

# GRUNDLAGEN ÜBER DIE WIRKUNG VON FASERN IN BETON

**Dr. Rudolf RÖCK**

Leiter Forschung und Entwicklung Schretter & Cie, Vils

## Einleitung

Zum besseren Verständnis der prinzipiellen Wirkung von Fasern im Beton wird im Folgenden eine Betrachtung über die physikalischen Vorgänge beim Ausziehen einer einzelnen Faser im Falle der mechanischen Belastung bis zum Bruch des Betons vorgenommen. Die einzelnen Ablaufphasen werden beschrieben und im Hinblick auf verschieden mögliche mechanische Eigenschaften der gängigen Fasertypen beurteilt.

Ziel der Untersuchung ist die Darstellung eines Beurteilungsverfahrens für die Auswahl der richtigen Fasertypen für den vorgesehenen Einsatzzweck.

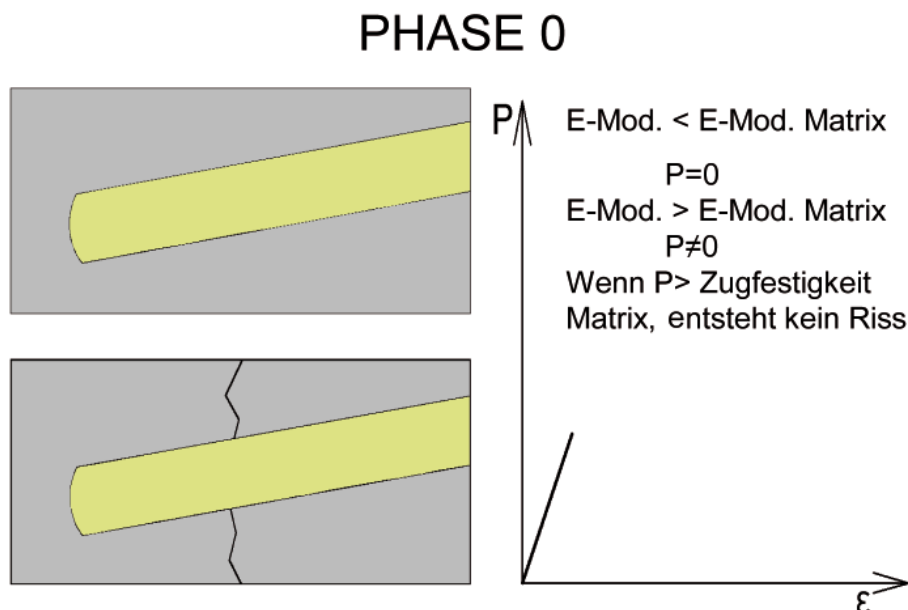
Des Weiteren wird auf Aspekte der Verarbeitbarkeit sowohl in rheologischer Hinsicht als auch was die Verarbeitung im Spritzbetonverfahren betrifft eingegangen.

## Auszugverhalten der Faser

Das Auszugverhalten von Fasern, dargestellt anhand einer Einzelfaser im Zementsteinverbund, kann prinzipiell in 5 verschiedene Phasen unterteilt werden.

0. Ausgangszustand ohne Belastung
1. Phase der linearen Kraftaufnahme
2. Ablösephase
3. Auszugsphase
4. Versagensphase

**Phase 0** stellt den unbelasteten Ausgangszustand dar.

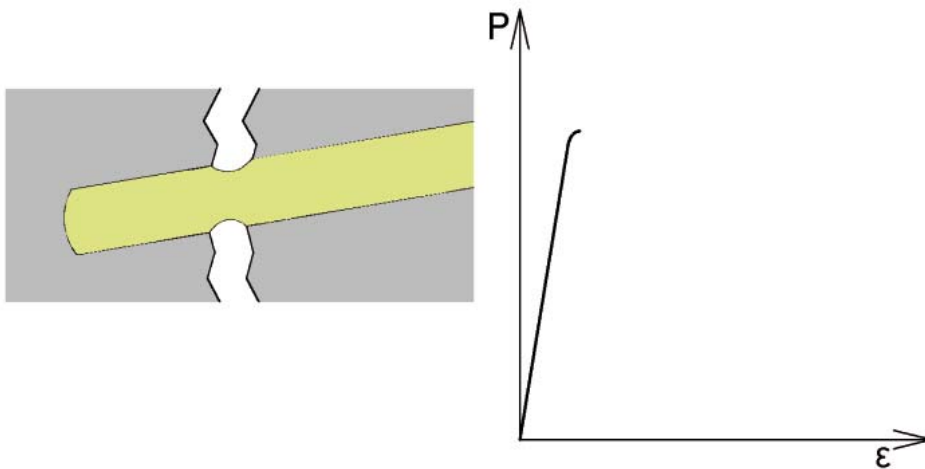


**Phase 1** beschreibt das Verhalten der Einzelfaser während einer mechanischen Belastung des Betons durch Zugkräfte, solange die Faser sich im festen Verbund mit der umgebenden Matrix befindet.

Die Faser nimmt annähernd linear Kraft auf. Je nach E-Modul der Faser ist die Kraftaufnahme bis zum ersten Auftreten eines Risses sehr klein bei a) geringerem E-Modul der Faser als jener der Umgebung oder b) groß bei einem höheren Faser-E-Modul als jener der umgebenden Zementsteinmatrix. Tritt ein Riss im Beton auf, so wird die Faser bis zur beginnenden Ablösephase eingeschnürt. Dies ist im Allgemeinen der Punkt der höchsten Kraftaufnahme.

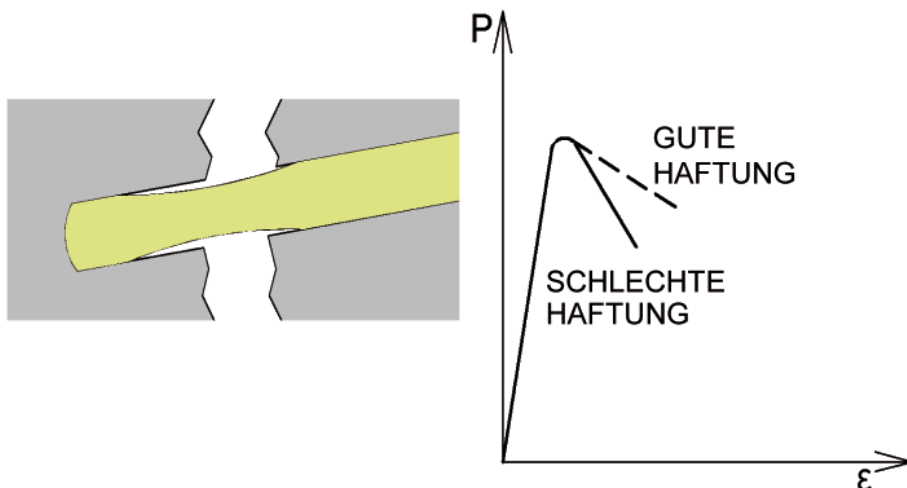
Während der Phase 1, und nur dann, kann auch ein Faserriss auftreten. In diesem Fall kommen die weiteren Phasen nicht mehr zum Tragen.

## PHASE 1 Kraftaufnahme

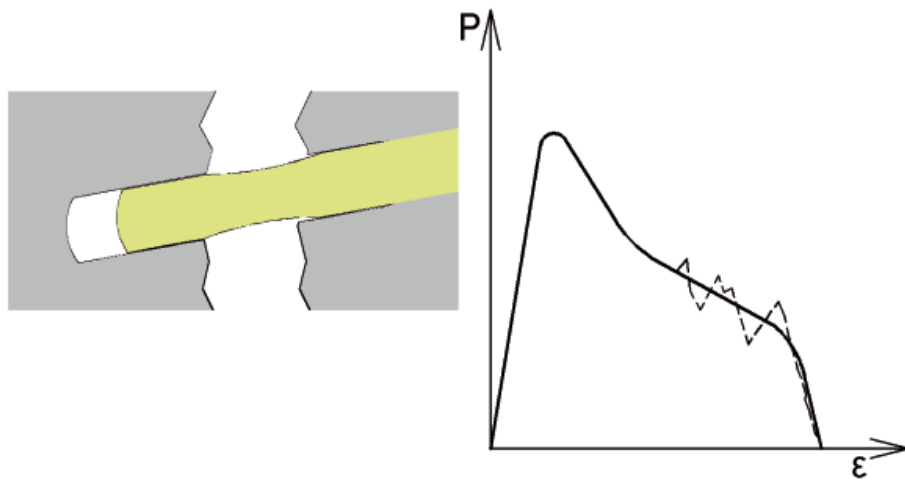


**Phase 2** ist gekennzeichnet durch den fortschreitenden Ablösevorgang der Faser von der umgebenden Zementsteinmatrix. Es ist, wenn man so will, die Phase des Verbundversagens. Die von der Faser aufgenommene Kraft erleidet einen plötzlichen mehr oder minder steilen Abfall. Je länger die Faser, umso länger dauert die Phase 2 des Ablösens.

## PHASE 2 Ablösephase

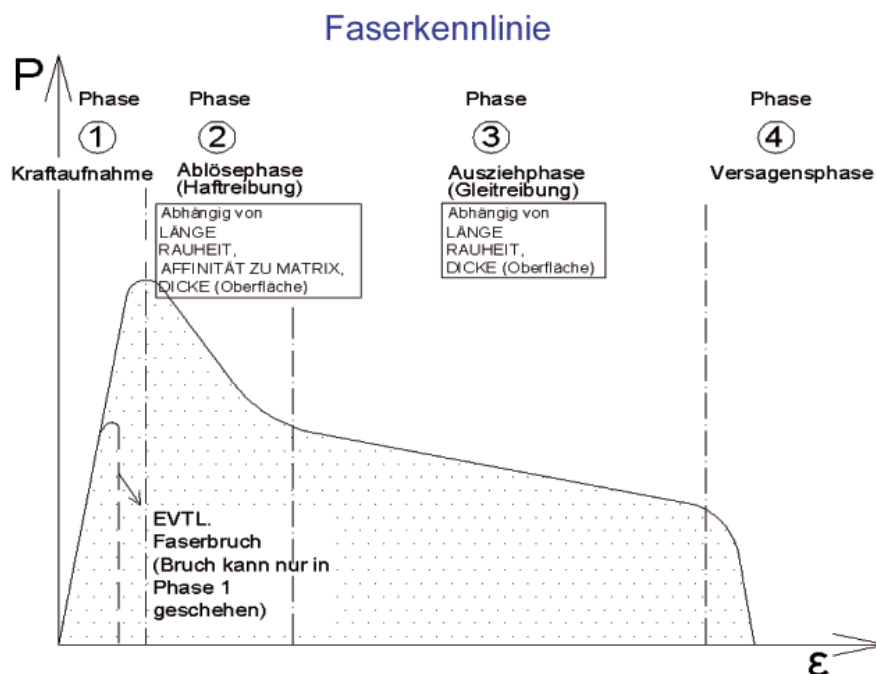


## PHASE 3+4 Auszugsphase + Versagen



**Phase 3** beginnt, sobald sich die Faser auf ihrer gesamten Länge abgelöst hat. Die Faser wird ausgezogen. Der Widerstand bzw. die Kraftaufnahme beschränkt sich nun nur mehr auf die Gleitreibung im Auszugskanal. Die Kraft nimmt relativ flach abfallend nahezu linear ab bis zum gänzlichen Versagen, das in Phase 4 dargestellt ist. Die Kennlinie der Faser beim Ausziehen verläuft in der Praxis nicht so kontinuierlich wie in den idealisierten Diagrammen dargestellt. Es gibt im Allgemeinen einen durch Verkeilungseffekte hervorgerufenen mehr oder weniger gezackten Verlauf.

### Die Faserkennlinie

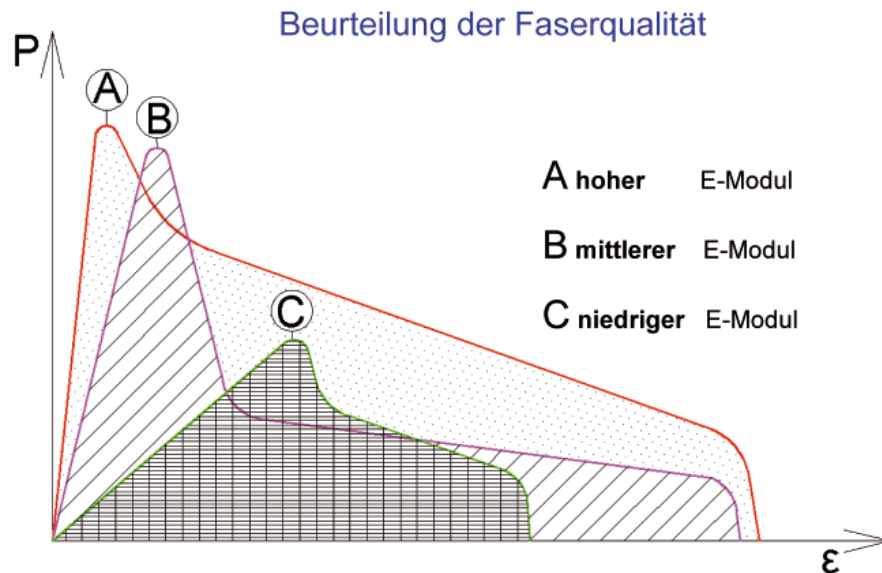


Die Faserkennlinie erlaubt es uns, Schlüsse für die Auswahl von Fasertypen für verschiedene Einsatzzwecke zu ziehen.

Je nach E-Modul, Verbundverhalten, Länge, Dicke und Oberflächenbeschaffenheit kann allein aus der Faserkennlinie die beste Wahl für bestimmte Einsatzzwecke getroffen werden.

Beispielhaft werden im Folgenden drei Fasertypen, gekennzeichnet durch entsprechende Kennlinien, für die Einsatzzwecke vorgestellt:

- A Mechanische Verbesserung (Rissverteilung, Zugfestigkeit)
- B Brandschutzverhalten
- C Thixotropieverhalten



**Kennlinie A** kennzeichnet eine Faser mit hohem E-Modul, bedingt durch den steilen Anstieg der Kraftaufnahme in Phase 1, mit guter Haftung wegen der relativ flachen Abnahme der Kraftlinie, einer kurzen Ablösephase, und eine lange Faser mit hoher Gleitreibung beim Ausziehen resultierend aus der langen und relativ steilen Ausziehphase.

Diese Faser verleiht dem Beton eine hohe Duktilität und, was besonders wichtig ist, eine hohe Auszugsenergie, die durch Integration der Spannungs-Dehnungs-Linie (umschlossene Fläche) dargestellt werden kann.

**Kennlinie B** weist auf eine Faser mit geringerem E-Modul (Kunststofffaser), einer mäßigen Haftung und etwa gleicher Länge, jedoch mit wesentlich geringerer Gleitreibung gegenüber Faser A hin. Diese Faser würde sich bestens für den Einsatz zur Erhöhung der Brandbeständigkeit von Beton eignen. Die Faser muss lediglich die nötige Wasserdampfgängigkeit im Brandfalle gewährleisten, und das zu einem möglichst frühen Zeitpunkt, was durch die geringe Haft- und Gleitreibung gegeben ist.

**Kennlinie C** beschreibt eine kurze, dünne Faser (kurzer Abfall in Phase 2 und 3) mit sehr geringem E-Modul (flacher Anstieg in Phase 1). Eine solche Faser wird zur Erhöhung der Thixotropizität von Spachtelmassen, Fliesenklebern und Reparaturmörteln eingesetzt. Die Faser beeinflusst also ausschließlich Frischbetoneigenschaften, sodass die Höhe des E-Moduls keinerlei Bedeutung hat.

## Beeinflussung der Beton-(Mörtel-)Eigenschaften durch Fasern

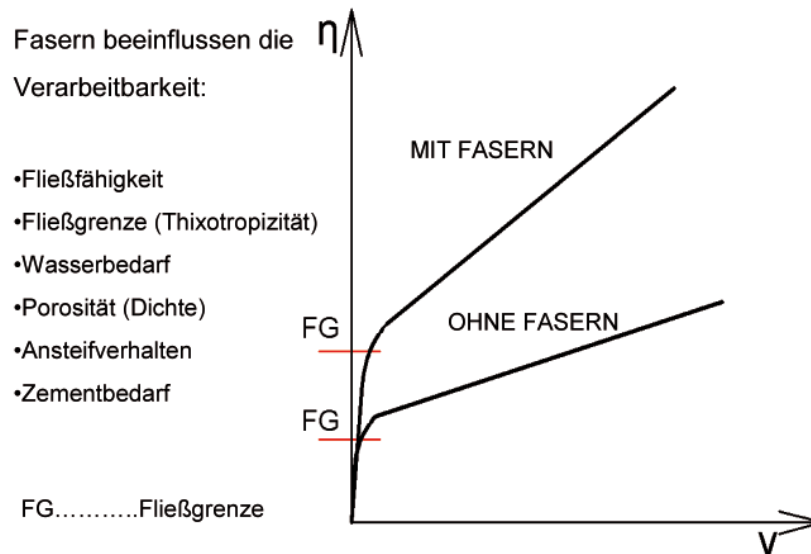
Fasern im Beton (Mörtel) verändern

- die Rheologie (Fließverhalten)
- den Wasserbedarf (wird erhöht)
- die Porosität (steigt)
- den Zementbedarf (steigt)
- und allenfalls das Ansteifverhalten.

Hinsichtlich der Rheologie wird sowohl die Viskosität (Fließverhalten) erhöht als auch die so genannte Fließgrenze.

Als Fließgrenze bezeichnet man den Ordinatenabschnitt des linearen Astes im Diagramm „Schergeschwindigkeit gegen Scherkraft“. Die (kinematische) Viskosität wird als Steigung des linearen Astes im selben Diagramm dargestellt.

## Aspekte der Verarbeitbarkeit



## Verhalten von Fasern im Spritzbeton

Für den Fasereinsatz im Spritzbeton sind folgende Aspekte zu beachten:

- Welchem Zweck soll die Faser dienen (mechanische Verbesserung, Brandschutz, Thixotropie)?
- Wird trocken oder nass gespritzt?
- Wie hoch sind die Faserverluste? Wie viel muss überdosiert werden?
- Wie richten sich die Fasern aus?

Hinsichtlich des Einsatzzweckes gilt das oben Gesagte. Für mechanische Verbesserungen sollen die Fasern lang sein und einen hohen E-Modul besitzen. Derartige Fasern werden im Spritzverfahren stets senkrecht gerichtet zur Spritzrichtung eingebaut. Dieser Effekt ist durchaus erwünscht und erhöht die Effizienz der Faserbeimengung.

Brandschutzfasern aus Polypropylen sind leicht und kurz und werden daher kaum gerichtet eingebaut.

Das Trocken- oder Nassspritzverfahren ist bei Fasereinsatz vor allem für die Verlustrate maßgeblich. Auch das spezifische Gewicht der Fasern wirkt sich stark aus. Schwere Fasern (etwa aus Stahl) gehen weniger verloren als leichte Kunststofffasern.

Im Trockenspritzverfahren muss man mit Verlustraten zwischen 30 und 50 Prozent rechnen. Im Nassspritzverfahren ist die Verlustrate wesentlich geringer und liegt erfahrungsgemäß zwischen 0 und 10 Prozent der eingesetzten Fasermenge.

Die nach der Richtlinie „**Brandschutz von Beton für unterirdische Verkehrsbauewerke**“ geforderte Fasermenge von  $2 \text{ kg/m}^3$  eingebautem Spritzbeton kann somit im Trockenspritzverfahren nur dann gesichert erreicht werden, wenn die doppelte Menge im Ausgangsmaterial beigegeben wird.

## Literatur

- [1] Banholzer, B.; Brameshuber, W.; Geus, J.; Jung, W.: Bestimmung eines Verbundgesetzes auf Basis von Einzelfaser-Pull-Out-Versuchen; Bautechnik 81 (2004), Heft 10.
- [2] Brameshuber, W.: Institute of Building Materials Research, Germany.
- [3] BudiAulia, T.: Effects of Polypropylene Fibres on the Properties of High-Strength-Concretes. Institut für Massivbau, Universität Leipzig.
- [4] Friedrich, P.: Die Abhängigkeit des Spannungs-Dehnungsverhaltens von Faserlänge bei Stahlfasern. Institut für Massivbau und Baustofftechnologie, Universität Leipzig.