

# Betonieren bei hohen Temperaturen

Autor(en): **Hermann, Kurt**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Cementbulletin**

Band (Jahr): **67 (1999)**

Heft 4

PDF erstellt am: **16.07.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-153848>

## **Nutzungsbedingungen**

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.

Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.

Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

## **Haftungsausschluss**

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

# Betonieren bei hohen Temperaturen

**Auch bei hohen Temperaturen kann betoniert werden, wenn die notwendigen Vorkehrungen getroffen werden.**

«Sommerloch» oder «Sommertief» [1] sind Begriffe, die sich auf das im Sommer häufig angetroffene Phänomen beziehen, dass die 28-Tage-Druckfestigkeiten von Betonproben während der wärmsten Jahreszeit tiefer als in den übrigen Monaten sind. In *Abbildung 1* sind die Schwankungen der Druckfestigkeiten von vergleichbaren Betonen B 35/25 aus fünf Schweizer Betonwerken während den Jahren 1993–1995 grafisch zusammengefasst.

Weitere Beispiele sind bekannt [1, 2]. Beim Bau einer Brücke in Deutsch-

land wurden beispielsweise zahlreiche Frischbetonkontrollen durchgeführt und der Temperatureinfluss auf die 28-Tage-Druckfestigkeiten analysiert [2].

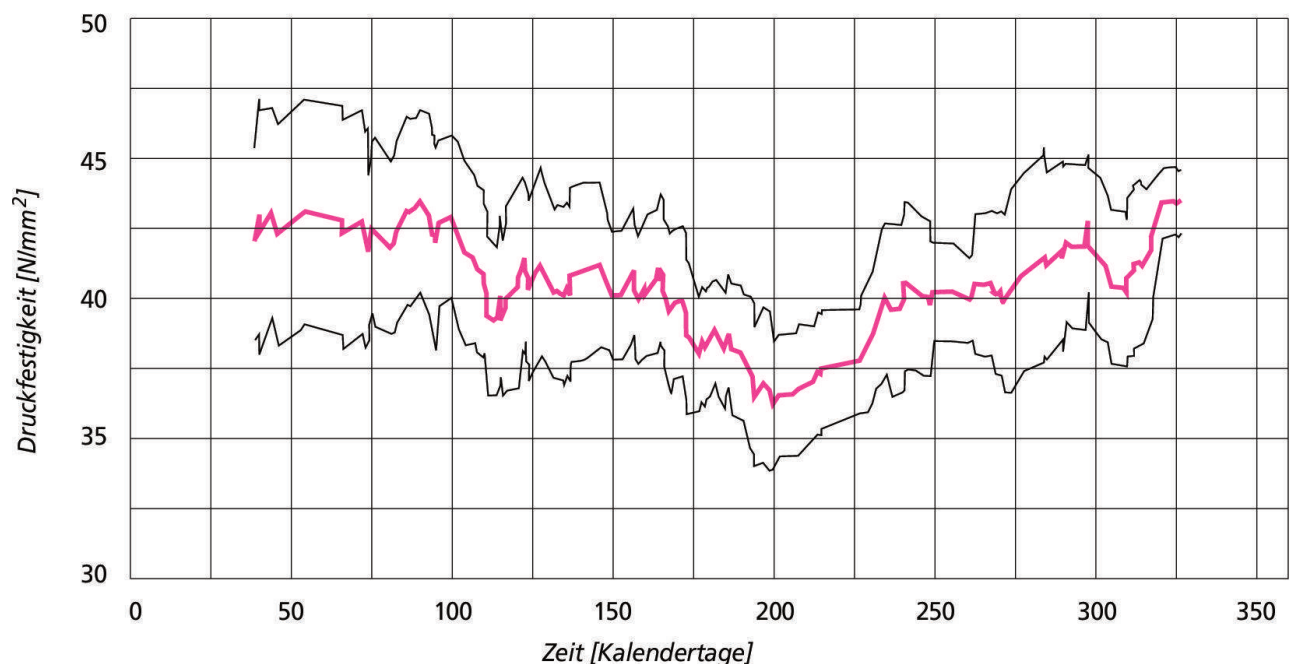
Verwendet wurde ein Beton mit folgenden Eigenschaften:

Zuschlag Grösstkorn 32 mm  
Zement 350 kg PZ 45 F/m<sup>3</sup> (ein PZ 45 entspricht ungefähr einem CEM I 42,5)

Verzögerer 0,2–0,4 Massen-% (bezogen auf Zement)

W/Z-Wert durchschnittlich 0,48  
Ausbreitmass 36–40 cm.

Einige Ergebnisse dieser Untersuchungen sind in *Abbildung 2* zusammengefasst. Der Druckfestigkeitsabfall im Sommer ist eindeutig. Aus der *Abbildung* geht auch hervor, dass die Lufttemperatur einen stärkeren Einfluss auf die Druckfestigkeitsentwicklung hatte als die Frischbeton-temperatur. Kontrolluntersuchungen zeigten zudem, dass der Einfluss der Zementdruckfestigkeit und -mahlfeinheit sowie der Wasseranspruch des Zements gering waren. Die Druckfestigkeit von Würfeln, die aus den gleichen Betonchargen ent-



**Abb. 1** Jahressgang der 28-Tage-Druckfestigkeit (Mittelwert und Standardabweichungen  $s$ ) von Beton B 35/25 aus fünf Schweizer Betonwerken (1993–1995). Quelle: Kies und Beton AG, Maienfeld; Auswertung: TFB.

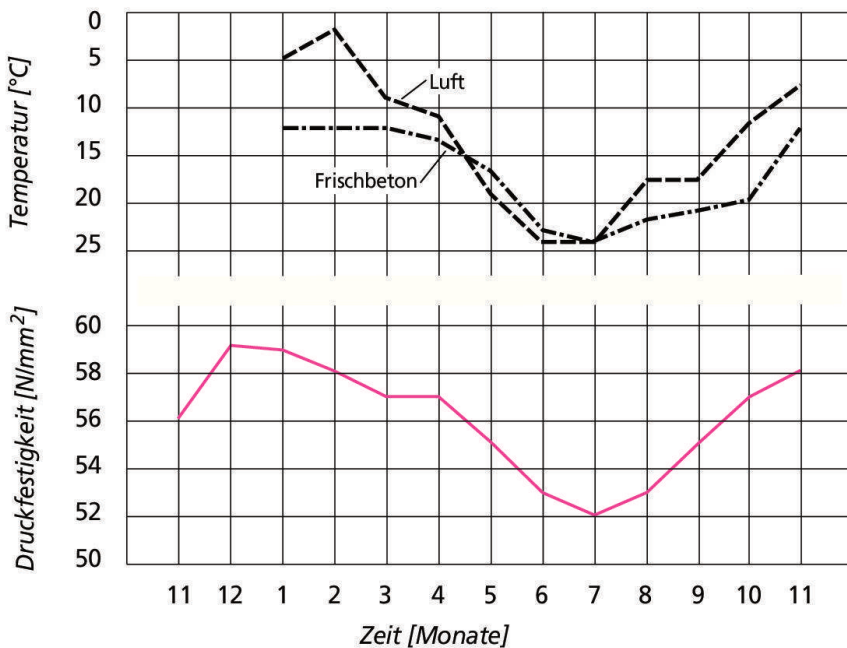


Abb. 2 Monatsmittel der Betondruckfestigkeiten für einen Teil des Oberbaus der Aichtalbrücke in Deutschland sowie Luft- und Frischbetontemperaturen (nach [2], mod.).

Grafik: TFB

weder direkt auf der Baustelle oder im nahegelegenen Labor hergestellt wurden, unterschieden sich relativ stark: Die saisonalen Unterschiede waren bei den Würfeln, die auf der Baustelle hergestellt wurden, wesentlich grösser (Abbildung 3).

### Was in den Normen steht

In der Norm SIA 162 [3] wird dem Betonieren bei tiefen Temperaturen mehr Raum gegeben als demjenigen bei hohen Temperaturen. Teilweise sind die Schutzmassnahmen für beide Situationen gleich (Ziffer 6 07 4): «Bei Frost oder hohen Lufttemperaturen ist das Betonieren nur dann gestattet, wenn besondere Schutzmassnahmen getroffen worden sind. Diese müssen vom Beginn der Betonherstellung bis zur Beendigung der

Nachbehandlung vorgekehrt werden. Art und Umfang der erforderlichen Schutzmassnahmen sind abhängig von der Aussentemperatur, der Luftfeuchtigkeit, den Windverhältnissen, der Temperatur des Frischbetons, der zu erwartenden Wärmeentwicklung beim Abbinden, der Wärmeabfuhr sowie den Abmessungen des Bauteils.»

Nach Ziffer 6 07 5 darf Frischbeton beim Einbringen nicht wärmer als + 30 °C sein. Das Anmachwasser und die Zuschlagstoffe sind gegebenenfalls abzukühlen. Beton ist zudem bis zum Zeitpunkt genügender Festigkeit «so rasch als möglich gegen Auswaschen, vorzeitiges Austrocknen durch Sonnenbestrahlung oder Wind, gegen Frost, starke Temperaturwechsel und schädliche Erschütte-

rungen zu schützen» (Ziffer 6 08 1). Relevant ist auch die Vorschrift, dass der Beginn des Schwindens durch Massnahmen wie den Schutz vor zu raschem Austrocknen so lange verzögert werden muss, «bis der Beton eine genügende Zugfestigkeit erreicht hat» (Ziffer 6 08 2).

### Einflüsse auf die Druckfestigkeit

Normen basieren auf Erfahrungen aus der Praxis. Und die Erfahrung lehrt, dass beim Betonieren im Sommer unter anderem auf die folgenden Einflüsse zu achten ist:

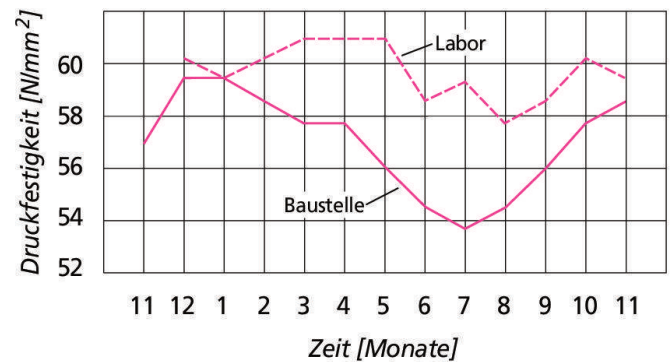
- erhöhte Temperatur der Betonzusatzstoffe
- erhöhte Frischbetontemperaturen
- erhöhte Umgebungstemperaturen
- relativ niedrige Luftfeuchtigkeit
- ev. Wind.

Die Kombination einiger oder aller dieser Faktoren wirkt sich negativ auf die Frisch- und Festbetonqualität aus. Sie haben unter anderem zur Folge:

- erhöhter Wasseranspruch
- verringertes Ausbreitmass
- kürzere Abbindezeit
- höhere Porosität
- grössere Tendenz zur Bildung von Schwindrissen
- niedrigere Druckfestigkeiten nach 28 und mehr Tagen («Sommerloch»).

**Abb. 3 Monatsmittel der Druckfestigkeiten nach 28 Tagen von Probewürfeln, die entweder auf der Baustelle oder im Labor (tiefere Lagerungstemperaturen in den ersten Stunden!) hergestellt wurden [2].**

Grafik: TFB



Damit diesen Phänomenen erfolgreich begegnet werden kann, müssen einige Tatsachen über die Hydratation von Zementen berücksichtigt werden.

#### Wärmeeinflüsse auf die Hydratation

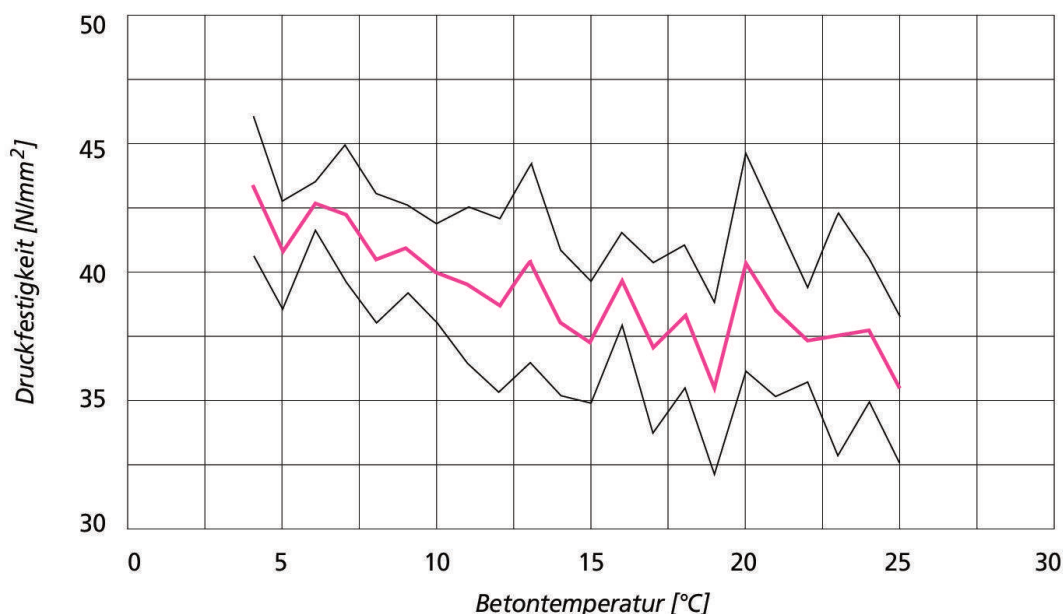
Bei der Hydratation von Zement bilden sich auf den Zementkornoberflächen mikroskopisch kleine Kristalle, die ineinander wachsen und sich dann ähnlich wie die «Zähne» eines Reissverschlusses verzahnen. Mit zunehmender Reaktionsdauer werden immer mehr Kristalle gebildet. Da-

durch entsteht der Zementstein, in dem der Zuschlag eingebettet ist. Je höher die Temperatur während dieses Erhärtungsvorgangs ist, desto schneller findet die Kristallbildung statt. Für die Entwicklung der Druckfestigkeit ist dies anfänglich positiv. Da die Reaktionsprodukte jedoch einen weniger geordneten Aufbau haben, wird der Zementstein poröser, die Druckfestigkeit nach 28 und mehr Tagen ist niedriger als bei einem Frischbeton, der um 20 °C erhärtet. So soll der Festigkeitsverlust nach 28 Tagen über 10 % betragen, wenn die Frischbeton- und Erhärtungstem-

peratur von 20 auf 30 °C erhöht wird (Abbildung 4).

#### Massnahmen bei der Betonherstellung

Zement ist im Sommer oft relativ warm. Verglichen mit den weit größeren Mengen an Zuschlagstoffen ist sein Effekt auf die Frischbetontemperatur gering. Wesentlich mehr kann durch die Verwendung von kälteren Zuschlägen gewonnen werden. Durch Lagerung im Schatten oder durch Besprühen mit Wasser lässt sich die Zuschlagtemperatur senken.



**Abb. 4 Einfluss der Temperatur auf die 28-Tage-Druckfestigkeit (Mittelwert und Standardabweichungen). Quelle: Kies und Beton AG, Maienfeld; Auswertung: TFB.**

Grafik: TFB

Auf den ersten Blick am erfolgversprechendsten ist die Senkung der Frischbetontemperatur durch Kühlung. Naheliegender ist der Einsatz von Eiskörnern oder flüssigem Stickstoff [4]. Leider sind diese Verfahren nicht ganz billig, und die Stickstoffzugabe ist aus technischen Gründen nicht überall möglich. Die schneller ablaufende Hydrata-

tion des Zements und die grössere Verdampfungstendenz des Anmachwassers führen zu einem schnelleren Ansteifen des Frischbetons. Zwar ist der zeitliche Verlauf der Änderung der Konsistenz ähnlich, ein 35 °C warmer Frischbeton hat aber unmittelbar nach der Herstellung bereits ein um 5 bis 10 cm geringeres Ausbreitmass als 20 °C warmer Frischbeton der gleichen Rezeptur (Abbildung 5) [5]. Dieses Problem wird oft durch Zugabe von mehr Wasser gelöst. Wenn diese Massnahme nicht von einer entsprechenden Erhöhung des Zementgehalts begleitet ist, steigt der W/Z-Wert. Die Konsequenzen sind bekannt: tiefere 28-Tage-Festigkeiten, porösere Betone....

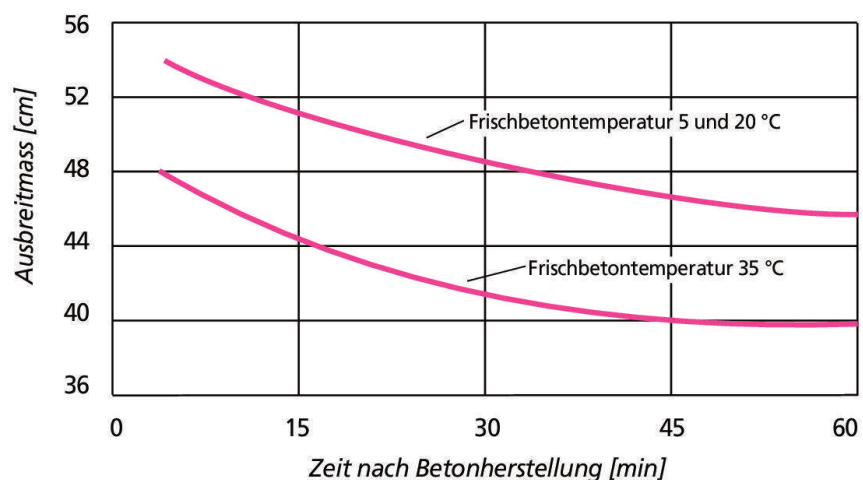


Abb. 5 Abhängigkeit der Konsistenzänderung von der Frischbetontemperatur bei konstanter Betonzusammensetzung (300 kg CEM l/m<sup>3</sup>, W/Z-Wert 0,50) [5].

Grafik: TFB

Sinnvoller ist es, entweder einen Verzögerer einzusetzen oder die Frischbetonkonsistenz mit einem HBV zu verbessern.

#### Oft einfach, aber wirkungsvoll

Einige einfache Massnahmen helfen, die unerwünschten Folgen des Betone-

nierens bei erhöhten Temperaturen zu verringern:

- gute Planung der Arbeitsabläufe
- kleinere Bauabschnitte vorsehen
- Betonieren, wenn Aussentemperaturen sinken, also am späteren Abend
- Betonrezeptur anpassen, z.B. durch die Verwendung eines weniger reaktiven Zements
- Transportgeräte auf Baustelle in den Schatten stellen
- ganzes Einbringgebiet beschatten und vor Wind schützen
- möglichst kurze Transportdistanzen
- keine Wartezeiten vor dem Ausladen des Betons auf der Baustelle
- auf möglichst kühlem Untergrund betonieren
- auf der Baustelle mehr Leute fürs Einbringen und Verdichten des Betons einsetzen.

## LITERATUR

- [1] «Betonieren bei heisser Witterung», VDB-Information 79 (1998).
- [2] Lütkehaus, M., «Beobachtungen von jahreszeitlichen Festigkeitsschwankungen beim B 45 des Überbaues der Aichtalbrücke», Betonwerk und Fertigteil-Technik 52 [7], 454–461 (1986).
- [3] Norm SIA 162: «Betonbauten» (1993).
- [4] Goldstein, W, und Rühr, U., «1A-Beton durch Stickstoffkühlung», Strassen- und Tiefbau 44 [2], 24 (1996).
- [5] Krell, J., Dahlhoff, U., und Vissmann, H.-W., «Temperaturabhängigkeit von Betoneigenschaften», Beton 44 [11], 668–670 (1994).

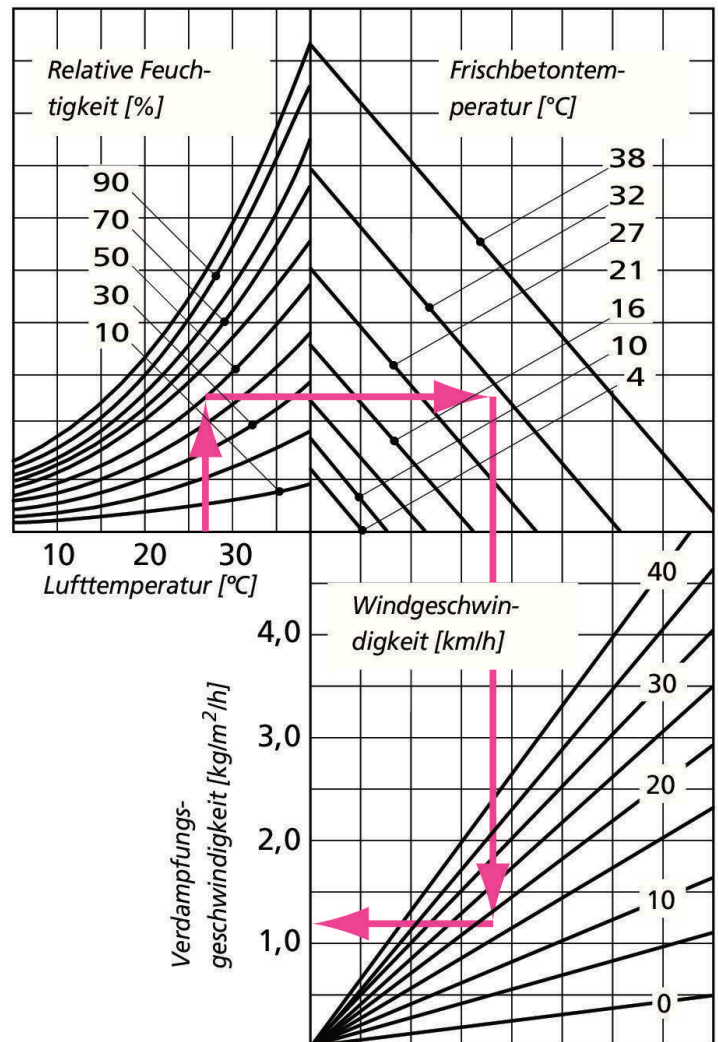
- [6] van Egmond, B., und Hermann, K., «Blutender Beton», Cementbulletin 67 [2], 3–7 (1999).
- [7] Hover, K., «Keeping concrete cool in the heat of summer», Concrete Construction 38 [6], 433–436 (1993).
- [8] ACI Committee 305: «Hot weather concreting», ACI Materials Journal 88 [4], 419–436 (1991).

### Frischbetonkontrollen

Die Herstellung von Würfelproben scheint ein besonders kritischer Punkt zu sein. Darauf wurde bereits hingewiesen. Es ist darauf zu achten, dass möglichst im Schatten gearbeitet wird. In keinem Fall sollen Betonproben in der prallen Sonne herumstehen. Frisch hergestellte Würfel sollen zugedeckt an einem möglichst kühlen Ort zwischengelagert werden. Ein häufiger Fehler bei Bestimmungen des Luftporengehalts besteht darin, dass am Morgen bei noch relativ tiefen Temperaturen eine Kontrollmessung durchgeführt wird, die das erwartete Resultat liefert. Auf weitere Messungen während der wärmeren Tageszeit wird verzichtet, obwohl sie gerade dann besonders wichtig wären, um den angestrebten Luftporengehalt durch Modifikation der Betonrezeptur zu gewährleisten.

### Nachbehandlung

Die Nachbehandlung ist bei allen Betonierarbeiten wichtig. Doch gerade im Sommer darf sie auf keinen Fall vernachlässigt werden. Dazu gehört unter anderem der Schutz vor Sonne und Wind, damit der oberflächen-nahe Beton nicht austrocknet (siehe *Abbildung 6*). Sobald das oberflächliche Blutungswasser [6] verdampft ist, muss die Betonoberfläche feucht gehalten wer-



**Abb. 6** Abschätzung der Einflüsse der Frischbeton- und Lufttemperatur, der relativen Luftfeuchtigkeit sowie der Windgeschwindigkeit auf den Feuchtigkeitsverlust an der ungeschützten Betonoberfläche. Im angegebenen Beispiel verliert ein 30 °C warmer Beton bei 27 °C Lufttemperatur und 50 % relativer Feuchtigkeit bei einer Windgeschwindigkeit von rund 20 km/h stündlich rund 1,25 kg Wasser pro Quadratmeter. Quelle: [8], mod.

Grafik: TFB

den, ohne dass sich Wasser auf der Oberfläche ansammelt. Dies gilt besonders für silicastaubhaltige Betone [7].

Unter Umständen kann es notwendig sein, Beton in der ersten Nacht nach dem Einbringen vor Wärmeverlust zu schützen: Dünne Bauteile kühlen bei relativ tiefen Nachttemperaturen schnell ab, was zu grossen Temperaturdifferenzen innerhalb weniger Stunden und schliesslich auch zu Rissen führen kann.

### Zum Schluss

Mit den heute vorhandenen beton-technologischen Kenntnissen und gesundem Menschenverstand kann vielen negativen Folgen der höheren Temperaturen im Sommer erfolgreich begegnet werden. Ein weiterer Schritt in die richtige Richtung wäre sicher auch die Abkehr vom starren Rezepturdenken zu Gunsten von Vereinbarungen über die zu erreichenden Betoneigenschaften.

Kurt Hermann, TFB