

## 11 Polymere Additive und deren Wirkmechanismen

Die wichtigsten Papier-Additive sind Polymere. Bevor auf die einzelnen Anwendungen im Detail eingegangen wird, sollen einige allgemeine Eigenschaften solcher Polymerer besprochen werden, die sie in die Lage versetzen die erwünschte Wirkung bei der Papierherstellung und im Papier zu entfalten.

### 11.1 Makromoleküle als „Lasso“

Die ein Polymer aufbauenden Makromoleküle sind mehr oder weniger lange Kettenmoleküle. Sie könnten wie lange Bindfaden dazu dienen, gelöste oder suspendierte Teilchen an die Fasern zu ketten (wie man mit einem Seil jemanden an den Marterpfahl bindet).

Allerdings ist dieses Modell auf die Wirklichkeit in molekularen Dimensionen kaum anwendbar.

Die praktischen Probleme sind:

- Die Makromoleküle sind viel zu klein, um z.B. ein Pigmentteilchen oder gar eine Faser zu umhüllen.
- Sie sind auch zu schwach und können unter großen Zugkräften relativ leicht zerreißen.
- Sie sind wohl als hydrohile Ketten in Wasser „klebrig“ aber haften doch zu wenig stark an den Oberflächen, um einfach wie ein Klebeband zu wirken.

Um ihre Wirkung verstehen zu können, soll zunächst ihr Aufbau betrachtet werden.

### 11.2 Aufbau und Form gelöster Makromoleküle

Molekularer Aufbau der Polymeren:

Polymere (als Werkstoffe auch „Kunststoffe“ genannt) sind Stoffe, die sich aus Makromolekülen aufbauen.

Makromoleküle sind Moleküle, die eine große Zahl chemisch analoger Grundeinheiten enthalten. Sie bauen sich wie eine Kette aus einzelnen Gliedern auf und werden daher auch Kettenmoleküle genannt. Durch eine Polyreaktion entstehen aus Verbindungen mit kleinen Molekülen („Monomeren“) die Polymeren. Dabei werden aus den Monomermolekülen die Grundeinheiten des Makromoleküls. Aufgrund ihrer besonders großen Moleküle unterscheiden sich Polymere stark von den Monomeren, aus denen sie aufgebaut sind.

Struktureller Aufbau der Makromoleküle:

Je nach der Verknüpfungsart der Monomeren können die entstehenden Makromoleküle lineare Ketten bilden oder wie in Abbildung 1 gezeigt verzweigt oder vernetzt sein.



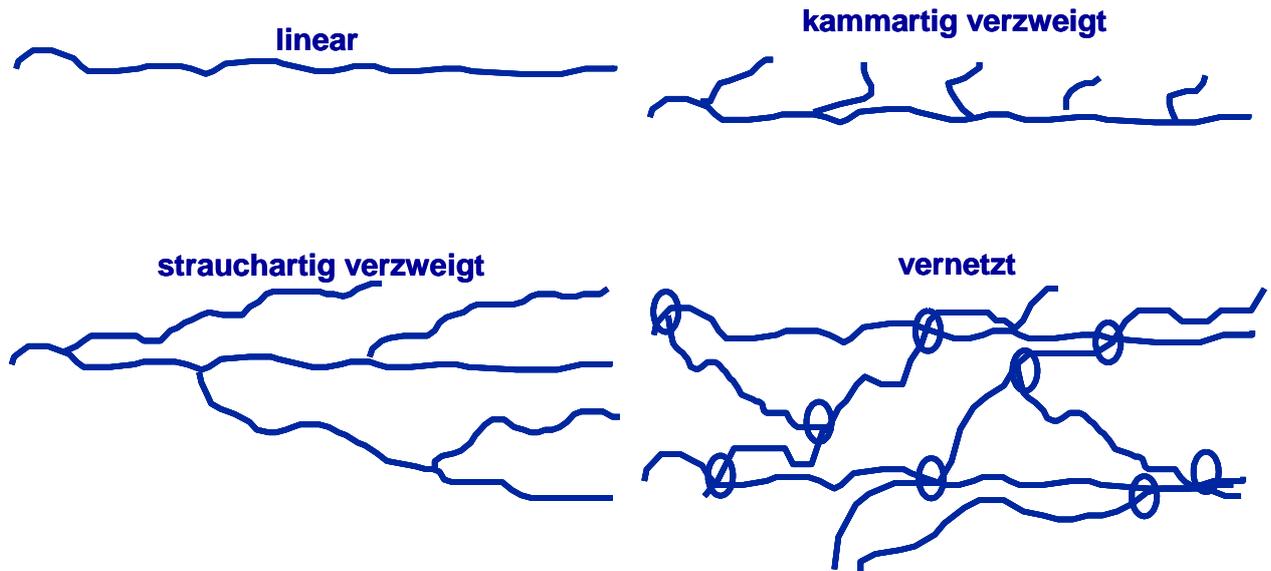


Abbildung 1: Molekulare Struktur von Makromolekülen

Die leicht beweglichen Kettenmoleküle liegen in Lösung oder in einer Schmelze normalerweise nicht in gestreckter Form vor, sondern sind infolge der thermischen (Brown'schen) Bewegung der Segmente mehr oder weniger verknäuel. Dadurch werden die Enden der Kette näher zusammengezogen. Die Kette wirkt wie eine Feder, deren Elastizität allerdings nicht auf der Deformationsenergie beruht, sondern durch die thermische Bewegung (Entropie-Streben) zustande kommt. Man kann daher eine Makromolekülkette in Lösung als eine „entropie-elastische Feder“ verstehen. Diese Elastizität weisen auch die Netzbögen in einem weitmaschig vernetzten Polymeren auf. Aus diesem Grund ist ein solcher Körper gummi-elastisch.

Die einzelnen Ketten bewegen sich und ändern ständig im Einzelnen ihre Form, im zeitlichen Mittel lassen sie sich als s.g. statistische Knäuel beschreiben, wie in sie in Abbildung 2 dargestellt werden.

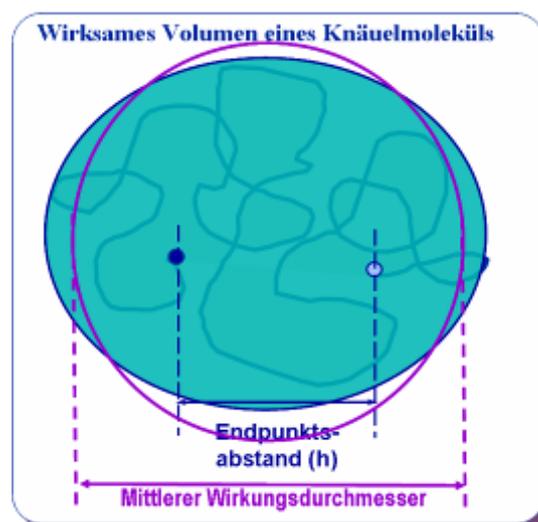


Abbildung 2: Form eines (statistischen) Molekülknäuels

Die Größe eines Molekülknäuels lässt sich durch den mittleren Endpunktabstand beschreiben, der viel kleiner ist als gestreckte Länge der Molekülkette („L“). Der Endpunkt-

Abstand „ $h$ “ hängt aber doch mit der Kettenlänge zusammen, und zwar nimmt er mit der Wurzel aus der Moleküllänge (die wiederum dem Polymerisationsgrad „ $P$ “ proportional ist) zu. Da sich das gesamte Knäuel in Lösung bewegt, verhindert es, dass andere Makromoleküle dort passieren können und erzwingt damit, dass sie dieses Volumen umgehen müssen. Dadurch ist das wirksame Volumen des Knäuels („Knäuelvolumen“ oder hydrodynamisch wirksames Volumen) fast so groß wie das Knäuel und sehr viel größer als das direkte Volumen des Molekülfadens. Die wirksame Knäuel-dichte ist entsprechend sehr gering. Dieses große Strömungs-Stör-Volumen ist verantwortlich für die hohe Lösungsviskosität.

Absolut genommen sind aber auch die „Riesenmoleküle“ sehr klein. Ihr Knäuel-durchmesser in Lösung beträgt je nach Polymerisationsgrad und Aufweitung 50 bis 300 nm, ist also viel kleiner als der Querschnitt einer Papierfaser oder ein Füllstoff-Teilchen.

### **11.3 Besondere Eigenschaften von Polymerlösungen**

#### ***Löslichkeit der Polymeren***

Makromoleküle sind immer schlechter löslich als die entsprechenden Monomeren, weil die kleinen Monomer-Moleküle allseitig sehr eng und dicht von Lösungsmittelmolekülen umgeben und damit in Lösung gehalten werden können. Bei den Makromolekülketten entfalten weniger Solvatmoleküle auf eine Grundeinheit.

Daher können auch gelöste Polymere leicht aus einer Lösung ausfallen (sich zusammenlagern) oder sich an einer Grenzfläche (z.B. Gefäßwandung) anlegen.

#### ***Viskosität von Polymerlösungen***

Unter der Viskosität (Fließfähigkeit) versteht man den Widerstand, den eine Flüssigkeit dem Fließen entgegensetzt. Honig z.B. fließt sehr viel langsamer aus einem Gefäß als Wasser, hat also eine viel höhere Viskosität als dieses.

Löst man einen Stoff in einer Flüssigkeit, steigt die Viskosität an, weil die Flüssigkeitsschichten nicht mehr so leicht aneinander abgleiten können (ähnlich, wie wenn man Sand auf eine vereiste Straße streut). Makromoleküle sind sehr viel größer als normale Moleküle und haben daher eine erheblich größere Wirkung. Wenn man 1 g Zucker in Wasser löst, merkt man die Viskositätssteigerung kaum, löst man aber 1 g Methylcellulose, wird die Lösung zähflüssig wie Honig.

Die einzelnen Makromoleküle liegen als lockere Knäuel vor, sie stören die Strömung umso mehr, je größer ihr Volumen ist, man nennt daher das wirksame Knäuelvolumen das „hydrodynamische Volumen“. In mäßig konzentrierten Lösungen (mit Konzentrationen von einigen Prozent Gelöstes) durchdringen die lockeren Knäuel einander und bilden gleichsam ein großmaschiges Netzwerk von Fäden, die sich beim Fließen verhaken und so sehr stark gegenseitig behindern. Das Fließen wird dadurch so stark beeinträchtigt, dass die Flüssigkeit mehr oder weniger gelartigen Charakter annimmt. In diesem Konzentrationsbereich steigt die Viskosität besonders stark mit zunehmender Konzentration nach einem Potenzgesetz an (Abbildung 3).

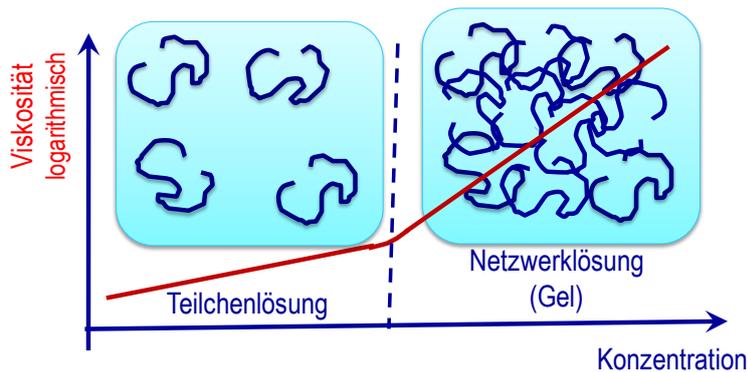


Abbildung 3: Konzentrationsabhängigkeit der Viskosität stark verdünnter und mäßig konzentrierter Polymerlösungen

## 11.4 Polymere Papieradditive

Polymere Additive können chemisch ganz verschieden aufgebaut sein, sie haben alle eine recht ähnliche Molekülform, aber oft recht verschiedene Wirkungen, die von der Art der sie aufbauenden chemischen Gruppen abhängen.

Wir kennen verschiedene Arten von polymeren Papieradditiven

- Hydrophile neutrale Polymere
  - Polyvinylalkohol
  - Stärke
  - Polyacrylamid
- Polyelektrolyte
  - Bestehen aus Makromolekülen, die Ladungen tragen
  - Anionisch (negativ geladen) (CMC, Acrylsäure, anionische Stärke)
  - Kationisch (positiv geladen)  
DADMAC, Polyacrylamid, Polyvinylamin, kationische Stärke

Sie werden entweder gelöst oder in anderer Form angewandt und zwar als:

- Kleister (z.B. aufgekochte Stärke)
- Lösliche Pulver
- Dispersionen vorwiegend hydrophober Substanzen
- Latices (z.B. Streichfarbenbinder) enthalten fein verteilte Micellen des Polymeren

Keine Polymeren sind Harzdispersionen (teilw. Harzleime)

## 11.5 Wie wirken polymere Additive?

Eine makromolekulare Kette ist klebrig wie ein Spinnenfaden.

Die Grundlagen für diese Wirkung polymerer Additive sind

- ◆ Wechselwirkung mit Fasern und Füllstoffteilchen
- ◆ Aufziehvermögen = Bereitschaft, sich an eine Oberfläche anzulagern (Anziehung)

Die Adsorption vollzieht sich in zwei Schritten: Annäherung und Fixierung

Annäherung:

- Durch elektrostatische Anziehung
- Durch Anströmung (wie Treibgut in einem Fluss ans Ufer getrieben wird und dort hängen bleibt)

Fixierung:

- ◆ Besondere Kräfte zwischen Teilchen und Polymermolekül bewirken Fixierung (Adsorption)
  - Elektrostatische Anziehung
  - Wasserstoffbrückenbindungen
  - Salzbrücken
  - Hydrophobe Wechselwirkungen (hydrophobe Teilchen werden durch das Wasser an hydrophobe Oberflächen gedrückt, weil sich die Wassermoleküle lieber unter sich bleiben wollen)
- ◆ Gegenseitige Durchdringung und Verhakung von Molekülketten in gequollenen Gelen (molekularer Klett-Effekt)



## 11.6 Zwischenmolekulare Kräfte

Normalerweise gehören die Kräfte, die zwischen den Makromolekülen der Papieradditive und den Fasern oder den Füll- oder Feinstoffteilchen wirken, zu den Nebervalenzbindungen. Nur Neutralleimungs- und Trockenfestmittel bilden beim Trocknen kovalente chemische Bindungen aus.

Während kovalente Bindungen eine Bindungsenergie von 150 bis 500 kJ/mol aufweisen, haben die Nebervalenzkräfte (mit Ausnahme der direkten Ionenbindung) in der Regel sehr viel weniger Bindungsenergie, die auch noch sehr stark von der Entfernung abhängt.

Tabelle 1 gibt eine Übersicht über die möglichen Arten von Nebervalenzbindungen.

Eine vielfältige Gruppe von Arten von Kräften kommt durch Wirkung elektrischer Felder zustande, die von Ionen und Dipolen ausgehen. Grob kann man unter den Zwischenmolekularen Kräften zwischen starken Ionen-, mittelstarken Dipol- und schwachen Dispersionskräften (Londonkräften) unterscheiden.

Die Ionen-Ionen-Kräfte sind relativ stark und wirken weit (d.h. dass sie auch aus in molekularen Dimensionen betrachtet größeren Entfernungen noch „gespürt“ werden). Aller-

dings sind sie in dem als Dielektrikum wirkenden Wasser deutlich schwächer als beispielsweise in einem Kristall, was bekanntlich dazu führt, dass sich beispielsweise ein Natriumchloridkristall problemlos in Wasser auflöst, während man gewaltig viel Energie aufwenden muss, um ihn zu schmelzen. Beim Lösen (und Verdampfen) werden die Teilchen vollständig voneinander getrennt, beim Schmelzen werden sie so weit voneinander getrennt, dass sie sich nur mehr schwach anziehen aber ihre gegenseitige Lage verändern können.

Tabelle 1: Arten von Nebervalenzbindungen

	Wechselwirkung	Potentialfunktion	Bindungsenergie (kJ/mol)	Bild
Ionenkräfte	Ion – ion	$r^{-1}$	- 680	
	Ion –dipol	$r^{-2}$	- 72	
	Ion- induced dipol	$r^{-4}$	- 65	
Van-der-Waals	Dipol –dipol	$r^{-6}$	-15	
	Dipol –induced dipol	$r^{-6}$	-1	
	London	$r^{-6}$	- 0,1	

### 11.6.1 Wasserstoffbrückenbindung

Eine ganz besondere Rolle spielt auch die Wasserstoffbrückenbindung (siehe Abbildung 4) für die Additivwirkung. Insbesondere die OH-Gruppen der Cellulose können leicht solche Wasserstoff-Brücken mit Polymeren, die an N oder O gebundenen Wasserstoff besitzen, bilden. Solch ein Wasserstoffatom kann eine Brücke zu einem anderen Sauerstoff- oder Stickstoff-Atom bilden. Diese Atome wiesen normalerweise in organischen Verbindungen freie Elektronenpaare auf. In diese Orbitale kann der leichte und kleine Wasserstoffkern (nur ein Proton), der mit einer  $\sigma$ -Bindung an einem Nachmolekül hängt, quasi hineinkriechen und so die beiden beteiligten Moleküle zusammenhalten.

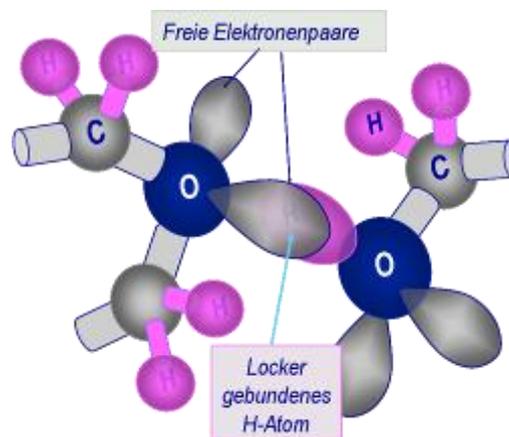
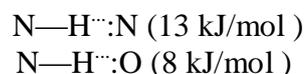
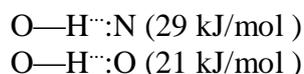


Abbildung 4: Ausbildung einer Wasserstoff-Brücken-Bindung

Zur Ausbildung einer H-Brücke müssen sich die Moleküle sehr nahe kommen ( $d < 10$  nm). Auf weitere Entfernung kommt keine merkliche Wechselwirkung zustande. Die Bindungsenergien liegen zwischen 10 und 30 kJ/mol.



### 11.6.2 Adsorption von Makromolekülen

Die formflexiblen Molekülketten können sich relativ leicht an Oberflächen „festhalten“, weil sie in der Lage sind, an vielen Stellen der Molekülkette mit den chemischen Gruppen einer Oberfläche in Kontakt zu treten. Hat ein bestimmtes Segment einmal den Kontakt hergestellt, ist auch die Wahrscheinlichkeit hoch, dass ein Nachbarsegment ebenfalls einen festen Kontakt zur Oberfläche ausbildet. Es entstehen dann Abschnitte der Molekülkette die eng am Teilchen anliegen (solche Abschnitte werden Züge („trains“) genannt). Abbildung 5 zeigt einige Möglichkeiten, wie Makromoleküle aufziehen können, wobei die Arten einer spezifischen Adsorption das Vorhandensein von „Ankergruppen“ voraussetzen, die eine besondere Affinität zur Oberfläche haben.

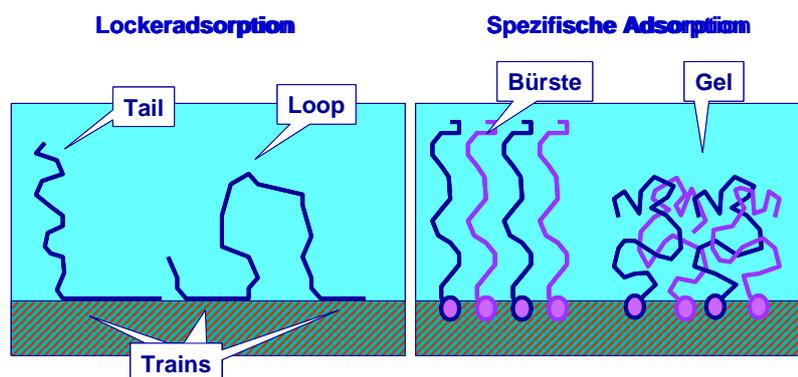


Abbildung 5: Formen der Adsorption von Polymeren an Oberflächen

Voraussetzung für die Ausbildung von direkten Molekülbrücken zwischen verschiedenen Teilchen ist, dass die Polymermoleküle in sehr lockerer Form an den Teilchenoberflächen adsorbiert werden. Meistens werden kurze Kettenabschnitte an entgegengesetzt geladene Oberflächen angelagert und somit an der Oberfläche verankert. Die langen Molekülketten ragen dann in Form von freien Kettenabschnitten in die Lösung (so genannte Schleifen „loops“ oder Schwänze „tails“) und können so mit anderen festen Partikeln in Wechselwirkung treten. Neben diesen Adsorptionsformen gibt es noch zusätzliche Varianten (z.B. Bürsten- und Gelbildung), die bei Makromolekülen mit endständigen Ankergruppen auftreten.

Bei der Ausbildung von schwachen Bindungen an den Kontaktstellen wird Energie frei. Dies ist die treibende Kraft für die Adsorption. Dagegen wirkt die thermische Bewegung der Moleküle und Molekülsegmente, die das Makromolekül wieder von der Oberfläche abzulösen trachten. Diese thermische Bewegung ist auch für den osmotischen Druck verantwortlich. Da Makromoleküle weniger zum osmotischen Druck beitragen als niedermo-

lekulare Verbindungen, ist in ersterem Fall das Adsorptions-Desorptionsgleichgewicht eher zu Gunsten der Asorption verschoben.

Eine notwendige Bedingung für die Wirksamkeit der Polymeren nach dem Brücken- Mechanismus ist, dass sich die Moleküle nicht ganz flach an die Partikel anlagern. Bekann- termaßen wird aber die Konformation der Polymeren mit zunehmender Zeit nach der Ad- sorption immer flacher, weil die Züge auf Kosten der Schleifen und Schwänze wachsen. Es ist also in diesem Fall wichtig, den Zugabezeitpunkt genau zu steuern, damit die Hilfsmit- tel ihre optimale Wirkung entfalten können.

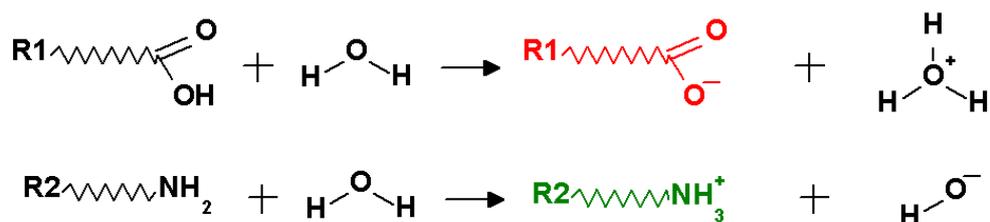
Die Ursache für den ersten erfolgreichen Kontakt ist meistens die elektrostatische Anzie- hung durch Ladungen an der Teilchenoberfläche.

Ursachen der Ladung und die wichtige Einflussgrößen auf deren Wirkung

- Geladene Gruppen
  - „permanente Ladungen“  $-\text{SO}_3^-$ ;  $-\text{NH}_3^+$
  - dissoziierbare Gruppen  $-\text{COOH}$ ;  $-\text{NH}_2$ ;  $-\text{NH}-$
- Ionenadsorption  $\text{CaCO}_3$
- Gitterionenaustausch Silikate
- pH-Abhängigkeit
  - schwach saure oder basische Gruppen sind in Abhängigkeit vom pH-Wert in unterschiedlichem Ausmaß dissoziiert
- Abhängigkeit der Wirkung von der Salzfracht
  - durch Ladungsabschirmung

Die Ladungen können permanent ionische Gruppen sein, die ihren Ionencharakter im prak- tisch anwendbaren Intervall des pH-Werts nicht ändern. Unter den Anionen gehören die Sulfonsäuren zu dieser Gruppe, bei den Kationen die quaternären Ammoniumverbindun- gen. Dissoziierbare (ionisierbare) Gruppen, wie schwache Säuren oder Amine, ändern da- gegen ihren Ladungszustand mit dem pH-Wert, daher kann in diesem Fall oft schon durch pH-Änderung eine Ausfällung bewirkt werden. An organischen Partikeln entstehen die Ladungen fast immer durch die chemischen Vorgänge bei der Stoffherstellung (z.B. beim Aufschluss und der Bleiche des Faserstoffs) während die Ladung anorganischer Teilchen entweder durch bevorzugte Adsorption von Ionen oder durch Gitterdefekte an der Teil- chenoberfläche zustande kommt.

pH-Abhängigkeit des Ladungszustandes bei Polysäuren und Polybasen:



## 11.7 Zeta-Potential

Die wirksame Oberflächenladung eines festen Teilchens wird durch das Zeta ( $\zeta$ ) – Potential beschreiben. Das  $\zeta$ -Potenzial ist eigentlich ein Maß für die wirksame Ladung eines Teilchens in einer gescherten Flüssigkeit. Da die Teilchen in einer Papiersuspension aber ohnehin immer einer relativ starken Scherung ausgesetzt sind, ist dieser Wert der für die Anwendung relevante. Er ist der Oberflächenladung proportional, hängt aber auch vom umgebenden Milieu ab und zwar sinkt er mit steigender Ionenkonzentration (Salzgehalt) im Wasser.

Abbildung 6 zeigt schematisch, wie die Wirkung der Oberflächenladung (elektrisches Potential) eines elektrisch geladenen Teilchens mit zunehmender Entfernung von der Teilchenoberfläche abnimmt. Dies liegt vor allem daran, dass die Oberflächenladung bevorzugt gegennamig geladene im Wasser gelöste Ionen (Gegenionen)anzieht, die die Wirkung der Teilchenladung z.T. neutralisieren. Ein Teil der Gegenionen haftet so stark an der Teilchenoberfläche, dass er auch bei Scherung mitgeschleppt wird. An der Scherfläche wirkt dann die Restladung. Das dadurch zustande kommende Potenzial wird  $\zeta$ -Potential genannt. Je höher die Oberflächenladung ist, desto dicker ist die ionenhaltige Wasserhülle, die fixiert ist. Das hydrodynamische Volumen steigt daher mit dem  $\zeta$ -Potential.

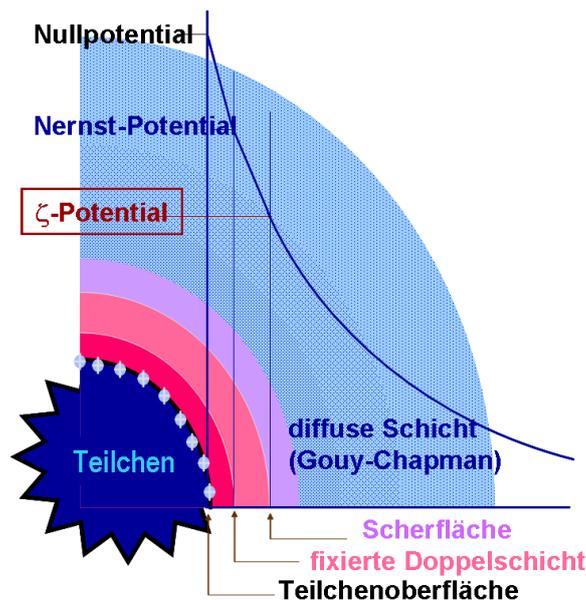


Abbildung 6: Abnahme des wirksamen elektrischen Potentials in unmittelbarer Umgebung eines geladenen Teilchens

Bei einer höheren Salzkonzentration in der Lösung wird der Abschirmungseffekt stärker, das Zeta-Potenzial sinkt daher mit steigender Leitfähigkeit.

## 11.8 Elektroviskose Effekte

Flexible Makromoleküle haben ein großes hydrodynamisches Knäuelvolumen und daher einen stark erhöhenden Effekt auf die Viskosität einer Lösung. Tragen die Molekülketten auch noch Ladungen so stoßen diese einander ab, wodurch der Knäuel zusätzlich aufgeweitet wird, die Viskosität also weiter zunimmt. Das hydrodynamisch wirksame Knäuelvolumen nimmt also mit steigender Nettoladung zu. Sind in der Lösung zusätzlich niedermolekulare Salze gelöst (hohe Leitfähigkeit) zieht der Polymerknäuel Gegenionen an, die die

Ladungen mehr oder weniger abschirmen. Die wirksame Nettoladung sinkt damit durch Salz (Abschirmung) und die Viskosität wird durch Salzeinfluss erniedrigt. Abbildung 7 illustriert diesen Salzeinfluss auf das Knäuelvolumen und auf die damit zusammenhängende Lösungsviskosität.

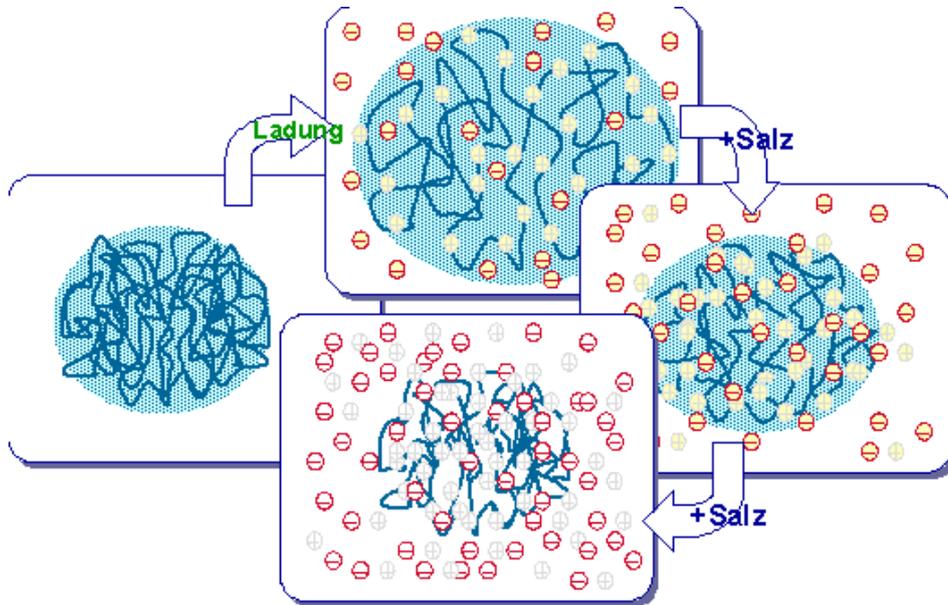


Abbildung 7: Salzeinfluss auf das Knäuelvolumen und dadurch auf die Viskosität bei flexiblen Polyelektrolyten

Diese Wirkung von Salzen nennt man den „ersten elektroviskosen Effekt“. Bei schwachen Polyelektrolyten (Polysäuren mit COOH-Gruppen oder Polybasen mit NHR-Gruppen) verändert sich durch die pH-abhängige Dissoziation der Gruppen der Ladungszustand und damit die Viskosität mit dem pH-Wert (siehe Abbildung 8). Da bei polymeren Papieradditiven auch deren Effekt stark vom Knäuelvolumen abhängt, ändert sich auch deren Wirkung deutlich mit dem pH-Wert. Dadurch zeigen viele kationische Additive (die schwache Polybasen sind) nur im sauren pH-Bereich eine gute Wirksamkeit.

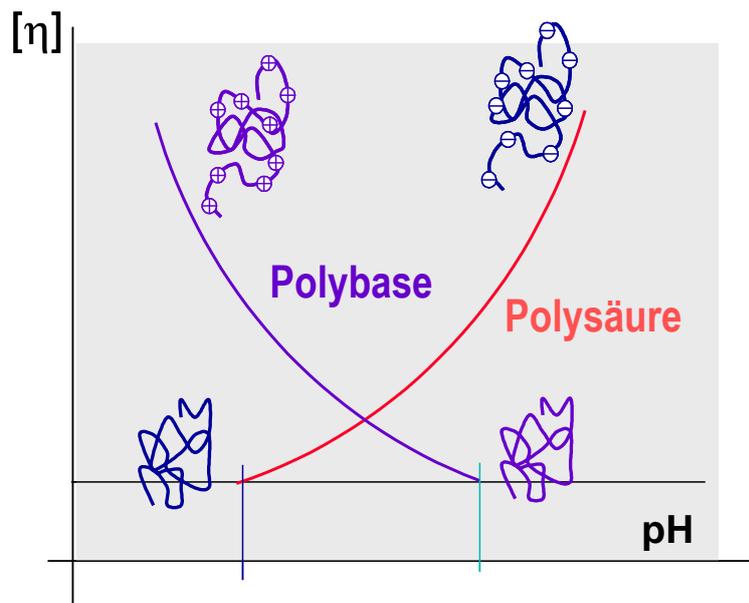
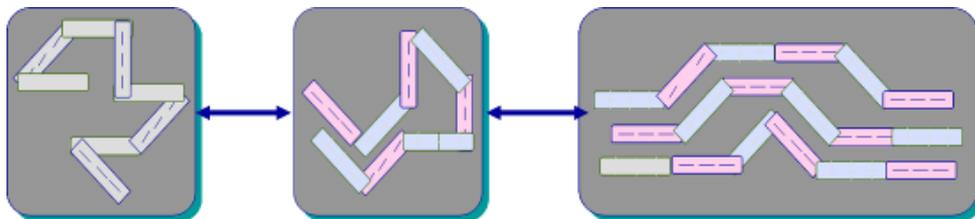


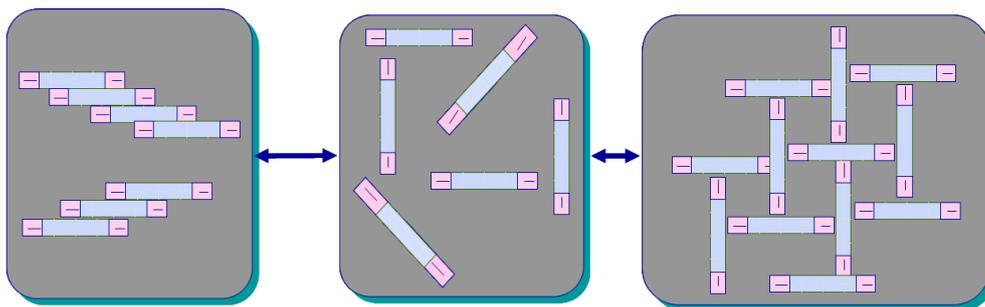
Abbildung 8: pH-Abhängigkeit der Viskosität bei schwachen Polyelektrolyten

Weisen Teilchen oder Makromoleküle sowohl positive als auch negative Ladungen nennt man diese „Ampholyte“. Durch gegenseitige Anziehung der verschiedenen geladenen Bereiche bilden solche Systeme besondere Überstrukturen aus (Abbildung 9).

*Flexible Teilchen (Polymere)*



*Starre Teilchen (Pigmente)*



Kartenhausstruktur

Abbildung 9: Strukturbildung bei Ampholyten

### 11.9 Bestimmung der wirksamen Ladung

Geladene Teilchen bewegen sich im elektrischen Feld zur entgegengesetzt geladenen Elektrode hin. Diese Erscheinung kann man nutzen, um die wirksame Teilchen-Ladung zu messen. Die treibende Kraft entspricht der wirksamen Nettoladung mal Feldstärke. Bei

einer Anordnung, wie sie Abbildung 10 zeigt (Elektrophorese), wird die Wanderungsgeschwindigkeit der Teilchen gemessen.

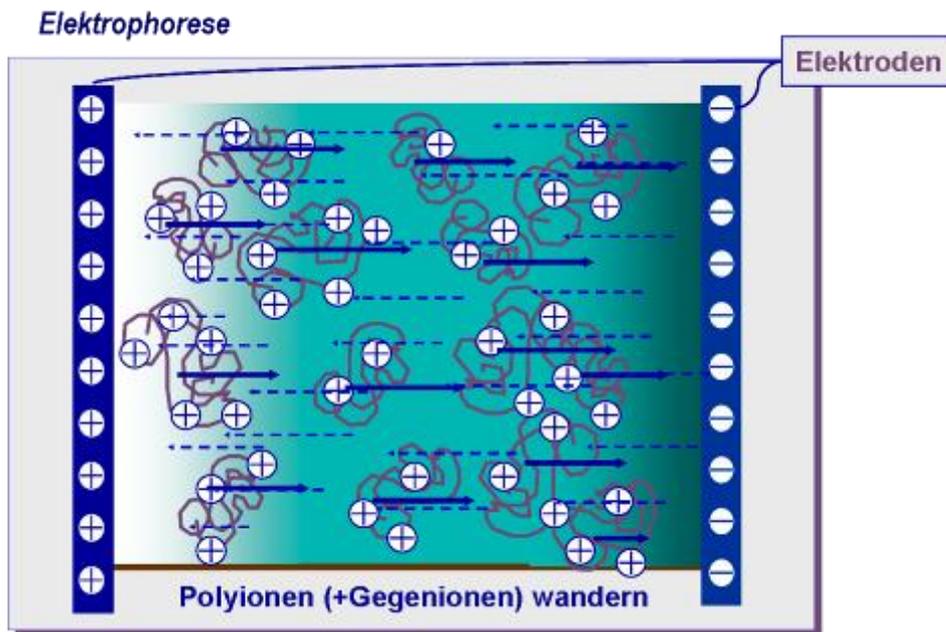


Abbildung 10: Elektrophorese. Wanderung geladener Teilchen im elektrischen Feld

Die Elektrophorese ist eine von verschiedenen Varianten von s.g. elektrokinetischen Methoden, die in Tabelle 2 zusammengestellt sind.

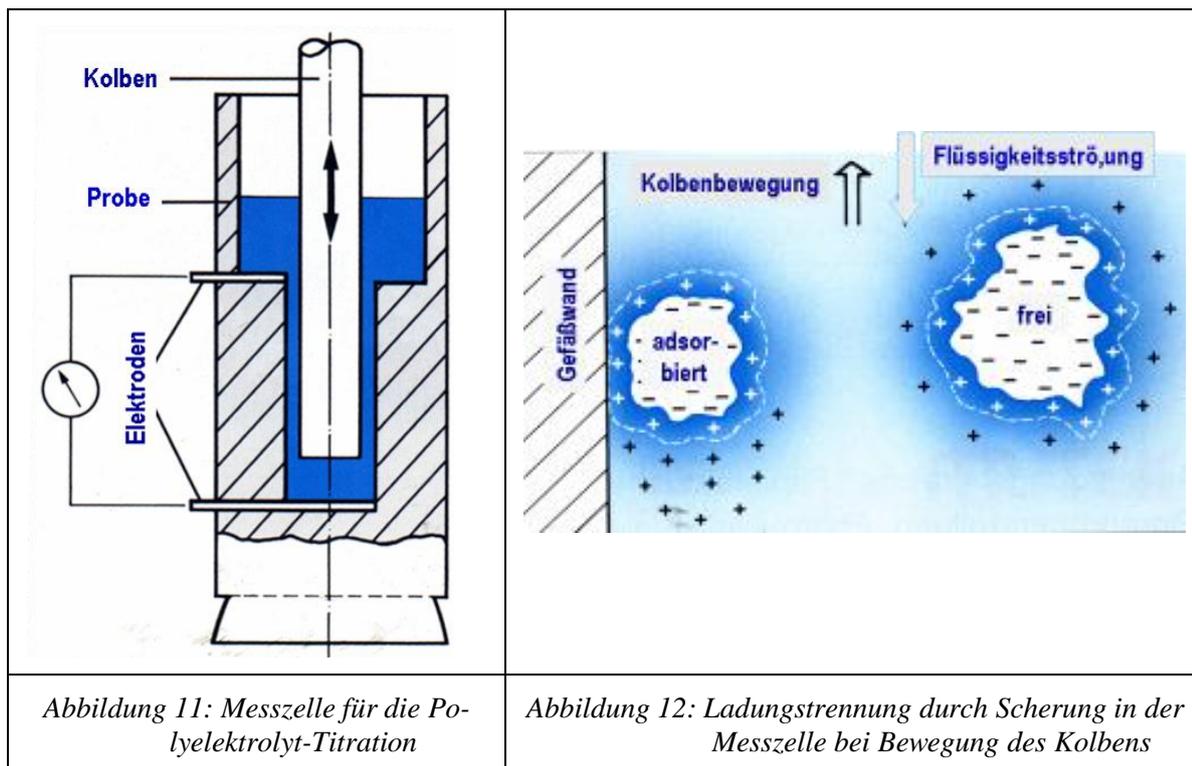
Tabelle 2: Elektrokinetische Methoden

Methode	Phänomen	Messgröße
Elektrophorese	Teilchen bewegen sich	Teilchengeschwindigkeit Massenstrom (Konzentrationsänderung)
Elektroosmose	Gegenionen bewegen sich	Osmotischer Druck Konzentrationsänderung
Strömungspotential	Ladungstrennung	Elektrisches Potential (Spannung)
Strömungsstrom	Ladungen fließen	Elektrischer Strom

### 11.9.3 Polyelektrolyt-Titration

Eine besondere Form der Strömungsstrom Messung wird bei der Polyelektrolyt-Titration angewandt.

Diese benutzt eine mit zwei Elektroden versehene zylindrische Messzelle in der sich in der Mitte ein Kolben auf und ab bewegt (Abbildung 11). Wenn sich der Kolben nach oben bewegt, wird die Probenflüssigkeit in der Messzelle geschert und die großen und kleinen geladenen Teilchen werden in unterschiedlichem Ausmaß mit der Strömung mitgeschleppt. Dadurch kommt es wie in Abbildung 12 skizzierten Weise zu einer Ladungstrennung und zwischen der oben und der unten angebrachten Messelektrode tritt eine schwache elektrische Spannung auf. Bewegt sich der Kolben wieder nach unten dreht sich der ganze Vorgang um und an den Elektroden wird eine negative Spannung erzeugt. Die Wechselfspannung kann elektronisch verstärkt und registriert werden. Das Signal ist aber nur ein relatives Maß für die Teilchenladung.



Um die absolute Größe der Teilchenladung zu ermitteln, führt man eine Polyelektrolyttitration durch, bei der die Strömungspotentialmessung nur als Mittel zur Bestimmung des Endpunkts der Titration benutzt wird.

Bei der Titration setzt man der Probe schrittweise eine genau gemessene Menge einer Lösung zu, die einen entgegengesetzt geladenen Polyelektrolyten genau bekannter Konzentration und Ladungsdichte enthält. Dieser lagert sich am geladenen Teilchen an und bildet einen ungeladenen, unlöslichen Polymer-Komplexen (Simplex). Entspricht die in der Lösung vorliegende polymergebundene Ladung genau der Menge an bei der Titration zugesetzter Gegenladung, kann man kein Strömungspotenzial mehr messen. Dies ist der Endpunkt der Titration.

In Abbildung 13 ist ein kommerzielles Gerät zu Durchführung einer Polyelektrolyt-Titration abgebildet.



Abbildung 13: Kommerzielles Gerät zur Polyelektrolyt-Titration

#### 11.9.4 Zeta-Potential-Bestimmung

Um das Zeta-Potential zu bestimmen, bildet man aus der Fasersuspension eine Faservlies und lässt dieses vom Suspensionswasser durchströmen. An Ober- und Unterseite des Faservlieses liegen Siebelektroden, an denen sich ein Strömungspotenzial ausbildet.

Praktisch misst man direkt das sich bei der Filtration und Vliesbildung ausbildende Potential. Die Fasern, Füll- und Feinstoffe werden dabei vom Sieb festgehalten, die Gegenionen passieren das Sieb (siehe Abbildung 14). Die durch die Ladungstrennung hervorgerufene Spannung wird gemessen und in das Zeta-Potential umgerechnet.

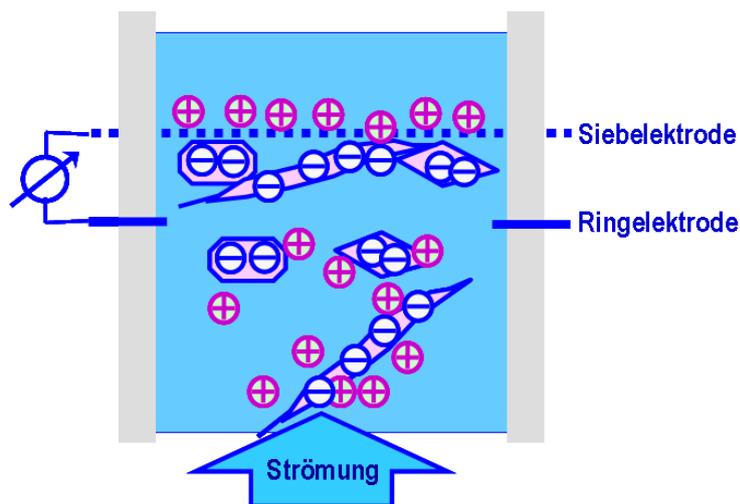
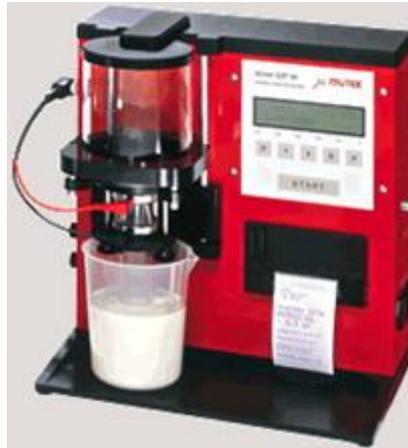


Abbildung 14: Messprinzip der Zeta-Potenzial-Messung

Abbildung 15 zeigt ein kommerzielles Gerät zu Bestimmung des Zeta-Potenzials.



*Abbildung 15: Kommerzielles Zeta-Potential-Messgerät (Mütek)*