Baurat h.c. Dipl.-Ing. Herbert Kaltenböck
Allgemein beeideter und gerichtlich zertifertifizirter Sachverständiger,
em. Institutsvorstand der Bautechnischen Versuchs- und Forschungsanstalt Salzburg

„Stahlbeton – Potenzial – Schadensanalyse“ auf Basis der ÖNORM B 4710-1

1. Einleitung

Mit der ÖNORM B 4710-1 [5] wurde erstmalig ein umfassendes Normenwerk geschaffen, mit dem es möglich ist, alle benötigten und denkbaren Betonsorten technisch einwandfrei und unmissverständlich zu beschreiben. Grundlage hierfür war die Europäische Norm „EN 206-1 Beton, Teil 1. Festlegung, Herstellung, Verwendung und Konformitätsnachweis“, die den aktuellen Stand aller einschlägigen europäischen Normen widerspiegelt. Die EN 206-1 beschreibt die in den europäischen nationalen Normenwerken existierenden Klassen- und Merkmaleinteilungen, die den einzelnen nationalen Normen zugrunde liegen.

2. Zur Geschichte des Betons

Im einzigen aus dem Altertum erhaltenen Werk „De architectura libri decem“ beschreibt der wahrscheinlich zwischen 80 bis 60 v. Chr. geborene Verfasser *Marcus Vitruvius Pollio* den damaligen griechisch-römischen Wissensstand über die Baukunst. *Vitruvius* war als Architekt und Ingenieur unter *G. J. Caesar* und dessen Adoptivsohn *Octavianus*, dem späteren Kaiser Augustus, mit dem Bau von Kriegsmaschinen tätig. Nach dem Heeresdienst, quasi in Pension, schrieb er etwa zwischen 33 bis 22 v. Chr. das allen Lateinern bekannte Werk, von dem heute nur mehr Abschriften existieren, die älteste aus dem 9. Jahrhundert [1]. Er war übrigens nach 33 v. Chr. auch noch am Wasserbau in Rom beschäftigt.

Schon im Altertum waren betonartige Baustoffe in verschiedenen Kulturen bekannt. Die Ursprünge gehen wohl auf Mesopotamien zurück, wo die dort lebenden Völker die Fähigkeit des „gebrannten“ bzw „gelöschten“ Kalkes – bedingt durch die Wasserlöschung am offenen Feuer – erkannten. An den mit Kalksteinen begrenzten Feuerlagerstätten wurde der Kalkstein gleichsam „gebrannt“. Beim Auslöschen des Feuers wurde der gebrannte Kalk zum Kalkhydrat umgewandelt, um dann mit dem CO_2 der Luft zu festem Kalziumkarbonat zu werden. Eine Erfahrung des mit Kalksteinen begrenzten „Lagerfeuers“.

Eine der maßgeblichsten römischen Bauweisen wird heute als „Opus caementitium“ bezeichnet, bei dem ein Gemisch aus Steinmaterial, Wasser und „gelöschtem“ Kalk – bzw Mischungen aus Kalk und vulkanischer Asche oder Ziegelmehl – in der Regel zwischen Mauerwerksschalen oder Holzschalungen eingebaut wurde [3]. Das lateinische Wort *caementum* für „Bruchstein, Mauerstein“, mittellateinisch „Mörtel“, leitet sich vom Verb *caedo* ab, das so viel wie „hauen, schlagen, klopfen, abhauen, brechen (*lapides*, die Steine)“ bedeutet. Dazu kommt, dass von den Römern die Verwendung vulkanischer Aschen quasi als hydraulisches und resistentes Bindemittel erkannt wurde. Nicht zuletzt werden heute noch Puzzolane – die Bezeichnung „puzzolanische oder latenthydraulische Zusatzstoffe (Typ II)“ ist fachlicher Bestandteil der aktuellen Norm – bei der Zementherstellung verwendet. Dieser „römische“ Zement ist nach dem vom römischen Ort Puteoli, heute Pozzuoli, unweit von Neapel benannt. Ganz bemerkenswert: Im Zweiten Buch, Sechstes Kapitel des vitruvschen Werkes ist aber die Anmerkung über die „Puteolanerde“:

„*Est etiam genus pulveris, quod efficit naturaliter res admirandas. Nascitur in regionibus Baianis in agris municipiorum, quae sunt circa Vesuvium montem. Quod commixtum cum calce et caemento non modo ceteris aedificiis praestat firmitates, sed etiam moles cum struuntur in mari, sub aqua solidescunt.*“

(„*Es gibt aber auch eine Erdart, die von Natur wunderbare Ergebnisse hervorbringt. Sie steht an im Gebiet von Bajae und der Städte, die rund um den Vesuv liegen. Mit Kalk und Bruchstein gemischt gibt sie nicht nur den übrigen Bauwerken Festigkeit, sondern auch Dämme werden, wenn sie damit im Meere gebaut werden, im Wasser fest.*“) [4]

Nicht zuletzt haben die Römer in den ersten Jahrhunderten n. Chr. etwa auch in vulkanischen Gebieten, zB der deutschen Eifel, „ihren“ Zement dort für den Wasser- und Straßenbau herangezogen und damit wasserresistente und beständige Bauwerke und Straßen geschaffen. Wohl bedingt durch den Untergang des römischen Reiches ist das gesammelte Wissenspotenzial verschüttet worden, ehe es *Andrea Palladio* im 16. Jahrhundert wiederentdeckte [2] und sich dabei auf *Vitruvius* stützte.

Die Geburtsstunde des heutigen Zements geht auf das Ende des 18. Jahrhunderts zurück, als der Engländer *John Smeaton* (1724 – 1792) die Bedeutung des Tongehalts für die hydraulischen Eigenschaften des Zements erkannte (Romanzement). Die eigentliche Entwicklung des Zements fand zu Beginn des 19. Jahrhunderts statt, als *J. Aspdin* begann, Portland Cement bei höheren Temperaturen zu brennen.

Die mangelnde Zugfestigkeit des Betons wurde 1867 durch ein Patent von *J. Monier* (*béton armé*) unter Verwendung von (Draht-)Eiseneinlagen (früher daher auch noch oft als „Armierung“ bezeichnet) beherrscht. In der Folge führte die Weiterentwicklung der „Stahleinlagen“ bereits in den 1920er-Jahren zum Spannbeton. Intensive amerikanische Forschungen in den 1930er- und 1940er-Jahren zum Thema Frost- und Tausalzbeständigkeit führten unter anderem vom Luftporen-Zement zum Luftporenbeton und im letzten Jahrzehnt des vergangenen Jahrhunderts etwa zu Hochleistungsbeton und selbstverdichtenden Beton (SCC – *self compacting concrete*). Das heute gebräuchliche Wort „Beton“ findet eine Wurzel im lateinischen *bitumen*, *-inis*) – oskisch-umbrisches/keltisches Lehnwort für „Erdpech“/ „Asphalt“, neuhochdeutsch KITT. Vielfach wird es auch in der Literatur dem Französischen als romanische Sprache mit lateinischen Wurzeln zugeschrieben.

3. Das Europäische Normenwerk

Das europäische Normenwerk über Beton ist in der EN 106-1 „Beton, Festlegung, Eigenschaften, Herstellung und Konformität“ niedergelegt. Es beinhaltet den optimalen Konsens über alle europäischen Normenwerke zu Beton und widerspiegelt damit gleichsam die Grundstruktur aller in Europa angewendeten Regelwerke. Im engeren Sinne kann die EN 106 als die Summe aller europäischen Normenwerke gesehen werden und liefert das Grundgerüst in Form von Klasseneinteilungen für die praktische Anwendung und die technische Beschreibung des Betons, ohne dabei existierenden nationalen Normenregelwerken zu widersprechen. Die unterschiedlichen verschiedenen geographischen und klimatischen Bedingungen in Europa, verschiedene Schutzniveaus und auch gut eingeführte regionale Gepflogenheiten und Erfahrungen führten letztlich zur europäischen Rahmennorm „EN 106-1“.

4. Die Österreichfassung der EN 206-1: ÖNORM B 4710-1

Als eine Grundregel bei der Vereinheitlichung von Normen gilt, dass bewährte nationale Gewohnheiten nicht verändert werden und nach wie vor für die Betroffenen anwendbar sein müssen. Dies führt dazu, dass die bisher gewohnten Merkmale nach den bisher gewohnten Instrumentarien beschrieben und behandelt werden. Konkret bedeutet dies beispielhaft, dass in Ländern, bei denen etwa bisher die Druckfestigkeit an Zylindern gemessen wurde, weiter an Zylindern bewertet und in anderen Ländern, wie zB Österreich, die Druckfestigkeit nach wie vor an Würfeln bestimmt wird. Ähnliche Unterschiede gelten auch für andere Merkmale wie etwa die Messung der Konsistenz.

Die österreichische Fassung der ÖNORM B 4700-1 wurde zur Vereinfachung des Handlings derart gestaltet, dass die Inhalte der EN 106-1 gleichzeitig mit den österreichischen Regeln in unterschiedlichen Sichtformen aufscheinen. In der aktuellen elektronischen Ausgabe vom 1. 10. 2007 zitiert der Abschnitt V.2, dass der Text der EN 206-1 in „schwarzer“, hingegen die nationale österreichische Ergänzung in anderer Schriftfarbe erstellt ist. Österreich hat darüber hinaus Eigenschaftselemente des Betons eingebunden, die in der europäischen Norm gar nicht vorkommen, jedoch für die Anwendung bei uns benötigt werden, wie beispielhaft die Klassen der Abreißfestigkeit „A“ als ein maßgebliches Kriterium für die „Oberflächenfestigkeit“ im Bereiche von Instandhaltungen.

5. Die Eigenschaften des Betons und seine Beschreibung

Die aktuelle Betonnorm erlaubt es, erstmalig praktisch alle Frisch- und Festbetoneigenschaften zu beschreiben und damit eindeutig zu benennen und zu definieren. Dies betrifft sowohl die Frisch- als auch die Festbetoneigenschaften. Für all diese Beschreibungsmerkmale gibt es „Klasseneinteilungen“ für den Frisch- und Festbeton. Betroffen davon sind beim erhärteten Beton nicht nur die Mindestfestigkeitsklassen, die aus den Belastungen und Einwirkungen herrühren, sondern auch die sogenannten Expositionsklassen. Unter den Expositionsklassen werden die „Umweltklassen“ aus der Nutzung des Bauwerks im weitesten Sinne verstanden.

Die relevanten Umwelteinwirkungen „**X**“ (e**x**position) lassen sich wie folgt komprimiert darstellen:

BEWEHRUNGSKORROSION		BETONANGRIFF	
X**C**	Carbonatisierung (**C**arbonation)	X**F**	Frost- und Frosttausalz (**F**reezing)
X**D**	Chloride (**D**eicing Salt)	X**A**	Chemischer Angriff (Chemical **A**ttack)
X**S**	Chloride aus Meerwasser (**S**eawater)	X**M**	Verschleiß (**M**echanical Abrasion)
KEIN ANGRIFFSRISIKO			
X**0**		Kein (**„0“**) Angriffsrisiko	

Abbildung 1: Die Expositionsklassen der EN 206-1 und ihr sprachlicher Hintergrund

Das Symbol „X“ steht für das englische *exposition*, also für das Synonym „ausgesetzt sein“ quasi in die Umwelt, und wird daher bei uns auch als Umweltklasse bezeichnet, die anderen durchaus aus dem Englischen kommenden Buchstabenbezeichnungen sind der Abbildung 1 entsprechend ihrer genauen Wortherkunft zu entnehmen. Da in Österreich eine Bewehrungskorrosion aus Meerwasser nicht möglich ist, gibt es keinen meerwasserbelasteten Beton XS.

Die meist nur für die Verarbeitung des Betons wichtigen Frischbetonmerkmale (zB Konsistenz) sind selbstverständlich ebenfalls zu benennen und richten sich nach den Einbaubedingungen der Baustelle. Die Betonnorm kennt für die korrekte Beschreibung und Definition des Betons im Kapitel 6 den Begriff „**Festlegung des Betons**“, normativ auch **Leistungsbeschreibung** oder **Pflichtenkatalog** genannt. Danach sind für Beton alle technischen Merkmale – soweit für die spätere Nutzung und Dauerhaftigkeit erforderlich – zu beschreiben:

- Bezug auf die ÖNORM B 4710-1;
- Druckfestigkeitsklasse aus konstruktiven Gründen;
- Betonkurzbezeichnung oder Expositionsklasse;
- Größtkorn (ohne Angabe gelten **22** mm);
- Konsistenzklasse (ohne Angabe gilt **F45**);
- Klassen in Abhängigkeit von der Betonart (Unterwasserbeton [UB1, UB2], Pumpbeton [PB], Sichtbeton [SB], selbstverdichtender Beton [SCC]);
- Betonklasse mit geringer Blutneigung (BL);
- Wärmeentwicklung bei der Erhärtung (W);
- verlängerte Verarbeitungszeit (VV);
- verzögerte Anfangserhärtung (VA);
- Festigkeitsentwicklung des Betons (ES, **EM**, EL, E0 – ohne Angabe gilt EM);
- reduziertes Schwinden (RS);
- stark reduziertes Schwinden (RRS);
- Beton mit festgelegter Abreißfestigkeit (A);
- Beton mit festgelegter Spaltzugfestigkeit (TK);
- Beton mit stark erhöhtem Feuerwiderstand (BBG);
- **sonstige Güteeigenschaft**;
- Chloridklasse;
- Rohdichteklasse (bei Schwerbeton).

Um nicht in einem Wust von „langen“ Bezeichnungen bei der Anwendung „hängen“ zu bleiben, hat man sich in Österreich entschlossen, häufig verwendete Betone auch mit „Kurzbezeichnungen“ zu beschreiben. Diese Betone sind in der Tabelle NAD 16 beschrieben. Damit besteht auch die Möglichkeit, auf eine verkürzte (Abbildung 2) und einfachere Art einen erwünschten Beton technisch einwandfrei zu beschreiben. Die Bezeichnung NAD bedeutet „nationales Anwendungsdokument“ und ist eine „österreichische“ Normergänzung. In der Original- Ausgabe der EN 206-1 gibt es daher nur die „Tabellen“ und niemals eine „Tabelle NAD“.

6. Betonschäden, -mängel und deren Bewertung aus der Sicht des Sachverständigen

Für den Sachverständigen stellt sich in einem Streitfalle über eine nicht vertragsgemäße Leistung vorrangig die Frage, welche genaue Leistung Vertragsgegenstand war. Der Sachverständige wird daher aus dem Vertragswerk zwischen klagender und beklagter Partei zunächst festzustellen haben, welche „**Betonfestlegung**“ beschrieben war. Ist die Leistung auf der Basis des aktuellen Normenwerks definiert worden, lassen sich unschwer die Merkmale des Betons feststellen.

Beispiel an einem Beton XF4:

Am anschaulichsten ist es, wenn dies an einem konkreten Fall dargestellt wird. Als Beispiel diene ein Rechtsstreit, bei dem eine Betonleitwand an einer Autobahn, die im Winter durch Tausalz beaufschlagt wurde und nach einer Winterperiode bereits erhebliche sichtbare Schäden erfuhr. Der Beton wurde von einem Transportbetonwerk geliefert.

Kurzbezeichnung	Abgedeckte Umweltklasse	W/B-Wert	Luftgehalt in %
B1	XC3 (A)	0,60	–
B2	XC3/XD2/XF1/XA1L/SB (A)	0,55	–
B3	XC3/XD2/XF3/XA1L/SB (A)	0,55	2,5 bis 5,0
B4	XC4/XD2/XF1/XA1L/SB (A)	0,50	–
B5	XC4/XD2/XF2/XA1L/SB (A)	0,50	2,5 bis 5,0
B6[a]/C_3A-frei	XC4/XD2/XF3/XA2L/XA2T/SB (A)	0,45	2,5 bis 5,0
B7	XC4/XD3/XF4/XA1L/SB (A)	0,45	4,0 bis 8,0
B8	XC3/UB1(A)	0,60	–
B9	XC3/UB2 (A)	0,60	–
B10	XC3/XD2/XF1/XA1L/UB1(A)	0,55	–
B10/C_3Afrei	XC3/XD2/XF1/XA1L/XA1T/UB1/C_3Afrei (A)	0,55	–
B11	XC3/XD2/XF1/XA1L/UB2 (A)	0,55	–
B11/C_3Afrei	XC3/XD2/XF1/XA1L/XA1T/UB2/C_3Afrei (A)	0,55	–
B12	XC4/XD2/XF1/XA1L/UB1(A)	0,50	–
B12/C_3Afrei	XC4/XD2/XF1/XA1L/XA1T/UB1/C_3Afrei	0,50	–
HL-SW	XC4/XD3/XF3[b]/XA3L[c]/XA3T[c]	0,34	–
HL-B	XC4/XD3/XF4 (A)	0,34	4,0 bis 8,0

[a] Gesteinskörnung ≤ 4 mm mit CO_2-Gehalt ≤ 15 %

[b] XF2 und XF4 bei Einhaltung der für die Expositionsklasse entsprechenden Anforderungen an L300 und AF gemäß **Tabelle NAD 10**

[c] siehe 4.3.7.

Abbildung 2: Betonkurzbezeichnungen nach NAD 16 für häufig verwendete Betone

Die fachlich korrekte Beschreibung war unter Zugrundelegung der gültigen Norm als Pflichtenkatalog wie folgt definiert:

a) Vertragsinhalt ÖNORM B 4710-1;

b) Druckfestigkeitsklasse gemäß Konstrukteur: C20/25;

c) Expositionsklasse XF4;

d) Größtkorn (keine Angabe, daher gelten automatisch 22 mm);

e) Konsistenzklasse (keine Angabe, daher gilt automatisch F 45);

f) Festigkeitsentwicklung des Betons (keine Angabe, daher gilt automatisch EM);

g) Chloridklasse (keine Abgabe, daher gilt als höchstzulässiger Chloridgehalt für Zement, Zusatzmittel und Zusatzstoff 0,1 % der Masse, für Gesteinskörnungen 0,01% der Masse) *[Anmerkung: Meist wird keine Chloridklasse angegeben, daher gelten die vorgenannten „strengsten“ Regeln für den Chloridgehalt, die für Österreich festgelegt wurden].*

Der Beton war demnach technisch wie folgt zu beschreiben:

C20/25 XF4 GK22 F45 EM
gleichbedeutend mit
C20/25 XF4,

weil bei fehlender Angabe von Größtkorn, Konsistenz und der Klasse der Festigkeitsentwicklung (Erhärtung) automatisch GK22, F45 und EM gilt. Diese an sich technisch bereits eindeutige Beschreibung des Betons zieht nach sich, dass gemäß Tabelle NAD 10 (Grenzwerte [bei GK 22] für Zusammensetzung, Eigenschaften von Beton und Verwendung der Zemente bei den verschiedenen Umweltklassen und den empfohlenen Betonsorten) der ÖNORM B 4710-1 gilt:

- Max. W/B-Wert 0,45;
- Anrechenbarer Bindemittelgehalt mindestens 340 kg/m³;
- Luftgehalt: 4 % (bei einem Größtkorn von 22/32 mm bedeutet dies eine Luftgehaltsbandbreite von 4 bis 8 %, bzw einen Abstandsfaktor [AF] von 0,18 mm);
- für die verwendeten Gesteinskörnungen sind die der Tabelle NAD 6 der ÖNORM B 4710-1 beschrieben Anforderungen (Mindestanfordungen an Gesteinskörnungen bei den verschiedenen Umweltklassen bzw empfohlene Betonsorten) einzuhalten.

Tatsächlich zeigten sich an der Betonleitwand nach einer Winterperiode im Frühsommer an der mehr als halbes Jahr alten Betonleitwand augenscheinlich große Tausalzschäden, die Anlass des Rechtsstreits waren (Abbildung 3). Mit den vorhandenen europäischen Regelwerken ist es möglich, so gut wie „alle“ Merkmale eines Betons auch nachträglich festzustellen. Am zielführendsten bedient sich der Sachverständige hierfür entsprechend akkreditierter Prüfstellen. Dies hat den Hintergrund, dass die *Dokumente* nationaler und internationaler akkreditierter Stellen als öffentliche Urkunden gelten. Im angesprochenen Streitfalle wurde der Großteil aller relevanten technischen Merkmale des „schlechten“ Betons untersucht und es ergaben sich auszugsweise die untenstehenden Werte, wobei sich die Soll-Werte auf die **Erstprüfung** des Herstellers beziehen:

	ERSTPRÜFUNG (SOLL)	GEMESSEN (IST)
Bindemittelgehalt	SOLL: 340 kg/m³	IST: 300 kg/m³
Wassergehalt:	SOLL: 153 L/m³	IST: 200 L/m³
W/Z-Wert:	SOLL: 0,45	IST: max. 0,70
Frischbetonrohdichte:	SOLL: 2410 kg/m³	IST: 2350 kg/m³

Die hier unvollständig und nur bruchteilhaft wiedergegebenen wesentlichsten Merkmale des Betons zwischen der Erstprüfung (Soll-Zusammensetzung des Betons) und den tatsächlichen Werten im schadhaften Bereich sprechen für eine nicht richtige Zusammensetzung gemäß der Erstprüfung (früher Eignungsprüfung). Da auf der anderen Seite keine Lieferscheine vorgefunden wurden, die etwa auf eine vom Besteller des Betons begehrte Wasserzugabe hingewiesen hätten, liegt die technische Verantwortung allein beim Hersteller des Betons, in diesem Fall dem Transportbetonwerk.

Eine Prüfung der Merkmale am erhärteten „schadhaften“ und „gesunden“ Beton ist durch Untersuchungen praktisch immer möglich. Neben dem eigentlichen Normenwerk für die Festlegung, Herstellung und Verwendung des Betons gibt es auch ein umfassendes Normenwerk, mit dessen Hilfe sich die relevanten Merkmale auch am erhärteten Beton prüfen lassen. Diese je nach Fragestellung unterschiedlichen Merkmale können von hierfür „akkreditierten Prüfstellen“ ermittelt werden. Die Untersuchungsergebnisse von den nach österreichischem Recht akkreditierten Stellen gemäß § 2 des Akkreditierungsgesetzes (AkkG) sind „öffentliche Urkunden“.

Die heute europaweit über die EU hinaus angewendeten Bestimmungen zur Akkreditierung von „Prüfstellen“ der einzelnen Staaten mit „Urkundenrecht“ fußen letztlich auf einem in Österreich bis Ende des vergangenen Jahrhunderts geltenden Autorisationsgesetz vom 9. 9. 1910 [6], nach dem berühmten Vater des Gesetzes auch „Lex Exner“ genannt.

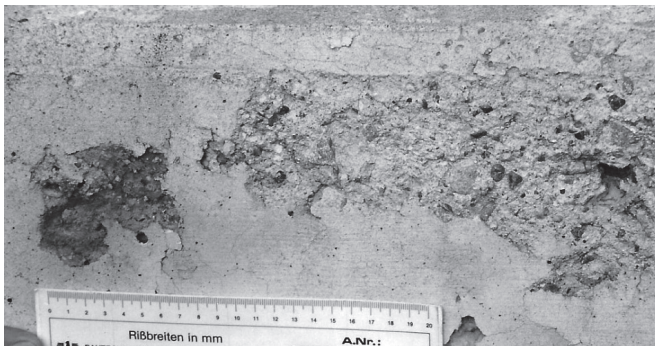

Abbildung 3: Oberseite einer Betonleitwand nach einer Winterperiode

7. Die Festlegung von Beton

Wenngleich auch aus heutiger Sicht die Herstellung, Verarbeitung und Nachbehandlung des Betons einfach erscheint, treten doch immer wieder Mängel bzw Schäden auf, die aus der Sicht des Technologen durchaus vermeidbar, aber auch vielfach Anlass für Meinungsverschiedenheiten und rechtliche Streitigkeiten sind. Entscheidend für „fachgerechten“ Beton sind die normativ aufgezählten und teils erläuterten Schritte für normgerechten Beton:

- Wahl des richtigen Betons (Festlegung);
- Betonzusammensetzung und Mischen des Betons;
- Transport des Betons zur Einbaustelle;
- Einbau des Betons;
- Verdichten des Betons;
- Nachbehandeln des Betons.

Im Folgenden sei daher beispielhaft auf einzelne Fehlerquellen und Hintergründe beim Handling von Beton auf der Basis dieser Normstruktur eingegangen.

7.1. Wahl des richtigen Betons

Die Wahl des richtigen Betons wird gemäß ÖNORM durch den sogenannten „*Verfasser der Festlegung (Planer)*“ getroffen. Darunter werden Personen und Stellen verstanden, die die Festlegung für den Frisch- und Festbeton treffen. *Ex norma* sind dies „*Planverfasser, Ausschreibender, Besteller*“, also all jene, die über die Nutzungsbedingungen von der Konstruktion bis zur Umwelt Kenntnis haben. Trotz der unmissverständlichen Vorgaben kommt es immer wieder vor, dass „Nutzungsbelastungen“ des Betons nicht ausreichend berücksichtigt, mitunter auch nicht richtig eingeschätzt werden. Deshalb gebrauchen Norm und juristisch vorgelagerten Richtlinien der EU („Bauproduktenrichtlinie“) ganz gezielt den Begriff der „*Dauerhaftigkeit*“. Damit wird „juristisch“ zum Ausdruck gebracht, dass Beton für die technisch richtige Beschreibung hinsichtlich langfristiger, üblicherweise den gewöhnlichen natürlichen und nutzungsbedingten Belastungen ausreichend zu definieren ist (Lebensdauer). Damit wird aber auch zum Ausdruck gebracht, dass zumindest auch „ungewöhnliche“ Belastungen *ex natura* oder *ex usu* zu berücksichtigen sind. Es ist die Aufgabe von Fachleuten, solche „ungewöhnlichen“ Nutzungen/Belastungen technisch/technologisch so zu beschreiben, dass Beton und Bauwerk ihre „Dauerhaftigkeit“ erreichen.

Genau aus diesen Überlegungen weist die österreichische Betonnorm beispielsweise gezielt auf eine Reihe von Betonen hin, bei denen schon fundierte wissenschaftliche und/oder regulative Erkenntnisse vorliegen. Beispielhaft seien nur die normativ genannten Betone erwähnt, die mit Treibstoffen, Mineralölen belastet werden, aber auch erhöhter Feuerwiderstand. Grundsätzlich sind *keine* Grenzen einer Eigenschaftsbeschreibung gegeben. All diese Merkmale sind Teil der „Festlegung des Betons“ und Teil des sogenannten „Pflichtenkatalogs“. Werden Anforderungen gestellt, die normativ nicht unmittelbar beschrieben aufscheinen, ist es Aufgabe für die „richtige Festlegung“, die technischen Merkmale zu beschreiben („Festlegung des Betons nach Eigenschaften“), und dazu auch die „Art des Nachweises“, um nachträgliche Fehldeutungen zu vermeiden.

7.2. Betonzusammensetzung und Mischen des Betons

Nach der Wahl des richtigen Betons gilt es, die sogenannte Erstprüfung durchzuführen. Ziel der Erstprüfung ist das Auffinden der „richtigen Betonzusammensetzung“. Für die Durchführung der Erstprüfung ist der Hersteller des Betons verantwortlich. In der überwiegenden Zahl der Fälle wird heute Transportbeton angewendet. Der Hersteller – damit ist aber auch „Baustellenbeton“ angesprochen – hat nach den Regeln der Betonnorm die Erstprüfung durchzuführen und unterliegt auch nach den landesgesetzlichen Bauordnungen der Verpflichtung, ein sogenanntes ÜA-Zeichen für alle hergestellten Betone zu führen. Die gesetzlichen Bestimmungen des ÜA-Zeichens gelten sowohl für Transportbeton als auch für Baustellenbeton. Welche genauen Anforderungen dabei an die technischen Einrichtungen für die Betonherstellung gestellt werden, ist ebenfalls normativ geregelt.

Die praktische Erfahrung zeigt, dass fehlerhafte Betonzusammensetzungen fast nie auftreten und äußerst selten Ursache für Betonmängel sind. Dies hängt auch damit zusammen, dass es ein sehr strenges Reglement der Betonnorm hinsichtlich der *Erstprüfung* – früher Eignungsprüfung bezeichnet – gibt. Darüber hinaus ist der Betonhersteller normativ auch verpflichtet, eine werkseigene Produktionskontrolle – früher Eigenüberwachung genannt – durchzuführen. Im Rahmen dieser werkseigenen Produktionskontrolle werden nicht nur die genauen technischen Daten der Einzelmerkmale überprüft, sondern unterliegen auch die maschinentechnischen Einrichtungen einer regelmäßigen Kontrolle. Um dies sicherzustellen, müssen sich die Betonhersteller auch einer regelmäßigen Kontrolle durch eine von Bund und Land akkreditierte Überwachungsstelle unterziehen. Alle Regeln gelten sowohl für Transportbeton als auch für Baustellenbeton (Ortbeton).

7.3. Transport des Betons zur Einbaustelle

Grundsätzlich ist zu unterscheiden, ob es sich um einen Baustellenbeton oder einen Transportbeton handelt. Beim Transportbeton trägt der Hersteller die „technische Verantwortung“ bis zur sogenannten Übergabestelle, das heißt, dass am Ort der Übergabe des Frischbetons vom Hersteller an den Verwender alle jene Eigenschaften und Merkmale vorhanden sein müssen, die Gegenstand der Bestellung waren.

Die wohl häufigste Beanstandung bei der Übergabe des Frischbetons ist die Konsistenz. Grundsätzlich gilt, dass bei Transportbeton die „bestellte“ Konsistenz bei der Übergabe gegeben sein muss. Grundsätzlich gilt bei Transportbeton aber auch, dass die Konsistenz über einen Zeitraum von 105 Minuten ab Wasserbeigabe im Transportbeton-

werk beibehalten werden muss. Ist erkennbar, dass dieser Zeitraum nicht ausreicht, um den Beton zu verarbeiten, ist ein Beton „VV“, das ist ein Beton mit „verlängerter Verarbeitungszeit“, zu bestellen. Bei der Messung der Konsistenz bei der Übergabe dürfen die angestrebten Grenzwerte der Konsistenz um –3 cm bzw um +4 cm abweichen (ÖNORM B 4710-1, Tabelle 19b), bei der Messung am Ende der Verarbeitungszeit also 105 Minuten nach Wasserbeigabe, –2 cm bzw +3 cm. Besteht der Verdacht, dass ein Beton nicht in der richtigen Konsistenz angeliefert wurde, ist seitens des Verwenders eine Mangelrüge auszusprechen und allenfalls durch eine Konformitätsprüfung die tatsächliche Konsistenz festzustellen.

Wasserzugaben bei Transportbeton auf Anordnung des Verwenders des Betons sind nicht zulässig. Werden sie trotzdem ausdrücklich begehrt, ist die Wasserzugabe am Lieferschein zu vermerken, vom Verwender zu unterschreiben und entbindet den Transportbetonhersteller von der Gewährleistung für das bestellte Produkt. Aus rechtlichen Vorsorgegründen muss auf jedem Lieferschein auch der folgende Vermerk aufgedruckt sein:

„*Die Gewährleistung des Transportbetonwerkes für die Betongüte erlischt, weil trotz vereinbarungsgemäßer Betonsorte auf ausdrücklichen Wunsch des Abnehmers (Verwenders) folgende Zugabe erfolgte:*

Wasser: O – Zusatzmittel: O – Zusatzstoff: O – Fasern: O – Sonstiges: O

Sind in diesem Vermerk nicht auf Liefer- und Gegenschein die relevanten Zugaben gekennzeichnet (der Eintrag kann auch handschriftlich erfolgen), so bleibt die Gewährleistung aufrecht.“

Nachträgliche Änderungen der Konsistenz durch den Hersteller des Transportbetons sind in besonderen technischen Fällen erlaubt, wenn beispielsweise die höchstzulässige Wasserzugabe bei der Mischung des Betons nicht überschritten wird. Derartige Veränderungen liegen ausschließlich im Verantwortungsbereich des Transportbetonherstellers.

Bei Rechtsstreitigkeiten über die Verantwortung bei aufgetretenen Betonmängeln mit Transportbeton wird der Sachverständige zweifelsfrei zunächst alle Lieferscheine sichten, um feststellen zu können, ob solche „Veränderungen des Frischbetons“ auf Veranlassung des Verwenders stattgefunden haben. Die Erfahrung bei Gericht zeigt, dass die Richter den Begründungen des Sachverständigen unter Berufung auf die Lieferscheine stets folgen, auch wenn – wie in der Praxis schon geschehen – der Hersteller des Betons „unter Eid bereit ist“, eine Wasserbeigabe auf Verlangen des Verwenders zu „beschwören“, und das Vermerken der Wasserbeigabe nur „übersehen“ worden sei. Hintergrund ist auch, dass die normativen Vorgaben mehr als eindeutig sind und auch kein Personal beim Betonhersteller beschäftigt sein darf, dass nicht über das notwendige Fachwissen über Nachweis und auch Kontrolle durch „akkreditierte Überwachungsstellen“ verfügt.

Namentlich zitiert dazu die ÖNORM wie folgt:

„*Kenntnisstand, Schulung und Erfahrung des mit der Herstellung und der Produktionskontrolle befassten Personals müssen der Art des Betons, z. B. hochfester Beton, angemessen sein. Sachdienliche Aufzeichnungen über Schulung und Erfahrung des in die Produktion und in die Produktionskontrolle eingebundenen Personals sind vorzuhalten.*“

Und weiter:

„*Während der Betonherstellung muss ein Verantwortlicher anwesend sein. Das Unternehmen hat dafür zu sorgen, dass die Führungskräfte und das für die Betonherstellung maßgebliche Fachpersonal und das mit der Produktions- und Übereinstimmungslenkung betraute Fachpersonal in Abständen von höchstens 3 Jahren über die Herstellung, Verarbeitung und Prüfung von Beton so unterrichtet und geschult werden, dass sie in der Lage sind, alle Maßnahmen für eine ordnungsgemäße Betonherstellung einschließlich der Produktions- und Übereinstimmungslenkung zu treffen.*“

7.4. Einbau des Betons

Im Gegensatz zu anderen europäischen Regelwerken gehört es seit Jahrzehnten zur österreichischen Tradition, bei der Vorgabe von Regeln für die Betonanwendung nicht nur das Produkt technisch genau zu definieren, sondern auch gleichzeitig eine Hilfe für die richtige Verarbeitung im weitesten Sinne beizusteuern. Aus diesem Grunde kennt die ÖNORM B 4710-1 ein Kapitel, das unter dem Titel „*Einbau des Betons*“ firmiert und Themen wie

Förderung von Beton (Rutschen, Kran und Kübel, Förderbänder, Pumpen, andere Förderverfahren) sowie

Einbau und Verdichtung (Vorbereiten für das Betonieren, Verarbeitungszeit, Einbau, Einbau von Beton für Bohrpfähle und Schlitzwände, Einbau von Beton unter Wasser)

behandelt. Diese jahrzehntelange Tradition ist ein Kompromiss zwischen grundsätzlichen technologischen Vorgaben

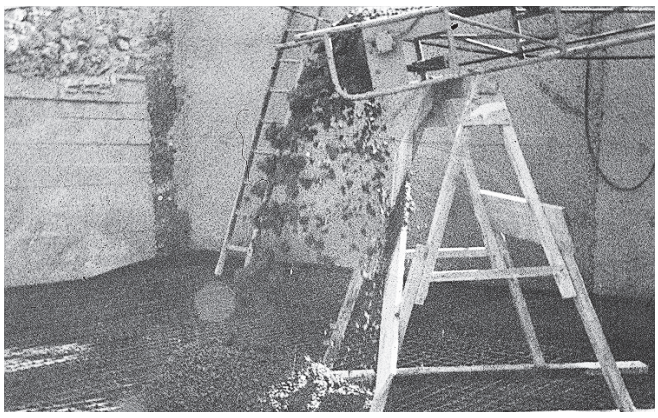

Abbildung 4: Entmischung eines Betons beim Einbauförderband ohne Trichter und Abstreifblech. Der Betonhaufen am Boden besteht links fast nur aus groben Körnern, während rechts sich der Mörtel sammelt

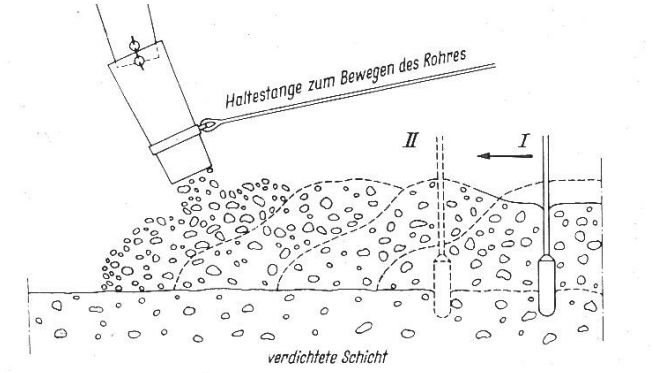

Abbildung 5: Beton muss im Regelfalle senkrecht auf die bestehenden Flächen eingebracht werden, weil sich sonst Grob- vom Feinkorn trennt

Abbildung 6: Tragende Säule einer Betriebshalle, bei der Beton über die ganze Geschoßhöhe eingefüllt wurde, mit großen Hohlräumen

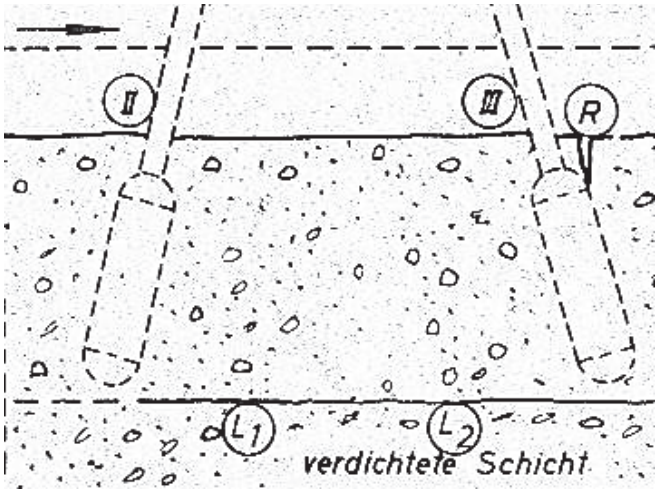

Abbildung 7: Die zylindrischen Wirkungsbereiche überschneiden sich bei schrägem Eintauchen der Rüttler nicht und hinterlassen an der Anschlussfläche (L1 bis L2) überdurchschnittlich viele Verdichtungsporen

und „nützlichen“ Hinweisen, auf die es zu achten gilt, ohne mit dem Normenwerk den Eindruck eines Lehrbuches zu erwecken. Wesentliches fachliches Merkmal dieses Kapitels ist, nach Möglichkeit alle Vorgänge zu vermeiden, die zu einer „Entmischung“ des Betons führen (Abbildung 4). Entmischungen, quasi das Auseinanderdriften von Mörtel und gröberen Gesteinskörnungen, führen zu Inhomogenitäten und natürlich dadurch auch zu Qualitätsunterschieden. Diese Qualitätsunterschiede können sich in Änderungen bei der Druckfestigkeit zeigen, aber auch unter Umständen zum Verlust einer anderen erwünschten Eigenschaft führen (zB der Frost- und Tausalzbeständigkeit). Falsche Fördermethoden mit Entmischungen führen bei Bodenplatten durch Inhomogenitäten mitunter zu Undichtheiten, bei denen etwa anstehendes Grundwasser in der Einbringphase durchzudringen vermag. Neben einen gut zusammenhaltenden Beton (wichtig: Sieblinie) ist zB auch besonders auf die Förderbandgeschwindigkeit zu achten.

7.5. Verdichten des Betons

Das lose „Schütten“ des Betons – je nach Förderart – führt zunächst zu einem jungen Frischbetonkörper, der konsistenzabhängig mit mehr oder weniger zahlreichen „Hohlräumen“ durchsetzt ist. Durch das Verdichten des Frischbetons werden diese Hohlräume geschlossen. Als Grundregel gilt, dass bei einem üblichen Beton (nicht Luftporenbeton) der Anteil dieser als „Verdichtungsporen“ bezeichneten Hohlräume nicht größer als 2 Vol.-% sein soll. Ein größerer Anteil als 2 Vol.-% wird bereits als „Verdichtungsgmangel“ bewertet. In Streitfällen, bei denen Mängel am Beton vermutet werden, kommt dieser „Verdichtungsmangel“ häufig ins Gespräch. Durch Bohrkernentnahmen und mikroskopische oder elektronische Ausmessung des Porensystems lässt sich unschwer feststellen, ob allenfalls der übliche Grenzwert (Anteil der Verdichtungsporen maximal 2 % bei GK22) überschritten wird oder nicht. Bei Überschreiten des „üblichen“, nicht vermeidbaren Verdichtungsporenanteils ist unter anderem mit einer messbaren Verminderung der Druckfestigkeit eines Betons zu rechnen.

Mit den gleichen Methoden lässt sich auch feststellen, ob etwa bei einem XF4-Beton genügend künstliche Luftporen in der richtigen normativ geforderten Größe und Verteilung vorhanden sind.

Größere Fallhöhen des einzubringenden Betons führen in der Regel bereits zu Entmischungen während des Einbringvorgangs. Dies bedeutet, dass sich Teile des Grobkorns vom Feinkorn trennen und es zu „Konzentrationen“ von Grobkorn kommen kann. Als allgemeine Regel gilt, dass die freie Fallhöhe nicht größer als 1,50 m sein soll. Derartige schwere Mängel wie in Abbildung 6, die bei einer Überwachungskontrolle rechtzeitig entdeckt wurden, können unter ungünstigen Umständen zum Einsturz eines Bauwerks führen.

Verdichtungsmängel entstehen aber auch, wenn die Rüttelflaschen nicht senkrecht sondern schräg in den Frischbeton eingeführt werden. Abbildung 7 zeigt einen Bereich

zwischen L1 und L2, wo keine ausreichende Rüttelwirkung entsteht, weil sich dort die zylindrischen Wirkungsbereiche der Rüttler nicht überschneiden. An der Oberfläche ist bei derartiger Schräghaltung eine vollständige Verdichtung scheinbar gegeben. Wird Beton geschüttet, wie in Abbildung 5 dargestellt, muss die Fallrichtung möglichst senkrecht auf den bereits eingebrachten Beton gerichtet sein, weil sich sonst das Grob- von Feinkorn trennen kann.

7.6. Nachbehandeln des Betons

Die Nachbehandlung des Betons ist ebenso wichtig für den späteren „gesunden“ Beton wie alle bisher angesprochenen und normativ festgelegten Regeln. Hintergrund ist der Umstand, dass der Zement bzw das „Bindemittel“ für seine chemische Reaktion, die als Hydratation bezeichnet wird, „Wasser“ benötigt. Wird dem Beton durch äußere Umstände Wasser entzogen, wird die Hydratation unterbrochen und der Erhärtungsverlauf zumindest gebremst. Im Volksmund wird daher gerne auch vom „Verdursten“ des Betons gesprochen, wenn bei praller Sommerhitze die Oberfläche abtrocknet und dann „absandet“, weil keine Festigkeitsbildung stattfinden kann. In ganz besonderen Fällen kann dies bei Bauteilen, deren Oberfläche im Vergleich zum Volumen sehr groß ist – wie zB bei Hochbaudecken –, unter ungünstigen Umständen und in unseren Regionen, mitunter bei Föhneinbrüchen, sogar zum „Zerreisen“ einer Decke führen. Die Oberfläche einer Decke kann so rasch austrocknen, dass das Festhalten am Betonkranz der Auflager zu Spannungen führt, die Risse durch die ganze Decke bewirken (Abbildung 10 und 11). Wissenschaftliche Untersuchungen (Abbildung 9) haben gezeigt, dass durch scharfes Austrocknen der Oberfläche auch die Qualität des Betons, meist genau dort, wo sie besonders erforderlich ist, drastisch reduziert wird.

Ziel der Nachbehandlung ist daher der Schutz des Betons gegen vorzeitiges Austrocknen, aber auch die Unterbindung einer zu starken Abkühlung oder Erwärmung der Oberfläche, allgemein gesprochen auch eine Unterbindung von schnellen Temperaturänderungen an der Oberfläche. Zum Nachbehandeln gibt es verschiedene Möglichkeiten, vom einfachen Abdecken mit Folien uÄ bis zum Aufbringen von Nachbehandlungsmitteln.

Diese Netzrissbildung im jungen Alter des Betons ist eine Folge des „Frühschwindens“ des jungen Betons, wie sie in anderen Formen bei fehlender Nachbehandlung auch mitunder oberhalb des Bewehrungseisens vorkommt, wo dann gerne von Setzrissen (Abbildung 12) gesprochen wird. Hintergrund des Frühschwindens ist eine zunächst stark abnehmende Bruchdehnung (Abbildung 14) des erhärtenden Betons innerhalb der ersten 24 Stunden. Während der Beton als „Frischbeton“ praktisch dehnfähig ist wie ein Gummiband, vermindert sich nach wenigen Stunden diese „Dehnfähigkeit“ (Bruchdehnung). Kommt es in diesem Zustand zu stärkerem Austrocknen mangels richtiger Nachbehandlung, „reißt“ der Beton in der oberflächlichen Zone. Die Dauer der Nachbehandlung ist in Tabelle NAD 17 der ÖNORM B 4710-1 geregelt. Ob ein

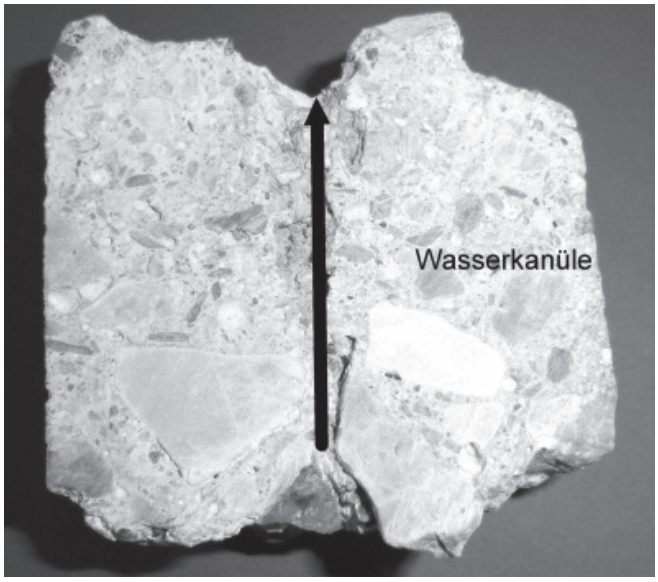

Abbildung 8: Bohrkern aus einer inhomogenen Bodenplatte mit Wasserkanüle mittig, die durch Grundwasserdruck im Frischbeton entstand

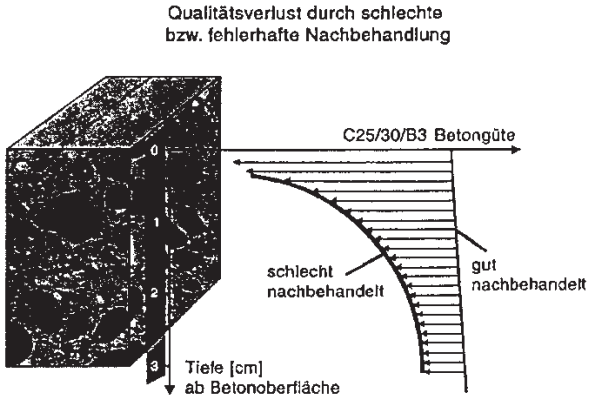

Abbildung 9: Bei „scharfem“ oberflächlichem Austrocknen ist die Festigkeitsbildung an der Oberfläche stark eingeschränkt, der Beton „sandet“ (nach *P. Nischer)*

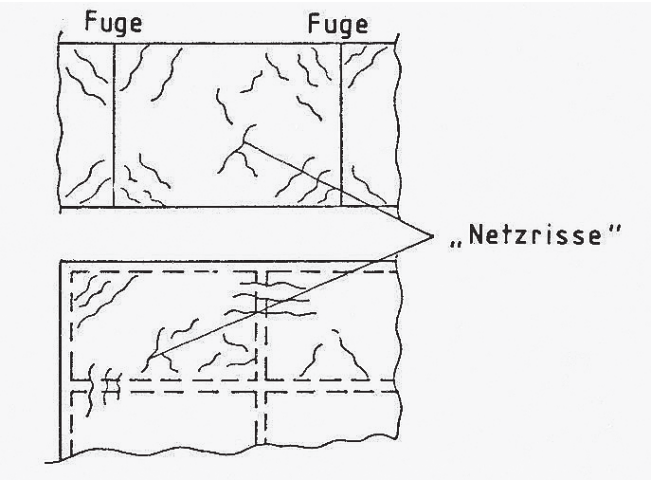

Abbildung 10: Schematische Darstellung der Netzrissbildung bei Hochbaudecken

Nachbehandlungsfehler vorliegt, lässt sich durch eine Untersuchung der Betonoberflächen (zB Mikroskopie, Quecksilber-Druck-Porosimeter) feststellen.

Bemerkenswert ist, dass bei nachbehandlungsgeschädigten – oft auch als verdurstetet apostrophiert – Beton das Bindemittel seine Hydratation bei Wasserzufuhr wieder aufnimmt und zur Festigkeitsbildung beiträgt, sofern nicht vorher eine schadhafte Gefügestörung zB durch Rissbildung oder aber auch durch Einwirkung von Frost eingetreten ist. So sind Fälle bekannt, bei denen nachbehandlungsgeschädigte und wasserdurchlässige junge Betonrohre ohne Rissschäden, „geheilt“ werden konnten, in dem sie über einen längeren Zeitraum gut (nach)befeuchtet wurden.

Neben diesen sogenannten Frühschwindrissen, gibt es bei jedem Beton auch gleichsam „normales“ Schwinden,

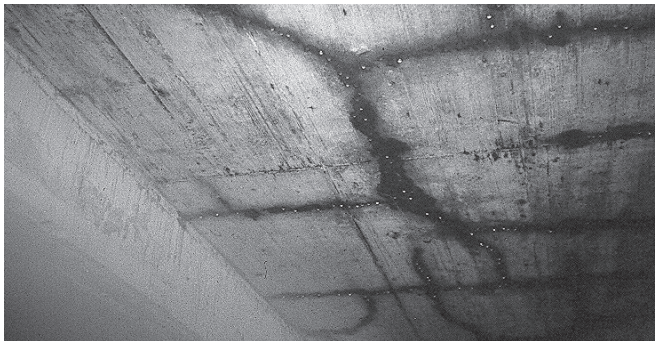

Abbildung 11: Hochbaudecke mit Netzrissen und Wasserdurchtritt (Tropfen)

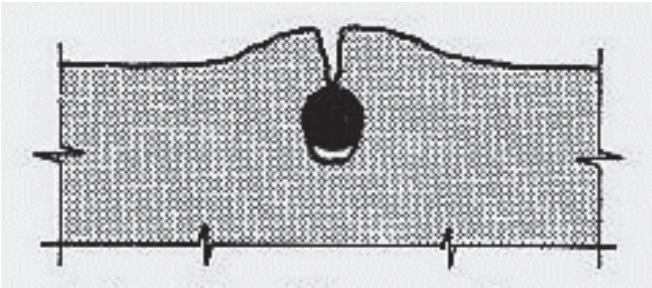

Abbildung 12: Volkstümlich als „Setzriss“ bezeichneter Frühschwindriss über einem Bewehrungseisen

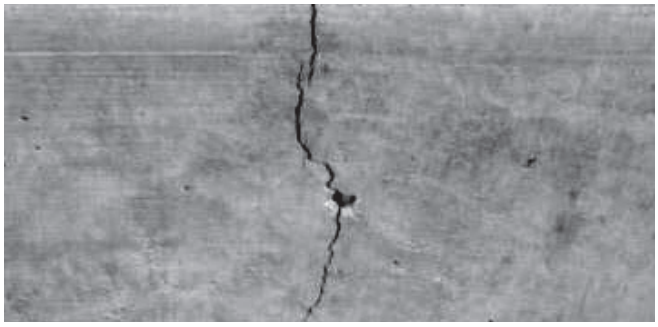

Abbildung 13: Früschwindriss am Kopf einer Betonleitwand 6 Stunden nach Herstellung im Gleitschalungsverfahren, ohne Nachbehandlung (Sommertemperaturen)

wenn die Kapillarporen zeitabhängig austrocknen können, wie das wohl meistens der Fall ist. Hat das „normale“ Schwinden, also quasi das Austrocknen des Betons, für die Funktionsfähigkeit eines Betonbauteiles eine besondere Bedeutung und wird diese nicht durch Bewehrung ausreichend abgefangen, kann auch ein besonders „schwindarmer“ Beton eingesetzt werden. Hier unterscheidet die Norm zwei Betonklassen:

1. Beton mit reduziertem Schwinden (RS);
2. Beton mit stark reduziertem Schwinden (RRS).

Ein Beton wird als RS-Beton benannt, wenn er nicht mehr als 185 l/m³ Gesamtwasser aufweist, er gilt als RRS-Beton, wenn das Gesamtwasser 170 l/m³ nicht übersteigt. Dies gilt bei einem Größtkorn von 22 mm. Bei 16 mm Größtkorn dürfen die genannten Werte um 5 l/m³ überschritten werden. Wenn diese Werte aus welchen Gründen immer nicht eingehalten werden können, ist das Schwinden (RS- und RRS-Beton) durch Prüfungen entsprechend der einschlägigen ÖNORM B 3303 nachzuweisen und den Anforderungen gegenüberzustellen. Aus der praktischen Erfahrung sind die geschilderten Schwindrisse bei Beton nicht oder selten Anlass für Streitigkeiten, relativ häufig hingegen im Bereiche des Estrichbaus.

Hingegen ist ein anderer „Risstyp“, nämlich der sogenannte „Trennriss“ durchaus problematisch, wie er mitunter bei sehr „dicken“ und „langen“ Betonwänden auftritt. Solche Trennrisse können entstehen, wenn bei massigen Betonwänden sich in der Anfangsphase der Erhärtung der frische bzw junge Beton infolge der Hydratationswärme des Bindemittels ausdehnt und sich der bereits erhärtete Beton in der Phase der Abkühlung wieder zusammenzieht. Während sich die Betonwand oben (Krone) frei bewegen kann und unten auf der Fundamentplatte die Wand mit Steckeisen fixiert und Wärme in die Bodenplatte abgibt. In mittlerer Höhe bleibt die Betonwand länger „warm“ und gedehnt. In der Phase der Abkühlung, meist nach mehreren Tagen, bauen sich zwischen Fundamentplatte und Krone so große Zugspannungen auf, dass die gesamte Wand durch Überschreiten der Zugfestigkeit meist knapp oberhalb der Fundamentplatte „reißt“ und der Riss an der „Krone“ auf *null* ausläuft. Charakteristisch für derart geschädigte Betone ist, dass ein „Trennriss“, auch „Spaltriss“ genannt, durch die gesamte Betonwand durchgeht (Abbildung 15 und 16), und zwar unabhängig von ihrer Dicke.

Um solchen Rissen zu begegnen, sind rissbegrenzende Maßnahmen zu setzen, die einerseits in der ÖNORM über die „Klassen der Wärmeentwicklung“ (Tabelle NAD 8) durch Verwendung des richtigen Bindemittels und durch die Fugenabstände geregelt werden können. Hinsichtlich der hierfür zu verwendenden Zemente bzw Bindemittel macht dieselbe Tabelle genaue Angaben, die darauf abzielen, die Wärmetönung des Zements bzw Bindemittels richtig einzustellen.

Im Allgemeinen werden in der Praxis bei massigen Bauteilen, die über das gewohnte Maß hinausgehen, im Vorfeld – also vor der Festlegung des Betons und unter

Beiziehung von Fachleuten – bereits die technischen Abklärungen getroffen, wie dies zB auch durch Kühlen des Frischbetons bei massigen und/oder besonders dicken und langen Bauteilen mitunter erforderlich scheint. Manchmal werden sogar die festgelegten Maßnahmen in einer Art „Probebetonierung“ am Bauwerk verifiziert.

7.7. Karbonatisierung des Betons

Die Karbonatisierung des Betons wird in der EN bei den Expositionsklassen behandelt (Abbildung 1). Österreich hat die Expositionsklasse „XC“ genutzt, um auch die technologischen Anforderungen für die Wasserundurchlässigkeit des Betons „unterzubringen“ und zu definieren. Unter der Karbonatisierung wird die Umwandlung von Kalziumhydroxyd in Kalziumkarbonat im Beton verstanden. Bei diesem Vorgang geht die Alkalität des Betons zumindest teilweise verloren, der pH-Wert sinkt von etwa 13 und mehr auf bis unter 10 ab. Solange der pH-Wert über 10 liegt, bildet sich auf der Oberfläche der Bewehrung eine sogenannte Passivierungsschichte, die vor dem Rosten schützt. Findet eine „Depassivierung“ statt, kann die Bewehrung rosten. Das Rosten findet unter Volumenvergrößerung statt, sodass als Folge der Beton (Betondeckung) abgedrückt wird und erst recht ein Weiterrosten möglich ist (Abbildung 20). Zusätzlich geht der Verbund zwischen Bewehrung und Beton verloren. Um sicherzustellen, dass kein Rosten der Bewehrung eintreten kann, gibt es nicht nur Vorgaben hinsichtlich des Mindestbindemittelgehaltes und W/B-Wertes, sondern auch hinsichtlich der Betondeckung, das ist der Abstand von der Bewehrung bis zur Betonoberfläche. Die Betondeckungen sind grundsätzlich nach ÖNORM B 4700 bzw den einschlägigen Teilen der ÖNORM EN 1992 geregelt und sind bei der Verfassung der Festlegung des Betons zu berücksichtigen. Die Mindestbetondeckungen werden in Abhängigkeit von der Expositionsklasse festgelegt. Um unvermeidliche Abweichungen abzudecken, wird zwischen einer „plangemäßen“ und einer „Mindestbetondeckung“ unterschieden. Die in der Regel vom Konstrukteur vorgegebene „plangemäße“ Betondeckung ist um 1 cm größer als die „Mindestbetondeckung“ (ÖNORM EN 1992-1-1). Die Unterscheidung zwischen „plangemäßer“ und „Mindestbetondeckung“ ist erforderlich, weil die unvermeidlichen Einbauschwankungen zu berücksichtigen sind.

Die Karbonatisierung ist im Laufe der Zeit umso tiefer, je größer der W/B-Wert bzw der W/Z-Wert ist. In Abbildung 19 ist die Karbonatisierungstiefe nach verschiedenen Versuchen an Betonen mit verschiedenen W/Z-Werten (0,60 und 0,95) dargestellt. Die Karbonatisierungstiefe geht bei einem W/Z-Wert (w-Wert) von 0,95 mit 10 bis 25 mm, bei einem W/Z-Wert (w-Wert) von 0,60 nur mit 2 bis 5 mm tief. Aus diesem Grunde sind in der Betonnorm bei Stahlbeton in trockenen Innenräumen nur W/B(Z)-Werte von maximal 0,70 zugelassen und gleichzeitig muss der Mindestbindemittelgehalt 260 kg/m^3 betragen. Dies deshalb, weil das sich bildende Kalkhydrat im Frischbeton als „Korrosionsschutz“ wirkt. Die Zementchemiker nennen diese natürliche „Schutzhaut“ Passivierungsschichte.

Die Karbonatisierungstiefe steigt mit zunehmenden W/Z (B)-Wert deutlich an. Das ist durchaus verständlich, weil der zunehmende Anteil an Kapillarporen bei größerem W/B-Wert ein Art „zusammenhängendes“ feinstes Netz bildet, in das das CO_2 leichter einzuwandern vermag als bei einem kleinen W/B-Wert, bei dem die Kapillarporen gleichsam nur vereinzelt und punktförmig auftreten. Die

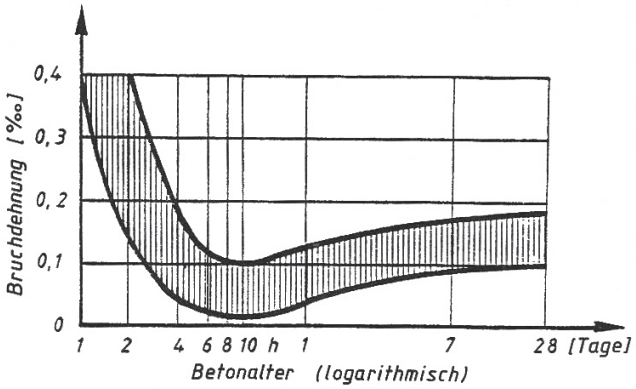

Abbildung 14: Die Bruchdehnung des Betons ist im jungen Alter etwa von 4 bis 24 Stunden ein Minimum

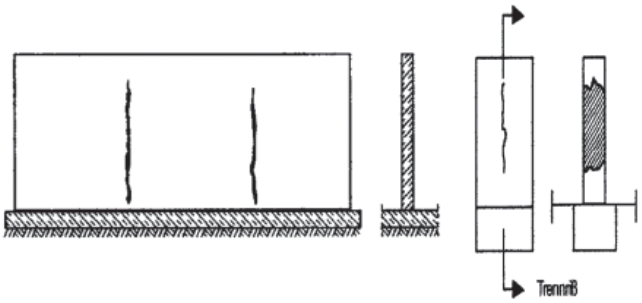

Abbildung 15: Schematische Darstellung eines Trennrisses an einer langen, dicken Betonwand Ansicht und Querschnitt nach *G. Wischers*

Abbildung 16: Trennriss beginnt knapp oberhalb der Fundamentplatte (rechts neben dem Maßstab)

Abbildung 17: Eingestürzte Kellerdecke in einem Wohnhaus nach Durchrostung der Bewehrung

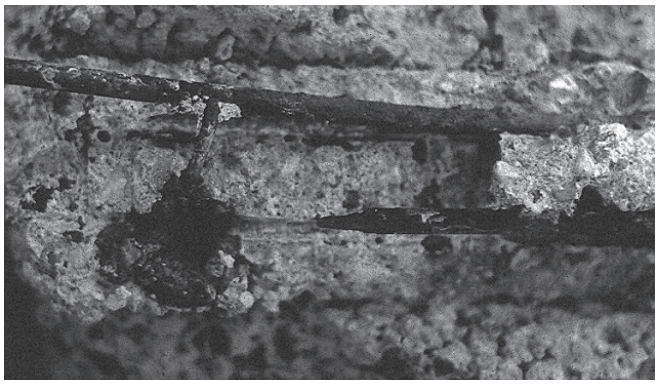

Abbildung 18: Durch Korrosion auf Querschnittsgröße „0“ durchgerostete Bewehrung

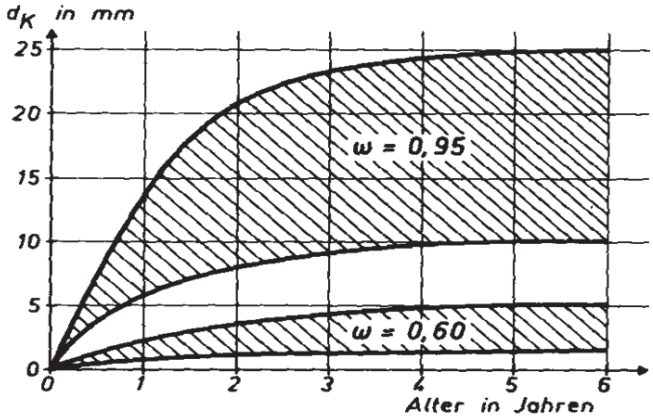

Abbildung 19: Die Karbonatisierungstiefe nähert sich asymptotisch einem Grenzwert in Abhängig-keit vom W/B(w)-Wert

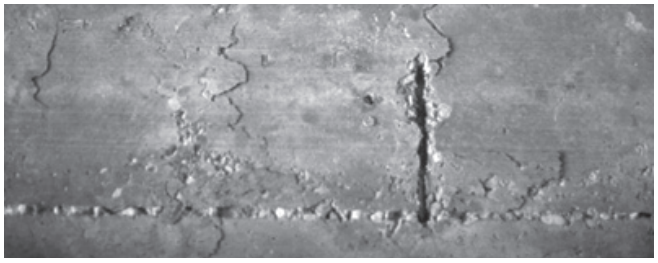

Abbildung 20: Unterseite einer Betondecke mit sichtbaren Abdrückungen bzw bereits abgefallener Betondeckung aus ungenügender Betondeckung

Karbonatisierungstiefe nähert sich allerdings asymptotisch einem Grenzwert (Abbildung 19), da es natürlich mit zunehmender Tiefe immer schwieriger wird, dass CO_2 einzudringen vermag. Da sich der W/B-Wert auch am erhärteten Beton feststellen lässt, kann der Sachverständige bei der fachlichen Bewertung von derartigen Betonschäden stets eine zielführende gutachtliche Abschätzung treffen.

8. Zusammenfassung

Die gültige Betonnorm stellt ein technisch-wissenschaftlich hochrangiges Werk dar, mit dem praktisch alle üblichen, aber auch darüber hinausgehenden Wünsche hinsichtlich der „Dauerhaftigkeit“ eines Betons eindeutig beschreibbar sind. Dabei liegt aber auch zweifelsfrei bereits eine große Verantwortung beim „Verfasser des Betons“, wenn mit den universell und umfassend angebotenen Merkmalen der Beton hinsichtlich seiner Nutzung und Dauerhaftigkeit zu beschreiben ist. Ob die beschriebenen Merkmale umgesetzt werden, lässt sich praktisch mit den existierenden und in der Regel „genormten“ Untersuchungsmethoden auch nachträglich nachweisen. Das europaweit über den EU-Raum hinaus aufgebaute System der „Akkreditierung“ erlaubt, die tatsächlichen Merkmale auch nachträglich festzustellen, womit der Beweis angetreten werden kann, ob eine Bauausführung „vertragsgemäß“ durchgeführt wurde. Die gültige Betonnorm bzw die Regeln für die Untersuchungen gehen dabei so weit, dass auch unvermeidliche „Messschwankungen“ berücksichtigt werden. Die Praxis bei Streitfällen zeigt auch immer wieder, dass Betonschäden sich meist erst dann krass abzeichnen, wenn die vorgegeben Regeln „grob“ verletzt wurden. Dies liegt auch daran, dass sich die Normgeber aus einem Sicherheitsdenken heraus durchaus zu „strengen“ Grenzwerten bekennt, wie übrigens das stellvertretend zitierte Beispiel im Punkt 6. auszugsweise zeigt.

Literatur:

[1] *Rode*, Vitruv – Baukunst, Teil 1 und 2, Faksimilenachdruck der Übersetzung 1796 (1987).
[2] *Palladio*, Die vier Bücher zur Architektur, Faksimiledruck nach der Ausgabe Venedig 1570 (1984).
[3] *Lamprecht*, Opus caementitium, Bautechnik der Römer (1996).
[4] *Vitruvius Marcus Polio*, Vitruvii de Architectura Libri Decem/Vitruvs zehn Bücher über Architektur, Übersetzung *C. Fensterbusch* (1996).
[5] ÖNORM B 4710-1: Beton Teil 1: Festlegung, Herstellung, Verwendung und Konformitätsnachweis.
[6] Gesetz betreffend das technische Untersuchungs-, Erprobungs- und Materialprüfungswesen, RGBl LXXVII. Stück, Seite 495, ausgegeben und versendet am 15. 10. 1910.

Korrespondenz:
Baurat h.c. Dipl.-Ing. Herbert Kaltenböck
Allgem. beeid. u. gerichtlich zertif. Sachverständiger
Em. Institutsvorstand der Bautechn. Versuchs-
u. Forschungsanstalt Salzburg
Bindergasse 10A, 5020 Salzburg
Tel. +43 / 662 435201
E-Mail: kaltenboeck-SV@aon.at