

Wirkmechanismen von Verflüssigungs- und Dispergiermitteln in keramischen Massen

Wirkmechanismen von Verflüssigungs- und Dispergiermitteln in keramischen Massen

1. Einleitung

1.1. Begriffsdefinitionen zur Rheologie

2. Das System Wasser-Feststoff

2.1. Einflussgröße Wasser

2.2. Einflussgröße Feststoff

2.3. Charakterisierung der Feststoffoberflächen im System Wasser-Feststoff

2.3.1. Hydratation

2.3.2. pH-Wert-abhängige Wechselwirkungen

2.3.3. Ausbildung der elektrischen Doppelschicht

3. Das System Wasser - Feststoff - Verfl ussigungsmittel

3.1. Wirkmechanismen im System Wasser-Feststoff-Verfl ussigungsmittel

3.1.1. Elektrostatische Abstoßung durch Kationenaustausch

3.1.2. Sterische Abstoßung

3.1.3. Komplexbildung

3.2. Rohstoffbasis der Verflüssigungs- und Dispergiermittel von Zschimmer & Schwarz

4. Weitere Einflussgrößen im System Wasser - Feststoff - Verfl ussigungsmittel

4.1. Feststoffgehalt des Schlickers und Gehalt an Verfl ussigungsmittel

4.2. Temperatur des Schlickers

4.3. Alterung des Schlickers

5. Zusammenfassung

1. Einleitung

Die Aufbereitung keramischer Massen über die Schlickerphase bietet den Vorteil des optimalen Aufschlusses und der guten Homogenisierung der Rohstoffe. Ein weiteres Argument für die Fl ussigaufbereitung ist der geringere Energieaufwand für die Nassmahlung im Vergleich zum Trockenmahlen. Um aber die höheren Energiekosten für die zwangsläufig folgende Entwässerung bei der Spr uhrocknung möglichst gering zu halten, müssen hohe Feststoffgehalte realisiert werden. Außerdem ist die gezielte Einstellung rheologischer Eigenschaften sowie die Gewährleistung der Schlickerstabilit at über die Zeit produktionstechnisch notwendig.

Keramische Schlicker sind Dispersionen. In diesen Dispersionen liegen Feststoffe verteilt in einem flüssigen Medium vor. Feststoffe in keramischen Schlickern sind silikatkeramische, oxidkeramische und nichtoxidkeramische Rohstoffe. Als Dispersionsmittel wird in den nachfolgenden Erläuterungen von Wasser ausgegangen.

Durch Schwerkraft und elektrostatische Kräfte neigen die Feststoffpartikel in diesen Systemen zum Agglomerieren und Sedimentieren. Um die Agglomeration zu verhindern, d.h. um den Schlicker zu stabilisieren, muss ein optimales Maß abstoßender Kräfte zwischen den Feststoffpartikeln wirken. Hierfür bietet der Einsatz geeigneter Verflüssigungs- und Dispergierhilfsmittel die Möglichkeit der gezielten Einflussnahme.

1.1. Begriffsdefinitionen zur Rheologie

Die Rheologie befasst sich mit dem Deformationsverhalten und den Fließeigenschaften von Substanzen unter Einwirkung äußerer Kräfte. Um das rheologische Verhalten eines keramischen Schlickers unmissverständlich definieren zu können, ist die einheitliche Verwendung der relevanten Begriffe notwendig. Die wichtigsten Größen werden deshalb kurz erläutert.

Die Viskosität eines keramischen Schlickers ist ein Maß für die innere Reibung zwischen den Molekülen der Dispersion. Die Proportionalitätskonstante des Verhältnisses von Schubspannung und Schergeschwindigkeit ist die Scherviskosität.

$$\eta = \frac{\tau}{\dot{\gamma}}$$

η	Viskosität [mPa·s]
τ	Schubspannung [Pa]
$\dot{\gamma}$	Schergeschwindigkeit [1/s]

Von außen einwirkende Kräfte, z.B. Scherkräfte beim Rühren eines Schlickers, beeinflussen das Fließverhalten. Dabei ergeben sich unterschiedliche Verhaltensweisen in Abhängigkeit der Stärke und der Dauer der einwirkenden Kräfte.

Newtonsches Fließverhalten

Ist die durch eine Scherbeanspruchung erzeugte Schubspannung direkt proportional der Schergeschwindigkeit, so handelt es sich um ideal viskoses oder Newtonsches Fließverhalten. Die technischen Systeme, um die es sich bei keramischen Schlickern handelt, weichen in der Regel vom idealviskosen Fließverhalten ab.

Pseudoplastisches und dilatantes Fließverhalten

Wird ein keramischer Schlicker einer zunehmenden Scherbeanspruchung ausgesetzt, zeigt sich pseudoplastisches (strukturviskoses) oder dilatantes Fließverhalten. Im Gegensatz zum Newtonschen Fließverhalten ist beim pseudoplastischen und dilatanten Fließverhalten das Verhältnis von Schubspannung zu Schergeschwindigkeit nicht konstant. Für die Beschreibung des Fließverhaltens keramischer Schlicker ist deshalb die Ermittlung der Viskosität über eine Einpunktmessung unzureichend.

Benötigt wird die Betrachtung der gesamten Fließkurve wie in den Abbildungen 1 und 2 beschrieben.

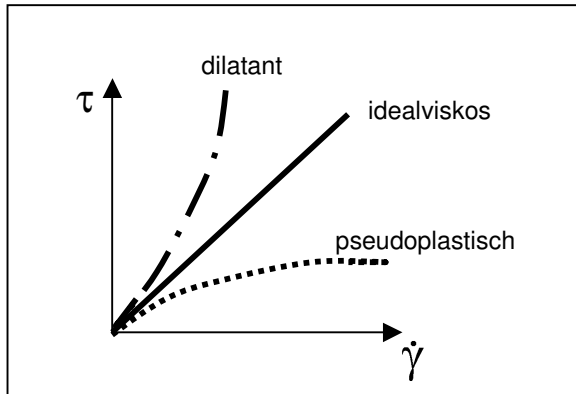


Abb. 1 Fließkurven

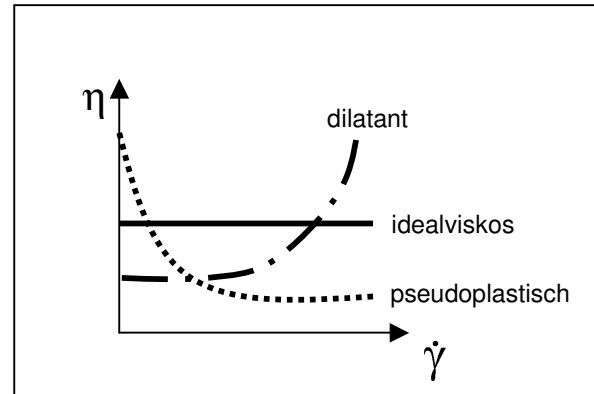


Abb. 2 Viskositätskurven

Bei pseudoplastischem Fließverhalten nimmt die Viskosität mit zunehmender Scherbelastung ab, bei dilatantem Fließverhalten nimmt sie zu. Das Fließverhalten wird durch die Art der eingesetzten Rohstoffe, deren Korngrößenverteilung und Teilchenform sowie den Einsatz von Verflüssigern beeinflusst.

Thixotropes und rheopexes Verhalten

Unter thixotropem Verhalten versteht man den Strukturabbau einer Suspension während einer Belastungsphase und den vollständigen Aufbau während einer nachfolgenden Ruhephase, d.h. unter Belastung nimmt die Viskosität mit der Zeit ab, bei Entlastung nimmt sie wieder zu. Dieser Vorgang ist reversibel. Rheopexe Substanzen verhalten sich genau umgekehrt.

Zur Charakterisierung der Thixotropie mittels Rheometer werden häufig sogenannte Sprungversuche herangezogen (Ruhephase / Belastungsphase / Ruhephase), wobei die Messung zur optimalen Simulation der Ruhephase meist oszillierend durchgeführt wird. Abbildung 3 zeigt an Hand eines solchen Sprungversuchs den Struktur- Abbau und den Wiederaufbau einer keramischen Masse. Die Thixotropie ist mit Hilfe von Additiven beeinflussbar.

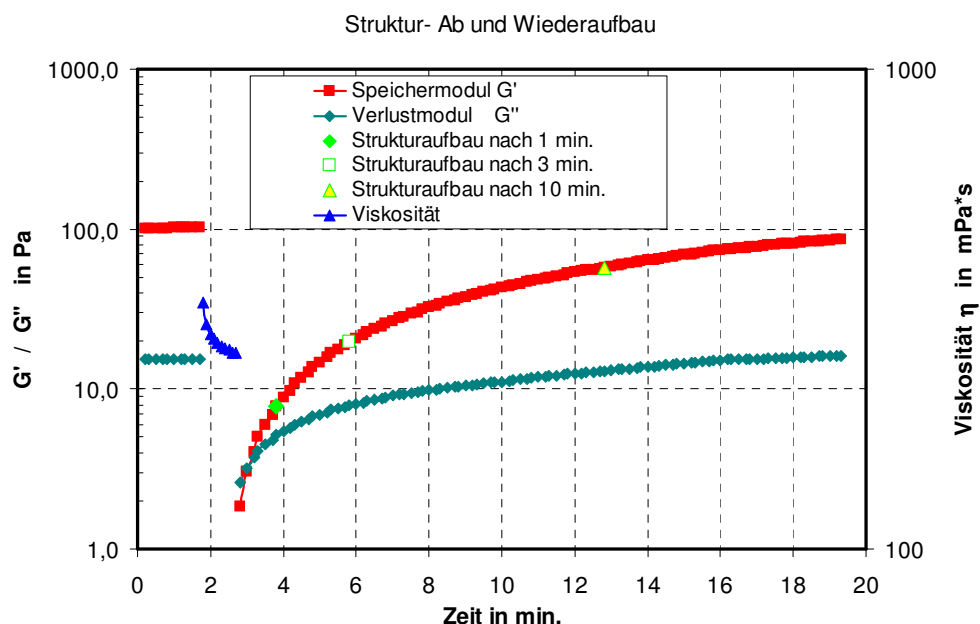


Abb. 3 Sprungversuch (oszillierend gemessen)

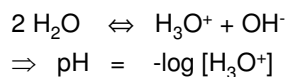
2. Das System Wasser-Feststoff

Viskosität und rheologische Eigenschaften eines Schlickers werden durch alle Komponenten des Systems Wasser-Feststoff-Verfl ssigungsmittel beeinflusst. Nur die Betrachtung jedes einzelnen Systembestandteils und die Beachtung der Effekte bei deren Zusammenwirken ermöglicht eine optimale Verflüssigung. Gleichermaßen gilt dies auch für die Suche nach möglichen Fehlerursachen bei abweichenden Eigenschaften eines ansonsten funktionierenden Systems.

Ausgangsbasis für die Optimierung der Schlickereigenschaften ist das System Wasser-Feststoff. Im folgenden werden diese beiden Komponenten getrennt sowie im Zusammenwirken betrachtet, um Zusammenhänge aufzuzeigen, die für die Verflüssigung und damit die Auswahl des richtigen Verflüssigers relevant sind.

2.1. Einflussgr e Wasser

In der keramischen Technologie wird im wesentlichen Wasser verwendet, in dem sich als natürliche Bestandteile gelöste Salze befinden. Diese beeinflussen das sich einstellende Dissoziationsgleichgewicht und die damit in der Dispersion vorliegenden Ionen. Das Dissoziationsgleichgewicht wird definiert durch den pH-Wert sowie die Konzentration der gelösten Ionen. Für pH-neutrales elektrolytfreies Wasser liegt das im folgenden dargestellte Dissoziationsgleichgewicht vor:



Sind lösliche Salze enthalten, stellt sich ein Dissoziationsgleichgewicht unter Mitwirkung weiterer Ionen, z.B. Mg^{2+} , Ca^{2+} , Cl^- , ein. In Abhängigkeit ihrer Art und ihres Anteils treten die vorliegenden Ionen mit dem Wasser und den Feststoffpartikeln einer Dispersion in Wechselwirkung.

Die in den löslichen Salzen enthaltenen zweiwertigen Kationen Calcium und Magnesium stören die Verflüssigung. Je mehr dieser Kationen vorhanden sind, umso höher ist der Härtegrad des Wassers. Dabei entspricht ein Grad = 10 mg CaO / 1 l Wasser. Je härter das Wasser ist, umso mehr oder wirksamere Komplexbildner werden benötigt, um diese Kationen einzubinden.

Ist der pH-Wert ≤ 6 , liegen diese Kationen gebunden vor und beeinflussen die Verflüssigung nicht. Ist durch einen  berschuss an OH^- -Ionen der pH-Wert ≥ 7 , dann müssen die Calcium-bzw. Magnesium-Ionen eingebunden werden, um optimale Schlickereigenschaften mit hohen Feststoffgehalten erreichen zu können. Die Einbindung dieser Kationen durch Komplexbildner wird unter Punkt 3.1.3. näher erläutert.

2.2. Einflussgr e Feststoff

Feststoffe sind gekennzeichnet durch mineralogische, chemische und morphologische Gr en. Aus der Beschaffenheit der Feststoffe folgen rheologische Eigenschaften ihrer Dispersionen und Ausgangsbedingungen für eine optimale Verflüssigung.

In Abhängigkeit der Teilchengr e und -dichte liegen Einflüsse bezüglich der Sedimentationsneigung, der spezifischen Oberfläche sowie des Kationenaustauschverm gens vor. Je gr er bzw. je schwerer die Teilchen sind, umso höher ist die Sedimentationsneigung. Je gr er die spezifische Oberfläche ist, umso energiereicher ist das gesamte System, so dass bei feineren Teilchen die Agglomerationsneigung gr er ist.

Die Oberflächen der Feststoffe befinden sich als Grenzflächen in einem ungesättigten Bindungszustand. Die  uBerste Schicht ist aus O^{2-} -Ionen aufgebaut. Diese Ionen stammen entweder aus dem Aufbau der Kristalle selbst (silikatkeramische und oxidkeramische Rohstoffe) oder aus einer Anlagerung von Sauerstoff aus der Atmosphäre (nicht-oxidkeramische Rohstoffe). Durch mechanische Zerstörung der Festkörper, z.B. beim Mahlen oder infolge starker Scherbeanspruchung, entstehen ebenfalls Oberflächen, die ungesättigt sind. Auch diese nach dem Bruch freiliegenden Bindungen haben ein starkes Bestreben, sich abzusättigen. Die Kompensation dieses ungesättigten Bindungszustandes erfolgt in wasserhaltigen Systemen durch Hydratation - die Anlagerung von H_2O -Molekülen.

2.3. Charakterisierung der Feststoffoberflächen im System Wasser-Feststoff

2.3.1. Hydratation

Die Moleküle des Wassers verhalten sich wie Dipole und werden von Ionen angezogen. Je kleiner das Ion ist, umso stärker ist dessen Wirkung auf die Wassermoleküle, desto kräftiger wird eine bestimmte Anzahl von Wassermolekülen am Ion festgehalten. Gleichermaßen gilt dies auch für die Betrachtung anionischer Oberflächen von keramischen Rohstoffpartikeln, wie in Abbildung 4 schematisch dargestellt.

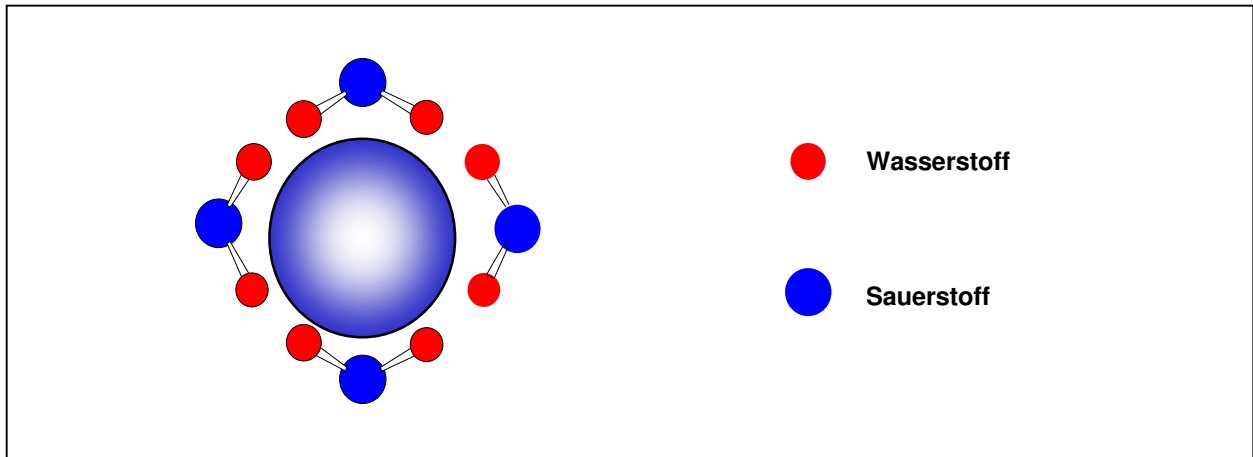
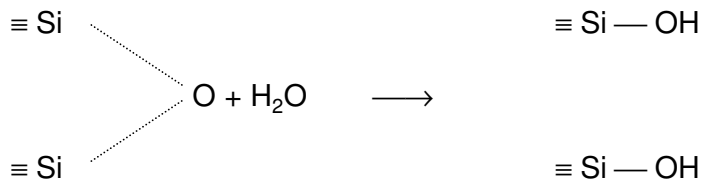


Abb. 4 Hydratation an einem negativ geladenen Partikel

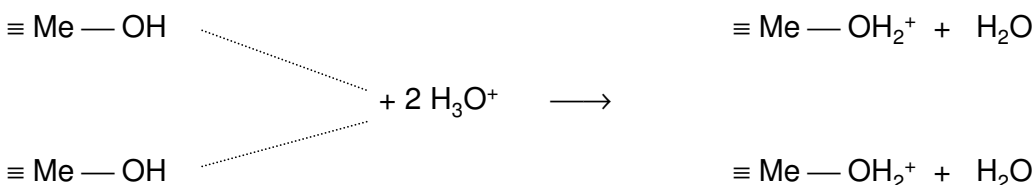
Beispielsweise ergibt sich für Si^{4+} in Kontakt mit Wasser folgende Reaktion:



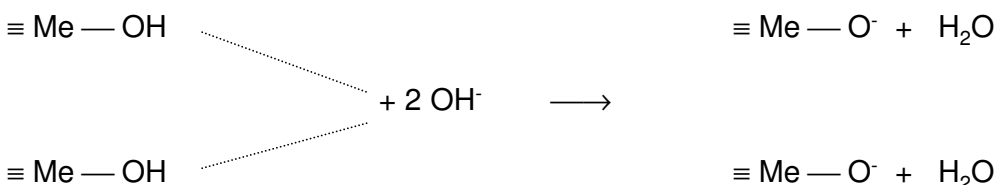
2.3.2. pH-Wert-abhängige Wechselwirkungen

Aus der Hydratation leiten sich auch die nachfolgend dargestellten pH-Wert-abhängigen Wechselwirkungen zwischen keramischen Partikeloberflächen (Me-OH-Oberflächengruppen) und Wasser, wie nachfolgend dargestellt, ab. Me steht z.B. für Si.

resultierende positive Oberflächenladung im sauren pH-Bereich:



resultierende negative Oberflächenladung im alkalischen pH-Bereich:



Aus der Darstellung wird deutlich, dass die resultierende Oberflächenladung der Rohstoffpartikel vom pH-Wert des Dispersionsmediums Wasser abhängig ist, d.h. davon, ob ein Überangebot an H_3O^+ oder an OH^- -Ionen vorliegt.

Relevant für die Verflüssigung keramischer Rohstoffe ist der Fall der resultierenden negativen Oberflächenladung, d.h. ein **pH-Wert ≥ 8** . Dieser für die optimale Stabilität eines Schlickers ideale pH-Wert-Bereich kann aus den in Abb. 5 dargestellten Überlegungen abgeleitet werden. Er ergibt sich im Fall silikatischer Rohstoffe aus der unterschiedlichen Belegung der Partikelfl chen infolge des diadochen Ersatzes von Ionen des Schichtgitters. In silikatkeramischen Rohstoffen liegen gestörte Gitter vor, d.h. Si^{4+} ist ersetzt durch z.B. Al^{3+} oder Al^{3+} durch z.B. Mg^{2+} , so dass eine  berschussige negative Ladung an den Kanten der Tonmineralpl ttchen entsteht. Aus der unterschiedlichen Ladung ergibt sich wie ebenfalls in Abbildung 5 dargestellt auch eine unterschiedliche räumliche Anordnung der Partikel im System Wasser-Feststoff.

Aus der Abbildung ist ersichtlich, dass der räumliche Aufbau, der im alkalischen Milieu vorliegt, am günstigsten für die Langzeitstabilität eines feststoffreichen Schlickers ist.

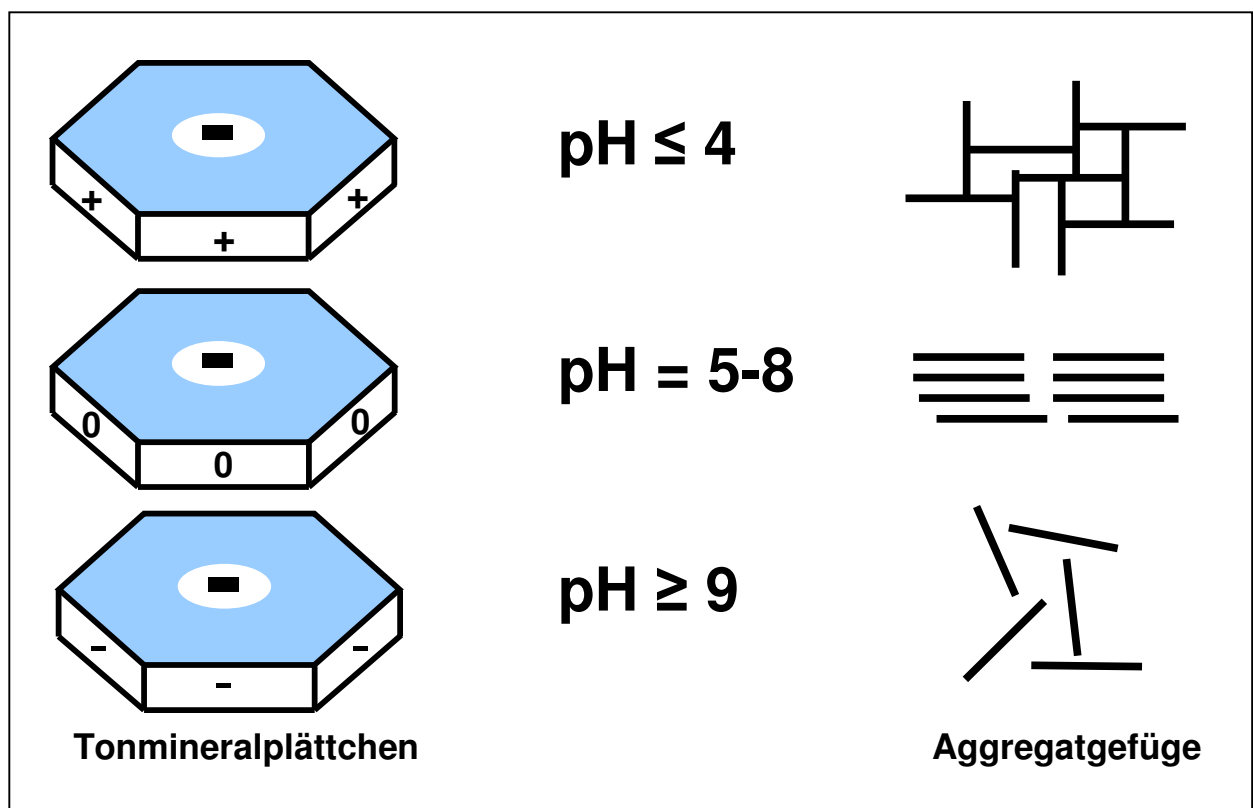


Abb. 5 Ladungsverteilung

2.3.3. Ausbildung der elektrischen Doppelschicht

Die Feststoffpartikelladung ist eine Einflussgröße, in deren Abhängigkeit sich im System Wasser-Feststoff die elektrische Doppelschicht mit dem entsprechenden Zeta-Potential (rote Linie) ausbildet, dargestellt in Abb. 6.

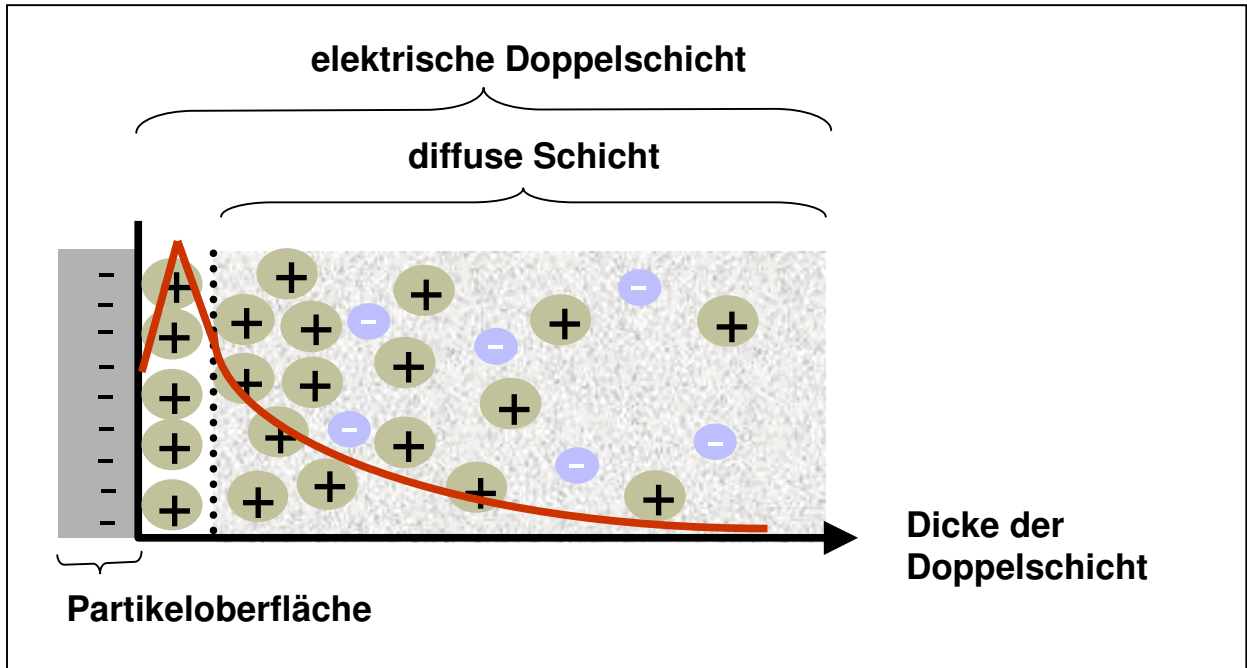


Abb. 6 Elektrische Doppelschicht mit Verlauf des Zeta-Potentials

Nicht nur die resultierende Oberflächenladung der Partikel ist hierbei ausschlaggebend für die Anordnung der Partikel in der Dispersion, sondern auch die Ladungsdichte. Abbildung 7 zeigt schematisch die unterschiedliche Dicke der elektrischen Doppelschicht bei unterschiedlicher Ladungsdichte.

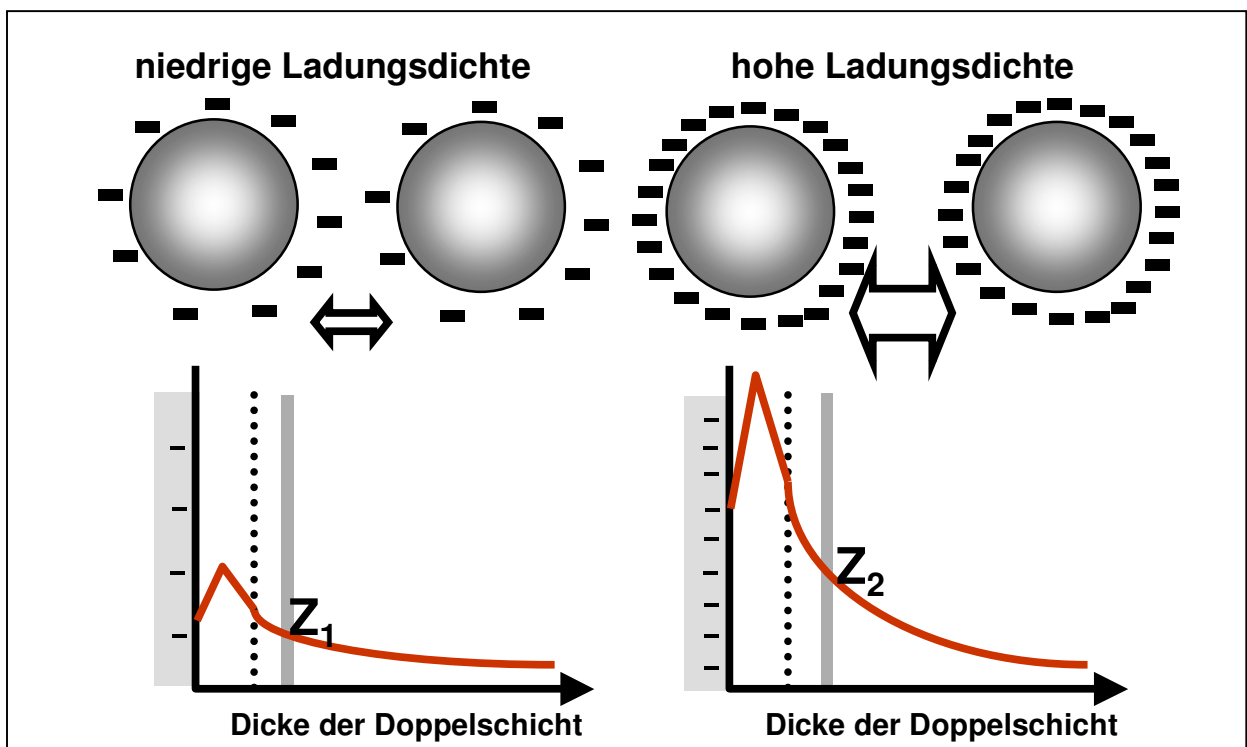


Abb. 7 Ausbildung des Zeta-Potentials (z) bei unterschiedlicher Ladungsdichte

Die Ladungsdichte ist abhängig vom Aufbau des Feststoffs. Relativ zum Grad der Unregelmäßigkeiten im Gitteraufbau der Rohstoffe ergibt sich die resultierende Ladung. Je höher die Ladungsdichte, umso dicker ist die elektrische Doppelschicht. Natürliche Rohstoffe, wie sie in der Silikatkeramik eingesetzt werden, haben aufgrund ihrer Verunreinigungen ein hohes Aufkommen an Unregelmäßigkeiten im Gitteraufbau und deshalb eine hohe Ladungsdichte. Ein hohes Abstoßungspotential sollte deshalb gegeben sein.

Andererseits bewirkt die Belegung von Partikeloberflächen mit zweiwertigen Kationen im System Wasser-Feststoff die Ausbildung einer relativ dünnen elektrischen Doppelschicht, da diese die negative Oberflächenladung der Tonminerale nicht vollständig abschirmen können. Infolge der Wirkung anziehender Kräfte entstehen unterschiedlich fest ausgebildete Agglomerate.

Eine Beeinflussung der elektrischen Doppelschicht ist auch durch Scherkräfte beim Rühren eines Schlickers gegeben. Es ist davon auszugehen, dass durch diese Beanspruchung Teile der diffusen Schicht abgeschert werden. Bei Betrachtung des Zeta-Potential-Verlaufs innerhalb der elektrischen Doppelschicht wird deutlich, dass unterschiedliche Zetapotentiale vorliegen, je nachdem, an welcher Stelle der Schicht die Abscherung erfolgt (siehe Abbildung 8). Diese Potentiale erfordern zwangsläufig auch eine unterschiedliche Absättigung zur Erzielung ausreichender Abstoßungskräfte zwischen den Rohstoffpartikeln.

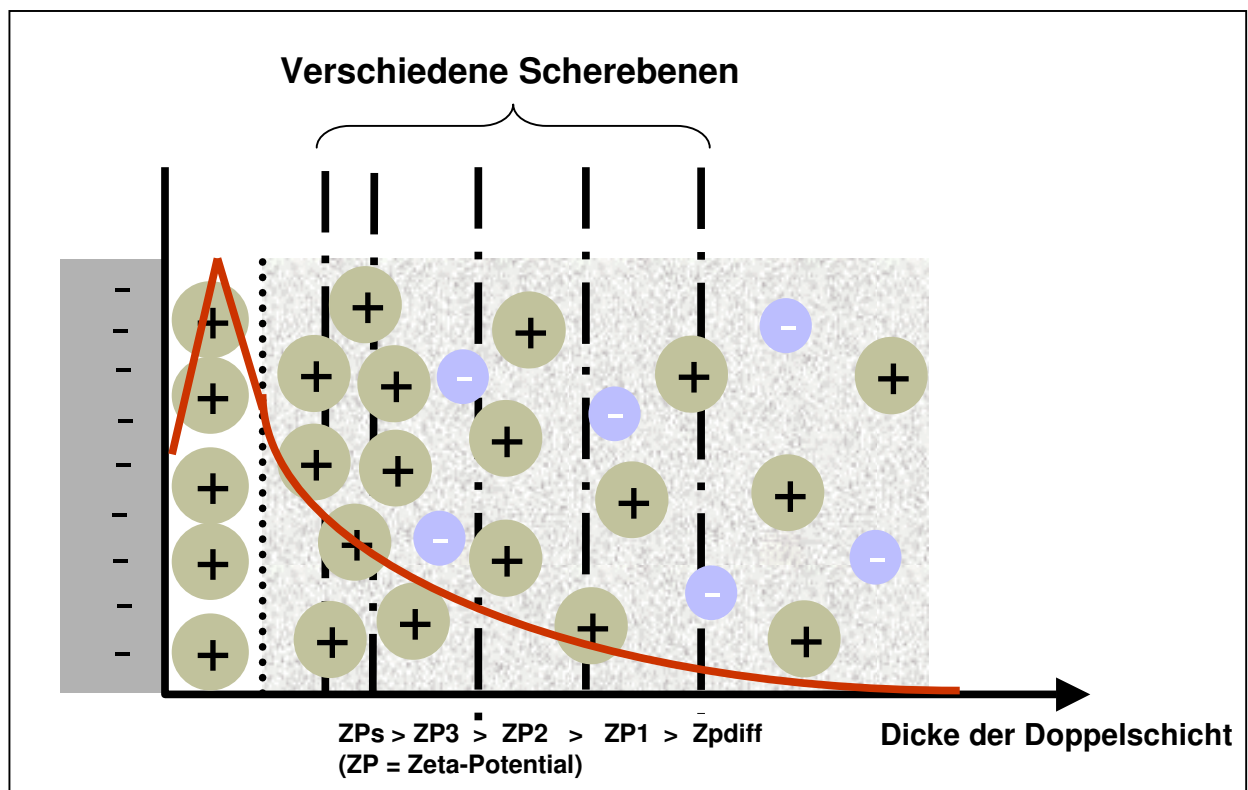


Abb.8 Ausbildung von Scherebenen und unterschiedlichen Zeta-Potentialen in Abhängigkeit von der Scherbeanspruchung

3. Das System Wasser-Feststoff-Verfl ssigungsmittel

Die hinsichtlich hoher Feststoffgehalte und optimaler rheologischer Eigenschaften eines Schlickers störende Agglomeration wird wie beschrieben durch elektrostatische Anziehungskräfte bewirkt. Aufgabe der Verfl ssigungsmittel ist es, durch die Beeinflussung dieser elektrostatischen Kräfte den Abstand zwischen den Rohstoffpartikeln zu vergrößern und damit die Agglomeration zu verhindern. Da die Stärke dieser Anziehungskräfte abhängig ist von den oben beschriebenen Einflussgrößen des Wassers und des Feststoffes, sind unterschiedliche Zugabemengen sowie Kombinationen von Wirkmechanismen der Verfl ssigungsmittel notwendig, um für jeden Versatz die optimale Verflüssigung zu erreichen.

3.1. Wirkmechanismen im System Wasser-Feststoff-Verfl ssigungsmittel

Im Wesentlichen handelt es sich um drei Mechanismen, die je nach verwendetem Verfl ssigungsmittel einzeln oder in Kombination wirken:

- Kationenaustausch, damit Beeinflussung der Dicke der elektrischen Doppelschicht der Rohstoffpartikel
- sterische Abstoßung durch Einfügen funktioneller Gruppen, die als Abstandhalter zwischen den Rohstoffpartikeln wirken
- Einbindung störender Kationen durch Komplexbildung

3.1.1. Elektrostatische Abstoßung durch Kationenaustausch

Unter Punkt 2.3. wurde das Entstehen der elektrischen Doppelschicht beschrieben. Im Zweistoffsystem Wasser-Feststoff liegen aufgrund der Anlagerung zweiwertiger Kationen aus dem Anmachwasser dünne Doppelschichten vor. Um die elektrische Doppelschicht zu vergrößern und damit verstärkte Abstoßungskräfte zu bewirken, müssen die zweiwertigen Kationen durch einwertige substituiert werden. Abbildung 9 zeigt schematisch diesen Vorgang.

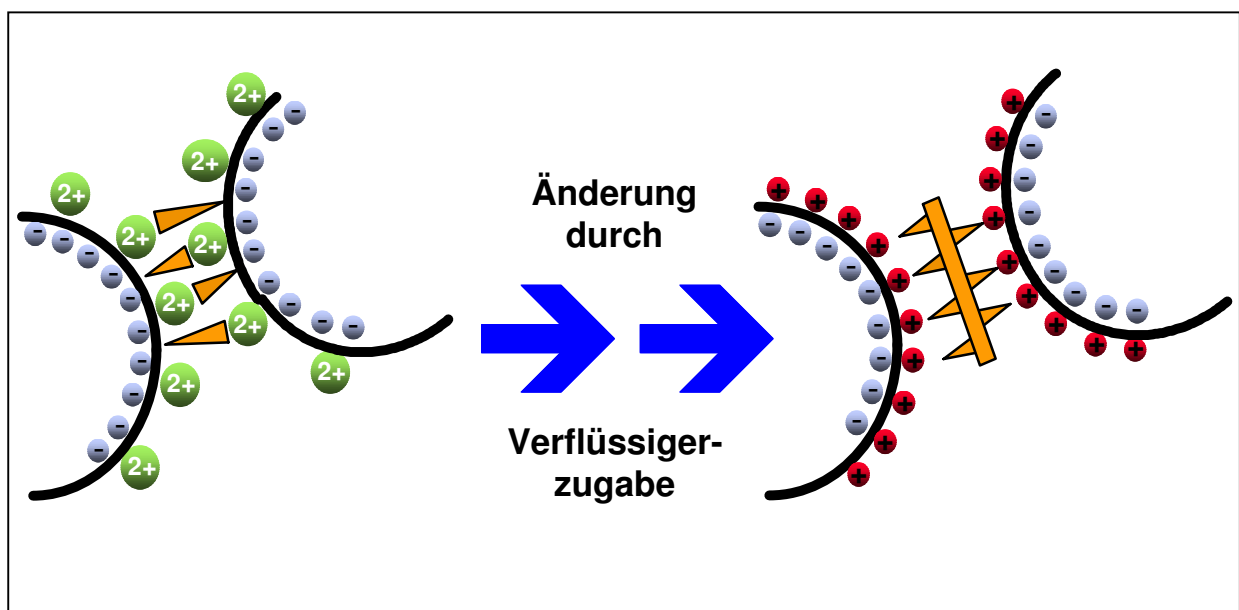


Abb. 9 Beeinflussung der elektrischen Doppelschicht durch Kationenaustausch

In der linken Seite der Abbildung ist die Belegung mit zweiwertigen Kationen (Calcium, Magnesium) dargestellt. Die negative Oberflächenladung der Tonminerale kann hier nicht vollständig abgeschirmt werden. Die anziehenden Kräfte des Gleichgewichtes zwischen abstoßenden und anziehenden Kräften überwiegen in diesem Moment.

Ein Austausch der mehrwertigen Kationen gegen einwertige (z.B. Natrium) hat eine bessere Abschirmung zur Folge und f hrt durch das dann nach außen neutrale Verhalten der Tonmineraleilchen und die damit verbundenen überwiegenden Abstoßungskräfte zu einer Verstärkung der Doppelschicht. Eine Agglomeration der Teilchen wird verhindert, die Viskosität nimmt ab.

3.1.2. Sterische Abstoßung

Eine sterische Abstoßung wird durch den Einsatz von Dispergiermitteln mit funktionellen Gruppen bewirkt. Diese funktionellen Gruppen fungieren als Abstandshalter zwischen den Rohstoffpartikeln. Dieser Vorgang ist schematisch in Abbildung 10 dargestellt.

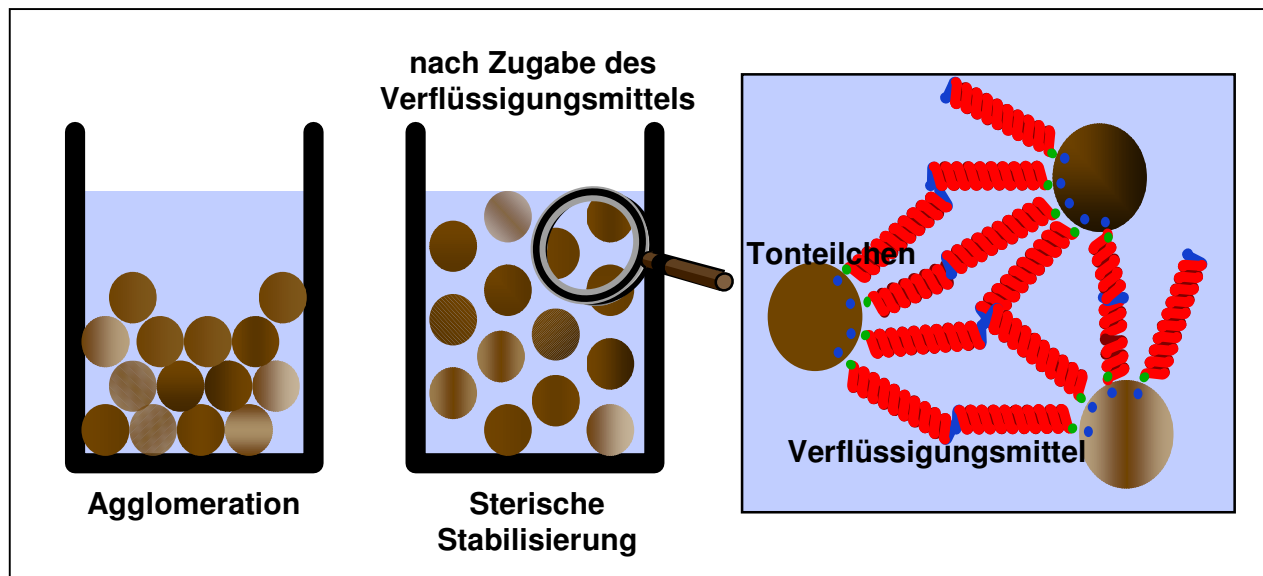


Abb. 10 Prinzip der sterischen Abstoßung

Im linken Teil der Abbildung haben sich die Partikel der wässrigen Dispersion aufgrund der Gravitation abgesetzt. Durch die Anlagerung des Dispergiermittels an die Oberfläche der Rohstoffpartikel entsteht ein Abstoungseffekt, der zu einer gleichmässigen Verteilung der feinen Partikel in der Dispersion f hrt, indem alle Partikel idealerweise den gleichen Abstand zum nächsten Nachbarpartikel haben.

In der Ausschnittvergrsserung aus der Dispersion ist die Wirkung des Verflssigungsmittels, eines Polymers mit funktionellen Gruppen, schematisch dargestellt. Die funktionellen Gruppen wechselwirken über Ladungskompensation mit den Partikeloberflächen. Hierbei lagern sich die positiv geladenen "Anker"gruppen des Additivs an die negativ geladenen Tonpartikeloberfl chen an. Da die Polymerketten des Additivs mit nicht gleichartig geladenen funktionellen Gruppen belegt sind, kommt es zu kontrollierten Anziehungs- und Abstoungseffekten. Agglomerationsneigungen wird so gezielt entgegengewirkt.

3.1.3. Komplexbildung

In Punkt 2.1. wurde die Anwesenheit zweiwertiger Kationen durch im Wasser gelöste Salze beschrieben. Die Betrachtungen zur elektrischen Doppelschicht haben gezeigt, dass diese Kationen störend auf die Verflüssigung wirken, da sie dünne Doppelschichten verursachen. Der Austausch durch einwertige Kationen, wie in Punkt 3.1.1. beschrieben, ist eine Möglichkeit, hierauf Einfluss zu nehmen. Ein anderer Weg führt über den Einsatz anorganischer Komplexbildner dahin, dass die freien zweiwertigen Kationen vor der Anlagerung an die Rohstoffpartikeloberfl chen eingebunden werden. Die Komplexbildung dieser freien mehrwertigen Kationen (z.B. Ca^{2+}) ist in Abbildung 11 schematisch dargestellt.

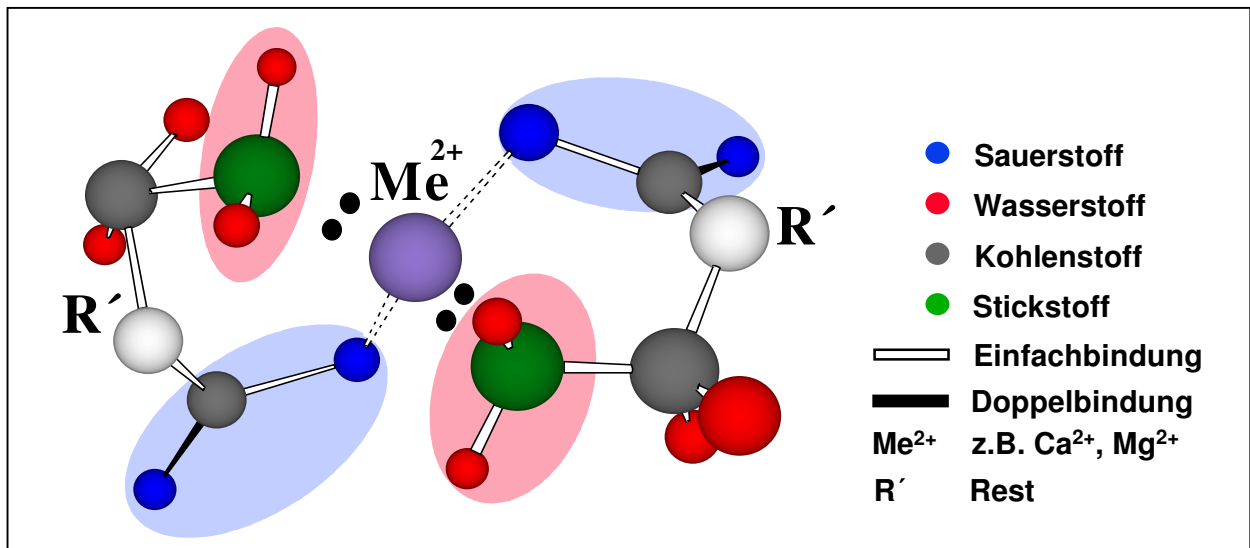
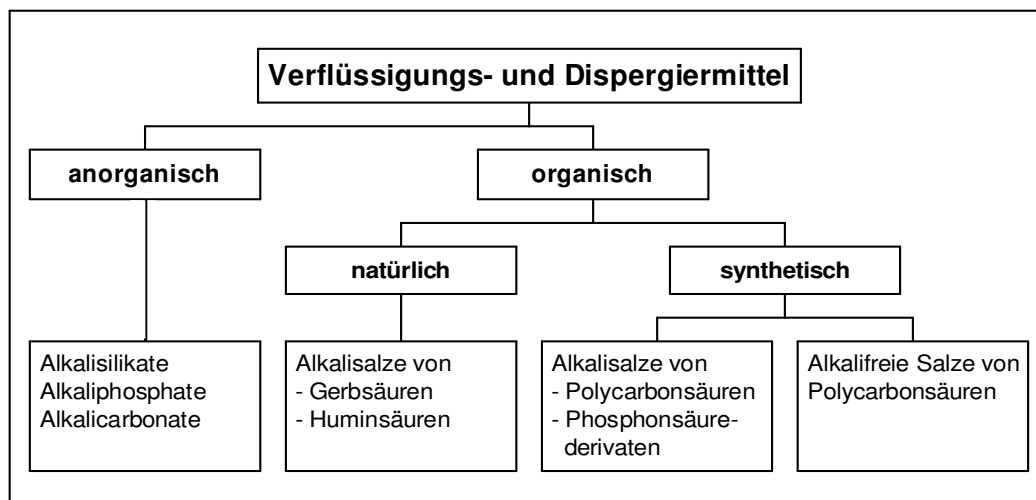


Abb. 11 Prinzip der Komplexbildung

Komplexbildner enthalten funktionelle Gruppen (z.B. Amingruppen), die freie Valenzen in ihren Elektronenschalen aufweisen. Das Bestreben, diese Valenzen abzusättigen, führt zur Bildung gemeinsamer Elektronenpaare mit den freien mehrwertigen Kationen. Dadurch wird der elektrostatische Einfluss dieser Kationen auf die elektrischen Doppelschichten der Tonminerale reduziert bzw. eliminiert.

3.2. Rohstoffbasis der Verflüssigungs- und Dispergiermittel von Zschimmer & Schwarz

Abbildung 12 zeigt eine Übersicht der wichtigsten Rohstoffe, die für die Herstellung der Verflüssigungs- und Dispergierhilfsmittel bei Zschimmer & Schwarz verwendet werden.



Aus der nachfolgenden Matrix ist zu sehen, welcher Wirkmechanismus der verflüssigenden Wirkung der einzelnen Rohstofftypen zugrundeliegt.

	Kationenaustausch	Sterische Abstoßung	Komplexierung
Phosphate	●		●
Phosphonate			●
Silikate	●		
Huminate	●		●
Polycarbonsäure		●	●
Polycarbonsuresalze	●	●	●

4. Weitere Einflussgrößen im System Wasser-Feststoff-Verflussigungsmittel

4.1. Feststoffgehalt des Schlickers und Gehalt an Verflussigungsmittel

Die gegenseitige Beeinflussung der elektrischen Anziehungspotentiale benachbarter Partikel ist insbesondere bei hohen Feststoffkonzentrationen zu beachten. Durch ungeeignete Verflussigungsmittelgehalte können Überlagerungen der Zeta-Potentiale vorliegen, die einer maximalen Abstoßung benachbarter Partikel entgegenwirken. Die Folge können unerwünschte Agglomerationen sein. Die Abbildungen 13 und 14 erläutern diese Zusammenhänge. Die roten Linien verdeutlichen das Zeta-Potential.

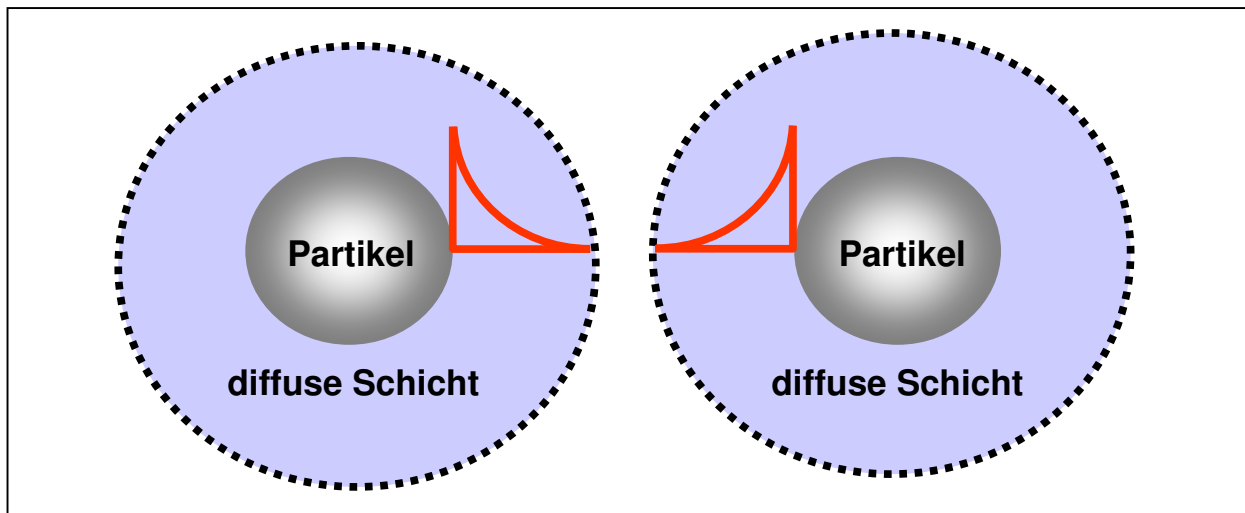


Abb. 13 Rohstoffpartikel mit diffuser Schicht ohne gegenseitige Wechselwirkung

In Abbildung 13 sind zwei Rohstoffpartikel dargestellt, deren diffuse Schichten sich gegenseitig nicht beeinflussen. Der Abstand zwischen ihnen ist aufgrund eines niedrigen Litergewichtes so groß, dass sich die Zeta-Potentiale nicht überlagern.

Liegt ein höheres Litergewicht vor, kommt es zur Überlagerung der Zeta-Potentiale der benachbarten Rohstoffpartikel. In Abbildung 14 sind hierzu schematisch die Überlagerungen der Zeta-Potentiale bei optimaler und bei zu hoher Verfl ssigerkonzentration dargestellt.

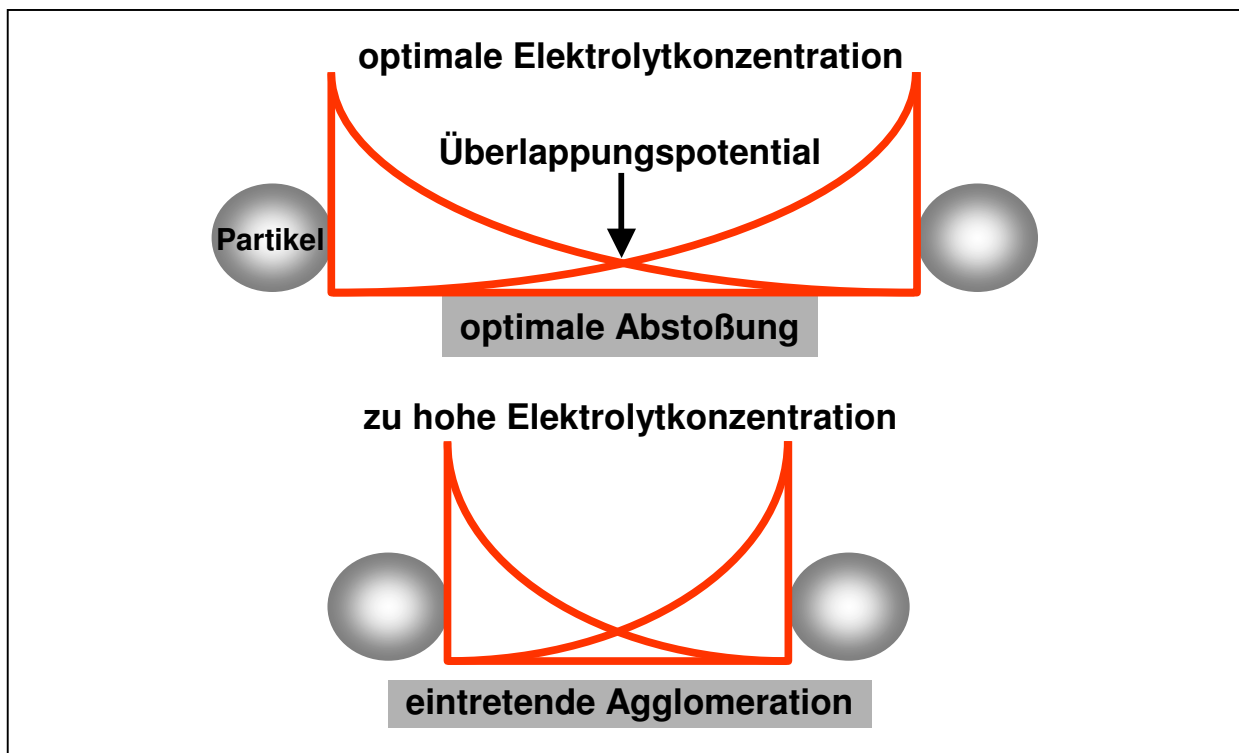


Abb. 14  berlappungspotential benachbarter Rohstoffpartikel

Bei optimaler Verfl ssigerkonzentration liegt als Resultierende der Zeta-Potentiale benachbarter Partikel ein ideales Gleichgewicht zwischen anziehenden und abstoßenden Kräften vor. Dies führt zur optimalen Abstoßung zwischen den Partikeln.

Wird die optimale Zugabemenge an Verflüssiger überschritten, ist die diffuse Schicht umso dünner, je höher die Verfl ssigerkonzentration ist. Bei zu hoher Konzentration überwiegen wieder die anziehenden Kräfte, die Agglomerationsneigung nimmt zu, weil die diffusen Schichten zu dünn ausgebildet sind.

Je höher das Litergewicht, umso größer ist aufgrund der geringeren Abstände zwischen den Rohstoffpartikeln die Agglomerationsneigung bei Schlickern mit zu hohem Verfl ssigergehalt.

4.2. Temperatur des Schlickers

Höhere Schlickertemperaturen führen zu vermehrter Wasserverdunstung. Der Wasserverlust hat zwangsläufig Auswirkungen auf das Litergewicht. Das Gleichgewicht zwischen anziehenden und abstoßenden Kräften im System Wasser-Feststoff-Verfl ssigungsmittel wird verändert und damit auch die Viskosität des Schlickers.

4.3. Alterung des Schlickers

In silikatkeramischen Massen kann über eine längere Standzeit des Schlickers ein besserer Aufschluss der Tonteilchen erfolgen. Eine Erhöhung der Viskosität wäre die Folge.

Veränderungen können wegen der längeren Einwirkzeit aber auch im System Wasser-Feststoff-Verfl ssigungsmittel auftreten. Da für den Kationenaustausch mehr Zeit zur Verfügung steht, ist eine Verringerung der Viskosität möglich. Die Effekte können sich gegenseitig überlagern, so dass oft keine eindeutige Beurteilung möglich ist.

5. Zusammenfassung

Die Rheologie verflüssigter wässriger keramischer Schlicker wird bestimmt durch das Zusammenwirken von Wasser, Feststoff und Verfl ssigungsmittel. Charakteristikum des Wassers ist der Gehalt an löslichen Salzen, der den pH-Wert sowie den Härtegrad des Wassers bestimmt. Die Wechselwirkung des Wassers mit dem Feststoff wird beeinflusst durch dessen chemische, mineralogische und morphologische Kenngrößen.

Das System Wasser-Feststoff ist gekennzeichnet durch die Agglomerationsneigung aufgrund elektrostatischer Anziehungskräfte zwischen den Rohstoffpartikeln. Die Agglomeration bewirkt hohe Viskositäten und nicht optimale Fließeigenschaften des Schlickers. Ziel der Verflüssigung ist es deshalb, die vorliegenden Agglomerate zu zerstören bzw. die Agglomeration direkt und langfristig zu verhindern. Dies geschieht durch die gezielte Verursachung abstoßender Kräfte zwischen den Rohstoffpartikeln.

Im Wesentlichen handelt es sich dabei um drei Wirkmechanismen:

- Kationenaustausch,
damit Beeinflussung der Dicke der elektrischen Doppelschicht der Rohstoffpartikel
- sterische Abstoßung durch Einfügen funktioneller Gruppen,
die als Abstandhalter zwischen den Rohstoffpartikeln wirken
- Einbindung störender Kationen durch Komplexbildung

Da die Stärke der zu überwindenden Anziehungskräfte abhängig ist von den beschriebenen Einflussgrößen des Wassers und des Feststoffes sind unterschiedliche Zugabemengen der Verfl ssigungsmittel sowie verschiedene Wirkmechanismen notwendig. Es ist von ausschlaggebender Bedeutung, jedes einzelne Systembestandteil sowie die Effekte bei deren Zusammenwirken zu betrachten. Nicht nur für die Einstellung gewünschter rheologischer Eigenschaften, sondern ebenso für die Suche nach möglichen Fehlerursachen bei abweichenden Eigenschaften eines ansonsten funktionierenden Systems ist diese Vorgehensweise notwendige Voraussetzung für ein optimales Ergebnis.

Die beschriebenen komplizierten und vielschichtigen Zusammenhänge bei der Verflüssigung keramischer Rohstoffe bedingen die Durchführung sorgfältiger Laborversuche zur Erzielung eines optimalen Ergebnisses.

Zschimmer & Schwarz hat in langjähriger Entwicklungsarbeit mit den unterschiedlichsten keramischen Rohstoffen sowie in enger Zusammenarbeit mit den Kunden umfangreiche Erfahrungen erworben und kann so eine große Palette wirksamer Verflüssigungs- und Dispergiermittel zur Verfügung stellen.