecht	5	> 10
schlecht	4	1.0 - 10
mittelmässig	3	0.1 - 1.0
gut	2	0.01 - 0.1
sehr gut	1	< 0.01

Diese Überdeckungsbeton-Qualitätsklassen hinsichtlich der Permeabilität  $k_T$  wurden mittels Beständigkeitsuntersuchungen (Karbonatisierung, Chlorideindringung und Frost/Tausalz-Verhalten) sowie unter Berücksichtigung von Informationen aus der Literatur definiert.

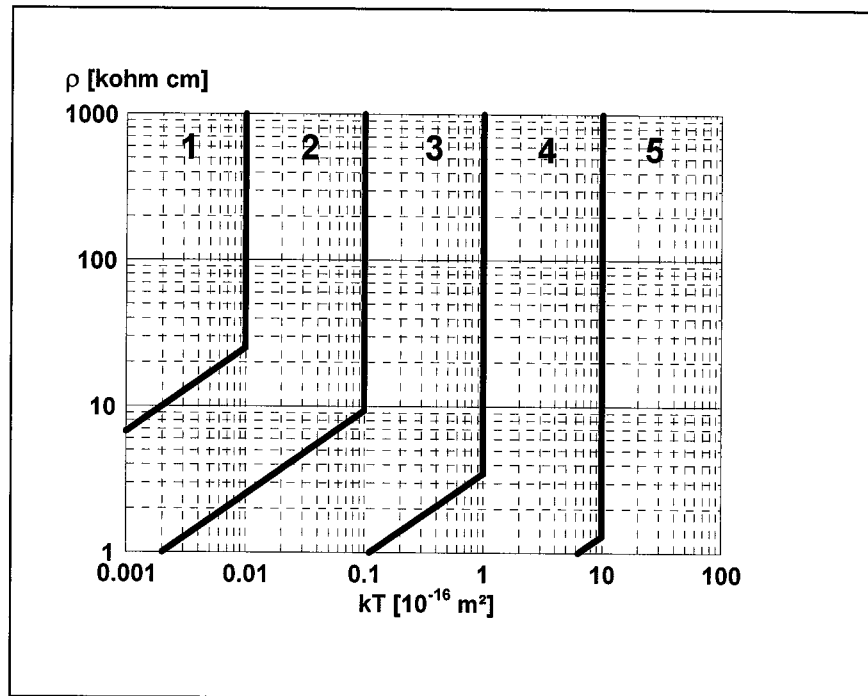
## 2.2 Für "feuchte" Betone

Ist die Voraussetzung einer angemessenen Trockenheit gemäss Punkt 2.1 **nicht** erfüllt, muss die zusätzliche Messung des elektrischen Widerstandes  $\rho$  zu Hilfe genommen werden :

### Korrektur mittels $\rho$

Mit den Messergebnissen  $k_T$  und  $\rho$  lassen sich anhand des Nomogrammes (Abb.2) die Überdeckungsbeton-Qualitätsklassen bestimmen.

Abb. 2 : Nomogramm zur Bestimmung der Überdeckungsbeton-Qualitätsklassen



Vorgehen für "feuchte" Betone :

- Messung von  $k_T$  (1 x pro Messstelle)
- Messung von  $\rho$  (3-6 mal pro Messstelle und den Mittelwert bilden)
- anhand der  $k_T$ - und der  $\rho$ -Werte die Qualitätsklasse des Überdeckungsbetons ablesen

### Bemerkungen :

- Die Bestimmung von  $k_T$  und  $\rho$  sollte nicht auf nassen Oberflächen durchgeführt werden (die in das Gerät eindringende Feuchtigkeit könnte die Membrane im Druckregler beschädigen)
- Die genauesten Werte werden für trockenen Beton erzielt ( $\rho$ -Messung ist überflüssig)
- Um ein genaues Bild der Qualität des Überdeckungsbetons einer Konstruktion oder eines Fertigteils zu bekommen, müssen immer mehrere Messungen durchgeführt werden.
- Die Überdeckungsbetonqualitätsklasseneinteilung (Tabelle 1) und das Nomogramm (Abb. 2) beziehen sich auf jungen Beton, d.h. Betonalter ca. 1-3 Monate. Einige Messungen an Betonen im Alter von einigen Jahren haben gezeigt, dass die Einteilung der Tabelle 1 und das Nomogramm nicht ohne weiteres anwendbar sind.

- ❑ Der Feuchtegehalt im Beton hat einen grossen Einfluss auf die Gas-Permeabilität. Die Korrektur dieses Einflusses durch die Messung des elektrischen Widerstandes führt bei jungem Beton im allgemeinen zu befriedigenden Ergebnissen. Für ältere Betone müssen weitere Untersuchungen durchgeführt werden.
- ❑ Die Untersuchungen wurden mit einer Vakuumpumpe mit einem Saugvermögen von 1.5 m<sup>3</sup>/h und einer Antriebsleistung von 0.13 kW durchgeführt. Diese Pumpe ermöglicht es, ein Vakuum von wenigen mbar zu erreichen. Pumpen mit niedrigeren Leistungen erreichen nicht das gleiche Vakuum und es wird deshalb empfohlen, nur Pumpen mit ähnlichen Leistungen zu verwenden.
- ❑ Drei weitere Gründe können dafür verantwortlich sein, dass das gewünschte Vakuum (10 - 50 mbar) nicht erreicht wird:
  - die Betonüberdeckung weist eine zu hohe Durchlässigkeit auf (normale Funktionsweise des Gerätes)
  - die Betonoberfläche ist zu uneben; die Gummidichtungen können nur gewisse Unebenheiten ausgleichen (abnormale Funktionsweise)
  - das Gerät weist eine Undichtigkeit auf (abnormale Funktionsweise)

### 3. Literaturverzeichnis

#### [1] CEB-FIP Model 1990

Final Draft, Section d.5.3: "Classification by Durability", Bull. d'Information No.205, Lausanne, July 1991

#### [2] Torrent R.J., Ebensberger L.

Studie über "Methoden zur Messung und Beurteilung der Kennwerte des Überdeckungsbetons auf der Baustelle", Nr. 506

Bundesamt für Strassenbau, Forschungsauftrag Nr. 89/89 auf Antrag der Arbeitsgruppe für Brückenunterhaltsforschung, Januar 1993

Weitere Literaturhinweise :

- ❑ Die Fortsetzung zu Bericht Nr. 506 [2]:  
Torrent R.J., Frenzer G.  
Bericht Nr. 516, Oktober 1995
- ❑ Torrent, R.J.  
A two-chamber vacuum cell for measuring the coefficient of permeability to air of the concrete cover on site  
Mater. & Struct., v.25, n. 150, July 1992, pp. 358-365
- ❑ R.J. Torrent und H. Braun  
Methoden zur Messung und Beurteilung der Kennwerte des Überdeckungsbetons auf der Baustelle  
SIA Dokumentation D 099  
Erhaltung von Brücken, aktuelle Forschungsergebnisse  
Referate der Tagung vom 11. März 1993 in Zürich und Kurzbeschreibungen weiterer aktueller Forschungsarbeiten
- ❑ R.J. Torrent, L. Ebensberger, J. Gebauer  
On site Evaluation of the permeability of the "Covercrete"  
Third CANMET/ACI International Conference on Durability of Concrete  
Nice, France 1994