



Masterarbeit

**Verhinderung des Staubens mittels Reduzierung von Misting  
und/oder Orange Peel an einer Filmpresse**

vorgelegt von

Pacher Wolfgang BSc

In Zusammenarbeit mit Sappi Fine Paper Europe R&D Gratkorn

Begutachter:

Univ.-Prof. Dipl.-Ing. Dr.techn. Wolfgang Bauer

Betreuer:

Univ.-Prof. Dipl.-Ing. Dr.techn. Wolfgang Bauer

Institut für Papier-, Zellstoff- und Fasertechnik

Technische Universität Graz

Kopernikugasse 24/II

8010 Graz

Graz, im November 2011

## Eidesstattliche Erklärung

Ich erkläre an Eides statt, dass ich die vorliegende Arbeit selbstständig und ohne fremde Hilfe verfasst, andere als die angegebenen Quellen nicht benützt und die den benutzten Quellen wörtlich und inhaltlich entnommenen Stellen als solche kenntlich gemacht habe. Ich versichere, dass ich dieses Diplomarbeitsthema bisher weder im In- noch im Ausland (einem Beurteiler oder einer Beurteilerin) in irgendeiner Form als Prüfungsarbeit vorgelegt habe.

---

Ort

---

Datum

---

Unterschrift

## Danksagung

Die vorliegende Arbeit wurde in der Forschungs- und Entwicklungsabteilung der Sappi Fine Paper Europe Gratkorn von März 2011 bis August 2011 angefertigt. Ich bedanke mich für die Begleitung während meiner Diplomarbeit bei Herrn DI Franz Frisch und der Firma Sappi Fine Paper Europe Gratkorn. Weiters bedanke ich mich bei allen Labormitarbeitern der Forschungsabteilung die mich tatkräftig unterstützt haben. Mein Dank gilt auch meinem Betreuer Herrn Univ.-Prof. Dipl.-Ing. Dr.techn. Wolfgang Bauer, der mir stets mit Rat und Tat zur Seite stand.

Bedanken möchte ich mich auch bei meiner Lebensgefährtin Miriam für ihre Unterstützung während der gesamten Studienzeit. Besonderer Dank gilt meinen Eltern Helga und Arnold, die mir dieses Studium ermöglicht haben und immer an meiner Seite stehen.

„Habe Mut, dich deines eigenen Verstandes zu bedienen“

*--Immanuel Kant*

## Kurzfassung

Misting und Orange Peel treten häufig bei Filmpressen auf, oft aufgrund falscher oder ungeeigneter Eigenschaften der Streichfarben bzw. vermeidbaren ungünstigen Prozessbedingungen. Der Inhalt dieser Arbeit behandelt die Fragen, warum Staub bei auftretendem Misting und/oder Orange Peel entsteht und wie das Stauben verhindert werden kann. Besonderes Augenmerk wurde auf die Rheologie, Viskosität, Dehnviskosität und den Trockengehalt der Streichfarben gelegt, da sich herausstellte, dass diese Größen den stärksten Einfluss auf die Häufigkeit von Misting und Orange Peel haben. Daher wurden im Zuge der Arbeit verschiedene Messmethoden ausgewählt, um gezielte Untersuchungen durchführen zu können. Die Ergebnisse zeigen, dass eine Verringerung der Viskosität und Dehnviskosität bzw. eine Erhöhung des Trockengehaltes der Streichfarbe zu einer Verminderung von Misting und Orange Peel bzw. vermutlich zu einer Reduzierung des Staubens führen.

## Abstract

Misting and orange peel are prevalent problems of some film presses. The reasons are often the poor properties of the coating colors or adverse, avoidable process conditions. The content of this study is to ascertain, why misting or orange peel produce dusting on the paper machine and how it could be avoided. Especially the rheology, viscosity, elongational viscosity and the dry content of the coating color have the largest effect on the frequency of misting and orange peel. To find the connection between dusting and misting or orange peel some measurements methods were chosen. The results of the measurements show that the reduction of the viscosity, of the elongational viscosity and an increase of the dry content, reduce probably misting, orange peel and dusting amount.

# Inhaltsverzeichnis

Einleitung .....	1
1. PROBLEMBESCHREIBUNG UND AUFGABENSTELLUNG .....	2
2. STREICHEN VON PAPIER, INHALTSSTOFFE DER STREICHFARBEN UND STREICHFARBENREZEPTUREN .....	3
2.1 Pigmente und deren Eigenschaften .....	6
2.2 Binder .....	8
2.2.1 Bindemittelgehalt.....	10
2.2.2 Latex .....	10
2.2.2.1 Filmbildung und Monomierzusammensetzung von Latex Partikel .....	11
2.3 Stärke .....	12
2.3.1 Aufbereitung und Einfluss der Stärke als Binder.....	13
2.4 Co-Binder und Verdicker.....	14
2.4.1 Acrylatcopolymer.....	15
3. RHEOLOGIE DER STREICHFARBEN .....	16
3.1 Idealviskoses Verhalten .....	17
3.1.1 Schubspannung und Scherrate .....	17
3.1.2 Viskosität – Newtonsches Gesetz .....	18
3.1.3 Scherverdünnendes Fließverhalten.....	19
3.1.4 Scherverdickendes Fließverhalten .....	20
3.1.5 Zeitabhängiges Verhalten .....	21
3.2. Idealelastisches Verhalten .....	21
3.2.1 Deformation und Schubmodul – Hooksches Gesetz .....	22
3.3 Viskoelastische Substanzen .....	23
3.3.1 Oszillationsversuch .....	23
3.4 Pigmentkonzentration, Pigmentform und Korngrößenverteilung.....	27
3.5 Dehnviskosität .....	28
4. WASSERRETENTION DER STREICHFARBE .....	30
4.1 Wassertransport in das Papier .....	30
4.2 Entwässerungsverhalten der Streichfarbe – Aufbau einer Strichschicht.....	32

5. DIE FILMPRESSE .....	35
5.1 Aufbau und Arbeitsweise einer Filmpresse .....	35
6. ENTSTEHUNG VON MISTING UND ORANGE PEEL .....	36
6.1 Einflussfaktoren für die Entstehung von Misting und Orange Peel .....	39
6.1.1 Verhältnis von immobiler Schichtdicke zu egalisierter Schichtdicke.....	39
6.1.2 Strichgewicht.....	40
6.1.3 Transferrate .....	40
6.1.4 Trockengehalt .....	41
6.1.5 Maschinengeschwindigkeit.....	42
6.1.6 Wasserretention, Papiersaugfähigkeit und Papierraugigkeit.....	43
6.1.7 Oberflächenspannung .....	44
6.1.8 High Shear Viskosität.....	45
6.1.9 Dehnviskosität.....	45
6.1.10 Speicher- und Verlustmodul .....	46
6.1.11 Luftgehalt der Streichfarbe .....	46
6.1.12 Schlussfolgerungen.....	47
7. METHODISCHER ZUGANG.....	48
7.1 Material und Methoden .....	51
7.1.1 Mikroskopische Untersuchung des Hallenstaubes .....	51
7.1.2 Messung der Intensität von Misting an der Papiermaschine .....	51
7.1.3 Messung der Intensität des Staubens an der Papiermaschine .....	51
7.1.4 Messung der Rauigkeit von Papierproben aus Ethingen .....	52
7.1.5 Burnout-Test und Mottle Analyse .....	52
7.1.6 Herstellung und Namensgebung der Streichfarben .....	54
7.1.7 Hergestellte Streichfarben.....	56
7.1.8 Messung der Temperatur, des pH-Wertes, der Viskosität, der Speicher- und Schubmodule und der Dehnviskosität .....	58
7.1.9 Filament Streching Elongational Rheometer .....	62
7.1.10 Messung der Wasserretention und Untersuchung mittels einer Zentrifuge .....	63
7.1.11 Messung der Oberflächenspannung.....	65
8. ERGEBNISSE UND DISKUSSION.....	66
8.1 Mikroskopische Untersuchung des Hallenstaubes .....	66
8.2 Bindergehalt des Hallenstaubes .....	69
8.3 Ergebnisse der Messung der Intensität von Misting an der Papiermaschine .....	70

8.4 Ergebnisse der Messung der Intensität des Staubens an der Papiermaschine .....	71
8.5 Ergebnisse der Rauigkeitsmessungen .....	72
8.6 Ergebnisse des Burnout-Tests und der Mottle Analyse .....	73
8.7 Einfluss des Trockengehaltes, der Binderart und des Verdickeranteils auf die Brookfield Viskosität und Wasserretention .....	77
8.8 Einfluss des Trockengehaltes, der Binderart, des Binderanteils und des Verdickeranteils auf die Viskosität bei hohen und niedrigen Scherraten .....	79
8.9 Einfluss des Trockengehaltes, der Binderart und des Verdickeranteils auf das Speicher- und Verlustmodul.....	83
8.10 Einfluss der Streichfarbenkomponenten auf die Dehnviskosität .....	85
8.11 Ergebnisse des Filament Streching Rheometers .....	87
8.12 Einfluss des Trockengehaltes, der Binderart und des Verdickeranteils auf die Oberflächenspannungsmessungen.....	88
8.13 Ergebnisse der Untersuchung mittels einer Zentrifuge.....	89
8.14 Interpretation der Messergebnisse .....	90
8.15 Ergebnisvergleich Streichfarbenproben vs. Strichfarbe VST4 .....	91
8.16 Diskussion .....	96
9. AUSBLICK .....	98
10. LITERATURVERZEICHNIS .....	99
11. ANHANG .....	102



## Abbildungsverzeichnis

Abb.1.1 Abdeckung des Naturpapier mittels Streichfarbe [1] .....	4
Abb.1.2 Gegenüberstellung unterschiedlicher Streichaggregate [2].....	4
Abb.2.2.1 Funktionsweise eines Bindemittels.....	8
Abb.2.2.2.1 Elektronenmikroskopbild von Latex Partikel .....	10
Abb.2.3.1 Anordnung der Monosaccharid Einheiten der Stärke.....	12
Abb.2.3.2 Anordnung der Monosaccharid Einheiten der Cellulose .....	13
Abb.2.3.3 Kochung von Stärkekörner .....	13
Abb.2.4.1.1 Wirkung saurer und alkalischer Bedingungen auf Acrylatcopolymer.....	16
Abb.3.1 Zwei-Platten-Modell .....	17
Abb.3.1.2.1 Zwei Fließkurven von idealviskosen Substanzen.....	19
Abb.3.1.2.2 Zwei Viskositätskurven von idealviskosen Substanzen.....	19
Abb.3.1.3.1 Scherverdünnende Fließkurve.....	19
Abb.3.1.3.2 Scherverdünnende Viskositätskurve.....	19
Abb.3.1.3.3 Agglomerierte Partikel die sich unter Krafteinwirkung auflösen.....	20
Abb.3.1.4.1 Scherverdickende Fließkurve .....	20
Abb.3.1.4.2 Scherverdickende Viskositätskurve .....	20
Abb.3.1.5.1 Thixotrope Substanz .....	21
Abb.3.2.1 Idealelastisches Verhalten eines Festkörpers.....	22
Abb.3.3.1.1 Oszillationsversuch an einem idealelastischen Körper .....	24
Abb.3.3.1.2 Oszillationsversuch an einem idealviskosen Körper .....	25
Abb.3.3.1.3 Vektordiagramm des komplexen Schubmodul.....	26
Abb.3.4.1 Bewegungsradius von kugel- und plättchenförmigen Pigmenten.....	27
Abb.3.4.2 Schematische Darstellung einer breiten und engen Korngrößenverteilung.....	28
Abb.3.4.3 Unterschied zwischen Scherung und Dehnung .....	28
Abb.3.4.5 Dehnung eines Körpers.....	29
Abb.4.1.1 Einfluss der Papiersorte auf die Wassertransportmenge .....	31
Abb.4.1.2 Einfluss des äußeren Druckes auf die Wassertransportmenge .....	31
Abb.4.1.3 Einfluss der Temperatur auf die Wassertransportmenge.....	32
Abb.4.2.1 Entwässerung einer Streichfarbe.....	33
Abb.4.2.2 Immobilisierungsgeschwindigkeit .....	34
Abb.5.1.1 Aufbau einer Filmpresse.....	35
Abb.6.1 Phasen des Filmsplittingmodell .....	37
Abb.6.2 Entstehung von Misting und Orange Peel .....	38
Abb.6.3 Mistingtröpfchen am Nipausgang .....	38
Abb.6.1.2.1 Misting in Abhängigkeit vom Strichgewicht .....	40
Abb.6.1.3.1 Mistingmenge in Abhängigkeit der Transferrate .....	41

Abb.6.1.4.1 Misting und Orange Peel in Abhängigkeit vom Trockengehalt .....	42
Abb.6.1.4.2 Zusammenhang Strichgewicht, Trockengehalt und dem Verhältnis von immobilierter Schichtdicke zu egalisierter Schichtdicke.....	42
Abb.6.1.5.1 Einfluss der Maschinengeschwindigkeit auf die Mistingintensität.....	43
Abb.6.1.5.2 Abhängigkeit der Mistingintensität vom Trockengehalt und Geschwindigkeit.....	43
Abb.6.1.6.1 Misting und Orange Peel in Abhängigkeit von der Papierrauigkeit.....	44
Abb.6.1.7.1 Einfluss der Oberflächenspannung auf die Filamententstehung .....	45
Abb.6.1.11.1 Einfluss des Luftgehalts auf die Filamentbildung .....	46
Abb.6.1.11.2 Einfluss einer schaubildender Substanz und Entgasung auf Misting und Orange Peel .....	47
Abb.7.1.3.1 Dusting Gauge .....	52
Abb.7.1.5.1 Burnout Probe .....	53
Abb.7.1.5.2 Luminance Value der Pixel.....	54
Abb.7.1.8.1 Spindel SC4 .....	59
Abb.7.1.8.2 Messbecher, Messkörper und Messprobe des Paar Physica .....	60
Abb.7.1.8.3 Kapillare eines Kapillarviskosimeter .....	61
Abb.7.1.8.4 Messblende.....	61
Abb.7.1.9.1 Schematische Darstellung des Dehnrheometers .....	63
Abb.7.1.10.1 Schematische Darstellung eines AA-GWR Apparates.....	64
Abb.7.1.11.1 Messverfahren der Oberflächenspannung.....	65
Abb.8.1.1 Mistingtropfen bei 250-facher Vergrößerung .....	67
Abb.8.1.2 Hallenstaub bei 2000-facher Vergrößerung.....	68
Abb.8.1.3 Zermahlene Mistingtropfen bei 2000-facher Vergrößerung.....	68
Abb.8.3.1 Mistingintensitätsmessung .....	70
Abb.8.4.1 Hallenstaubmessung, Aufrollung Papiermaschinen.....	71
Abb.8.4.2 Hallenstaubmessung, Aufrollung Umroller.....	72
Abb.8.4.3 Hallenstaubmessung, Abrollung Streichmaschinen .....	72
Abb.8.6.1 Burnout Test Presto Silk.....	74
Abb.8.6.2 Burnout Test Quatro Silk .....	74
Abb.8.6.3 Burnout Test Mega Silk .....	75
Abb.8.6.4 Mottle- Analyse Presto Silk, Quatro Silk und Mega Silk.....	76
Abb.8.7.1 Brookfield Viskosität bei unterschiedlichen Trockengehalten und Komponenten..	77
Abb.8.7.2 Wasserretention unterschiedlichen Trockengehalten und Komponenten.....	77
Abb.8.7.3 Brookfield Viskosität bei unterschiedlichen Binderarten.....	78
Abb.8.7.4 Wasserretention bei unterschiedlichen Binderarten.....	78
Abb.8.7.5 Brookfield Viskosität bei unterschiedlichen Verdickeranteilen.....	79
Abb.8.8.1 Einfluss der Scherrate und trockenengehalt auf die Viskosität .....	80

Abb.8.8.2 Viskosität bei unterschiedlichen Binderarten .....	80
Abb.8.8.3 Viskosität bei stufenweiser Verdickererhöhung .....	81
Abb.8.8.4 Viskosität bei stufenweiser Verdickererhöhung .....	81
Abb.8.8.5 Einfluss Binderreduzierung auf die Viskosität.....	82
Abb.8.9.1 Einfluss des Trockengehaltes auf das Speicher- und Verlustmodul.....	83
Abb.8.9.2 Einfluss der Binderart auf das Speicher- und Verlustmodul bzw. auf den Verlustwinkel .....	84
Abb.8.9.3 Einfluss des Verdickeranteils auf das Speicher- und Verlustmodul bzw. auf den Verlustwinkel .....	84
Abb.8.10.1 Einfluss des Trockengehaltes auf die Euler Zahl .....	85
Abb.8.10.2 Einfluss des Binders auf die Euler Zahl .....	86
Abb.8.10.3 Einfluss der Stärke, Latex und Verdickermenge auf die Euler Zahl .....	86
Abb.8.11.1 Fadendurchmesserabnahme der Probe AI5C10 .....	87
Abb.8.15.1 Brookfield Viskosität der Proben.....	92
Abb.8.15.2 Wasserretention der Proben.....	92
Abb.8.15.3 Viskosität der Proben .....	93
Abb.8.15.4 Schubmodule der Proben.....	94
Abb.8.15.5 Verlustwinkel der Proben.....	94
Abb.8.15.6 Euler Zahl der Proben .....	95

## Tabellenverzeichnis

Tab.2.1 Streichfarbenrezepturen .....	5
Tab.2.1.1 Einfluss der Pigmente an das Papier .....	7
Tab.2.1.2 Physikalische Eigenschaften von Kaolin und Calciumkarbonat .....	7
Tab.2.2.1 Bindertypübersicht.....	9
Tab.2.2.1.1 Eigenschaften der Bindermonomere.....	12
Tab.3.3.1.1 Übersicht Schubmodule und Verlustwinkel .....	26
Tab.7.1.6.1 Strichrezepturen Ehingen .....	55
Tab.7.1.7.1 Hergestellte Streichfarben .....	56
Tab.8.2.1 Bindemittelanteile Hallenstaub und Streichfarbe VST4.....	69
Tab.8.5.1 Ergebnisse der Rauigkeitsmessung .....	73
Tab.8.11.1 Relaxationszeiten der Streichfarbenproben .....	88
Tab.8.12.1 Oberflächenspannungen .....	89
Tab.8.13.1 Ergebnisse der Messung mittels Zentrifuge .....	90
Tab.11.1 Streichfarbenrezepturen .....	102
Tab.11.2 Streichfarbenrezepturen .....	103
Tab.11.3 Streichfarbenrezepturen .....	104
Tab.11.4 Streichfarbenrezepturen .....	105

## Einleitung

Bei der Produktion von gestrichenem Papier an einer Filmpresse tritt immer wieder das Problem von Misting und/oder Orange Peel auf. Bei Misting handelt es sich um Tröpfchen, die während der Produktion aus dem Nipausgang der Filmpresse herausgeschleudert werden. Orange Peel ist eine Inhomogenität der Strichschichtdicke, die eine orangenhautähnliche bzw. hügelige Struktur an der Papieroberfläche aufweist. Beide Phänomene entstehen durch das Reißen von Filamenten (Fäden) am Nipausgang der Filmpresse. Es war nicht bekannt, ob und wie aus den Mistingtropfen bzw. aus den Hörgelspitzen (Orange Peel) der Strichschicht Staub entstehen kann, besonders da die Intensität des Staubens im Bereich der Auf- und Abrollung am stärksten war. Misting und Orange Peel können viele Ursachen haben. Es reicht nicht aus lediglich eine Ursache für Misting und Orange Peel anzuführen. Aus der Intention heraus, diese ungelösten Phänomene näher zu analysieren und durch die bisher bestehende Grundannahme, dass als Basis für das Aufkommen von Staub, Misting und/oder Orange Peel verantwortlich sind, entstand nach und nach diese Arbeit.

In dieser Arbeit wird auf zwei grundlegende Fragen näher eingegangen: Zum einen wurde die Frage behandelt, warum diese Probleme auftreten, zum anderen steht die Möglichkeit der Vermeidung des Misting und Orange Peel im Zentrum der Aufmerksamkeit. Um den Umfang dieser Arbeit nicht ausufern zu lassen, wurden ausschließlich Misting und Orange Peel als Probleme an der Filmpresse behandelt. Weitere Probleme an einer Filmpresse wie color spitting, web stealing usw. wurden weitestgehend ausgegrenzt.

Im Zuge der vorgenommenen Analyse wurden einige Faktoren mit mehr oder weniger großem Einfluss ermittelt, welche im Literaturteil näher erläutert werden. Die stärkste Wirkung zeigen die Faktoren Viskosität, Dehnaviskosität, Elastizität und Wasserretention der Streichfarbe sowie Rauigkeit und Saugfähigkeit des zu streichenden Papiers. Die Eigenschaften der Streichfarbe werden besonders von der Art des Pigmentes sowie der Art und Menge des eingesetzten Bindemittels und Verdickers geprägt.

Um den Einfluss dieser Faktoren bestätigen zu können, wurden empirische Analysen durchgeführt. Es wurden Streichfarben hergestellt, welche gezielte Unterschiede bezüglich ihrer Rezeptur aufwiesen. Diese wurden dann mit Hilfe entsprechender Messgeräte auf ihre rheologischen Eigenschaften hin vermessen und untersucht. Weiters erfolgten Analysen des Hallenstaubes, um die Herkunft und Beschaffenheit des Staubes zu bestimmen. In weiterer Folge wurden Messungen hinsichtlich der Intensität von Misting und Orange Peel durchgeführt. Zum Nachweis von Orange Peel wurden an mehreren Papierproben Burnout Tests und Mottle Analysen vorgenommen.

Die vorliegende Arbeit besteht aus drei Abschnitten. Der erste Abschnitt beinhaltet die Kapitel 1 bis 6, welche die genaue Problembeschreibung und Aufgabenstellung sowie eine

Literaturrecherche bezüglich Streichen von Papieroberflächen, Misting und Orange Peel darstellen. Dafür werden die Inhaltsstoffe und deren Einflüsse auf die Streichfarben genauer betrachtet, die Rheologie von Streichfarben erörtert und die Funktionsweise der Filmpresse erklärt. Weiters werden die Viskosität, Dehnviskosität und Wasserretention von Streichfarben und deren Beeinflussung auf Misting und Orange Peel genauer erläutert. Mittels der Informationen aus dem ersten Abschnitt können die geeigneten Messverfahren ausgewählt werden, um sinnvolle Ergebnisse zu erhalten. Der zweite Abschnitt handelt von den Messungen und Messmethoden, die durchgeführt wurden und erstreckt sich über das Kapitel 7. Für diese Zwecke wurde zuerst aufgrund von Erkenntnissen bezüglich Viskosität, Trocken- und Bindergehalt des ersten Abschnittes überlegt, welche Messproben angefertigt werden sollten, um entscheidende Ergebnisse für die Einflüsse auf Misting und Orange Peel zu erhalten. Weiters werden in diesem Abschnitt die Messmethoden vorgestellt und die Begründungen, weshalb sie verwendet werden. Im dritten Abschnitt, der das Kapitel 8 umfasst, werden die Ergebnisse der Messungen gezeigt und diskutiert, um Rückschlüsse und Einflüsse auf Misting und Orange Peel darzustellen. Im Wesentlichen sind das die Einflüsse des Trocken- Binder und Verdickergehaltes auf die Rheologie der Streichfarbe. Weiters werden im dritten Abschnitt Untersuchungen des Staubes und ausgewählter Papierproben vorgestellt, sowie Ergebnisse gezeigt, die bei Messungen an der Papiermaschine in Ehingen entstanden.

## **1. Problembeschreibung und Aufgabenstellung**

Die Firma Sappi Fine Paper Europe Werk Ehingen ist mit dem Problem konfrontiert, dass es während der Produktion von holzfreien, gestrichenen Papieren zwischen der Aufrollung der Papiermaschine und der Abrollung der Streichmaschinen zu einer starken Staubentwicklung kommt. Dabei verlässt der Staub während der Produktion die Papierzwischenlagen der Tamboure und verursacht Beläge an den Sensoren und an der Papiermaschine. Es wird vermutet, dass der Staub wegen seiner Feinheit auch schädlich für die Atemwege des Maschinenpersonals ist. Die genaue Ursache für das Stauben war zu Beginn dieser Arbeit unbekannt, jedoch gab es mehrere Vermutungen bzw. Hypothesen. Die erste Vermutung war, dass auftretende Mistingtropfen wieder an die Papieroberfläche gelangen, somit schlecht gebunden sind und bei Kraftereinwirkung, wie Aufrollen oder Abrollen des Papiers, die Oberfläche als Staub verlassen. Bei dieser Annahme war gänzlich unbekannt, ob überhaupt Misting an der Filmpresse vorhanden ist. Eine weitere Vermutung war, dass eine zu hohe Saugfähigkeit des erzeugten Papiers zu einer Migration des Binders der Streichfarbe in das Papier führt. Dadurch wäre weniger Binder für die Haftung der Pigmente vorhanden wodurch die Pigmente schlecht an die Papieroberfläche gebunden sein könnten. Dies kann wiederum

dazu führen, dass Pigmente dann die Oberfläche als Staub verlassen. Jedoch war unbekannt, ob eine Bindermigration stattfindet.

Die Information des Maschinenpersonals aus Ehingen besagen, dass das Stauben bei einer bestimmten Papiersorte (Presto Silk) und einer bestimmten Streichfarbe (VST4) am intensivsten auftritt. Bei der Produktion von anderen Papiersorten mit der Streichfarbe VST4 gibt es laut Ehingen keine intensive Staubentwicklung. Auch bei Verwendung der zweiten Vorstrichrezeptur VST10 ist die Intensität des Staubens viel geringer.

Die Aufgabe war es zu erörtern, woher der Staub stammt, ob es sich bei dem Staub um Streichfarbe handelt, welche Ursache das Auftreten des Staubes hat, weshalb dieser nur bei einer bestimmten Papiersorte bzw. Streichfarbe auftritt und wie er verhindert werden kann. Weiters sollen mögliche Gegenmaßnahmen aufgezeigt werden, wobei gefordert wurde, dass das Strichgewicht und die Geschwindigkeit der Papiermaschine nicht geändert werden dürfen. Als Grundlage dieser Arbeit waren rheologische Versuche, genaue Analysen des Staubes und Untersuchungen an der Papiermaschine gefordert.

## **2. Streichen von Papier, Inhaltsstoffe der Streichfarben und Streichfarbenrezepturen**

Graphisches Papier hat als häufigste und wichtigste Funktion als Druckträger zu dienen. Die Qualität des Druckes ist eine komplexe Eigenschaft, die vor allem aus dem Kontrast, der Schärfe und der farbgetreuen Wiedergabe des Bildes entsteht. Während des Druckens wird die Druckfarbe fast ausschließlich auf die Oberfläche des Papiers übertragen. Daher spielt die Papieroberfläche eine erhebliche Rolle. Gute Druckergebnisse können vor allem mit gestrichenen Papieren erzielt werden. Die Strichschicht ist im Gegensatz zu den Fasern, aus sehr feinteiligen Pigmenten aufgebaut und stellt daher eine feinporige und glatte Oberfläche dar [1].

Unter Streichen versteht man ein Auftragen und Trocknen eines wässrigen Gemisches aus Pigmenten, Bindemitteln und Additiven auf die Papieroberfläche. Dadurch wird die sehr poröse, ungleichmäßige Oberfläche des noch ungestrichenen Papiers, wie in Abbildung 1.1 zu sehen ist, abgedeckt.



Abb.1.1 Abdeckung des Naturpapier mittels Streichfarbe [1]

Die heute am häufigsten verwendeten Streichaggregate sind der Blade Coater, der Curtain Coater und die Filmpresse. Im Wesentlichen unterscheiden sich diese Aggregate durch ihre Auftragsweise bzw. ihrer Egalisierung. Da der Blade Coater an der Papieroberfläche zum Egalisieren der überschüssigen Streichfarbe ein Blade verwendet, regelt er im Kontakt mit dem Papier den Strichauftrag direkt. Egalisieren bedeutet, dass die überschüssige Streichfarbe vom Blade von der Papieroberfläche wieder abgerakelt wird. Dabei entsteht eine unterschiedlich dicke Strichschicht, welche die Unebenheiten der Papieroberfläche ausgleicht (egalisiert). Dadurch ergeben sich glatte Oberflächen mit einer schwankenden Strichschichtdicke (siehe Abbildung 1.2).

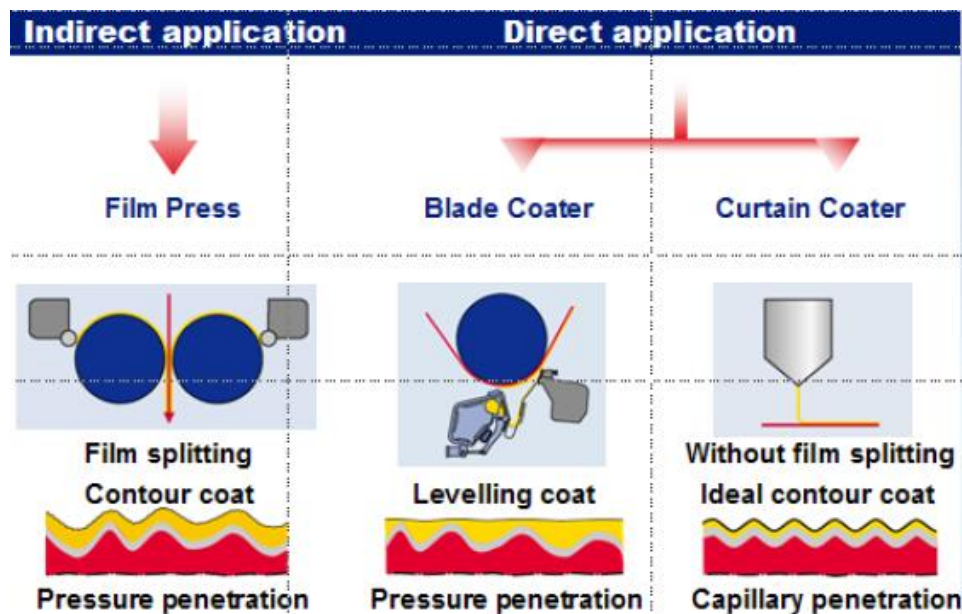


Abb.1.2 Gegenüberstellung unterschiedlicher Streichaggregate [2]

Die Filmpresse operiert anders, da bei ihr die überschüssige Streichfarbe auf der Auftragswalze und nicht an der Papieroberfläche egalisiert wird. Erst danach erfolgt die



Übertragung eines Teiles der Streichfarbe von der Auftragswalze auf die Papieroberfläche (siehe Abbildung 1.2). Daher spricht man hierbei von einem indirekten Auftrag der Streichfarbenmenge. Der Curtain Coater bringt die gewünschte Streichfarbenmenge direkt auf die Papieroberfläche, jedoch berührungslos (siehe Abbildung 1.2)

Weiters kann aus der Abbildung 1.2 entnommen werden, dass der Curtain Coater und die Filmpresse als Konturstreichverfahren zu bezeichnen sind, da die aufgetragene Strichschicht nicht an der Papieroberfläche egalisiert wurde. Somit folgt die Strichschichtdicke der Kontur der Papieroberfläche.

Wie schon erklärt wurde, werden die optischen und rheologischen Eigenschaften einer Streichfarbe im Wesentlichen von ihren beinhaltenden Komponenten und deren Beschaffenheit bestimmt. Die entscheidenden Inhaltsstoffe sind die Pigmente, Bindemittel, die Co-Binder und Verdicker. Je nach Anforderung an die Qualität des Striches, sind verschiedene Formen, Arten oder Konzentrationen der Komponenten in einer Streichfarbe erforderlich. Es werden auch andere nötige Komponenten wie z.B. Gleitmittel, Entschäumer, optische Aufheller, Farbstoffe und Dispergiermittel eingesetzt.

Um eine Vorstellung von einer Streichfarbenrezeptur zu bekommen sind mehrere erfundene Beispiele in Tabelle 2.1 zusammengefasst.

Tab.2.1 Streichfarbenrezepturen

Komponenten	Streichfarbe 1	Streichfarbe 2	Streichfarbe 3
CaCO <sub>3</sub> grob	100		10
CaCO <sub>3</sub> fein		80	
CaCO <sub>3</sub> mittel			60
Kaolin fein		20	
Kaolin grob			30
Latex	6	10	9
Co-Binder	1	1,5	1,3
Stärke	6		
OBA	0,1	0,2	0,3
NaOH	0,1	0,1	0,1
Gleitmittel		0,5	0,5
Entschäumer	0,05	0,05	0,05
Verdicker	0,03	0,1	0,08

Diese Darstellungsform der Rezepturangabe ist allgemein üblich und wird auch öfter in dieser Arbeit vorkommen. Hierbei werden alle Anteile der Pigmente in absolut trockenerer Form als Bezugspunkt mit 100 Prozent genommen. Dadurch ist es leichter möglich Rezepturangaben zu vergleichen oder in andere Angaben (Kilogramm oder Liter) umzurechnen. Der Vorteil dieser Angabe liegt darin, dass oftmals die gleichen Komponenten mit unterschiedlichen Trockengehalten angeliefert werden und sich somit ein Vergleich in Kilogramm oder Liter als schwierig erweist.

### **2.1. Pigmente und deren Eigenschaften**

Die am häufigsten eingesetzten Pigmenttypen sind Calciumkarbonat und Kaolin bzw. eine Mischung aus beiden. Vor allem Calciumkarbonat gewann in letzter Zeit aufgrund seines relativ niedrigen Preis und seiner hohen Weisse immer mehr an Bedeutung.

Wie schon in Tabelle 2.1 zu sehen ist, stellen die Pigmente den größten Anteil einer Streichfarbe dar, was zur Folge hat, dass die Eigenschaften der Pigmente die Eigenschaften der Streichfarbe maßgeblich beeinflussen. Als Beispiel ist der unterschiedliche Weißgrad des Calciumkarbonats gegenüber den Kaolin Pigmenten anzuführen.

Die wichtigsten Attribute eines Pigments sind laut [3]:

- chemische Stabilität/neutrale und niedrige Wasserlöslichkeit
- hohe Weiße durch gute Lichtreflexion
- hoher Reinheitsgrad
- verwendbare Korngröße bzw. Korngrößenverteilung
- hohe Opazität durch hohen Lichtbrechungsgrad
- geringer Binderbedarf
- gute Dispergierbarkeit
- hoher Glanz
- nicht abrasiv
- preisgünstig

Nachdem es keinen einzigen Pigmenttyp gibt der all diese Eigenschaften aufweist, ist es üblich, zumindest zwei Pigmentarten mit unterschiedlichen Attributen zu vermischen, um so mehrere der gewünschten Eigenschaften zu erlangen.

Weiters sind die Form, die Korngröße und Korngrößenverteilung, die Lichtstreuung, die Lichtabsorption und die Dichte der Pigmente entscheidend [3]. In Tabelle 2.1.1 sind entscheidende Eigenschaften, die das gestrichene Papier durch diese Beschaffenheiten erhält, angeführt.

Tab.2.1.1 Einfluss der Pigmente an das Papier

Höheren Glanz durch	<i>Größere Anzahl an plättchenförmiger Partikel, feinere Partikel</i>
Höhere Opazität durch	<i>Höhere Lichtstreuung, Steile Korngrößenverteilung</i>
Höhere Weiße durch	<i>Sinkende Lichtabsorption, Hohe Lichtstreuung</i>
Höhere Porosität und Druckfarbenabsorption	<i>Mischung unterschiedlicher Partikelformen, Steile Korngrößenverteilung</i>
Bessere Abdeckung des Rohpapiers	<i>Mischung unterschiedlicher Partikelformen</i>
Höhere Viskosität durch	<i>Steile Korngrößenverteilung, Größer Anzahl an plättchenförmiger Partikel</i>

Die physikalischen Eigenschaften von Calciumkarbonat und Kaolin sind in Tabelle 2.1.2 zusammengefasst [3].

Tab.2.1.2 Physikalische Eigenschaften von Kaolin und Calciumkarbonat

Pigment	Chemische Formel	Durchschnittliche Partikelgröße [ $\mu\text{m}$ ]	Partikelform	Dichte [ $\text{kg}/\text{m}^3$ ]	Refraktionsindex	ISO-Weiße
Kaolin	$\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	0,3-5	Hexagonal, flach	2,58	1,56	80-90
Kalziumkarbonat	$\text{CaCO}_3$	0,7-2	Kubisch, prismatisch	2,7	1,56-1,65	87-97

Eine besondere Kennzeichnung der Partikelform ist das Streckverhältnis (aspect ratio), welches in Formel 2.1.1 dargestellt wird [3]. Es spiegelt die Gestalt der Pigmente wieder und berechnet das Verhältnis vom Partikeldurchmesser (D) zu Partikelhöhe (H).

$$SV = \frac{D[\mu\text{m}]}{H[\mu\text{m}]} \quad \text{Formel (1)}$$

SV... Streckverhältnis

So ist das Streckverhältnis von Kaolin, aufgrund seiner plättchenförmigen Partikel, viel höher als das des Calciumcarbonates. Weiter ist daraus zu schließen, dass der Bewegungsradius

des Kaolins größer gegenüber dem des Calciumkarbonats ist und somit mehr Platz benötigt. Daraus folgt, dass Streichfarben, die plättchenförmige Partikel beinhalten, einen geringeren Trockengehalt haben müssen, da ansonsten die Partikel sich nicht mehr frei bewegen können (Bewegungsradius) und die Viskosität der Streichfarbe zu hoch wird (siehe Kapitel 3).

Anderen Pigmentarten wie gefälltes Calciumkarbonat, Talkum, Kalziumsulfat, Plastikpigmente, Aluminiumtrihydrate und Titandioxid, welche meist nur als Spezial- bzw. Zusatzpigmente eingesetzt werden, sind hier nur namentlich erwähnt.

## 2.2. Binder

Insbesondere während des Druckvorganges von gestrichenen Papieren erfährt die Oberfläche hohe Beanspruchungen. Damit die Pigmente an der Papieroberfläche haften bleiben und nicht abgelöst werden, sind Bindemittel im Einsatz. Deshalb ist eine schnelle und starke Haftkraft des Binders notwendig. Es gibt eine Reihe von Bindemitteln, die alle dieselben Zwecke erfüllen müssen. In Abbildung 2.2.1 ist zu sehen, dass das Bindemittel die Pigmente teilweise umhüllt und somit eine haftende Bindung zwischen dem Rohpapier und den Pigmenten (A) bzw. zwischen den Pigmenten untereinander (B) vorhanden ist. Auch das Ausfüllen der Poren innerhalb der Pigmente (C) wird von dem Bindemittel ausgeführt, wobei die Bindemittelmenge hierfür entscheidend ist [4].

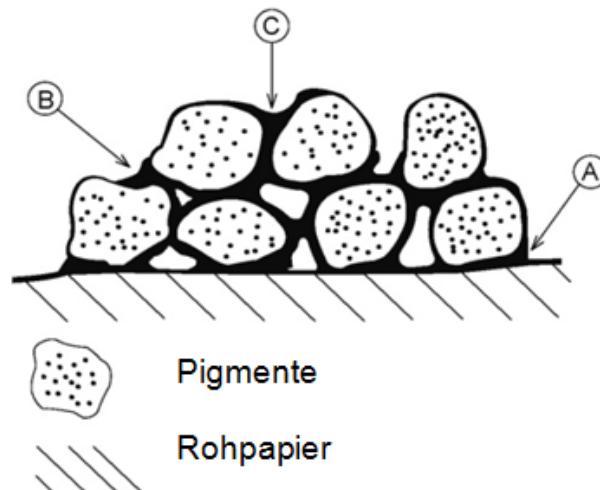


Abb. 2.2.1 Funktionsweise eines Bindemittels [4]

Ähnlich wie bei den Pigmenten werden gewisse Anforderungen an die Binder gestellt [4]:

- hohe Bindekraft
- gute Wasserretention
- gute Mischbarkeit mit Wasser

- einfache Handhabung
- kompatibel mit anderen Streichkomponenten
- gezielter Beitrag zur Viskosität
- gute optische Eigenschaften
- nicht gesundheitsschädlich
- geringe Schaum- bzw. Bakterienbildung
- preisgünstig

Nicht jeder Bindertyp erfüllt all diese Punkte, weshalb in fast allen Streichfarbenrezepturen mehrere Bindemittel eingesetzt werden, um zumindest gute Kompromisse zu erhalten. Vor allem der schwankende Preis einzelner Bindertypen veranlasst oftmals die Produzenten diese zu wechseln bzw. auszutauschen.

Früher wurden als Bindemittel ausschließlich Produkte aus der Natur genommen wie z.B. Casein, Stärke oder Tierleim. Heutzutage sind vielmehr synthetische oder modifizierte Bindemittel im Einsatz.

In Tabelle 2.2.1 ist eine Aufstellung über Bindemittel dargestellt, welche meist in Streichfarbenrezepturen vorkommen [4].

Tab.2.2.1 Bindertypübersicht

<b>Bindertyp</b>	<b>Löslich/unlöslich in Wasser</b>	<b>Synthetisch/natürlich</b>
Styrol-Butadien (SB-Latex)	unlöslich	synthetisch
Styrol-n-Butyl Acrylat (SA-Latex)	unlöslich	synthetisch
Polyvinylacetat (PVAc-Latex)	unlöslich	synthetisch
Stärke	löslich	natürlich
Casein	löslich	natürlich

Ein häufiges Merkmal zwischen dem natürlichen und synthetischen Bindemittel ist die Löslichkeit in Wasser. Durch die Wasserlöslichkeit mancher Binder, erhöhen sich unmittelbar die Wasserretention und Viskosität der wässrigen Phase der Streichfarbe. Generell erhöht Stärke, aufgrund seiner langen Molekularketten, die Viskosität stärker als Latex (siehe Kapitel 2.3).

Nachdem am Standort Ehingen der Firma Sappi Ehingen GmbH ausschließlich Latex und enzymatisch abgebaute Stärke sowie modifizierte Trockenstärke als Binder eingesetzt

werden, werden im Folgenden diese ausführlicher erläutert, während andere Bindemittel nur namentlich genannt werden.

### **2.2.1 Bindemittelgehalt**

Mit Bindemittelgehalt ist die richtige Dosis für eine dauerhafte Bindung der Pigmente am Rohpapier bzw. zwischen den Pigmenten gemeint. Optimierungen bezüglich der Einsatzmenge sind aufgrund der hohen Preise der Binder erforderlich. Der Gehalt ist vom Bindertyp bzw. deren Bindekraft, Papiereigenschaften, Pigmentkonzentration, Pigmentgröße, Dispergierungsgrad der Pigmente und Pigmenteigenschaften abhängig [4]. Besonders bei hohen Trockengehalten der Streichfarbe kann eine Reduzierung des Bindemittelgehaltes erreicht werden, denn durch einen höheren Trockengehalt ist der Anteil der wässrigen Phase geringer und somit kann weniger Binder mit der wässrigen Phase in das Rohpapier migrieren (siehe Kapitel 4). Bei einer höheren Bindekraft und bei einer großen Packungsdichte bzw. weniger Hohlvolumen ist eine Reduzierung des Bindemittels ebenfalls möglich [4].

Eine Erhöhung des Gehaltes ist bei feineren Partikeln (größere Oberfläche) und bei einem Rohpapier mit hohen Saugeigenschaften notwendig. Als Anhaltspunkt gilt im Allgemeinen, dass Latex eine etwa doppelt so hohe Bindekraft hat wie enzymatisch abgebaute Stärke.

### **2.2.2 Latex**

Unter Latex versteht man Polymerdispersionen, die als wässrige, milchig weiße Flüssigkeiten erscheinen und welche meist einen Feststoffgehalt von ca. 50 Prozent aufweisen. Die Farbe und der Feststoffgehalt stammen von den kolloidal polymeren Partikeln. Diese Partikel sind synthetisch hergestellte Latex-Kügelchen, deren Durchmesser zwischen 50nm bis 300nm liegt [5]. In Abbildung 2.2.2.1 ist die Aufnahme von Latexpartikeln mittels eines Elektronenmikroskops zu sehen.

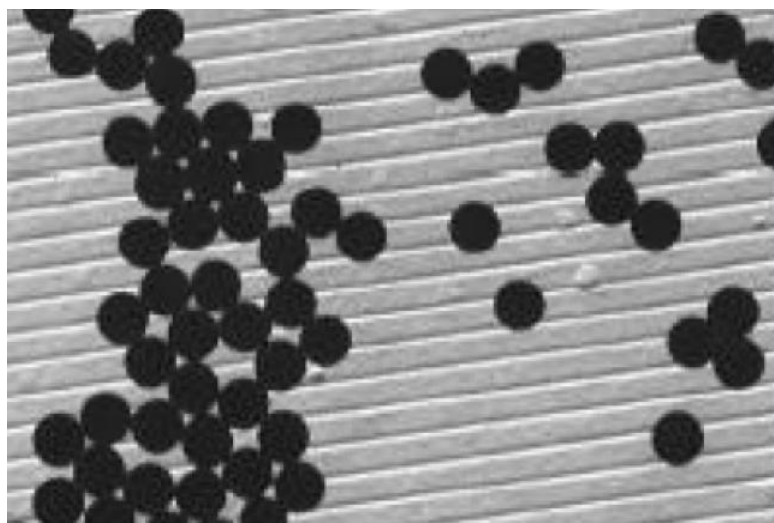


Abb. 2.2.2.1 Elektronenmikroskopbild von Latex Partikel [5]

Die Herstellung der Latexpartikel erfolgt mittels Emulsionpolymerisation oder auch Radikalpolymerisation genannt. Sie beinhaltet vier Reaktionen (Aktivierung, Ausbreitung, Transfer und Abbruch) an denen freie Radikale, Monomere, Stabilisatoren und Kettenabbrecher beteiligt sind. Die Aktivierung entsteht durch die freien Radikale, welche kettenartig die Monomere an sich binden. Die Verzweigung oder Ausbreitung der Ketten dient dazu das Molekulargewicht der Partikel zu erhöhen. Im Allgemeinen gilt, dass die Bindekraft mit steigendem Molekulargewicht und sinkender Größe der Partikel erhöht wird [5,6]. Damit die Kettenlänge und somit die Größe der Partikel bzw. das Molekulargewicht beschränkt ist, werden Kettenabbrecher eingesetzt [5]. Dadurch können die Eigenschaften der Partikel gesteuert werden.

Im Wesentlichen bestehen die Partikel aus einem Polymerkern, einer Hülle und Stabilisatoren an der Hüllenaußenseite [6]. Die Stabilisatoren werden eingebracht um eine Desorption der Monomere zu verhindern.

#### ***2.2.2.1 Filmbildung und Monomierzusammensetzung von Latex Partikel***

Die Funktionsweise als Binder basiert auf der Verschmelzung der Latexpartikel untereinander bzw. an der Pigmentoberfläche und dem Rohpapier. Nachdem die Partikel sich während der Trocknung und Penetration der wässrigen Phase annähern, bilden sich zunächst wabenartige Strukturen und anschließend unter Temperatureinwirkung ein Film über die Pigmente. Dadurch haften die Pigmente an der Rohpapieroberfläche [6].

Als charakteristische Größen für die Verfilmung, Bindungskraft und die Härte des entstandenen Films wurden die Glasübertragungstemperatur ( $T_g$ ) und die minimale Filmbildungstemperatur (MFFT) eingeführt [5]. Dabei gilt die minimale Filmbildungstemperatur als jener Parameter, unter welchem die Latex Partikel gerade anfangen einen Film zu bilden. D.h. knapp unter dieser Temperatur behalten die Partikel noch ihre Form. Die Härte des entstandenen Films wird mittels der Glasübergangstemperatur gekennzeichnet. Diese Temperatur bestimmt den Punkt an dem die Latex Partikel von glasartiger zu gummiartiger Beschaffenheit übergehen. Dabei gilt, je höher sie liegt, umso härter und glänzender ist der gebildete Film, zugleich sinkt aber die Bindungsstärke zu den Pigmenten.

Beeinflusst werden diese Parameter durch die in der Polymerisation verwendeten Monomere. Im Wesentlichen sind es Styrol, Butadien, Methyl- und Butylacrylate bzw. Acrylnitril und Vinylacetat.

Eine Übersicht der Eigenschaften der genannten Monomere sind in Tabelle 2.2.2.1 zu finden [5, 11].

Tab.2.2.1.1 Eigenschaften der Bindermonomere

Monomer	Eigenschaft	Glasübergangstemperatur [°C]
Styrol	hart, steif, porös, gläsern	120
Butadien	weich, flexibel, hohe Bindungskraft	-85
Methyl.- Butylacrylate	weich, gummiartig, hohe Bindungskraft	-40
Acrylnitril	steif, hart, hohe Bindungskraft	90
Vinylacetat	hart, steif, porös	30

Wie schon in Tabelle 2.2.1 angedeutet ist, werden Styrol-Butadien, Styrol-n-Butyl, Acrylate und Polyvinylacetate üblicherweise eingesetzt.

Je größer der Anteil eines Monomers ist, umso prägender ist sein Einfluss auf die Filmbildung. Als Beispiel einer Zusammensetzung wird ein SB-Latex mit 40 Prozent Styrol und 60 Prozent Butadien genannt, welcher durch den höheren Anteil an Butadien eher weich ist, eine niedrige Glasübertragungstemperatur und eine relativ hohe Bindungskraft besitzt.

### 2.3. Stärke

Stärke ist im Wesentlichen ein Kohlenhydrat das aus Monosaccharid-Einheiten (Einfachzucker mit der Summenformel  $C_6H_{10}O_5$ ) besteht. Es gilt als Energiequelle der Pflanzen [7].

Stärke ist nach Cellulose das wichtigste biologisch hergestellte, organische Material. Es ähnelt dem chemischen Aufbau der Cellulose, nur die Anordnungen der Monosaccharid-Einheiten, wie sie in Abbildung 2.3.1 und Abbildung 2.3.2 zu sehen sind, sind unterschiedlich. Dabei ist zu erkennen, dass die Anordnung bzw. Orientierung der Monosaccharid-Einheiten der Stärke immer gleich ausgerichtet ist. Im Gegensatz dazu ist nur jede zweite Einheit der Cellulose gleich orientiert.

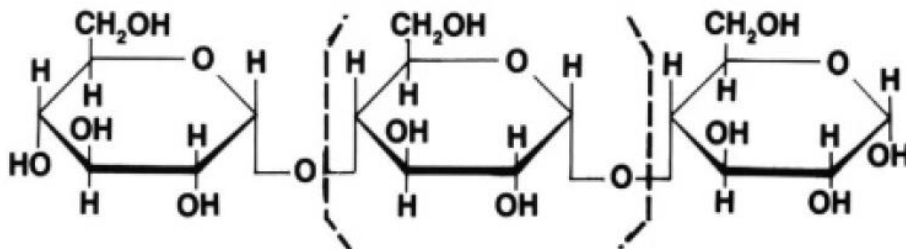


Abb.2.3.1 Anordnung der Monosaccharid Einheiten der Stärke [7]



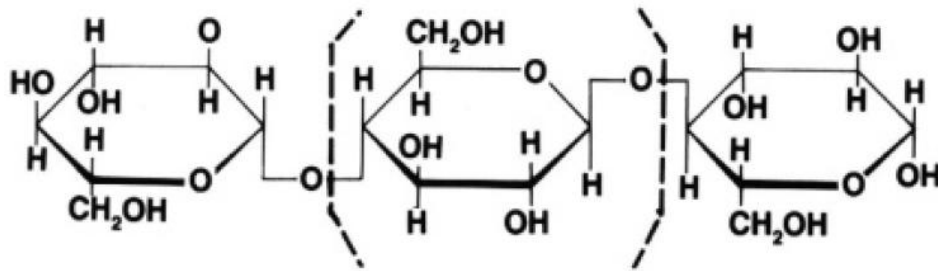


Abb.2.3.2 Anordnung der Monosaccharid Einheiten der Cellulose [7]

Die Auswirkung der unterschiedlichen Orientierung ist, dass sich die Cellulose zu geraden Polymerketten (Cellulosefaser) und die Stärke zu runden amorphen Körnern bildet. Die in der Papierindustrie verwendete Stärke stammt hauptsächlich aus den Pflanzen Mais, Weizen, Kartoffel oder Tapioka und ist nach der Aufbereitung (siehe Kapitel 2.3.1) in Wasser löslich [7].

Um die Stärke als Bindemittel verwendbar zu machen, müssen die amorphen Körner, die zunächst eine höhere Dichte haben und unlöslich in Wasser sind, aufbereitet werden. Dies erfolgt anfangs entweder in einer kontinuierlichen oder diskontinuierlichen Kochung. Die benötigte thermische Energie für die Kochung wird von Wasserdampf geliefert. Während der Kochung schwellen die Körner ab einer Temperatur von 50°C an, erhöhen dadurch die Viskosität und beginnen sich später bei 70°C aufzulösen. Ab 95°C haben alle Körner ihre Form verloren und stellen eine langkettige, in Wasser lösliche, relativ hochviskose, klebrige Substanz dar. Nur in diesem Zustand kann die Stärkesuspension Bindungskräfte aufbauen. In Abbildung 2.3.3 sind die einzelnen Schritte der Kochung von Stärkekörner dargestellt [7].

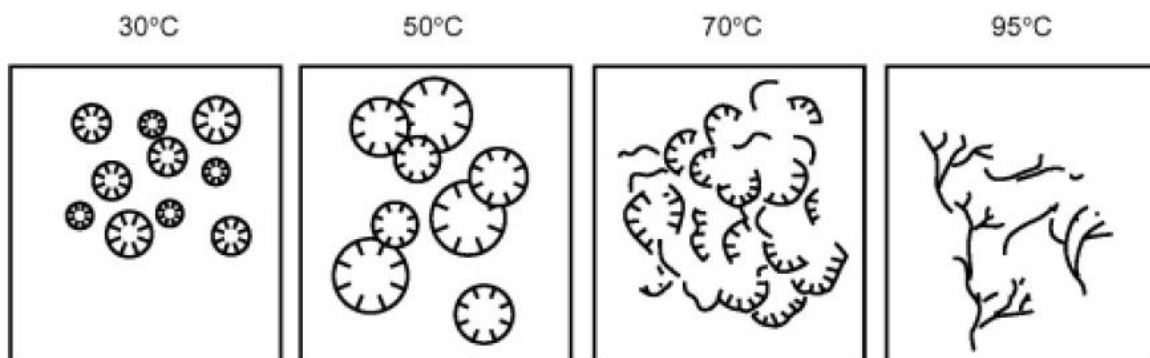


Abb.2.3.3 Kochung von Stärkekörner [7]

### 2.3.1 Aufbereitung und Einfluss der Stärke als Binder

Damit die Stärke die gewünschten Eigenschaften für den Streichprozess bzw. für die richtige Papierqualität mit sich bringt, wird sie während der Kochung durch entsprechende Enzyme

oder Reagenzien modifiziert. Das Molekulargewicht wird gesenkt, denn native Stärke hat eine zu hohe Viskosität und bildet nach Senkung der Temperatur Gele. Dieses Verhalten wird Retrogradation genannt. Hierbei gehen die gelösten Polymere neue irreversible Bindungen miteinander ein und formen neue Netzwerke und sind in dieser Form als Bindemittel ungeeignet. Im Wesentlichen werden die rheologischen Eigenschaften der Stärke wie, Viskosität, Wasserretention, Bindungskraft und Wirkungsweise auf optische Aufheller je nach Anforderung, auf prozessorientierte Werte gebracht bzw. modifiziert [7]. Es existieren im Grunde zwei Modifizierungsarten, der Abbau der Stärke (degrading) und die ersetzende Modifizierung (substituting). Hier wird nur die enzymatisch abgebaute Stärke (degrading) als modifiziertes Stärkeprodukte genannt. Weitere Modifizierungsarten können in [7] nachgeschlagen werden.

Obwohl es die Hauptaufgabe der Stärke ist, als Bindemittel zu fungieren, erhöht sie vor allem die Viskosität der Wasserphase und somit die Wasserretention der Streichfarbe, wobei zu beachten ist, dass bei einem zu hohen Einsatz von Stärke, die mitgebrachte hohe Viskosität zu Problemen während des Streichprozesses führen kann. Nachdem die aufbereitete Stärke wasserlöslich ist und ein gewisser Teil dadurch ins Rohpapier gelangt, erhöht sie die Steifigkeit des trockenen Papiers sowie die Trockenfestigkeit. Zu berücksichtigen ist demzufolge der Verlust des Bindemittels, der ausgeglichen werden muss [7].

Der höchste Trockengehalt von gekochter Stärke liegt etwa bei 40 Prozent und ist somit kritisch für das Erreichen hoher Trockengehalte von Streichfarben. Deshalb wird Kochstärke als alleiniger Binder nur bei Pigmentierungen von Papieren eingesetzt. Auch die Anfälligkeit für Bakterienwachstum stellt einen Nachteil dar, weshalb Biozide verwendet werden [7].

Wie in Kapitel 2.2 schon erwähnt, werden bei der Firma Sappi in Eningen enzymatisch abgebaute Stärke und Trockenstärke als Bindemittel eingesetzt. Leider ist der neu patentierte Herstellungsprozess von der verwendeten und eingesetzten Trockenstärke des Unternehmens Cargill, den belieferten Kunden, darunter auch die Firma Sappi, unbekannt und kann aus diesem Grund hier nicht erläutert werden. Einzig die Produkteigenschaften wie kaltlöslich in Wasser und doppelt so hohe Bindekraft wie Kochstärke sind bekannt [12]. Auch der hohe Trockengehalt gilt als Nutzen, denn dadurch sind Strichrezepturen mit weit über 70 Prozent Trockengehalt möglich. Ein weiterer Vorteil den Kochstärke und Trockenstärke mit sich bringen, sind die relativ niedrigen Preise gegenüber Latex.

#### **2.4. Co-Binder und Verdicker**

Wie schon in Tabelle 2.1 zu sehen ist, sind die Anteile von Co-Bindern und Verdicker üblicherweise im unteren Prozentbereich. Trotzdem sind ihre Einflüsse entscheidend für das rheologische Verhalten der Streichfarbe und des gestrichenen Papiers. Mit Co-Bindern und

Verdickern lassen sich schnell und mit wenig Einsatzmenge die Viskosität und die Wasserretention der Streichfarbe beeinflussen. Besonders bei Strichrezepturen, in denen Bindemittel eingesetzt werden, die wenig Wasserretention und Viskosität haben sind sie im Einsatz. Co-Binder sind meist Träger von optischen Aufhellern, beeinflussen stark die Wasserretention und somit die Struktur der gebildeten Strichschicht, bilden Netzwerke mit den Pigmenten und steigern folglich die Viskosität der Streichfarben. Vor allem durch die hohe Affinität der Co-Binder zu den Pigmenten erhöhen sie die Bindekraft (Pigmente haften besser an der Papieroberfläche) [8]. Verdicker haben auch eine hohe Affinität zu den Pigmenten und bilden ein Netzwerk mit diesen, jedoch erhöhen sie die Bindekraft nicht (binden Pigmente nicht an Papieroberfläche).

Die wichtigsten Co-Binder und Verdicker sind:

- PVA (Polyvinylalkohol)
- CMC (Caroxymethylcellulose)
- Acrylatcopolymer
- Assoziative Verdicker

In dieser Arbeit wurde ausschließlich ein Acrylatcopolymer als Verdicker verwendet, deshalb werden die anderen nicht näher beschrieben.

#### **2.4.1 Acrylatcopolymer**

Die meisten Acrylatcopolymere sind Copolymere, welche aus nicht ionischen Monomeren und Acryl- oder Methacrylsäuren bestehen. Die Monomere sind hydrophil und polar, weshalb sie in Wasser löslich sind und zwischen den Pigmenten interagieren. Die Polymere sind Dispersionen, die durch Polymerisation hergestellt werden und weisen ein sehr hohes Molekulargewicht auf [8].

Acrylatcopolymere sind bei sauren Umgebungen ( $\text{pH} < 7$ ) ungelöste, hydrophobische, kugelartige Dispersionen. Dabei ähneln sie in ihrem Aussehen und ihrer Größe den Latexkugeln. Erst bei alkalischen Bedingungen ( $\text{pH} > 7$ ) lösen sie sich auf und bilden hydrophile langkettige (abhängig vom Molekulargewicht), anionische Polymere. Die alkalischen Zustände führen zur Abspaltung eines Wasserstoffatoms der Carboxylgruppe, dadurch stoßen sich die anionischen Enden gegenseitig ab. Somit bilden sich die langkettigen Polymere [8]. In der Abbildung 2.4.1.1 ist der saure bzw. alkalische Zustand dargestellt.

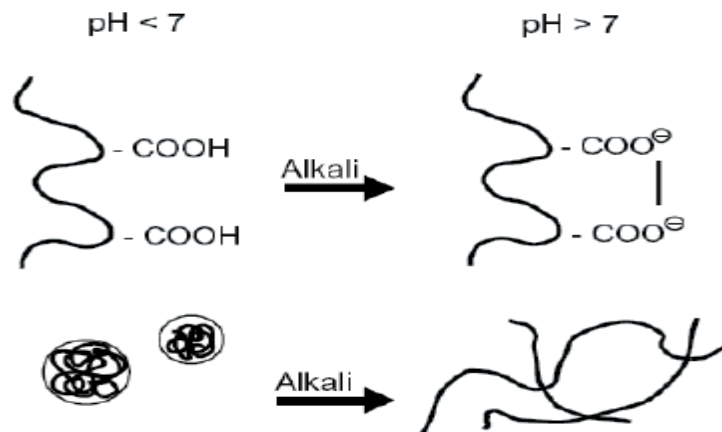


Abb.2.4.1.1 Wirkung saurer und alkalischer Bedingungen auf Acrylatcopolymer [8]

Acrylatcopolymeren haben eine äußerst hohe Affinität zu Pigmenten, besonders zu Kaolin und Kalziumcarbonat. Dies ist durch die hohe Polarität der Oberfläche der Pigmente und der Polarität der Acrylatcopolymeren zu erklären. Die Polymer-Ketten werden von den Pigmentoberflächen adsorbiert, verbinden diese untereinander und erzeugen infolgedessen ein Netzwerk aus Pigmenten mit hoher Viskosität. Das Netzwerk bleibt nur unter geringer Kraftereinwirkungen (z.B. Scherkraft) erhalten, ansonsten brechen die Bindungen und die Viskosität sinkt wieder. Die Wechselwirkung der Verdicker zwischen den Pigmenten ist um ein vielfaches höher als die der Bindemittel [8].

Auch die Viskosität der polaren Wasserphase wird durch den Einsatz von Acrylatcopolymeren erhöht. Deshalb vergrößert sich auch die Wasserretention der Streichfarbe. Dies ist auf die hohe Anzahl an polaren Wassermolekülen, die von den polaren Polymer-Ketten gebunden werden, zu erklären. Bedingt durch die Aufnahme der Wassermoleküle, schwellen die Ketten an und verbrauchen mehr Platz in der Wasserphase, was dazu führt, dass nun die Wasserphase weniger mobil ist und eine größere Viskosität hat [8].

### 3. Rheologie der Streichfarben

Die Rheologie befasst sich mit dem Fließverhalten und dem Deformationsverhalten von Flüssigkeiten. Mit diesen beiden Verhaltensweisen lassen sich Streichfarben beschreiben und messen. Die Messergebnisse stammen aus der Mechanik wie z.B. Geschwindigkeit, Spannung, Auslenkung usw. mit welchen die Eigenschaften der Streichfarben beschrieben werden können.

Um das Fließen und Deformieren von Substanzen besser verstehen zu können, werden zwei Extreme genannt, die idealviskose Flüssigkeit und der idealelastische Festkörper. Relativ nahe zu diesem Verhalten kommen Wasser und Stahl. Denn jede bekannte Substanz besitzt einen elastischen und viskosen Anteil. So ist beispielsweise ein Kleber oder eine

Streichfarbe eine viskoelastische Flüssigkeit und ein Radiergummi ein viskoelastischer Festkörper.

### 3.1 Idealviskoses Verhalten

Unter idealviskose Flüssigkeiten versteht man Substanzen die bei einer Krafteinwirkung ihre Ursprungsformen verlieren, d.h. nach Abbruch der Krafteinwirkung behalten sie die zuletzt angenommene Form.

Um die grundlegenden rheologischen Parametern besser erfassen zu können, wurde Abbildung 3.1.1 eingefügt. In dieser Abbildung ist zu erkennen, dass eine Kraft  $F$  an einer Platte mit der Fläche  $A$  wirkt und hieraus eine Geschwindigkeit  $v$  resultiert. Dabei ist zu beachten, dass die untere Platte unbeweglich ist und sich eine Flüssigkeit zwischen den Platten befindet.

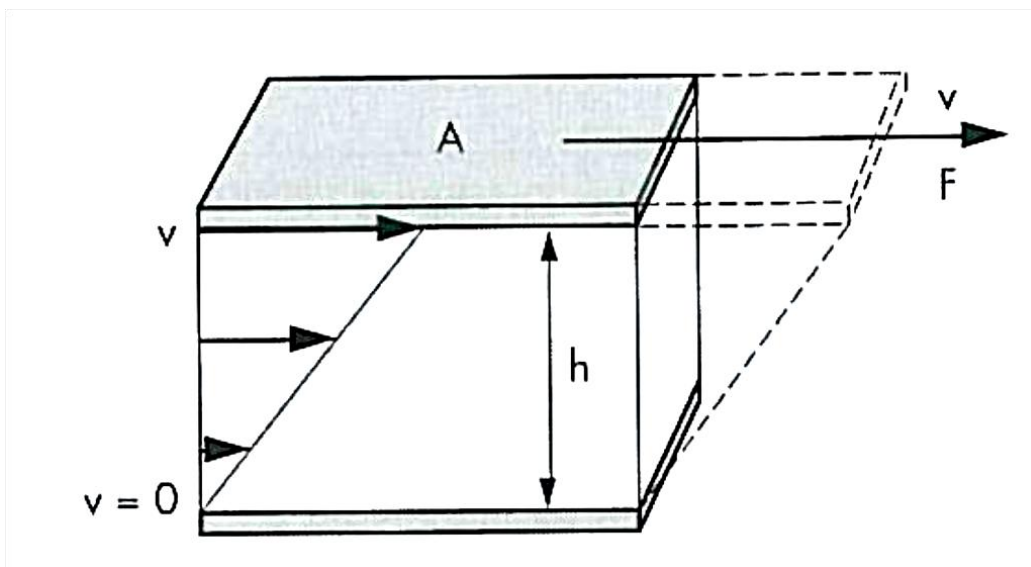


Abb.3.1: Zwei Platten Modell [13]

Infolge der Wandhaftung der Flüssigkeit an den Platten und des Geschwindigkeitsunterschiedes zwischen diesen Platten mit dem Abstand  $h$ , entsteht eine Scherung, die auf die Flüssigkeit wirkt.

#### 3.1.1 Schubspannung und Scherrate

Die Schubspannung oder „shear stress“, ergibt sich aus der tangential wirkenden Kraft  $F$  und der Plattenfläche  $A$ . Die Definition ist in Formel 2 ersichtlich.

$$\tau = \frac{F[N]}{A[m^2]} \quad \text{Formel (2)}$$

Die Schubspannung wird oft als Scherspannung bezeichnet und hat die Einheit [Pa].

Als Maß für die Schergeschwindigkeit oder Schergefälle gilt die Scherrate. Sie gibt Auskunft über die Größe der Bewegungsgeschwindigkeit der Flüssigkeit in Abhängigkeit der Höhe  $h$ . Der Vorteil der Scherrate ist, dass sie im gesamten Scherspalt konstant ist, wobei dies für die Geschwindigkeit  $v$  nicht gilt. Deshalb wurde die Scherrate als Bezugsmaß gewählt. In Formel 3 ist die Definition der Scherrate zu sehen [13].

$$\dot{\gamma} = \frac{v[m/s]}{h[m]} \quad \text{Formel (3)}$$

Die Einheit der Scherrate ergibt sich aus der obigen Formel und ist [1/s].

### 3.1.2 Viskosität – Newtonsches Gesetz

Unter Viskosität versteht man die Zähigkeit einer Flüssigkeit bzw. eines Gases. Sie entsteht aufgrund der Reibungskräfte zwischen den Molekülen und verstärkt somit den Widerstand gegenüber dem Fließen [13]. Je höher die Viskosität umso mehr Kraft wird benötigt, um die Flüssigkeit in Bewegung zu setzen oder zu halten.

In dieser Arbeit ist der Begriff „Viskosität“ mit Scherviskosität gleich zusetzen, deren Definition wird mittels des Newtonschen Gesetzes beschrieben (siehe Formel 4). Die Einheit der Viskosität ist [Pas].

$$\eta = \frac{\tau[Pa]}{\dot{\gamma}[1/s]} \quad \text{Formel (4)}$$

Dieses Gesetz gibt die Proportionalität zwischen Schubspannung und Scherrate (siehe Abbildung 3.1.2.1) bei konstanter Temperatur wider, und gilt nur für Newtonsche Fluide. Newtonsche Fluide zeigen, wie in Abbildung 3.1.2.2 keine Veränderung der Viskosität bei Erhöhung der Scherrate. Im Gegensatz dazu hängt die Viskosität nicht Newtonscher Fluide von der Höhe der Scherrate ab.

Die graphische Darstellung des Fließverhaltens einer Substanz wird mit Hilfe von der Fließkurve und der daraus abgeleiteten Viskositätskurve gemacht. In Abbildung 3.1.2.1 und Abbildung 3.1.2.2 sind zwei verschiedene Newtonsche Substanzen mit unterschiedlicher Steigung in der Fließkurve zu sehen. Daraus ergeben sich ungleich hohe Viskositäten (siehe Abbildung 3.1.2.2).

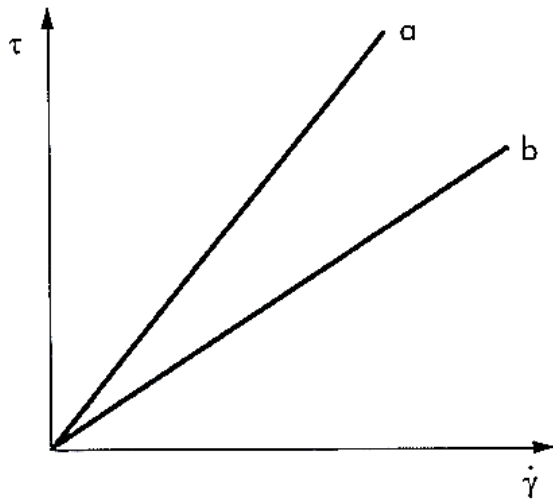


Abb.3.1.2.1: Zwei Fließkurven von idealviskosen Substanzen [13]

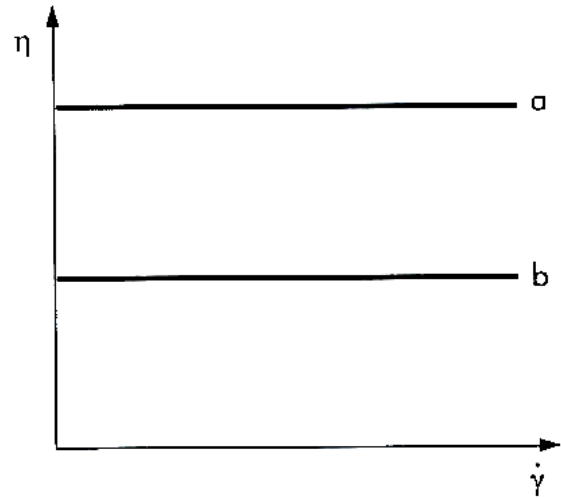


Abb.3.1.2.2: Zwei Viskositätskurven von idealviskosen Substanzen [13]

### 3.1.3 Scherverdünnendes Fließverhalten

Scherverdünnende Substanzen zeigen bei einer Erhöhung der Scherrate eine Verringerung der Viskosität. Dies bedeutet, dass der Zusammenhang zwischen Schubspannung, Scherrate und Viskosität nicht mehr linear ist (nicht Newtonsche Fluide). Dabei zeigt die Fließkurve eine abnehmende Steigung bzw. die Viskositätskurve einen sinkenden Verlauf (siehe Abbildung 3.1.3.1 und Abbildung 3.1.3.2). Oftmals wird für den Begriff „scherverdünnend“ die gleichbedeutenden Begriffe wie „pseudoplastisch“, „strukturviskos“ oder „shear thinning“ verwendet [13].

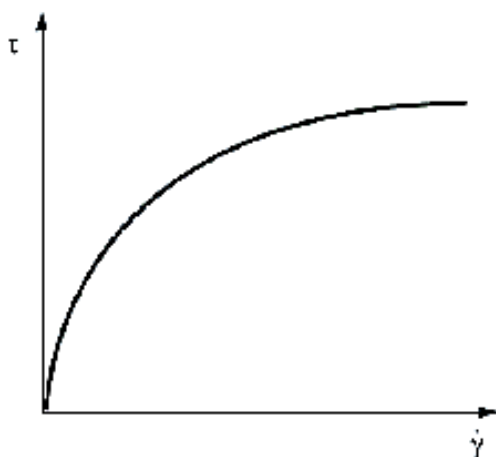


Abb.3.1.3.1 Scherverdünnende Fließkurve[13]

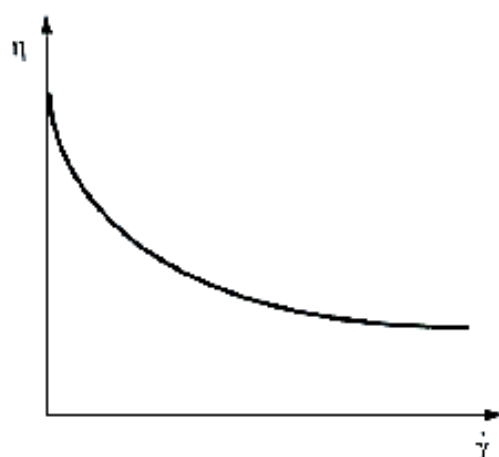


Abb.3.1.3.2: Scherverdünnende Viskositätskurve[13]

Dieses Verhalten ist dadurch zu erklären, dass sich die Moleküle bzw. die Molekülketten bei Scherung in die jeweilige Krafrichtung strecken oder sich die Partikelagglomeration, wie sie in Abbildung 3.1.3.3 zu sehen ist, auflösen und deshalb der Fließwiderstand verringert wird.

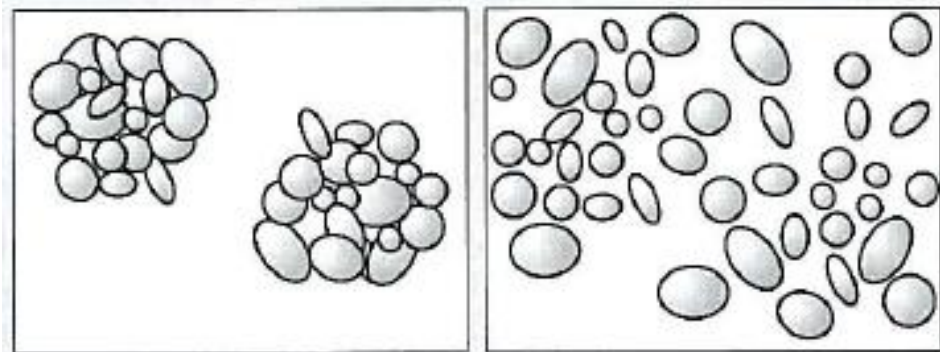


Abb.3.1.3.3: Agglomerierte Partikel die sich unter Krafteinwirkung auflösen[13]

### 3.1.4 Scherverdickendes Fließverhalten

Im Gegensatz zu scherverdünnenden Substanzen erhöht sich die Viskosität bei steigender Scherrate bei scherverdickenden oder auch dilatant genannten Substanzen. Dies tritt vor allem bei Substanzen mit hohen Polymer- und Feststoffkonzentrationen ein, da zu wenig Platz, welcher während der Scherung benötigt wird, vorhanden ist bzw. tritt eine Strukturstärke während der Belastung auf. In Abbildung 3.1.4.1 und Abbildung 3.1.4.2 sind die Kurvenverläufe der Fließkurve und der Viskositätskurve einer scherverdickenden Substanz zu sehen.

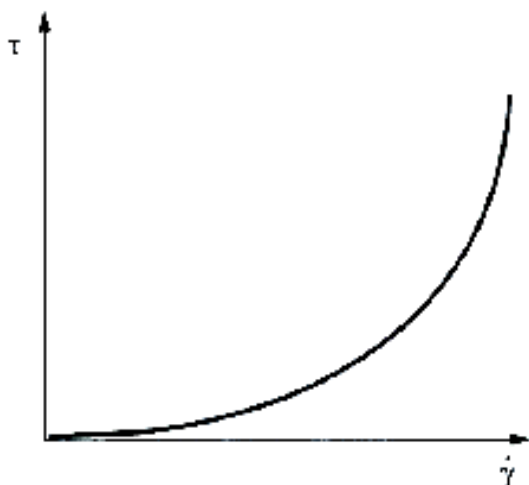


Abb.3.1.4.1: Scherverdickende Fließkurve[13]

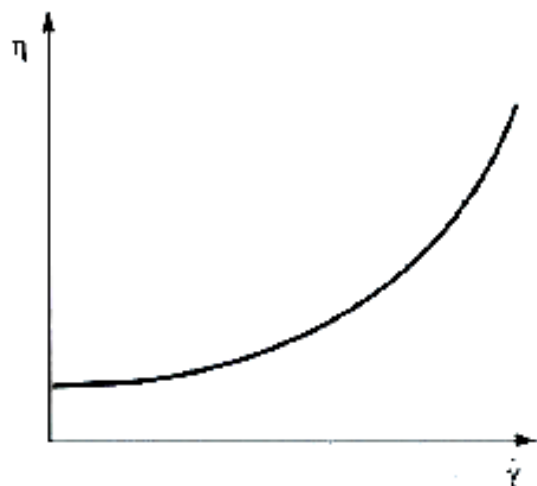


Abb.3.1.4.2: Scherverdickende Viskositätskurve[13]



### 3.1.5 Zeitabhängiges Verhalten

Auch bei konstant gleich gescherten bzw. belasteten nicht Newtonschen Substanzen verändert sich mit der Zeit die Viskosität. Ebenso wie bei dem scherverdünnenden bzw. scherverdickenden Verhalten treten hier Strukturveränderungen im Partikelgefüge auf und erhöhen oder verringern die Viskosität. Bei Erhöhung spricht man von rheopexer und bei Verringerung von thixotroper Reaktion, vorausgesetzt, dass sich die Strukturveränderung bei Entlastung nach „unendlich“ langer Zeit wieder vollständig zurückbildet [13].

Ein Beispiel für ein thixotropes Verhalten wird in Abbildung 3.1.5.1 gezeigt. Hierin ist zu erkennen, dass die Substanz zu unterschiedlichen Zeitpunkten unterschiedlichen Scherraten ausgesetzt ist. Die Zeitpunkte sind in der Abbildung 3.1.5.1 mit  $t_0$ ,  $t_1$ ,  $t_2$  und  $t_3$  gekennzeichnet.

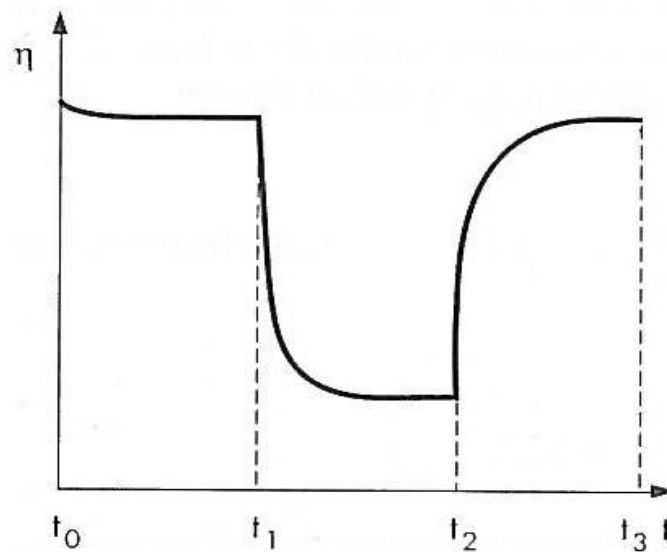


Abb.3.1.5.1: Thixotrope Substanz [13]

Zwischen den Zeitpunkten  $t_0$  bis  $t_1$  liegt die Ruhephase, in welcher die Viskosität bei konstant niedriger Scherrate auf ein unverändertes Niveau gebracht wird (siehe Abbildung 3.1.5.1). Im Bereich zwei, der Belastungsphase, zwischen den Zeitpunkten  $t_1$  und  $t_2$  wurde die Scherrate erhöht. Als Folge ist ein Absinken der Viskosität zu erkennen mit anschließenden Erreichen eines konstanten Niveaus. Nach der Belastung (nach Zeitpunkt  $t_2$ ) ist zu erkennen, dass sich die Viskosität wieder auf ihren ursprünglichen Level erhöht, jedoch dafür Zeit benötigt. Diese Zeit entspricht der Differenz zwischen dem Zeitpunkt  $t_2$  und dem Zeitpunkt  $t_3$  [13].

### 3.2 Idealelastisches Verhalten

Unter idealelastisches Verhalten versteht man, dass der verformte Festkörper wieder in seine Ursprungsform zurückkehrt, es kommt zu keiner ständigen Verformung. Um weitere rheologische Parameter besser verstehen zu können, wird das schon in Kapitel 3.1 vorgestellte Zwei-Platten-Modell erweitert, wie in Abbildung 3.2.1 zu sehen ist.

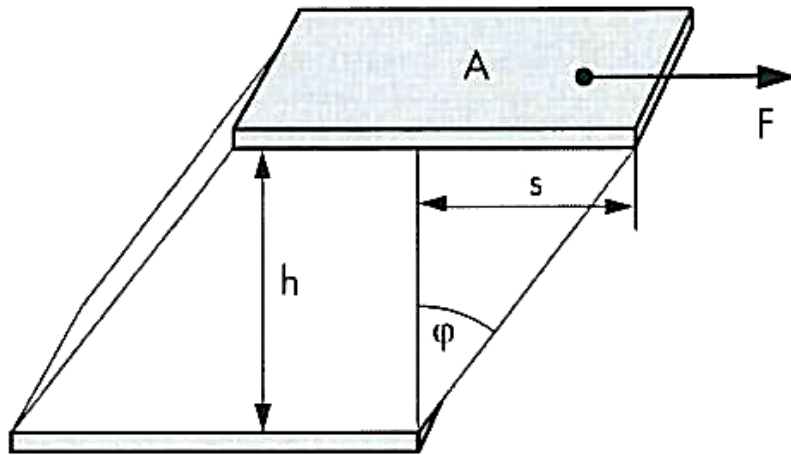


Abb.3.2.1: Idealelastisches Verhalten eines Festkörpers [13]

Es gelten die gleichen Bedingungen wie in Kapitel 3.1, wobei wie in Abbildung 3.2.2 zu sehen ist, dass sich der gesamte Körper durch die Kraft F verformt und um die Wegstrecke s mit dem Winkel  $\varphi$  ausgelenkt wird.

### 3.2.1 Deformation und Schubmodul – Hooksches Gesetz

Wie in Formel 5 zu erkennen ist versteht man unter Deformation das Verhältnis zwischen der Auslenkung s und des Scherspaltes h.

$$\gamma = \frac{s[m]}{h[m]} = \tan(\varphi) \quad \text{Formel (5)}$$

Es ist zu erkennen, dass die Scherrate die zeitliche Deformationsrate ist bzw. ist die Scherrate die unendlich kleine Deformationsänderung während eines unendlich kurzen Zeitabschnittes (siehe Kapitel 3.1.1) [13].

Weiters gilt für idealelastische Körper, dass bei konstanten Temperaturen ein proportionales Verhältnis zwischen der Schubspannung und der Deformation besteht, welches als Schubmodul G bezeichnet wird. Dieses Verhältnis gibt Auskunft über die Steifigkeit des Körpers, für welche die zwischenmolekularen Kräfte verantwortlich sind. Ebenso wie die Schubspannung, hat das Schubmodul oder auch Schermodul genannt, die Einheit Pascal.

$$G = \frac{\tau[Pa]}{\gamma[-]} \quad \text{Formel (6)}$$

Die Proportionalität zwischen der Schubspannung und der Deformation wird als „Hooksches Gesetz“ bezeichnet und gilt nur für den linear elastischen Bereich eines Festkörpers, denn ab einer zu großen Deformation ist der Prozess irreversibel, d.h. der Körper verformt sich auch plastisch [13].

### **3.3 Viskoelastische Substanzen**

Im Wesentlichen sind Streichfarben viskoelastische Substanzen, deren rheologisches Verhalten gleichzeitig viskos und elastisch ist. Dabei kann der viskose Anteil mittels dem Newtonschen (siehe Kap.3.1.2) und der elastische mittels dem Hookschen Gesetz (Kap.3.2.1) beschrieben werden. Aufgrund ihres viskosen Verhaltens wird bei Belastung bzw. Entlastung die entsprechende Antwort darauf zeitlich verzögert sein. Gegenteilig wird sich der elastische (steife) Anteil verhalten, hier wird eine sofortige Reaktion stattfinden. Dies bedeutet das die viskoelastische Substanz nach einer Belastung teilweise deformiert bleibt, abhängig von der Größe des viskosen Anteils. Umgekehrt entspricht das Ausmaß der Rückstellung in die Ursprungsform der Höhe des elastischen Anteils [13].

#### **3.3.1 Oszillationsversuch**

Um die viskosen und elastischen Anteile berechnen zu können, steht der Oszillationsversuch zur Verfügung. Zur Erklärung wird wieder das „Zwei-Platten-Modell“ herangezogen; dabei wird die obere Platte in horizontale Schwingung mittels eines drehenden Rades versetzt. An diesem Rad befindet sich eine exzentrische Stange, die mit der Kraft  $F$  die obere Platte bewegt. Die untere Platte ist unbeweglich, dadurch wird der Messkörper, wie in Abbildung 3.3.1.1 zu sehen ist, geschert.

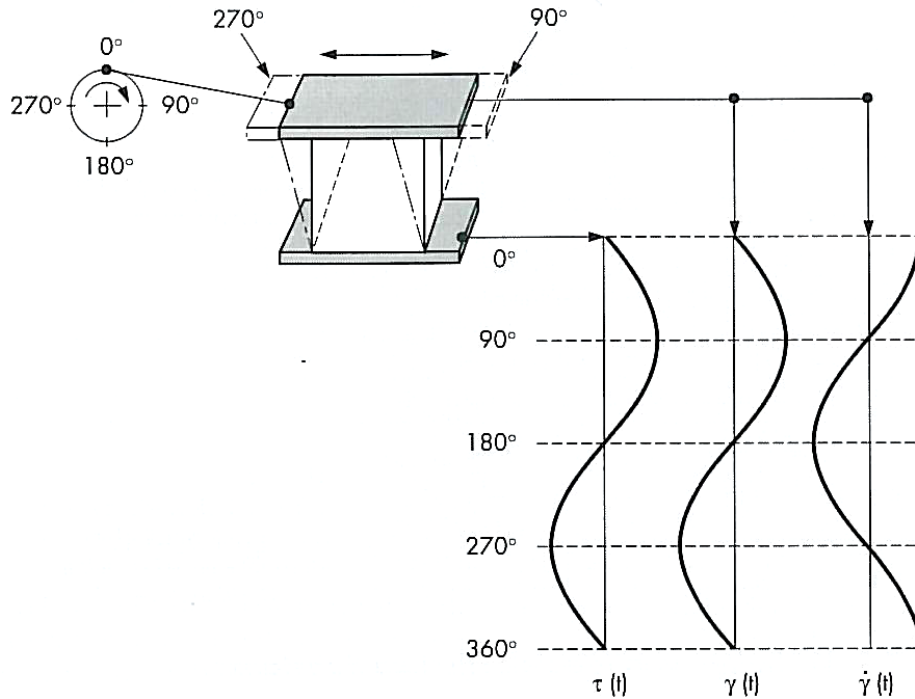


Abb.3.3.1.1: Oszillationsversuch an einem idealelastischen Körper [13]

In Abbildung 3.3.1.1 wird eine idealelastische Substanz gezeigt, also ein steifer Körper, für den das Hooksche Gesetz gilt. Weiters ist zu erkennen, dass die Funktionen der Schubspannung und der Deformation in Phase sind und die der Scherrate um  $90^\circ$  verschoben ist. Dies ist mit dem Hookschen Gesetz zu erklären, da hier das Schubmodul bzw. das Verhältnis Schubspannung zu Deformation konstant ist. An den Positionen  $0^\circ$  und  $180^\circ$  wird der Körper nicht deformiert ( $\gamma = 0$ ), daraus folgt das auch die Schubspannung gleich 0 ist. Die Scherrate hingegen erreicht aufgrund der maximalen Geschwindigkeit auch selbst ihr Maximum. An den Positionen  $90^\circ$  und  $270^\circ$  hat die Scherrate wegen der Bewegungsumkehr ihr Minimum bzw. die Deformation wegen der größten Auslenkung ihr Maximum [13].

Eine idealviskose Substanz verhält sich gegensätzlich, wie in Abbildung 3.3.1.2 zu erkennen ist. Wie schon in Kap.3.1 zu finden ist, gilt hier das Newtonsche Gesetz, d.h. die Schubspannung und die Scherrate sind in Phase bzw. haben ein konstantes Verhältnis [13].

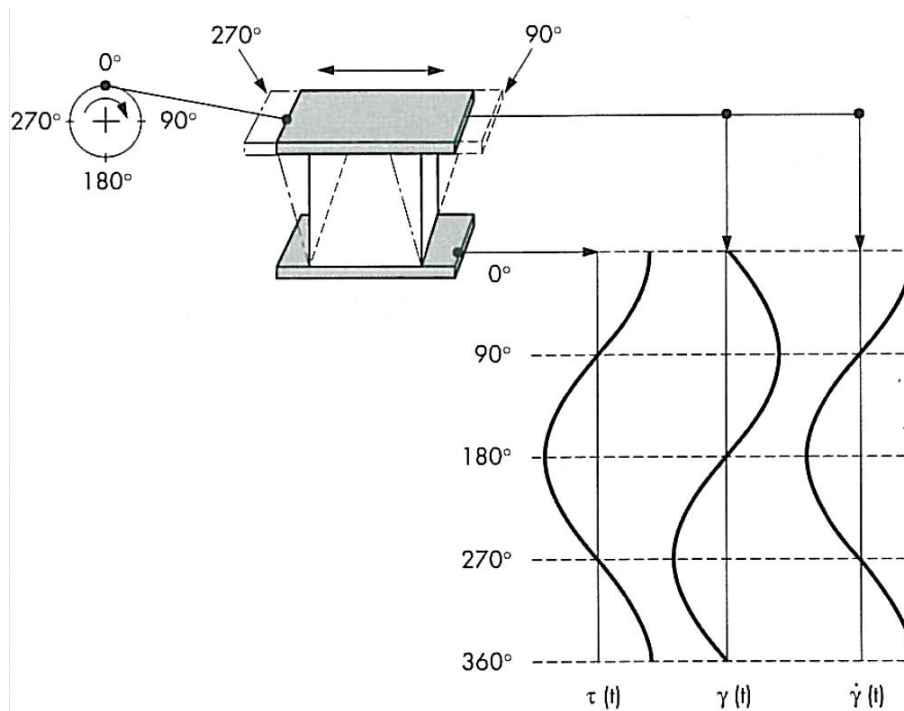


Abb.3.3.1.2: Oszillationsversuch an einem idealviskosen Körper [13]

Als Folge dieses Gesetzes ist die Schubspannungskurve um 90° gegenüber der Deformation verschoben bzw. verzögert.

Für die Berechnung der viskosen und elastischen Anteile wurde das komplexe Schubmodul ( $G^*$ ) bzw. die komplexe Viskosität ( $\eta^*$ ) eingeführt. Nachdem aber bei beiden dieselben Ergebnisse erzielt werden, wird folgend nur mehr das komplexe Schubmodul verwendet.

Als Definition des komplexen Schubmoduls gilt die Formel 7 [13].

$$G^* = \frac{\tau(t)}{\gamma(t)} \quad \text{Formel (7)}$$

$$G' = \frac{\tau(t)}{\gamma(t)} = \cos(\varphi) \quad \text{Formel (8)}$$

$$G'' = \frac{\tau(t)}{\gamma(t)} = \sin(\varphi) \quad \text{Formel (9)}$$

$$\tan(\varphi) = \frac{G''}{G'} \quad \text{Formel (10)}$$

Als Maß für die gespeicherte Deformationsenergie, also für den elastischen Anteil, gilt das Speichermodul  $G'$ . Diese Energie steht für die Rückdeformation nach der Entlastung zur Verfügung und wird in Formel 8 gezeigt. Die verlorene Deformationsenergie  $G''$  ist in Formel 9 zu erkennen und reproduziert den viskosen Teil der viskoelastischen Substanz. Der

Verlustfaktor zeigt ergänzend das Verhältnis zwischen dem elastischen und dem viskosen Anteil und ist in Formel 10 zu sehen. Das Vektordiagramm (siehe Abbildung 3.3.1.3), welches den Zusammenhang zwischen dem komplexen Schubmodul, der gespeicherten und verlorenen Deformationsenergie und des Verlustfaktors zeigt besteht aus einer Realachse, auf welcher das Speichermodul  $G'$  aufgetragen wird, und einer Imaginärachse, die das Verlustmodul  $G''$  enthält [13].

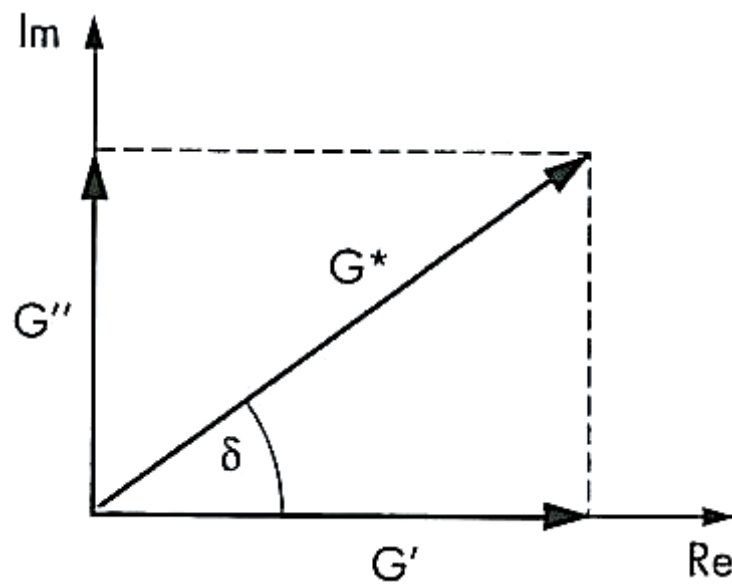


Abb.3.3.1.3: Vektordiagramm des komplexen Schubmodul [13]

Der Verlustfaktor bzw. der Verlustwinkel zeigt unkompliziert welches Verhalten elastisch oder viskos, von der Substanz dominiert. Z.B. zeigt eine Messprobe mit dem Verlustwinkel  $\varphi=0^\circ$  ein idealelastisches Verhalten, da  $G'$  hier viel größer ist als  $G''$ . Dabei ist zu beachten, wie schon in Tabelle 3.3.1.1 angeführt, dass der Verlustwinkel immer zwischen  $90^\circ < \varphi < 0^\circ$  sein muss.

Wie in Abbildung 3.3.1.3 zu sehen ist, wird  $G^*$  als vektorielle Summe von  $G'$  und  $G''$  dargestellt, somit stellt sich  $G^*$  aus dem elastischen und viskosen Teil zusammen [13].

Tab.3.3.1.1 Übersicht Schubmodule und Verlustwinkel

Idealviskoses Fließverhalten	Viskoelastische Flüssigkeit	Elastisches & viskoses Verhalten gleich	Viskoelastischer Festkörper	Idealelastischer Festkörper
$\varphi=90^\circ$ $\tan(\varphi)=\infty$	$G'' > G'$	$\varphi=45^\circ$ $\tan(\varphi)=1$ $G'=G''$	$G'' < G'$	$\varphi=0^\circ$ $\tan(\varphi)=0$

### 3.4 Pigmentkonzentration, Pigmentform und Korngrößenverteilung

Die Pigmentkonzentration (Feststoffgehalt) hat eine hohe Bedeutsamkeit für die Höhe der Viskosität. Es ist allgemein bekannt, dass für die Bewegung mehr Kraft aufgebracht werden muss, wenn sich Festkörper bzw. Pigmente in einer Flüssigkeit oder Suspension befinden. Daraus lässt sich schließen, je höher die Pigmentkonzentration in einer Suspension ist, umso höher wird deren Viskosität sein, da sich die Pigmente gegenseitig bei der Bewegung stören.

Weiters ist für die Viskosität die Pigmentform ausschlaggebend. Wie schon in Kapitel 2.1 erwähnt unterscheiden sich die Pigmentarten auch in der Pigmentform wie z.B. Kaolin als plättchenförmiges Pigment und Calciumkarbonat als rhomboedrisches. Diese Ungleichheit, wie in Abbildung 3.4.1 zu erkennen ist, beeinflusst die Viskosität aufgrund von unterschiedlichen Bewegungsradien der Pigmente. Da die Kaolin Pigmente einen höheren aspect ratio und somit einen größeren Bewegungsradius haben, würde die Viskosität einer Kaolinsuspension höher sein als bei einer Calciumkarbonatsuspension, vorausgesetzt beide haben den gleichen Feststoffgehalt. Daraus lässt sich auf die mögliche Packungsdichte schließen, denn je größer der Bewegungsradius ist umso mehr Leervolumen entsteht im Pigmentgefüge bzw. reihen sich kugelhähnliche Pigmente eher dicht aneinander.

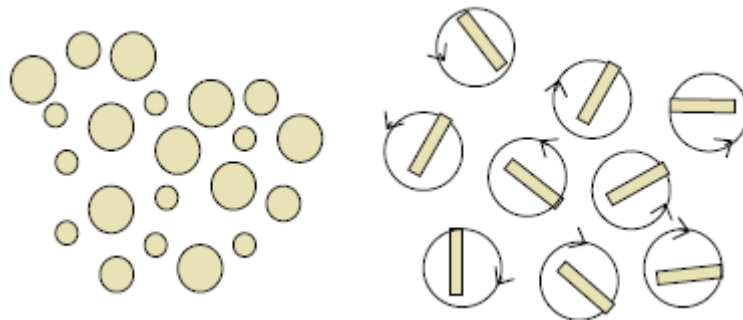


Abb.3.4.1: Bewegungsradius von kugel- und plättchenförmigen Pigmenten [2]

Einen weiteren Faktor für die Packungsdichte stellt die Korngrößenverteilung dar. Es entstehen bei gleichgroßen Pigmenten mehr Leervolumina als bei unterschiedlich großen, da kleinere Pigmente fehlen um das Leervolumen zu füllen. Durch eine breitere Korngrößenverteilung ist ein höherer Feststoffgehalt und somit eine höhere Packungsdichte möglich. Bei zwei Suspensionen mit gleich hohem Feststoffgehalt und unterschiedlicher Korngrößenverteilung der Pigmente, wird diejenige mit einer steileren Korngrößenverteilung eine höhere Viskosität aufweisen [6]. Die unterschiedlichen Packungsdichten aufgrund anderer Korngrößenverteilung sind in Abbildung 3.4.2 zu sehen.

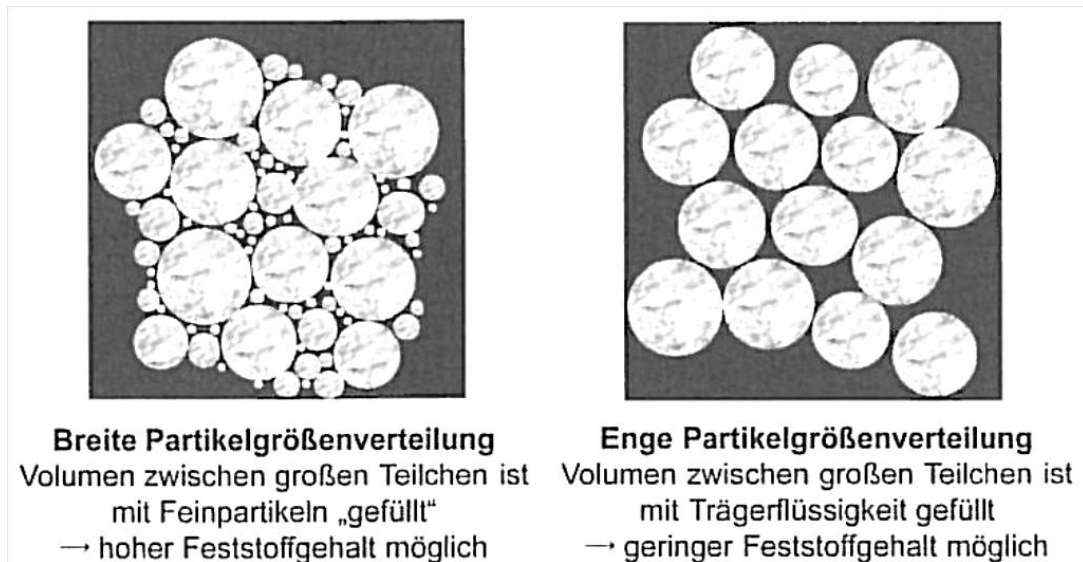


Abb.3.4.2: Schematische Darstellung einer breiten und engen Korngrößenverteilung [6]

### 3.5 Dehnviskosität

Streichfarben unterliegen während des gesamten Streichprozesses verschiedenartigen Krafteinwirkungen, welche von niedrigen bis zu sehr hohen Scherraten reicht. Bei den üblichen Messungen werden nur Scherraten von Viskosimetern ermittelt. Jedoch ist besonders bei der Filmpresse und dem Curtain Coater eine weitere Messgröße, die Dehnviskosität sehr ausschlaggebend. Denn bei beiden Streichaggregaten wird am Nipausgang, die Streichfarbe stark gedehnt. Daher ist eine Bestimmung bzw. Messung der Dehnviskosität von großer Bedeutung. Die Differenz zwischen der Scherviskosität und der Dehnviskosität ist in Abbildung 3.4.3 zu sehen. Allgemein ist zu sagen, dass die Scherviskosität der Widerstand zum Fließen und die Dehnviskosität der Widerstand gegenüber dem Beschleunigen ist [14]. Vor allem Verdicker bringen aufgrund ihrer aufgebauten Molekülketten die sich bei Dehnung strecken, eine hohe Dehnviskosität mit sich [8].

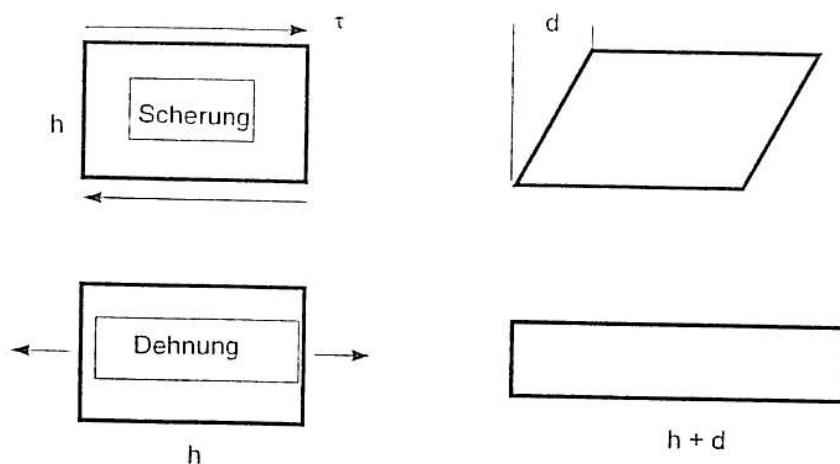


Abb.3.4.3: Unterschied zwischen Scherung und Dehnung [22]



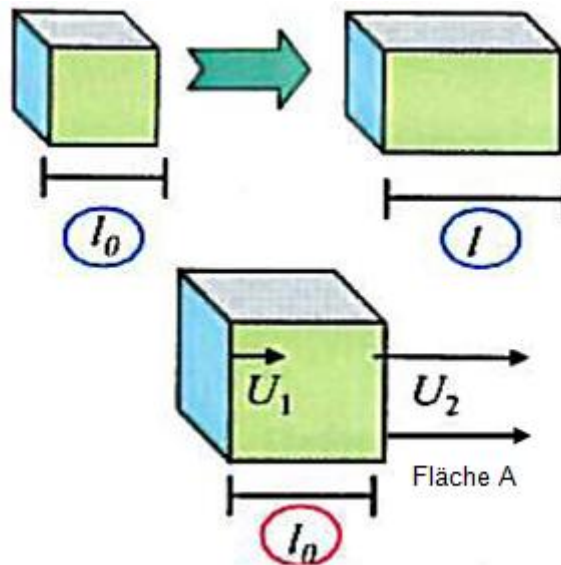


Abb.3.4.5: Dehnung eines Körpers [14]

Wie in Abbildung 3.4.5 zu erkennen ist bedient man sich ähnlich wie bei der Scherviskosität einem Modell an dem eine Kraft wirkt. Dieses Mal zieht die Kraft  $F$  nicht an der oberen Platte, sondern an der seitlichen Fläche  $A$ , sodass sich der Körper dehnt. Dabei ist zu beachten, dass sich die Fläche an welche die Kraft wirkt mit der Geschwindigkeit  $U_2$  und die gegenüberliegende Fläche ohne Krafteinwirkung mit einer geringeren Bewegungsgeschwindigkeit  $U_1$  bewegt. Dadurch ergeben sich die Definitionen, der Zugspannung  $\sigma$ , Dehnung  $\varepsilon$ , Dehnrate  $\dot{\varepsilon}$ , E-Modul  $E$  und der Dehnviskosität  $\eta_E$  (siehe Formel 11, Formel 12, Formel 13, Formel 14 und Formel 15) [14].

$$\sigma = \frac{F}{A} \left[ \frac{N}{m^2} \right] \quad \text{Formel (11)}$$

$$\varepsilon = \frac{l - l_0}{l_0} [-] \quad \text{Formel (12)}$$

$$\dot{\varepsilon} = \frac{U_2 - U_1}{l_0} \left[ \frac{1}{\text{sec}} \right] \quad \text{Formel (13)}$$

$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon} \left[ \frac{N}{m^2} \right] \quad \text{Formel (14)}$$

$$\eta_E = \frac{\sigma}{\varepsilon} [Pa * s] \quad \text{Formel (15)}$$

## 4. Wasserretention der Streichfarbe

Nachdem die Streichfarbe ca. zu einem Drittel aus einer flüssiger Phase besteht, versteht man unter hoher Wasserretention die Fähigkeit der Streichfarbe, ihre flüssige Phase nur erschwert an das Rohpapier abzugeben. Sie ist sozusagen der Widerstand gegen das Entwässern. Sie wird stark von den beinhaltenden Komponenten der Streichfarbe, sowie von den Papiereigenschaften beeinflusst. Weiters gibt sie Auskunft über die entstehende immobile Phase bzw. über die entstehende Strichschicht. Die Wasserretention wirkt auch auf die Runnability des Prozesses und die Qualität des erzeugten Papiers. Allgemein ist zu sagen, dass das Wasserrückhaltevermögen einer Streichfarbe unmittelbar mit der Viskosität steigt [10].

### 4.1 Wassertransport in das Papier

Um den komplexen Vorgang der Wasserretention einer Streichfarbe verstehen zu können, betrachtet man zunächst den Transport von reinem Wasser in das Papier aufgrund äußerer Bedingungen. Dazu gibt es mehrere Einflüsse wie z.B. den Kapillardruck, äußerer Druck, Dampfdruck, Konzentrationsgradient und Temperatur, welche einzeln oder auch zugleich wirken können. Ein häufig gewählter Richtwert mit der Penetrationslänge als Ergebnis ist von Lucas-Washburn. Dabei ist zu beachten, dass in dieser Gleichung (Formel 16) nur der Kapillardruck als wirkende Kraft herangezogen wird [10].

$$l = \sqrt{\frac{r * \gamma * \cos(\Theta) * t}{2 * \eta}} \quad \text{Formel (16)}$$

l... Penetrationslänge in [m]

r... Porenradius in [m]

$\gamma$  ... Oberflächenspannung in [N/m]

$\Theta$ ... Kontaktwinkel zwischen flüssiger und fester Phase [°]

$\eta$ ... Viskosität der flüssigen Phase [Pas]

t... Penetrationszeit [sec]

Jedoch ist diese Gleichung nur für längere Penetrationszeiten und für gerade verlaufende Kapillare gedacht und gilt deshalb nur als Richtwert. Der Kontaktwinkel zwischen flüssiger

und fester Phase, der in der Formel 16 angeführt ist, wird über die Oberflächenspannungen zwischen den angrenzenden Phasen (Gas-, Flüssig- und Festphase) berechnet.

In Abbildung 4.1.1 , Abbildung 4.1.2 und Abbildung 4.1.3 ist der Einfluss von verschiedenen Papiersorten, der Höhe des äußeren Druckes und der Höhe der Temperatur in Bezug auf die Kontaktzeit zu sehen.

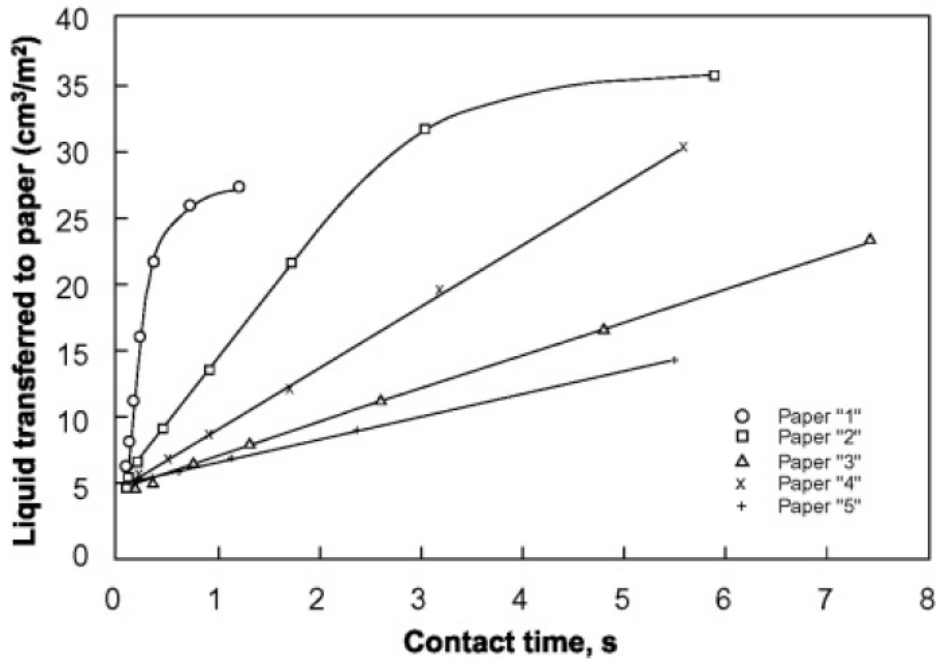


Abb.4.1.1: Einfluss der Papiersorten auf die Wassertransportmenge [10]

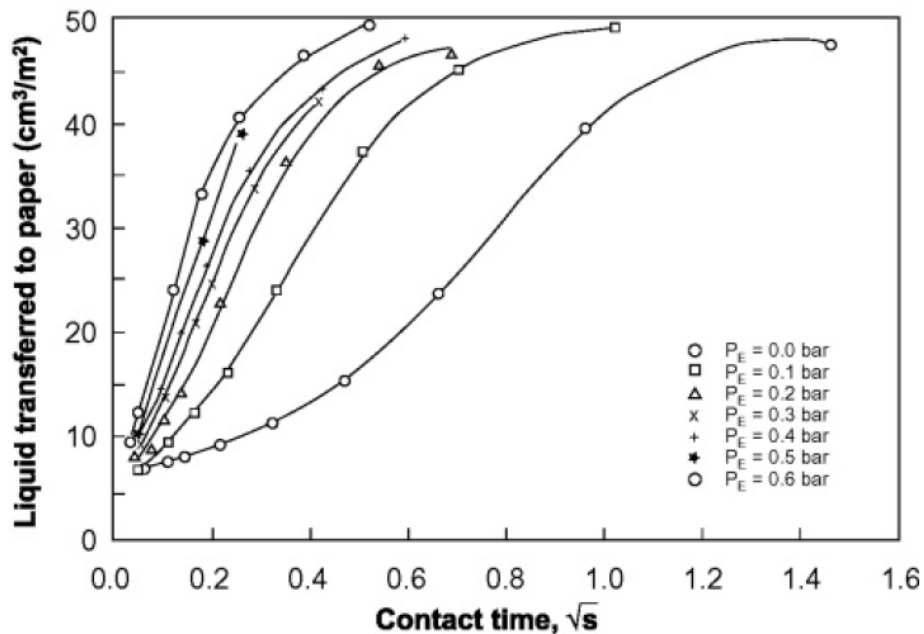


Abb.4.1.2: Einfluss des äußeren Druckers auf die Wassertransportmenge [10]

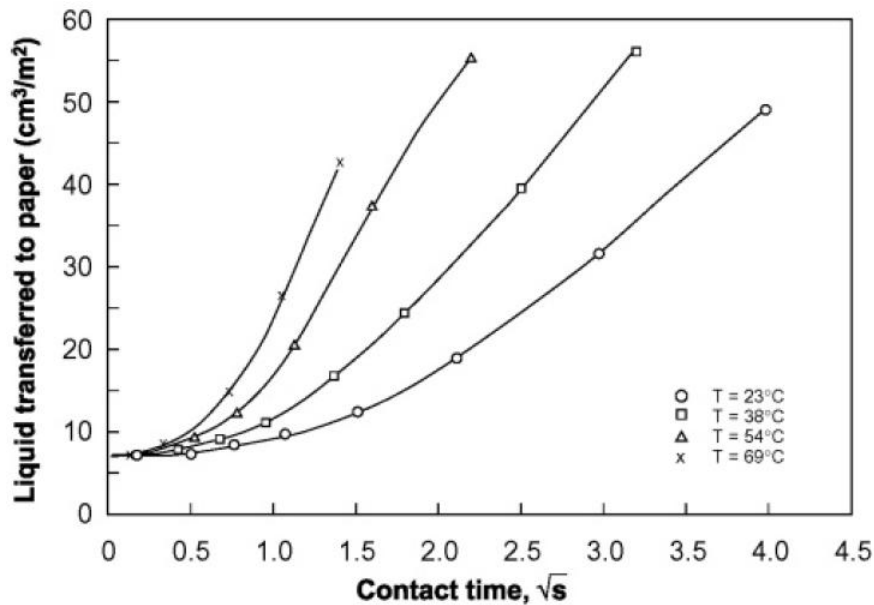


Abb.4.1.3: Einfluss der Temperatur auf die Wassertransportmenge[10]

Das Verhalten, wie es in Abbildung 4.1.1 zu sehen ist, ist aufgrund unterschiedlicher Saugfähigkeiten des Papiers zu erklären. Dies bedeutet, dass in der selben Zeit von einem saugfähigeren Papier, mehr Wasser aufgenommen wird. Die Saugfähigkeit eines Papiers hängt entscheidend von dessen Grammat und Porosität bzw. von der Geschlossenheit der Papieroberfläche ab [15,16]. Ähnliches gilt für den Einfluss des äußeren Druckes, wie er in Abbildung 4.1.2 dargestellt ist. Hierbei gilt, je höher der äußere Druck, umso mehr Wasser kann in das Papier hineingedrückt werden. Wie schon in Formel 16 gezeigt wurde, hat die Viskosität der wässrigen Phase und der Kontaktwinkel zwischen flüssiger und fester Phase bzw. die Oberflächenspannung der wässrigen Phase eine große Bedeutung bezüglich des Transportverhaltens. Denn je niedriger die Viskosität ist, umso weniger zähflüssig ist die wässrige Phase und stellt somit weniger Widerstand gegenüber dem Fließen in das Papier. Auch bei sinkender Oberflächenspannung steigt die Transportmenge, da in diesem Fall die wässrige Phase eher dazu neigt ist, sich über den Festkörper (Papieroberfläche) zu verbreiten und damit in das Papier zu gelangen. In Abbildung 4.1.3 ist zu erkennen, dass bei steigender Temperatur die Transportmenge in das Papier ebenfalls steigt. Dies ist auf die sinkende Oberflächenspannung und sinkende Viskosität der wässrigen Phase bei steigender Temperatur zurückzuführen [10].

#### 4.2 Entwässerungsverhalten der Streichfarbe – Aufbau einer Strichschicht

Das Papier, auf das die Streichfarbe aufgetragen wird, gilt im Allgemeinen als saugfähiger Untergrund mit einem hohen Trockengehalt. Sobald die Streichfarbe die Oberfläche des Papiers berührt, penetriert die flüssige Phase der Streichfarbe in das Papier; die Streichfarbe wird entwässert. Als Resultat entsteht ein Filterkuchen aus Pigmenten, da sie wegen ihrer

Größe nicht in das Papiergefüge eindringen können, zwischen der Grenzfläche der Streichfarbe und der Papieroberfläche. Dieser Filterkuchen wird auch „Immobilisierte Schicht“ genannt. Wie in Abbildung 4.2.1. zu erkennen ist, wächst mit zunehmender Zeit und Penetration die immobilisierte Schicht. In Formel 17 wird der Entwässerungsprozess mithilfe der oben genannten Faktoren und der Eigenschaft des Filterkuchens beschrieben [34].

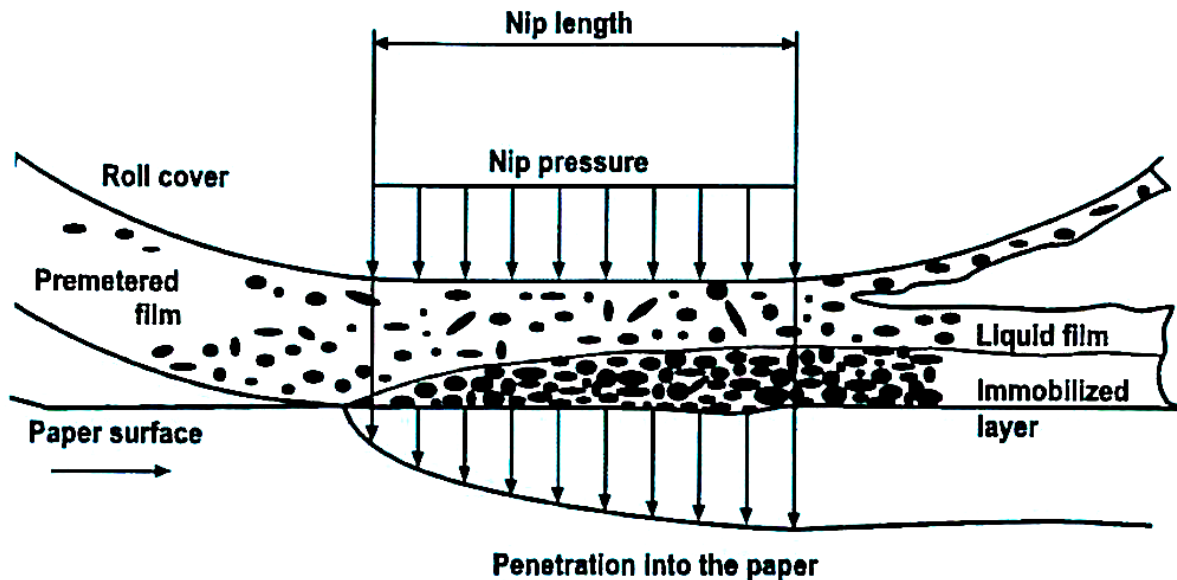


Abb.4.2.1: Entwässerung einer Streichfarbe [23]

$$\frac{m}{f} = \sqrt{A * C * dP * t}$$

Formel (17)

m... Entwässerungsvolumen [m³]

f... Entwässerungsfläche [m²]

C... Filterkuchenpermeabilität

A... Streichfarbkoeffizient, abhängig von Viskosität

dP... Äußere Druck [Pa]

t... Zeit [s]

Dabei hängt die Stärke der Entwässerung entscheidend von dem äußeren Druck, der Geschwindigkeit und somit von der Zeit, der Struktur und Durchlässigkeit des Filterkuchens und von der Viskosität der wässrigen Phase ab. Großen Einfluss auf die Viskosität und somit auf die Wasserretention haben der Verdicker- und Stärkeanteil (siehe Kapitel 2.3 und Kapitel 2.4) bzw. der Trockengehalt der Streichfarbe. Bei einem höheren Trockengehalt sind mehr Pigmente in der Streichfarbe und erhöhen den Entwässerungswiderstand [10].

Eine breite Korngrößenverteilung erhöht auch den Entwässerungswiderstand und somit die Wasserretention. Da sich dabei die kleineren Pigmente zwischen den großen Pigmenten befinden, stellen diese eine Behinderung für das abfließende Wasser dar (siehe Abbildung 3.4.2). Auch die Pigmentform wie schon in Kapitel 2.1 angesprochen, entscheidet über die Wasserretention einer Streichfarbe. Dabei stellen die Kaolinpigmente bei gleichem Trockengehalt einen höheren Entwässerungswiderstand dar als Calciumkarbonatpigmente, da sie durch ihre plättchenförmigen Pigmente das Abfließen der wässrigen Phase in der dichteren immobilen Schicht (geringere Permeabilität) erschweren [10].

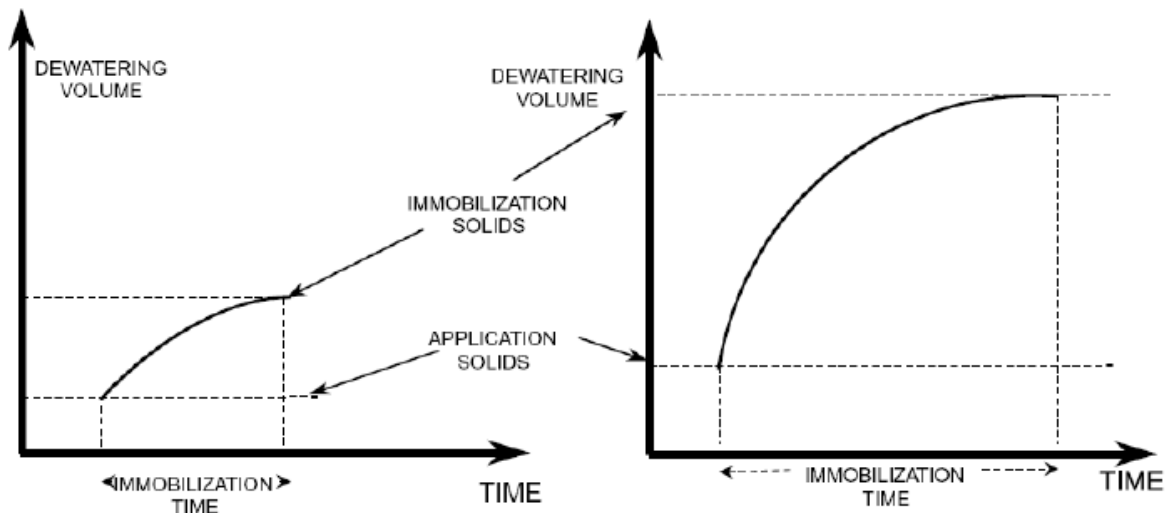


Abb.4.2.2: Immobilisierungsgeschwindigkeit [10]

Weiters ist zu beachten, dass eine schnelle Entwässerung (Steigung der rechten Kurve in Abbildung 4.2.2) nicht immer zu einer schnellen Immobilisierung führt. Dies tritt besonders bei Streichfarben mit einem niedrigen Anfangs-Trockengehalt und einem hohen Immobilisierungsfeststoffgehalt auf. Als Immobilisierungsfeststoffgehalt ist ein Erreichen eines Trockengehaltes zu verstehen, an welchem die Pigmente unbeweglich werden (immobil). Als Einflussfaktor für den Immobilisierungsfeststoffgehalt gilt die Pigmentart, denn Kaolinpigmente werden durch ihren hohen Bewegungsradius schneller immobil als Calciumkarbonat [10].

Der linke Bereich der Darstellung der Abbildung 4.2.2 zeigt eine Streichfarbe, welche einen niedrigen Immobilisierungsfeststoffgehalt besitzt.

Wichtig für die Produktion von gestrichenen Papieren ist eine geregelte Wasserretention. Eine zu schnelle Entwässerung führt zu einer Migration der Bindemittel in das Papiergefüge. Dabei erhöht sich die Wahrscheinlichkeit, dass die Pigmente sich wieder von der Papieroberfläche loslösen. Im Gegensatz dazu führt eine zu hohe Wasserretention zu einer zu kleinen immobilen Schicht und somit zu einem zu niedrigen Strichgewicht [10].

## 5. Die Filmpresse

Die Filmpresse, auch „metering size press (MSP)“ genannt ist eine weitverbreitete Art um Papier zu streichen, pigmentieren oder zu leimen. Die einfache Ausführung der Filmpresse erlaubt es, sie sowohl als Vorstreichereinheit oder überhaupt als Alternative zu Bladecoatern einzusetzen. Durch die geringere Belastung des Papiers während des Streichens, ergibt sich besonders für Papiersorten mit niedrigeren Festigkeiten eine geringere Anzahl an Bahnabrissen und somit ein großer Vorteil. Auch die Möglichkeit zur selben Zeit an beiden Seiten (C2S) des Papiers zu streichen spricht für diese Alternative, nicht nur um Material und Energie zu sparen, sondern auch Platz.

Charakteristisch für die Filmpresse ist eine weitgehend gute Abdeckung ab einem gewissen Strichgewicht, mit dem Merkmal, das die Streichfarbe als Kontur aufgetragen wird. Sie hat ähnliche Abdeckungseigenschaften wie ein Curtain Coater. Dadurch ergibt sich eine Makrorauigkeit mit einer geringeren Strichdickenvariation, welche sich günstig auf die Druckqualität auswirkt. Trotz ihrer relativ unproblematischen Laufeigenschaft ist ein Betrieb einer Filmpresse ohne Optimierung der Prozessparameter nur mit Qualitätseinbußen des hergestellten Produktes bzw. Produktionsstörungen möglich. Als häufige Probleme werden Misting (Streichfarbennebel) und Orange Peel genannt. Beide Punkte haben ihren Ursprungsort am Ausgang des Filmpressennips, wobei die Ursache meist durch eine Optimierung der rheologischen Eigenschaften der Streichfarbe behoben werden kann.

### 5.1 Aufbau und Arbeitsweise einer Filmpresse

Der Aufbau einer C2S MSP (beide Papierseiten werden zugleich gestrichen) besteht im Wesentlichen aus zwei Walzen und zwei Egalisierstäben (Rakel). Die Arbeitsweise einer Filmpresse und der Rakel sind in Abbildung 5.1.1 ersichtlich.

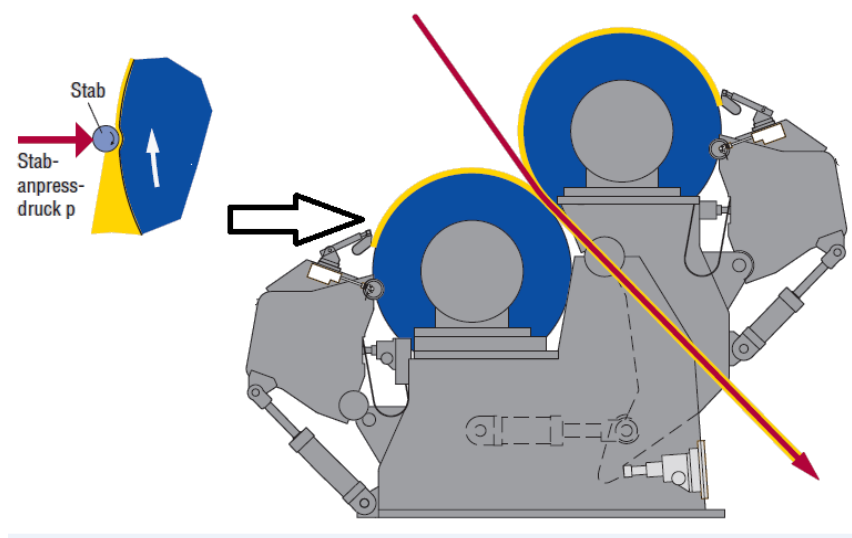


Abb.5.1.1: Aufbau einer Filmpresse [43]

Nachdem die Streichfarbe im Überschuss auf die Auftragswalze gebracht wurde, wird sie danach mittels dem Stab egalisiert (siehe Abbildung 5.1.1). Dadurch ergibt sich die gewünschte Schichtdicke und somit das Strichgewicht. Im Nip erfolgt die Übertragung der Streichfarbe an das Papier, wobei nicht die gesamte Strichschicht von der Walze an das Papier übergeht, siehe Abbildung 4.2.1. Der an der Walze zurückgebliebene Rest gelangt wieder zu dem Abschnitt an dem aufgetragen wird. Dort erfolgt eine Vermischung mit dem Überschuss. Sobald sich die Streichfarbe und das Papier berühren, kommt es zu einer Entwässerung der Strichschicht (siehe Kapitel 4).

Das Verhältnis von übertragener und nicht übertragener Streichfarbe (siehe Formel 18) wird als Transferrate (TR) bezeichnet und beeinflusst die „Runnability“ des Prozesses sehr wesentlich [17, 18]. Sie hängt vom Strichgewicht, den Rohpapiereigenschaften, dem Trockengehalt der Streichfarbe und der voregalisierten Schichtdicke ab.

$$TR = \frac{CW}{0,01 * TG * m} \quad \text{Formel (18)}$$

TR... Transferrate [%]

CW... Strichgewicht [g/m<sup>2</sup>]

TG... Trockengehalt der Streichfarbe [%]

m... dosiertes Streichfarbengewicht pro Meter an der Auftragswalze [g/m<sup>2</sup>]

Eine Transferrate von 60 Prozent bedeutet, dass 60 Prozent von der egalisierten Streichfarbe von der Auftragswalze an die Papierbahn abgegeben werden.

Bei den meisten heutigen laufenden Maschinengeschwindigkeiten und Strichgewichten ergeben sich Scherrate unter dem Rakel im Bereich von 10<sup>5</sup>-10<sup>6</sup> [1/s] [14].

In [36] wird beschrieben, dass im Nip einer Filmpresse zwischen der Auftragswalze und dem Papier aufgrund von Beschleunigungen der Streichfarbe Scherraten von 10<sup>4</sup>-10<sup>5</sup> [1/s] wirken.

## 6. Entstehung von Misting und Orange Peel

Wie schon in Kapitel 5 erklärt wurde, spaltet sich bei dem Filmpressenauftrag der Strichfilm am Ende des Auftrages im Walzenspalt. Dabei kann Misting entstehen, dass als Strichnebel auftritt und zugleich oder alleine Orange Peel. Letzteres hinterlässt als Merkmal eine orangenhautähnliche Struktur an der gestrichenen Papieroberfläche. Beide Phänomene gelten als häufigste Runnability und Qualitätsprobleme von Filmpressen gestrichenen Papieren. Um die Phänomene besser verstehen zu können wurde Abbildung 6.1 eingefügt. Dies zeigt eine genaue Darstellung des Mechanismus des Filmsplittings und dessen Zusammenhänge mit Misting und Orange Peel.



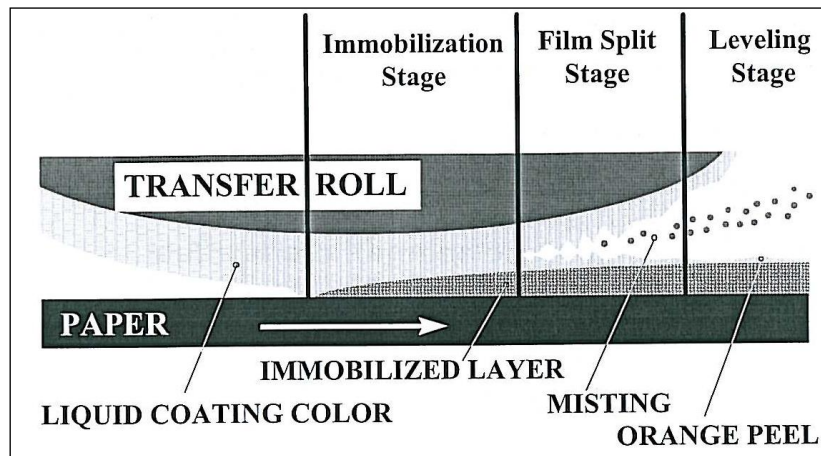


Abb.6.1: Phasen des Filmsplittingmodell [19]

Dabei wurde die Abbildung 6.1 in drei Phasen bzw. Regionen eingeteilt: Die Entwässerungsregion oder auch Immobilisierungsregion (Immobilization Stage) genannt, die Filmsplittingregion (Film Split Stage) und die Entspannungsregion (Leveling Stage). In der Entwässerungsregion erfährt die Streichfarbe von der Auftragswalze (egalisierte Streichfarbe) einen Druckimpuls, der wie schon in Kapitel 4 erklärt, die Entwässerung und somit die Beförderung der flüssigen Phase der Streichfarbe in das Papier begünstigt. Es beginnt sich hier eine immobile Schicht aus Pigmenten an der Grenzfläche zwischen Rohpapier und Streichfarbe auszubilden. Mit zunehmender Dicke der immobilen Schicht, verringert sich die Dicke der nicht immobilen Schicht. In der Filmsplittingregion spaltet sich die Streichfarbe an der Stelle mit dem geringsten Widerstand [34]. Es wird vorausgesetzt, dass diese Stelle eine nicht immobile ist. Der Abstand von den gespaltenen Oberflächen wird mit zunehmender Entfernung von dem Nip größer. Dabei wird ein Teil der Streichfarbe aufgrund von Haftkräften zwischen den Oberflächen zu Fäden (Filamente) gezogen. Die entscheidenden Faktoren für das Reißen der Fäden sind die viskoelastischen Eigenschaften, die Dehnungsviskosität, die Oberflächenspannung der Streichfarbe sowie die Prozessparameter [20]. Zu beachten ist, dass genau hierbei Misting und Orange Peel entsteht. In Abbildung 6.2 sind beide Arten und deren Entstehung dargestellt.

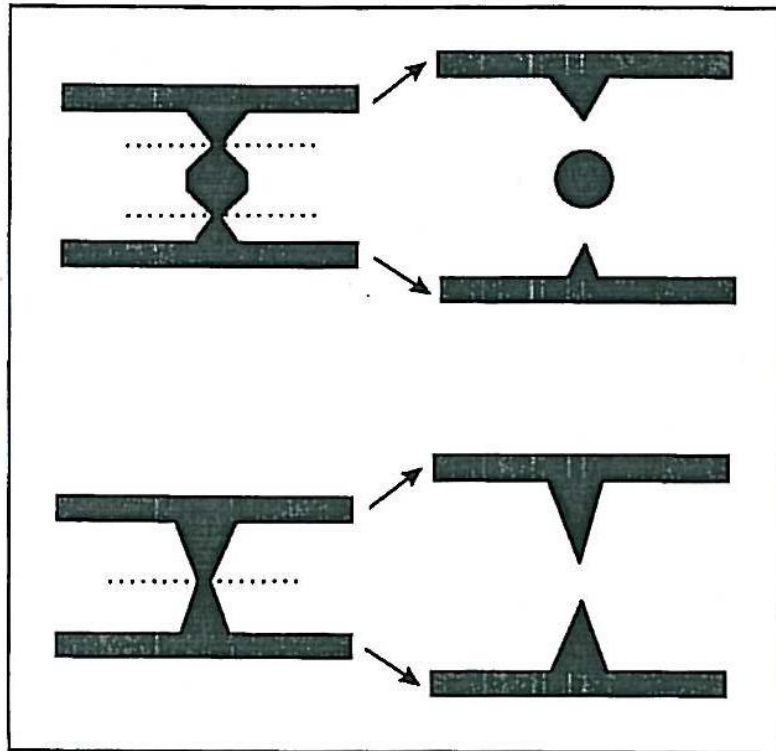


Abb.6.2: Entstehung von Misting und Orange Peel [19]

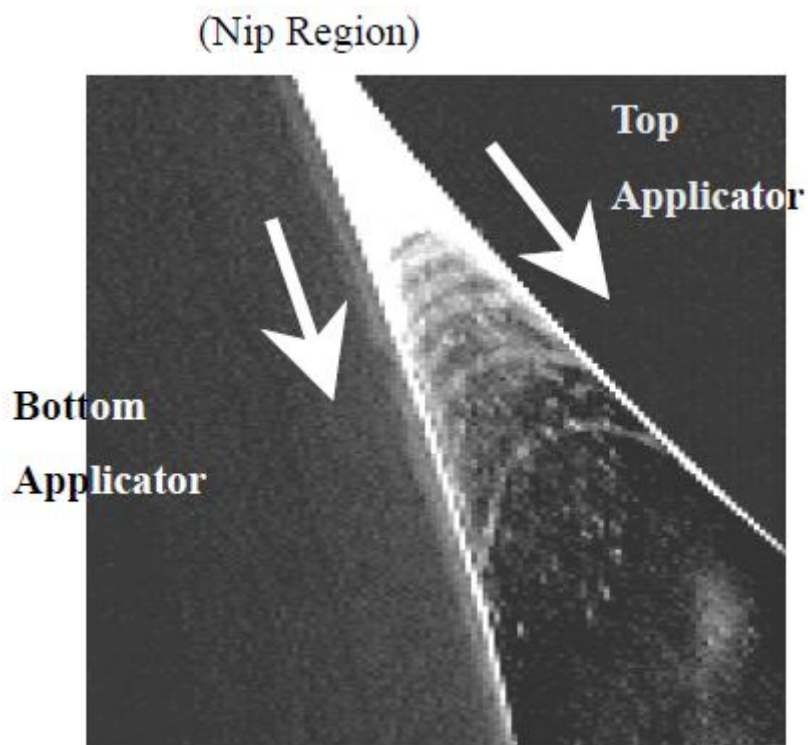


Abb.6.3 Mistingtröpfchen am Nipausgang [37]

Im oberen Teil von Abbildung 6.2 ist zu erkennen, dass sich bei dem Riss des Filaments ein Teil davon löst und dann als Nebeltröpfchen auftritt (undefinierter Riss); es bleiben zwei Erhebungen zurück. Die untere Darstellung von Abbildung 6.2 zeigt die Entstehung von

Orange Peel. Hierbei reißt der Faden in zwei Hälften und hinterlässt zwei Erhebungen, die sich zwar zum Teil zurückbilden aber dennoch eine unebene Oberfläche bzw. Orange Peel hinterlassen [19]. Abbildung 6.3 zeigt Misting zwischen zwei Walzen ohne einem Rohpapier. Hierbei ist gut zu erkennen, dass die entstandenen Fäden reißen und die Mistingtröpfchen hinausgeschleudert werden. Da die Fertigungsgeschwindigkeit der heutigen Papiermaschinen meist über 1000m/min liegt, werden diese Nebeltröpfchen durch die herrschende Zentrifugalkraft, aus dem Walzenauslauf in die Luft geschleudert.

In der Entspannungsregion klappen die Filamente infolge der Oberflächenspannung wieder an die Oberfläche des Papiers und der Auftragswalze zurück. Das Verlaufen der Streichfarbe kann die Unebenheiten an der Papieroberfläche, die aufgrund von gerissenen Filamenten auftreten, teilweise beheben. Auf die Entstehung von Misting und Orange Peel hat die Entspannungsregion jedoch keinen Einfluss [20].

### **6.1 Einflussfaktoren für die Entstehung von Misting und Orange Peel**

Wie schon in Kapitel 6 erläutert, haben Misting und Orange Peel den selben Entstehungsort. Dabei handelt es sich um den Nipausgang einer Filmpresse, an dem eine nicht immobile Strichschicht existiert bzw. eine Filamentbildung stattfindet. Viele Einflussfaktoren die Misting verursachen, verstärken auch Orange Peel; folglich sind beide Phänomene ähnlich zu behandeln [20, 25]. Entsprechend der Intensität dieser Phänomene, gibt es folgende unterschiedliche Einflussfaktoren, die nachfolgend näher erklärt werden:

- Verhältnis von immobilierter Schichtdicke zu egalisierten Schichtdicke [24, 32]
- Transferrate [17, 18, 24, 25]
- Strichgewicht [21, 25, 24, 18, 30, 33]
- Trockengehalt [23, 21, 18, 24, 25, 26, 27, 20, 19, 30, 33]
- Maschinengeschwindigkeit [17, 23, 21, 18, 24, 25, 26, 27, 30, 19, 30, 32]
- Wasserretention, Papiersaugfähigkeit und Papierrauhigkeit [18, 26, 24, 28, 21, 30]
- Oberflächenspannung der Streichfarbe [26, 33]
- High shear Viskosität [14, 25, 29, 27, 30, 23]
- Dehnviskosität [14, 31, 29, 25, 36]
- Speicher- und Verlustmodul [21, 25]
- Luftgehalt der Streichfarbe [24, 26, 27, 20]

#### **6.1.1 Verhältnis von immobilierter Schichtdicke zu egalisierten Schichtdicke**

Das Verhältnis der immobilisierten Schichtdicke zur egalisierten Schichtdicke gibt an, wie viel von der Streichfarbe immobil wurde (siehe Abbildung 6.1.4.2). Es ist klar, dass sich bei Konstanthalten der Prozessparameter sowie der Rheologieparameter, die Dicke der

immobilen Schicht am Nipausgang nicht ändert. Weiters ist ohne Zweifel, dass sich bei Erhöhung der egalisierten Schichtdicke und theoretisch gleichbleibender immobilen Schicht, die nicht immobile Schichtdicke erhöht. Dadurch steigert sich die Wahrscheinlichkeit für Filamentbildung und somit für Misting und Orange Peel [23, 17, 30, 19].

### 6.1.2 Strichgewicht

Ein weiterer entscheidender Einflussfaktor auf die Dicke der nicht immobilen Schicht ist das gewünschte Strichgewicht. Um die übertragene Streichfarbe und somit das Strichgewicht zu erhöhen, wird mehr egalisierte Strichschicht aufgetragen, dabei nimmt die nicht immobile Schichtdicke auch zu. Eine Steigerung des Strichgewichtes hat zur Folge, dass mehr Misting entsteht (siehe Abbildung 6.1.3.1) [21, 25, 24, 18, 30, 33].

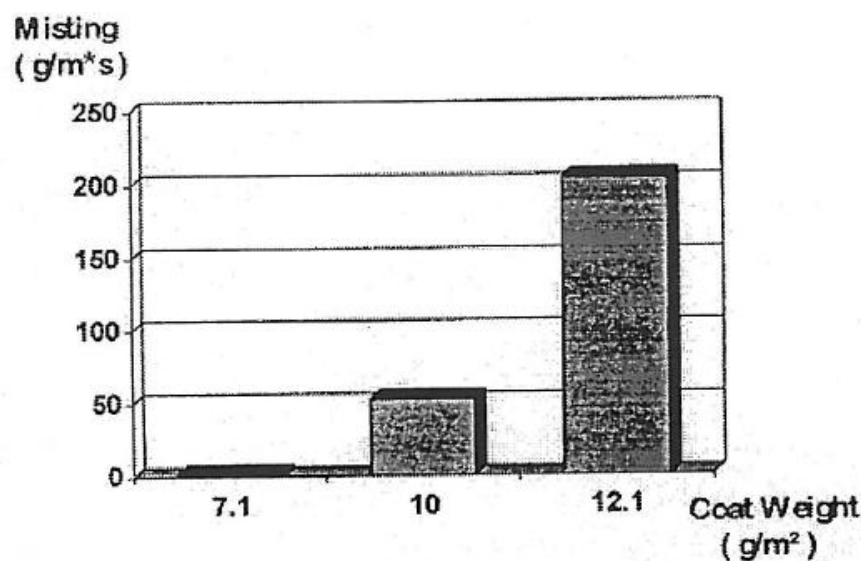


Abb.6.1.2.1: Misting in Abhängigkeit vom Strichgewicht [21]

### 6.1.3 Transferrate

Ein weiteres Verhältnis von Schichtdicken ist die Übertragungsrate oder auch Transferrate (siehe Kapitel 5.1). Sie zeigt prozentual an, wie viel von der Auftragswalze an das Papier übertragen wird. Dabei ist zu beachten, dass die an das Papier übertragene Streichfarbe das Strichgewicht vorgibt (siehe Abbildung 4.2.1). Ist die Transferrate hoch, so bedeutet dies, dass fast die gesamte Streichfarbe aufgrund einer schnellen Immobilisierung übertragen wird und nur eine geringe nicht immobile Schicht am Nipausgang vorhanden ist. Dadurch werden weniger Filamente gebildet und das Risiko für Misting und Orange Peel sinkt [17, 18, 24, 25]. In Abbildung 6.1.3.1 ist zu sehen, dass bei niedrigen Transferraten vermehrt Misting auftritt.

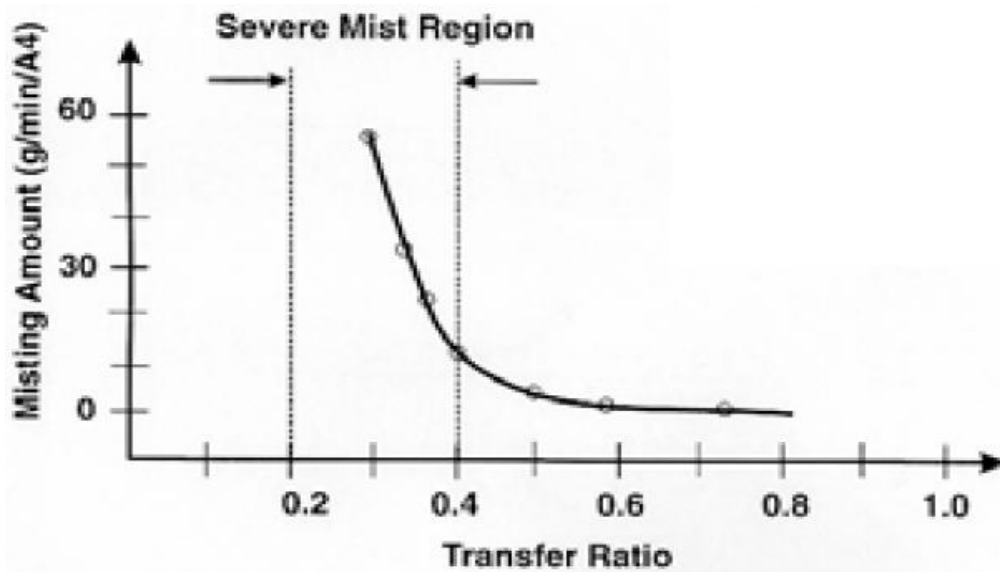


Abb.6.1.3.1: Mistingmenge in Abhängigkeit der Transferrate [33]

#### 6.1.4 Trockengehalt

Ähnlichen Einfluss wie das Strichgewicht auf die Entstehung von Misting und Orange Peel hat der Trockengehalt der Streichfarbe. Wenn ein konstantes Strichgewicht erwünscht ist, muss eine gewisse Schichtdicke (nach dem Raket) das Papier erreichen. Die Dicke ergibt sich aus dem Trockengehalt. Je geringer der Trockengehalt einer Streichfarbe ist, umso mehr muss aufgetragen werden, umso mehr Flüssigkeit muss das Papier aufnehmen und umso höher ist dadurch auch die nicht immobile Phase. Dabei ist zu beachten, dass hier mehr flüssiger Strich vorhanden ist, der sich zu Filamente „ziehen“ lässt (siehe Abbildung 6.1.4.1) [23, 21, 18, 24, 25, 26, 27, 20, 19, 30, 33]. In [25] wird beschrieben, dass bei einem höheren Trockengehalt der Filmsplit ein definierter ist und die Immobilisierung der Pigmente schneller erfolgt. Je näher der Trockengehalt einer Streichfarbe am Immobilisierungsfeststoffgehalt ist, umso früher entsteht eine immobile Schicht (siehe Kapitel 4.2) bzw. wird das Verhältnis von immobiler Strichschicht zu egalisierten Streichfarbe höher sein.

Bei niedrigem Trockengehalt, wird Orange Peel induziert, besonders bei hohen Strichgewichten und relativ geringen Geschwindigkeiten [15, 26, 35].

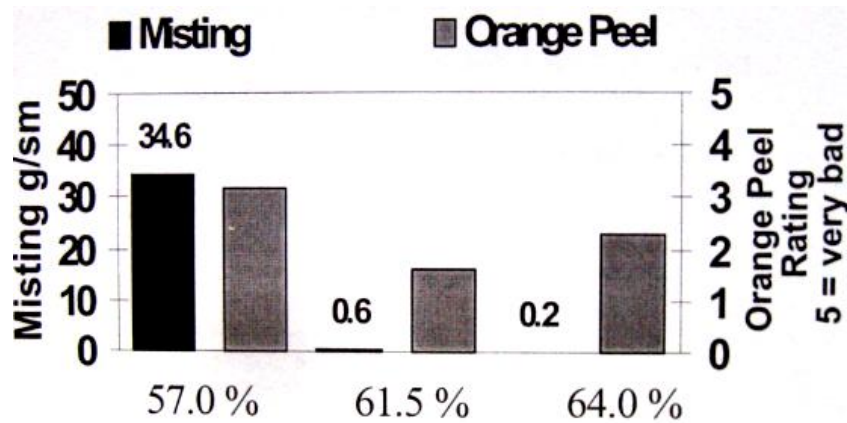


Abb.6.1.4.1: Misting und Orange Peel in Abhängigkeit vom Trockengehalt [17]

In Abbildung 6.1.4.2 ist der Zusammenhang zwischen dem Strichgewicht, Trockengehalt und dem Verhältnis von immobilierter Schichtdicke  $[x_i]$  zur egalisierten Schichtdicke  $[x]$  zu sehen. Zu erkennen ist hierbei, dass das Verhältnis von immobilierter zu egalisierter Schichtdicke mit sinkendem Trockengehalt sowie zunehmendem Strichgewicht stark abnimmt. Dies bedeutet, dass für dieses Szenario die nicht immobile Schichtdicke größer wird und somit vermehrt Misting und Orange Peel auftreten können.

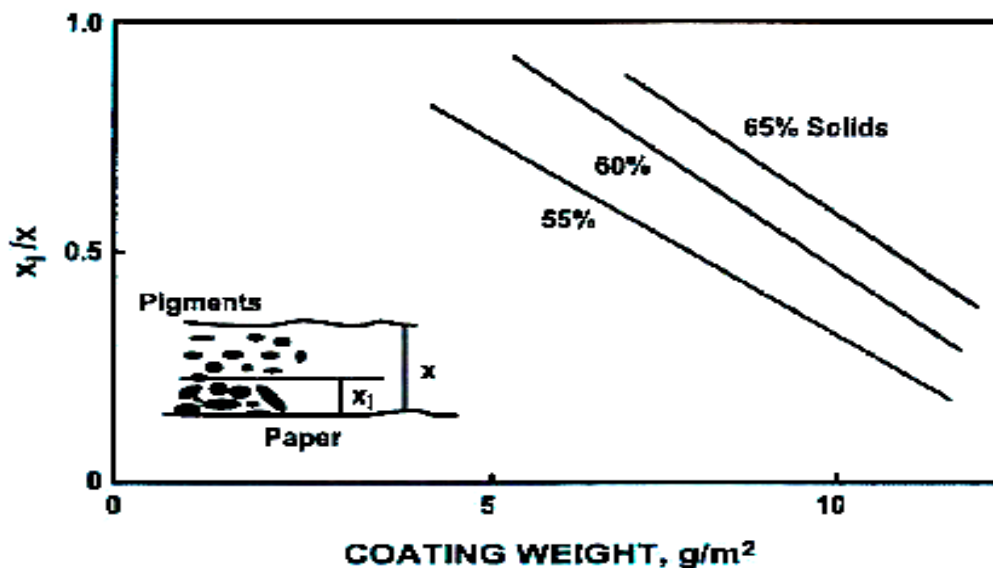


Abb.6.1.4.2: Zusammenhang Strichgewicht, Trockengehalt und Verhältnis von immobilierter Schichtdicke zu egalisierter Schichtdicke [23]

### 6.1.5 Maschinengeschwindigkeit

Auch die Maschinengeschwindigkeit bestimmt die Intensität von Misting und Orange Peel. Bei höherer Geschwindigkeit wird die Aufenthaltszeit der Streichfarbe im Nip verringert und somit weniger Streichfarbe an das Papier übertragen [18]. Dadurch sinkt die Transferrate sowie das Verhältnis der immobilisierten Schichtdicke zur egalisierten Schichtdicke und somit steigt der Anteil der nicht immobilisierten Phase [17, 23, 21, 18, 24, 25, 26, 27, 19, 19, 30, 32].

Allgemein ist zu sagen, dass bei höheren Geschwindigkeiten ( $>1200\text{m/min}$ ) die Intensität für Misting aufgrund von undefiniert gebrochenen Filamenten, größer ist als für Orange Peel [17, 30]. Weiters wird in [20] beschrieben, dass bei höheren Geschwindigkeiten die Zentrifugalkraft höher ist, welche die gebrochenen Filamente hinausschleudert.

In Abbildung 6.1.5.1 ist die Intensität von Misting in Abhängigkeit von der Maschinengeschwindigkeit dargestellt. Die Abbildung 6.1.5.2 zeigt die Abhängigkeit von Misting bezüglich des Trockengehaltes bei unterschiedlichen Maschinengeschwindigkeiten.

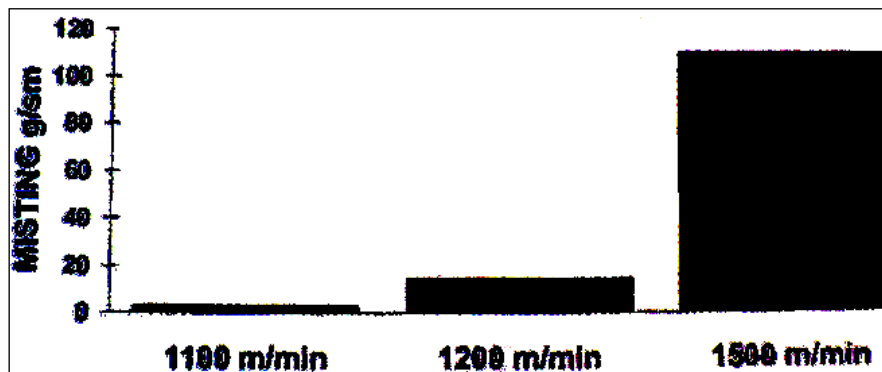


Abbildung 6.1.5.1 Einfluss der Maschinengeschwindigkeit auf die Mistingintensität [20]

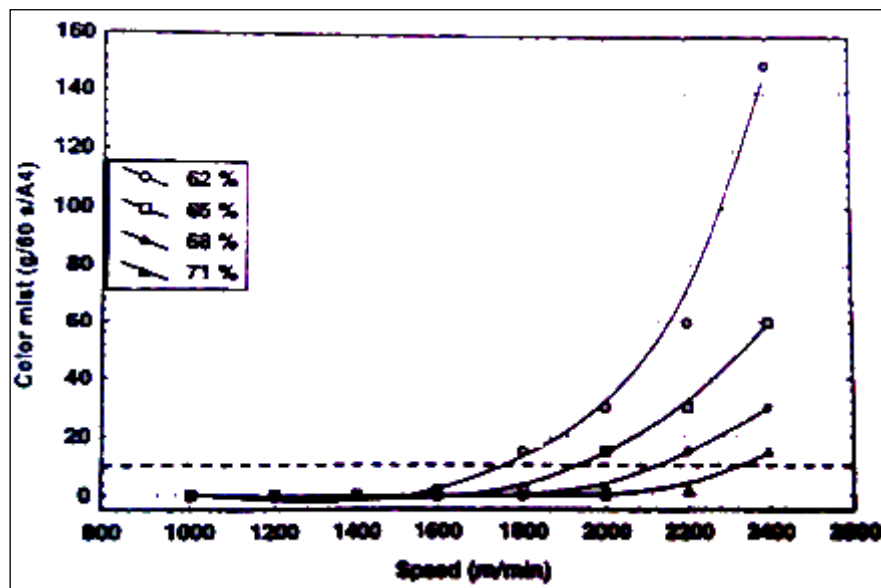


Abbildung 6.1.5.2 Abhängigkeit der Mistingintensität vom Trockengehalt und Geschwindigkeit[30]

### 6.1.6 Wasserretention, Papiersaugfähigkeit und Papierraugkeit

Wie schon in Kapitel 4 angesprochen wurde, hängt die Wasserretention von der Viskosität der Streichfarbe sowie von den Papiereigenschaften ab. In [23, 25] wird beschrieben, dass eine hohe Viskosität der Wasserphase Orange Peel verursacht, da eine zu hohe Viskosität



eine hohe Wasserretention mit sich bringt, dabei die Streichfarbe nur schleppend entwässert wird und sich somit die Bildung der immobilen Schicht nur langsam entwickelt. Im Gegensatz dazu ist darauf zu achten, dass die Entwässerung der Streichfarbe nicht zu schnell erfolgt, da ansonsten eine unerwünschte, wachsende, trockene Strichschicht an der Auftragswalze entsteht [30]. Weiters ist für eine schnelle Bildung einer immobilen Phase, eine relativ gute Saugfähigkeit des Rohpapiers notwendig, hierbei wird die Streichfarbe schneller entwässert und das Risiko für Filamentbildung sinkt [30].

Raues Rohpapier hat lokal eine unterschiedliche Saugfähigkeit für die flüssige Phase der Streichfarbe. An Orten, an denen die Saugfähigkeit nicht hoch ist, bleibt die nicht immobile Phase bis zum Nipausgang groß und somit kommt es an diesen Stellen zur Filamentbildung. Bei einem weniger rauen Papier ist die Wahrscheinlichkeit für das Auftreten von Orange Peel bzw. Misting geringer [15, 30, 25, 26, 19]. In Abbildung 6.1.6.1 ist die Intensität von Misting und Orange Peel bei unterschiedlicher Rauigkeit der Papiere zu sehen. Orange Peel tritt bei Rohpapiersorten mit mehr Füllstoffen (dichteres Papier) seltener auf [15].

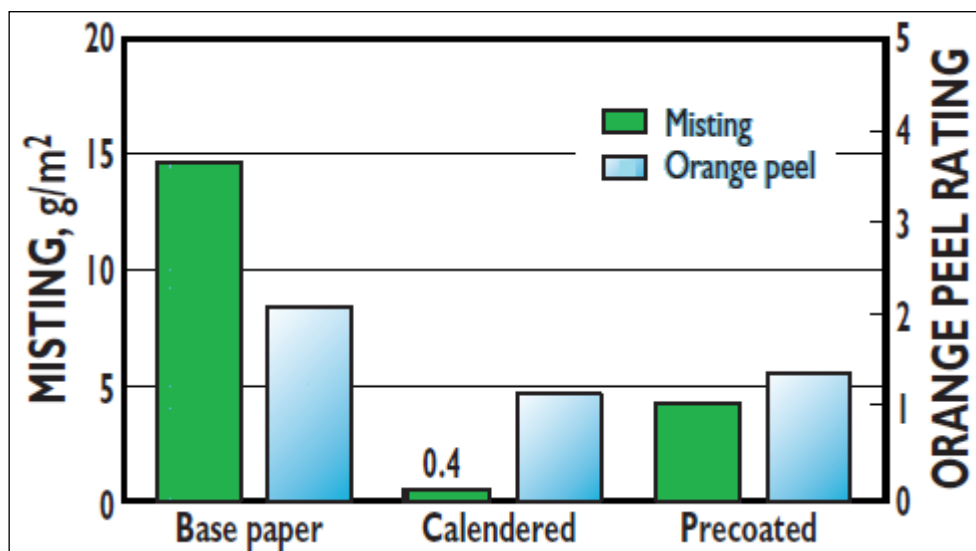


Abb.6.1.6.1: Misting und Orange Peel in Abhängigkeit von der Papierrauigkeit [17]

### 6.1.7 Oberflächenspannung

Trennt sich die Streichfarbe am Nipausgang der Filmpresse auf, ergibt sich wie in Abbildung 6.1.7.1 zu sehen ist abhängig von der Oberflächenspannung der Splittingpunkt.



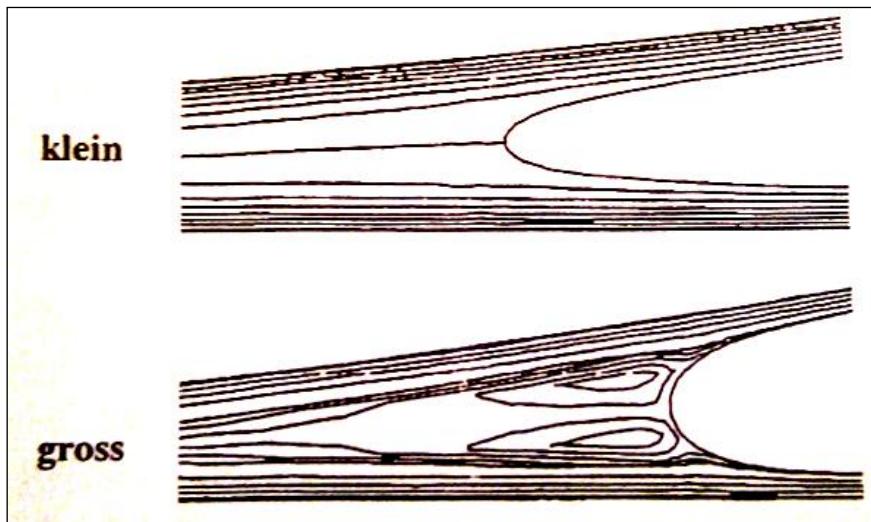


Abb.6.1.7.1: Einfluss der Oberflächenspannung auf die Filamententstehung [33]

In Abbildung 6.1.7.1 ist zu sehen, dass bei einer geringen Oberflächenspannung der Splittingpunkt der Streichfarbe weiter in Richtung Spalt stattfindet. Das gegenteilige Szenario findet bei einer höheren Oberflächenspannung statt. Daher liegt der Gedanke nahe, dass bei einer höheren Oberflächenspannung mehr Filamente entstehen, da dabei mehr Streichfarbe aus dem Nip mit hinaus genommen wird [26, 33].

#### 6.1.8 High Shear Viskosität

Wie schon in Kapitel 5 erklärt wurde, liegen die Scherraten im Nip einer Filmpresse für übliche Anwendungen und Strichgewichte im Bereich von  $10^4$ - $10^5$  [1/s]. In [14, 25, 23, 29, 30] wird beschrieben, dass für eine Reduzierung der Filamentbildung eine niedrige high shear Viskosität nötig ist. Ein definierteres Splitten der Streichfarbe im Nip tritt bei einer niedrigeren Viskosität auf [14].

Die high shear Viskosität wird vor allem von Verdicker erhöht [15]. Dadurch sind mit der höheren Wasserretention und somit hoch bleibenden nicht immobilen Phase mehr Filamente zu erklären.

#### 6.1.9 Dehnviskosität

Bei Streichfarben mit einer hohen Dehnviskosität, auch „extensional viscosity“ genannt, können sich die entstandenen Filamente zu längeren Fäden ziehen lassen. Dementsprechend wandern die langgezogenen Fäden weiter aus dem Nip hinaus und brechen; dabei entsteht mehr Misting (siehe Abbildung 6.3). Allgemein ist zu sagen, dass bei einer niedrigen Dehnviskosität eine geringere Wahrscheinlichkeit für Misting vorliegt [14, 31, 29, 25, 36].

### 6.1.10 Speicher- und Verlustmodul

Das Speichermodul stellt im Wesentlichen den elastischen Anteil und das Verlustmodul den viskosen Anteil einer Streichfarbe dar. Ähnlich wie die Dehnviskosität führt ein erhöhtes Speichermodul dazu, dass mehr Misting aufgrund von höherer Elastizität der Streichfarbe auftritt [21]. In [25] wird beschrieben, dass der Verlustmodul so hoch und das Speichermodul so niedrig als möglich sein sollte, um Filamentbildung zu verhindern.

### 6.1.11 Luftgehalt der Streichfarbe

Bei der Dispergierung der Inhaltsstoffe einer Streichfarbe können Luftblasen durch das Rühren, in die Streichfarbe eingebracht werden. Weiters kann durch Lufteinschlüsse von gewissen Inhaltsstoffen (z.B. Pigmente in Pulverform) Luft in die Streichfarbe mit eingetragen werden. Bei hohen Luftmengen im Strich werden vermehrt Filamente erzeugt [24, 26, 27, 20]. Dieses Phänomen unterstützt die Filamentbildung wie in Abbildung 6.1.11.1 zu sehen ist. Nachdem die Streichfarbe durch einen bikonkaven Spalt hin durchgequetscht wird, tritt am Austritt ein kurzzeitiger negativer Druckimpuls auf. Dadurch haben die Luftblasen im Nip, wo der Druck am höchsten ist, das kleinste Volumen und am Nipausgang das größte Volumen (die Luftblasen sind am Nipausgang am Größten) bzw. können durch das Unterschreiten des Dampfdruckes von Wasser, Wasserdampfblasen entstehen [24]. Dies bedeutet, dass aufgrund der großen Luftblasen die nicht immobile Schicht am Nipausgang zur Filamentbildung animiert wird.

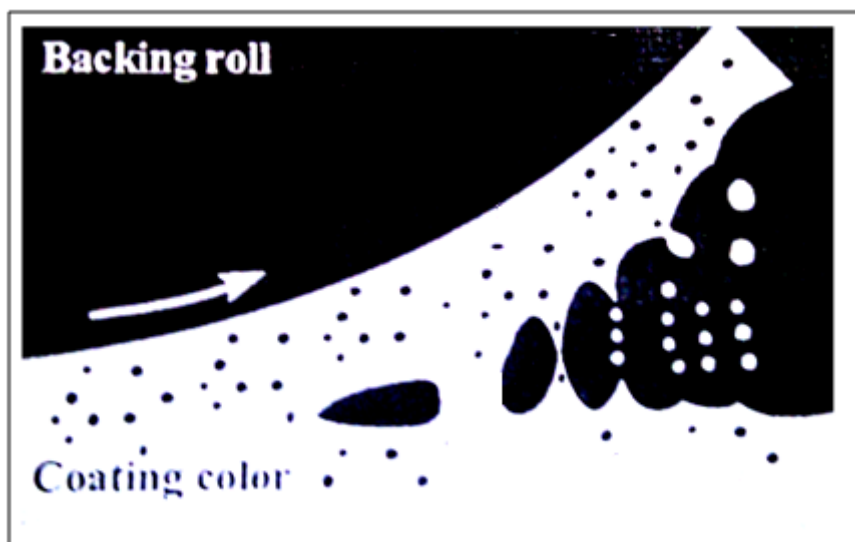


Abbildung 6.1.11.1 Einfluss des Luftgehaltes auf die Filamentbildung [20]

In Abbildung 6.1.11.2 wird der Einfluss von schaumbildenden Substanzen (surfactant) und der Entgasung (deareator) auf den Luftgehalt der Streichfarbe bzw. auf Misting und Orange

Peel gezeigt. Es ist zu erkennen, dass bei steigendem Luftgehalt und nicht verwendeter Entgasung, Misting und Orange Peel vermehrt auftritt.

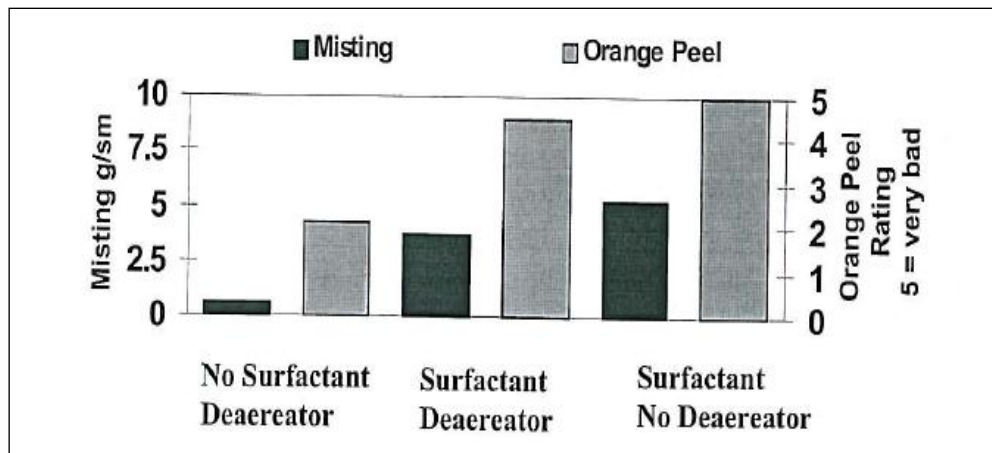


Abbildung 6.1.11.2: Einfluss einer schaubildender Substanz und Entgasung auf Misting und Orange Peel [26]

### 6.1.12 Zusammenfassung

Durch die Probleme an der Papiermaschine und den Beobachtungen der Belegschaft in EHINGEN wurde vermutet, dass das Stauben an der Papiermaschine in EHINGEN in Zusammenhang mit der Streichfarbe VST4, der Papiersorte Presto Silk und Misting bzw. Orange Peel steht.

Beschäftigt man sich mit Misting und Orange Peel, so besteht der erste Schritt in der Auseinandersetzung mit dem Thema Streichen von Papieroberflächen. Dazu wurden die gängigen Streichverfahren, die Inhaltsstoffe und Eigenschaften einer Streichfarbe näher betrachtet. Der zweite Schritt bestand in der Behandlung der Rheologie von Streichfarben. Es stellte sich heraus, dass besonders die Filamentbildung (siehe Abbildung 6.2) und die nicht immobile Strichschicht (Abbildung 6.1) am Nipausgang der Filmpresse entscheidende Rollen für die Entstehung von Misting und Orange Peel spielen. Wie schon in Kapitel 6.1 erklärt wurde, werden die Filamentbildung und die nicht immobile Strichschicht von mehreren Faktoren beeinflusst. Dabei wirkt sich eine hohe Transferrate, ein niedriges Strichgewicht, ein hoher Trockengehalt, eine geringe Maschinengeschwindigkeit, eine entsprechende Wasserretention und Oberflächenspannung, eine niedrige high shear Viskosität, ein niedriges Speichermodul, ein hohes Verlustmodul sowie ein niedriger Luftgehalt der Streichfarbe, positiv auf eine Verringerung der Filamentbildung und nicht immobile Schicht aus. Die Folge daraus ist, dass auch Misting und Orange Peel dadurch reduziert werden.

## 7. Methodischer Zugang

Während der Produktion einer holzfreien gestrichenen Papiersorte (Presto Silk) von Sappi Ethingen, tritt ein weißer, sehr feiner Staub zwischen der Aufrollung der Papiermaschine, dem Umroller und der Abrollung der Streichmaschine auf. Dieser Staub verursacht Beläge an den Sensoren und ist somit unerwünscht. Beobachtungen der Belegschaft von Sappi Ethingen ergaben, dass der Staub dem Papiergefüge während der Umdrehung des Tambours (vor allem beim Umroller und der Abrollung der Streichmaschine) entweicht. Weitere Beobachtungen der Belegschaft ergaben, dass die Intensität des Staubens stark von der verwendeten Strichrezeptur und dem produzierten Papier abhängt. Den Informationen aus Ethingen zufolge, war die Staubentwicklung am stärksten, wenn die Papiersorte Presto Silk in Kombination mit der Streichfarbe VST4 produziert wird. Daher lag der Gedanke nahe, dass die Strichrezeptur VST4 und die Papiersorte Presto genauer analysiert werden müssen. Daraus konnte weiters geschlossen werden, dass die Problembewältigung sich nicht nur auf die Auf- und Abrollungen der Papiermaschine beschränkt, sondern auch die Rheologie von Streichfarben genauer betrachtet werden muss. Jedoch können mit diesen Informationen keine eindeutigen Ursachen für das Auftreten des Staubes festgestellt werden bzw. beinhalten die Information auch keine Auskunft, ob es sich bei dem Staub um feine, getrocknete Streichfarbe handelt. Daher wurden folgenden drei Hypothesen für das Entstehen des Staubes formuliert:

- In der Hypothese eins wird beschrieben, dass bei auftretendem Misting am Ausgang der Filmpresse die Nebeltröpfchen auf die schon großteils immobile Strichschicht fallen und dadurch schlecht an der Papieroberfläche gebunden sind. In weiterer Folge werden die getrockneten Tröpfchen bei der Beanspruchung der Auf- und Abrollung von der getrockneten Oberfläche gelöst und werden als Staubkörner aus dem Papiergefüge hinausgeschleudert. Die Form und Größe des Staubes entspricht für diese Hypothese den getrockneten Nebeltröpfchen.
- Die zweite Hypothese besagt, dass Misting oder Orange Peel die Ursache für das Stauben ist. In dieser Hypothese wird angenommen, dass die Papierlagen während der Aufrollung stark aneinander reiben und somit einen Abrieb an den Papieroberflächen verursachen. Ähnlich wie bei der vorherigen Hypothese fallen in dieser Annahme die Mistingtröpfchen auf die gestrichene Papieroberfläche, jedoch werden sie aufgrund von den herrschenden Reibungskräften zwischen den Papierlagen bei der Aufrollung der Papiermaschine fein zu Staub zermahlen. Oder das auftretende Orange Peel (hügelige Oberfläche des gestrichenen Papiers) wird bei der Auf- und Abrollung mittels Reibung zwischen den Papierlagen fein zermahlen.

In dieser Hypothese entspricht die Größe der Staubkörner (sehr klein) nicht den getrockneten Mistingtröpfchen.

- Die letzte und dritte Hypothese beschreibt, dass durch die hohe Saugkraft des Rohpapiers mit der wässrigen Phase eine große Bindermenge (vor allem die wasserlösliche Stärke) in das Rohpapier übergeht. Diese Bindermenge fehlt dann für die nötige Bindung der Pigmente an der Papieroberfläche und somit verlassen schlecht gebundene Pigmente bzw. Streichfarbenteile während der Auf- und Abrollung als Staub die Oberfläche. In diesem Fall tritt eine Binderverarmung auf.

Damit die genaue Ursache für das Auftreten des Staubes gefunden wird und um eine der Hypothesen belegen zu können, müssen mehrere Messungen bzw. Untersuchungen durchgeführt werden. Vor allem muss geklärt werden, ob es sich bei dem Staub um einen Streichfarbe handelt, ob Misting oder Orange Peel an der Filmpresse auftreten und mit welcher Intensität das Stauben erscheint. Geeignete Messungen für die Verifizierung von Orange Peel müssen an Papierproben unterschiedlicher Sorte ausgewählt und durchgeführt werden. Auch die Einflüsse des Trockengehalts, der Viskositäten (Dehn- und high shear), der Wasserretention, der Binderart und des Binderanteiles und der Oberflächenspannung auf die Streichfarbe bzw. daraus folgenden Neigung zur Bildung von Filamenten und nicht immobilisierter Streichfarbe (siehe Kapitel 6.1.12) müssen mittels geeigneten Messungen analysiert werden. Um verwendbare Ergebnisse für die Prüfung der Hypothesen zu erhalten, wurden die Messungen bzw. Untersuchungen im Wesentlichen in vier Abschnitte gegliedert:

1. Im ersten Abschnitt der Messungen soll der Staub hinsichtlich seiner Form und Größe mittels einem Mikroskop untersucht werden. Zum Vergleich werden Mistingtröpfchen herangezogen, die mittels eines schwarzen Blattes am Ausgang einer Filmpresse entnommen wurden. Hierbei soll geklärt werden, ob der Staub wie in der Hypothese eins beschrieben wird, aus ganzen Mistingtröpfchen oder wie in der zweiten Hypothese dargestellt wurde, aus fein zermahlenden Staubkörnern besteht. Auch der Bindemittelgehalt des Staubes soll geklärt werden, um zu zeigen ob der Staub von der Streichfarbe stammt bzw. in weiterer Folge um mögliche Bindemittelverarmung aufzuzeigen. Weiters soll im ersten Teil geklärt werden wie hoch die Mistingintensität an der Filmpresse in Eningen ist. Diese Messung soll mittels eines schwarzen Blattes am Ausgang der Filmpresse durchgeführt werden (hinausgeschleuderte Mistingtröpfchen bleiben am schwarzen Blatt haften). Die Staubintensitätsmessung die an den Auf- und Abrollungen der Papiermaschine, Umroller und Streichmaschine durchgeführt wird, soll zeigen an welcher Stelle die Staubentwicklung am höchsten ist.

2. Im zweiten Abschnitt sollen Unterschiede zwischen den verschiedenen Papiersorten aus Ehingen bezüglich der Rauigkeit gezeigt werden. Vor allem werden Papiersorten verglichen, die abweichende Staubentwicklungen (laut Maschinenpersonal) aufweisen. Weiters soll in diesem Abschnitt mittels eines Burnout Tests und einer anschließenden Untersuchung durch einer Computersoftware geklärt werden, ob Orange Peel bei der Papiersorte Presto Silk auftritt. Dafür werden mehrere Papiersorten aus Ehingen als Vergleich dienen.
3. Der dritte Abschnitt behandelt das Ansetzen von Streichfarben und deren Messungen bzw. Untersuchungen. Die hergestellten Streichfarben sollen unterschiedliche Trockengehalte, Binderarten, Binder- und Verdickeranteile aufweisen um Veränderungen bezüglich Viskosität, Dehnviskosität, Schub- und Verlustmodul, Wasserretention und Oberflächenspannung messen zu können. Mit diesen Ergebnissen können Rückschlüsse auf die Neigung der Streichfarbe zur Bildung von Filamenten bzw. zur Bildung einer hohen nicht immobilen Strichschicht geschlossen werden (siehe Kapitel 6.1.12).
4. Im letzten Abschnitt der Messungen sollen auf Basis und Interpretation der Ergebnisse der vorigen Abschnitte Streichfarben hergestellt werden, die die Eigenschaften besitzen wenig Misting und Orange Peel hervorzurufen. In weiterer Folge werde diese Streichfarben mit der kritischen Streichfarbe VST4 und der Streichfarbe VST10 aus Ehingen hinsichtlich Viskosität, Dehnviskosität, Wasserretention, Speicher- und Verlustmodul verglichen, um eventuelle Unterschiede bezüglich der Neigung zur Bildung von Filamenten bzw. Misting und Orange Peel aufzuzeigen.

Die Hypothesen eins und zwei betreffend Misting und Orange Peel, werden durch die bekannte Tatsache untermauert, dass der Trockengehalt der Streichfarbe VST4 in Ehingen mit 65% relativ niedrig ist und die gewünschten Strichgewichte mit meist über 9 [g/m<sup>2</sup>] pro Seite relativ hoch sind. Weiters war auffällig, dass die Strichrezeptur VST4 für die kritische Papiersorte Presto Silk mit sehr hohen Verdicker und Stärkeanteilen ausgelegt ist (siehe Tabelle 7.1.6.1). Bekannt war auch, dass die Rauigkeit der Papiersorte Presto höher ist als andere Papiersorten wie z.B. Quatro Silk und Mega Silk. Wie schon aus dem Kapitel 6 bekannt ist, führt ein geringer Trockengehalt, ein hohes Strichgewicht, eine hohe high shear Viskosität (hohe Verdicker- und Stärkeanteile) der Streichfarbe und eine hohe Rauigkeit des Rohpapiers zu vermehrter Filament- und nicht immobiler Strichschichtbildung und in weiterer Folge zu Misting und Orange Peel (siehe Kapitel 6.1.12).

## **7.1 Material und Methoden**

In diesem Kapitel werden die verwendeten Messmethoden und die Herstellung der Streichfarben näher erklärt. Auch die Erklärung für die Auswahl der Strichrezepturen befindet sich in diesem Kapitel. Bis auf die Oberflächenspannungsmessung (Institut für Papier.- und Zellstofftechnik) und die Filament Streching Messung (Institut für Strömungs.- und Wärmelehre), erfolgten alle in der Firma Sappi Fine Paper Europe R&D Gratkorn. Die Bindemittelgehälter wurden von dem Laborpersonal in Sappi Gratkorn bestimmt und die Messung der Intensität von Misting und des Staubens wurden vom Produktionspersonal in Sappi Ehingen durchgeführt.

### **7.1.1 Mikroskopische Untersuchung des Hallenstaubes**

Da man sich nicht sicher war, ob es sich bei dem Hallenstaub um Mistingtropfen handelt, wurde der Hallenstaub aus Ehingen mit Mistingtropfen unter dem Mikroskop verglichen. Die Untersuchung wurde bei 250-facher, 1000-facher und 2000-facher Vergrößerung durchgeführt. Die Mistingtropfen stammen von einer unbekanntem Filmpresse, an welcher mittels eines schwarzen Blatt Papiers am Nipausgang die Tropfen entnommen worden sind. Für die Untersuchung wurden die Tropfen vom schwarzen Blatt vorsichtig mit einem Messer herunter gekratzt.

### **7.1.2 Messung der Intensität von Misting an der Papiermaschine**

Um die Intensität von Misting zu erfassen, wurden während des Produktionsbetriebs (1100 m/min) vom Maschinenpersonal an der Filmpresse Messungen durchgeführt. Wie schon aus dem Kapitel 6 bekannt ist, handelt es sich bei Misting um Streichfarbentröpfchen die aufgrund von gerissenen Filamenten aus dem Nip der Filmpresse hinausgeschleudert werden. Die Messung erfolgte mittels einem schwarzen A4 Blatt Papier, welches für 20 Sekunden an dem Nipausgang der Filmpresse gehalten wurde. Dadurch wurden die Mistingtröpfchen auf die Oberfläche des schwarzen A4 Blattes geworfen. Die Mistingtröpfchen bleiben aufgrund ihrer Feuchtigkeit an der Papieroberfläche haften.

### **7.1.3 Messung der Intensität des Staubens an der Papiermaschinen**

In dem Kapitel 7 wurden mehrere Hypothesen formuliert die auch beinhalten, dass der Staub aufgrund von Reibungskräften zwischen den Papierlagen bei der Auf- und Abrollung entsteht. Daher liegt der Gedanke nahe, dass bei mehrmaligen Auf- und Abrollen der Tamboure mehr Staub entsteht. Deshalb wurde mit einem schwarzen Filz und einem Dusting Gauge (siehe Abbildung 7.1.3.1) Staubmessungen bei der Aufrollung der Papiermaschine, der Auf- und Abrollung des Umrollers und der Abrollung der Streichmaschine durchgeführt.



Der schwarze Filz wird per Hand mit dem Saugnapf des Dusting Gauge für 4 Sekunden gegen den zu untersuchenden, rotierenden Tambour gedrückt, wodurch der Staub, der sich an der Papieroberfläche befindet, am Filz haften bleibt. Um die Schwankungen des Anpressdruckes auszugleichen, befindet sich eine Feder im Inneren des Dusting Gauge. Für eine Messreihe wurde dies immer am selben Tambour durchgeführt.



Abb.7.1.3.1: Dusting Gauge

#### **7.1.4 Messung der Rauigkeit von Papierproben aus Ehingen**

Da nicht klar war, weshalb der Hallenstaub nur bei einer bestimmten Papiersorte (Presto Silk) vermehrt auftritt obwohl der Stoffeintrag sich nur marginal von den anderen Sorten unterschied, wurden Rauigkeitsmessungen an verschiedenen Papiersorten durchgeführt. Bei den Papierproben handelte es sich um einfach gestrichene Papiere. Es konnten keine ungestrichenen Papierproben vermessen werden, da keine Muster dafür vorhanden waren. Die Rauigkeit wurde nach der ISO 8791-4 Norm (Parker Print Surf) gemessen. Hierfür wurden verschiedene Proben aus Ehingen angefordert, um eventuelle Unterschiede zwischen den Papiersorten mit auftretendem Hallenstaub und Papiersorten ohne auftretendem Hallenstaub zu beobachten.

#### **7.1.5 Burnout Test und Mottle Analyse**

Der Burnout Test dient dazu, dass Analysen bzw. Beobachtungen bezüglich der Abdeckung der Rohpapieroberfläche von der Streichfarbe durchgeführt werden können. Ziel war es, mögliches Orange Peel mit dieser Methode sichtbar zu machen. Um einen Burnout Test durchführen zu können, wurden auf die Papierproben eine Ammonium-Chlorid Lösung gestrichen. Danach wurde die Papieroberfläche mit Heißluft eines Heißluftföns (Bosch PHG 600-2 CE) bearbeitet. Für alle Burnout Tests wurde die höchste Einstellung des Heißluftföns gewählt. Als Folge der Hitzeeinwirkung, karbonisieren die Fasern unter der Strichschicht und werden schwarz, somit sind Inhomogenitäten der Strichschicht gegenüber des schwarzen Untergrunds ersichtlich [26]. Durch die schwarze Färbung der Fasern infolge des Burnout Tests wird der Unterschied zwischen den Fasern und der Strichschicht, welche weiß bleibt,



sichtbar. Dies bedeutet je weniger Strichschicht an der behandelten Stelle vorhanden ist, umso dunkler ist diese. Ein Beispiel für eine Burnout Probe ist in Abbildung 7.1.5.1 zu sehen.



Abb.7.1.5.1: Burnout Probe [26]

Nachdem die Proben mittels eines Burnout Tests behandelt wurden, wurde eine Mottle (Fleckigkeits) Analyse durchgeführt, um etwaige Inhomogenitäten hervorgerufen von Orange Peel festzustellen. Da aber für diese Untersuchung von Papieroberflächen keine geeigneten Normen existieren, wurde die Untersuchung mittels einer betriebsinternen Software (nur für Vergleichsmessungen geeignet) der Firma Sappi Europe Fine Paper R&D Gratkorn durchgeführt. Die Bezeichnung für diese Software ist Mottle and Marking Analyse.

Eine Fläche von 6,45 [cm<sup>2</sup>] der Proben wurde eingescannt und in die Software eingelesen. Diese Bilder wurde dann von der Software in mehreren Auflösungsstufen bzw. Mottle-Größen unterteilt, um den Mottle-Index (siehe Formel 19 und Formel 20) der jeweiligen Auflösung bzw. Mottle-Größe zu erhalten. Dadurch ist es möglich Unterschiede der Strichschichtdicke zu interpretieren bzw. die Intensität von Orange Peel in der jeweiligen Größenordnung zu messen. Jeder eingelesene Pixel erhält von der Software, einen digitalen Wert (Luminance Value) bei einer Skala von 0-255, welcher der Farbe entspricht, wobei 0 für absolut Schwarz und 255 für absolut Weiß steht. In Abbildung 7.1.5.2 sind digitale Werte (Luminance Value) von mehreren Pixeln zu sehen. Die einzelnen Mottle-Größen und deren Luminance Values werden miteinander verglichen, und daraus wird der Mottle-Index berechnet (siehe Formel 19 und Formel 20) [44]. Es ist davon auszugehen, dass ein hoher Mottle-Index bei der jeweiligen Auflösung, große Luminance Value Unterschiede aufweist. Ein hoher Mottle-Index signalisiert, dass viele Bereiche der Papierprobe starke Schwankungen bezüglich der Farben schwarz und weiß aufweisen. Dies würde bedeuten, dass zwischen den automatisch unterteilten Mottle-Größen große Unterschiede bezüglich der

Strichschichtdicke herrschen. Da eine hohe Strichschichtdicke die Papierprobe weißer und eine niedrige Strichschichtdicke die Papierprobe schwärzer erscheinen lässt. Ausgehend davon, spricht ein hoher Mottle-Index, für eine hohe Wahrscheinlichkeit für auftretendes Orange Peel [44].

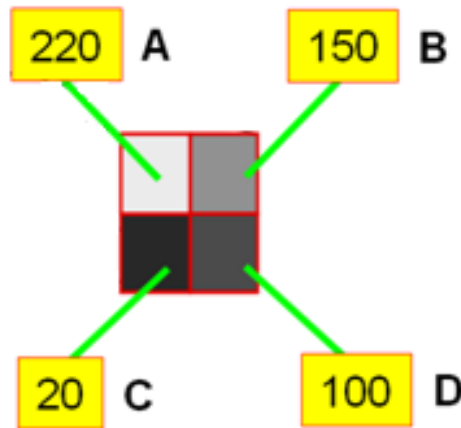


Abb.7.1.5.2 Luminance Value der Pixel [44]

$$MI = AD * B * C \quad \text{Formel (19)}$$

$$AD = \{Abs(LVPA - LVPB) + Abs(LVPA - LVPC) + \dots + Abs(LVPY - LCPZ)\} \quad \text{Formel (20)}$$

MI... Mottle Index

AD... Absolut Differenz der Luminance Values von den einzelnen Pixeln

B... Standardabweichung der Differenzen

C... Standardabweichung zum Mittelwert der Differenzen

LVP1... Luminance Value des Pixels A der untersuchten Probe

LVP2... Luminance Value des Pixels B der untersuchten Probe

LVP3... Luminance Value des Pixels C der untersuchten Probe

LVPy... Luminance Value des vorletzten Pixels der untersuchten Probe

LVPz... Luminance Value des letzten Pixels der untersuchten Probe

### 7.1.6 Herstellung und Namensgebung der Streichfarben

Ausgehend davon, dass für die problematische Papiersorte Presto Silk in Ehingen immer die gleiche Strichrezeptur (VST4) mit dem selben Trockengehalt (65 Prozent) verwendet wurde (siehe Tabelle 7.1.6.1), war es naheliegend, dieselben Inhaltsstoffe für die zu untersuchenden Streichfarben zu nehmen. Als zusätzliche Information aus Ehingen galt, dass bei Papiersorten, welche mit der Streichfarbenrezeptur VST10 produziert wurden, keine gravierenden Hallenstaubmengen auftraten, wobei es die einzige weitere Streichfarbe war, welche für die Erzeugung von Papieren in Ehingen verwendet wurde. Vom Standort Ehingen

wurde gewünscht, dass lediglich die Strichrezeptur VST4 bezüglich Binder- und Verdickeranteil bzw. der Trockengehalt, verbessert werden sollte. Dies bedeutet, dass immer die gleichen Binder- und Verdickerarten sowie gleiche Anteile an optischen Aufhellern und von der Natronlauge abhängige pH-Werte, verwendet wurden. Die Bezeichnungen der Streichfarbennamen sind unten angeführt und die genauen Strichrezepturen der hergestellten Streichfarben sind im Anhang zu finden.

Tab.7.1.6.1: Strichrezepturen Ehingen

Anteil	VST4	VST10
HC 60 GU	70	70
HC 60 BG	30	30
Basonal 2320.3 (Latex)	3	10
ICoat 07525	3	
Enzym. Stärke	6	2
Blankophor PT (OBA)	0,08	0,08
Sterocoll FS (Verdicker)	0,25	0,05
NaOH	0,1	0,1
TG [Prozent]	65	65

Um eine Streichfarbe anfertigen zu können, müssen zunächst die Rezeptur, die dazugehörigen Bestandteile (siehe z.B. Tabelle 7.1.6.1) und der gewünschte Trockengehalt bekannt sein. Dabei wurden alle benötigten Bestandteile nacheinander, beginnend mit der Zutat mit dem höchsten Anteil, in ein Gefäß mit einem Volumen von zwei Liter unter Rühren bei niedriger Drehzahl mittels eines Rührwerkes, geschüttet. Um eine ausreichende Dispergierung der Inhaltsstoffe zu erhalten wurde die Drehzahl des Rührwerkes auf ca. 500 [U/min] eingestellt. Nach 15 Minuten Dispergierung wurde der Trockengehalt gemessen. Dies erfolgte mittels einem Mikrowellen-Schnellanalysator SMART STM von der Firma CEM. Im Falle eines zu hohen Trockengehaltes bei einer Toleranz von 0,25 Prozentpunkten, wurde die nötige fehlende Wassermenge berechnet und der Streichfarbe hinzugefügt. Nach nochmaligen fünf Minuten und einer Drehzahl von 500 [U/min] wurde der Trockengehalt wieder überprüft. Falls die Streichfarbe jedoch einen zu niedrigen Trockengehalt aufweist (bei einer Toleranz von 0,25 Prozentpunkten), musste die Streichfarbe neu angefertigt werden.

Nachdem mehrere Messreihen und somit eine große Datenmenge an Ergebnisse nötig waren, um die Einflüsse der Komponenten der Streichfarben zu erörtern, wurden Abkürzungen für die Namensgebung der erzeugten und untersuchten Streichfarben gewählt. Die Abkürzungen beziehen sich auf die Inhaltsstoffe und den Trockengehalt der Streichfarbe.

Der erste Buchstabe der Namensgebung, deutet auf den Trockengehalt hin, so steht A für 65 Prozent, B für 67,5 Prozent und C für 70 Prozent Trockengehalt. Die weiteren Buchstaben lassen die Binderart bzw. den Verdicker erkennen, wie L für Latex, I für iCoat (Trockenstärke), C für Collamyl (enzymatische Stärke) und v für Verdicker. Die angeführten Zahlen signalisieren den Binder.- und Verdickeranteil, bezogen auf die Pigmentmenge. Somit bedeutet die Namensgebung BL7,5C5v0,25, dass dieser Strich einen Trockengehalt von 67,5 Prozent, einen Latexanteil von 7,5 und einen Collamylanteil von 5 sowie einen Verdickeranteil von 0,25 hat. Die Anteile des optischen Aufhellers und der Natronlauge wurden konstant gehalten. Als Pigment für die hergestellten Streichfarben wurde Calciumkarbonat (HC60) gewählt. Die genauen Strichrezepturen sowie die Temperatur und pH-Werte der hergestellten Streichfarben sind im Anhang zu finden.

Da die enzymatische Stärke ca. nur eine halb so große Bindungsstärke aufweist wie Latex oder iCoat, mussten hierbei immer die doppelten Anteile verwendet werden. Dabei stieß man auf das Problem, höhere Trockengehalte für die zu erzeugenden Streichfarben nicht mit hohen enzymatischen Stärkeanteilen zu erreichen, da diese nur einen Trockengehalt von ca. 30 Prozent haben. Deshalb waren Streichfarben mit enzymatischer Stärke als einzigen Binder nicht möglich.

### 7.1.7 Hergestellte Streichfarben

In diesem Kapitel wird erklärt, welche Streichfarben hergestellt und für welche Messung bzw. Messmethode sie verwendet wurden, um die Einflüsse von Trockengehalt, Binderart, Binder- und Verdickeranteil auf die Veränderung (Messziel) von Viskosität, Dehnviskosität, Schub- und Verlustmodul, Wasserretention und Oberflächenspannung untersuchen zu können. Mit diesen Veränderungen können Rückschlüsse auf die Neigung der Streichfarbe zur Bildung von Filamenten bzw. zur Bildung einer hohen nicht immobilen Strichschicht geschlossen werden (siehe Kapitel 6.1.12). In der Tabelle 7.1.7.1 sind die Streichfarben und die Erklärung des Messziels dargestellt. Die Bedeutung der Abkürzungen der Streichfarbenrezepturen sind in Kapitel 7.1.6 zu finden. Im Anhang sind die genauen Rezepturangaben der Streichfarben dargestellt. Die Ergebnisse der Messungen und Untersuchungen sind in Kapitel 8 angeführt.

Tab.7.1.7.1 Hergestellte Streichfarben

<b>Streichfarben</b>	<b>Messmethode</b>	<b>Messziel</b>
<b>AI5C10, BI5C10, CI5C10</b> <b>AL10, BL10, CL10</b>	Brookfield Viskosimeter (Kapitel 7.1.8) und AA- GWR (Kapitel 7.1.10)	Einfluss des Trockengehaltes und der Binderart auf die Veränderung der Brookfield- Viskosität und Wasserretention

<b>BL10, BL7,5C5, BL5I5, BLI10, BI5C10</b>	Brookfield Viskosimeter (Kapitel 7.1.8) und AA- GWR (Kapitel 7.1.10)	Einfluss der Binderart auf die Veränderung der Brookfield- Viskosität und Wasserretention
<b>BL10C2v0,125, BL10C2v0,25, BL10C2v0,375</b>	Brookfield Viskosimeter (Kapitel 7.1.8)	Einfluss des Verdickeranteils auf die Brookfield- Viskosität
<b>AL10, BL10, CL10</b>	Paar Physica (Kapitel 7.1.8) und ACAV A2- Kapillare (Kapitel 7.1.8)	Einfluss des Trockengehaltes auf die Viskosität über den gesamten Scherratenbereich
<b>AL10, AI10, AI5C10</b>	Paar Physica (Kapitel 7.1.8) und ACAV A2- Kapillare (Kapitel 7.1.8)	Einfluss der Binderart auf die Viskosität über den gesamten Scherratenbereich
<b>BL3I4C6, BL3I4C6v0,1, BL3I4C6v0,2</b>	Paar Physica (Kapitel 7.1.8) und ACAV A2- Kapillare (Kapitel 7.1.8)	Einfluss des Verdickeranteils auf die Viskosität über den gesamten Scherratenbereich
<b>CL3I4C4, CL2I4C4, CL1I4C4, CL3I3C4, CL3I2C4, CL3I4C2</b>	Paar Physica (Kapitel 7.1.8) und ACAV A2- Kapillare (Kapitel 7.1.8)	Einfluss der Bindermenge bzw. Binderart auf die Viskosität über den gesamten Scherratenbereich
<b>AL10, CL10</b>	Paar Physica (Kapitel 7.1.8)	Einfluss des Trockengehaltes auf den Speicher- und Verlustmodul bzw. den Verlustwinkel
<b>AL10, AI10, AI5C10</b>	Paar Physica (Kapitel 7.1.8)	Einfluss der Binderart auf den Speicher- und Verlustmodul bzw. den Verlustwinkel
<b>BL3I4C6, BL3I4C6v0,1, BL3I4C6v0,2</b>	Paar Physica (Kapitel 7.1.8)	Einfluss des Verdickeranteils auf den Speicher- und Verlustmodul bzw. den Verlustwinkel
<b>AI5C10, BI5C10</b>	ACAV A2- Messblende (Kapitel 7.1.8)	Einfluss des Trockengehaltes auf die Dehnviskosität

<b>BL10, BI10, BI5C10</b>	ACAV A2- Messblende (Kapitel 7.1.8)	Einfluss der Binderart auf die Dehnviskosität
<b>BL3I4C6, BL3I4C6v0,1, BL3I4C6v0,2, BL10C2v0,125, BL10C2v0,25, BL10C2v0,375</b>	ACAV A2- Messblende (Kapitel 7.1.8)	Einfluss des Verdickeranteils auf die Dehnviskosität
<b>AI5C10, BI5C10, AL10, CL10, AI10, BL10C2v0,125, BL10C2v0,375</b>	Filament Stretching Elongational Rheometer (Kapitel 7.1.9)	Einfluss des Trockengehaltes, Binderart und des Verdickeranteils auf die Relaxationszeit
<b>AI5C10, BI5C10, AL10, CL10, AI10, BL10C2v0,125, BL10C2v0,375</b>	Interfacial Tensiometer (Kapitel 7.1.11)	Einfluss des Trockengehaltes, Binderart und des Verdickeranteils auf die Oberflächenspannung
<b>AL3I4C4, AL3I4C4v0,25, CL3I4C4, CL3I3C2</b>	Zentrifuge (Kapitel 7.1.10)	Einfluss des Trockengehaltes, Binder- und Verdickeranteils auf die Wasserretention
<b>V1, V2, V3, VST4, BL10C2v0,125 (VST10)</b>	Brookfield Viskosimeter (Kapitel 7.1.9), AA-GWR (Kapitel 7.1.11), Paar Physica (Kapitel 7.1.8) ACAV A2- Kapillare (Kapitel 7.1.8) und ACAV A2- Messblende (Kapitel 7.1.8)	Unterschiede bezüglich, Viskosität, Dehnviskosität, Wasserretention, Speicher- und Verlustmodul zwischen Streichfarben die theoretisch wenig Misting und Orange Peel verursachen (siehe Kapitel 8.10) und den Streichfarben aus Ehingen (VST 4 und VST10). Die Ergebnisse sind in Kapitel 8.11 zu finden.

### ***7.1.8 Messung der Temperatur, des pH-Wertes, der Viskosität, der Speicher- und Schubmodule und der Dehnviskosität***

Unmittelbar nach der Erzeugung der Streichfarbe wurde eine Temperaturmessung bzw. pH-Wert Messung zugleich mittels einem pH-Meter durchgeführt. Hierbei wurde der Messfühler des pH-Meters fast zur Gänze in die Streichfarbe eingetaucht. Nach einer Zeit von ca. 15 Sekunden wurden die Werte abgelesen und notiert. Beide Werte sind entscheidend für die

Interpretation der viskoelastischen Eigenschaften. Bei zu großen Temperaturunterschieden zwischen den einzelnen Streichfarbenproben dürfen aufgrund der Temperaturabhängigkeit der Viskosität keine Viskositätswerte miteinander verglichen werden. Der pH-Wert sollte zumindest über 7 liegen, da sich ansonsten das Calciumkarbonat im sauren Bereich aufzulösen beginnt.

Unmittelbar nach der Messung von Temperatur und pH-Wert, erfolgte mittels einem Brookfield digital viscometer RVDV-1+ eine Viskositätsmessung bei einer Drehzahl von 100 [U/min]. Die Messungen wurden mit der Spindel SC4 (siehe Abbildung 7.1.9.1) durchgeführt, welche aus einem Stab und einer angebrachten, glatten Scheibe besteht.

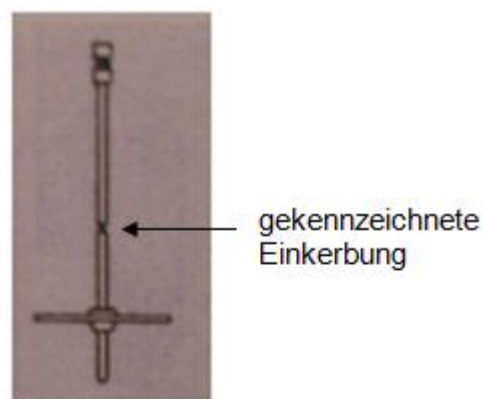


Abb.7.1.8.1 Spindel SC4 [13]

Der Scherratenbereich beträgt für diese Spindel und Drehzahl ca. 50 [1/sec]. Die Spindel wird für die Messung in den dafür vorgesehen Messbecher samt Probeninhalt bis zur gekennzeichneten Einkerbung eingetaucht. Die Messprobe übt einen Widerstand (abhängig von der Viskosität) gegen die rotierende Spindel aus. Dies bedeutet je höher der Widerstand der Messprobe gegenüber der rotierenden Krafteinbringung ist, umso höher wird das gemessene Drehmoment bzw. die daraus berechnete Viskosität sein. Die Berechnung der Viskosität wird von dem Messgerät durchgeführt. Nach Verstreichen der Messdauer von 30 Sekunden wurden die Werte notiert. Die Vorteile einer Viskositätsmessung mittels einem Brookfield viscometer sind die kurze Messdauer und die Einfachheit der Durchführung, jedoch sagen die erhaltenen Werte nur begrenzt etwas über das Verhalten bzw. die Viskosität der Streichfarbe während des Streichens aus. Hierfür sind die erzeugten Scherraten zu niedrig (siehe Kapitel 5).

Für höhere Scherraten, sowie für die Messung des Speicher- und Verlustmoduls wurde ein Paar Physica MCR 300 von Anton Paar verwendet. Ähnlich wie bei dem Brookfield Viscometer wird durch Rotation des Messkörpers die Messprobe geschert, wobei hier Scherraten von bis zu 45.000 [1/sec] erzeugt werden können. Die relativ hohen Scherraten

ergeben sich durch die höheren Drehzahlen des Messkörpers und des engen Spaltes (0,1 [mm]) zwischen Messkörper und Messbecher in dem sich die Messprobe befindet (siehe Abbildung 7.1.8.2). Als Messkörper wurde für alle Strichproben ein konzentrischer Zylinder mit einem Durchmesser von 28,72 [mm] und einer Höhe von 14,997 [mm] verwendet. Während des Messens wird die Messprobe auf konstante 40 [°C] mittels einer in das Paar Physica integrierten Heizung gehalten. Somit werden Abweichungen bezüglich der temperaturabhängigen Werte (Viskosität usw.) vermieden. Nach Beendigung der Messung werden die Daten an den angeschlossenen Computer transferiert und in ein Excel-File gespeichert. Dabei werden die Deformation, Schubspannung, Scherrate, Speicher- und Verlustmodul, Verlustwinkel der Streichfarbe und das Drehmoment als Daten ausgegeben.

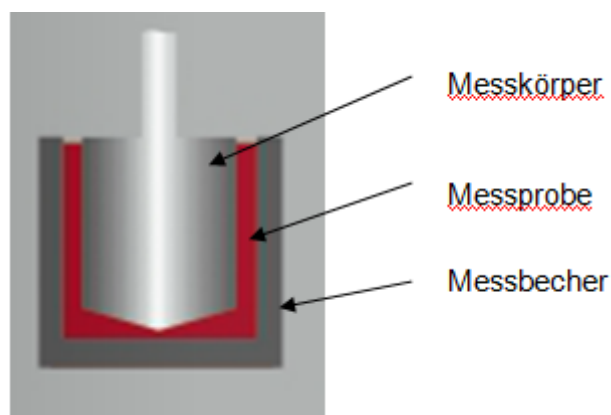


Abb.7.1.8.2 Messbecher, Messkörper und Messprobe des Paar Physica [13]

Um die Viskosität bei hohen Scherraten (high shear Viskosität) messen zu können, wurde das Viskosimeter ACAV A2 von der Firma ACA verwendet. Die Messprobe mit einem Volumen von 700 [ml] wird in die vorgesehene Messkammer des Viskosimeters eingefüllt. Für die Messung müssen vorher der Radius der Kapillare, die Dichte der Streichfarbe und die unterschiedlichen Anpressdrücke (Messpunkte) in das ACAV eingegeben werden. Während der Messung wird die Streichfarbe vom Viskosimeter durch eine interne Kapillare mit bekannter Länge (50 [mm]) und bekanntem Durchmesser (0,5 [mm]) gepresst. Für eine Messprobe können bis zu 15 unterschiedliche Anpressdrücke angegeben werden (15 Messpunkte). Aufgrund des herrschenden Druckunterschiedes zwischen Eintritt und Austritt der Kapillare und den gemessenen Durchflussmengen der Streichfarbe und den bekannten Dimension der Kapillare (siehe Abbildung 7.1.8.3) werden die Scherrate und die daraus resultierende Viskosität von dem ACAV A2 Viskosimeter berechnet und ausgegeben. Dies bedeutet, dass durch den veränderbaren anliegenden Druck die Scherrate gesteuert werden kann. Dabei können Scherraten bis zu  $10^6$  [1/sec] erzeugt werden.



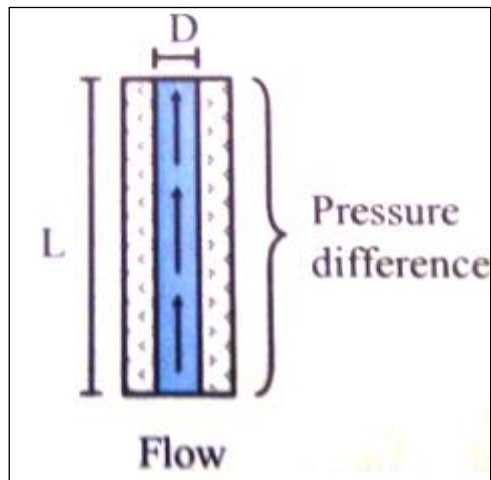


Abb.7.1.8.3 Kapillare eines Kapillarviskosimeters [14]

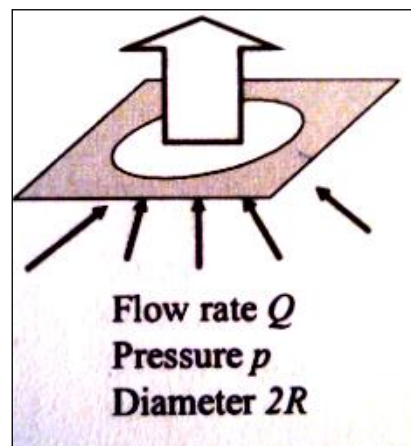


Abb.7.1.8.4 Messblende [14]

Für die Messung der Dehnviskosität wurde auch hier das Viskosimeter ACAV A2 gewählt. In diesem Fall wird die Kapillare gegen eine Messblende ausgetauscht, welche in Abbildung 7.1.8.4 zu sehen ist. Diese Messblende ist im Grunde eine Kapillare mit einer sehr geringen Dicke und bekanntem Durchmesser (ca. 0,5 [mm]). Die Messung erfolgt gleich wie bei der high shear Viskositätsmessung. Auch hier können bis zu 15 Messpunkte (unterschiedliche Drücke) an einer Messprobe durchgeführt werden. Die Messpunkte und der Radius der Messblende müssen vor der Messung eingegeben werden. Aufgrund des angelegten Druckes fließt die Streichfarbe durch die Öffnung und die Durchflussmenge wird von dem ACAV A2 gemessen. Nachdem die Dehnviskosität nicht wie die Scherviskosität direkt gemessen werden kann, gilt nach [6] die Euler Zahl als Ersatz dafür. Die Euler Zahl stellt im Wesentlichen das Verhältnis von Druckkräften zu Trägheitskräften dar. Sie beschreibt wie sich die Beschleunigungskräfte (Druckkräfte) auf die Streichfarbe auswirken, bzw. ob sich die Streichfarbe schnell (niedrige Trägheitskräfte) oder langsam (hohe Trägheitskräfte) beschleunigen lässt. Hierbei gilt je höher die Euler Zahl ist, umso höher ist die Dehnviskosität. Sie ist sozusagen ein Richtwert für die Dehnviskosität. Für Newtonsche

Fluide gilt, dass die Euler Zahl immer konstant ist [14]. Mittels dem eingegebenen Radius, der bekannten Streichfarbendichte und der gemessenen Durchflussmenge wird die Euler Zahl vom ACAV A2 Viskosimeter für den jeweiligen Messpunkt (Anpressdruck), berechnet (siehe Formel 21).

$$Eu = \frac{\Delta p}{0,5 * \rho * \left(\frac{Q}{\Pi * R^2}\right)^2} \quad \text{Formel (21)}$$

Eu...Euler Zahl [-]

$\Delta p$ ...Druckdifferenz zwischen angelegten und ausströmenden Druck [Pa]

Q... Durchflussmenge der Messprobe [m<sup>3</sup>/s]

R... Radius der Messblende[m]

$\rho$ ... Dichte der Streichfarbe [kg/m<sup>3</sup>]

Der Messblendenradius muss wegen des abrasiven Verschleißes der Messblende nach ca. zehn Messungen neu kalibriert werden. Der Verschleiß wird von den Pigmenten der Streichfarbe verursacht. Bei der Kalibration wurde Wasser als Messprobe verwendet. Es ist bekannt, dass die Euler Zahl von Wasser konstant eins ist. Mit dieser Information und dem bekannten Wert des angelegten Druckes, der Streichfarbendichte und der Durchflussmenge kann der Messblendenradius mithilfe der Formel 21 neu berechnet werden.

### **7.1.9 Filament Stretching Elongational Rheometer**

Als weitere Bestimmung der dehnreometrischen Eigenschaften einer Streichfarbe wurde ein Filament Stretching Elongational Rheometer herangezogen. Nähere Informationen zu diesem Gerät bezüglich Bauart und genaue Bezeichnung sind unbekannt. Die Messungen erfolgten am Institut für Strömungs,- und Wärmelehre an der TU Graz. Hierbei wird nicht die Euler Zahl, sondern die Relaxationszeit zur Charakterisierung der Dehnviskosität herangezogen. Darunter versteht man ein Zeitmaß, innerhalb dessen sich Spannungen in der verformten Streichfarbenprobe abbauen. Langlebige Spannungen begünstigen die Filamentbildung und somit Misting und Orange Peel [40]. Das Rheometer bildet einen Faden zwischen zwei Stempeln, welche sich vertikal auseinander bewegen (siehe Abbildung 7.1.9.1). Durch diese Bewegung wird der Faden, ausgehend von einem anfänglichen Durchmesser, durch den Einfluss der Oberflächenspannung immer geringer. Mit der zeitlichen Abnahme des Fadendurchmessers wird die Relaxationszeit berechnet. Das Verhältnis zwischen Fadendurchmesser und Zeit bei viskoelastischen Flüssigkeiten ist exponentiell. Dieser Zusammenhang ist in Formel 22 dargestellt [40].

$$d = d_0 * e^{-\left(\frac{t}{3*\Theta}\right)}$$

Formel (22)

d... Durchmesser des Fadens

d<sub>0</sub>... Anfangsdurchmesser des Fadens

t... Messzeit

Θ... Relaxationszeit

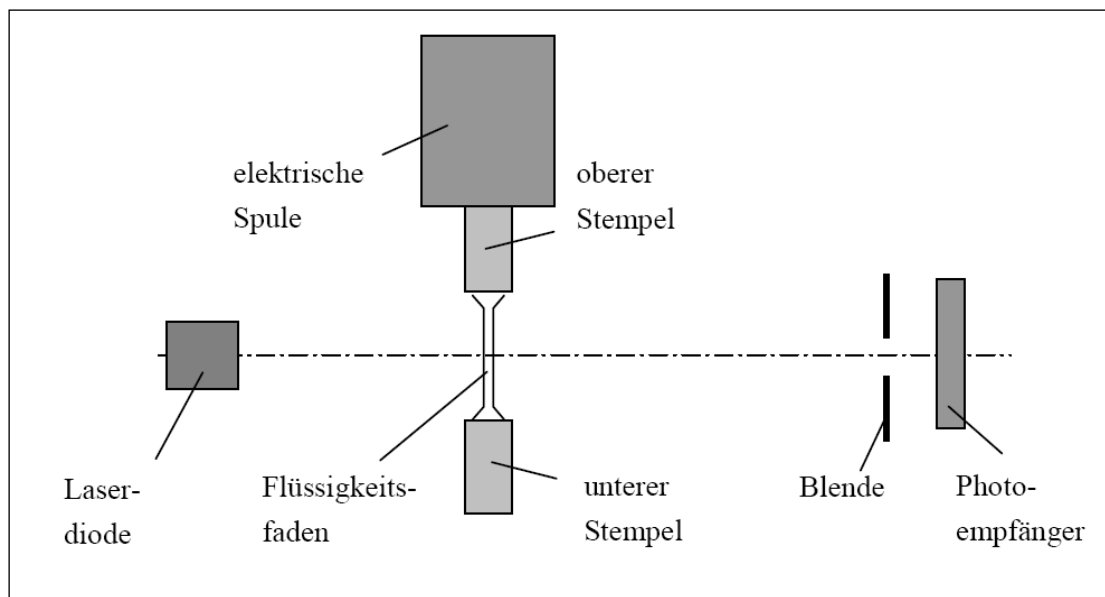


Abbildung 7.1.9.1 Schematische Darstellung des Dehnrheometers [41]

In Abbildung 7.1.9.1 ist ein schematischer Aufbau des Dehnrheometers zu sehen. Die Aufnahme des Fadendurchmessers wird mit der Laserdiode und dem Photoempfänger durchgeführt. Da der Laser den Faden nicht durchdringen kann ist der Schatten der an dem Photoempfänger auftritt, die Kontur des Fadens. Das empfangene Signal gelangt zu einem Oszilloskop und wird dann mittels eines PC ausgelesen.

Die Messungen erfolgten immer unter den selben Rahmenbedingungen. Es wurde darauf geachtet, dass die Proben dieselbe Temperatur aufweisen, binnen 36 Stunden nach Anfertigung gemessen wurden und dass mindestens 20 Wiederholungen gemacht wurden, um die statistische Relevanz einzuhalten.

### 7.1.10 Messung der Wasserretention und Untersuchung mittels einer Zentrifuge

Für die Messung der Wasserretention wurde die „Abo Akademi gravimetric“ Methode (AA-GWR) ausgewählt. Sie bietet eine schnelle und zuverlässige Auswertung der Ergebnisse. Ein Volumen von 10 [ml] der Messprobe wird in den AA-GWR Tester gefüllt (siehe Abbildung

7.1.10.1) und vermessen. Die Messdauer wurde auf 90 Sekunden festgelegt bei einem herrschenden Überdruck von 0,5 [bar]. In Abbildung 7.1.10.1 ist der schematische Aufbau eines AA-GWR Tester dargestellt. Der Membran Filter hat die Funktion nur die flüssige Phase der Streichfarbe passieren zu lassen. Die Streichfarbe wird durch die Saugfähigkeit des Chromatographiepapiers und wegen dem angelegten Überdruck entwässert. Vor und nach jeder Messung wird das Gewicht des Chromatographiepapier notiert, um die aufgenommene Wassermenge zu erhalten. Jedes verwendete Chromatographiepapier kann nur einmal benützt werden. Je höher die Wasserretention der Streichfarbe ist, umso weniger Wasser geht in das Chromatographiepapier über. Mit der Gewichts-differenz des Chromatographiepapiers wird die wässrige Phase in [g] die pro Fläche in [m<sup>2</sup>] von der Streichfarbe in das Papier übergeht berechnet. Dieser Wert wird AA-GWR Wert genannt und hat die Einheit [g/m<sup>2</sup>].

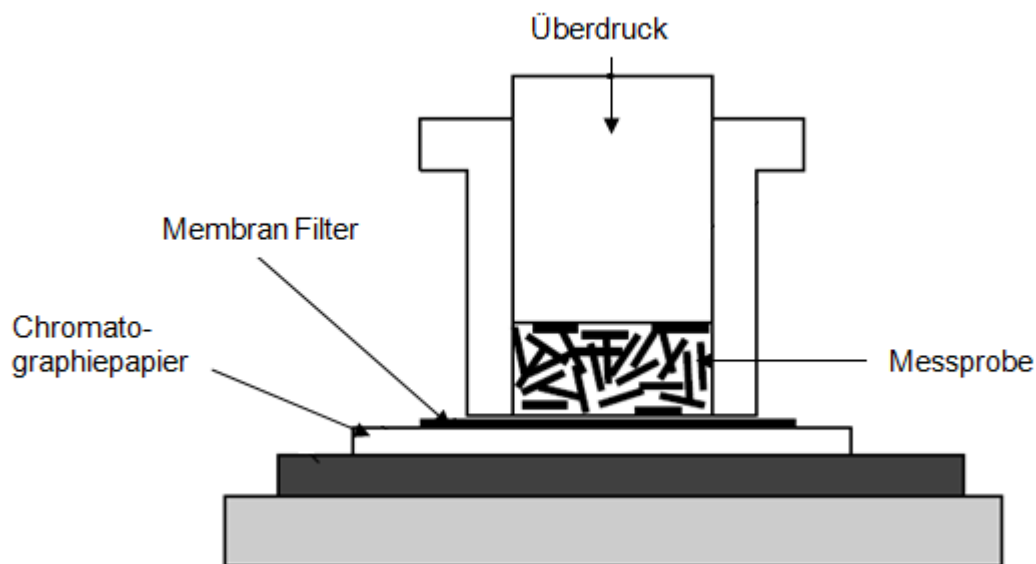


Abbildung 7.1.10.1: Schematische Darstellung eines AA-GWR Apparates [38]

Weiters wurden verschieden Streichfarbenproben 30 Minuten lang bei einer Drehzahl von 5000U/min in einer Tischzentrifuge der Firma Sigma zentrifugiert. Die Streichfarben wurden für diese Messung in mehrere Pipetten mit jeweils 10 [ml] gefüllt. Dabei trennten sich die feste und flüssige Phase der Streichfarbe in zwei Bereiche auf. Die feste Phase bildete sich am Boden der Pipetten und stellte ein weiße, kompakte Form dar. Über der festen Phase bildete sich die flüssige Phase, welche milchig weiß erscheint. Danach wurde von der festen und flüssigen Phase der Trockengehalt mittels einem CEM Mikrowellen-Schnellanalysator ermittelt. Ebenfalls wurden die Höhen der Phasen mittels eines Lineals an der Pipettenoberfläche abgelesen und notiert. So würde bedeuten, dass eine Streichfarbe die nach dem Zentrifugieren eine hohe feste Phase aufweist (niedrige Höhe der flüssigen

Phase), wenig Widerstand gegenüber der Bildung einer festen Phase stellt. Eine Trennung von flüssiger und fester Phase ist im diesen Fall leichter möglich; die Streichfarbe würde eine niedrigere Wasserretention aufweisen. Mit den Ergebnissen (Trockengehalt und Höhe der Phasen) der Zentrifuge konnten die Einflüsse des Trockengehaltes sowie Binder und Verdicker auf die Retention der Streichfarbe geschlossen werden. Weiters wurde diese Messung durchgeführt, um Kraftereinwirkungen, die auch während des Streichens im Filmpressnip herrschen, nachzuahmen.

### 7.1.11 Messung der Oberflächenspannung

Die Oberflächenspannung wurde mit einem Interfacial Tensiometer am Institut für Papier und Zellstofftechnik gemessen. Als Messverfahren diente die Ringmethode. Der Messkörper ist ein horizontal aufgehängter Platinring mit bekannten Dimensionen. Für die Messung wird der Platinring in die Streichfarbe eingetaucht und anschließend wieder langsam mittels Betätigung des Handrades herausgezogen (siehe Abbildung 7.1.11.1).

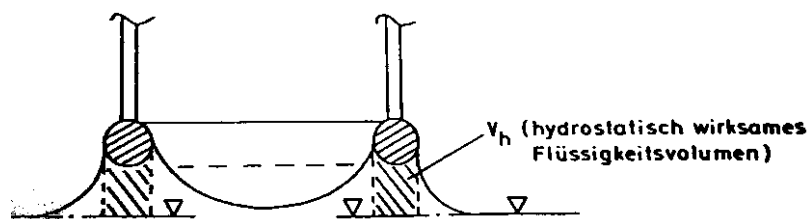


Abb.7.1.12.1: Messverfahren der Oberflächenspannung [39]

Als Ergebnis erhält man die maximale Kraft pro Meter [mN/m], die benötigt wird um den Ring durch die Grenzfläche von Streichfarbe und Luft zu ziehen [39]. Die Messungen erfolgten alle an einem Tag bei einer Umgebungstemperatur von 24°C.

## 8. Ergebnisse und Diskussion

In diesem Kapitel werden die Ergebnisse der durchgeführten Messungen gezeigt. Laut Aufgabenstellung (siehe Kapitel 1) war zu Anfangs völlig unklar, um was es sich bei dem Staub handelt. Daher wurden zuerst gezielte Messungen (mikroskopische Untersuchung und Bindergehaltanalyse des Staubes) vollzogen, die diese Fragenstellung beantworten. In Kapitel 7 sind die Hypothesen bezüglich der Staubentstehung formuliert, die Misting, Orange Peel oder Binderverarmung als mögliche Entstehungsquellen anführen. Weiters ist aus dem Kapitel 6 bekannt, dass Misting und Orange Peel durch zu hohe Viskositäten (high shear und Dehnviskosität), zu niedrige Wasserretentionen, zu hohe Oberflächenspannungen und zu hohe Speichermodul der Streichfarben hervorgerufen wird, da in diesen Fällen vermehrt Filamente und nicht immobile Strichschichten entstehen. Um diese Einflussfaktoren gezielt messen zu können, wurden Streichfarben hergestellt, die unterschiedliche Trockengehalte, Binder- und Binderanteile sowie unterschiedliche Verdickeranteile aufweisen (siehe Kapitel 7). Die Bezeichnungen der hergestellten Streichfarben sind in Kapitel 7.1 erklärt und die Rezepturen der hergestellten Streichfarben sind im Anhang zu finden. Mit den Ergebnissen aus diesen Messungen erfolgten Interpretationen (Kapitel 8.14), um Streichfarben herzustellen, die keine Filamentbildung bzw. zu hohe nicht immobile Strichschicht am Nipausgang der Filmpresse aufweisen (siehe Kapitel 8.15). Die Ergebnisse (High shear Viskosität, Dehnviskosität, Wasserretention und Speichermodul) dieser Streichfarben wurden mit den Ergebnissen der Streichfarbe VST4 und VST10 aus Ehingen verglichen (siehe Kapitel 8.15), um Vergleiche bezüglich der Wahrscheinlichkeit von Misting und Orange Peel aufzuzeigen.

Weiters behandelt dieses Kapitel die Ergebnisse der Rauigkeitsmessungen, die durchgeführt wurden, um mögliche Unterschiede zwischen der kritischen Papiersorte Presto Silk und den Papiersorten Quatro Silk und Mega Silk (alle in Ehingen produziert) zu zeigen. Die Ergebnissen der Misting- und Staubintensität weisen darauf hin, ob starkes Misting an der Filmpresse existiert bzw. ob die Staubintensität bei mehrmaliger Auf- und Abrollung zu oder abnimmt. Mit den Resultaten der Burnout Tests und den darauffolgenden Analysen (siehe Kapitel 7.1.5) können Rückschlüsse auf die Intensität von Orange Peel an Papierproben erfolgen.

### 8.1 Mikroskopische Untersuchung des Hallenstaubes

Bei dieser Untersuchung wurde der Hallenstaub aus Ehingen mit Mistingtropfen von einer unbekanntem Filmpresse verglichen (siehe Kapitel 7.1.1). Der Vergleich dient dazu, zu bestimmen ob der Hallenstaub aus ganzen Mistingtropfen besteht bzw. die gleichen Dimensionen hat.

Die Abbildung 8.1.1 zeigt Mistingtropfen bei 250-facher Vergrößerung. Zu erkennen ist, dass die Mistingtropfen eine kreisähnliche, runde Form aufweisen. Auch die Durchmesser und deren Beträge sind zu sehen.

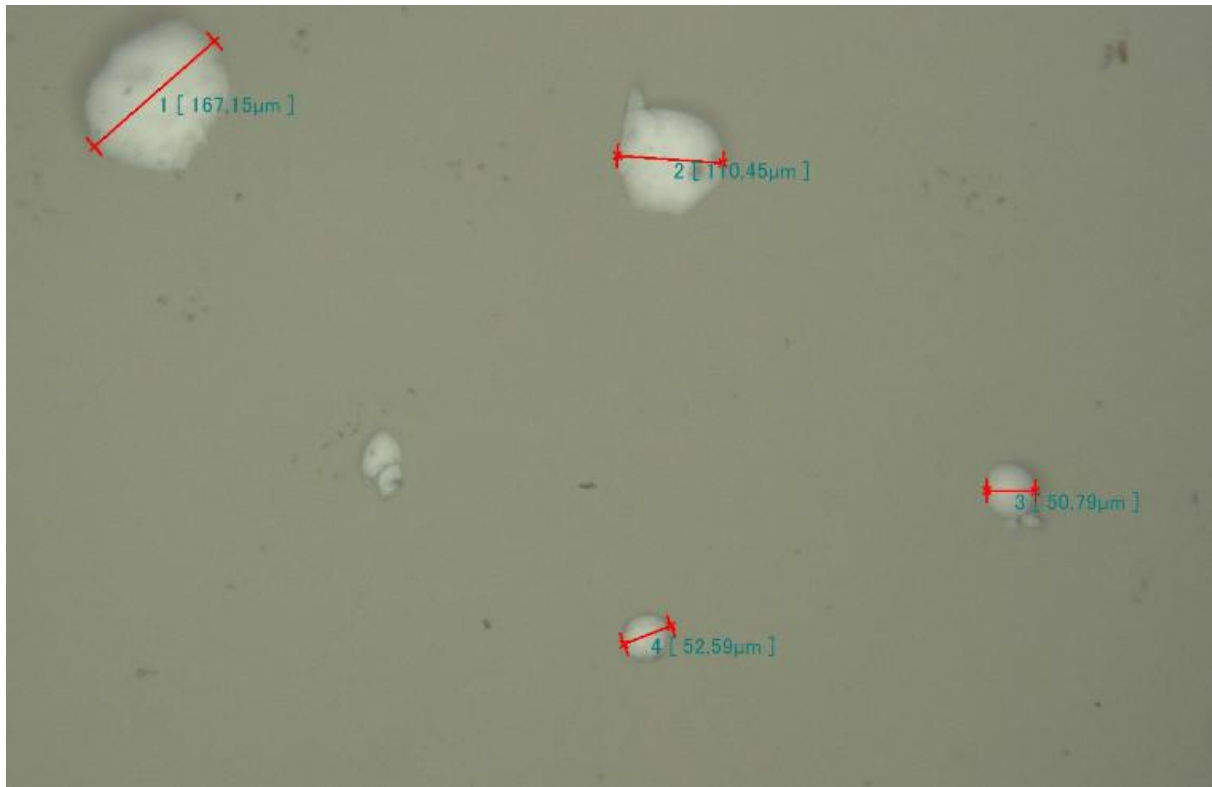


Abb.8.1.1 Mistingtropfen bei 250-facher Vergrößerung

In der Abbildung 8.1.2 ist der Hallenstaub bei 2000-facher Vergrößerung zu sehen. Dabei weist der Hallenstaub eine kristalline, kantige Form auf. Die Größenordnung gegenüber den Mistingtropfen ist um ca. das 10-fache kleiner. Wie schon in Kapitel 7 erwähnt, wurde vermutet, dass die Mistingtropfen bzw. die Hügelspitzen des Orange Peel in den Papierlagen zermahlen werden und dadurch der Hallenstaub entsteht. Deshalb wurden bei dieser Messung als Ergänzung, vorhandene Mistingtropfen zwischen zwei Kopierblätter, per Hand ca. 20 Sekunden lang, zermahlen und mikroskopisch untersucht (siehe Abbildung 8.1.3). Mit der Darstellung 8.1.3 wurde gezeigt, dass die zermahlene Tropfen dem Hallenstaub in Form und Größe gleichen und der Hallenstaub möglicherweise durch Reibung zwischen Papierlagen entsteht. Daraus kann geschlossen werden, dass die Hypothese (siehe Kapitel 7), dass schlecht gebundene ganze Mistingtröpfchen durch Ablösen von der Papieroberfläche den Hallenstaub produzieren nicht die Ursache des Staubens sein kann. Falls die Ursache des Hallenstaubes Misting und/oder Orange Peel ist, werden die Tröpfchen des Mistings oder die hügelige Struktur der Papieroberfläche möglicherweise mittels Reibung zwischen den Papierlagen zermahlen.

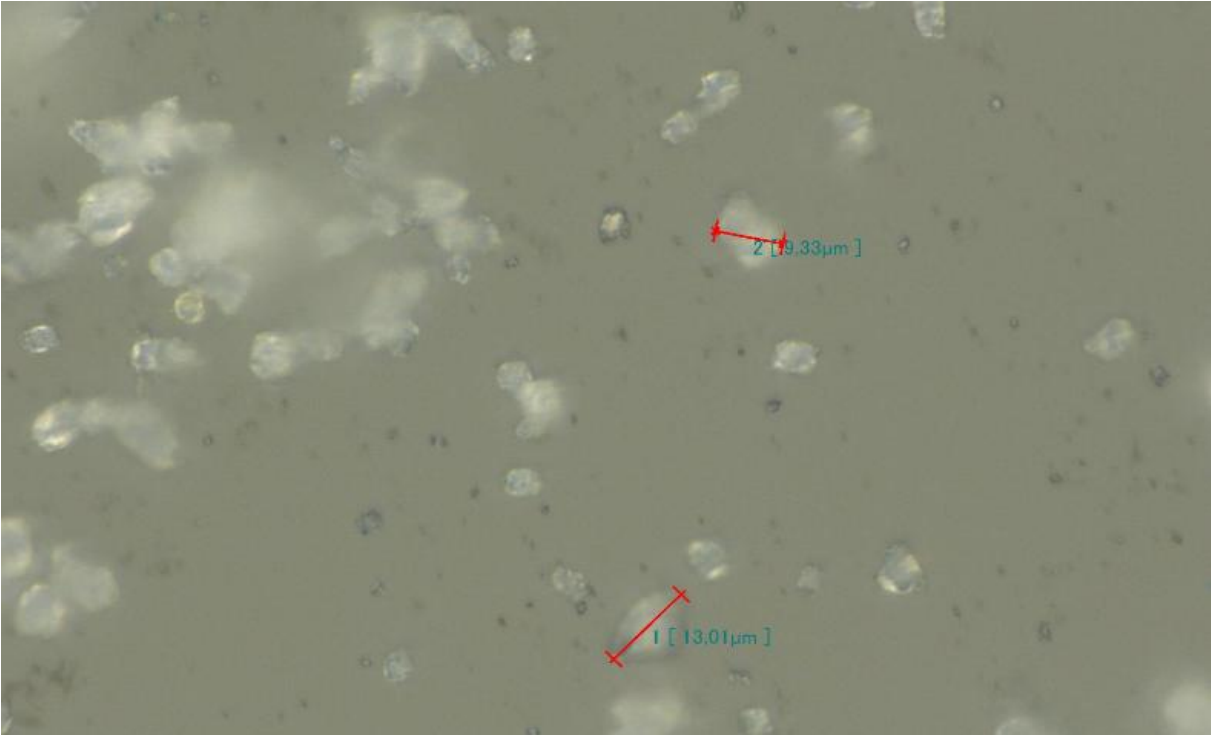


Abb.8.9.2: Hallenstaub bei 2000-facher Vergrößerung

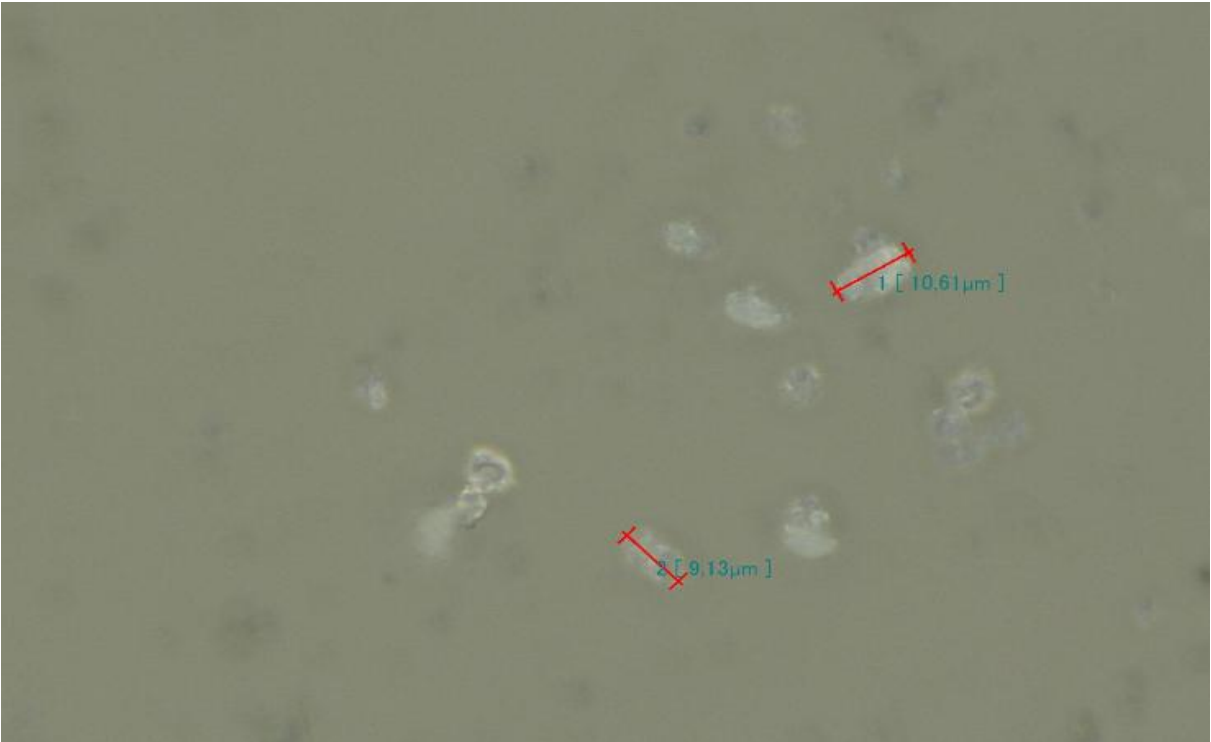


Abb.8.9.3: Zermahlene Mistingtropfen bei 2000-facher Vergrößerung



## 8.2 Bindergehalt des Hallenstaubes

Im Kapitel 7 wurde als dritte Hypothese angenommen, dass zu viel Binder durch die zu hohe Saugfähigkeit des Rohpapiers bzw. zu geringe Wasserretention der Streichfarbe in das Papier migriert. Denn wie schon in Kapitel 4 beschrieben verliert die Streichfarbe durch eine schlechte Wasserretention auch viel Binder in das Papier. In diesem Fall würde weniger Binder zur Verfügung stehen und somit könnten Streichfarbenteile schlecht gebunden sein und dann als Hallenstaub die Papieroberfläche verlassen. Weiters kann bei dem Auffinden von Binderanteilen im Hallenstaub die Aussage getätigt werden, dass der Hallenstaub eindeutig von der Streichfarbe stammt. In der Tabelle 8.2.1 sind die Bindemittelanteile der untersuchten Hallenstaubproben und der Streichfarbe VST4 zu entnehmen. Leider konnte kein Bindemittelgehalt von Mistingtropfen aus Ehingen durchgeführt werden, da hierzu keine Proben zur Verfügung standen.

Tab.8.2.1 Bindemittelanteile Hallenstaub und Streichfarbe VST4

	<b>Staubprobe 1</b> <b>April 2011</b>	<b>Staubprobe 2</b> <b>Mai 2011</b>	<b>Streichfarbe VST4</b> <b>Mai 2011</b>
Trockengehalt [Prozent]	99,5	99,6	63,2
Bindemittelanteil	6,9	4,9	13,2

Die Tabelle 8.2.1 zeigt, dass die Staubproben von der Streichfarbe stammen. Sie weisen einen geringeren Bindemittelgehalt gegenüber der Streichfarbe VST4 auf. Somit kann vermutet werden, dass eine Binderverarmung vorherrscht. Ansonsten müsste der Hallenstaub ähnliche Werte wie die Streichfarbe VST4 aufweisen. Jedoch ist bei Beachtung der Information bezüglich der Streichfarbe VST10 (siehe Kapitel 7 und Tabelle 7.1.1) kein eindeutiger Nachweis für die Ursache des Hallenstaubes mittels Binderverarmung für die Streichfarbe VST4 gegeben. Da die Streichfarbe VST10 den gleichen Trockengehalt aufweist wie die Streichfarbe VST4, jedoch fast ausschließlich Latex als Bindemittel und nur sehr wenig Verdicker beinhaltet (siehe Tabelle 7.1.7.1), resultiert daraus, dass die Streichfarbe VST10 eine viel niedrigere Viskosität und somit eine viel geringere Wasserretention (siehe Kapitel 8.15) haben muss. Wegen der geringen Wasserretention der Streichfarbe VST10 wird vermutlich auch eine große Menge an Bindemitteln in das Papier übergehen. Da aber die Information aus Ehingen besagen, dass die Streichfarbe VST10 keine intensive Staubentwicklung verursacht, kann vermutet werden, dass die Binderverarmung nicht die einzige Ursache für das Stauben sein kann.

Weiters kann mit diesen Ergebnissen vermutet werden, dass der Staub möglicherweise nicht von den abgelösten Mistingtröpfchen stammt, da die Mistingtröpfchen den gleichen Binderanteil wie die Streichfarbe haben müssten.

### ***8.3 Ergebnisse der Messung der Intensität von Misting an der Papiermaschine***

Wie schon in Kapitel 7.1.2 erklärt wurde, wurde die Messung des Mistings mittels einem schwarzem A4 Blatt am Nipausgang der Filmpresse dem Maschinenpersonal am Standort Ehingen vorgenommen. Leider wurde für die Auswertung der Messergebnisse, vom Werk Ehingen, nur die Abbildung 8.3.1 zur Verfügung gestellt.

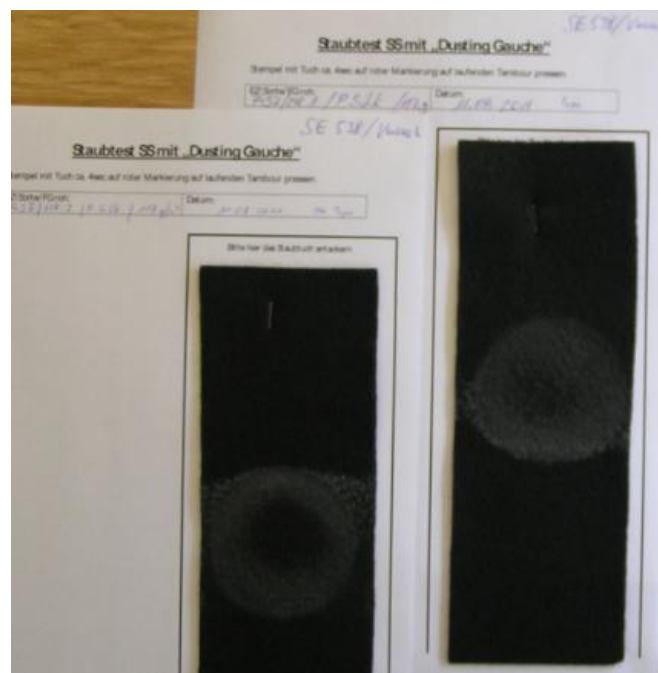


Abb.8.3.1 Mistingintensitätsmessung

Die Abbildung 8.3.1 zeigt das Ergebnis der Mistingintensitätsmessung. In dieser ist zu erkennen, dass Mistingtropfen aus dem Nip der Filmpresse hinausgeschleudert werden. Somit existiert Misting an der Filmpresse in Ehingen. Leider wurde vom Maschinenpersonal vom Standort Ehingen die Mistingmenge die auf das schwarze Blatt geschleudert wurde nicht bestimmt. Somit ist keine eindeutige Bestimmung der Intensität von Misting durchführbar. Aber aufgrund der bekannten Messzeit von 20 Sekunden und der visuellen Betrachtung des schwarzen Blattes kann gesagt werden, dass die Menge an Mistingtropfen vermutlich gering ist und es sich somit wahrscheinlich um eine geringe Intensität an Misting handelt.

## 8.4 Ergebnisse der Messung der Intensität des Staubens an der Papiermaschine

Wie schon in Kapitel 7 beschrieben wurde, wurden diese Messungen vom Maschinenpersonal des Standortes Ehingen durchgeführt. Es wurden keine Messwiederholungen unternommen. Die Messdurchführung ist in Kapitel 7.1.3 beschrieben. In den Abbildungen 8.4.1, 8.4.2 und 8.4.3 sind die Ergebnisse der Hallenstaubmessungen zu sehen. Dabei gilt je weißer die Messfläche ist umso mehr Staub befindet sich im Filz und umso höher ist die Staubintensität. Beim Vergleich der Abbildungen ist zu erkennen, dass sich an den schwarzen Filzen der Messungen an der Aufrollung der Papiermaschinen am wenigsten Staub befand. Weiters ist mit den Abbildungen feststellbar, dass eine Erhöhung der Staubmenge vom Ende der Papiermaschine hin zum Ende des Umrollers und zum Anfang der Streichmaschine stattfindet. Somit kann angedeutet werden, dass die produzierte Hallenstaubmenge bei jeder Auf- und Abrollung, durch Reibung zwischen den Papierlagen erhöht wird. Weiters kann vermutlich dadurch die Bindermigration, welche nur während des Streichprozesses und der Trocknung der Streichfarbe stattfindet als Ursache für die Hallenstauberzeugung ausgeschlossen werden. Denn hierbei müsste an der Aufrollung der Papiermaschine das Stauben am höchsten sein, da schon vorher die Bindermigration stattfand. Jedoch zeigten die Messungen gegenteilige Ergebnisse.



8.4.1 Hallenstaubmessung; Aufrollung Papiermaschine

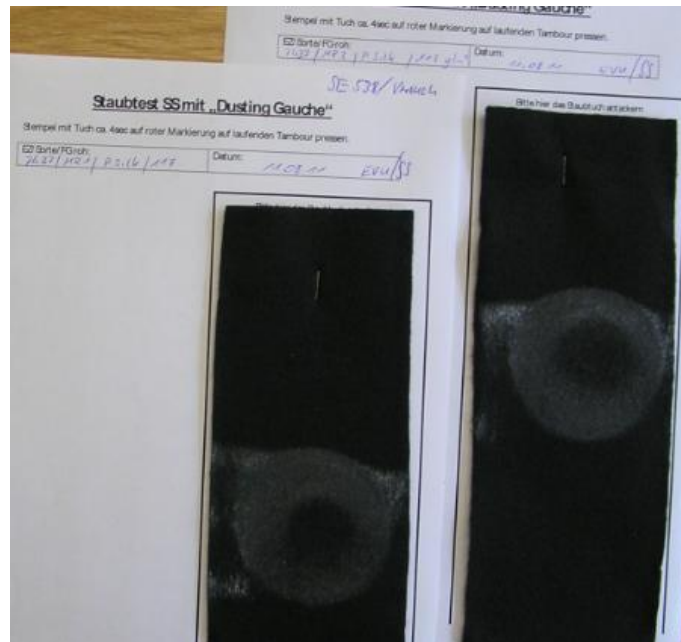


Abb.8.4.2 Hallenstaubmessung; Aufrollung Umrollers

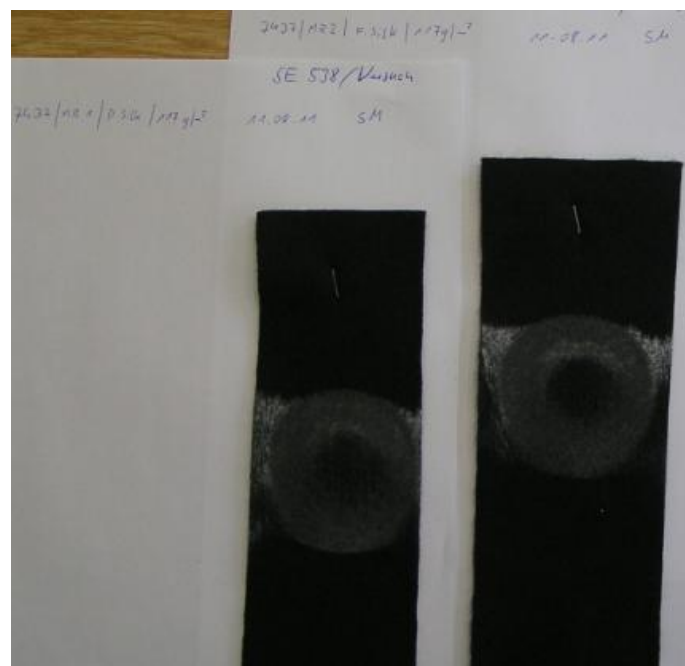


Abb.8.4.3 Hallenstaubmessung, Abrollung Streichmaschine

### 8.5 Ergebnisse der Rauigkeitsmessungen

Bei diesen Messungen wurde die Rauigkeit von verschiedene Papiersorten untersucht. Dafür standen mehrere Papiersorten mit unterschiedlichen Flächengewichten und Strichgewichten zur Verfügung. Um die Ergebnisse besser vergleichen zu können, wurden drei Papiersorten mit ähnlichen Flächen- und Strichgewichten ausgewählt und vermessen. Wobei die Sorten Quatro Silk und Mega Silk, laut der Firma Sappi Ethingen keine Hallenstaubentwicklung aufweisen. Um jegliche Messschwankungen auszugleichen, erfolgten zehn Messungen an unterschiedlichen Stellen pro Probelblatt, wobei pro Sorte drei Probelblätter verwendet

wurden. Da keine Rohpapiere der jeweiligen Sorten zur Verfügung standen, konnten keine Rohpapiermessungen durchgeführt werden.

Aus der Tabelle 8.5.1 sind die Mittelwerte der Ergebnisse bzw. Flächen- und Strichgewichte der Papiersorten zu entnehmen.

Tab.8.5.1 Ergebnisse der Rauigkeitsmessung

Papiersorte	Flächengewicht PM [g/m <sup>2</sup> ]	Strichgewicht [g/m <sup>2</sup> ]	Rauigkeit Oberseite [µm]	Rauigkeit Siebseite [µm]
Presto Silk	148	21	7,36	7,61
Presto Silk	130	18	7,13	7,89
Quatro Silk	145	25	6,18	6,81
Quatro Silk	120	21	6,39	6,92
Mega Silk	122	21	6,23	7,48

Dabei ist zu erkennen, dass die Papiersorte Presto Silk sowohl an der Siebseite als auch an der Oberseite der Papieroberfläche die höchste Rauigkeit aufweist. Besonders hoch fällt der Unterschied mit über 1µm an der Papieroberseite gegenüber den anderen Sorten aus. Somit wurde gezeigt, dass die problematische Sorte Presto Silk eine signifikant höhere Rauigkeit besitzt.

### **8.6 Ergebnisse des Burnout-Tests und der Mottle Analyse**

In diesem Abschnitt werden die Ergebnisse des Burnout Test und der darauffolgenden Mottle Analyse an den Papiersorten Presto Silk (148 [g/m<sup>2</sup>]), Mega Silk (122[g/m<sup>2</sup>]) und Quatro Silk (120 [g/m<sup>2</sup>]) gezeigt. Dabei wurde darauf geachtet, dass die Papiersorten um sie vergleichen zu können, die gleiche Strichauftragsmenge (21 [g/m<sup>2</sup>]) aufweisen. Leider standen keine Papierproben mit dem selben Flächengewicht zur Verfügung. Die Erklärung der Messmethoden sind in Kapitel 7.1.5 zu finden. Es wurden jeweils drei Probelblätter von den Papierproben verwendet. Die Abbildungen 8.6.1, 8.6.2 und 8.6.3 zeigen die Ergebnisse der Burnout Tests an den Papiersorten Presto Silk, Quatro Silk und Mega Silk. Die hierfür eingescannten, quadratischen Proben haben eine Fläche von einem Quadrat Zoll.

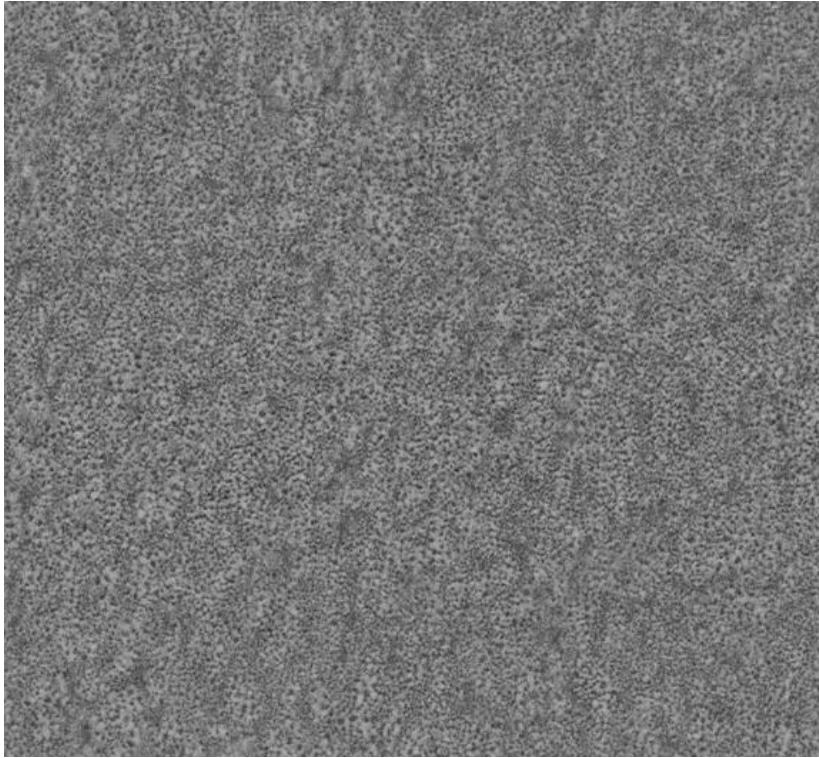


Abb.8.6.1 Burnout Test Presto Silk

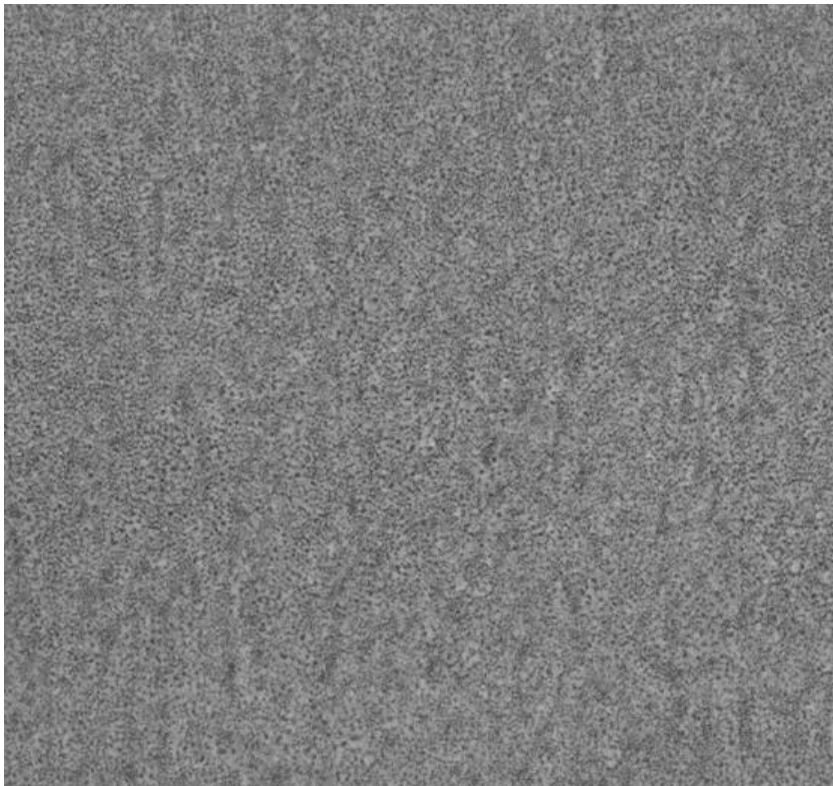


Abb.8.6.2 Burnout Test Quatro Silk



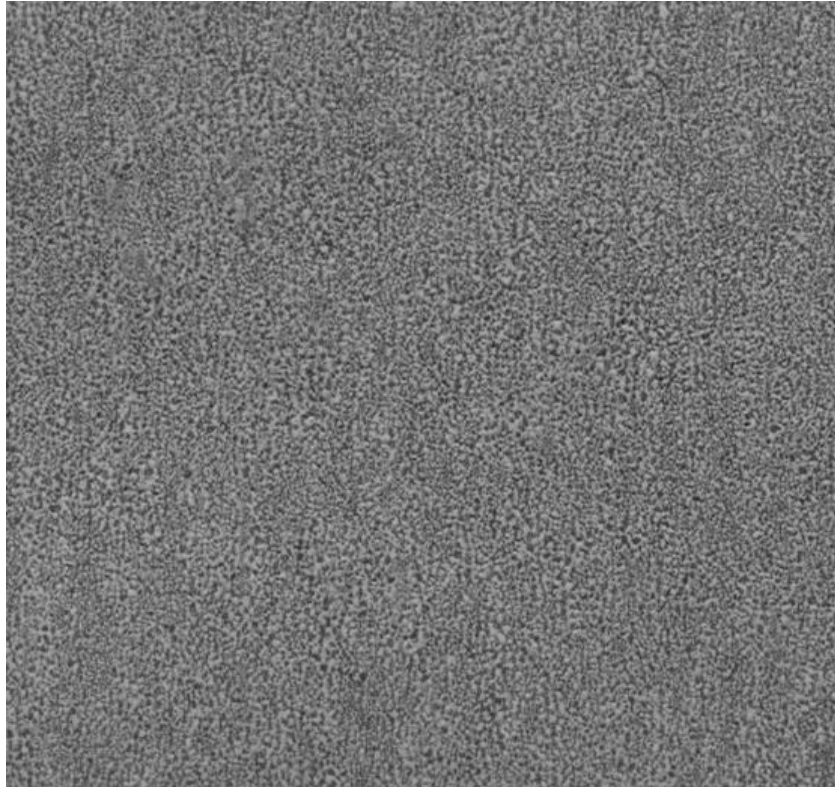
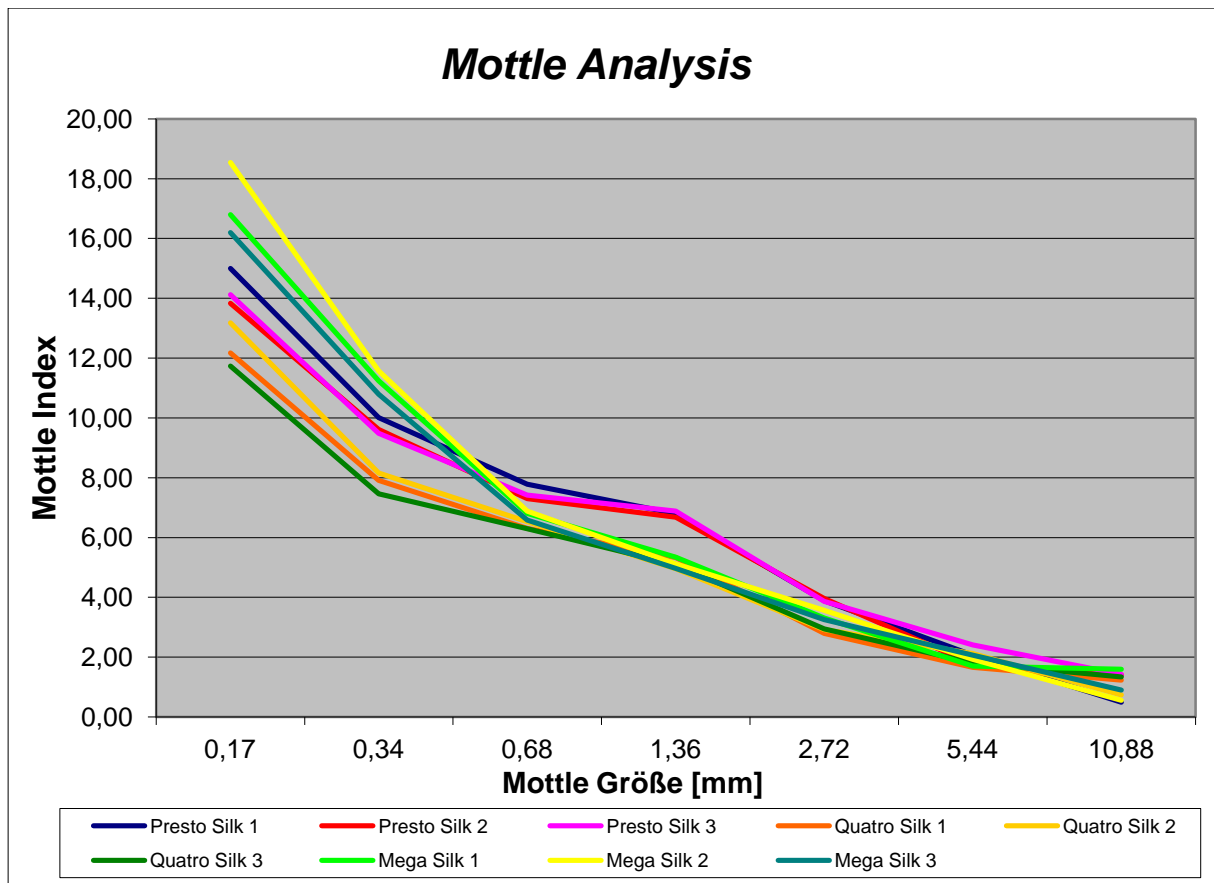


Abb.8.6.3 Burnout Test Mega Silk

In diesen Abbildungen ist zu sehen, dass es zwischen den Proben große Unterschiede hinsichtlich der Oberflächenstruktur gibt. In der Abbildung 8.6.1 ist zu erkennen, dass die Papiersorte Presto Silk eine unregelmäßige, fleckige Oberfläche mit sehr vielen kleinen dunklen Stellen bzw. farbliche Unterschiede aufweist. Dies deutet auf große Inhomogenitäten bezüglich der Strichschichtdicke hin. Die Darstellung der Quatro Silk Papierprobe zeigt eine fleckige Oberfläche mit geringeren farblichen Kontrasten. Die Papiersorte Mega Silk (siehe Abbildung 8.6.3) weist eine Oberfläche mit sehr vielen dunklen Stellen, jedoch mit wenigen fleckigen Segmenten auf. Im direkten Vergleich zeigen die Papiersorten Quatro Silk und Mega Silk eine wahrscheinlich geringere Inhomogenität der Schichtdicke der Streichfarbe auf als die Papiersorte Presto Silk.

Jedoch kann mit diesen Bildern keine eindeutige Aussage bezüglich der Intensität von Orange Peel gegeben werden. Das Werkzeug für die genaue Bestimmung der Intensität ist die Mottle-Analyse (siehe Kapitel 7.1.5). In der Abbildung 8.6.4 ist der Mottle-Index der jeweiligen Proben ersichtlich. Zu sehen sind die drei Proben der Sorten Presto Silk, Quatro Silk und Mega Silk.



8.6.4 Mottle-Analyse Presto Silk, Quatro Silk und Mega Silk

Wie schon mit dem Burnout Test gezeigt wurde, besitzen die Papiersorten Presto Silk und Mega Silk im unteren Größenbereich eine hohe Anzahl an dunklen Stellen. Dadurch ergeben sich die hohen Mottle-Index-Werte dieser Proben im unteren Bereich (siehe Abbildung 8.6.4). Alle Proben der Sorte Presto Silk weisen im Bereich von 0,68mm bis 2,72mm den höchsten Mottle-Index auf. In diesem Bereich befindet sich die Größenordnung der fleckigen Stellen der Burnout Tests. Im höheren Wellenbereich gleichen sich die Mottle-Index-Werte der Proben wieder an.

Mit der Abbildung 8.15.4 wurde gezeigt, dass große Helligkeitsunterschiede (Mottle-Index) im Größenbereich von 0,68 mm bis 2,72 mm besonders bei der Papiersorte Presto Silk auftreten. Dadurch wird klar, dass in diesem Bereich vermehrt Verteilungsunterschiede der Strichschichtdicke bei Presto Silk vorhanden sind. Gesamt betrachtet existieren für Mega Silk im kleineren Größenbereich auch hohe Verteilungsunterschiede, jedoch hat die Sorte Presto Silk sowohl im kleineren als auch im mittleren Größenbereich hohe Strichschichtdickenunterschiede. Dies würde für eine Oberfläche mit einer hügeligen Struktur bzw. für Orange Peel sprechen.



### 8.7 Einfluss des Trockengehaltes, der Binderart und des Verdickeranteils auf die Brookfield Viskosität und Wasserretention

Wie bereits in den vorigen Kapiteln erwähnt, haben der Trockengehalt, der Bindertyp und Binderanteil sowie der Verdickeranteil eine große Wirkung auf die Viskosität und Wasserretention. Mit steigendem Trockengehalt, Binder- und Verdickeranteil erhöht sich die Viskosität und die Wasserretention. Dies bedeutet, dass bei höherer Viskosität weniger Wasser von der Streichfarbe in das Papier über geht. Die Bezeichnungen der hergestellten Streichfarben sind in Kapitel 7.1.6 erklärt und die Rezepturen der hergestellten Streichfarben sind im Anhang zu finden. Die Messungen und Messmethoden sind im Kapitel 7 zu finden.

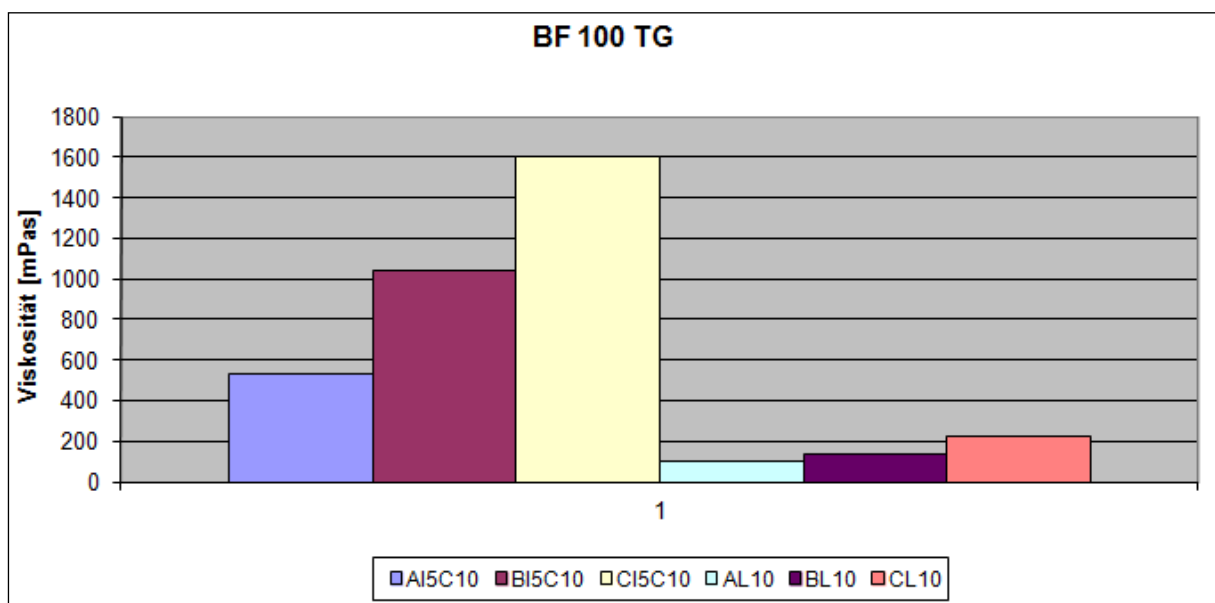


Abb.8.7.1: Brookfield Viskosität bei unterschiedlichen Trockengehalten und Komponenten

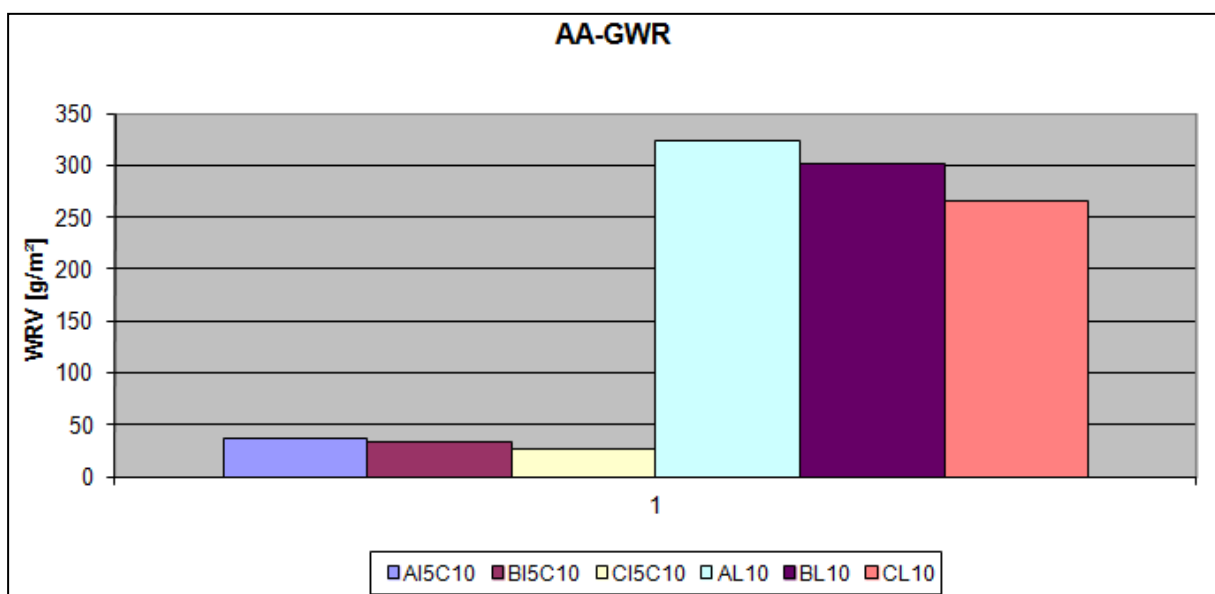


Abb.8.7.2: Wasserretention bei unterschiedlichen Trockengehalten und Binderarten

Wie in Abbildung 8.7.1 zu sehen ist, steigt bei höherem Trockengehalt die Viskosität. Weiters ist zu erkennen, dass die Viskosität auch bei stärkehaltigen Streichfarben höher ist als bei latexhaltigen Streichfarben (siehe Abbildung 8.7.1 und Abbildung 8.7.3). Grundlage für einen solchen Vergleich ist, dass der Trockengehalt und der Anteil der Binder der zu vergleichenden Streichfarben derselbe ist. Umgekehrt verhält sich bei der Gegenüberstellung, wie in Abbildung 8.7.2 zu beobachten ist, die ABO Messung. Es geht weniger Wasser von der Streichfarbe, aufgrund der höheren Viskosität, verloren.

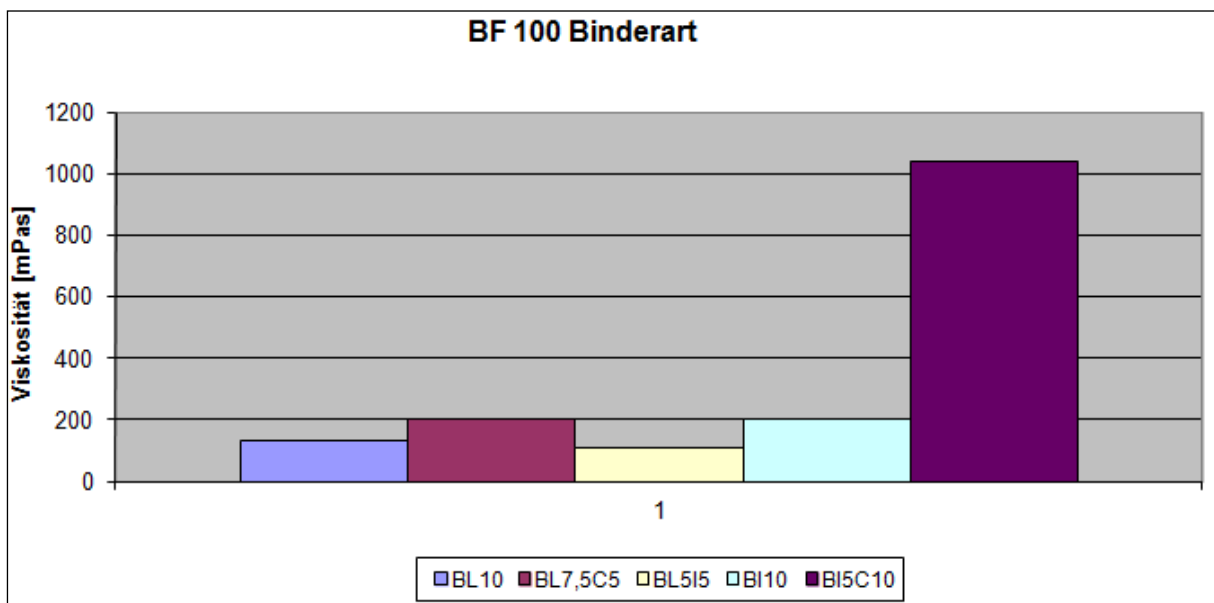


Abb.8.7.3: Brookfield Viskosität bei unterschiedlichen Binderarten

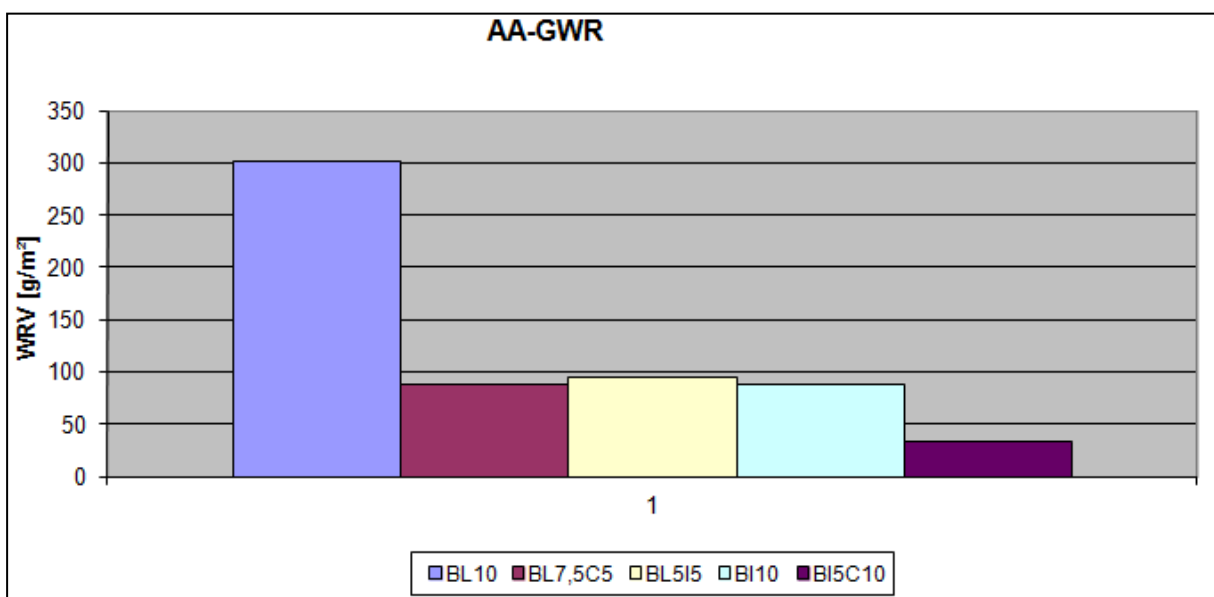


Abb.8.7.4: Wasserretention bei unterschiedlichen Binderarten

Wie aus der Darstellung 8.7.3 zu entnehmen ist, ist die Viskosität bei Streichfarben mit enzymatischer Stärke, höher als bei Streichfarben mit Latex oder iCoat als Binder. Auch hier haben die Streichfarben mit der höheren Viskosität, eine bessere Wasserretention (siehe Abbildung 8.7.4). Wie in Abbildung 8.7.5 zu sehen ist, steigt die Viskosität auch bei Erhöhung des Verdickeranteiles.

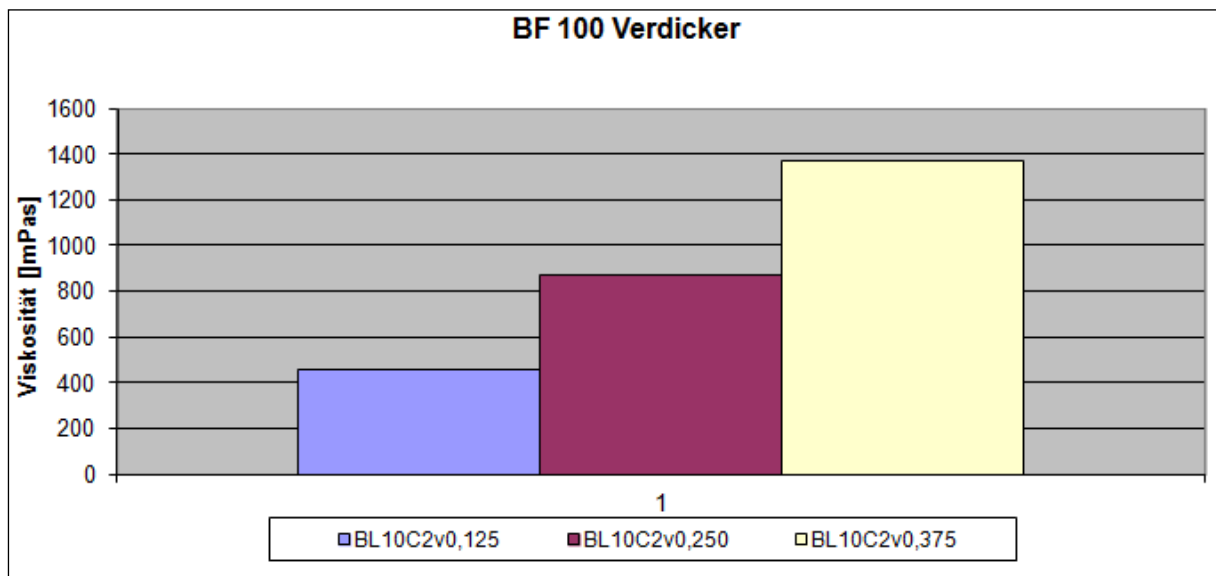


Abb.8.7.5 Brookfield Viskosität bei unterschiedlichen Verdickeranteilen

Aus diesen Abbildungen lässt sich schließen, dass die enzymatische Stärke stärker in Relation zum eingesetzten Anteil, die Brookfield Viskosität beeinflusst als Latex oder iCoat. Weiters reicht schon eine geringe Erhöhung des Verdickeranteiles, um die Brookfield Viskosität bzw. die Wasserretention stark zu erhöhen.

### **8.8 Einfluss des Trockengehaltes, der Binderart, des Binderanteils und des Verdickeranteils auf die Viskosität bei hohen und niedrigen Scherraten**

In den folgenden Darstellungen in diesem Kapitel sind die Achsen logarithmisch dargestellt, wobei immer die x-Achse die Scherrate [1/s] und die y-Achse die Viskosität [mPas] repräsentiert. Der erste Kurvenabschnitt (links in den Abbildungen) zeigt die Messergebnisse von dem Paar Physica MCR 300, der zweite die Ergebnisse von dem ACAV A2 Messgerät. Da die Scherraten von dem ACAV A2 Messgerät nicht fix vorgegeben werden können, gibt es Kurvenbereiche die entweder fehlen oder sich mit den Werten des Paar Physica überschneiden. Wie in Abbildung 8.8.1 zu sehen ist und schon in Kapitel 8.7 gezeigt wurde, ist die Viskosität von Streichfarben mit einem höheren Trockengehalt größer als jene mit

geringerem Trockengehalt. Weiters zeigt die Darstellung eine starke Abnahme der Viskosität mit steigender Scherrate (shear thinning).

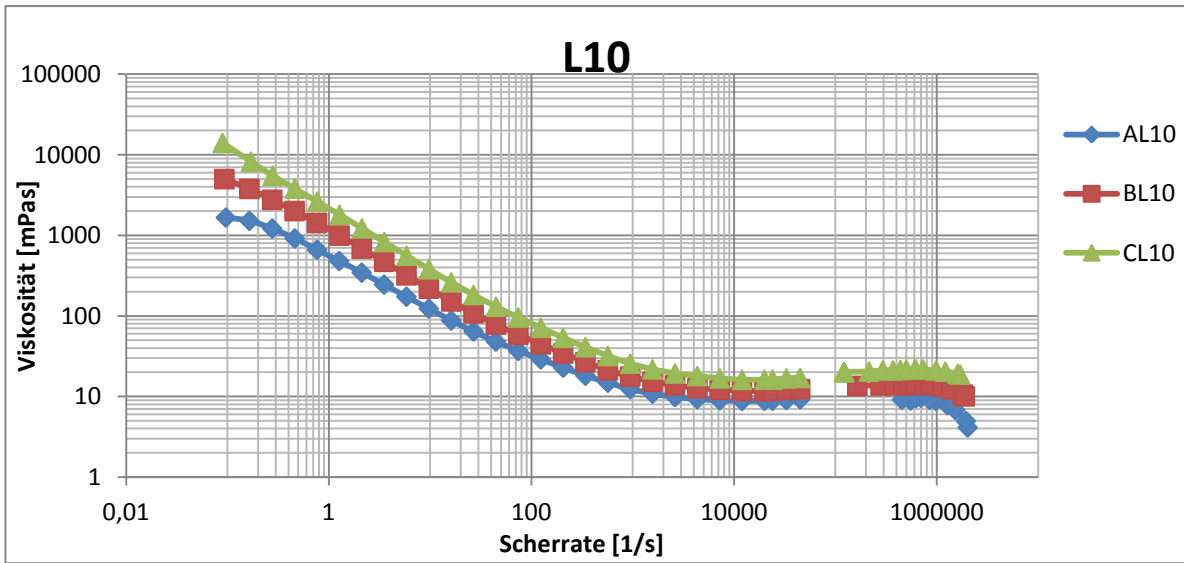


Abb.8.8.1 Einfluss Scherrate und Trockengehalt auf die Viskosität

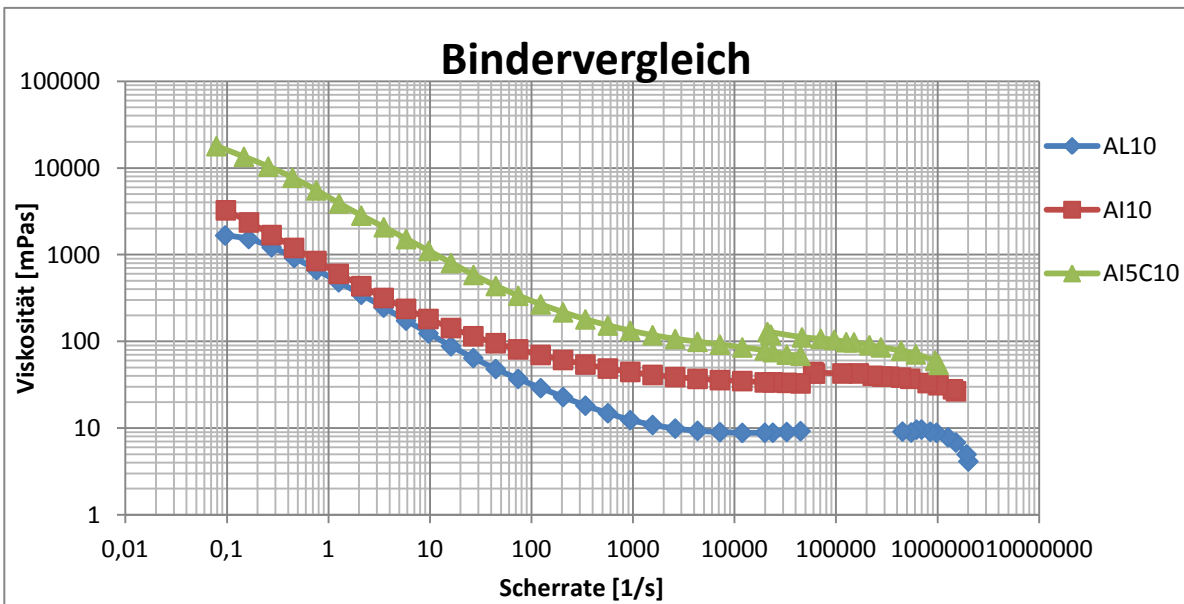


Abb.8.8.2 Viskosität bei unterschiedlichen Binderarten

In Darstellung 8.8.2 ist zu erkennen, dass bei gleichem Trockengehalt die Viskosität von Streichfarben mit enzymatischer Stärke in allen Scherratenbereichen höher ist als bei Streichfarben ohne enzymatischer Stärke. Die Binderart iCoat weist zwar in den niederen Bereichen der Scherraten ähnliche Viskositäten auf wie Latex, bringt jedoch in höheren Scherratenbereichen eine höhere Viskosität mit sich. Besonders im high shear Bereich sinkt die Viskosität der Streichfarbe mit Latex als Binder.

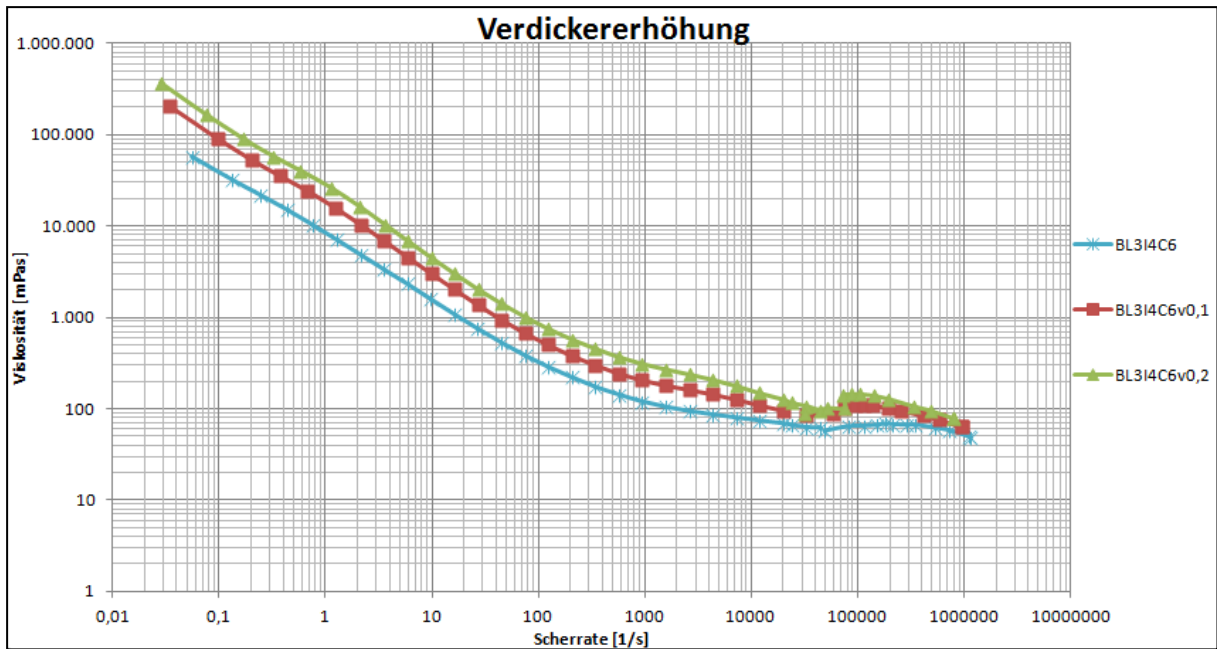


Abb.8.8.3 Viskosität bei stufenweiser Verdickererhöhung

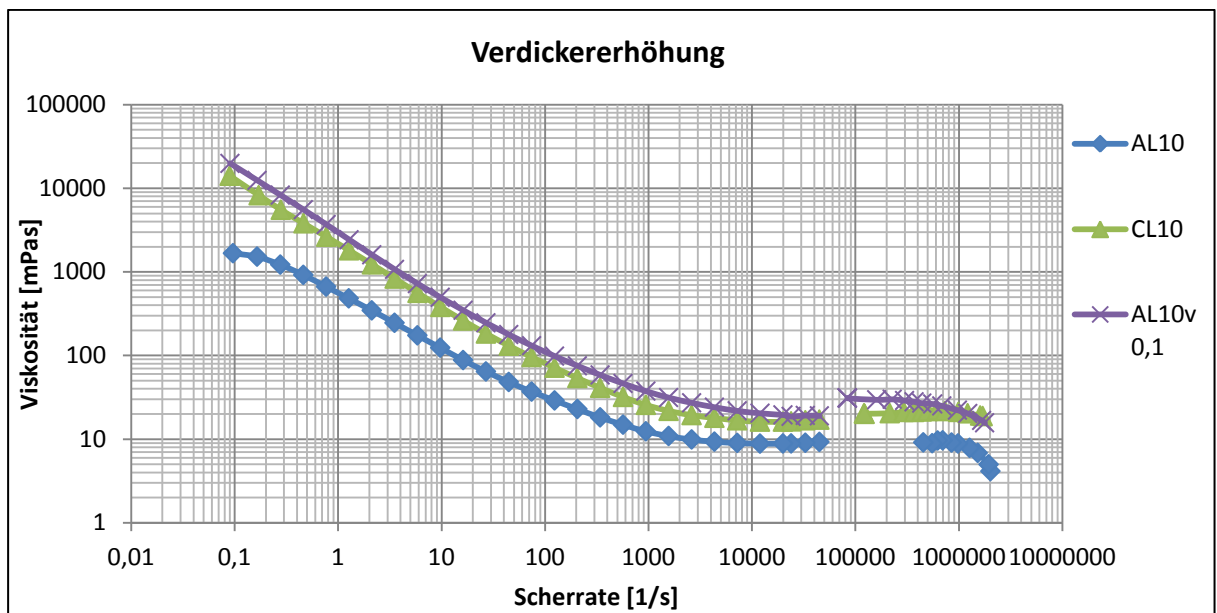


Abb.8.8.4 Viskosität bei stufenweiser Verdickererhöhung

Die dargestellten Abbildung 8.8.3 und 8.8.4 zeigen den großen Anstieg der Viskosität mit steigendem Verdickeranteil. Bei genauerer Betrachtung erkennt man, die fast exakten parallelen Verschiebungen der Viskositätskurven mit Verdicker gegenüber den Kurven ohne Verdicker.

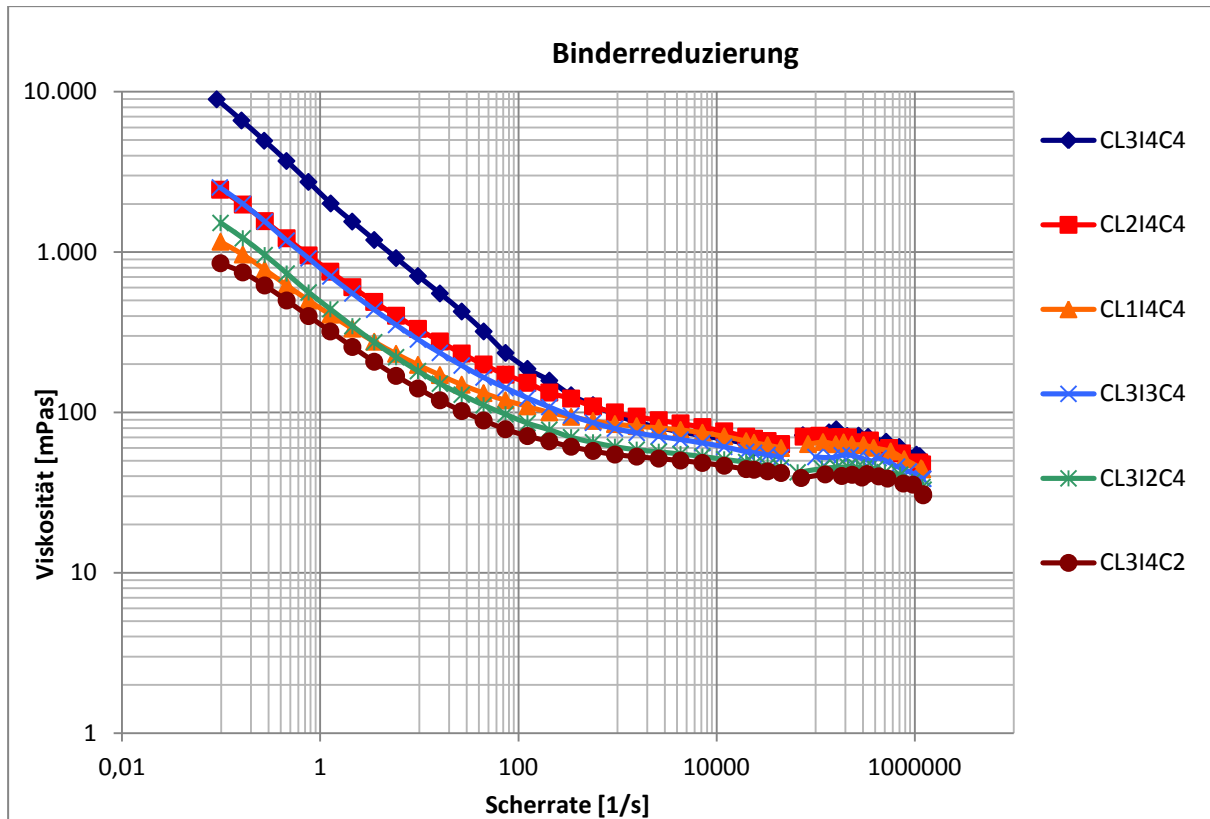


Abb.8.8.5 Einfluss Binderreduzierung auf die Viskosität

Abbildung 8.8.5 zeigt, dass allgemein bei einer sukzessiven Reduzierung von Binderanteilen jeglicher Art, die Viskosität sinkt. Jedoch ist das Ausmaß der Reduktion abhängig von der Binderart. Im direkten Vergleich fällt die Viskosität bis zu einer Scherrate von 100 [1/sec] durch eine Reduzierung eines Latexanteiles (CL2I4C4) stark ab, pendelt sich jedoch im höheren Bereich wieder an das Niveau der Vergleichsprobe (CL3I4C4) ein. Ähnlich verhält sich die Probe CL3I3C4, bei der ein iCoat Anteil verringert wurde. Auch sie hat verringerte Viskosität im low shear Gebiet, lediglich im high shear Bereich ist auch eine Abnahme der Viskosität zu bemerken. Besonders hoch ist die Abnahme der Viskosität in allen Bereichen der Scherrate, bei einer Verminderung des enzymatischen Stärkeanteiles (CL3I4C2). Hier wurden zwei Anteile reduziert, damit die Streichfarbe CL3I4C2 theoretisch die gleiche Binderstärke hat wie die Proben CL3I4C4 und CL2I4C4. Auch bei einer Reduzierung von zwei Latex Anteilen (CL1I3C4) hat die Probe CL3I4C2 weniger Viskosität, besonders im high shear Bereich.

Generell kann mit diesen Darstellungen behauptet werden, dass enzymatische Stärke und Verdicker über den gesamten Scherratenbereich die Viskosität übermäßig bestimmen. Der Latexbinder beeinflusst den low-shear Bereich stark; iCoat Binder wirken auf den low-shear Bereich kräftig und auf den high-shear Bereich mäßig.

### 8.9 Einfluss des Trockengehaltes, der Binderart und des Verdickeranteils auf das Speicher- und Verlustmodul

Wie schon in Kapitel 3.3 erklärt, verhalten sich Streichfarben viskoelastisch. Dadurch zeigen Streichfarben, die einen hohen Trockengehalt (mehr Festkörper) aufweisen, ein eher elastisches Verhalten (hohes Speichermodul). Umgekehrt dominieren die viskosen Verhaltensweisen bei Streichfarben, welche einen geringeren Festkörpergehalt haben. Obwohl Verdicker keine Festkörper sind, steigt durch ihre Anwesenheit das Speichermodul, da sie die vorhandenen Festkörper untereinander wie eine elastische Kette verbinden.

Die Grafik 8.9.1 zeigt die oben angesprochene Wirkung des Festkörpergehaltes auf das Speicher- und Verlustmodul. In dieser Darstellung stellt die x-Achse die Schubspannung dar, mit welcher die Flüssigkeit geschert wird. Die linke y-Achse zeigt den Schubspannungswert, die rechte y-Achse den resultierenden Verlustwinkel. Gut zu sehen ist der niedrigere Verlustwinkel der Streichfarbe CL10, da sie einen höheren Feststoffgehalt hat und somit elastischer ist als AL10. Die höheren Speicher- und Verlustmodul-Werte der Probe CL10 zeigen lediglich, dass eine höhere Schubspannung nötig ist, um sie zu scheren bzw. zu deformieren.

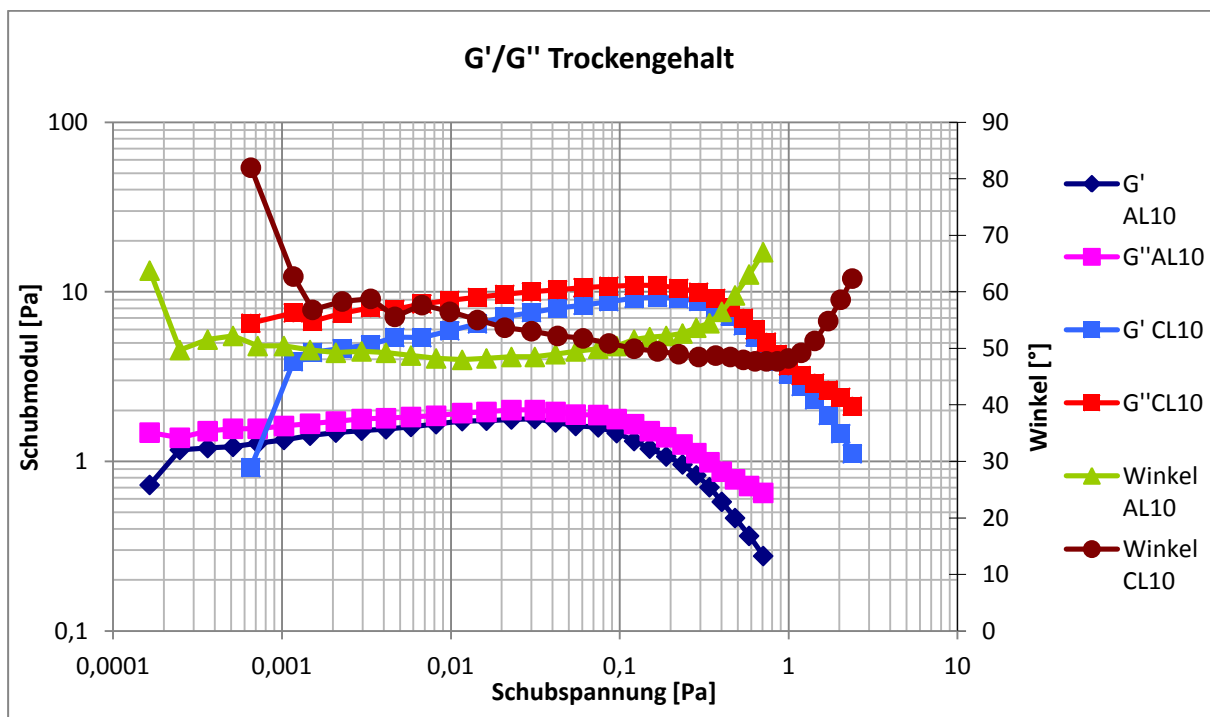


Abb.8.9.1: Einfluss des Trockengehaltes auf das Speicher- und Verlustmodul

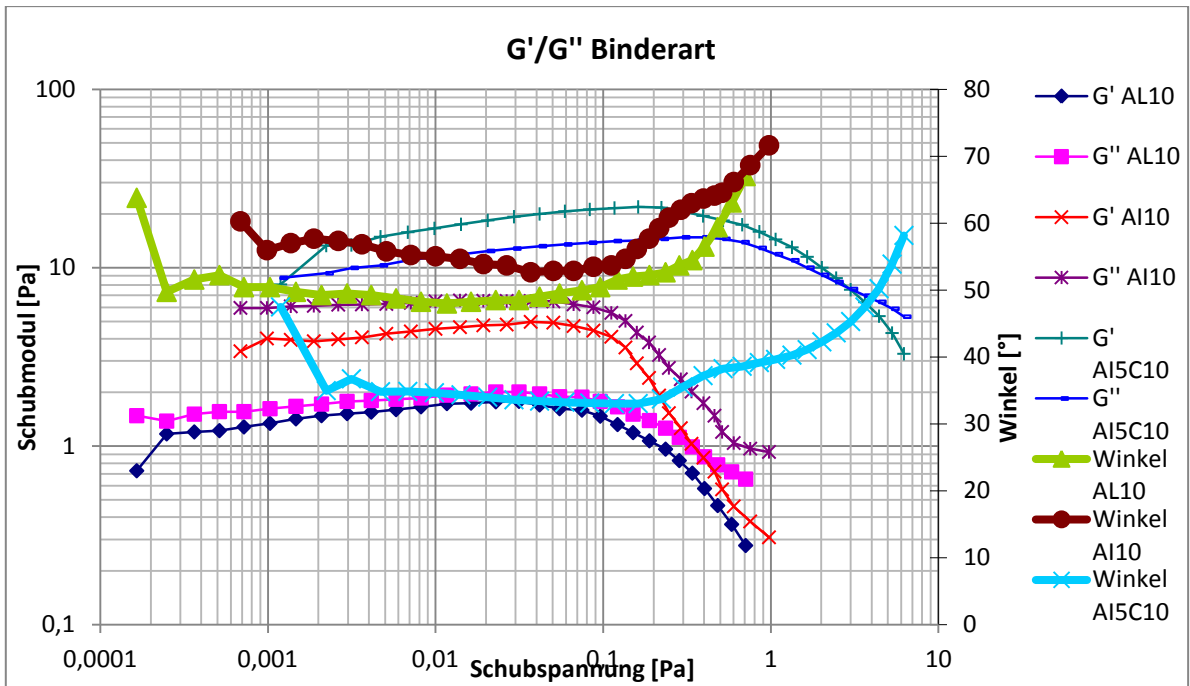


Abb.8.9.2 Einfluss der Binderart auf das Speicher- und Verlustmodul bzw. auf den Verlustwinkel

Wie in Darstellung 8.9.2 zu sehen ist, hat die Probe AI5C10 den niedrigsten Verlustwinkel und ist somit am elastischsten. Es ist gut zu erkennen, dass für diese Probe die Schubmodul-Werte am höchsten sind. Wie schon oben erklärt, hängt dies von der Viskosität der Probe AI5C10 ab, welche die höchste in allen Scherbereichen ist.

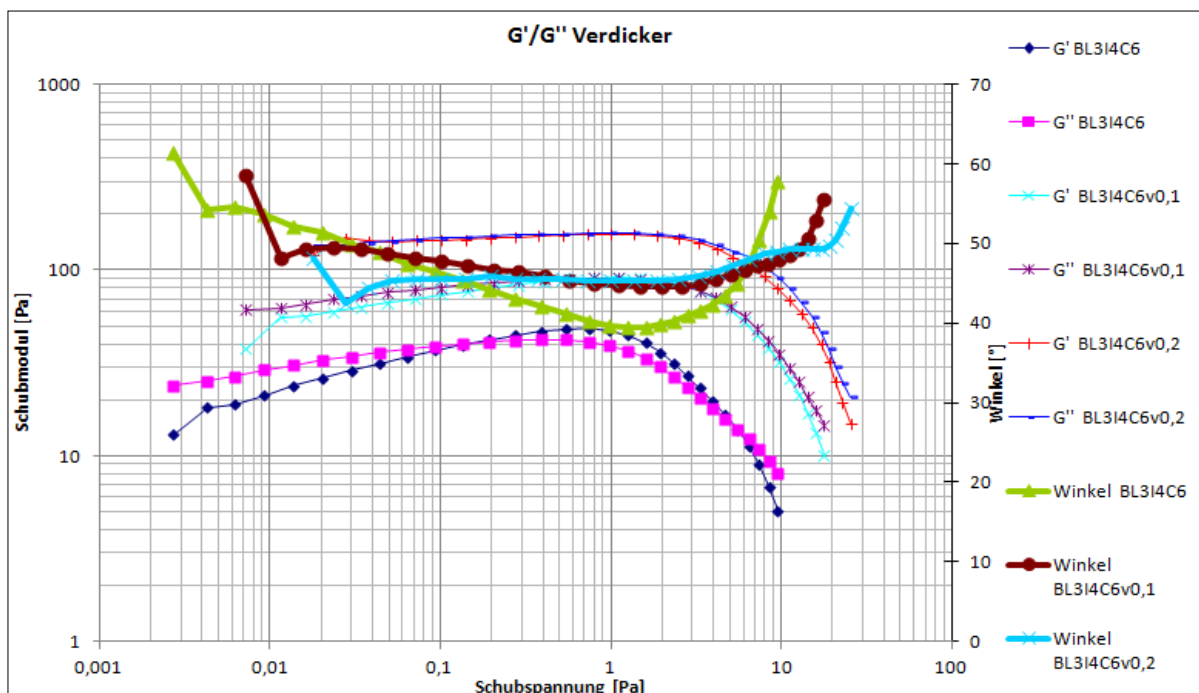


Abb.8.9.3 Einfluss des Verdickeranteils auf das Speicher- und Verlustmodul bzw. auf den Verlustwinkel



Die Abbildung 8.9.3 zeigt den Einfluss der Verdickermenge auf die Schubmodulwerte. Die Probe mit den Verdickeranteil von 0,2 (BL3I4C6v0,2) besitzt die höchsten Schubmodulwerte und den höchsten Verlustwinkel. Wieder ist zu erkennen, dass bei höherer Viskosität, mehr Kraft zum Deformieren notwendig ist. Bei höheren Anteilen an Verdickern steigt die Elastizität. Diese Grafik zeigen eine eindeutige Erhöhung der Elastizität durch höhere Trockengehalte, höhere enzymatische Stärkeanteile und höhere Verdickeranteile.

### 8.10 Einfluss der Streichfarbenkomponenten auf die Dehnviskosität

Die Messung der Dehnviskosität erfolgt mittels dem ACAV A2 Viskosimeter, wobei die Kapillare durch eine Messblende ersetzt wurde (siehe Kapitel 7.1.8). In den gezeigten Darstellungen bedeuten höhere Euler Zahlen, eine höhere Dehnviskosität.

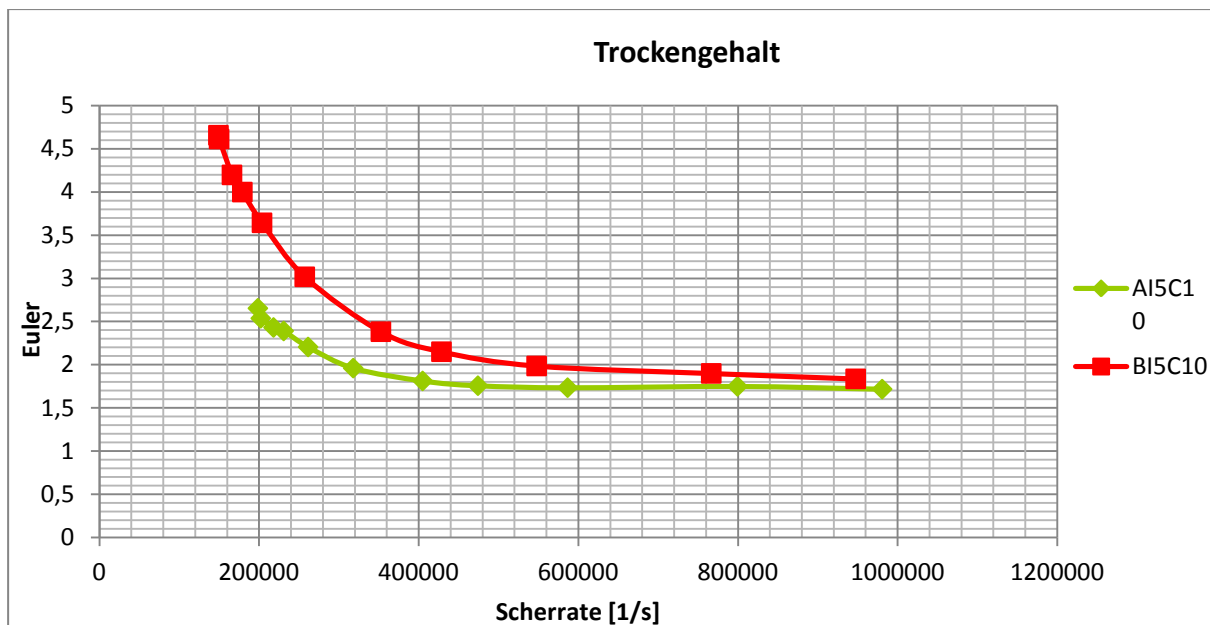


Abb.8.10.1 Einfluss des Trockengehaltes auf die Euler Zahl

Die Abbildung 8.10.1 zeigt, dass ein höherer Trockengehalt eine höhere Euler Zahl mit sich bringt. Leider wurde keine Dehnviskositätsmessung der Probe CI5C10 durchgeführt. Besonders bei Scherraten unter 600.000 [1/sec] ist der Einfluss des Trockengehaltes deutlich zu erkennen. In diesem Scherratenbereich wird die Streichfarbe im Nip einer Filmpresse geschert [29].

Die unterschiedlichen Euler Zahlen bei verschiedenen Binderarten, sind in der Darstellung 8.10.2 zu sehen. Wieder spielen höhere enzymatische Stärkeanteile eine große Rolle. Es ist zu sehen, dass besonders in dem für uns interessanten Scherbereich, die Streichfarbe B15C10 eine hohe Euler Zahl erzeugt. Natürlich wurden hierbei wieder um 5 Anteile mehr Binder verwendet als für B10 und BL10, jedoch musste dieser Vergleich gemacht werden, da alle Proben die selbe Binderstärke aufweisen sollten und dies als Vergleichsbasis gewählt

wurde. Auffallend sind die unterschiedlichen Kurvenverläufe der Streichfarben, insbesondere in Bezug auf die Steigung. Der Verlauf der Streichfarbe BI5C10 zeigt eine abfallende Kurve, welche dann bei hohen Scherraten auf das Niveau der Probe BI10 abfällt. Die Proben BI10 und BL10 haben eher lineare Kurvenverläufe mit unterschiedlichen Niveaus. Mit dieser Darstellung kann die Aussage getätigt werden, dass die enzymatische Stärke eine höhere Dehnviskosität verursacht als iCoat und Latex, wobei wiederum iCoat eine höhere als Latex erzeugt.

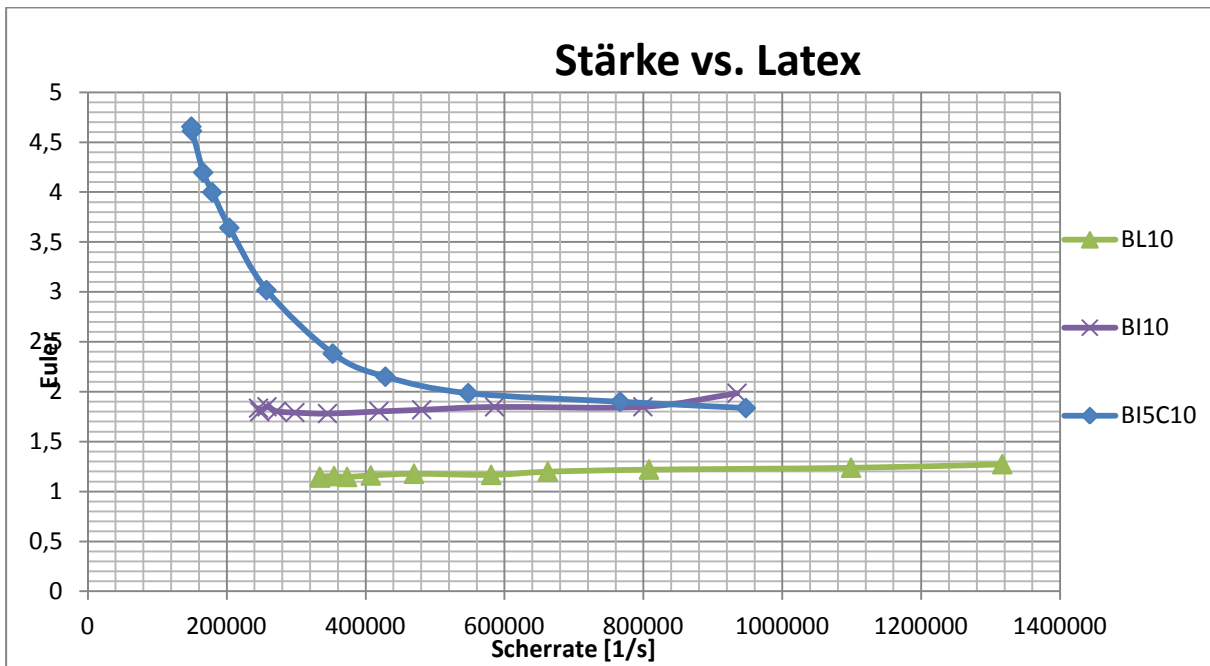


Abb.8.10.2: Einfluss des Binders auf die Euler Zahl

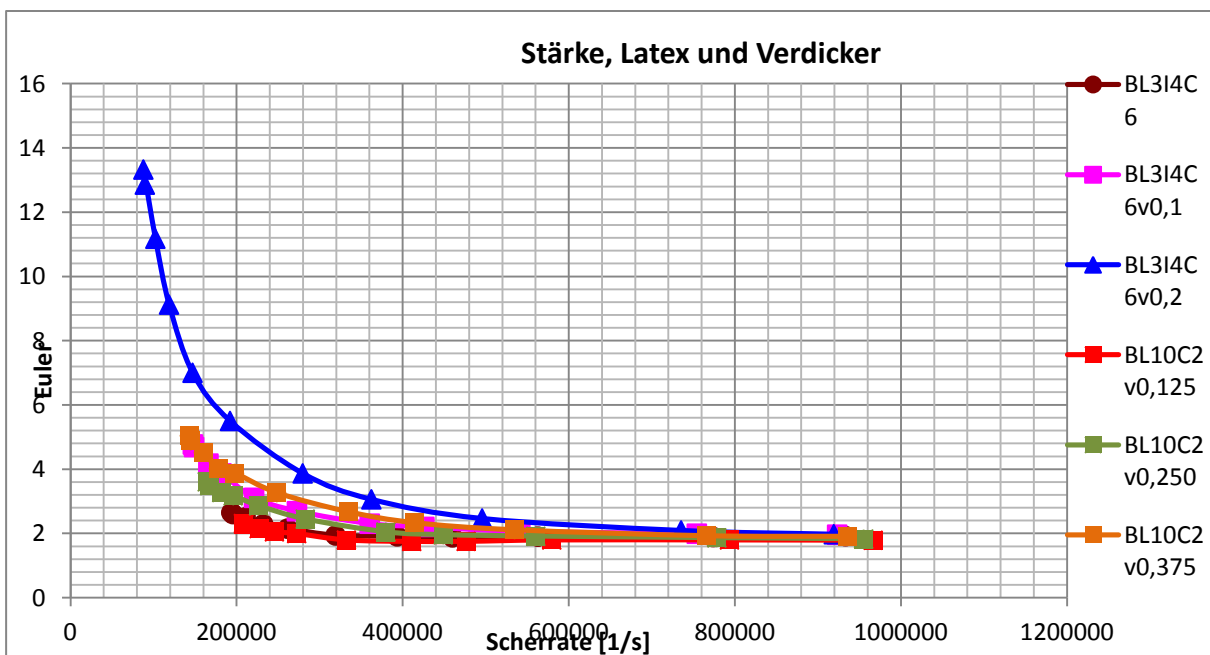


Abb.8.10.3 Einfluss von Stärke, Latex und Verdickermenge auf die Euler Zahl

In Abbildung 8.10.3 sind die Einflüsse von der enzymatischen Stärke, Latex und dem Verdicker auf die Euler Zahl zu sehen. Auffallend hoch ist die Euler Zahl der Probe BL3I4C6v0,2. Dies ist mit den hohen Verdickeranteil (0,2 Anteile) und dem relativ hohen enzymatischen Stärkeanteil (6 Anteile) zu erklären. Obwohl die Streichfarbe BL10C2v0,375 den höchsten Verdickeranteil aller Proben aufweist, weist sie aufgrund des niedrigen Stärkeanteils eine geringere Euler Zahl in allen Scherratenbereichen auf als die Probe BL3I4C6v0,2.

Die Euler Zahl ist umso höher, je höher der Trockengehalt, die enzymatische Stärke und der Verdickeranteil ist. Insbesondere steigt die Euler Zahl bei gemeinsamen Einsatz dieser Rohstoffe.

### 8.11 Ergebnisse des Filament Stretching Rheometers

Für die Messungen am Filament Stretching Rheometer, wurden mehrere Proben vorbereitet. Es stellte sich heraus, dass nicht alle Streichfarben vermessen werden konnten, da sie laut [35] keine stetigen Fadendurchmesserabnahmen aufwiesen bzw. zum Teil zu hohe Viskositäten für die Messungen hatten. Daher fehlen für genauere Aussagen und Vergleiche mit anderen Messmethoden mehrere Messwerte.

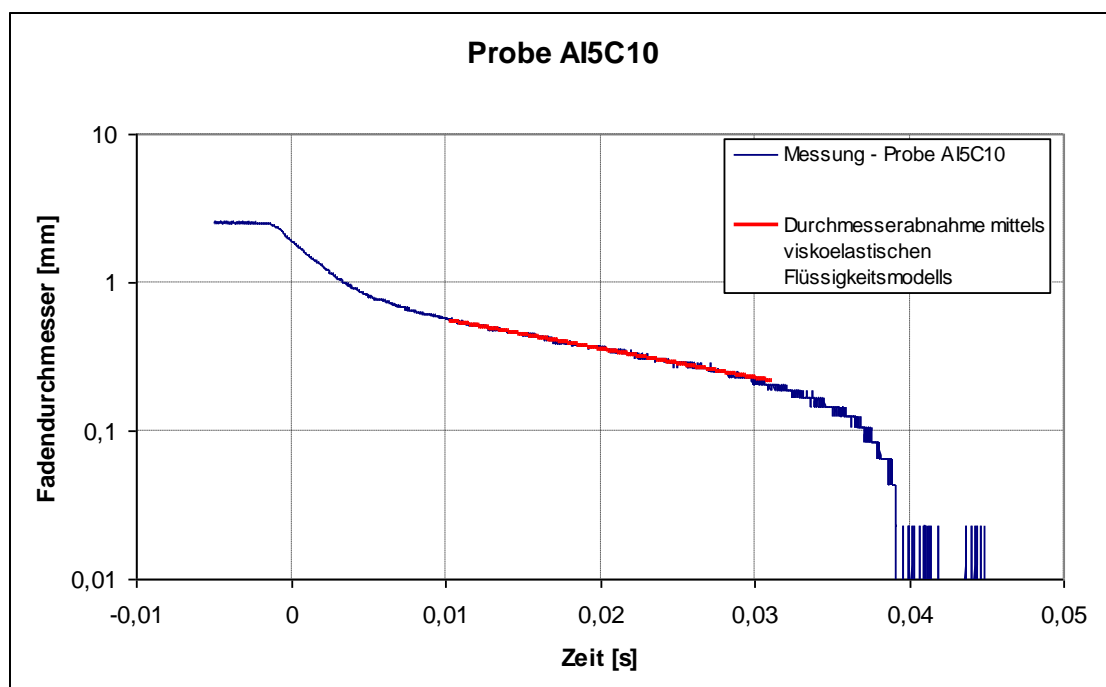


Abb.8.11.1 Fadendurchmesserabnahme der Probe AI5C10

Die Abbildung 8.11.1 zeigt als Beispiel die Probe AI5C10 und deren Durchmesserabnahme während der Messzeit. Daraus wird mittels der Formel 20 die Relaxationszeit berechnet. Je höher die Relaxationszeit ist, umso eher können Filamente von der Streichfarbe gebildet

werden. In der Tabelle 8.11.1 sind die Ergebnisse der Messungen dargestellt. Nachdem die Proben mehrmals gemessen wurden, sind auch die Standardabweichung und die Mittelwerte in der Tabelle 8.11.1 eingetragen. Von den weiteren Proben werden keine Abbildungen mehr gezeigt, da nur die Relaxationszeit Auskunft über die Dehnviskosität gibt.

Tab.8.11.1 Relaxationszeiten der Streichfarbenproben [35]

<b>Streichfarben- proben</b>	<b>Mittelwert der Relaxationszeit [ms]</b>	<b>Standard- abweichung [ms]</b>	<b>Standard- abweichung [%]</b>
AI5C10	6,55	1,92	29
BI5C10	14,75	2,27	15
AL10	Kein viskoelastisches Verhalten		
CL10	Kein viskoelastisches Verhalten		
AI10	Kein viskoelastisches Verhalten		
BL10C2v0,125	8,68	1,12	13
BL10C2v0,375	Zu hohe Viskosität		

Durch die fehlgeschlagenen Messversuche mit dem Filament Streching Rheometer wird deutlich, dass diese Messmethode eine hohe Einschränkung in der Anwendbarkeit mit sich bringt. Trotz fehlender Messergebnisse zeigen die vorhandenen Werte, dass ein höherer Trockengehalt eine Steigerung der Relaxationszeit verursacht und somit eine höhere Dehnviskosität.

### ***8.12 Einfluss des Trockengehaltes, der Binderart und des Verdickeranteils auf die Oberflächenspannungsmessungen***

Die in der Tabelle 8.12.1 aufgelisteten Werte, zeigen die Oberflächenspannungen der gemessenen Proben AL10, CL10, AI5C10, BI5C10, AI10, BL10C2v0,125 und BL10C2v0,375. Mit diesen Messungen sollen die Einflüsse des Trockengehaltes, der Binderart und des Binderanteils bzw. Verdickeranteiles verdeutlicht werden. Die Messungen wurden je Probe dreimal durchgeführt und daraus der Mittelwert ausgerechnet.

Tab.8.12.1 Oberflächenspannungen

Probe	Ergebnis in [mN/m]
AL10	38
CL10	33
AI5C10	43
CI5C10	39
AI10	43
BL10C2v0,125	38
BL10C2v0,375	>100

Die Oberflächenspannung sinkt mit höherem Trockengehalt. Bei Streichfarben, welche enzymatische Stärke oder iCoat als Binder verwenden und hohe Verdickeranteile haben, ist die Oberflächenspannung höher. Besonders hoch war die Oberflächenspannung der Probe BL10C2v0,375. Der Grund dafür ist wahrscheinlich der höchste Verdickeranteil. Leider konnte wegen fehlendem Probenmaterial keine Oberflächenspannungsmessung an der Streichfarbe VST4 aus Ehingen durchgeführt werden. Jedoch kann mit diesen Ergebnissen verdeutlicht werden, dass die verwendete Streichfarbenrezeptur in Ehingen (VST4) wegen dem relativ niedrigen Trockengehalt und den hohen enzymatischen Stärke und Verdickeranteilen, mit einer großen Wahrscheinlichkeit eine hohe Oberflächenspannung besitzt.

### **8.13 Ergebnisse der Untersuchung mittels einer Zentrifuge**

Wie schon aus den vorigen Kapiteln bekannt, beeinflussen vor allem der Trockengehalt bzw. die Binder- und Verdickeranteile die Eigenschaften der Streichfarben. Deshalb wurden vier verschiedene Streichfarben mit unterschiedlichen Variationen bezüglich dem Trockengehalt und dem Anteil an Binder und Verdicker hergestellt und vermessen (siehe Tabelle 8.13.1). Mit der Untersuchung mittels einer Zentrifuge lassen sich große Krafteinwirkungen auf die Streichfarbe simulieren. Die zu überprüfenden Streichfarben wurden dabei in Pipetten gefüllt und zentrifugiert (siehe Kapitel 7.1.10). Die Höhe der sich getrennten Phasen wurden mit einem Lineal abgemessen (siehe Kapitel 7.1.10). Weiters wurden die Trockengehalte aller Phasen gemessen. In der Tabelle 8.13.1 sind die Ergebnisse der Trockengehalte und der abgelesenen Höhen dargestellt.

Tab.8.13.1: Ergebnisse der Messung mittels Zentrifuge

	CL3I4C4	AL3I4C4	AL3I4C4v0,25	CL3I3C2
Höhe feste Phase [cm]	4,5	5,1	2,8	5,7
Trockengehalt feste Phase [%]	82,6	81	82	82,3
Höhe flüssige Phase [cm]	4,3	3,7	6	3,1
Trockengehalt flüssige Phase [%]	45,6	27,9	52,4	35,6

Wie man in Tabelle 8.13.1 erkennen kann, ist das Ausmaß der Höher der festen Phase größer, umso größer der Trockengehalt und umso höher der Binder- und/oder der Verdickeranteil ist.

Diese Ergebnisse zeigen, dass hohe Trockengehalte und hohe Bindemittel- bzw. Verdickeranteile einen großen Widerstand gegenüber der angelegten Zentrifugalkraft darstellen, welche die feste Phase bilden will. Gleiches ist durch die Werte der Trockengehalte der festen und flüssigen Phase zu sehen. Dabei unterscheiden sich die Trockengehalte der festen Phasen der einzelnen Proben nur minimal. Im Gegensatz dazu ist die Wirkung der drei Einflussfaktoren (Trockengehalt, Binder- und Verdickeranteil) auf die flüssige Phase eindeutig zu erkennen. Dabei kann festgestellt werden, dass je höher der Trockengehalt bzw. Bindemittel- und Verdickeranteil der Streichfarbe ist, umso höher ist der Trockengehalt und die Höhe der flüssigen Phase. Die Phasen trennen sich umso leichter je geringer der Trockengehalt und umso weniger Binder- und Verdickeranteile die Streichfarbe aufweist.

#### **8.14 Interpretation der Messergebnisse**

Die Ergebnisse der Kapitel 8.1 und 8.2 zeigen, dass der Staub von einer Streichfarbe stammen muss, da die Größe und Form des feinen Staubes mit den zerriebenen Mistingtröpfchen übereinstimmt und die Bindergehaltanalyse ergab, dass der Staub Binderanteile beinhaltet. Die Kapitel 8.7 bis 8.13 stellen dar, dass ein hoher Trockengehalt, ein hoher enzymatischer Stärkeanteil und ein hoher Verdickeranteil zu einer hohen Scherviskosität, einer hohen Dehnviskosität, einem hohen Speichermodul, einer hohen Wasserretentionen und einer hohen Oberflächenspannung der Streichfarbe führt. Diese Eigenschaften führen, wie schon in Kapitel 6.1.12 erklärt, zu einer höheren Wahrscheinlichkeit von Misting und Orange Peel, welche als Ursachen für das Stauben vermutet werden (siehe Kapitel 7).

### **8.15 Ergebnisvergleich Streichfarbenproben vs. Streichfarbe VST4**

In diesem Kapitel befinden sich die Messergebnisse der Streichfarbe (VST4) aus Ehingen und der Streichfarbe BL10C2v0,125. Leider wurde nicht die Streichfarbe VST10 hergestellt, jedoch ähnelt die Rezeptur der Streichfarbe BL10C2v0,125 der Rezeptur von der Streichfarbe VST10. Daher wurden die Ergebnisse der Streichfarbe BL10C2v0,125 als Ergebnisse der Streichfarbe VST10 verwendet. Basierend auf den Interpretationen des Kapitel 8.10 und den Schlussfolgerungen des Kapitels 6.1.12 wurden drei Streichfarben (V1, V2, V3) erstellt, mit denen theoretisch bei Verwendung an der Filmpresse verringertes Misting und Orange Peel, aufgrund von niedrigen Stärke- und Verdickeranteilen auftreten sollte (siehe Kapitel 7). Obwohl die obigen Kapitel 8.7 bis 8.13 zeigen, dass Streichfarben mit höheren Trockengehalten eher zu höheren Scher- und Dehnviskositäten und somit zu Misting und Orange Peel neigen, ist auch bekannt, dass bei höheren Trockengehalten weniger flüssige Phase vorhanden ist, wodurch weniger Filamente entstehen (siehe Kapitel 6.1.4 und 6.1.12). Daher wurden bei allen dreien der Trockengehalt mit 69 Prozent gewählt und die Anteile von enzymatischer Stärke und Verdicker gegenüber der Streichfarbe VST4 verringert. In Kapitel 7.1.7 ist die Rezeptur der Streichfarbe VST4 und im Anhang die Rezepturen der Streichfarben V1, V2, V3 und BL10C2v0,125 (VST10) zu finden.

Die Grafik 8.15.1 zeigt die Brookfield Viskositäten der untersuchten Streichfarben VST4, V1, V2, V3 und VST10. Obwohl die Streichfarbe VST4 einen Trockengehalt von nur 65 Prozent hat, weist sie jedoch die höchste Brookfield Viskosität auf. Dies ist mit den hohen Anteilen an enzymatischer Stärke sowie den hohen Verdickeranteilen zu erklären.

Wie zu erwarten zeigt die Abbildung 8.15.2, dass die Streichfarbe VST4 die höchste Wasserretention hat. Gut zu erkennen ist der Unterschied zwischen den Proben V1 und V2. Hierbei wurden zwei Anteile enzymatischer Stärke gegen einen iCoat-Anteil getauscht. Es ist ersichtlich, dass nur geringe Anteile von Verdicker reichen um die Wasserretention zu erhöhen. Die Streichfarbe BL10C2v0,125 (VST10) hat eine relativ hohe Viskosität (siehe Abbildung 8.15.1) jedoch die niedrigste Wasserretention. Der Grund dafür ist vermutlich, dass die Streichfarbe VST10 fast ausschließlich Latex als Binder hat.

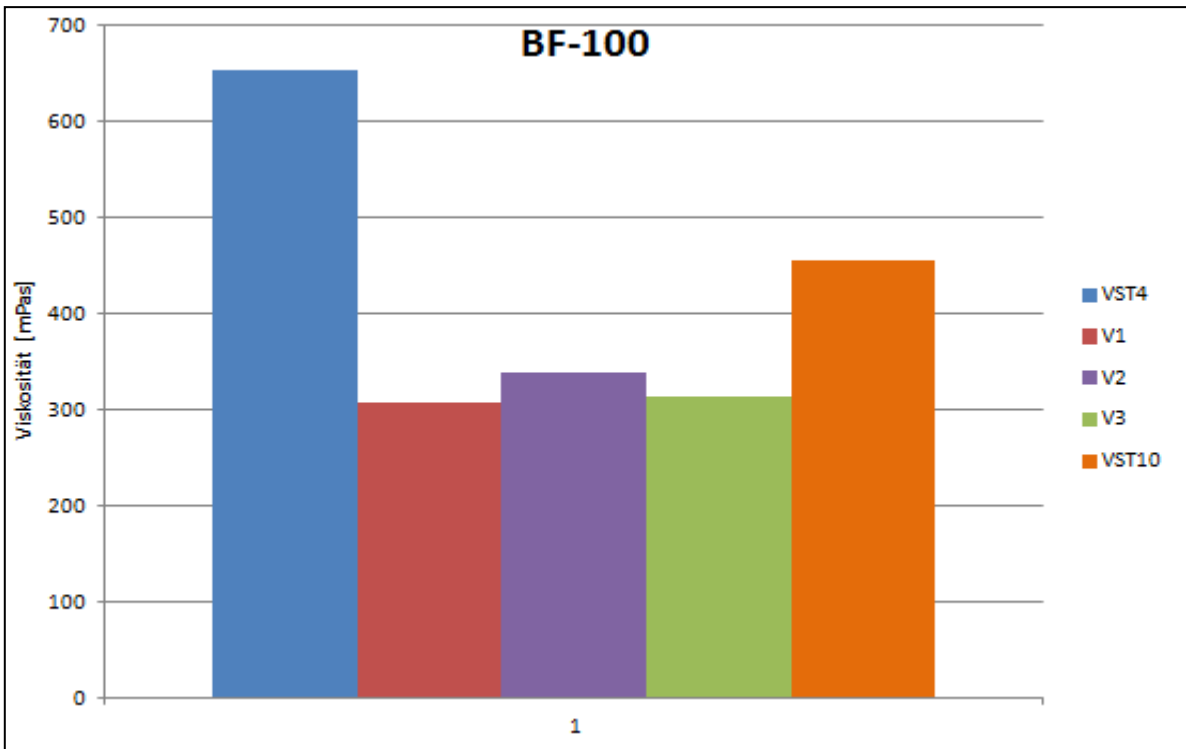


Abb.8.15.1: Brookfield Viskosität der Proben

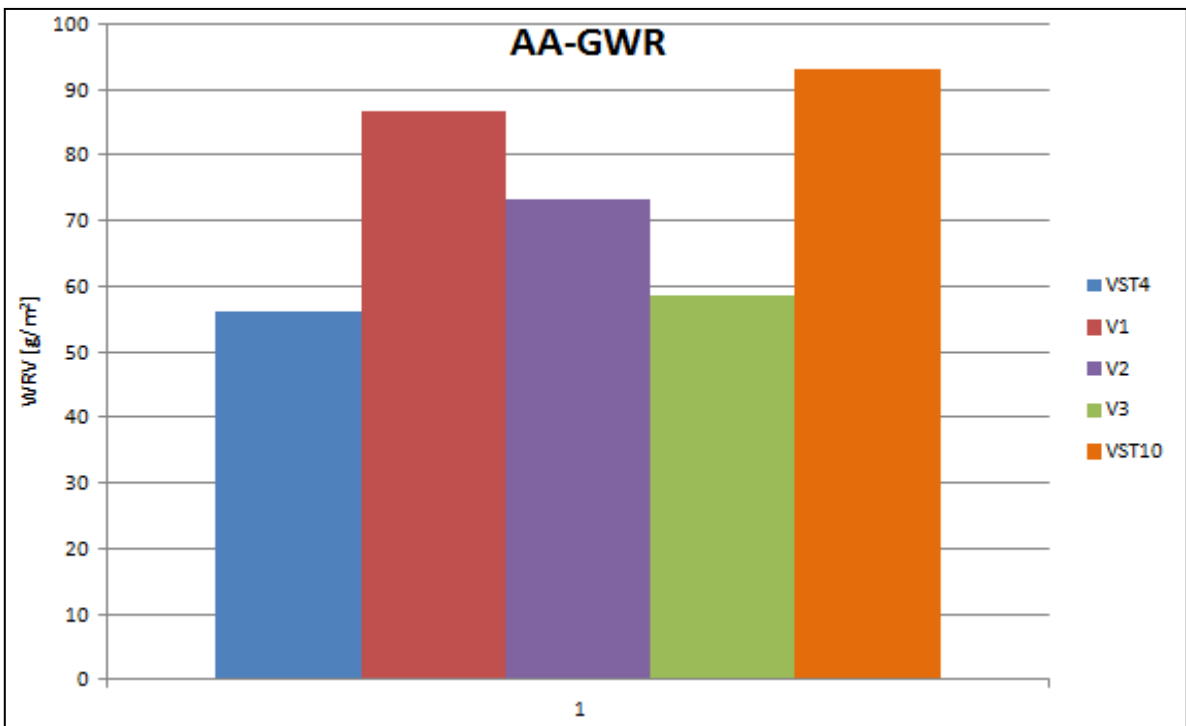


Abb.8.15.2 Wasserretention der Proben



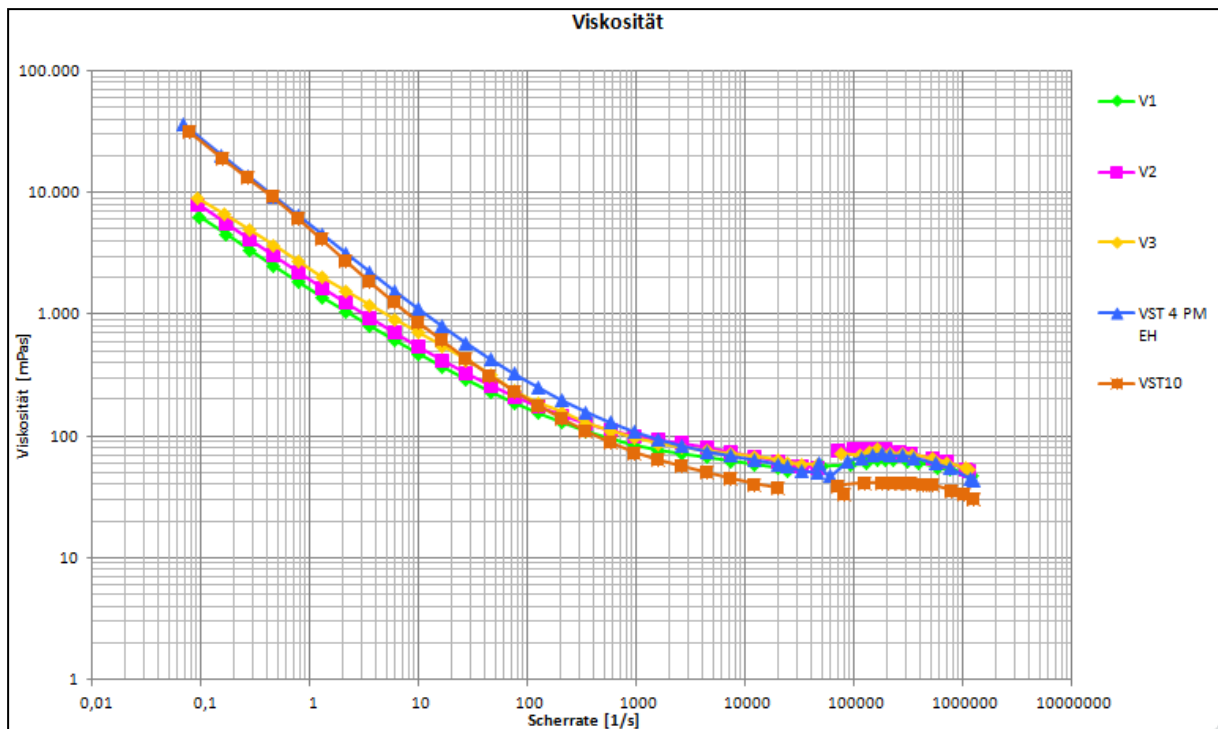


Abb.8.15.3 Viskosität der Proben

Die Darstellung 8.15.3 zeigt die Viskosität der Proben über den gesamten Scherbereich. Zu erkennen ist, dass die Probe VST4 im low-shear Bereich die höchste Viskosität aufweist. Dies wurde schon mit der Brookfield Viskosität festgestellt.

Mit steigender Scherrate gleichen sich die Viskositäten der Proben an, bis nur mehr geringe Unterschiede im high-shear Bereich zu sehen sind. Durch die hohen Anteile an enzymatischer Stärke und Verdicker hat die Streichfarbe VST4, trotz eines geringeren Trockengehaltes, eine ähnliche high-shear Viskosität wie die Vergleichsproben (V1, V2, V3). Die niedrigste high-shear Viskosität weist die Streichfarbe VST10 auf.

Das Speicher- und Verlustmodul der Proben wird in der Abbildung 8.15.4 dargestellt. Hierbei sind die Speicher- und Verlustmodule der Probe VST4 auffallend hoch. Die Verlustwinkel die in der Abbildung 8.15.5 zu finden sind, zeigen dass der Verlustwinkel der Streichfarbe VST4 bei höheren Schubspannungen, gegenüber den anderen Verlustwinkel niedriger ist. Die Gründe dafür, sind wieder die hohen Anteile an enzymatischer Stärke und Verdicker, welche die Streichfarben elastischer erscheinen lassen.

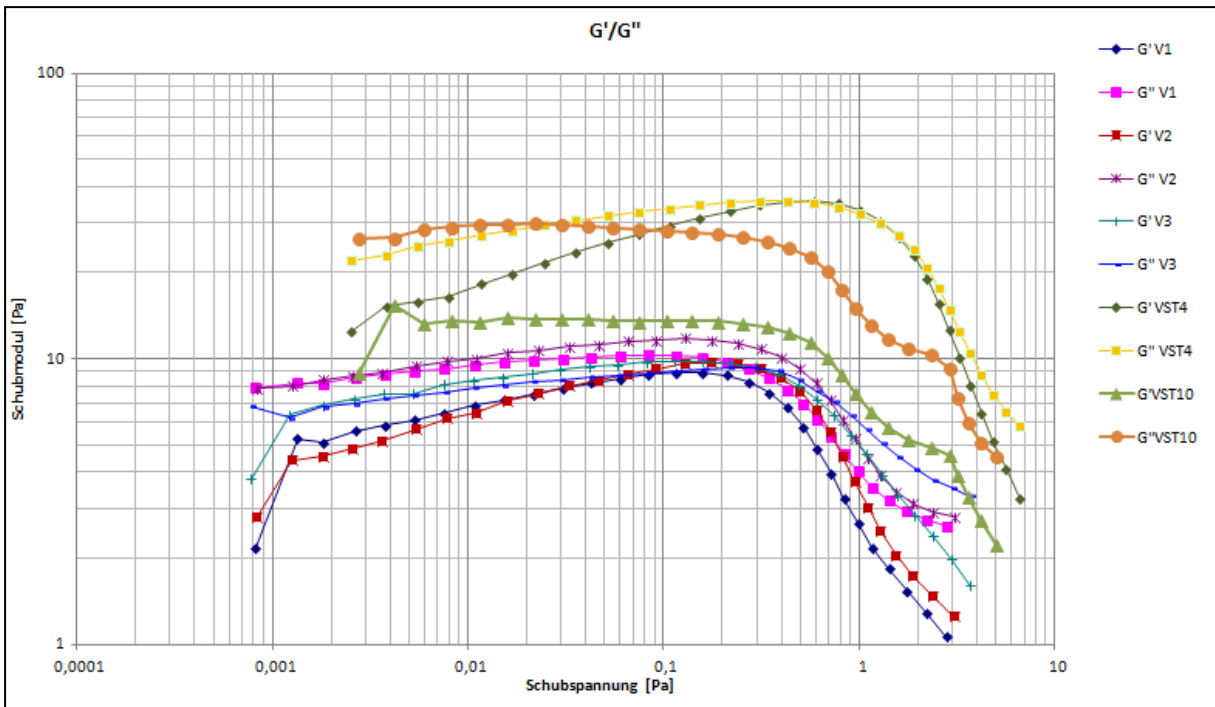


Abb.8.15.4 Schubmodule der Proben

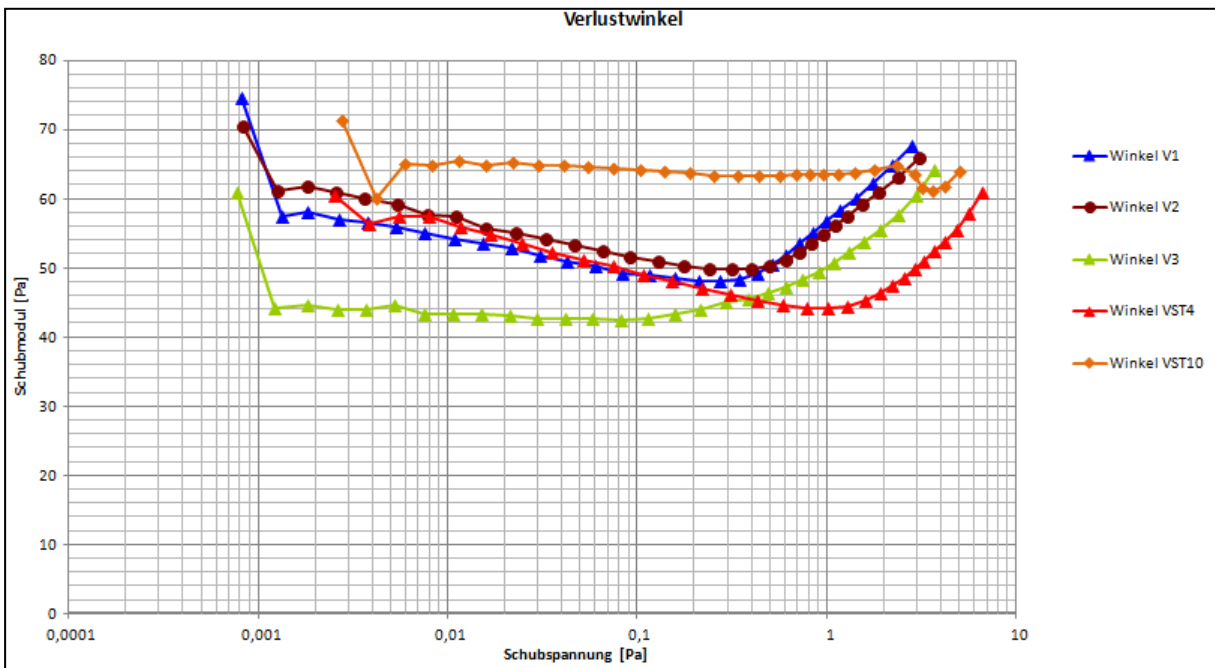


Abb.8.15.5 Verlustwinkel der Proben

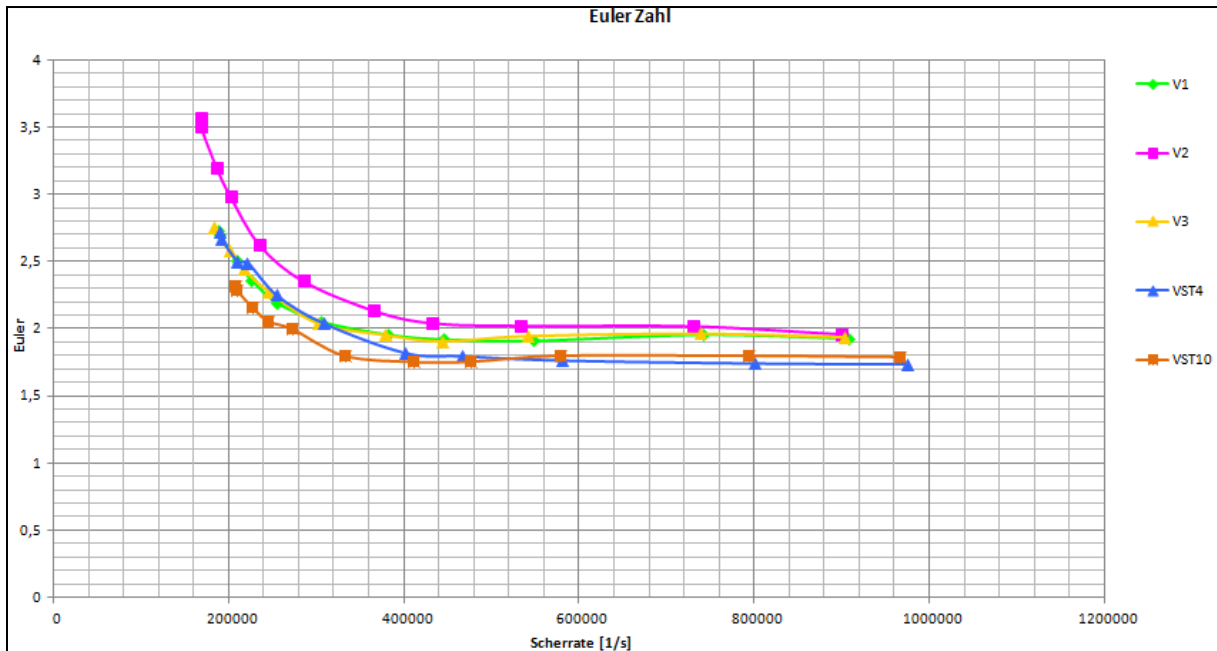


Abb.8.15.6 Euler Zahlen der Proben

In der Darstellung 8.15.6 sind die Euler Zahlen gegenübergestellt. Darin ist ersichtlich, dass bis auf die Streichfarbe V2 in den für uns interessanten Scherratenbereich (unter  $4 \cdot 10^5$  [1/s]) alle ähnliche Euler Zahlen aufweisen. Im oberen Scherratenbereich sinkt die Euler Zahl der Proben VST4 und VST10 auf ein geringeres Niveau gegenüber den anderen Proben.

Mit den Ergebnissen dieses Kapitels gelangt man zu der Erkenntnis, dass die Streichfarbe VST4 aus Ehingen trotz ihres niedrigen Trockengehaltes eine hohe Brookfield Viskosität und somit eine hohe Wasserretention bzw. eine relativ hohe high shear Viskosität hat. Die Abbildung 8.15.5 zeigt aufgrund des niedrigeren Verlustwinkels eine relativ hohe elastische Neigung. Diese Beschaffenheiten der Streichfarbe VST4 werden von den hohen Anteilen an enzymatischer Stärke und Verdicker hervorgerufen. Bei der Euler Zahl (siehe Abbildung 8.15.6) konnten keine größeren Unterschiede der Streichproben festgestellt werden.

Für Misting und Orange Peel bedeutet dies, dass die Streichfarbe VST4 im Gegensatz zu den anderen Proben, aufgrund ihrer oben genannten Eigenschaften (höhere Viskosität, höhere Elastizität) vermutlich schlechtere Ergebnisse erzielen wird. Besonders deutlich wird dies, durch die hohe Wasserretention und der größeren flüssigen Phase im Nip der Filmpresse, welche von dem niedrigen Trockengehalt hervorgerufen wird. Die Streichfarbe BL10C2v0,125 (VST10) hat wegen ihrer niedrigen Wasserretention, niedrigen high shear Viskosität und dem hohen Verlustwinkels eher eine geringere Neigung zur Bildung von Filamenten.

## 8.16 Diskussion

Aus den Ergebnissen der Messungen dieser Arbeit, ist zu erkennen, dass die Viskosität in allen Scherratenbereichen von hohen Trockengehalten, hohen Anteilen an enzymatischer Stärke sowie hohen Verdickeranteilen gesteigert wird. Weiters zeigen die Ergebnisse eine Senkung des Verlustwinkels mit dem Trockengehalt, der enzymatischen Stärke und des Verdickers. Auch die Dehnviskosität wird positiv von diesen drei Faktoren beeinflusst. Daher sind Streichfarben mit erhöhten Trockengehalten, enzymatischer Stärke und/oder Verdickeranteilen elastischer und haben eine hohe Viskosität bzw. eine gute Wasserretention. Diese Eigenschaften beeinflussen die Entstehung von Filamenten positiv und somit Misting und/oder Orange Peel. Jedoch ist die Beeinflussung des hohen Trockengehaltes umstritten, da dieser zwar die Viskosität bzw. Dehnviskosität erhöht aber dadurch weniger flüssige Phase vorhanden ist, die sich zu Filamenten bzw. Misting und/oder Orange Peel entwickeln kann.

Die Ergebnisse des Kapitels 8.12 zeigen, dass die Oberflächenspannung der Streichfarbe höher ist, wenn diese einen niedrigeren Trockengehalt, hohe enzymatische Stärke und Verdickeranteile hat.

Wie aus der Strichrezeptur bekannt, hat die Streichfarbe VST4 bei welcher die Intensität des Staubens am Größten ist, einen eher niedrigen Trockengehalt und hohe enzymatische Stärke und Verdickeranteile. Im Vergleich mit anderen Streichfarben, welche in Kapitel 8.15 dargestellt sind, zeigt die Streichfarbe VST4 trotz des niedrigsten Trockengehaltes, hohe Scherviskositäten und einen hohen Verlustwinkel. Aus dem Kapitel 6.1.4 ist bekannt, dass ein niedriger Trockengehalt die Filamentbildung aufgrund von vermehrter nicht immobilisierter Strichschicht erhöht. Mit dem Wissen, dass die Streichfarbe VST4 einen niedrigen Trockengehalt, eine hohe Scherviskosität und eine sehr hohe Wasserretention besitzt, wird vermutet dass die Wahrscheinlichkeit für auftretendes Misting und/oder Orange Peel bei Verwendung von VST4 hoch ist. Die Ergebnisse des Kapitels 8.15 zeigen, dass die Streichfarbe BL10C2v0,125 (VST10) eher eine geringere Neigung von Filamenten als die Streichfarbe VST4 aufweist.

Aus den Ergebnissen der Untersuchung mittels einer Zentrifuge ist ein vergrößerter Widerstand der Streichfarbe gegen eine Krafteinwirkung mittels hohen Trocken- Binder- und Verdickergehalts zu sehen. Dies bedeutet, dass mehr Kraft benötigt wird um eine feste Phase der Streichfarbe zu bilden bzw. stellt die Streichfarbe einen Widerstand gegen die Entwicklung einer Strichschicht dar. Dadurch entstehen aufgrund einer größeren Menge an immobilisierter Phase vermehrt Filamente und somit Misting bzw. Orange Peel.

Weiters legen die Ergebnisse des Kapitels 8.2 dar, dass der Staub von der Streichfarbe stammen muss, da eindeutig Bindemittel im Staub vorhanden ist. Die Werte liegen mit ca. 6

Prozent weit unter dem der verwendeten Streichfarbe VST4 (13 Prozent). Dies deutet auf eine Bindermigration in das Papier hin, jedoch kann eine solche Ursache für den Hallenstaub aufgrund der Information aus Ehingen bezüglich der Streichfarbe VST10 verworfen werden (siehe Kapitel 7). Auch die steigende Menge an Staub, welcher durch die Auf- und Abrollung entsteht, widerspricht der Bindermigration als Staubquelle, da die Bindermigration ausschließlich an der Papiermaschine stattfinden kann. Das Resümee der Kapitel 8.1 und 8.2 ergibt, dass der Hallenstaub aus keinen von der Papieroberfläche abgelösten Mistingtropfen bestehen kann, da die Größenordnung des Staubes ca. zehnmal kleiner ist als die der Mistingtropfen und der Hallenstaub nicht die gleichen Bindemittelwerte aufweist. Dabei ist davon auszugehen, dass die Mistingtropfen ähnliche Werte bezüglich der Bindemittel besitzen müssen wie die Streichfarbe selbst.

Ein weiterer Punkt, der für Misting und/oder Orange Peel als Ursache für den Hallenstaub spricht, ist die erhöhte Rauigkeit der problematischen Papiersorte Presto Silk. Die Ergebnisse des Kapitels 8.5 zeigen die Rauigkeitswerte der untersuchten Papiersorten (Presto Silk, Quatro Silk, Mega Silk). Wie schon in Kapitel 6.1.6 erklärt wurde, steigt die Anzahl der erzeugten Filamente und somit die Wahrscheinlichkeit für Misting und/oder Orange Peel, durch hohe Rauigkeit des Papiers.

Mit der Abbildung 8.3.1 kann vermutet werden, dass nur wenig Mistingtropfen den Nipausgang verlassen. Somit ist Vermutlich auch das Misting nicht die Ursache für den Hallenstaub. Die Darstellungen des Kapitels 8.4 zeigen, dass die erzeugte Staubmenge bei mehrmaliger Auf- und Abrollung größer wird. Demnach unterliegt die getrocknete Streichfarbe zwischen den Papierlagen einer Reibung, welche die obere Strichschicht zermahlt und als Hallenstaub auftreten lässt.

Die Ergebnisse der Burnout Tests und Mottle Analyse weisen die Unterschiede von verschiedenen Papierproben auf, wobei bezüglich der Hallenstaubproduktion nur die Sorte Presto Silk Probleme mit sich bringt. Dabei wurde deutlich, dass diese Sorte große Schwankungen betreffend der Strichschichtdicke aufweist. Diese Schwankungen weisen auf Orange Peel hin, welches im Wesentlichen eine hügelige Schwankung der Strichschicht ist.

Mit den Ergebnissen des Kapitels 8 wurde gezeigt, dass die Streichfarbe VST4 aus Ehingen, durch ihren relativ niedrigen Trockengehalt sowie der hohen enzymatischen Stärke und Verdickeranteile sehr günstige Eigenschaften besitzt um Misting und/oder Orange Peel zu verursachen. Weiters besitzt die Papiersorte Presto Silk hohe Rauigkeitswerte, welche auch vorteilhaft für Misting und/oder Orange Peel sind. Misting kann vermeintlich wegen der Messung mittels dem schwarzen Blatt Papier (Kapitel 8.13) und der bekannten, relativ niedrigen Maschinengeschwindigkeiten der Papiermaschine (maximal 1100 [m/min])

ausgeschlossen werden. In Kapitel 6.1.5 wird beschrieben, dass für ein Auftreten von Misting hohe Maschinengeschwindigkeiten nötig sind. Weiters zeigen die Ergebnisse des Kapitels 8.6, dass die kritischen Papiersorte Presto Silk vermutlich Orange Peel aufweist.

Die Erkenntnisse dieser Arbeit sind, dass die kritische Streichfarbe VST4 wahrscheinlich Orange Peel an der kritischen Papiersorte Presto Silk verursacht und dass durch eine eventuelle Reibung ein Teil der hügelige Struktur der Papieroberfläche (Orange Peel) zu Staub zermahlen wird.

## **9. Ausblick**

Da in der vorliegenden Arbeit nur Vermutungen und keine eindeutige Ursache für das Stauben an der Papiermaschine in Ehingen gefunden wurde, sind noch weitere Untersuchungen nötig. Dafür sind eine umfassendere Bestimmung der Intensität von Misting und des Staubens an der Papiermaschinen durchzuführen (mehrmalige Messungen). Auch eine Variation der Maschinengeschwindigkeit und des Strichgewichtes mit anschließender Misting und Staub Intensitätsmessung sollte für eine Ursachenerkennung durchgeführt werden. Eine Untersuchung der Streichfarbe VST10 aus Ehingen hinsichtlich Scherviskosität (über den gesamten Scherratenbereich), Dehnviskosität, Wasserretention, Speicher- und Verlustmodul müsste vollbracht werden. Um auch Orange Peel bei anderen Papiersorten ausschließen zu können, müssen bei allen in Ehingen produzierten Papiersorten Burnout Tests bzw. Mottle and Marking Analysen durchgeführt werden. Ein weiterer Hinweis für die Reibung zwischen Papierlagen während der Auf- und Abrollung könnte mittels Glanz, Glätte und Rauigkeitsmessungen bei Entnahme von Papierproben eines Tambours vor jeder Auf- und Abrollung belegt werden.

Eine Bindemittelgehaltanalyse der aufgefangenen Mistingtröpfchen aus dem Ausgang der Filmpresse in Ehingen könnte belegen, ob die Mistingtröpfchen eine Bindemittelverarmung aufweisen. Weiters sollten Papierproben aller Sorten (auch deren Rohpapier) auf ihre Rauigkeit untersucht werden. Nach diesen umfangreichen Messungen und daraus folgenden Ergebnissen sollte eine Streichfarbe entwickelt werden, die theoretisch die Staubentwicklung vermindert. Dies sollte in darauffolgenden Versuchen an der Papiermaschine in Ehingen getestet werden.

## 10. Literaturverzeichnis

- [1] BAUMGARTEN, H.L.; WILKEN, R. und WURSTER, K.: Vergleichende Betrachtung einiger Verfahren zum Auftragen dünner Schichten auf laufende Materialbahnen. In: Wochenblatt der Papierfabrikation 115, 779-783 (1987); Nr.17
- [2] BAUER, W: Skriptum zur Vorlesung Streichtechnologie und Weiterverarbeitung
- [3] DRAGE, Gill; TAMMS, Olaf: Coating pigments – general. In: Lehtinen Esa (Hrsg.); Pigment Coating and Surface Sizing of Paper. Fapet Oy, 2000 (Papermaking Science and Technology 11), Kapitel 4
- [4] LEE, Do Ik: Coating binders – general. In: Lehtinen Esa (Hrsg.); Pigment Coating and Surface Sizing of Paper. Fapet Oy, 2000 (Papermaking Science and Technology 11), Kapitel 13
- [5] HANCIOGULLARI, Harutyun: Latex. In: Lehtinen Esa (Hrsg.); Pigment Coating and Surface Sizing of Paper. Fapet Oy, 2000 (Papermaking Science and Technology 11), Kapitel 14
- [6] BLECHSCHMIDT, Jürgen (Hrsg.): Taschenbuch der Papiertechnik. Hanser Verlag, Dresden 2009
- [7] TRAN, Tam: Starch. In: Lehtinen Esa (Hrsg.); Pigment Coating and Surface Sizing of Paper. Fapet Oy, 2000 (Papermaking Science and Technology 11), Kapitel 16
- [8] BRUUN, Stig – Erik: Synthetic co-binders and thickeners. In: Lehtinen Esa (Hrsg.); Pigment Coating and Surface Sizing of Paper. Fapet Oy, 2000 (Papermaking Science and Technology 11), Kapitel 15
- [9] SALMINEN, Pekka; TOIVAKKA Martti: Rheology of pigment slurries and coating formulations. In: Lehtinen Esa (Hrsg.); Pigment Coating and Surface Sizing of Paper. Fapet Oy, 2000 (Papermaking Science and Technology 11), Kapitel 31
- [10] GRÖN, Johan: Consolidation of coating layer. In: In: Lehtinen Esa (Hrsg.); Pigment Coating and Surface Sizing of Paper. Fapet Oy, 2000 (Papermaking Science and Technology 11), Kapitel 32
- [11] EDERER, P.; ELSNER, P. und HIRTH, T.: Die Kunststoffe und ihre Eigenschaften (6. Aufl.). Springer Verlag, Berlin 2005
- [12] GLITTENBERG, D.; BECKER, A. und TIPPETT, R.J.: Eine neue Generation kaltlöslicher Biopolymere erlaubt die weitere Anhebung des Streichfarbenfeststoffs und eine Optimierung der Gesamtbinder. In: Wochenblatt für Papierfabrikation; 536(10): 436-441, 2008
- [13] MEZGER, T.; Das Rheologie Handbuch (3. Aufl.). Vincenc Network, Hannover 2010
- [14] MÄKINEN, M.; Rheology of coating colors. Schulungsunterlagen Sappi Gratkorn 2010

- [15] GRÖN, J.; WIKSTRÖM, M.: Formation of Patterns on Paper Coated with a Metering Size Press. In: Journal of Pulp and Paper Science; 29(1): 11-16, 2003
- [16] HUANG, T.; LEPOUTRE, P.: Effect of basestock surface structure and chemistry on coating holdout and coated paper properties. In: TAPPI Journal; 81(8): 145-152, 1998
- [17] ROPER, J.; SALMINEN, P.; USCHELER, R. und MOORE, E.: Optimization of formulation parameters to reduce Misting and Orange Peel formation on metered film coaters. In: TAPPI Metered Size Press Forum II Proceedings; (1998)
- [18] GRÖN, J.; SUNDE, H. und NIKULA, E.: Runnability aspects in high speed film transfer coating. In: TAPPI Journal; 81(2): 157-165, 1998
- [19] ROPER, J.; BOUSFIELD, D.; URSCHER, R. und SALMINEN, P.: Observation and proposed mechanisms of Misting on high-speed metered size press coaters. In: TAPPI Coating Conference Proceedings; 15-22, 1997
- [20] SALMINEN, P.; URSCHER, R.; ROPER, J. and BOUSFIELD, D.: Filmsplitting beim Hochgeschwindigkeitsstreichen mit der Filmpresse. In: Wochenblatt für Papierfabrikation; 159-164, 1999
- [21] SALMINEN, P.; URSCHER, R.; ROPER, J. and CHASE, D.: Optimizing the coating formulation to reduce Misting in high-speed film coating. In: TAPPI Metered Size Press Forum; 51-55, 1996
- [22] GRANKVIST, T.; VÄLIMÄKI, A.: Theoretische und praktische Aspekte der Viskoelastizität von Streichfarben. In: Wochenblatt für Papierfabrikation; 125(16): 765-770, 1997
- [23] TREFZ, M.: Theoretical aspects and practical experiences for film coated offset grades. In: TAPPI Journal; 79(1): 223-230, 1996
- [24] ZOU, X.; VIDAL, D.: Film press for pigment coating: A review. In: Pulp & Paper Canada; 25-30, 2003
- [25] TRIANTAFILLOPOULOS, N.; LEE, D.: Troubleshooting rheology problems in metered size press. In: TAPPI Metered Size Press Forum; 171-186, 1996
- [26] SALMINEN, P.; URSCHER, R.; ROPER, J. and BOUSFIELD, D.: Studies of Orange Peel formation in high- speed film coating. In: TAPPI Coating Conference Proceedings; 82(1): 231-238, 1999
- [27] JAMES, D.: Droplet formation in quickly stretched liquid filaments. In: Rheologica Acta; 611-624, 2009
- [28] DEVISETTI, S.; BOUSFIELD, W.: Fluid absorption during forward roll porous webs. In: Chemical Engineering Science; 3528-3537, 2010
- [29] JAMES, D.; YOGACHANDRAN, N.: Fluid elasticity in extension, measured by a new technique, correlates with Misting. In: TAPPI Advanced Coating Fundamentals Symposium; 2003



- [30] GRÖN, J.: Metered size press coating with high solids content formulations at high machine speeds. In: TAPPI Metered Size Press Forum; 2002
- [31] YANG, A.; SALMINEN, P.; VERVOORT, S.; ENDRES, I. and BACHMANN, H.: Role of Extensional Viscosity in Paper Coating. In: Applied Rheology; 2010
- [32] GRÖN, J.; NIKULA, E. and SUNDE, H.: Influence of coating composition on web release in high speed film transfer coating. In: TAPPI Journal; 81(1): 216-225, 1998
- [33] REIMERS, O.: Filmsplitting auf Filmpressen-Einfluss von Streichfarbenkomponenten, Diplomarbeit, Fachhochschule Münschen, 105 Seiten, 1996
- [34] LETZELTER, P.; EKLUND, D.: Dewatering of coating colors in the film press. In.: TAPPI Coating Conference; 269-281 1996
- [35] TURUNEN, R.: Pigmenting and soft calendaring of printing papers. In: TAPPI Journal; 76(12): 87-92, 1993
- [36] FERNANDO, R; XING, L. und GLASS, J.: Rheology parameters controlling spray atomization and roll misting behavior of waterborne coatings. In: Progress in Organic Coatings; 35-38, 2000
- [37] SUGIHARA, M.; YAMADA, K.; MIURA, H. and MIYAKURA, T.: Characterization of Misting phenomenon in film coating. In: TAPPI Spring Technical Conference; 2003
- [38] DUNN, T.: An investigation into the role of water retention agents and their effect on splice wetting out- a laboratory simulation. In: TAPPI Journal; 78(5): 176-181, 1995
- [39] Handbuch zu Interfacial Tensiometer K8
- [40] ENTOV, V.; HINCH, E.: Effect of a spectrum of relaxation times on the capillary thinning of a filament of elastic liquid. In: Non- Newtonian Fluid Mech.; 31-53 (1997)
- [41] STELTER, M.: Das Zerstäubungsverhalten nicht- Newtonscher Flüssigkeiten, Dissertation, Universität Erlangen, 143 Seiten, 2001
- [42] WIMMER, E.: Dehnrheometrische Vermessung und Bewertung von Streichfarben für die Papierindustrie, Institut für Strömungslehre und Wärmeübertragung technische Universität Graz, 2011
- [43] N.N.: Speed Sizer- The system features at a glance. In: [http://www.voithpaper.com/sys/php/docdb\\_getfile.php?docnr=p%203336&lang=en&pageid=545227](http://www.voithpaper.com/sys/php/docdb_getfile.php?docnr=p%203336&lang=en&pageid=545227)
- [44] FUCHS, W.: Mottle And Marking Image Analysis Tool. In: Short program description, Sappi Fine Paper Europe R&D Gratkorn

## 11. Anhang

Tab.11.1 Strichrezepturen

Anteil	AI5C10	BI5C10	CI5C10	AL10	BL10	CL10	AI10	BI10	CI10
HC 60 GU	100	100	100	100	100	100	100	100	100
Basonal 2320.3				10	10	10			
ICoat 07525	5	5	5				10	10	10
Enzym. Stärke	10	10	10						
Blankophor PT	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08
Sterocoll FS									
Natronlauge 25%	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
Trockengehalt	65	67,5	70	65	67,5	70	65	67,5	70
Temperatur [°C]	27	28	28	27	26	27	25	26	25
pH-Wert	10,4	10,4	10,4	9,7	9,8	9,8	10,4	10,5	10,8

Tab.11.2 Strichrezepturen

Anteil	AL7,5C5	BL7,5C5	CL7,5C5	AL5I5	BL5I5	CL5I5	BL10C2v0,125	BL10C2v0,25	BL10C2v0,325
<b>HC 60 GU</b>	100	100	100	100	100	100	100	100	100
<b>Basonal 2320.3</b>	7,5	7,5	7,5	5	5	5	10	10	10
<b>ICoat 07525</b>				5	5	5			
<b>Enzym. Stärke</b>	5	5	5				2	2	2
<b>Blankophor PT</b>	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08
<b>Sterocoll FS</b>							0,125	0,25	0,325
<b>Natronlauge 25%</b>	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
<b>Trockengehalt</b>	65	67,5	70	65	67,5	70	67,5	67,5	67,5
<b>Temperatur [°C]</b>	23	23	23	25	25	25	25	25	25
<b>pH-Wert</b>	10,4	10,4	10,4	10	10	10,1	9,7	9,3	8,8

Tab.11.3 Strichrezepturen

Anteil	BL3I4C6	BL3I4C6v0,1	BL3I4C6v0,2	AL10v0,1	BL10v0,1	CL10v0,1	AL3I4C4	AL3I4C4v0,25	CL3I4C4
HC 60 GU	100	100	100	100	100	100	100	100	100
Basonal 2320.3	3	3	3	10	10	10	3	3	3
ICoat 07525	4	4	4				4	4	4
Enzym. Stärke	6	6	6				4	4	4
Blankophor PT	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08
Sterocoll FS		0,1	0,2	0,1	0,1	0,1		0,25	
Natronlauge 25%	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
Trockengehalt	67,5	67,5	67,5	65	67,5	70	65	67,5	70
Temperatur [°C]	25	27	29	25	25	25	26	27	25
pH-Wert	10,6	10,3	10,1	9,2	9,1	9,1	9,1	8,8	9

Tab.11.4 Strichrezepturen

Anteil	CL2I4C4	CL1I4C4	CL3I3C4	CL3I2C4	CL3I4C2	V1	V2	V3	VST4
HC 60 GU	100	100	100	100	100	100	100	100	100
Basonal 2320.3	2	1	3	3	3	3	3	3	
ICoat 07525	4	4	3	2	4	5	6	4	
Enzym. Stärke	4	4	4	4	2	2		4	
Blankophor PT	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08
Sterocoll FS							0,05		0,25
Natronlauge 25%	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
Trockengehalt	70	70	70	70	70	69	69	69	63
Temperatur [°C]	25	25	26	25	26	26	25	26	25
pH-Wert	9	9,2	9	8,9	8,9	8	8,3	8,7	8,3