



## „Moderner Beton Teil 2: Sichtbeton – Auf die Orbitale kommt es an! “

Karsten Schubert

Moderne Hochleistungsbetone sind chemisch sehr komplexe 6-Stoff-Systeme mit den einzelnen Komponenten: Zement, Wasser, Gesteinskörnung, Betonzusatzstoffe, Betonzusatzmittel und Luft. Durch die Auswahl und Kombination der entsprechenden Ausgangsstoffe aus einer fast unüberschaubaren Rohstoffbasis werden Hochleistungsbetone hergestellt mit besonderen Eigenschaften hinsichtlich ihrer Verarbeitbarkeit, Dauerhaftigkeit und Ästhetik.

Die chemischen Reaktionen und physikalischen Wechselwirkungen der einzelnen Ausgangsstoffe sind sehr komplex und werden in einer Vielzahl aktueller Forschungsarbeiten untersucht.

Am Beispiel Sichtbeton werden diese Zusammenhänge deutlich und weithin sichtbar. Moderne Sichtbetonoberflächen müssen über die allgemein üblichen Anforderungen an Ebenheit, Scharfkantigkeit und Porenfreiheit hinaus besondere Ansprüche hinsichtlich der Gleichmäßigkeit von Farbe und Oberflächentextur erfüllen.

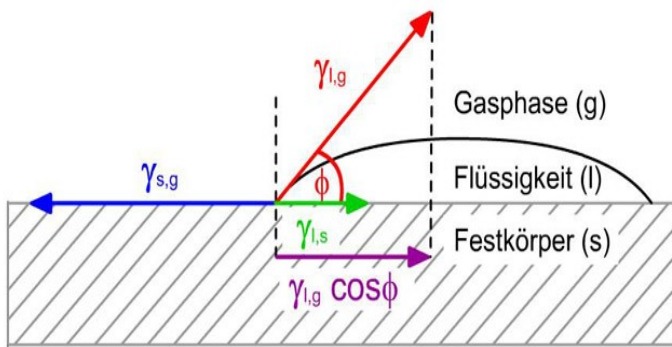
Entscheidend für das makroskopische Erscheinungsbild von Sichtbetonoberflächen sind die physikalisch-chemischen Wechselwirkungen zwischen der Oberfläche der Schalung, der sogenannten Schalhaut, und dem noch nicht erhärteten Frischbeton.

Dabei handelt es sich im Allgemeinen um ein System aus der Schalhaut, dem Frischbeton und einem Trennmittel. Trennmittel werden aus baupraktischen Gründen zur Erleichterung des Ausschalens, dem Schutz der Schalung sowie der Vergleichmäßigung der späteren Ansichtsflächen eingesetzt. Trennmittel sind komplexe chemische Gemische aus Lösungsmitteln, Mineralölen, Fettsäuren, Fettsäureestern und speziellen funktionsspezifischen Additiven.

Entscheidend für das spätere Erscheinungsbild des Sichtbetons ist das Benetzungsverhalten des Frischbetons in der Einbauphase.

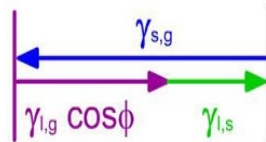
Zur besseren Veranschaulichung der auftretenden Wechselwirkungsprozesse werden im Folgenden Systeme ohne Trennmittel betrachtet.

Die auftretenden Wechselwirkungen können dann beschrieben werden durch die Oberflächenenergien und Oberflächenspannungen der beteiligten drei Phasen, der Flüssigkeit Frischbeton, dem Festkörper Schalhaut und dem umgebenden Gasraum Luft. Die entsprechenden Kräfte veranschaulicht das in Bild 1 dargestellte Modell eines liegenden Tropfens nach Young [1].



### Young - Gleichung

$$\gamma_{s,g} - \gamma_{l,s} = \gamma_{l,g} \cos \phi$$



**Abbildung 1:** Vektorielle Darstellung des Kräftegleichgewichts am liegenden Tropfen nach Young [1] mit:  
 $\gamma_{L,G}$  = Oberflächenspannung der Flüssigkeit zur Gasphase  
 $\gamma_{S,G}$  = Oberflächenenergie des Festkörpers zur Gasphase  
 $\gamma_{L,S}$  = Grenzflächenspannung zwischen Flüssigkeit und Festkörperoberfläche  
 $\Theta$  = Rand-, Kontakt- oder Benetzungswinkel ( $0^\circ < \Theta < 180^\circ$ )  
 $\Theta < 90^\circ$  Flüssigkeit wirkt benetzend  
 $\Theta > 90^\circ$  Flüssigkeit wirkt nicht benetzend

Die Oberflächenenergie des Festkörpers Schalhaut wird beeinflusst durch die Hydrophilie/-phobie, Polarität, Heterogenität, Rauigkeit und Verunreinigungen durch Produktionsbedingte Maskierungsschichten.

Die direkte Messung der Oberflächenenergie  $\gamma_{S,G}$  von Festkörpern ist physikalisch nicht möglich und erfolgt näherungsweise indirekt durch Bestimmung des Kontaktwinkels zwischen Flüssigkeit und Festkörperoberfläche. Die Oberflächenspannung einer Flüssigkeit  $\gamma_{L,G}$  kann dagegen direkt mit der *Methode des hängenden Tropfens* nach Zismann [2] bestimmt werden. Die Grenzflächenspannung  $\gamma_{L,S}$  zwischen Flüssigkeit und Festkörperoberfläche resultiert aus der Oberflächenspannung der Flüssigkeit  $\gamma_{L,G}$  und der Oberflächenenergie des Festkörpers  $\gamma_{S,G}$ .

Für die Benetzung des Festkörpers Schalhaut durch die Flüssigkeit Frischbeton sind die dispersen und polaren Energieanteile der heute im Baubereich eingesetzten polymeren Werkstoffe der Schalhaut entscheidend.

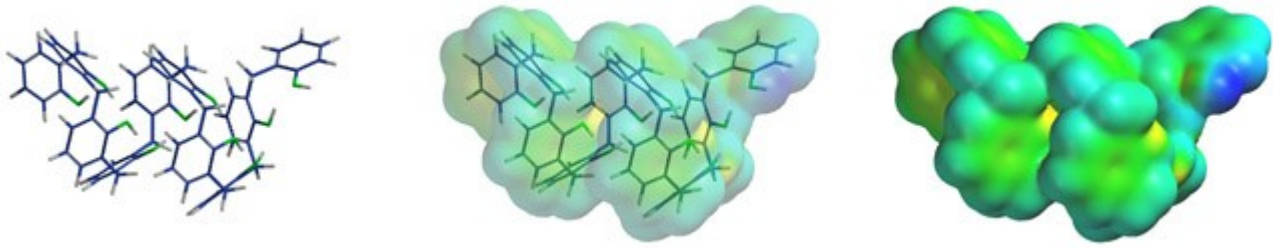
In diesem Zusammenhang ist die sogenannte Porenlösung maßgeblich für den Frischbeton. Die Porenlösung ist eine wässrige Lösung aus Salzen und anorganischen Basen, die durch Ionen und Teilchen mit unsymmetrischen Ladungen und Dipolmomenten charakterisiert ist.

Durch den Kontakt mit der Porenlösung des Frischbetons wird in den unpolaren Polymerwerkstoffen der Schalhaut ein Dipolmoment induziert. Es treten Dispersionswechselwirkungen oder *London Kräfte* zwischen induzierten Dipolen und rein polare Wechselwirkungen auf. Die Oberflächenenergie  $\gamma_{S,G}$  eines Festkörpers hat somit einen dispersen und einen polaren Anteil (1).

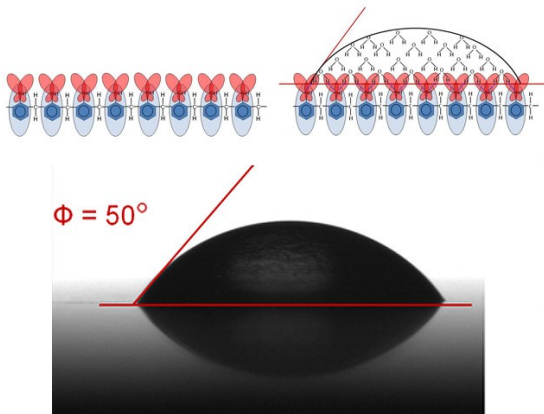
#### (1)

Die in den Schalmaterialien verwendeten polymeren Werkstoffe besitzen abhängig von ihrem strukturellen Aufbau unterschiedlich große disperse und polare Oberflächenenergieanteile.

Reine Polyolefin-Materialien wie Polypropylen besitzen keine polaren Anteile, während andere Polymerwerkstoffe eine sehr starke Polarität aufweisen. Dazu gehören insbesondere solche mit einer breiten technischen Variabilität der Syntheseverfahren wie Melamin- oder Phenolharz-Werkstoffe. Bild 2 zeigt eine modellhafte computergestützte Darstellung der polaren Ladungsverteilung einer Phenolharzstruktur [3].

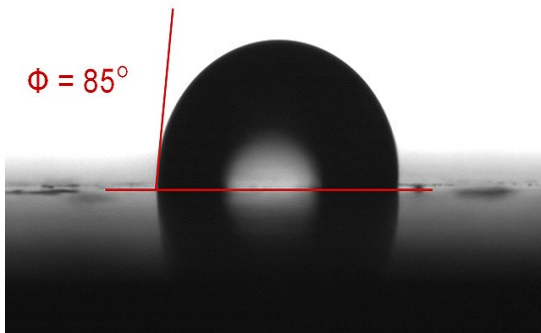


**Abbildung 2:** Modell der Ladungsverteilungen einer Phenolharzstruktur [3]



**Abbildung 3:** Vereinfachte Darstellung der Wechselwirkungen zwischen einer polaren Phenol-Formaldehydharz-Schalhaut und einem Tropfen der Frischbetonlösung

Die Wechselwirkungen zwischen einem Phenol-Formaldehydharz und der Porenlösung des Frischbetons sind vereinfachend in Bild 3 dargestellt. Maßgeblich für die Polarität des Phenolharzes sind die freien p-Orbitale am Sauerstoff und die damit verbundene starke formal negative Ladung in diesem Bereich. Die Frischbetonporenlösung wird maßgeblich durch die Dipoleigenschaften des enthaltenen Wassers bestimmt. Die anziehenden Wechselwirkungskräfte zwischen den formal negativen Sauerstoffatomen des Phenolharzes der Schalhaut und den formal positiven Wasserstoffatomen des Wassers der Porenlösung führen zu einer Spreitung des Tropfens und einer damit verbundenen guten Benetzung.



**Abbildung 4:** Kontaktwinkel zwischen einer unpolaren, dispersen Polypropylen-Schalhaut und einem Tropfen der Frischbetonlösung

Im Gegensatz zu dem flachen Kontaktwinkel zwischen Porenlösung und einer phenolharzbasierten Schalhaut ist der Kontaktwinkel bei einer unpolaren, dispersen Polypropylen-Schalhaut wie in Bild 4 dargestellt deutlich größer.

Werden wie in der Baupraxis üblich Trennmittel verwendet, bildet sich eine Trennschicht zwischen Schalhaut und Frischbeton. Die Trennmittelschicht kann zu einer Maskierung bis hin zu einer völligen Umkehr der Polarität der Oberfläche führen. Das Fazit der vorgestellten Untersuchungen an Trennmittelfreien Schalhautsystemen bleibt davon allerdings unberührt.

Die zunehmende Polarität der Schalhautoberfläche führt zu flacheren Kontaktwinkeln und zu einem besseren Benetzungsverhalten des Frischbeton und gleichmäßigeren, porenärmeren Sichtbetonoberflächen.

Die Beschreibung der vorgestellten Wechselwirkungen zwischen Schalhaut und Frischbeton und die baupraktische Umsetzung zur zielsicheren Planung und Ausführung von Sichtbetonoberflächen ist Gegenstand aktueller Forschungsarbeiten im AiF-Verbundforschungsprojekt *Neue Sichtbetontechnik* [4].

Kontakt:	Schlauer Fuchs
 <p><b>Prof. Dr. Karsten Schubert</b>  Hochschule Karlsruhe – Technik und Wirtschaft  Fakultät Architektur und Bauwesen  Moltkestr. 30  76133 Karlsruhe  E-Mail: <a href="mailto:karsten.schubert@hs-karlsruhe.de">karsten.schubert@hs-karlsruhe.de</a></p>	<p>Unsere Schlaue-Fuchs-Frage zu diesem Beitrag lautete:</p> <p>Was ist entscheidend für das spätere Erscheinungsbild des Sichtbetons?</p>
 <p>Hochschule Karlsruhe  Technik und Wirtschaft  UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES  Näher dran.</p>	<p><a href="http://www.hs-karlsruhe.de/">http://www.hs-karlsruhe.de/</a></p>

**Literatur:**

- [1] T. Young : An Essay on the Cohesion of Fluids. Philosophical Transactions of the Royal Society of London, The Royal Society, London 1805, Vol. 95, S. 65—87
- [2] W.A. Zisman und H.W. Fox: Journ. Colloid Science (1950) 5, 514 ff.
- [3] I. Schäufele und J. Süßmuth: Hochschule Karlsruhe für Technik und Wirtschaft
- [4] AiF-DBV-Verbundforschungsprojekt *Neue Sichtbetontechnik - Integration der Erkenntnisse zu Wechselwirkungen zwischen Schalungshaut, Trennmittel und Betonoberfläche in die Prozesskette beim Sichtbeton* (AiF-Nr. 15873N) mit den Projektpartnern: Technische Universität Darmstadt, VDZ Düsseldorf, Leibniz Universität Hannover, Hochschule Karlsruhe, Fachhochschule Köln, Technische Universität München