

Faltenbildung bei der Nassetikettierung von Getränkeflaschen aus Glas

vorgelegt von
Diplom-Ingenieur
Georg Wenk
aus Berlin

Von der Fakultät III – Prozesswissenschaften
der Technischen Universität Berlin
zur Erlangung des akademischen Grades

Doktor der Ingenieurwissenschaften
- Dr.-Ing. -

genehmigte Dissertation

Promotionsausschuss:

Vorsitzender: Prof. Dr. rer. nat. L. Kroh
Berichter: Prof. Dr.-Ing. F.-J. Methner
Berichter: Prof. Dr.-Ing. Jan Schneider
Berichter: PD Dr. Bernd Seidel

Tag der wissenschaftlichen Aussprache: 16. April 2009

Berlin 2009
D 83

DEO
MUSIS

Danksagung

Prof. Dr.-Ing. F.-J. Methner, Prof. Dr.-Ing. Jan Schneider und PD Dr. Bernd Seidel danke ich für die engagierte Förderung dieser Arbeit, für ihre Ratschläge und die allzeit konstruktive Kritik. Besonderer Dank gebührt hierbei Prof. Dr.-Ing. Jan Schneider, der mir die Bearbeitung dieses interessanten Projekts ermöglicht hat.

Meinen Kolleginnen und Kollegen des Forschungsinstituts für Maschinen- und Verpackungstechnik (FMV) der Versuchs- und Lehranstalt für Brauerei in Berlin (VLB) e.V. danke ich für die jederzeit vorhandene Unterstützung in Rat und Tat sowie für ein heiteres und angenehmes Arbeitsumfeld.

Ohne die überaus großzügige Unterstützung dieser Arbeit mit Versuchsmaterial, der Bereitstellung von Versuchsanlagen und nicht zuletzt dem Know-how der Industriepartner wäre das Gelingen dieser Arbeit undenkbar gewesen.

Hierfür danke ich Frau Lamers und Herrn Wegener von der Berliner-Kindl-Schultheiss-Brauerei und Herrn Juretko vom Friesischen Brauhaus zu Jever ebenso wie Herrn Hennicke von der Radeberger Gruppe. Zugleich danke ich Herrn Kloppert von der Feldschlösschen Spezialbierbrauerei, Herrn Skommeda und Herrn Holzhey vom Frankfurter Brauhaus und Herrn Bischoff von der Privatbrauerei Bischoff.

Mein Dank geht ebenfalls an Herrn Töpfer, Herrn Vießmann und Frau Stürzebecher von der Töpfer Kulmbach GmbH sowie an Herrn Pfeiffer und Herrn Sandt[†] von der Türmerleim GmbH und Herrn Dembski von der Saint-Gobain Oberland AG.

Nicht zuletzt danke ich Herrn Kronseder, Herrn Leykamm, Herrn Maschke, Herrn Röder und Herrn Kampmann von der Krones AG für ihre Unterstützung.

Dem Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie danke ich für die finanzielle Förderung dieser Arbeit über die Arbeitsgemeinschaft industrieller Forschungsvereinigungen "Otto von Guericke" e.V. (AiF).

Bei den Diplomanden Ulrike Herzog, Claudia Mendryscha, Claudia Prielipp, Monika Galewski und Matthias Awerbeck bedanke ich mich für ihren großen Einsatz, der sehr zum Gelingen dieser Arbeit beigetragen hat.

Ganz besonders danke ich meinen Eltern für das jederzeitige Vertrauen und ihre Unterstützung während meiner Ausbildung.

Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis.....	1
1 Einleitung.....	5
2 Grundlagen der Nassetikettierung mit Papieretiketten	7
2.1 Qualität der Etikettierung als Marketingfaktor	7
2.1.1 Funktion von Getränkeflaschenetiketten.....	7
2.1.2 Der deutsche Biermarkt.....	8
2.1.3 Bedeutung der Flaschenausstattung am POS	8
2.2 Fehler im Etikettierergebnis.....	9
2.3 Beteiligte Komponenten	10
2.3.1 Getränkeflaschenetiketten aus Papier.....	10
2.3.2 Etikettierklebstoffe	17
2.3.3 Getränkeflaschen aus Glas	22
2.4 Etikettiervorgang bei der Nassetikettierung.....	24
2.4.1 1. Arbeitsschritt: Beleimung der Beleimungspaletten.....	25
2.4.2 2. Arbeitsschritt: Entnahme der Etiketten aus dem Etikettenbehälter.....	26
2.4.3 3. Arbeitsschritt: Übergabe des Etiketts an den Greiferzylinder.....	27
2.4.4 4. Arbeitsschritt: Aufsetzen der Etiketten auf die Flaschen	28
2.4.5 5. Arbeitsschritt: Anbürsten der Etiketten	29
2.4.6 6. Arbeitsschritt: Abtrocknen der Flaschen.....	30
2.4.7 Innermaschinelles Verarbeitungsverfahren einer Etikettiermaschine.....	30
2.5 Alternativen zur Nassetikettierung.....	31
3 Stand des Wissens zur Faltenbildung bei Papieretiketten	33
3.1 Quelle 1: „Wirkungszusammenhänge bei der Etikettierung mit Etiketten aus Papier“	33
3.2 Quelle 2: „Praktiker Handbuch für die Etikettierung und Ausstattung von Gebinden für Getränke“.....	36
3.3 Quelle 3: „Was Etikettenpapiere leisten müssen“.....	37
3.4 Quelle 4: „Klebstoffe für die Flaschenetikettierung – Wichtige Zusammenhänge aus anwendungstechnischer Sicht“	39
3.5 Zusammenfassung und Bewertung der Erklärungsmodelle.....	39
3.6 Zielsetzung dieser Arbeit	42
4 Material und Methoden.....	43
4.1 Konzeption dieser Arbeit	43
4.2 Untersuchung des Etikettiervorgangs in Brauereien.....	44
4.2.1 Rahmenbedingungen der Etikettierung	44
4.2.2 Abtrocknungsversuch.....	46
4.2.3 Papieretiketten der Brauereien	48
4.2.4 Etikettierklebstoffe	50
4.2.5 Flaschen.....	51
4.2.6 Dokumentation des Etikettiervorgangs	53
4.2.7 Etikettierergebnis der einzelnen Beleimungspaletten	53

4.3	Versuche im industriellen Maßstab.....	54
4.3.1	Ausstattung des Etikettiertechnikums	55
4.3.2	Papieretiketten im Technikum.....	57
4.3.3	Konstanz der Klebstoffmenge	58
4.3.4	Bewertung der Etikettiererergebnisse.....	59
4.3.5	Durchführung der Etikettierversuche	61
4.4	Versuche im Labormaßstab	71
4.4.1	Simulation der Faltenbildung und deren Rückbildung.....	71
4.4.2	Nachstellen des Etikettiervorgangs	72
5	Untersuchung des Etikettiervorgangs in Brauereien.....	79
5.1	Rahmenbedingungen der Etikettierung.....	79
5.1.1	Lagerung der Etiketten	79
5.1.2	Rahmenbedingungen während der Etikettierung	81
5.1.3	Lagerung der etikettierten Flaschen	84
5.2	Abtrocknungsversuch.....	87
5.3	Papieretiketten der Brauereien	88
5.3.1	Etikettenuntersuchungen nach den STLB	89
5.3.2	Dynamisches Penetrationsverhalten.....	89
5.3.3	Dynamische Nassdehnung und Hysterese.....	90
5.3.4	Aufbau und Erscheinungsbild der Etiketten.....	92
5.4	Etikettierklebstoffe.....	92
5.4.1	Untersuchung der Etikettierklebstoffe nach den STLB	92
5.4.2	Haftigenschaften der Etikettierklebstoffe	93
5.5	Flaschen	94
5.5.1	Heißendvergütung der Flaschen	95
5.5.2	Oberflächenenergie der Flaschen	95
5.6	Dokumentation des Etikettiervorgangs.....	95
5.6.1	1. Arbeitsschritt: Beleimung der Beleimungspaletten.....	96
5.6.2	2. Arbeitsschritt: Entnahme der Etiketten aus dem Etikettenbehälter.....	97
5.6.3	3. Arbeitsschritt: Übergabe des Etiketts an den Greiferzylinder.....	99
5.6.4	4. Arbeitsschritt: Aufsetzen der Etiketten auf die Flaschen	102
5.6.5	5. Arbeitsschritt: Anbürsten der Etiketten	102
5.7	Etikettiererergebnis der einzelnen Beleimungspaletten	103
6	Versuche im industriellen Maßstab.....	109
6.1	Konstanz der Klebstoffmenge.....	109
6.2	Papieretiketten im Technikum	110
6.2.1	Etikettenuntersuchungen nach den STLB	110
6.2.2	Dynamisches Penetrationsverhalten.....	111
6.2.3	Dynamische Nassdehnung und Hysterese.....	113
6.3	Einfluss der Papieretiketten	113
6.3.1	Basispapiere.....	113
6.3.2	Dekor	114
6.3.3	Prägung.....	114
6.3.4	Lackierung.....	115
6.4	Einfluss unterschiedlicher Etikettierklebstoffe	116

6.4.1	Klebstoffsorten mit unterschiedlichen Abbildeigenschaften	116
6.4.2	Klebstoffmenge	118
6.4.3	Verarbeitungstemperatur der Klebstoffe	119
6.5	Einfluss der Etikettiermaschine	120
6.5.1	Aufsetzen der Etiketten auf die Flaschen	120
6.5.2	Schrägstellung der Greiferfinger	120
6.5.3	Beleimungspaletten	121
6.6	Einfluss der Feuchtigkeit auf den Flaschen	122
6.6.1	Feuchtigkeit auf der Flaschenoberfläche.....	123
6.6.2	Nachträgliche Überschwällung etikettierter Flaschen.....	123
7	Versuche im Labormaßstab	125
7.1	Simulation der Faltenbildung und deren Rückbildung	125
7.2	Nachstellen des Etikettiervorgangs	126
7.2.1	Konstanz der Klebstoffmenge	126
7.2.2	Papieretiketten der Laborversuche	127
7.2.3	Ergebnis der Etikettierversuche im Labormaßstab	128
8	Diskussion	130
8.1	Bewertung des Etikettiervorgangs in den Brauereien.....	130
8.1.1	Vergleich der Etikettierergebnisse in den Brauereien.....	130
8.1.2	Unterschiede im Etikettiervorgang der Brauereien	131
8.1.3	Lagerung der etikettierten Flaschen	143
8.1.4	Abtrocknungsversuch	143
8.1.5	Flaschen.....	144
8.2	Bewertung der Versuche im industriellen Maßstab	144
8.2.1	Einfluss der Etikettiermaschine	145
8.2.2	Einfluss der Papieretiketten	147
8.2.3	Einfluss der Etikettierklebstoffe	152
8.2.4	Einfluss der Rahmenbedingungen	155
8.3	Bewertung der Versuche im Labormaßstab	156
8.3.1	Simulation der Faltenbildung und deren Rückbildung.....	156
8.3.2	Nachstellen des Etikettiervorgangs	159
8.4	Einflussgrößen auf die Faltenbildung	160
8.4.1	Faktoren ohne festgestellte Wirkung auf die Faltenbildung	161
8.4.2	Einflussfaktoren auf die Bildung der Anfangsfalten	162
8.4.3	Einflussfaktoren auf die Rückbildung der Anfangsfalten	163
8.5	Modell zur Bildung und Rückbildung der Anfangsfalten.....	163
8.6	Hypothese zur Entstehung der Faltenbildung bei der Nassetikettierung	170
8.7	Empfehlungen für die Praxis.....	172
8.7.1	Praxisversuche zur Auswahl des Basispapiere und der Klebstoffsorte.....	172
8.7.2	Voraussetzungen für die faltenfreie Nassetikettierung	173
8.7.3	Identifikation der Ursachen	174
8.7.4	Möglichkeiten zur Reduzierung oder Vermeidung von Faltenbildung.....	176
9	Zusammenfassung.....	177
10	Quellennachweise	179
10.1	Literatur	179

10.2	Diplom-, Master- und Bachelorarbeiten	184
10.3	Eigene Publikationen	184
11	Anhang	186
11.1	Abbildungsverzeichnis	186
11.2	Tabellenverzeichnis	188
11.3	Abkürzungen	190
11.4	Technische Daten	192
11.5	Messwerte zu 5.1.1 Lagerung der Etiketten.....	195
11.6	Messwerte zu 5.1.2 Rahmenbedingungen während der Etikettierung.....	196
11.7	Messwerte zu 5.3.1 Etikettenuntersuchungen nach den STLB.....	199
11.8	Messwerte zu 5.4.1 Untersuchung der Etikettierklebstoffe nach den STLB	200
11.9	Messwerte zu 5.4.2 Hafteigenschaften der Etikettierklebstoffe	202
11.10	Messwerte zu 5.5.1 Heißendvergütung der Flaschen	203
11.11	Zuordnung der Beileimungspaletten zu den Probeflaschen.....	204
11.12	Messwerte zu 6.2.1 Etikettenuntersuchungen nach den STLB.....	206
11.13	Taupunkt von Wasser.....	209
11.14	Feuchtigkeit auf der Flaschenoberfläche im Etikettiertechnikum	210
11.15	Dynamisches Penetrationsverhalten der Versuchsetiketten.....	211
11.16	Dynamisches Nassdehnung der Versuchsetiketten.....	212
11.17	Einzelwerte zu Kapitel 6.5 Einfluss der Etikettiermaschine.....	214
11.18	Ergebnisse der Versuche im Labormaßstab.....	228

1 Einleitung

Der Verkaufserfolg einer Biermarke ist, neben gleich bleibender Produktqualität, vor allem von der Präsentation und Kommunikation der Marke abhängig. Über den Produktauftritt wird ein Markenimage geschaffen, mit dem sich der Kunde, über den Kauf des Produkts, identifizieren kann. Verfügt die Marke über ein hohes Alleinstellungsmerkmal, wird sie vom Verbraucher wahrgenommen und löst einen Wiedererkennungseffekt beim Kunden aus. Auf diese Weise gelingt es dem Produkt, sich gegenüber dem Wettbewerb zu differenzieren und den Kunden dauerhaft zu binden. Im Zusammenspiel mit anderen Medien werden die Marke und das Erscheinungsbild des Unternehmens letztlich über das Getränkeflaschenetikett transportiert, durch das den üblicherweise anonymen Mehrwegflaschen erst ihr Markengesicht verliehen wird [12, 28, 72].

Ausgangssituation auf dem deutschen Biermarkt

Seit Anfang der 90er Jahre ist der Bierabsatz in Deutschland durch einen stetigen Rückgang gekennzeichnet, begleitet von einer zunehmenden Polarisierung der Nachfrage zwischen dem Niedrigpreissegment und hochpreisiger Marken. Innerhalb dieser beiden Marktsegmente sehen mehr als die Hälfte der Konsumenten keine wesentlichen Unterschiede zwischen den einzelnen Biermarken und bis zu 80 % der Kunden treffen ihre Kaufentscheidung erst unmittelbar am point of sale (POS) [1, 6, 11, 31, 74, 66, 68].

Diese Kunden führen im Rahmen ihrer Entscheidungsfindung beim Kauf einen Ausscheidungsprozess durch, bei dem Schritt für Schritt alle Marken aussortiert werden, die nicht für sie in Frage kommen. In diesem Prozess ist die Flaschenausstattung das vorrangige Unterscheidungsmerkmal und somit primäres Ausscheidungskriterium. Wurden die Etiketten nicht einwandfrei appliziert und tritt zum Beispiel Faltenbildung am Etikettenrand auf, können die Etiketten ihre Wirkung auf den potentiellen Konsumenten eventuell nicht entfalten und die Wahrscheinlichkeit steigt, dass das Produkt im Ausscheidungsprozess vom Kunden ausgeschlossen wird [28, 34].

Faltenbildung bei der Nassetikettierung

Das Phänomen der Faltenbildung bei der Nassetikettierung stellt für Abfüllbetriebe ein bekanntes und wiederkehrendes Problem dar. In der Literatur wird die Problematik der Faltenbildung von vier Autoren [9, 13, 17, 54/55] thematisiert. Deren Erkenntnisse beruhen jedoch ausschließlich auf Erfahrungsberichten aus der Praxis, die nicht durch wissenschaftliche Untersuchungen verifiziert wurden. Wie die von den Autoren genannten Einflussgrößen auf die Faltenbildung einwirken, eine Quantifizierung der Effekte und wie diese miteinander in Wechselwirkung stehen, wird in den Quellen nicht weiter erläutert oder bleibt wenig konkret. Das von [17] beschriebene Modell zur Faltenbildung, das im Wesentlichen von zwei Faktoren abhängt, kann in Anbetracht der zahlreichen, möglichen Einflussgrößen nur eine sehr eingeschränkte Sicht auf die Vorgänge bei der Faltenbildung darstellen. Ein detaillierter Mechanismus, wie es bei der Nassetikettierung mit Papieretiketten zur Faltenbildung kommt und welche Einflussgrößen dabei wirken, ist nicht veröffentlicht.

Zielsetzung und Konzeption dieser Arbeit

Das Ziel dieser Arbeit ist die Aufschlüsselung der Vorgänge bei der Faltenbildung und deren Einflussgrößen, um daraus Empfehlungen für die Praxis zur Vermeidung respektive Beseitigung von Faltenbildung bei der Nassetikettierung abzuleiten.

Hierfür wird der Etikettiervorgang in drei Brauereien untersucht und die während der Etikettierung herrschenden Rahmenparameter dokumentiert. Anschließend werden Etikettierversuche im industriellen Maßstab durchgeführt, die eine gezielte Variation einzelner Einflussgrößen unter reproduzierbaren Bedingungen erlauben, gefolgt von Laborversuchen zur definierten Veränderung der Rahmenbedingungen. Aus den daraus gewonnenen Erkenntnissen wird eine Übersicht der gewichteten Einflussgrößen auf die Faltenbildung bei der Nassetikettierung erstellt. Diese dient als Basis für die Entwicklung eines Modells der Bildung und Rückbildung der Falten. Anhand dieses Modells wird eine Hypothese zur Faltenbildung bei der Nassetikettierung aufgestellt, aus der letztlich Empfehlungen für die Praxis abgeleitet werden.

2 Grundlagen der Nassetikettierung mit Papieretiketten

Im folgenden Kapitel wird dargelegt, welche Bedeutung eine einwandfreie Etikettierung für den Verkaufserfolg des Produktes hat und welche Fehler diesen Erfolg beeinträchtigen können. Anschließend werden die Komponenten, die an der Nassetikettierung beteiligt sind, näher erläutert und der maschinelle Vorgang der Nassetikettierung beschrieben. In dieser Arbeit wird ausschließlich das Produkt Bier betrachtet, da aufgrund der hohen Mehrwegquote in Deutschland und der überwiegenden Verwendung von Glas-Mehrwegflaschen bei der Abfüllung, die Nassetikettierung mit Papieretiketten bei der Ausstattung von Bierflaschen am weitesten verbreitet ist.

2.1 Qualität der Etikettierung als Marketingfaktor

2.1.1 Funktion von Getränkeflaschenetiketten

Marketing

Die wichtigste Funktion der Verpackung aus Sicht des Marketings ist das Transportieren der Produktmarke. Die Marke muss klar und unverwechselbar vom Kunden zu erkennen sein. Dabei kommuniziert die Verpackung das Erscheinungsbild des Unternehmens und muss mit den anderen Medien, wie zum Beispiel Plakat- und TV-Werbung, Anzeigen und Warenproben korrespondieren, um den Wiedererkennungseffekt beim Kunden auszulösen.

Die Wahl einer Getränkemarke kennzeichnet oftmals die Zugehörigkeit zu einer Gruppe oder einer bestimmten gesellschaftlichen Schicht. Der Kunde identifiziert sich über die Produkte, die er kauft. Immer wieder müssen deshalb Produktidentitäten entwickelt werden, die es mit einem hohen Alleinstellungsmerkmal schaffen, vom Verbraucher wahrgenommen und akzeptiert zu werden. Dies ist eine Grundvoraussetzung dafür, sich gegenüber dem Wettbewerb zu differenzieren und den Kunden dauerhaft zu binden. Jeder Getränkehersteller setzt indes auf individuelle Konzepte, um zielgruppenspezifisch den besonderen Genuss seiner Marken zu vermitteln.

Für diese Aufgabe ist das Getränkeflaschenetikett in besonderer Weise geeignet, da es mit einer Vielzahl gestalterischer Möglichkeiten dem Marketing eine nahezu unbegrenzte Gestaltungsfreiheit für die Positionierung der Marke bietet.

Gesetzliche Angaben und Zusatzfunktionen

Neben der Marketingfunktion wird das Etikett eingesetzt, um der vom Gesetzgeber vorgeschriebenen Informationspflicht genüge zu tun. Auf dem Etikett müssen alle gesetzlich geforderten Angaben, wie zum Beispiel Produktname, Hersteller, Zutaten, Alkoholgehalt, Nennfüllmenge und Mindesthaltbarkeitsdatum deutlich lesbar abgedruckt sein.

Darüber hinaus können Etiketten weitere Funktionsmerkmale aufweisen. Zu den bekanntesten Funktionsetiketten zählen Verschlussetiketten, die dem Kunden als Originalitätsverschluss die Unversehrtheit des Produktes bestätigen, aber auch Braille-Etiketten für Blinde sowie logistische Identifikationsetiketten [12, 28, 40, 72].

2.1.2 Der deutsche Biermarkt

Das Marktvolumen im deutschen Biermarkt ist seit Anfang der 90er Jahre, bedingt durch den sinkenden Pro-Kopf-Verbrauch, um 20 Millionen Hektoliter, auf 95 Millionen Hektoliter im Jahre 2006 zurückgegangen. Mit Ausnahme von Weißbier und Biermischgetränken hat sich dieser Rückgang über alle Segmente vollzogen. Diese Situation ist Ausgangspunkt einer zunehmenden Polarisierung der Nachfrage im Biermarkt. Anhaltende Zuwächse im Niedrigpreissegment auf der einen Seite und ein stagnierender Anteil hochpreisiger Marken auf der anderen Seite sind die Folge. Das mittlere Marktsegment wird dabei zwischen den Billig- und den Premium-Anbietern zerrieben und fällt weg, was vor allem für regionale Anbieter ohne klare Marketingstrategie existenzbedrohende Folgen hat.

Dass für den Kunden der Produktpreis der wichtigste Entscheidungsfaktor ist, belegt die Brand-Parity-Studie der BBDO Consulting, der Unternehmensberatung der deutschen BBDO-Gruppe, aus dem Jahr 2005 [7]. In dieser repräsentativen Studie, bei der rund 2000 Männer und Frauen befragt wurden, wurde im Biersektor eine Markengleichheit von 61 % festgestellt. Mit anderen Worten sehen mehr als die Hälfte der Konsumenten keine wesentlichen Unterschiede zwischen den einzelnen Biermarken. Der Preis wird für diese Kunden somit zwangsläufig zum beherrschenden Kaufentscheidungsfaktor [6, 11, 31, 74].

2.1.3 Bedeutung der Flaschenausstattung am POS

Die Ergebnisse der Brand-Parity-Studie decken sich mit den Erkenntnissen aus anderen Studien [1, 66] und Praxiserfahrungen [68] die besagen, dass 70 bis 80 % der Markenwahlentscheidungen erst unmittelbar am point of sale (POS) getroffen werden. Bei diesen noch unentschlossenen Kunden und bei jenen Kunden, für die die Biermarke keine Rolle spielt, ist der Markenauftritt am POS entscheidend für den Verkaufserfolg. Diese Kunden haben sich bereits auf ein Preissegment festgelegt und die Marken in diesem Segment stehen im Verkaufsregal in direkter Konkurrenz um die Gunst des Käufers.

Der unschlüssige Kunde muss sich am Verkaufsregal für ein Produkt in seinem Preissegment entscheiden. Im Rahmen dieser Entscheidungsfindung vollführt das Gehirn einen Ausscheidungsprozess, bei dem Schritt für Schritt alle Marken aussortiert werden, die nicht für den Kunden in Frage kommen. Da in Deutschland für Getränke überwiegend Mehrwegflaschen aus einem Flaschenpool verwendet werden, zum Beispiel NRW- oder Ale-Flaschen für Bier beziehungsweise GDB-Flaschen für Mineralwasser, ist die Flaschenausstattung das einzige Unterscheidungsmerkmal für den Kunden und somit primäres Ausscheidungskriterium bei seiner Entscheidungsfindung.

Daraus folgt, dass das Etikett am POS, mit seinen markencharakteristischen Eigenschaften, allen voran dem Design, den Ausschlag für eine positive Kaufentscheidung gibt. Um seine volle Wirkung auf den unentschlossenen Konsumenten entfalten zu können, muss das Etikett jedoch einwandfrei appliziert sein. Wird das Etikett in seiner Wirkung gestört oder eingeschränkt, zum Beispiel durch das Auftreten von Faltenbildung am Etikettenrand (siehe Abbildung 1 auf Seite 9), so steigt die Wahrscheinlichkeit, dass das Produkt im Ausschei-

dungsprozess ausgeschlossen wird und der Konsument eine negative Kaufentscheidung fällt [28, 34].

2.2 Fehler im Etikettierergebnis

Im „Praktiker Handbuch für die Etikettierung und Ausstattung von Gebinden für Getränke“ des Biebelrieder Kreises werden eine Vielzahl von Fehlern und Störungen, die bei der Etikettierung auftreten können, beschrieben und mögliche Ursachen angegeben [9]. Als Fehler, die das Erscheinungsbild von Papieretiketten am POS beeinträchtigen und auf diese Weise den Verkaufserfolg negativ beeinflussen, werden genannt:

- Beschädigung der Etiketten
- Behälter- / Flaschenfarbe scheint durch
- Nassabrieb bei Etiketten
- Etiketten verschieben sich
- Papieretiketten bilden Falten
- Papieretiketten zeigen Greiferbeulen
 - an leimfreien Stellen
 - generell
- Ecken der Etiketten stehen ab
- Etiketten rollen nach dem Etikettieren ab
- Papieretiketten fallen direkt nach dem Etikettieren ab
- Papieretiketten fallen nach dem Abtrocknen im Lager oder beim Kunden ab

Die beiden Fehler „Papieretiketten bilden Falten“ und „Papieretiketten zeigen Greiferbeulen“ werden in dieser Arbeit unter der Bezeichnung „Faltenbildung bei Flaschenetiketten“ zusammengefasst. Zwei Beispiele, wie sich dieser Fehlertyp am Etikett auswirkt, sind in Abbildung 1 dargestellt und durch Kreise hervorgehoben.

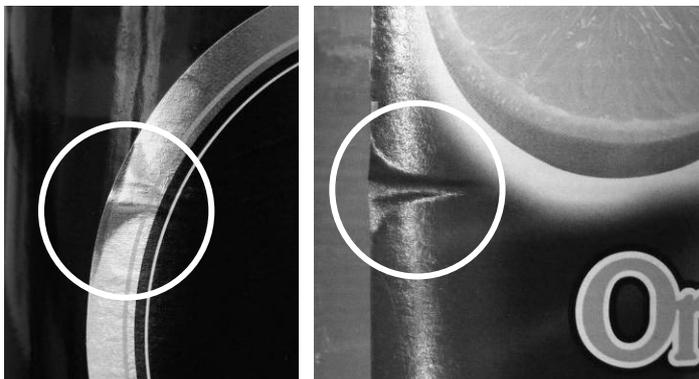


Abbildung 1: Faltenbildung an Papieretiketten

2.3 Beteiligte Komponenten

Die folgenden Abschnitte beschäftigen sich mit den drei Komponenten, die an der Nassetikettierung beteiligt sind und welche schließlich die verkaufsfertigen Gebinde bilden. Dies sind zum einen die Getränkeflaschenetiketten aus Papier, die mit Hilfe der zweiten Komponente, dem Etikettierklebstoff, auf den Glasflaschen, als drittem Bestandteil, fixiert werden, bis sie schließlich in der Flaschenreinigungsmaschine wieder abgewaschen werden.

2.3.1 Getränkeflaschenetiketten aus Papier

Getränkeflaschenetiketten aus Papier, die im Weiteren als Papieretiketten oder Etiketten bezeichnet werden, sind das Aushängeschild einer Getränkeflasche. Der Werkstoff Papier bietet dabei unzählige gestalterische Möglichkeiten, verlangt jedoch, dass bei der Herstellung und Verarbeitung von Papieretiketten seine besonderen Anforderungen beachtet werden.

2.3.1.1 Etikettentypen

Der Werkstoff Papier eröffnet den Marketingabteilungen zahllose Gestaltungsmöglichkeiten, die kaum Einschränkungen durch Form, Dekor oder bei der Verwendung von Spezialeffekten unterliegen. Lediglich die mechanische Verarbeitbarkeit auf einer Etikettiermaschine setzt hier Grenzen. Im Bereich Etiketten für Bierflaschen dominieren überwiegend die in Abbildung 2 dargestellten Etikettentypen. Bei Bieren im Tiefpreissegment wird häufig nur ein Bauchetikett verwendet. Bei hochpreisigen Bieren finden sich dagegen zumeist auch ein Rücken- und ein Brustetikett auf den Flaschen. Das Halsringetikett wird vor allem bei Flaschentypen eingesetzt die über einen langen, schmalen Flaschenhals verfügen. Bei diesen Flaschentypen, zu denen Ale-Flaschen und Longneck-Flaschen zählen, führt die Halsgeometrie dazu, dass sich Schwankungen in der Füllmenge oder der Flaschengeometrie stärker auf die Füllhöhe auswirken, als dies zum Beispiel bei NRW-Flaschen mit breitem Flaschenhals der Fall ist. Durch ein Halsringetikett können diese Unterschiede in der Füllhöhe vor dem Kunden verborgen werden [16].

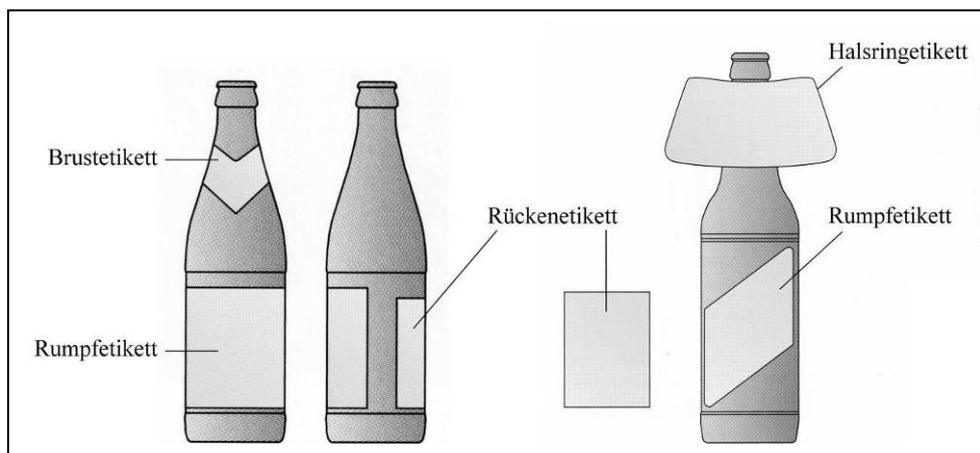


Abbildung 2: Etikettentypen für NRW-Flaschen (links) und Ale-Flaschen (rechts) [16]

2.3.1.2 Aufbau von Etikettenpapieren

Etikettenpapiere können aus mehreren Schichten zusammengesetzt sein (siehe Abbildung 3). Einfache Standardweißpapiere bestehen vorwiegend aus einer Schicht holzfreiem Rohpapier, das die Basis aller Etikettenpapiere bildet, und einem Vorderseitenstrich. Bei metallisierten Etiketten wird zusätzlich auf den Vorderseitenstrich ein Vorlack zur Aufnahme der Aluminiumschicht aufgebracht. Die Metallisierung wird anschließend durch einen Primer versiegelt, der letztlich die Druckfarbe aufnimmt. Bei Standardweißpapieren erfolgt der Druck unmittelbar auf den Vorderseitenstrich.

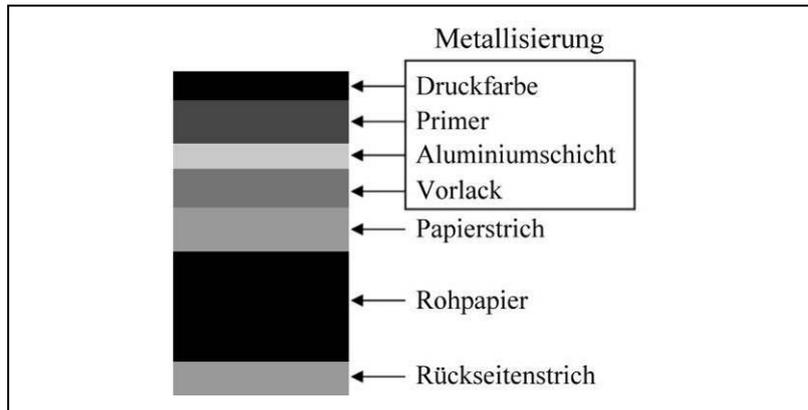


Abbildung 3: Aufbau von metallisierten Etikettenpapieren [64]

Um dieser Asymmetrie im Etikettenaufbau entgegenzuwirken und eine gute Planlage bei unterschiedlichen klimatischen Bedingungen zu erreichen, werden die meisten Etiketten mit einem Rückseitenstrich, der auch als Funktionsstrich bezeichnet wird, versehen (siehe Abbildung 4). Über diesen Funktionsstrich kann ebenfalls die Absorption von Wasser, die Benetzbarkeit und somit die Abbindegeschwindigkeit von Etikettierklebstoffen beeinflusst werden [16, 54, 64].

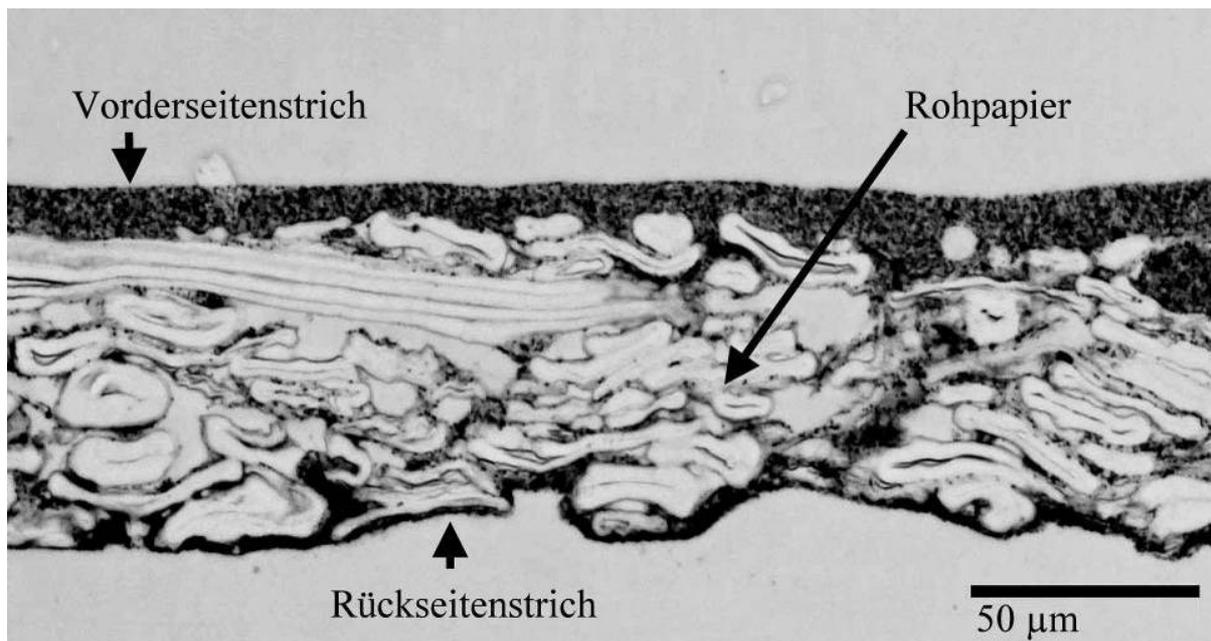


Abbildung 4: Lichtmikroskopische Aufnahme des Querschnitts eines Etikettenpapiers [20]

2.3.1.3 Papierherstellung und charakteristische Qualitätsparameter

Die Herstellung von Papier für Getränkeetiketten erfolgt zum überwiegenden Teil auf Langsieb-Papiermaschinen. Der mit Wasser vermischte Papierrohstoff (99 % Wassergehalt, 1 % Faser- und Feststoffanteil) läuft in diesen Maschinen über einen Cleaner zum Stoffauflauf, an dem die dünnflüssige Masse auf das umlaufende Langsieb gesprüht wird. Hier erfolgt die Bildung des Papiers. Nachdem der Großteil des Wassers abgeflossen beziehungsweise abgezogen wurde, wird in der Pressen- und Trockenpartie die Restfeuchtigkeit auf etwa 5 % bis 8 % reduziert. Anschließend wird das Papier geglättet, gestrichen und eventuell weiter veredelt.

Während der Papierherstellung werden die charakteristischen Eigenschaften des Etikettenpapiers festgelegt. Für die maschinelle Verarbeitbarkeit von Etikettenpapieren sind eine ausreichende Nass- und Trockenbruchkraft (Reißfestigkeit) entscheidend. Sollen die Etiketten auf Glas-Mehrwegflaschen zum Einsatz kommen, ist zusätzlich eine nassfeste Rohpapierleimung gegen das Zerfasern in der Flaschenreinigungsmaschine notwendig. Ebenso sind die Laugenfestigkeit und Laugendurchlässigkeit, bei gleichzeitig beständigem Anhaften der Druckfarben im Laugenbad, für die Mehrwegfähigkeit der Etiketten unerlässlich. Für die Druckfarbenhaltung ist der Vorderseitenstrich, der dem Papier eine glatte und möglichst weiße Oberfläche verleiht, bestimmend. Der Vorderseitenstrich, der vor allem aus Kaolin, Kreide und Bindemitteln besteht, kann in einer Einfach- oder Doppelstrichausführung aufgebracht werden. Für die Vereinzelnung, die Etikettenübertragung, die Klebstoffannahme und ein glattes Anliegen bei nassen Flaschen sind der Cobb-Wert, die Glätte beziehungsweise Rauigkeit der Etikettenrückseite sowie die Rollneigung mit ausschlaggebend. Der Cobb-Wert ist ein Maß für die Wasseraufnahmefähigkeit der Etikettenrückseite. Die mechanischen Papiereigenschaften, wie zum Beispiel die Bruchlast, ergeben sich überwiegend aus den eingesetzten Faserstoffen, der flächenbezogenen Masse und der Rohpapierleimung. Über den Faseranteil wird die Wassermenge aus dem Etikettierklebstoff und von der Flaschenoberfläche aufgenommen und zeitverzögert mit der Trocknung der Verklebung wieder abgegeben. Die Leimung des Rohpapiers und der Cobb-Wert der Rückseite verzögern die Dehnung der Fasern.

Die Untersuchung der Etiketten erfolgt in der Regel nach den Speziellen Technischen Liefer- und Bezugsbedingungen (STLB), die zuvor zwischen dem Etikettenhersteller und dem Anwender genauer spezifiziert wurden [2, 16, 22, 36, 54].

2.3.1.4 Faserlauf von Papieretiketten und Rollneigung

Bei der Papierherstellung auf Langsieb-Papiermaschinen richten sich die Papierfasern überwiegend parallel zur Laufrichtung des schnell laufenden Langsiebes aus. Diese Ausrichtung wird in den folgenden Trocknungsschritten fixiert und bleibt auch im fertigen Papier erhalten. Die Laufrichtung ist, für eine spätere, störungsfreie Etikettierung, bei den nachfolgenden Verarbeitungsschritten durch den Veredler zwingend zu beachten, da sich Papierfasern bei Kontakt mit Feuchtigkeit in ihrer Querrichtung stärker dehnen als in Längsrichtung. Das Etikettenpapier rollt sich daher entlang seines Faserlaufs ein. Bei einem falschen Faserlauf, parallel zur Flaschenachse, in y-Richtung (siehe Koordinatensystem in Abbildung 5), ist das

Etikett nicht in der Lage, sich der Flaschenform anzupassen. Die natürlichen Rückstellkräfte des Etikettenpapiers, in Form der Rollneigung, führen dazu, dass sich das Etikett von der Flasche abrollt. Die Ausprägung der Rollneigung ist abhängig vom asymmetrischen Aufbau des Etikettenpapiers und begrenzt das Flächengewicht von Etiketten sowohl nach oben als auch nach unten. Bei richtiger Ausrichtung verläuft der Faserlauf quer zur Flaschenachse, in x-Richtung. Unter bestimmten Bedingungen bilden Verschlussetiketten allerdings eine Ausnahme von dieser Regel. In dem hier eingeführten Koordinatensystem steht die z-Richtung senkrecht auf der x-y-Ebene, die der Etikettenfläche entspricht [2, 26, 54, 55].

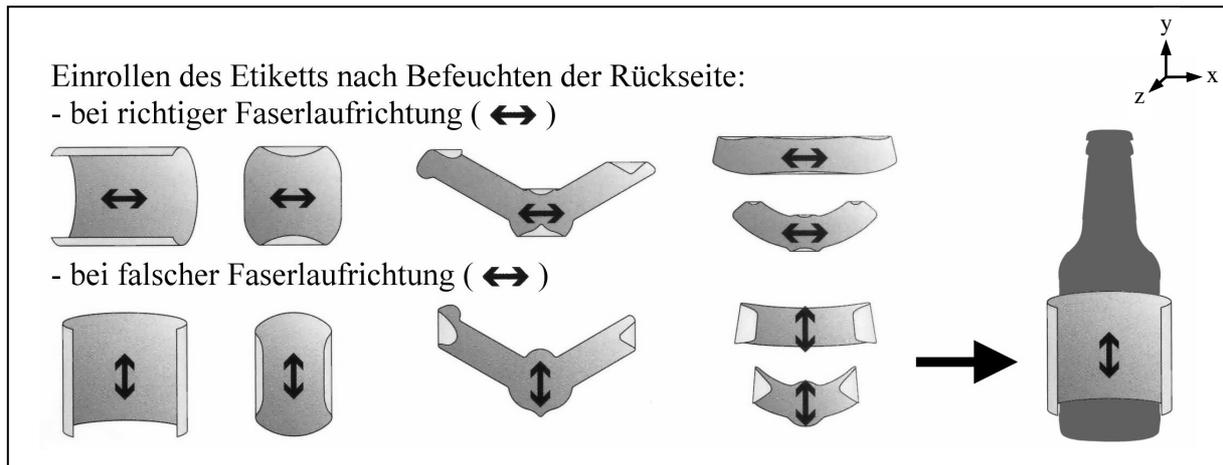


Abbildung 5: Faserlauf von Papieretiketten [16]

2.3.1.5 Dynamische Nassdehnung und dynamisches Penetrationsverhalten

Etiketten werden während ihrer Lagerung und Applikation Temperaturschwankungen, wechselnden klimatischen Einflüssen und einer Wiederbefeuchtung ausgesetzt. Dies führt zu Dimensionsänderungen am Papier und kann den Verarbeitungsprozess empfindlich stören oder unmöglich machen. Diese Dimensionsänderungen können als Nassdehnung beziehungsweise Trockenschrumpfung gemessen werden und sind ein Ausdruck für die komplexe Eigenschaft der Dimensionsstabilität [14, 15]. Sie werden durch Änderungen der Abmessungen innerhalb des Papiergefüges in x-, y- und z-Richtung, infolge äußerer Einflüsse die den Feuchtigkeitsgehalt des Papiers und den Quellungszustand der Fasern und Feinstoffe ändern, ausgelöst. Die Faserstoffeinflüsse auf die Dimensionsstabilität sind die Ursache für jegliche Dimensionsänderung. Sie beruht auf dem anisotropen Quell- und Schrumpfungsverhalten der Fasern sowie der verstärkten Quellung von mahlungsbedingt erzeugten Feinstoffen [26].

In Abbildung 6 sind die Nassdehnung und anschließende Trockenschrumpfung entlang der y-Achse, quer zum Faserlauf von zwei Etiketten A und B, gemessen mit einem emcoDDPM – Dynamisches Dehnungsmodul, dargestellt. Zu Beginn der Messung wurden beide Etiketten in ein Wasserbad getaucht und vollflächig benetzt, worauf unmittelbar die Nassdehnung einsetzt. Mit Erreichen der maximalen Nassdehnung wurden die Etiketten an der Luft getrocknet. Nach Verdunsten der an der Oberfläche anhaftenden Feuchtigkeit setzt die oben beschriebene Trockenschrumpfung ein.

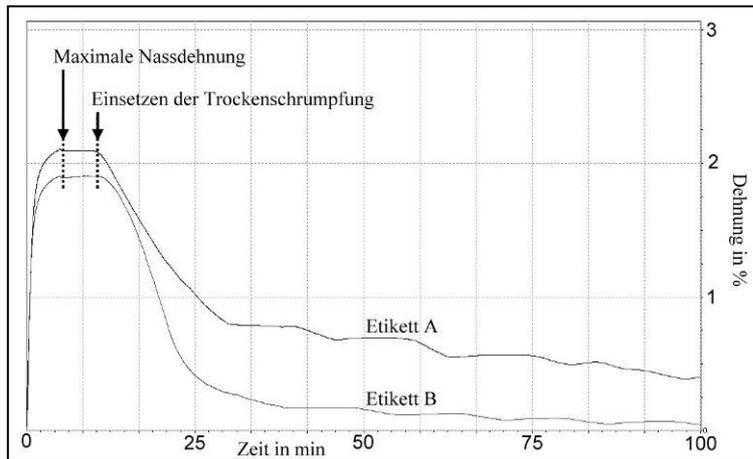


Abbildung 6: Nassdehnung und Trockenschrumpfung zweier unterschiedlicher Etiketten

Beim Eindringen von Feuchtigkeit oder Wasser in Papier werden Wasserstoffbrücken zwischen Fasern und Fibrillen gelöst und es kommt durch Einlagerung von Wassermolekülen in die Faserwand zum Quellen. Dadurch steigt der Anteil gebundenen Wassers in den Fasern und die innere Festigkeit im Fasergefüge nimmt ab [26]. Wie stark diese Effekte ausgeprägt sind wird vor allem von der Faserart und deren Zusammensetzung der Faserzellwand bestimmt [18, 56]. Für die Aufnahme von Wasser in die Faserzellwand ist der hohe Gehalt an OH-Gruppen in Hemicellulose und Cellulose verantwortlich. Sie können Wasser über Wasserstoffbrücken binden und dadurch die Zellwandstruktur aufweiten [51].

Mittels Ultraschall-Transmissionsmessung ist es möglich, für jedes Papier ein charakteristisches Penetrationsverhalten zu bestimmen [24]. In Abbildung 7 sind zwei Ultraschall-Transmissionskurven dargestellt. Etikett C zeigt in diesem Beispiel eine deutlich langsamere Abnahme der Transmission als Etikett D, das bereits nach rund 40 Sekunden mit Feuchtigkeit gesättigt ist, während Etikett C auch nach Ablauf der Messdauer von zwei Minuten immer noch Flüssigkeit aufnimmt. Daraus lässt sich schließen, dass aufgrund des Papieraufbaus das Eindringen von Feuchtigkeit in das Papiergefüge bei Etikett C langsamer abläuft als bei Etikett D.

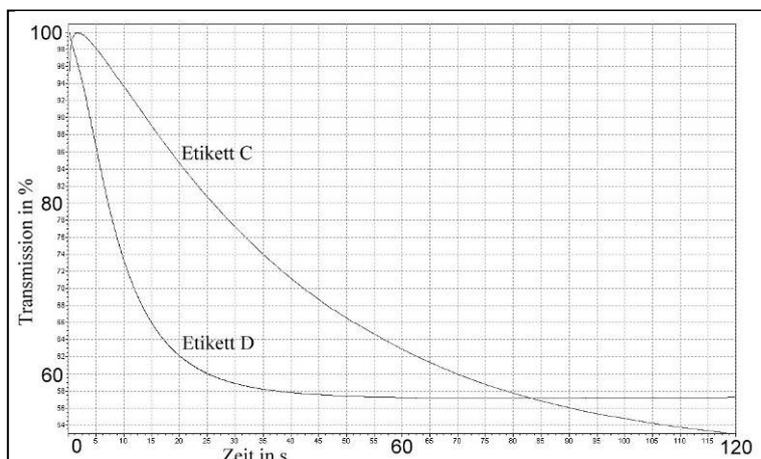


Abbildung 7: Ultraschall-Transmissionskurve zweier Etiketten

2.3.1.6 Hysterese von Papier

Wie bereits aus Abbildung 6 ersichtlich ist und in Abbildung 8 nochmals hervorgehoben wird, tritt bei der Nassdehnung und anschließender Trockenschrumpfung eine Hysterese in y-Richtung auf. In diesem Beispiel bleibt das Etikett A, im Vergleich zu seiner Ursprungslänge, um etwa 0,3 % größer.

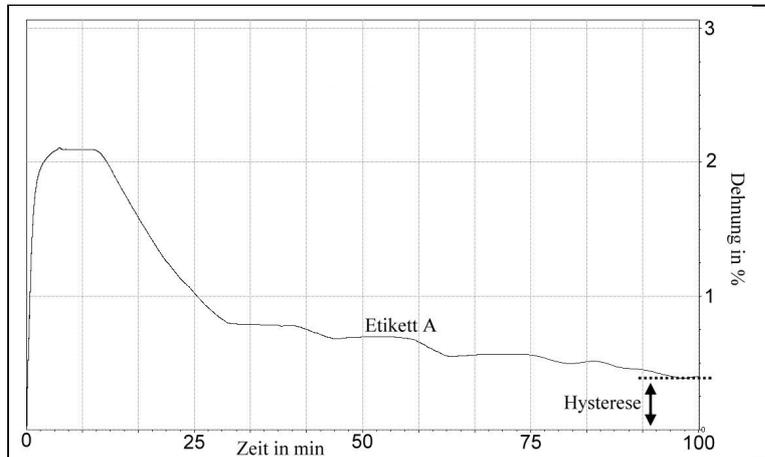


Abbildung 8: Hysterese von Papier

Ein Erklärungsansatz für das Phänomen der Hysterese ist, dass bei der Desorption des Wassers von der Faseroberfläche eine Schrumpfung der Oberflächenstruktur eintritt, welche die weitere Desorption der in den inneren Bereichen angelagerten Wassermoleküle behindert [73].

2.3.1.7 Metallisierung und Prägung

Metallisierte Etikettenpapiere wirken optisch wie Metallfolien und bieten den Designern zusätzliche Gestaltungsmöglichkeiten. Hergestellt werden metallisierte Etiketten überwiegend durch Vakuummetallisierung, bei der eine 0,3 μm bis 0,4 μm starke Metallschicht aufgebracht wird. Diese führt zu einer Gewichtszunahme von etwa 0,4 g/m^2 . Die Papiere, die hierfür Verwendung finden, sind im Allgemeinen geprägt, um die Flexibilität zu erhöhen und die Ablösezeit in der Flaschenreinigungsmaschine herabzusetzen. Durch die Prägung werden die Papierfasern gebrochen und das Papier somit zugänglicher für Feuchtigkeits- beziehungsweise Laugenpenetration durch die Druckseite. Zudem weisen diese Basispapiere einen niedrigeren Cobb-Wert gegenüber Standardweißpapier auf, mit dem Ziel der Faltenbildung vorzubeugen [16, 54, 57].

2.3.1.8 Drucken, Stanzen und Schneiden der Etiketten

Die Etikettenpapiere werden für die Weiterverarbeitung bei den Druckereien entweder als Rollen oder in Bögen angeliefert. Beim Etikettendruck sind die drei gängigsten Druckverfahren der Tiefdruck, der Offsetdruck und der Flexodruck.

Tiefdruck

Beim Tiefdruck liegen die druckenden Partien vertieft im Druckzylinder (siehe Abbildung 9). Der rotierende, verchromte Zylinder taucht in die Farbe ein und wird an den druckfreien Stellen farbfrei abgerakelt, so dass nur die Farbe aus den Nöpfchen direkt auf die Papierbahn übertragen wird. Das Volumen der einzelnen Nöpfchen ist ausschlaggebend für den Farbauftrag auf dem Papier. Nach dem Aufdruck wird die Papierbahn durch ein Heizaggregat geführt, in dem die in der Druckfarbe enthaltenen Lösemittel auf Alkoholbasis zum Verdunsten gebracht werden. Der Tiefdruck ist durch den Druck von der Rolle, den hohen Standzeiten der Druckzylinder in Verbindung mit den hohen Fertigungskosten der Zylinder vor allem für mittlere und große Etikettenauflagen prädestiniert.

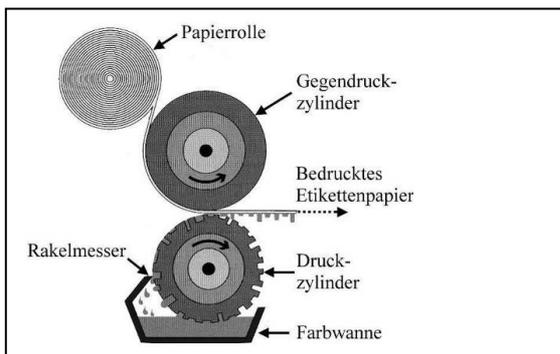


Abbildung 9: Verfahrensschema Tiefdruck [16]

Offsetdruck

Beim Offsetdruck liegen die druckenden und nicht druckenden Partien auf einer Ebene (siehe Abbildung 10). Die Druckform ist eine Metall- oder Kunststoffplatte, die mittels fotochemischer Verfahren so vorbehandelt wurde, dass die nicht druckenden Partien hydrophil sind und die Farbe abstoßen, während die druckenden Partien hydrophob sind und somit die fetthaltige Druckfarbe annehmen. Die dickviskose Farbe wird über die Farbauftragswalzen auf die zuvor befeuchtete Druckplatte übertragen. Der Offsetdruck ist ein indirektes Druckverfahren, da die Druckform das Druckbild erst auf einen Gummizylinder überträgt, bevor dieser das Papier bedruckt. Offsetfarben trocknen oxidativ unter Mitwirkung eines eingestäubten Puders, das die Papierbögen auf Abstand hält und den Kontakt mit Luftsauerstoff ermöglicht. Der Offsetdruck ist im Vergleich zum Tiefdruck, aufgrund der kürzeren Standzeiten der Druckvorlage in Verbindung mit geringeren Fertigungskosten, für kleine und mittlere Druckauflagen das wirtschaftlichere Druckverfahren.

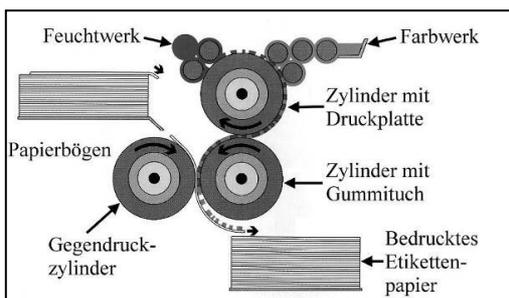


Abbildung 10: Verfahrensschema Offsetdruck [16]

Flexodruck

Mit der zunehmenden Verwendung von Kunststofffolien kommt der so genannte Flexodruck, als Hochdruckverfahren, in immer stärkerem Maße zum Einsatz. Der herkömmliche Flexodruck arbeitet mit lösemittelhaltigen Farben sowie Farben auf Wasserbasis.

Stanzen und Schneiden von Etiketten

Üblicherweise werden Etiketten mit geraden Kanten geschnitten, wohingegen Formen die einen Radius enthalten gestanzt werden. Das Schneiden kann direkt von der Rolle erfolgen, während für das Gegendruckstanzen zunächst einzelne Stapel hergestellt werden müssen. Für präzise Stanzergebnisse und hohe Standzeiten der Stanzmesser sind die Reibkraft zwischen den einzelnen Papierschichten sowie Haft-Gleit-Vorgänge die vorherrschenden Komponenten [16, 58, 59].



Abbildung 11: Stanzisen für das Gegendruckstanzen [58]

2.3.1.9 Lagerbedingungen

Die physikalischen Eigenschaften von Papieretiketten hängen in hohem Maße von den klimatischen Bedingungen während der Lagerung ab. Die Lagerung sollte daher unter Bedingungen erfolgen, bei denen die Etiketten ihre Funktionalität und Verarbeitbarkeit beibehalten. Mit einem Raumklima von 18 °C bis 23 °C und 60 % bis 70 % relativer Luftfeuchtigkeit kann dies gewährleistet werden.

Werden die Etiketten zu feucht gelagert, verlieren die Papiere ihre Stabilität, die für die Verarbeitung in einer Etikettiermaschine erforderlich ist. Zudem kann es zu Schimmelbildung am Etikett und gegebenenfalls zur Oxidation der Metallisierung kommen. Bei einer zu trockenen Lagerung werden die Etikettenpapiere steif und die Reißfestigkeit nimmt ab, während die Rückstellkräfte, in Form steigender Rollneigung, zunehmen [16, 54, 55].

2.3.2 Etikettierklebstoffe

Nach der DIN 8593-8 ist der Begriff Klebstoff definiert, als ein nicht metallischer Werkstoff der Körper durch Oberflächenhaftung (Adhäsion) und innere Festigkeit (Kohäsion) verbinden kann, ohne dass sich das Gefüge der Körper wesentlich verändert [41]. In den entsprechenden STLB werden diese Werkstoffe als Etikettierklebstoffe bezeichnet [21]. In dieser Arbeit wird

für Etikettierklebstoff zudem die verkürzte Bezeichnung Klebstoff und Leim verwendet. Klebstoffe für die Flaschenetikettierung in der Getränkeindustrie sind komplexe Stoffsysteme, die den sehr unterschiedlichen Bedingungen in einem hoch technisierten Umfeld gerecht werden müssen. Für die sichere Funktionalität dieser Klebstoffe ist neben einer hohen Produktqualität vor allem das in der Praxis stets sehr unterschiedliche Anforderungsprofil des Abfüllbetriebes von Bedeutung [13].

2.3.2.1 Klebstoffsorten

Um den unterschiedlichen Bedingungen Rechnung zu tragen, werden von der Getränkeindustrie drei verschiedene Sorten Etikettierklebstoffe für die Etikettierung auf Glasflaschen im Mehrwegbereich eingesetzt. Die Kaseinklebstoffe sind bei der Getränkeabfüllung am weitesten verbreitet. Ebenfalls zum Einsatz kommen Dextrinklebstoffen und Synthetikklebstoffe, jedoch in weit geringerem Umfang. Synthetikklebstoffe werden zum Teil auch als Mischklebstoffe bezeichnet, da auch diese in der Regel über einen gewissen Kaseinanteil verfügen. Bei der Klebstoffbezeichnung gibt es keine einheitliche Nomenklatur und die Grenzen zwischen den Sorten verlaufen teilweise fließend.

Der Grund für die Dominanz der Kaseinklebstoffe bei der Etikettierung kalter und nasser Glasflaschen liegt in den Eigenschaften dieser Klebstoffe begründet. Kaseinleim zeigt gegenüber anderen Klebstoffsorten eine ausgezeichnete Nassklebekraft, aufgrund der sehr starken Viskositätsänderung, die mit einer Temperaturänderung einhergeht (vergleiche Abbildung 12, linkes Diagramm). Auch die Schwitzwasserbeständigkeit kann bei Kaseinklebstoffen gegenüber Stärkeleimen durch eine entsprechende Rezeptur deutlich erhöht werden (Abbildung 12, rechtes Diagramm).

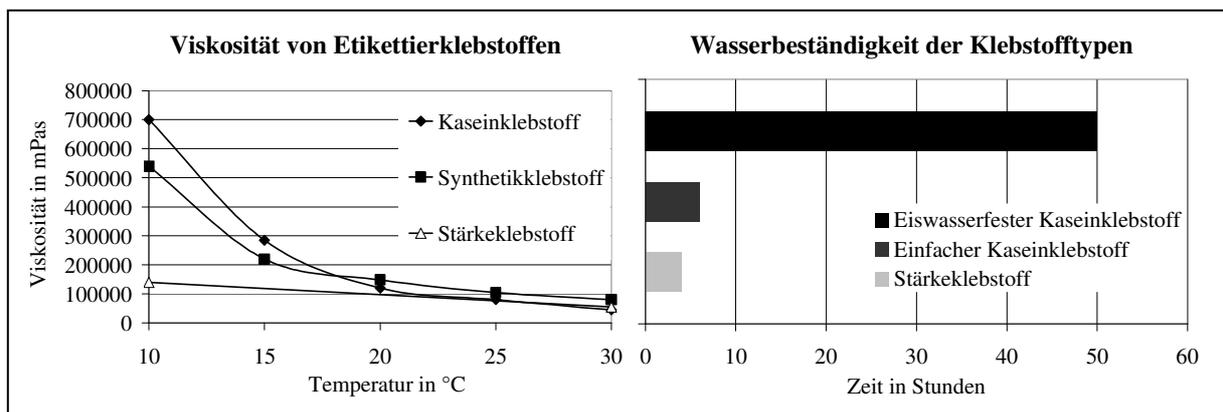


Abbildung 12: Viskosität und Wasserbeständigkeit verschiedener Klebstofftypen [53]

Kaseinklebstoffe sind wegen ihrer guten Verarbeitungseigenschaften auch auf sehr schnellen Etikettiermaschinen, bis über 80.000 Flaschen pro Stunde, einsetzbar und werden für alle Arten von Papieretiketten wie auch für die Stanniolierung von Flaschenhälsen mit Aluminiumfolien verwendet. Im Vergleich dazu sind Stärkeklebstoffe nur bis zu einer Ausbringung von maximal 40.000 Flaschen pro Stunde einsetzbar. Sie haben zudem eine deutlich geringere Anfangshaftkraft auf nassen und kalten Flaschen und finden daher hauptsächlich bei der Warm- und Heißabfüllung ihren Einsatzschwerpunkt. In jüngerer Zeit halten auch Dispersi-

onsklebstoffe, für die Etikettierung von PET- oder PEN-Flaschen, Einzug in den Abfüllbetrieben [13, 16, 53].

In dieser Arbeit werden ausschließlich Etikettierklebstoffe auf Kaseinbasis für den Mehrwegbereich behandelt, da diese in den Abfüllbetrieben bei der Etikettierung von Bierflaschen am weitesten verbreitet sind. Kasein ist ein Eiweißbestandteil der Milch. Kuhmilch enthält etwa 3 % Kasein in kolloidaler, milchig opaleszierender Lösung. Zur Isolierung von Kasein wird die Milch bis auf einen Fettgehalt zwischen 0,05 % und 0,2 % entrahmt. Anschließend wird die auf 45 °C vorgewärmte Milch mit Säuren auf den pH-Wert 4,6 des isoelektrischen Punktes von Kasein eingestellt, worauf das Kasein gerinnt. Nach Trennung der festen von den flüssigen Bestandteilen (Molke) wird das Kasein verschiedenen Wasch- und Trocknungsvorgängen durch Abpressen unterzogen und schließlich bei 50 °C bis 80 °C auf einen Wassergehalt von weniger als 10 % getrocknet. Aus 1.000 kg Magermilch können auf diese Weise etwa 33 kg Kasein gewonnen werden [27, 53].

2.3.2.2 Chemisch-physikalische Vorgänge bei der Verklebung

Nach der DIN 8593-8 sind die Oberflächenhaftung (Adhäsion) und innere Festigkeit (Kohäsion) für die Beständigkeit der Verklebung verantwortlich [41]. In Abbildung 13 sind diese beiden Kräfte an ihren jeweiligen Angriffspunkten dargestellt.

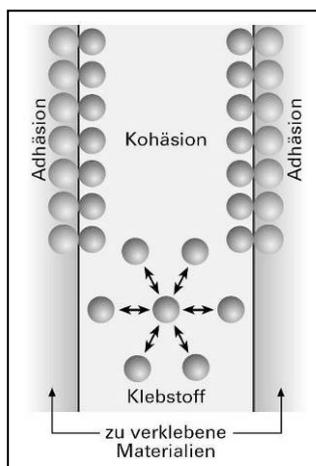


Abbildung 13: Adhäsions- und Kohäsionskräfte bei der Verklebung [63]

Adhäsion

Treten die Klebstoffmoleküle mit der benetzten Glasoberfläche in Wechselwirkung, kommt es zur Adhäsion, auch Adhäsions- oder Anhangskraft genannt. Sie beschreibt den mechanischen Zusammenhalt, der sich zwischen zwei in Kontakt tretenden kondensierten Phasen ausbildet. Die Adhäsion setzt sich aus der mechanischen Adhäsion und der spezifischen Adhäsion zusammen.

Die mechanische Adhäsion bei Etikettierklebstoffen beruht auf der Ausbildung einer Mikroverzahnung, die durch Verklammerung des ausgehärteten Klebstoffes in die mikroskopisch kleinen Vertiefungen der Glasoberfläche entsteht.

Sie wird ergänzt durch die spezifische Adhäsion, die durch zwischenmolekulare und chemische Bindungskräfte hervorgerufen wird. Der Dipolcharakter der Moleküle, nach der Polarisierungstheorie von *De Bruyne (1935)*, und die Ausbildung einer elektrischen Doppelschicht, nach der elektrostatischen Theorie von *Derjagin (1950)*, sind demnach für die Stärke der Verklebung mitentscheidend [32, 69, 70].

Kohäsion

Bei Klebstoffen bezeichnet die Kohäsion, auch Zusammenhangskraft genannt, die Kräfte, die den inneren Zusammenhalt des Klebstoffes bewirken. Die Kohäsion kommt durch die mechanische Verschlaufung langkettiger Moleküle und die chemischen Bindungen innerhalb von Molekülen zustande. Aber auch Anziehungskräfte benachbarter Atome und Moleküle sowie zwischenmolekulare Kräfte leisten einen Beitrag. Hierzu zählen unter anderem Ionenbindungen, van-der-Waals-Wechselwirkungen und Wasserstoffbrückenbindungen [32, 70, 71].

Anfangshaftung und Aushärten der Etikettierklebstoffe

Eine ausgeprägte Anfangshaftung auf nassen und kalten Oberfläche ist für die Etikettierung von Bierflaschen von entscheidender Bedeutung. Diese Anfangshaftung wird über die charakteristische Erhöhung der Viskosität des Etikettierklebstoffes bei Kontakt mit der kalten Flaschenoberfläche erzielt (vgl. Abbildung 12 auf Seite 18, linkes Diagramm). Mit der Viskositätssteigerung nach dem Benetzen der Flaschenoberfläche wird die mechanische Adhäsion durch die Verfestigung der Mikroverzahnung stark erhöht. Die kalte Flaschenoberfläche wird durch die Produkttemperatur bei der Bierabfüllung bedingt, die abhängig von den Einstellungen und Gegebenheiten im Abfüllbetrieb, zwischen 5 °C und 10 °C liegen kann [33, 37, 53].

Nach der ersten Fixierung des Etiketts durch die Anfangshaftung muss der Klebstoff für eine dauerhafte Verklebung aushärten. Bei den drei oben genannten Klebstoffsorten für Glas-Mehrwegflaschen handelt es sich ausschließlich um physikalisch abbindende Nassklebstoffe, bei denen das Lösemittel Wasser aus dem Etikettierklebstoff entfernt wird [19]. Sobald der Klebstoff austrocknet erhöhen sich die Kohäsionskräfte durch die ansteigende Verschlaufung der Makromoleküle und die Zunahme chemischer Bindungen. Die reduzierten Abstände zwischen benachbarten Atomen und Molekülen führen darüber hinaus zu verstärkten zwischenmolekularen Kräften. Diese Vorgänge bewirken insgesamt die dauerhafte Fixierung des Etiketts auf der Glasoberfläche der Flasche [13].

Für die Verdunstung muss das Wasser durch das Etikettenmaterial diffundieren können. Dies bedeutet, dass neben den verwendeten Klebstofftypen, die Eigenschaften Wasseraufnahme und Wasserdurchlässigkeit des Etiketts einen entscheidenden Einfluss auf die Abbindegeschwindigkeit des Etikettierklebstoffs ausüben. Die Dynamik der Wasseraufnahme kann mittels Ultraschallmessung bestimmt werden (vgl. Abschnitt 2.3.1.5 Dynamische Nassdehnung und dynamisches Penetrationsverhalten auf Seite 13). Die Unterschiede in der Wasseraufnahme erklären auch die Beobachtung aus der Praxis, dass mit einem Klebstoff bei verschiedenen Etiketten unterschiedliche Trocknungsgeschwindigkeiten erzielt werden [13].

2.3.2.3 Anwendungstechnische Eigenschaften der Etikettierklebstoffe

Beim Einsatz von Kaseinklebstoff sind bestimmte anwendungstechnische Eigenschaften für eine einwandfreie Etikettierung zu berücksichtigen [16].

Klebstofftemperatur und Verbrauch

Die Viskosität der Kaseinklebstoffe zeigt eine starke Temperaturabhängigkeit. Je höher die Klebstofftemperatur, desto niedriger ist die Klebstoffviskosität (vgl. Abbildung 12 auf Seite 18, linkes Bild). Für die Verarbeitung des Klebstoffes an der Leimwalze der Etikettiermaschine ist eine gleich bleibende Viskosität im optimalen Temperaturbereich anzustreben. Dieser Temperaturbereich ist abhängig von der Klebstoffsorte und wird vom Klebstoffhersteller angegeben. Verarbeitungstemperaturen zwischen 25 °C und 32 °C sind für Kaseinleime typisch. Um eine homogene Temperaturverteilung zu erzielen, werden die Klebstoffe mit Leimpumpen im Kreislauf gefördert und gleichzeitig temperiert. In Abbildung 14 sind die Auswirkungen der Temperatur auf den Klebstoffverbrauch dargestellt. Eine zu niedrige Temperatur und die damit verbundene erhöhte Viskosität führen zu einem erhöhten Leimverbrauch, da sich der Klebstoff nicht in der gewünschten Schichtdicke auf der Leimwalze einstellen lässt. Zu hohe Leimtemperaturen mit einer niedrigeren Viskosität bewirken ebenfalls einen erhöhten Verbrauch, meist in Kombination mit unsauberer Verarbeitungseigenschaften, durch Spritzen des Klebstoffes im Palettenkarussell [13, 16].

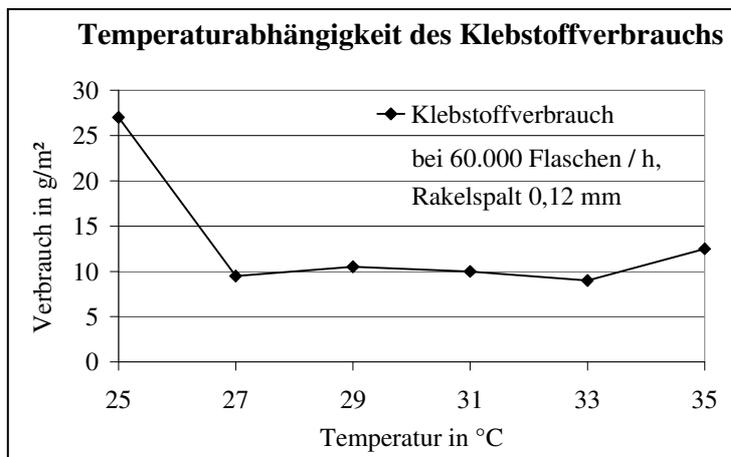


Abbildung 14: Temperaturabhängigkeit des Klebstoffverbrauchs [13]

Rheologische Eigenschaften von Kaseinklebstoffen

Kaseinklebstoffe verändern unter Einwirkung einer Scherkraft, wie sie zwischen Rakel und Leimwalze auftritt, ihre physikalischen Eigenschaften. Unter dem Einfluss einer Scherung sinkt die Viskosität und steigt beim Wegfallen der Scherung wieder an. Somit ändert der Klebstoff je nach Maschinengeschwindigkeit seine Viskosität. Eine Grundvoraussetzung für die problemlose Verarbeitung ist daher erneut, dass der Klebstoff im ständigen Kreislauf gefördert wird, um einen relativ konstanten Scherkräfteinfluss zu sichern. Zu diesem Zweck kommen als Pumpen langsame, pneumatisch betätigte Kolbenpumpen mit Temperierung zum Einsatz [13, 16].

Klebstoffauftrag und Verbrauch

Bei Einhaltung der optimalen Verarbeitungstemperatur und kontinuierlicher Kreislaufförderung erfolgt die Einstellung des für die Anwendung erforderlichen, minimalen Klebstoffauftrages über den Rakelspalt an der Leimwalze. Eine Erhöhung der Auftragsmenge, durch Verdopplung des Rakelspaltes, kann den Verbrauch, aufgrund der rheologischen Eigenschaften der Klebstoffe, auf das dreifache der ursprünglichen Menge erhöhen (siehe Abbildung 15). Die verwendete Klebstoffsorte hat ebenfalls einen Einfluss auf den Verbrauch [13].

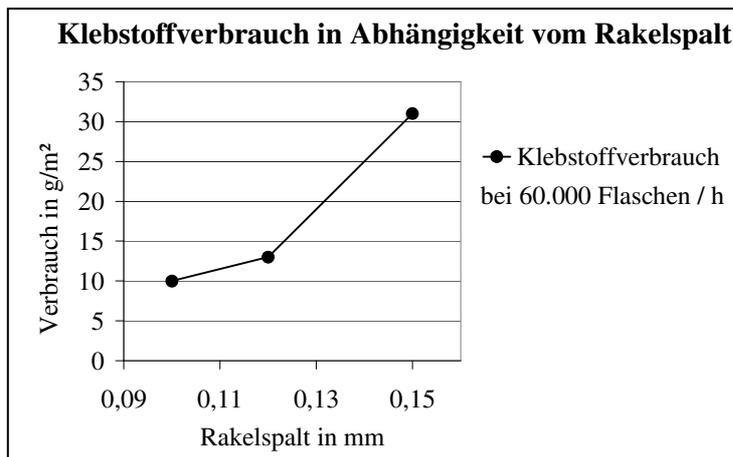


Abbildung 15: Klebstoffverbrauch in Abhängigkeit vom Rakelspalt an der Leimwalze [13]

Lagerbedingungen

Die Lagerung der Etikettierklebstoffe stellt keine besonderen Anforderungen. Es ist jedoch darauf zu achten, dass Nassklebstoffe nicht unter 10 °C gelagert werden, da Kaseinleime frostempfindlich sind. Die mikrobiologische Stabilität des Naturbestandteils Kasein wird durch Konservierungsstoffe gewährleistet. Die langsam fortschreitende Degeneration des Kaseins kann dadurch jedoch nicht vollständig verhindert werden, so dass bei sachgemäßer Lagerung die Haltbarkeit von Kaseinklebstoffen auf etwa sechs Monate begrenzt ist [16].

2.3.3 Getränkeflaschen aus Glas

Unabhängig davon, wie der eingesetzte Etikettierklebstoff zusammengesetzt ist, klebt er stets nur die Kontaktflächen. Die Oberflächen der jeweiligen Kontaktfläche müssen daher mit dem Etikettierklebstoff harmonieren.

Der behälterspezifische Parameter für die Klebeeigenschaft ist die Oberflächenbeschaffenheit der Glasflasche. Dazu zählt zum einen die Glätte der Klebefläche. Bei glatten Flächen kann eine lückenlose Klebefläche sehr einfach erreicht werden. Bei rauen oder grob strukturierten Oberflächen sollte die Klebstofffilmdicke mindestens der Rautiefe der Oberfläche entsprechen. Zum anderen ist die Oberflächenenergie des Materials von Bedeutung für die Verklebung. Bei Flüssigkeiten wird die Oberflächenenergie als Oberflächenspannung bezeichnet. In der klebetechnischen Anwendung sind Oberflächen mit einer Oberflächenenergie größer 38 mN/m, die auch als hochenergetische Flächen bezeichnet werden, relativ einfach zu bekleben [5]. Beispiele für solche Flächen sind fettfreies Glas, fettfreier und polierter Stahl

oder PVC-Folie. Diese Art Flächen lassen sich auch gut mit Wasser benetzen. Niedrigenergetische Flächen mit einer Oberflächenenergie kleiner 38 mN/m sind dagegen schwierig und oft nur mit speziellen Klebstoffen etikettierbar.

Zur definierten Einstellung der Oberflächeneigenschaften werden Glasflaschen noch während des Herstellungsprozesses in den Glashütten weiter behandelt. Grund hierfür ist, dass die Glasflaschen, so wie sie aus der Blasmaaschine kommen, aufgrund ihrer rauen Oberfläche und der dadurch bedingten hohen Verschleiß- und Bruchanfälligkeit, den Anforderungen heutiger Abfüllgeschwindigkeiten von über 100.000 Flaschen pro Stunde nicht gewachsen sind [33]. Erst durch eine kombinierte Heiß- und Kaltendvergütung erhält die Glasflasche die erforderliche glatte Oberfläche [16].

2.3.3.1 Heißendvergütung

Die Heißendvergütung findet während der Abkühlphase der Flaschen, bei etwa 600 °C statt. Bei dieser Temperatur werden die auf der Glasoberfläche vorhandenen Mikrorisse durch die Metalloxide TiO_2 und SnO_2 oder die Metallchloride TiCl_4 und SnCl_4 verfüllt und die Glasoberfläche dadurch vor verstärkter Rissbildung im weiteren Produktionsablauf geschützt. Auf diese Weise wird die Festigkeit der Flasche erhöht. Die Schichtdicke der Heißendvergütung liegt bei 20 CTU bis 50 CTU. Ein CTU (Coating Thickness Unit) entspricht bei TiO_2 etwa 25 nm und bei SnO_2 annähernd 50 nm. Die Heißendvergütung stellt im Allgemeinen kein Problem bei der Nassetikettierung dar [10, 16, 62].

2.3.3.2 Kaltendvergütung

Nach dem weiteren Abkühlen der Flaschen werden diese für die Kaltendvergütung zwischen 80 °C und 150 °C mit einer wässrigen Dispersion aus Wachs, Sterat, Fettsäureprodukten oder Polyethylen überzogen. Diese Substanzen verleihen der Glasoberfläche ihre Glätte und Gleitfähigkeit. Die Schichtdicken der Kaltendvergütung liegen zwischen 80 CTU und 200 CTU. Die Eigenschaften der Kaltendvergütung sind bei der Wahl des Klebstoffs zu berücksichtigen, da sich durch den Auftrag der organischen Substanzen die Oberflächeneigenschaften verändern. Dasselbe trifft auch auf die Nachvergütung im Abfüllbetrieb zu, bei der die Oberfläche ebenfalls mit einem Wachs- oder Polyethylenfilm beaufschlagt wird [16]. Die Kaltendvergütungsmittel, auf denen primär die Verklebung durchgeführt wird, sind nur schwer zu verkleben. Im Extremfall der Übervergütung ist überhaupt keine Verklebung mehr möglich, so dass nach dem Trocknen des Klebstoffes die Etiketten wieder von den Flaschen abfallen [10]. Die Kaltendvergütung wird mit jeder Flaschenwaschung allmählich abgetragen, wodurch bei Glas-Mehrwegflaschen mit jedem Umlauf die Verklebung besser wird. Die schwankenden Oberflächenqualitäten erschweren jedoch die Reproduzierbarkeit von Etikettierergebnissen [13, 62].

2.3.3.3 Feuchtigkeit auf der Flaschenoberfläche

Im Abfüllprozess, der mit dem Einstellen der befüllten und etikettierten Flaschen in das Vollgut-Lager abgeschlossen wird, werden die leeren, verunreinigten Glas-Mehrwegflaschen nach der Entnahme aus des Getränkekästen zunächst in der Flaschenreinigungsmaschine gereinigt. Die Abgabetemperatur der Flaschen kann dabei bis zu 30 °C betragen. Durch intensiveres Nachspritzen mit Frischwasser, in Verbindung mit Frischwassertemperaturen von 12 °C bis 13 °C, kann die Abgabetemperatur der Flaschen auf etwa 15 °C reduziert werden. Bei einer klassischen Kaltabfüllung wird Bier bei 5 °C bis 10 °C abgefüllt. In Brauereien sind jedoch auch Abfülltemperaturen über 15 °C anzutreffen. Die Oberflächentemperatur der befüllten Flaschen wird direkt von der Abfülltemperatur des Bieres beeinflusst. In Abhängigkeit von der Temperatur und der relativen Luftfeuchtigkeit der Umgebungsluft schlägt sich Schwitzwasser auf den Flaschen nieder, wenn die Oberflächentemperatur der Flaschen unter der Taupunkttemperatur t_s der Umgebungsluft liegt (vgl. Abschnitt 11.13 auf Seite 209) [33, 37].

Unmittelbar nach dem Füllvorgang und noch vor dem Verschließen wird das kohlendioxidhaltige Bier durch eine Hochruckeinspritzung zum Überschäumen gebracht und auf diese Weise der Sauerstoffgehalt im Kopfraum der Flaschen durch Verdrängung der Luft mit Bierschaum reduziert. Die Schaumreste müssen zur Vermeidung von Korrosion und Wachstum von Mikroorganismen durch eine Wasserbrause, der zweiten Quelle für Feuchtigkeit auf der Flaschenoberfläche, entfernt werden. Das Wasser unter dem Kronkorken wird anschließend mittels Luft abgeblasen [33].

2.4 Etikettiervorgang bei der Nassetikettierung

Unter dem Begriff Nassetikettiertechnik werden alle Etikettierverfahren zusammengefasst, bei denen Leime auf wässriger Basis verwendet werden. Die Etikettierung findet in der Regel nach dem Füllen und Verschließen der Flaschen statt. Die maßgeblichen Arbeitsschritte der Nassetikettierung werden in diesem Abschnitt, am Beispiel einer Rundläufer-Etikettiermaschine mit feststehendem Etikettenbehälter (siehe Abbildung 16) erläutert, da dieser Typ bei der Etikettierung von Bierflaschen am weitesten verbreitet ist [16].

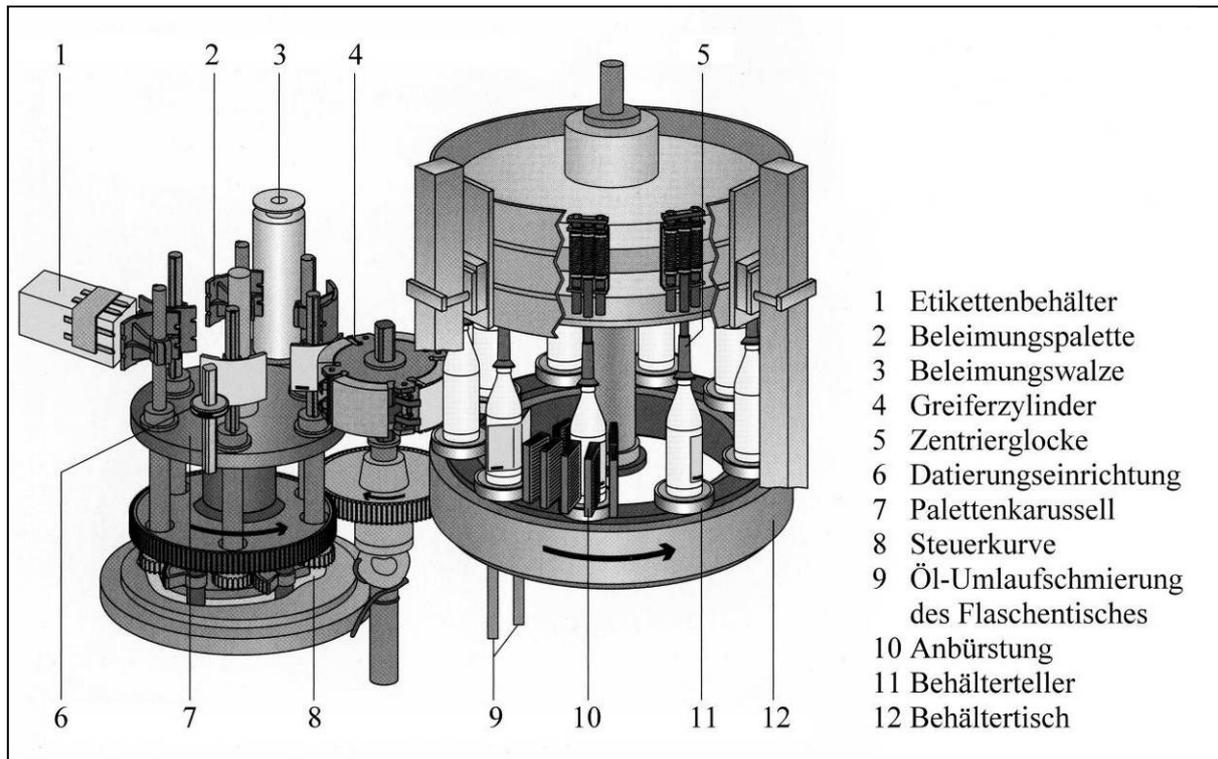


Abbildung 16: Rundläufer-Etikettiermaschine mit feststehendem Etikettenbehälter [16]

2.4.1 1. Arbeitsschritt: Beleimung der Beleimungspaletten

Die Beleimungspaletten, im Weiteren auch als Paletten bezeichnet, rollen mit gleich bleibendem Druck auf der Beleimungswalze ab und nehmen dabei Etikettierklebstoff auf. Wie in Abschnitt 2.3.2.3 auf Seite 21 bereits erläutert wurde, ist der Abstand des Rakelspalts entscheidend für die Klebstoffmenge die auf die Paletten und somit auf die Etiketten übertragen wird (siehe Abbildung 17). Ist der Spalt zu klein, wird nicht ausreichend Klebstoff aufgenommen und es kann zu Problemen mit der Etikettenhaftung kommen. Ein zu großer Spalt führt zu unnötig hohem Klebstoffverbrauch und einer vermeidbaren Verschmutzung der Etikettiermaschine [13, 16].

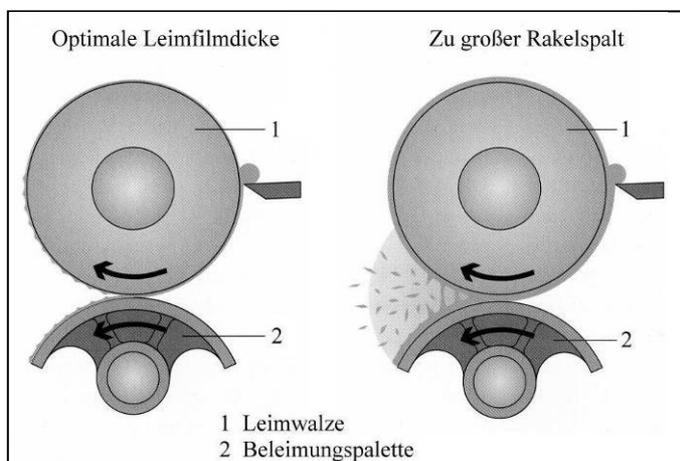


Abbildung 17: Abrollen der Beleimungspaletten auf der Beleimungswalze [16]

2.4.2 2. Arbeitsschritt: Entnahme der Etiketten aus dem Etikettenbehälter

Die Etiketten werden der Etikettiermaschine über den Etikettenbehälter zugeführt. Dabei zeigen die Etikettenrückseiten in Richtung Palettenkarussell. Die Entnahme und Vereinzelung der Etiketten erfolgt wie in Abbildung 18 dargestellt, durch Abrollen der beleimten Paletten über die Rückseite des vordersten Etiketts, wobei dieses Etikett am Etikettierklebstoff der Beleimungspalette haften bleibt. Der notwendige Anpressdruck wird durch das Eintauchen der Beleimungspalette in den Etikettenbehälter aufgebaut. Dadurch wird der Etikettenstapel rund 2 mm zurück in den Behälter geschoben [10]. Sobald ein Etikett entnommen wurde schiebt ein Federmechanismus den Etikettenstapel wieder gegen die Haltenasen.

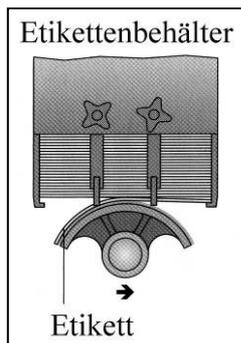


Abbildung 18: Entnahme eines Etiketts aus dem Etikettenbehälter [16]

Auf diese Weise wird gleichzeitig der Etikettierklebstoff auf das Etikett übertragen. Die Beleimungspaletten für Papieretiketten sind in der Regel so gestaltet, dass der Etikettierklebstoff nicht vollflächig übertragen wird. Stand der Technik ist eine Streifenbeleimung (siehe Abbildung 19) die den Klebstoffverbrauch reduziert und bei Mehrwegflaschen gleichzeitig die Ablösezeiten der Etiketten in der Flaschenreinigungsmaschine reduziert. Um zu verhindern, dass Klebstoff bei der Etikettenentnahme auf die Haltenasen des Etikettenbehälters und die nachfolgenden Etiketten übertragen wird und möglicherweise Störungen verursacht, sind an den Beleimungspaletten Aussparungen für die Haltenasen vorhanden. Zudem werden Beleimungspaletten etwas kleiner gefertigt als das entsprechende Etikett. Dies verhindert, dass der Etikettierklebstoff in der Anbürststation, nach dem Aufsetzen des Etiketts auf der Flasche, unter dem Etikett hervor gestrichen wird [16].

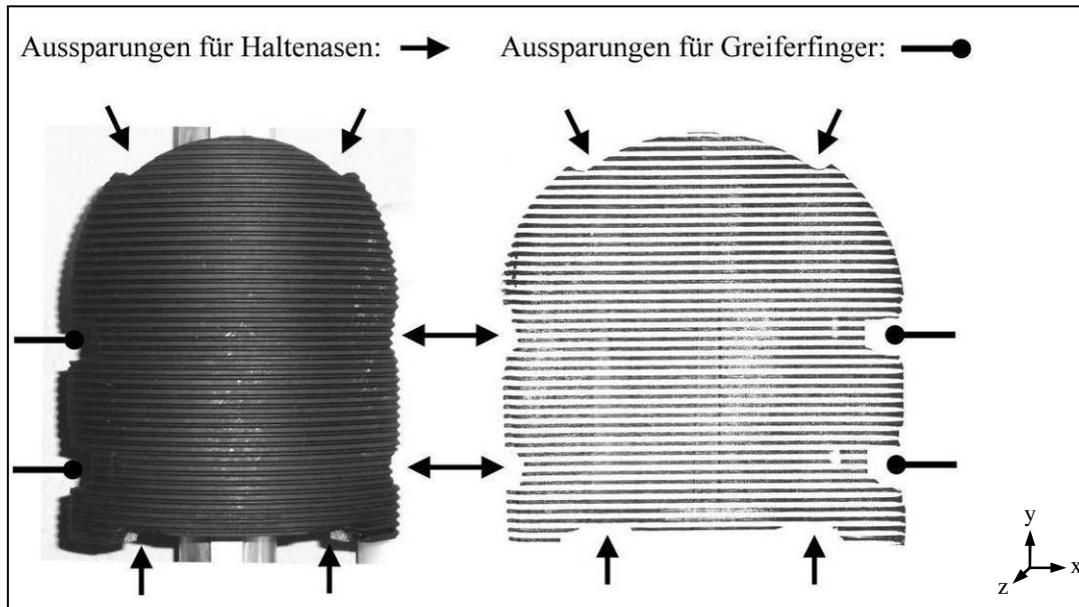


Abbildung 19: Beileimungspalette mit Steifenbeileimung und entsprechendem Beileimungsbild

2.4.3 3. Arbeitsschritt: Übergabe des Etiketts an den Greiferzylinder

Um die Etiketten auf den Flaschen applizieren zu können ist es notwendig, die nun mit Etikettierklebstoff benetzten Etiketten von den Beileimungspaletten abzunehmen. Zu diesem Zweck werden die Etiketten durch den Greiferzylinder abgezogen. Zunächst nähern sich die Beileimungspaletten auf einer vordefinierten Bahn dem Greiferzylinder an. Sobald sie die vorgesehene Position erreicht haben, werden die Etiketten zwischen der Ambossleiste und den Greiferfingern eingeklemmt. Um die Etiketten sicher greifen zu können sind an den Beileimungspaletten spezielle Aussparungen, die so genannten Greiferfingerlücken (Abbildung 19), vorhanden. Anschließend entfernen sich die Beileimungspaletten wieder vom Greiferzylinder. Dabei werden die Etiketten, wie in Abbildung 20 veranschaulicht, von den Beileimungspaletten abgezogen. Druckluftdüsen blasen die Etiketten gegen die Schwämme und verhindern, dass diese durch die Fliehkraft vom Greiferzylinder abstehen.

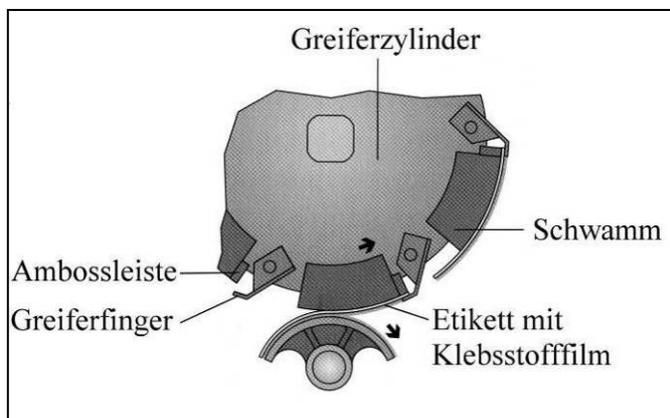


Abbildung 20: Übergabe des Etiketts an den Greiferzylinder [16]

Das Zusammenspiel der Beileimungspaletten und des Greiferzylinders ist entweder als oszillierendes Gleichlaufsystem oder rotierendes Gegenlaufsystem ausgelegt. Beim Gleichlaufsystem

tem drehen sich das Palettenkarussell mit den oszillierenden Beleimungspaletten und der Greiferzylinder am Übergabepunkt in die gleiche Richtung, während sich das Palettenkarussell mit den rotierenden Beleimungspaletten beim Gegenlaufsystem in die entgegengesetzte Richtung des Greiferzylinders dreht (siehe Abbildung 21). Bei gleicher Ausbringung hat eine Etikettiermaschine mit oszillierendem Gleichlaufsystem somit mehr Zeit die Etiketten an den Greiferzylinder zu übergeben, da die Bauteile über eine längere Wegstrecke miteinander Kontakt haben, als dies bei rotierenden Gegenlaufsystemen der Fall ist. Nach Herstellerangaben werden aus diesem Grund Etiketten in einem oszillierendem Gleichlaufsystem schonender behandelt und es sind weniger Störungen im Etikettierergebnis zu erwarten [16]. Dem entgegen erlaubt ein rotierendes Gegenlaufsystem eine andere Kurvenbahn der Beleimungspaletten die es ermöglicht, dass die Etiketten in voller Länge, direkt auf den Schwämmen des Greiferzylinders abgerollt werden. Dadurch entsteht, im Vergleich zum oszillierendem Gleichlaufsystem, eine geringere Zugspannung im Etikett [67]. Die beiden Marktführer im Etikettiermaschinenbau haben sich auf jeweils eines der beiden Systeme spezialisiert. Dementsprechend gehen die Aussagen darüber, welches System das bessere Etikettierergebnis liefert, in der Literatur diametral auseinander. Eine wissenschaftliche Untersuchung, welches System besser zur Etikettierung geeignet ist, liegt nicht vor und wird wohl auch in absehbarer Zeit nicht zur Verfügung stehen.

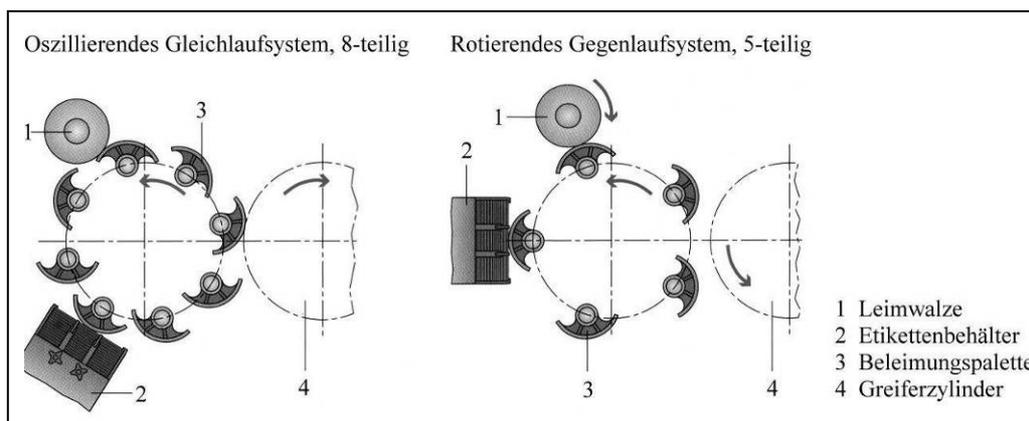


Abbildung 21: Oszillierendes Gleichlauf- und rotierendes Gegenlaufsystem [16]

2.4.4 4. Arbeitsschritt: Aufsetzen der Etiketten auf die Flaschen

Im darauf folgenden Arbeitsschritt werden die Etiketten auf den Flaschen appliziert. Hierfür überschneiden sich die Kreisbahn des Greiferfingerzylinders und des Behältertisches mit den Behältertellern so, dass die Etiketten, wie in Abbildung 22 gezeigt, von den Schwämmen an die Flaschen gedrückt werden. Die Anfangshaftung des Etikettierklebstoffs fixiert das Etikett an der Flasche, während gleichzeitig die Greiferfinger öffnen und das Etikett freigeben [16].

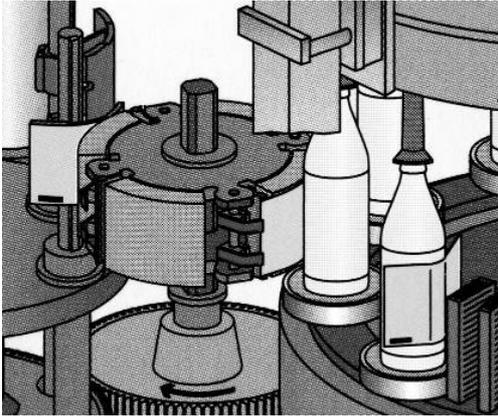


Abbildung 22: Aufsetzen der Etiketten auf die Flaschen [16]

Ein entscheidendes Kriterium bei diesem Schritt ist die Positionierung des Kreuzschlittens zur Flasche (Abbildung 23). Die Flasche soll das Etikett mittig treffen und einen ausreichenden hohen Druck aufbauen. Wird der Schlitten entlang der senkrecht zu den Flaschentellern verlaufenden Achse A zu weit von den Flaschen entfernt fixiert, ist dieser Druck zu gering und das Etikett haftet nicht an der Flasche. Wird der Schlitten zu nahe an den Flaschen befestigt, können die Greiferfinger beim Freigeben des Etiketts die Flasche berühren und dadurch verbogen werden oder die Position der Flasche auf dem Flaschenteller verändern. Wird die Position des Schlittens parallel zu den Flaschentellern, entlang der Achse B, nicht optimal eingestellt, so haftet das Etikett zu weit links oder zu weit rechts von der Etikettensmitte. Die Folge ist, dass das Etikett die Anbürststation nicht richtig positioniert erreicht und gegebenenfalls nicht vollständig angebürstet wird.

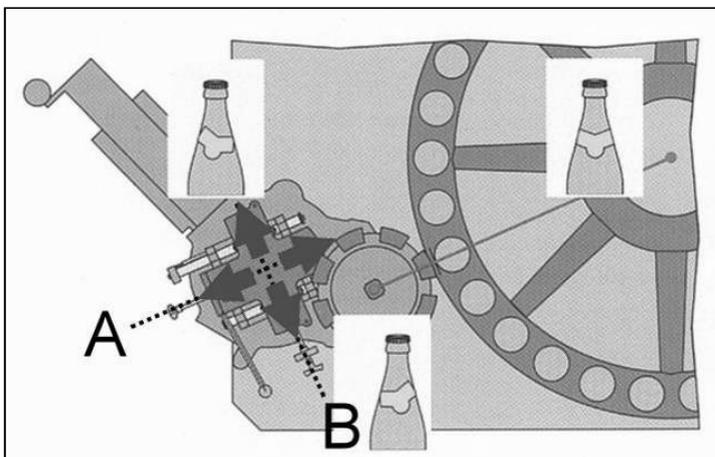


Abbildung 23: Kreuzschlitten des Etikettiermoduls [16]

2.4.5 5. Arbeitsschritt: Anbürsten der Etiketten

Im letzten Arbeitsschritt der Etikettiermaschine durchlaufen die Flaschen mit den teilweise befestigten Etiketten eine Bürstenstrecke, durch die die Etiketten vollflächig an die Flasche angebürstet werden (siehe Abbildung 24). Die Anfangshaftung des Etikettierklebstoffs fixiert nun das gesamte Etikett auf der Flaschenoberfläche [16].

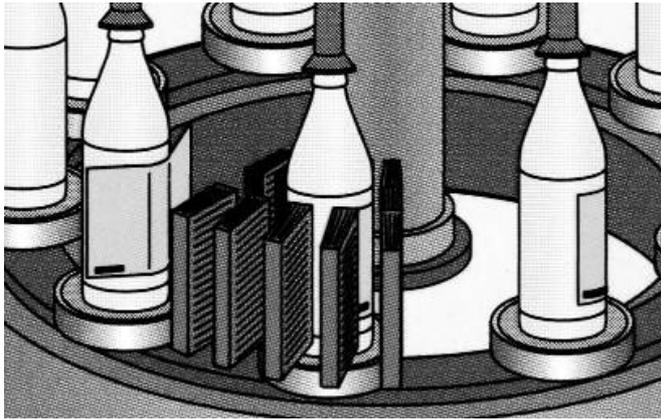


Abbildung 24: Anbürststation der Etikettiermaschine [16]

2.4.6 6. Arbeitsschritt: Abtrocknen der Flaschen

Die endgültige Fixierung der Etiketten erfolgt nach der Etikettierung, im Vollgutlager des Abfüllbetriebes. Das Wasser von der Flaschenoberfläche und dem Klebstoff wird von den Etiketten aufgenommen und zeitlich verzögert an die Umgebung abgegeben (vgl. Abschnitt 2.3.2.2 auf Seite 19). Sobald der Etikettierklebstoff ausgehärtet ist, gilt der Etikettiervorgang als abgeschlossen [16].

2.4.7 Innermaschinelles Verarbeitungsverfahren einer Etikettiermaschine

Das vollständige, innermaschinelle Verarbeitungsverfahren der oben beschriebenen Etikettiermaschine ist in der folgenden Abbildung 25 dargestellt. In Tabelle 1 sind die Elemente der Abbildung bezeichnet, deren Ein- und Ausgangsgrößen aufgelistet und die entsprechenden Wirkpaarungen angegeben.

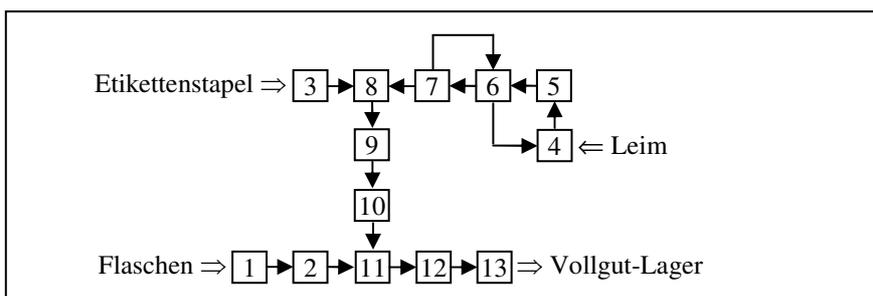


Abbildung 25: Innermaschinelles Verarbeitungsverfahren

Tabelle 1: Elementeliste des innermaschinellen Verarbeitungsverfahrens
(mit einer Fortsetzung)

Element	Bezeichnung	Eingangsgröße	Ausgangsgröße	Wirkpaarung: Arbeitsorgan(e) / Verarbeitungsgut(-güter)
1	Drängelförderband	Flaschen	Flaschen	Förderband / Flasche
2	Vereinzelungsstation	Flaschen	Einzelflasche	Schnecke / Flasche
3	Etikettenmagazin	Etikettenstapel	Etikettenstapel	Stapelschacht / Etikettenstapel

Tabelle 1, Fortsetzung 1: Elementeliste des innermaschinellen Verarbeitungsverfahrens

4	Leimbehälter	Leim; Überschüssiger Leim	Leim	Behälter / Leim
5	Fördereinrichtung	Leim	Leim	Pneumatische Pumpe / Leim
6	Schabeeinrichtung	Leim; Überschüssiger Leim- film auf Leimwalze	Leimfilm auf Leimwalze; Überschüssiger Leim	Leimschaber; Leimwalze / Leim
7	Leimauftragssystem	Leimfilm auf Leimwal- ze	Leimfilm auf Palette; Überschüssiger Leim- film auf Leimwalze	Leimwalze; Palette / Leim
8	Etikettenvereinzelung	Etikettenstapel; Leimfilm auf Palette	Beleimtes Etikett	Haltenasen; Palette / Leim; Etikett
9	Abziehvorrichtung	Beleimtes Etikett	Beleimtes Etikett	Palette; Greiferfingerstation / Beleimtes Etikett
10	Förderstation	Beleimtes Etikett	Beleimtes Etikett	Greiferfingerzylinder / Beleimtes Etikett
11	Etikettierstation	Beleimtes Etikett; Flasche	Flasche mit Etikett	Greiferfingerstation; Behälter- teller; Zentrierglocke / Beleimtes Etikett; Flasche
12	Anbürststation	Flasche mit Etikett	Etikettierte Flasche	Bürsten; Behälterteller; Zentrierglocke / Etikettierte Flasche
13	Drängelförderband	Etikettierte Flasche	Etikettierte Flasche	Förderband / Etikettierte Flasche

2.5 Alternativen zur Nassetikettierung

Bei der Ausstattung von Bierflaschen ist die Nassetikettierung nach wie vor die am weitesten verbreitete Etikettiermethode in Deutschland. Ursache hierfür sind die beschriebenen technischen Anforderungen bei der Etikettierung von kalten und nassen Glasflaschen. Nicht unerheblich ist auch, dass die Nassetikettierung, mit den verwendeten Materialien und der etablierten Maschinenteknik, deutlich kostengünstiger ist, als alternative Etikettierverfahren. Ein weiterer Grund ist die hohe Mehrwegrate in Deutschland. Für die Wiederverwendung der Gebinde müssen die Etiketten entfernt werden, was bei der Nassetikettierung mit Papieretiketten im selben Arbeitsschritt wie die Reinigung der Flaschen erfolgen kann.

Außerhalb Deutschlands ist die Mehrwegrate erheblich niedriger beziehungsweise, bei der ausschließlichen Verwendung von Einwegflaschen, gleich null. Vor diesem Hintergrund hat die Nassetikettierung in den letzten 10 Jahren weltweit an Bedeutung verloren und wurde durch neue Techniken substituiert. Abbildung 26 veranschaulicht, wie sich der Absatz der entsprechenden Etikettiermaschinen relativ zueinander entwickelt hat [35].

Als eine Alternative zur Nassetikettierung hat in den letzten 14 Jahren die Rundumetikettierung mit Kunststoffolie (5, Abbildung 26) kontinuierlich an Bedeutung gewonnen. Dies lässt sich zum großen Teil auf die immer weiter steigende Verbreitung von PET-Flasche zurückführen, die bei Verwendung eines Etiketts desselben Materials einfacher zu recyceln sind.

Im Zuge der zunehmenden Verbreitung von PET-Flaschen nahm auch die Etikettierung mit Folienschläuchen (6), so genannten Sleeves, zu. Sie bieten den Vorteil, dass sie den Behälter in voller Höhe umschließen können und so eine große Werbefläche zur Verfügung stellen. Bei der Verwendung von Folienschläuchen kommen zwei unterschiedliche Verfahren zum

Einsatz. Im Stretch-Sleeve-Verfahren werden die Etiketten aus dehnbarer Folie über den Behälter gezogen, wobei sich die Folie der Kontur anpasst. Im Schrumpf-Sleeve-Verfahren liegt die Folie zuerst lose über dem Behälter und wird anschließend durch Temperatureinwirkung, zum Beispiel in einem Dampftunnel, an die Behälterkontur angeschrumpft.

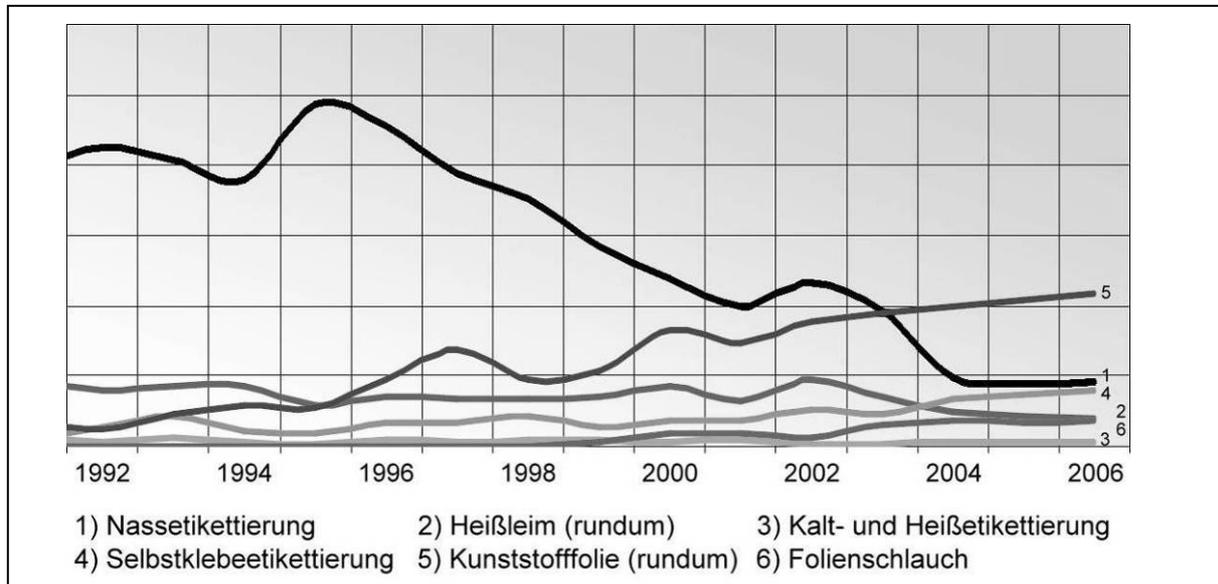


Abbildung 26: Vergleich der Etikettiertechniken (weltweit) [35]

Die Entwicklung dieser beiden Etikettierverfahren wird wohl auch in Zukunft positiv verlaufen, wenn die gegenüber dem Jahr 2007 prognostizierte Verdopplung der Anzahl an PET-Flaschen bis 2015 eintritt [50].

Die Etikettierung mit Selbstklebeetiketten (4) hat lange Jahre auf konstantem Niveau stagniert. Seit 2003 nimmt dieser Bereich jedoch ähnlich stark zu, wie die Rundumetikettierung mit Kunststoffolie. Das hängt mit den Möglichkeiten zusammen, die moderne Selbstklebeetiketten neben der qualitativ hochwertigen Optik bieten. Diese reichen vom „No-Label-Look“ bis zur Ablösbarkeit in Flaschenreinigungsmaschinen [65].

Die Heißleimetikettierung (2) wird überall dort eingesetzt, wo eine dauerhafte Etikettierung erforderlich ist. Anwendungsbeispiele sind die Rundumetikettierung von Konservendosen oder die Verschlussicherung. Eine kombinierte Heiß- und Kaltleimetikettierung (3) ist notwendig, wenn Plastik- oder Glasflaschen zusätzlich zum Rundumetikett mit Brustetiketten ausgestattet werden sollen [16].

3 Stand des Wissens zur Faltenbildung bei Papieretiketten

Im folgenden Kapitel wird ein Abriss der verfügbaren Literaturquellen, die sich direkt oder indirekt mit der Problematik der Faltenbildung bei Papieretiketten beschäftigen, wiedergegeben. Anschließend erfolgt eine Zusammenfassung und Bewertung der veröffentlichten Erkenntnisse zur Faltenbildung, woraus sich der weitere Forschungsbedarf und die damit verbundene Zielsetzung dieser Arbeit ableiten.

3.1 Quelle 1: „Wirkungszusammenhänge bei der Etikettierung mit Etiketten aus Papier“, Egon Schildmann [54, 55]

Die beiden Veröffentlichungen von Egon SCHILDMANN, zum Themenkomplex der Wirkungszusammenhänge bei der Etikettierung mit Papieretiketten, entstanden nach Diskussionen und Fachbeiträgen in Sitzungen des Biebelrieder Kreises. Der Biebelrieder Kreis wurde 1984, nach wiederholtem Auftreten von gravierenden Problemen bei der Etikettierung, unter Beteiligung der Getränkeindustrie ins Leben gerufen. Im Mai 2005 wurde der Namen in "Kompetenzforum Getränkebehälter" umgewandelt. Heute besteht dieses Kompetenzforum aus einer interdisziplinär arbeitenden Expertengruppe, mit etwa 16 Firmen aus dem Zulieferbereich sowie der Versuchs- und Lehranstalt für Brauerei in Berlin (VLB) e.V., die technische Problemstellungen im Bereich der Getränkeindustrie bearbeitet [30].

Als Auslöser vieler technischer Probleme im Bereich der Etikettierung werden die Auswirkungen von Sparmaßnahmen gesehen. Produktwechsel und Verfahrensänderungen werden als Beispiele aufgeführt, die Eingriffe in ein technisch komplexes Räderwerk darstellen, deren mögliche Folgen nicht immer berücksichtigt werden und deren Wirkungszusammenhänge nicht vollständig bekannt sind.

Die Praxiserfahrungen der am Etikettierprozess beteiligten Gruppen wurden vom Biebelrieder Kreis in Hinweisen und Erklärungen zu den funktionalen Beziehungen bei der Nassetikettierung verdichtet. Im folgenden Abschnitt werden die Einflussgrößen zusammengefasst, die nach Meinung des Autors einen Beitrag zur Faltenbildung an Papieretiketten leisten könnten.

Betriebsbedingungen

Die für das Etikettierergebnis relevanten Betriebsbedingungen sind der Standort der Etikettierung, in Verbindung mit dem Raumklima aus Temperatur und relativer Luftfeuchtigkeit. Hinzu kommen die Abfülltemperatur sowie der innerbetriebliche Transport und die Lagerung des Vollgutes, ebenso wie die Bauweise, der Typ und der Zustand der Etikettiermaschine.

Glasflaschen

In Deutschland werden bei der Abfüllung überwiegend Glas-Mehrwegflaschen eingesetzt. Eine Durchmischung neuer und bereits mehrfach umgelaufener Flaschen ist daher unvermeidbar. Um bei den inhomogenen Mehrwegflaschenpools den schmalen Grat einer sicheren Etikettierung nicht zu verlassen, sind überlappende Qualitätseigenschaften durch entsprechende Toleranzen bei allen Komponenten erforderlich. Wird bei einzelnen Komponenten aus

Rationalisierungsgründen auf diese Sicherheitstoleranzen verzichtet, so steigt die Gefahr sporadisch auftretender Störungen stark an.

Die Heiß- und Kaltendvergütung bei der Flaschenherstellung wird vom Biebelrieder Kreis als unumgänglich für die Qualität der Flaschen angesehen, wobei die Vergütungsmittel den jeweiligen Anforderungen der Etikettierung angepasst werden müssen.

Etikettierklebstoffe

Die Klebstoffsorte ist, wie auch die Etikettenpapieren, nach den jeweiligen Betriebsbedingungen im Einsatz auszuwählen. In der Regel werden Kaseinklebstoffe eingesetzt, wobei auch synthetische Klebstoffe aus neueren Entwicklungen, bis zu einer Leistung von 65.000 Flaschen pro Stunde, an einigen Stellen erfolgreich verwendet werden.

„Nach dem heutigen (2002) Stand der Etikettiertechnik kann die Klebstoffmenge gut dosiert werden.“ Die Entscheidung, welche Klebstoffmenge aufgetragen wird, sollte dabei direkt an der Etikettiermaschine entscheiden werden, da sie unmittelbar mit dem einwandfreien Sitz und der Verklebung der Etiketten zusammenhängt.

In der Praxis zeigt sich, dass die Leistungsabhängigkeit des Klebstoffes von den Faktoren Klebstofftemperatur, Etikettierleistung, Etikettenbeschaffenheit und Schwitzwasseraufkommen beeinflusst wird. Bei längeren Betriebsunterbrechungen wird zudem davon ausgegangen, dass sich Feuchtigkeitsverluste und Scherkräfte negativ auf den kontinuierlich durch die Leimpumpe umgewälzten Klebstoff auswirken.

Etiketten

„Von Etikettenpapieren wird, außer einer guten Bedruckbarkeit, besonders die Eignung für bestimmte technische Funktionen gefordert.“ Für die Vereinzelnung aus der Etikettenzuführung, die Etikettenübertragung, die Klebstoffannahme und das glatte Anliegen des Etiketts auf der nassen Flasche, sind der Cobb-Wert, die Glätte beziehungsweise Rauigkeit der Rückseite und die Planlage in der Etikettenzuführung von Bedeutung. Eine horizontale und vertikale Asymmetrie des Etiketts entsteht durch den Papieraufbau, die Glättung in der Papiermaschine, die Veredelung des Etiketts (Lackierung, Metallisierung und Prägung) sowie den Druck und die Druckfarben. „Trotz vergleichbarer technischer Werte verhalten sich auf verschiedenen Papiermaschinen hergestellte Etikettenpapiere unterschiedlich.“

Wie bei den Glasflaschen, wird auch hier auf die Tatsache aufmerksam gemacht, dass alle Faktoren die in den Etikettierprozess einfließen gewissen Toleranzen unterliegen. Je geringer diese Sicherheitstoleranzen sind, desto größer wird die Gefahr von Störungen im Etikettierergebnis. Dies wurde in der Praxis, bei der Verwendung von „abgemagerten“ Papiersorten mit geringem Flächengewicht, häufiger beobachtet.

Direkt für Faltenbildung verantwortlich sind laut Autor eine nicht ausreichende Rohpapierleimung und ein zu hoher Cobb-Wert der Etikettenrückseite, die zu einer hohen Aufnahme von Schwitzwasser und Feuchtigkeit aus dem Etikettierklebstoff führen. Etikettenrückseiten, deren Cobb-Wert durch eine stark verdichtende Beschichtung gegen null tendiert, neigen indes dazu, dass der Klebstoff abgestoßen wird und die Etiketten verrutschen, abstehende Ecken zeigen oder im schlimmsten Fall beim Transport beziehungsweise im Regal abfallen.

Etikettendruck und Lackierung

Die Diffusion des Wassers aus dem Klebstoff und von der Flaschenoberfläche beeinflussen das Etikett je nach Druckmotiv und Druckfarbe flächig oder partiell unterschiedlich. Bei einer extremen Asymmetrie der Etiketten durch die Druckfarben und die Grafik können die Flächenmasse, die Leimung der Rohpapierfasern und der Cobb-Wert nur in begrenztem Maße gegen die Verwerfungen in Form von Falten und Beulen wirken. Druckfarben und Lacke verdichten das Papier an den aufgetragenen Stellen und ändern somit die Dichte des Papiers. Lacke dienen als Schutzschicht und versiegeln die Oberfläche der Etiketten. Dabei muss die Durchlässigkeit des Etiketts für die Feuchtigkeit auf der Flaschenoberfläche aufrecht erhalten werden. Eine zu dichte Oberfläche führt durch aufstauen der Flüssigkeit zur Falten- und Beulenbildung, wie in Abbildung 27 dargestellt wird.

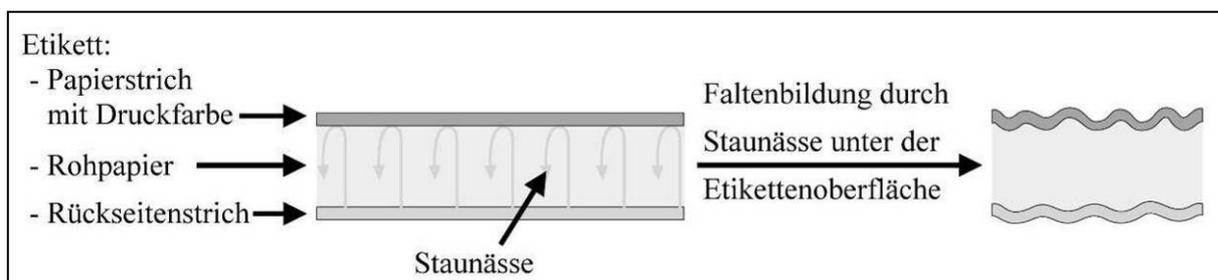


Abbildung 27: Faltenbildung durch Staunässe unter der Etikettenoberfläche

Prägung

Bei der Etikettenherstellung erfolgt die Prägung der Papierbögen für das Offsetdruckverfahren vor dem Druck, während beim Tiefdruck die Papierbahnen unmittelbar nach der Bedruckung, in der Druckmaschine geprägt werden. Die Prägung hat großen Einfluss auf die Funktion der Etikettierung. Prägeart und -tiefe machen die Papiermasse und insbesondere die Beschichtung (Vorlack, Metallisierung und Druckprimer) durchlässig für die Trocknung des Nassklebers und die Reinigungslauge zur Etikettenablösung bei Mehrwegflaschen.

Metallisierung

Die Metallisierung auf dem Vorlack und der Druckprimer mit Druckfarben beeinflussen die Etikettierung. Die Prägung der aus metallisierten Papieren hergestellten Etiketten ist deshalb eine Notwendigkeit für die Funktion der Etiketten in der Etikettiermaschine. In diesem Zusammenhang hat die optische Wirkung nur eine sekundäre Bedeutung. Bei metallisierten Papieren wird durch die Prägung die Asymmetrie teilweise überbrückt, so dass sich das Etikett der Form der Flasche anpassen kann. Die natürlichen Rückstellkräfte des Etikettenpapiers stehen dem entgegen, wodurch die Auswahl des Flächengewichtes sowohl nach unten als auch nach oben begrenzt wird.

Verpackung und Lagerung von Etiketten

„Etiketten reagieren auf ein abweichendes Raumklima. Dies ist für die Art der Verpackung als Transportschutz und für die Lagerung zu beachten.“ Die Lagerung der Etiketten sollte bei einem Raumklima von etwa 65 % relativer Luftfeuchtigkeit und einer Temperatur von 18 °C bis 23 °C durchgeführt werden. Sehr trockene Lagerräume und Temperaturen unter 16 °C

oder über 23 °C bewirken ein Austrocknen der Etiketten, insbesondere der Ränder, und können die Ursache für erhebliche Störungen bei der Etikettierung sein, da sich ausgetrocknete Etiketten bei der Wiederbefeuchtung stärker ausdehnen als optimal gelagerte Etiketten.

Etikettiermaschine

Über den Rakelspalt an der Beleimungswalze wird, in Abhängigkeit von der Klebstofftemperatur, die Auftragsmenge an Etikettierklebstoff festgelegt. Diese Einstellung ist jedoch auch von der Maschinenausbringung abhängig. Bei einer Änderung der Ausbringung verändern sich demnach auch die Betriebsbedingungen und das Etikettierergebnis.

Die Beleimungspaletten übertragen die vorgegebene Klebstoffmenge auf die Rückseite der Etiketten. Das Profil dieses Werkzeuges hat den Klebstoff, zum Beispiel in Form einer Streifenbeleimung, zu verteilen. Durch den Verschleiß der gummierten Oberfläche verändert sich der Klebstoffauftrag und kann zu einem unerwünschten Etikettierergebnis beitragen.

3.2 Quelle 2: „Praktiker Handbuch für die Etikettierung und Ausstattung von Gebinden für Getränke“, Biebelrieder Kreis [9]

Das Praktiker Handbuch des BIEBELRIEDER KREISES enthält Checklisten, die als Hilfsmittel für das systematische Vorgehen bei der Vorbeugung, Erkennung und Beseitigung von Fehlern und Störungen des Etikettierprozesses dienen sollen. Es entstand nach der Devise „Aus der Praxis für die Praxis“, aus einer Auflistung von Erfahrungen und Basiswissen über die Beherrschbarkeit der komplexen Zusammenhänge der Etikettierung.

Die Bedienung der Anlagen, ihre technische Ausstattung, der Verschleißzustand der Etikettiermaschine, die Materialeigenschaften von Etiketten (Papier und Druckfarben), Behälter und Oberflächenvergütung, Reinigungsmittel, Raumklima, Transportbänder und auch die Form und Gestaltung sowie der Verschleiß bei Mehrweggebinden beeinflussen die Funktion des Etikettiervorgangs. Die für die Faltenbildung bei der Nassetikettierung relevanten Punkte der Checklisten, mit Beschreibung der Störquelle, der möglichen Ursachen und Vorschlägen für Abhilfemaßnahmen, sind in Tabelle 2 aufgelistet.

Tabelle 2: Checkliste zur Vorbeugung und Beseitigung von Etikettierstörungen
(mit einer Fortsetzung)

Störquelle / Störung	Mögliche Ursachen	Abhilfeschlag
Etikettierklebstoff mit mangelnder Klebkraft	Frostschaden bei der Lagerung	Lagerung bei 18 °C bis 22 °C
	Ungünstige Verarbeitungstemperatur	Herstellerangaben beachten
	Leim ist „totgelaufen“	Leimpumpe abschalten; Pumpfrequenz reduzieren; Frischen Klebstoff einsetzen
	Klebstoffauftrag ist zu hoch oder zu niedrig	Klebstoffmenge optimieren
	Abbindegeschwindigkeit oder Anfangshaf- tung ist nicht ausreichend	Klebstoffsorte prüfen; Datenblatt prüfen; Lieferanten kontaktieren

Tabelle 1, Fortsetzung 1: Checkliste zur Vorbeugung und Beseitigung von Etikettierstörungen

Faltenbildung am Papieretikett	Fehlende Abstimmung zwischen Etiketten und Klebstoff	Luftzirkulation verbessern; Viskosität des Klebstoffs auf die Benetzbarkeit der Etikettenrückseite einstellen; Klebstoffmenge optimieren; Klebstoffsorte prüfen; Datenblatt prüfen; Lieferanten kontaktieren
	Ungeeignete Papiersorte; Mangelnde Nassfestigkeit; Zu hohe Wasseraufnahme der Rückseite	Bestellung prüfen; Lieferanten kontaktieren; Produktbeschreibung des Papierherstellers prüfen
	Etiketten zu trocken	Lagerbedingungen von 18 °C bis 22 °C und relativer Luftfeuchtigkeit von > 55 % einhalten
	Übergroßes Etikettenformat	Hochnassfestes Etikettenpapier; Cobb-Werte der Vorder- und Rückseite angleichen; Flächengewicht erhöhen; Format reduzieren
	Klebstofffreie Fläche ist zu groß	Aussparungen verkleinern
	Ungleichmäßiges Leimbild	Beleimungspaletten erneuern; Leimwalze erneuern; Schaberleiste erneuern; Klebstoffdosierung einstellen; Anbürststation einstellen
	Ungünstiges Verhältnis zwischen bedruckten und unbedruckten Flächen	Lackieren der unbedruckten Flächen; Lieferanten kontaktieren
Papieretiketten zeigen Greiferbeulen	Technisch bedingte Ursache	Greiferfinger verkleinern
	Klebstoff bedingte Ursache	Viskosität des Klebstoffs auf die Benetzbarkeit der Etikettenrückseite einstellen; Lagerung bei 18 °C bis 22 °C; Herstellerangaben beachten; Leimpumpe abschalten; Pumpfrequenz reduzieren; Frischen Klebstoff einsetzen; Klebstoffmenge optimieren; Klebstoffsorte prüfen; Datenblatt prüfen; Lieferanten kontaktieren
	Zu hohe Schwitzwasserbildung	Luftzirkulation verbessern

3.3 Quelle 3: „Was Etikettenpapiere leisten müssen“, Egon Daub [17]

In seinem Vortrag „Was Etikettenpapiere leisten müssen“ stellte Egon DAUB auf dem Internationalen Papiermacher Symposium München unter anderem eine Übersicht über die Einflussfaktoren auf die Etikettierung vor. Für die Faltenbildung bei der Nassetikettierung bedeutsame Faktoren sind:

- Etikettiermaschine:
 - ◆ Leimwalze
 - ◆ Beleimungspalette
 - ◆ Schwämme
 - ◆ Zustand der Anlage

- Rahmenbedingungen:
 - ◆ Maschinenausbringung
 - ◆ Abfülltemperatur
 - ◆ Schwitzwasserbelastung
 - ◆ Raumklima
- Etikettierklebstoff:
 - ◆ Klebstoffmenge
 - ◆ Klebstoffsorte
 - ◆ Viskosität
 - ◆ Klebstofftemperatur
- Etikett:
 - ◆ Etikettenpapier
 - ◆ Druckverfahren
 - ◆ Metallisierung und Veredelung
 - ◆ Druckmotiv
 - ◆ Prägung
- Flasche:
 - ◆ Oberflächenvergütung

Darüber hinaus erläuterte DAUB den Mechanismus der Faltenbildung aus Sicht der Papierhersteller. Demnach ist die Faltenbildung in den meisten Fällen auf eine ungleichmäßige Durchfeuchtung der Etikettenfläche, in Kombination mit einem zu schnellen Abbinden des Klebstoffs zurückzuführen (siehe Abbildung 28). Eine ungleichmäßige Durchfeuchtung entsteht unter anderem, wenn der Klebstoff auf die Etikettenrückseite mit zu großen und unregelmäßigen Leerflächen aufgetragen wird, was entweder durch eine beschädigte Beleimungspalette oder durch ein ungünstiges Auftragsmuster des Etikettierklebstoffs verursacht werden kann. Dies führt zu unterschiedlichen Dehnungen des Etikettenpapiers in der Fläche, wodurch Falten entstehen.

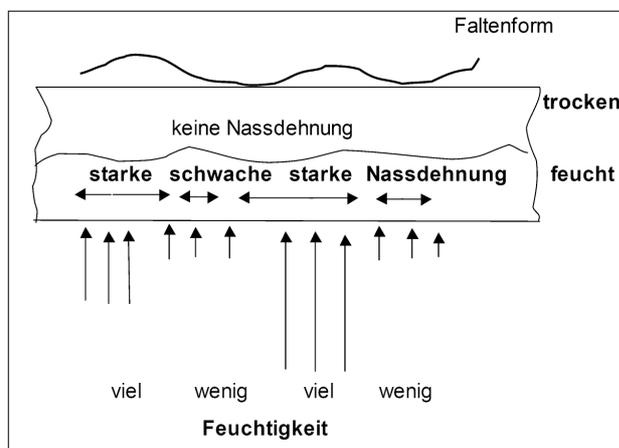


Abbildung 28: Mechanismus der Faltenbildung aus Sicht der Papierhersteller

Solange der Klebstoff noch feucht ist und ein Verschieben des Etiketts auf der Flaschenoberfläche erlaubt, kann sich die Dehnungen mit zunehmender Durchfeuchtung aller Stellen und Schichten des Etiketts wieder ausgleichen, was die Rückbildung der Falten auslöst. Härtet der Klebstoff aus bevor sich die Dehnungen ausgeglichen haben, werden die Falten auf Dauer fixiert.

Die Gleichmäßigkeit des Klebstoffauftrages kann anhand des Leimbildes auf der Rückseite des Etiketts beurteilt werden. Wenn der Klebstoff zu schnell abbindet kann das Aushärten

durch Erhöhen der Auftragsmenge verzögert werden oder der Klebstoff gegen eine langsamer abbindende Sorte ausgetauscht werden.

Die Dynamik der Nassdehnung ist ein weiterer Faktor für die Entstehung der Faltenbildung. Papiere die sich bei Befeuchtung nur sehr wenig ausdehnen oder aber sehr schnell ihre maximale Dehnung erreichen sind demnach für die Etikettierung besser geeignet als Papiere die sich stark dehnen oder sehr langsam ihren Endzustand erreichen.

3.4 Quelle 4: „Klebstoffe für die Flaschenetikettierung – Wichtige Zusammenhänge aus anwendungstechnischer Sicht“, Andreas Bolte [13]

Andreas BOLTE schreibt in seinem Artikel „Klebstoffe für die Flaschenausstattung“, erschienen in der Brauindustrie, über den Einfluss der Etiketten auf den Klebevorgang.

Eine wichtige Voraussetzung bei der Verarbeitung von Etikettierklebstoffen ist, dass nach dem Aufbringen des beleimten Etiketts auf der Flasche, das Wasser als Lösemittel des Etikettierklebstoffs verdunsten kann. „Bei der Verdunstung muss das Wasser durch das Etikettenmaterial diffundieren. Dies bedeutet, dass neben den verwendeten Klebstoffsorten die Eigenschaften des Etikettes einen dominanten Einfluss auf die Abbindegeschwindigkeit des Klebstoffes haben.“ Was wiederum die Fälle erklärt, bei denen in der Praxis eine unterschiedliche Trocknungsgeschwindigkeit von ein und demselben Klebstoff beobachtet wurde.

„In extremen Fällen kommt es auf Grund einer mangelnden Wasserdurchlässigkeit des Etikettes oder durch sehr unterschiedliches Verhalten der Etiketten gegenüber Wasser zu inakzeptablen Klebeergebnissen und Problemen. Besonders kritisch sind Fälle, bei denen entweder ungeeignetes Etikettenpapier eingesetzt wird oder aber das Etikettenpapier durch ungeeignete Verarbeitung, zum Beispiel bei der Bedruckung, Lackierung oder Metallisierung, in einigen Bereichen nachteilig verändert wurde.“ Es kann dadurch zu einer Beeinträchtigung des Etikettierergebnisses kommen, wenn zum Zeitpunkt des Abbindens des Klebstoffs einige Etikettenbereiche mehr oder weniger stark durchweicht wurden. „Die Folge können Spannungen im Papier sein, wodurch entweder Faltenbildung beim verklebten Etikett auftreten kann oder die Etiketten teilweise einreißen.“ Solchen Phänomenen kann alleine durch eine andere Klebstoffwahl nicht effektiv begegnet werden, da das Funktionieren eines Klebstoffes unter solchen Bedingungen immer ein Grenzfall bleibt.

3.5 Zusammenfassung und Bewertung der Erklärungsmodelle

Die beiden erstgenannten Quellen, die unter der Regie des Biebelrieder Kreises entstanden sind, liefern eine umfangreiche Aufstellung zahlreicher Faktoren, die an der Faltenbildung für die Nassetikettierung beteiligt sein könnten. Die Zusammenstellung dieser Faktoren beruht auf Praxiserfahrungen aller am Etikettierprozess beteiligter Gruppen. Von der Papiererzeugenden Industrie und den Etikettenherstellern, den Klebstofflieferanten über die Glashütten und Maschinenhersteller bis hin zu den Abfüllbetrieben. Trotz der umfassenden Auflistung

wird von der Expertengruppe festgestellt, dass die Wirkungszusammenhänge bei der Nassetikettierung noch nicht vollständig bekannt sind.

Die dritte Quelle bestätigt und ergänzt die möglichen Einflussfaktoren der ersten beiden Quellen aus der Sicht der Papierindustrie. Darüber hinaus wird ein einfaches Modell zur Entstehung der Faltenbildung vorgestellt, das im Wesentlichen von den Faktoren Gleichmäßigkeit der Etikettendurchfeuchtung und Abbindegeschwindigkeit des Klebstoffs abhängt.

Quelle vier, diesmal vom Standpunkt der Klebstofflieferanten aus gesehen, sieht ebenfalls eine ungleichmäßige Etikettendurchfeuchtung und zu schnell abbindende Etikettierklebstoffe als mögliche Ursache für Faltenbildung bei Papieretiketten an.

Auflistung der in der Literatur genannten Einflussfaktoren

Die in den vier Quellen genannten Faktoren, deren Einfluss bekannt beziehungsweise von denen vermutet wird, dass sie einen Einfluss auf die Faltenbildung ausüben können, sind in Tabelle 3 als Übersicht aufgelistet. Unter der Rubrik Anmerkung wird aufgeführt, wie sich der Einflussfaktor auf die Faltenbildung auswirken soll, sofern dies in den Literaturquellen genannt wurde.

Tabelle 3: Bekannte Einflussfaktoren auf die Faltenbildung (mit zwei Fortsetzungen)

Getränkeflaschen aus Glas	Anmerkung	Quelle
Heiß- und Kaltendvergütung der Flaschen		[9, 54, 55]
Inhomogener Mehrwegflaschenpool		[54, 55]
Form der Gebinde		[9, 54, 55]
Verschleiß der Gebinde		[9]
Herstellung und Aufbau des Etiketts	Anmerkung	Quelle
Papiermaschine		[54, 55]
Glättung in der Papiermaschine		[54, 55]
Papieraufbau		[54, 55]
Papiersorte	Es wird von „ungeeigneten“ Papiersorten gesprochen, die sich negativ auf die Faltenbildung auswirken können	[9]
Flächenbezogene Masse der Etiketten	Papiere mit geringer flächenbezogener Masse können sich negativ auf die Faltenbildung auswirken	[54, 55]
Rohpapierleimung	Eine nicht ausreichende Rohpapierleimung wirkt sich negativ auf die Faltenbildung aus	[54, 55]
Mangelnde Nassfestigkeit		[9]
Zu hohe Wasseraufnahme der Rückseite		[9]
Cobb-Wert	Ein zu hoher Cobb-Wert wirkt sich negativ auf die Faltenbildung aus	[54, 55]
Glätte		[54, 55]
Dynamik der Nassdehnung		[9]
Vorlack, Metallisierung und Druckprimer		[17, 54, 55]
Veredelung des Etiketts		[17, 54, 55]
Druckverfahren, Druckfarben, Lacke und Druckmotiv		[17, 54, 55]
Asymmetrie durch die Druckfarben	Eine Asymmetrie wirkt sich negativ auf die Faltenbildung aus	[54, 55]
Prägung		[9, 17, 54, 55]
Übergroßes Etikettenformat	Je größer das Etikett, desto eher tritt Faltenbildung auf	[9]

Tabelle 2, Fortsetzung 1: Bekannte Einflussfaktoren auf die Faltenbildung

Etiketten während dem Etikettiervorgang	Anmerkung	Quelle
Zu trockene Lagerung der Etiketten		[54, 55]
Planlage in der Etikettenzuführung		[54, 55]
Wasser auf der Flaschenoberfläche		[9]
Schwitzwasser		[9, 17, 54, 55]
Feuchtigkeit aus dem Etikettierklebstoff		[54, 55]
Abstimmung zwischen Etiketten und Klebstoff	Eine fehlende Abstimmung wirkt sich negativ auf die Faltenbildung aus	[9]
Ungleichmäßige Durchfeuchtung		[17]
Durchfeuchtung aller Stellen und Schichten des Etiketts	Die vollständige Durchfeuchtung soll Spannungen im Etikett wieder ausgleichen und die Rückbildung der Falten begünstigen	[17]
Durchlässigkeit des Etikettenpapiers für Feuchtigkeit	Eine mangelnde Durchlässigkeit des Etiketts wirkt sich negativ auf die Faltenbildung aus	[17, 54, 55]
Eigenschaften der Etikettierklebstoffe	Anmerkung	Quelle
Klebstoffsorte (Kasein-, Misch- und synthetische Klebstoffe)		[9, 13, 17, 54, 55]
Anfangshaftung	Eine nicht ausreichende Anfangshaftung wirkt sich negativ auf die Faltenbildung aus	[9]
Abbindegeschwindigkeit	Eine nicht ausreichende Abbindegeschwindigkeit wirkt sich negativ auf die Faltenbildung aus	[9]
Abbindegeschwindigkeit	Eine zu schnelle Abbindegeschwindigkeit wirkt sich negativ auf die Faltenbildung aus	[17]
Etikettierklebstoffe während der Etikettierung	Anmerkung	Quelle
Frostschaden bei der Lagerung	Frostgeschädigte Etikettierklebstoffe führen zu negativen Auswirkungen auf die Faltenbildung	[9]
Klebstofftemperatur, Etikettierleistung, Etikettenbeschaffenheit und Schwitzwasseraufkommen	Eine fehlende Abstimmung wirkt sich negativ auf die Faltenbildung aus	[9, 54, 55]
Feuchtigkeitsverluste und Scherkräfte	Eine zu hohe Belastung wirkt sich negativ auf die Faltenbildung aus	[54, 55]
Klebstoffmenge		[9, 17, 54, 55]
Viskosität und Verarbeitungstemperatur	Verarbeitungstemperaturen außerhalb des empfohlenen Temperaturbereichs wirken sich negativ auf die Faltenbildung aus	[9, 17]
Rahmenbedingungen an der Abfüllanlage	Anmerkung	Quelle
Abfülltemperatur		[17, 54, 55]
Raumklima (Temperatur und relative Luftfeuchtigkeit)		[54, 55]
Schwitzwasserbildung		[9, 17, 54, 55]
Innerbetrieblicher Transport und Lagerung der etikettierten Flaschen	Eine hohe Schwitzwasserbildung wirkt sich negativ auf die Faltenbildung aus	[54, 55]
Reinigungsmittel		[9]
Transportbänder		[9]
Rahmenbedingungen der Etikettiermaschine	Anmerkung	Quelle
Standort der Etikettiermaschine		[54, 55]
Bauweise und Typ der Etikettiermaschine		[54, 55]
Ausbringung der Etikettiermaschine		[17, 54, 55]
Bedienung der Anlagen		[9]
Zustand der Etikettiermaschine		[9, 54, 55]
Leimwalze		[9, 17]
Schwämme		[17]

Tabelle 2, Fortsetzung 2: Bekannte Einflussfaktoren auf die Faltenbildung

Rahmenbedingungen der Etikettiermaschine	Anmerkung	Quelle
Beleimungspalette		[9, 17, 54, 55]
Klebstofffreie Fläche ist zu groß	Große klebstofffreie Flächen wirken sich negativ auf das Etikettierergebnis aus	[9]
Ungleichmäßiges Leimbild		[9]

Bewertung

Allen vier Quellen gemein ist, dass es sich bei den genannten Erkenntnissen um Erfahrungen und Beobachtungen aus der Praxis handelt, denen keine wissenschaftliche Arbeitsweise zugrunde liegt. Es wird zwar eine Vielzahl möglicher Einflussgrößen genannt (siehe Tabelle 3), wie diese Einflussgrößen auf die Faltenbildung einwirken, eine Quantifizierung der Effekte und wie sie miteinander in Wechselwirkung stehen, wird in den genannten Veröffentlichungen jedoch nicht weiter erläutern oder bleibt, wie in dem Artikel von BOLTE, mit Formulierungen, wie zum Beispiel „ungeeignetes Etikettenpapier“ oder „nachteilig verändert“, wenig konkret.

Das von DAUB beschriebene Modell zur Faltenbildung hängt im Wesentlichen von zwei Faktoren ab. In Anbetracht der genannten, zahlreichen Einflussgrößen stellt dieses Modell nur eine sehr eingeschränkte Sicht auf die Vorgänge bei der Faltenbildung dar. Ein detaillierter Mechanismus, wie es bei der Nassetikettierung mit Getränkeflaschenetiketten aus Papier zur Faltenbildung kommt und welche Einflussgrößen darauf wirken, ist nicht veröffentlicht.

Zudem wurde die Problematik der Faltenbildung in den vier Publikationen jeweils nur als Teilaspekt der gesamten Etikettierung betrachtet. Eine Veröffentlichung, die sich ausschließlich oder überwiegend mit dem Phänomen der Faltenbildung bei der Nassetikettierung von Papieretiketten beschäftigt und deren Erkenntnisse durch die Anwendung einer wissenschaftlichen Vorgehensweise [4] gewonnen wurden, ist nicht verfügbar.

3.6 Zielsetzung dieser Arbeit

Ausgangspunkt dieser Dissertation ist es, die oben genannten Praxiserfahrungen zur Problematik der Faltenbildung bei der Nassetikettierung von Getränkeflaschen aus Glas anhand wissenschaftlicher Methoden zu überprüfen und auf diese Weise zu verifizieren. Darüber hinaus sollen weitere, bisher unbekannte Einflüsse und Wechselwirkungen auf die Faltenbildung aufgedeckt und zusammen mit den bekannten Faktoren gewichtet werden. Aus den gewonnenen Erkenntnissen über die Faltenbildung und über die Art und Weise, in der einzelne Faktoren darauf einwirken, wird schließlich ein Modell zum Mechanismus der Faltenbildung entwickelt.

Das Ziel dieser Arbeit ist die Aufschlüsselung der Vorgänge bei der Faltenbildung und deren Einflussgrößen, um daraus Empfehlungen für die Praxis zur Vermeidung respektive Beseitigung von Faltenbildung bei der Nassetikettierung abzuleiten.

4 Material und Methoden

4.1 Konzeption dieser Arbeit

Die Generierung der erforderlichen Daten für die Entwicklung des in Abschnitt 3.6 genannten Modells zum Mechanismus der Faltenbildung erfolgt in zwei Stufen (siehe Abbildung 29). In der ersten Stufe finden die Untersuchungen in drei unabhängigen Teilbereichen statt. Der erste Teilbereich umfasst die passive Untersuchung des Etikettiervorgangs in drei Brauereien. Gleichzeitig werden die bei der Etikettierung herrschenden Rahmenparameter der Brauereien dokumentiert. Im zweiten Teil werden Etikettierversuche im industriellen Maßstab durchgeführt. Für die Realisierung der aktiven Versuche wird eine Modul-Etikettiermaschine in einem Etikettiertechnikum eingesetzt. Dies ermöglicht die gezielte Variation einzelner Einflussgrößen unter reproduzierbaren Bedingungen, wie sie im täglichen Abfüllbetrieb einer Brauerei nicht möglich wäre. Der letzte Teilbereich sieht Versuche im Labormaßstab vor, bei denen die Rahmenbedingungen gezielt verändert werden können, ohne dass sich der mechanische Einfluss einer Etikettiermaschine auf die Ergebnisse auswirken kann.

Die Erkenntnisse der einzelnen Teilbereiche werden in Stufe zwei gemeinsam ausgewertet, diskutiert und anschließend eine Übersicht der gewichteten Einflussgrößen auf die Faltenbildung bei der Nassetikettierung erstellt.

Diese dient in Stufe drei als Basis für die Entwicklung eines Modells zur Bildung und Rückbildung der Falten. Anhand dieses Modells lässt sich in Stufe vier eine Hypothese aufstellen, wie die Faltenbildung bei der Nassetikettierung entsteht. Daraus wiederum werden Empfehlungen abgeleitet, wie die Faltenbildung bei Papieretiketten in der Praxis vermieden oder zumindest reduziert werden kann.

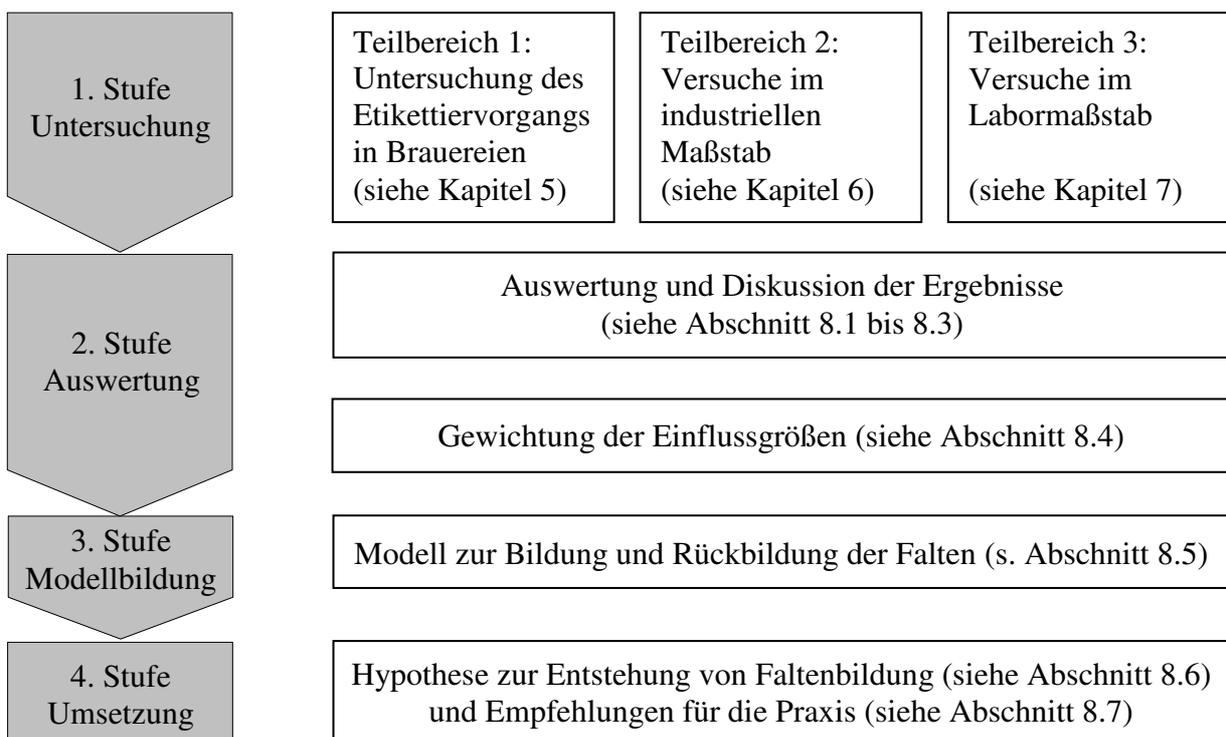


Abbildung 29: Konzeption dieser Arbeit

4.2 Untersuchung des Etikettiervorgangs in Brauereien

In diesem Abschnitt werden die Untersuchungsmethoden und die bei der Untersuchung des Etikettiervorgangs in den Brauereien eingesetzten Materialien aufgeführt und beschrieben. Sämtliche Prüfungen an Etiketten wurden in dem durch die STLB vorgeschriebenen Normalklima von 23 ± 1 °C und 50 ± 2 % rF (relative Luftfeuchtigkeit) nach DIN EN 20187 durchgeführt und die Etiketten mindestens 24 Stunden vor der Messung diesem Normalklima ausgesetzt [21, 22, 42].

4.2.1 Rahmenbedingungen der Etikettierung

Für die Untersuchung der Rahmenbedingungen bei der Etikettierung wurde von allen sieben untersuchten Biermarken jeweils ein Stapel Bauchetiketten zur Prüfung in die Verpackungsprüfstelle der Versuchs- und Lehranstalt für Brauerei in Berlin (VLB) e. V. gebracht. Um deren Unversehrtheit zu gewährleisten, wurden die Etiketten für den Transport in Polyethylen-Tüten (PE-Tüten) mit Druckverschluss oder Einmachgläsern luftdicht verschlossen und bis zur Untersuchung im klimatisierten Etikettenprüfraum der Verpackungsprüfstelle bei Normalklima aufbewahrt.

Die bei den untersuchten Biermarken verwendeten Etikettierklebstoffe wurden für die Charakterisierung der Klebstoffeigenschaften ebenfalls beprobt. Die Probenahme der Etikettierklebstoffe erfolgte während dem Betrieb der Etikettiermaschinen, indem der Rücklauf des Etikettierklebstoffs von der Leimwalze in den Vorratsbehälter unterbrochen und der Klebstoffstrom in luftdicht verschließbare Glasbehälter umgeleitet wurde. Die Lagerung der Klebstoffproben erfolgte wie bei den Etiketten im klimatisierten Etikettenprüfraum.

Für die Untersuchung der Flascheneigenschaften wurden von jeder Biermarke je zwölf Flaschen aus dem Vollgut-Lager der Brauerei entnommen. Jeweils zur Hälfte wurden Flaschen ausgewählt deren Etiketten entweder keine oder aber eine sehr ausgeprägte Faltenbildung aufwiesen.

4.2.1.1 Lagerung der Etiketten

Zur Beurteilung der Lagerbedingungen der Etiketten wurden die Temperatur und die relative Luftfeuchtigkeit mit einem Datenlogger der Dostmann GmbH, Katalognummer 30.3015 aufgezeichnet. Die technischen Daten des Datenloggers sind in Abschnitt 11.4, Tabelle 50 aufgelistet.

Der Zustand der Etiketten im Etiketten-Lager wurde mit einem Stechhygrometer S1 der Rotronic AG, zur Messung der Gleichgewichtsfeuchte und Temperatur, bestimmt. Die technischen Daten des Stechhygrometers sind in Abschnitt 11.4, Tabelle 51 aufgeführt.

4.2.1.2 Rahmenbedingungen während der Etikettierung

Für die Dokumentation der Rahmenbedingungen während der Etikettierung wurden verschiedene Verfahren und Messgeräte eingesetzt.

Temperatur und relative Luftfeuchtigkeit

Die Aufzeichnung der Temperatur und der relativen Luftfeuchtigkeit erfolgte mit einem Datenlogger der Dostmann GmbH (siehe Abschnitt 11.4, Tabelle 50), der während der Dauer der Etikettierung an der Etikettiermaschine angebracht beziehungsweise aufgestellt wurde.

Temperatur und relative Luftfeuchtigkeit im Etikettenstapel

Die Temperatur und relative Luftfeuchtigkeit im Etikettenstapel wurde mittels Stechhygrometer S1 der Rotronic AG bestimmt (siehe Abschnitt 11.4, Tabelle 51). Die Etikettenstapel wurden während der laufenden Produktion in unmittelbarer Nähe zur Etikettiermaschine gelagert. Die Messung erfolgte im Etikettenstapel auf der Etikettenzuführung der Etikettiermaschine, unmittelbar vor der Etikettierung.

Abfülltemperatur

Die Produkttemperatur des Bieres wurde mit einem Thermometer vom Typ TFN 1093-SMP und dem dazugehörigen Messfühler EB 120-LC-SMP der ebro Electronic GmbH & Co. KG bestimmt. Hierfür wurden die untersuchten Flaschen direkt nach dem Auslauf der Etikettiermaschine von dem Transportband genommen, geöffnet und anschließend gemessen. Die technischen Daten des Thermometers sind in Abschnitt 11.4, Tabelle 52 zusammengestellt.

Temperatur des Etikettierklebstoffes

Die Temperatur des Etikettierklebstoffes wurde mit einem Thermometer vom Typ TFN 1093-SMP der ebro Electronic GmbH & Co. KG bestimmt (siehe Abschnitt 11.4, Tabelle 52). Hierfür wurde die Spitze des Messfühlers EB 120-LC-SMP während dem Betrieb der Etikettiermaschine in den Klebstoffstrom am Leimschaber der Leimwalze gehalten.

Feuchtigkeit auf der Flaschenoberfläche

Für die Bestimmung der Feuchtigkeit auf der Flaschenoberfläche wurden in jeder der drei Brauereien zehn abgefüllte und verschlossene Flaschen in PE-Tüten mit Druckverschluss eingepackt und luftdicht verschlossen. Das Gewicht der PE-Tüten wurde zuvor auf einer Analysenwaage vom Typ AC 211 S der Sartorius AG (siehe Abschnitt 11.4, Tabelle 53) bestimmt und jeweils auf den PE-Tüten vermerkt. Die Entnahme der Flaschen erfolgte während einer unterbrechungsfreien Produktionsphase, um Schwankungen der Feuchtigkeitsmenge durch unterschiedlich lange Transportzeiten zwischen den Einzelaggregaten auszuschließen. Die Entnahmestellen befanden sich nach den Luftmessern zum Abblasen der Feuchtigkeit von der Flaschenoberfläche, etwa drei bis zehn Meter vor dem Einlauf der Flaschen in die Etikettiermaschine. Die PE-Tüten mit den feuchten Flaschen wurden einzeln auf einer Laborwaage vom Typ U 4600 P der Sartorius AG (siehe Abschnitt 11.4, Tabelle 54) gewogen und das jeweilige Gewicht der anschließend getrockneten Flasche, welches auf derselben Waage bestimmt wurde, sowie der entsprechenden PE-Tüte davon subtrahiert. Die Differenz

ergibt die Masse der über die gesamte Flaschenoberfläche verteilten Feuchtigkeit (siehe Formel 1).

Formel 1: $m_{\text{(Feuchtigkeit Flasche)}} = m_{\text{(PE-Tüte + feuchte Flasche)}} - m_{\text{(PE-Tüte)}} - m_{\text{(Trockene Flasche)}}$

4.2.1.3 Lagerung der etikettierten Flaschen

Die Temperatur und die relative Luftfeuchtigkeit im Vollgut-Lager der Brauereien wurde mit einem Datenlogger der Dostmann GmbH (siehe Tabelle 50 auf Seite 192) aufgezeichnet. Der Datenlogger wurde so aufgestellt, dass er sich etwa im Zentrum des Vollgut-Lagers befand und nicht durch direkte Sonneneinstrahlung oder Luftbewegung der Flurförderfahrzeuge beeinflusst wurde.

4.2.2 Abtrocknungsversuch

Beim Abtrocknungsversuch in Brauerei 1 wurden 100 Flaschen der Marke B1M1 direkt nach der Etikettierung aus zwei unmittelbar nacheinander produzierten Europoolpaletten ausgewählt und auf deren Faltenbildung hin untersucht (siehe Abtrocknungsbedingung A in Tabelle 4). Eine Europoolpalette besteht aus fünf Lagen zu je acht Getränkekästen. Anschließend wurden die Flaschen der beiden Europoolpaletten bei unterschiedlichen klimatischen Bedingungen über 24 Stunden getrocknet und erneut auf Faltenbildung untersucht. Abtrocknungsbedingung B entspricht der bei Brauerei 1 üblichen Abtrocknungsgeschwindigkeit einer freistehenden Europoolpalette im Vollgut-Lager. Für Abtrocknungsbedingung C wurde eine der beiden Europoolpaletten in Folie eingeschweißt, wodurch der Luftaustausch mit der Umgebung fast vollständig unterbunden wurde. Dadurch entwich die Feuchtigkeit auf den Flaschenoberflächen langsamer als bei den freistehenden Flaschen, womit die Abtrocknungsgeschwindigkeit gegenüber Abtrocknungsbedingung B reduziert wurde. Für Abtrocknungsbedingung D wurden zwei Getränkekästen mit jeweils 20 Flaschen auf dem Hof der Brauerei 1 platziert, wo sie tagsüber einer direkten Sonneneinstrahlung ausgesetzt waren und die Feuchtigkeit durch die Umgebungsluft schnell von der Flaschenoberfläche weg transportiert werden konnte. Auf diese Weise wurde sichergestellt, dass die Etiketten unter der Abtrocknungsbedingung D schneller trockneten als die Referenzetiketten unter der Bedingung B.

Tabelle 4: Abtrocknungsbedingungen des Abtrocknungsversuchs

Abtrocknungsbedingungen	Zustand der Flaschen bei Auswertung	Ort der Abtrocknung	Position der untersuchten Flaschen auf der Palette	Abtrocknungsgeschwindigkeit	n
A*	Feucht	---	5 übereinander stehende Kästen an einer Palettenecke	---	100
B*	Trocken	Vollgut-Lager Palette freistehend	5 übereinander stehende Kästen an einer Palettenecke	Vollgut-Lager als Referenz	100
C	Trocken	Vollgut-Lager Palette freistehend Mit Folie eingeschweißt	Oberster Kasten an einer Palettenecke	Langsamer als im Vollgut-Lager	20**
D	Trocken	Brauereihof Bierkisten freistehend Sonneneinstrahlung freier Luftkontakt	2 Kästen übereinander gestapelt	Schneller als im Vollgut-Lager	36

n = Anzahl der untersuchten Flaschen

* Bei Bedingung A und B wurden dieselben Flaschen untersucht

** Die unteren vier Kästen waren noch 24 Stunden nicht vollständig abgetrocknet und wurden nicht bewertet.

Aufzeichnen der klimatischen Bedingungen während des Abtrocknungsversuchs

Die Temperatur und die relative Luftfeuchtigkeit während der Abtrocknung unter Bedingungen D wurden mit einem Datenlogger der Dostmann GmbH (siehe Tabelle 50 auf Seite 192) aufgezeichnet. Die klimatischen Bedingungen bei den Abtrocknungsbedingungen A, B und C wurden mittels 433 MHz Outdoor Temperature Transmitter der der Firma Dostmann GmbH an den Datenlogger übermittelt. Die technischen Daten der Transmitter sind in Abschnitt 11.4, Tabelle 55 aufgetragen.

Bewertung der Faltenbildung

Entsprechend der Anzahl an Aussparung auf den Beileimungspaletten der Etikettiermaschinen wurde die Faltenbildung an der linken und rechten Seite der Etiketten, in jeweils drei Bereichen bestimmt. Die aufgetretene Faltenbildung wurde dabei in drei Klassen unterteilt (siehe Tabelle 5).

Tabelle 5: Klassen der Faltenbildung

Klasse:	Merkmal:
Große Falten	Erhebung in x- oder y-Richtung ≥ 1 cm; Siehe Abbildung 30
Mittlere Falten	Erhebung in x- oder y-Richtung < 1 cm, optisch deutlich erkennbar und ertastbar; Siehe Abbildung 31
Kleine Falten	Optisch kaum erkennbare und nicht ertastbare Erhebung oder leichte Wellenbildung am Rand

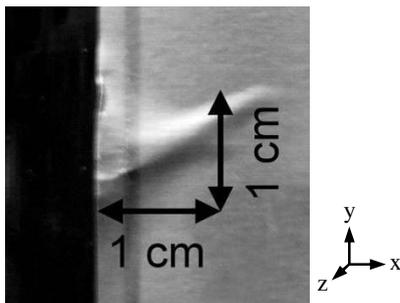


Abbildung 30: Große Falte

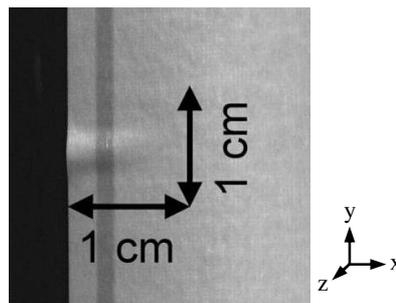


Abbildung 31: Mittlere Falte

4.2.3 Papieretiketten der Brauereien

Die charakterisierenden physikalischen Eigenschaften der in den untersuchten Brauereien eingesetzten Papieretiketten wurden nach Vorgabe der Speziellen Technischen Liefer- und Bezugsbedingungen (STLB) [22] sowie zusätzlicher Untersuchungen bestimmt. Die Untersuchungen wurden in der Verpackungsprüfstelle, am Forschungsinstitut für Maschinen- und Verpackungstechnik (FMV) der VLB Berlin durchgeführt.

4.2.3.1 Etikettenuntersuchungen nach den STLB

Tabelle 6 gibt Auskunft über die Methodenquellen, die Genauigkeit der Ergebnisse, die Wiederholbarkeit r und Vergleichbarkeit R der STLB-Analysen, soweit diese bekannt sind, sowie die wichtigsten Gerätschaften für die jeweilige Analyse.

Tabelle 6: Etikettenuntersuchung nach den STLB

Analyse (Methode)	Geräte	r / R	Einheit; Genauigkeit und Angabe der Ergebnisse	Quelle
Breitenbezogene Nassbruchkraft (Mechanisch)	Probenschneider: RP15 der Karl Schröder KG; Zugprüfgerät: FDP 125.10 Karl Schröder KG	- / -	kN/m; ± 1 % vom wahren Wert; Eine Dezimale	[48]
Breitenbezogene Trockenbruchkraft (Mechanisch)	Probenschneider: RP15 der Karl Schröder KG; Zugprüfgerät: FDP 125.10 Karl Schröder KG	- / -	kN/m; ± 1 % vom wahren Wert; Eine Dezimale	[46]
Dicke (Mechanisch)	Eigengewicht-Mikrometer: IDC 112B von Mitutoyo Messgeräte GmbH (siehe Tabelle 56, Seite 193)	$r \geq 1,5 \mu\text{m}$ $R \geq 3,2 \mu\text{m}$	μm ; Drei signifikante Stellen	[43]
Glätte nach Bekk, Verfahren A, Unterseite (Druckmessung)	Glätteprüfer nach Bekk: PGP Bauart Unger der Karl Schröder KG	- / -	Sekunden; ≤ 100 s: 0,1 s > 100 s: 1 s	[39]
Faserlauf (Visuell)		- / -	ohne Einheit	[23]
Flächenbezogene Masse (Gravimetrisch)	Analysenwaage: Sartorius AC 211 S (siehe Tabelle 53, Seite 192)	- / -	g/m^2 ; Drei signifikante Stellen	[47]
Rollneigung (Visuell)		- / -	ohne Einheit	[22]
Wasserabsorptionsvermögen – Cobb-Wert (Gravimetrisch)	Analysenwaage: Sartorius AC 211 S (siehe Tabelle 53, Seite 192); Frank-Flüssigkeitsaufnahme-Prüfgerät 95930 mit Ablösch-einrichtung der Karl Frank GmbH	- / -	g/m^2 ; Auf 0,5 g/m^2 aufgerundet	[44]

4.2.3.2 Dynamisches Penetrationsverhalten

Durchführung der Messungen

Die Messungen des dynamischen Penetrationsverhaltens der Rückseite von Papieretiketten wurden mit einem Penetrationsmessgerät vom Typ DPM 33 der emco Elektronische Meß- und Steuerungstechnik GmbH durchgeführt. Die Messungen wurden nach den Angaben der

Bedienungsanleitung des DPM 33 und mit einem Probenträger vom Typ 4 durchgeführt. Die Proben wurden mittels doppelseitigem, lösemittelbeständigem Klebeband am Probenträger fixiert. Die Messdauer wurde auf vier Minuten festgelegt.

Interpretation der Messergebnisse

Bei der dynamischen Penetrationsmessung wird der Verlauf der Ultraschall-Transmission durch das Etikettenpapier über eine zuvor definierte Messdauer aufgezeichnet. Mit zunehmender Feuchtigkeitsaufnahme in das Papiergefüge nimmt die Ultraschall-Transmission ab. Je schneller Feuchtigkeit in das Papiergefüge eindringt, desto steiler ist die Abnahme der Transmissionskurven. Verändert sich die Ultraschall-Transmission nicht weiter, ist das Papier mit Feuchtigkeit gesättigt [25].

4.2.3.3 Dynamische Nassdehnung und Hysterese

Das Penetrationsmessgerät DPM 33 verfügt über ein Dehnungsmodul mit dem der Verlauf der Nassdehnung von Papieretiketten über eine zuvor definierte Messdauer aufgezeichnet werden kann. Die Messung der dynamischen Nassdehnung erfolgte auf die in [8] beschriebene Weise. Die Messdauer wurde jedoch auf vier Minuten ausgedehnt, um die maximale Nassdehnung im gesättigten Zustand des Etiketts bestimmen zu können.

Für die Bestimmung der Hysterese wurde die in [8] vorgegebene Methode zur Bestimmung der Nassdehnung modifiziert. Die Messdauer wurde auf vier Stunden ausgedehnt. 15 Minuten nach dem Eintauchen des Papieretiketts in das Wasserbad wurde das Wasserbad entfernt (siehe Abbildung 32) und das Etikett dem Normalklima im Etikettenprüfraum der Verpackungsprüfstelle ausgesetzt. Durch das Verdunsten der Feuchtigkeit stellt sich im Etikett im Laufe der verbleibenden Messdauer von drei Stunden und 45 Minuten erneut die Gleichgewichtsfeuchte, entsprechend dem Normalklima, ein. Die in diesem Zustand verbleibende Nassdehnung wird als Hysterese des Papieretiketts bezeichnet.

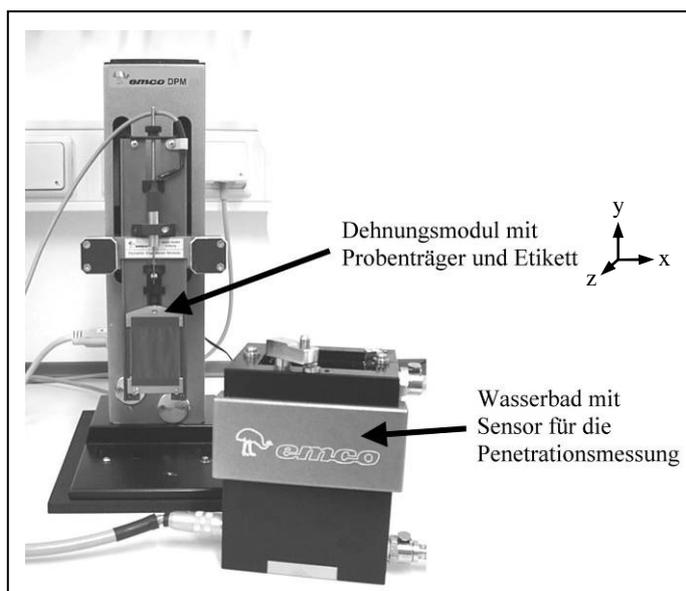


Abbildung 32: Penetrationsmessgerät DPM 33 mit Dehnungsmodul

4.2.4 Etikettierklebstoffe

Die in den drei Brauereien eingesetzten Etikettierklebstoffe wurden nach Vorgabe der STLB [21] sowie weiterer Untersuchungen auf deren charakterisierende physikalische Eigenschaften hin untersucht. Die Messungen wurden in der Verpackungsprüfstelle, am Forschungsinstitut für Maschinen- und Verpackungstechnik (FMV) der VLB Berlin durchgeführt.

4.2.4.1 Untersuchung der Etikettierklebstoffe nach den STLB

Tabelle 7 gibt Auskunft über die Methodenquellen, die wichtigsten Gerätschaften, die Dimension der Ergebnisse und die Genauigkeit der Analysen nach den STLB, soweit diese bekannt sind.

Tabelle 7: Untersuchung der Etikettierklebstoffe nach den STLB

Analyse (Methode)	Geräte	r / R	Einheit; Genauigkeit und Angabe der Ergebnisse	Quelle
Feststoffgehalt (Gravimetrisch)	Heizschrank mit Umluft: UL 50 von Memmert in Schwabach; Analysenwaage (siehe Tabelle 53, Seite 192); Dünnwandige Metallbehälter; Exsikkator	- / -	%; Eine Dezimale	[45]
pH-Wert (Galvanometrisch)	ph-Messgerät mit Kombinations-elektrode: Labor-pH-Meter 766 von Knick Elektronische Messgeräte GmbH & Co. (siehe Tabelle 57, Seite 193)	r = 0,1 R = 0,2	ohne Einheit; Eine Dezimale	[49]
Dynamische Viskosität (Mechanisch)	Rotationsviskosimeter: Typ Viscotester VT 24 von Haake Mess-Technik GmbH & Co. (siehe Tabelle 58, Seite 193)	- / -	mPa*s	[38]

4.2.4.2 Hafteigenschaften der Etikettierklebstoffe

Die Anzugsgeschwindigkeit, im Weiteren als Anfangskraft bezeichnet, als eine Eigenschaft der Etikettierklebstoffe, wurde mit einem Anzugsgeschwindigkeits-Messgerät vom Typ Wacker AZG-Messgerät der Wacker-Chemie GmbH und einer Universal-Werkstoffprüfmaschine Typ 5 TZZ 771 50 kN der Otto Wolpert-Werke GmbH bestimmt. Der Messaufbau und die Funktionsweise sind in Abbildung 33 dargestellt. Das Anzugsgeschwindigkeits-Messgerät stand auf der vertikal beweglichen Arbeitsplattform der Universal-Werkstoffprüfmaschine. Die Etiketten wurden in den Schlitten des AZG-Messgeräts eingespannt und ein auf 23 °C temperierter Streifen Etikettierklebstoff vor der 50 µm Rakel aufgetragen. Nachdem die Dauer der Verklebung eingestellt wurde, wurde der Messvorgang gestartet. Der Schlitten wird automatisch unter den Stempel bewegt ① und der Etikettierklebstoff dabei durch die Rakel auf dem Etikett in einer homogenen Schicht verteilt. Unmittelbar danach wird das 2,82 cm² große Glasplättchen des mit einem Kilogramm belasteten Stempels auf die Klebstoffschicht und das Etikett gedrückt ②. Nach Ablauf der vorgegebenen Verklebungsdauer wird die Arbeitsplattform nach unten bewegt ③. Der Stempel mit dem Glasplättchen ist über einen Draht mit der Kraftmessdose der Universal-Werkstoffprüfmaschine

verbunden. Diese nimmt die maximale Haftkraft auf, mit der die Verklebung den Stempel auf dem Etikettenpapier hält, bevor die Verbindung durch die stetig zunehmende Zugkraft gelöst wird.

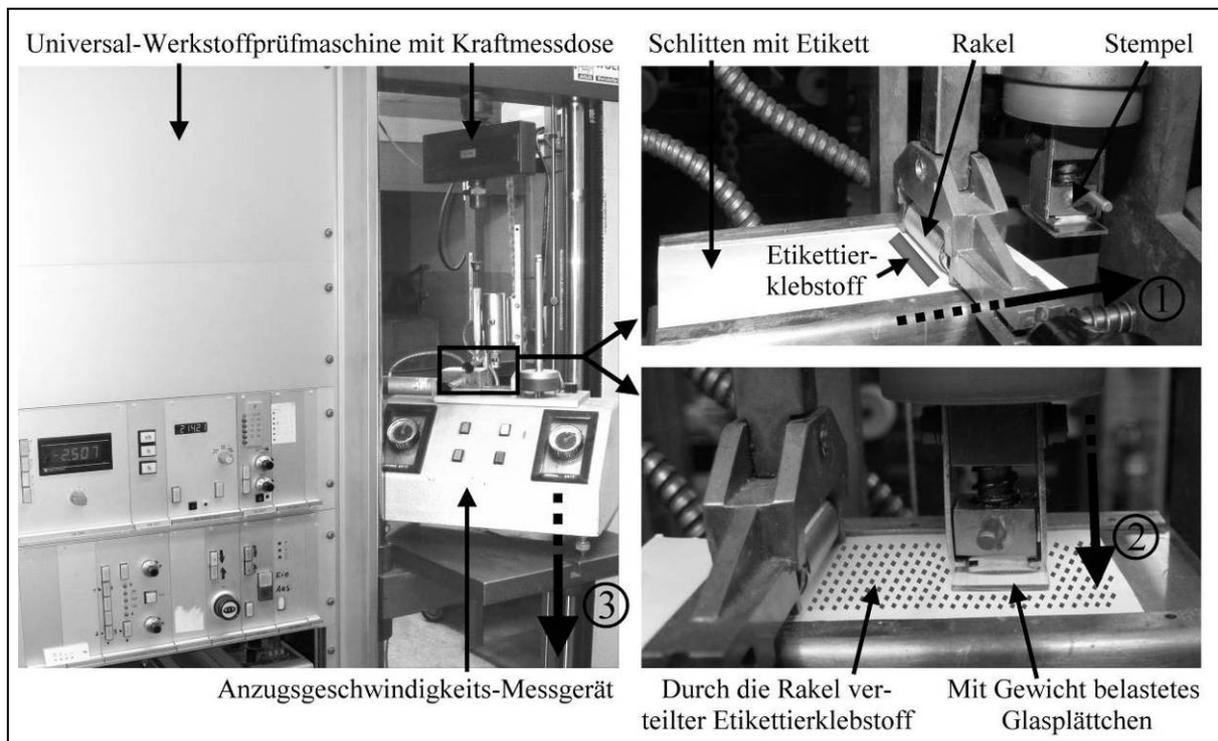


Abbildung 33: Messaufbau zur Bestimmung der Anfangshaftkraft

Die Methode zur Bestimmung der Anfangshaftkraft wurde von KEMENATER und BADE in [29] veröffentlicht und für die Anforderungen dieser Arbeit modifiziert. Anstelle eines Standardetiketts wurden die Etiketten der Brauereien verwendet, um die jeweils vorliegende Kombination aus Etikettierklebstoff und Etikett zu testen, denn KEMENATER und BADE stellen in [29] fest, dass die Saugfähigkeit des zu verklebenden Materials einen Einfluss auf die Anfangshaftkraft ausübt. Nach Bestimmung eines Blindwertes ohne Etikettierklebstoff wurde in jeweils fünf Einzelmessungen die Haftkraft der Verklebung nach zwei, fünf und dreißig Sekunden sowie nach einer, drei und fünf Minuten aufgenommen, um die Dynamik des Aushärtens des Etikettierklebstoffes zu dokumentieren. Der Blindwert wurde von der gemessenen Haftkraft abgezogen. Die Geschwindigkeit mit der die Arbeitsplattform nach unten bewegt wurde, wurde auf 100 m pro Stunde eingestellt.

4.2.5 Flaschen

In den drei Brauereien wurden von jeder Biermarke jeweils sechs Flaschen mit Faltenbildung und sechs Flaschen ohne Faltenbildung als Proben entnommen. Vor Durchführung der Analysen wurden die Flaschen gekennzeichnet, deren Etiketten über Nacht in einem Wasserbad abgelöst und die Flaschen anschließend getrocknet.

4.2.5.1 Heißendvergütung der Flaschen

Die Messung der Heißendvergütung wurde mit einem Hot End Coating Meter der AGR International Inc. durchgeführt. Die technischen Daten des Messgeräts sind in Abschnitt 11.4, Tabelle 59 aufgelistet. Die Durchführung der Messungen erfolgte nach der Betriebsanleitung des Hot End Coating Meter [3]. Das Messsystem für die Dicke der Heißendvergütung bestimmt die Beschichtungsdicke, indem es die von der vergüteten Glasoberfläche reflektierte Lichtmenge misst. Je dicker die Beschichtung, desto mehr Licht wird reflektiert.

4.2.5.2 Kaltendvergütung der Flaschen

Die Messung der Kaltendvergütung wird mittels Tilt Table zur Bestimmung des Gleitwinkels durchgeführt. Bei der Gleitwinkelmessung liegen die Flaschen ausschließlich auf den Reibringen auf, während die für die Etikettierung relevante Etiketteneinzugsfläche nicht berücksichtigt wird. Bei Neuglasflaschen lässt der Gleitwinkel Rückschlüsse über die Kaltendvergütung der gesamten Flasche zu, da die Reibringe und damit die Kaltendvergütung in diesem Bereich noch nicht beschädigt wurden. Flaschen die jedoch mehrfach im Umlauf waren weisen auf diesen Reibringen einen so genannten Scuffing-Ring auf, der unter anderem durch den gegenseitigen Kontakt der Flaschen und den Staudruck auf den Flaschentransportbändern der Abfüllanlagen entsteht [60]. Dieser Scuffing-Ring führt durch zusätzliche, von der Kaltendvergütung unabhängige Reibung zwischen den Glasflaschen dazu, dass über den Gleitwinkel keine Rückschlüsse auf die Kaltendvergütung im Bereich der Etiketteneinzugsfläche gezogen werden können. Da es sich bei den zu untersuchenden Flaschen aus den Brauereien um zum Teil mehrfach umgelaufene Flaschen handelt wurde auf die Bestimmung der Kaltendvergütung verzichtet.

4.2.5.3 Oberflächenenergie der Flaschen

Die Bestimmung der Oberflächenenergie im Bereich des Flaschenbauchs erfolgte visuell durch Testtinten der Arcotest GmbH. Bei den Testtinten handelt es sich um Flüssigkeiten mit definierter Oberflächenspannung. Die Oberflächenenergie des zu prüfenden Materials wird durch Aufstreichen der Testtinten ermittelt. Bleibt der aufgetragene Strich etwa zwei Sekunden stehen, ohne sich zusammenzuziehen, so ist die Oberflächenenergie des Materials entweder gleich hoch wie die Oberflächenspannung der Flüssigkeit oder höher. In diesem Fall wird die Testtinte mit der nächst höheren Oberflächenspannung aufgetragen. Diese Prüfung wird fortgesetzt, bis ein Zusammenziehen des Streifens innerhalb von zwei Sekunden beobachtet wird. Zieht sich der Strich nach dem ersten Auftragen innerhalb von zwei Sekunden zusammen wird die Testtinte mit der nächst niedrigeren Oberflächenspannung aufgetragen. Auf diese Weise kann die Oberflächenenergie des untersuchten Materials näherungsweise bestimmt werden. Die Genauigkeit der Messung liegt bei ± 1 mN/m.

4.2.6 Dokumentation des Etikettiervorgangs

Die Etikettiermaschinen in den drei Brauereien wurden während des Beobachtungszeitraums mit Einstellausbringungen zwischen 24.600 und 47.200 Flaschen pro Stunde betrieben. Dies entspricht der Etikettierung von sieben bis 14 Flaschen in einer Sekunde. Ein Beobachten der einzelnen Verarbeitungsschritte der Etikettiermaschinen mit bloßem Auge ist aufgrund der Trägheit des menschlichen Auges nicht möglich. Um die Beurteilung der einzelnen Arbeitsschritte in Bezug auf deren Einfluss auf die Faltenbildung zu ermöglichen, wurde eine MotionScope M1 Hochgeschwindigkeitskamera (HG-Kamera) der IS – Imaging Solutions GmbH eingesetzt. Die Technischen Daten der HG-Kamera sind in Abschnitt 11.4, Tabelle 60 aufgeführt. Bei Verwendung der maximalen Bildfrequenz von 1000 Bildern pro Sekunde erlaubt der interne Speicher der HG-Kamera die Aufnahme von zwei Sekunden Film. Für die Beleuchtung der Objekte kamen zwei Baustrahler mit 1000 und 1500 Watt zur Anwendung. Die Bedienung der KG-Kamera während der Aufnahmen erfolgte mit einem Laptop, das über ein Firewire Kabel mit der HG-Kamera verbunden war, und der Steuerungssoftware MotionScope M1.0.3. Die anschließende Bearbeitung der Filme, die im Datenformat „raw“ aus der HS-Kamera ausgelesen werden, wurde mit der Software Redlage Imaging Studio V2.2.0.2 durchgeführt. Gespeichert wurden die Filme im Dateiformat „avi“ beziehungsweise als Einzelbildsequenzen im Format „jpg“.

4.2.7 Etikettiererergebnis der einzelnen Beleimungspaletten

Zur Bestimmung des Etikettiererergebnisses jeder einzelnen Beleimungspalette wurde eine Vorgehensweise entwickelt, die eine Zuordnung der etikettierten Flasche zur entsprechenden Beleimungspalette ermöglicht.

Hierfür wurden die Beleimungspaletten der Etikettiermaschinen fortlaufend nummeriert. Eine Flasche aus der laufenden Produktion wurde entnommen und mit Klebeband im Bereich des Flaschenhalses markiert. Diese Signalfflasche wurde in den Flaschenpulk vor der Etikettiermaschine eingestellt und anschließend bei voller Maschinenausbringung etikettiert. Sobald die Signalfflasche die Etikettiermaschine verlassen hatte, wurden die nachfolgenden Flaschen sukzessive vom Auslaufband der Etikettiermaschinen genommen und entsprechend ihrer Reihenfolge in gekennzeichnete Getränkeboxen gestellt. Die Anzahl der entnommenen Flaschen entsprach dabei der Anzahl der Beleimungspaletten der jeweiligen Etikettiermaschine. Auf diese Weise konnten pro Durchlauf der Signalfflasche Probenflaschen entnommen werden, die jeweils von einer anderen Beleimungspalette etikettiert wurden. Insgesamt wurden so viele Durchläufe vorgenommen, dass von jeder Beleimungspalette mindestens zehn etikettierte Flaschen zur Untersuchung der Faltenbildung zur Verfügung standen.

Die Zuordnung der einzelnen Flaschen zu den entsprechenden Beleimungspaletten erfolgte mit der HG-Kamera. Die HG-Kamera wurde so ausgerichtet, dass sowohl die Signalfflasche als auch die nummerierten Beleimungspaletten beim Etikettiervorgang gleichzeitig im Bildausschnitt der Filmsequenz erkennbar waren. Anhand eines Standbildes, bei dem erkennbar wird, welche Beleimungspalette die Signalfflasche etikettiert hat, können die Beleimungspal-

ten den in den gekennzeichneten Getränkekästen gelagerten Flaschen zugeordnet werden. Ein Beispiel für die Zuordnung ist mit Abbildung 34 gegeben. Das Standbild zeigt, dass die Signalflasche von der Greiferstation ④ etikettiert werden wird. Die unmittelbar folgende Flasche ist die erste Flasche die vom Transportband genommen wird. Sie wird von der Greiferstation ① etikettiert werden. Die zweite und dritte Flasche wird von den Greiferstationen ② und ③ etikettiert werden. Die vierte Flasche wird von der Greiferstation ④ etikettiert werden, die gerade das Etikett von Beleimungspalette 7 abnimmt (siehe Kreis). Entsprechend der Reihenfolge der Beleimungspaletten stammen die Etiketten an den Greiferstationen ③, ② und ① von den Beleimungspaletten 6, 5 und 4. Das Etikett der Signalflasche stammt von Beleimungspalette 3. Die erste entnommene Flasche wurde demnach von Beleimungspalette 4, die zweite entnommene Flasche von Beleimungspalette 5 und so weiter etikettiert.

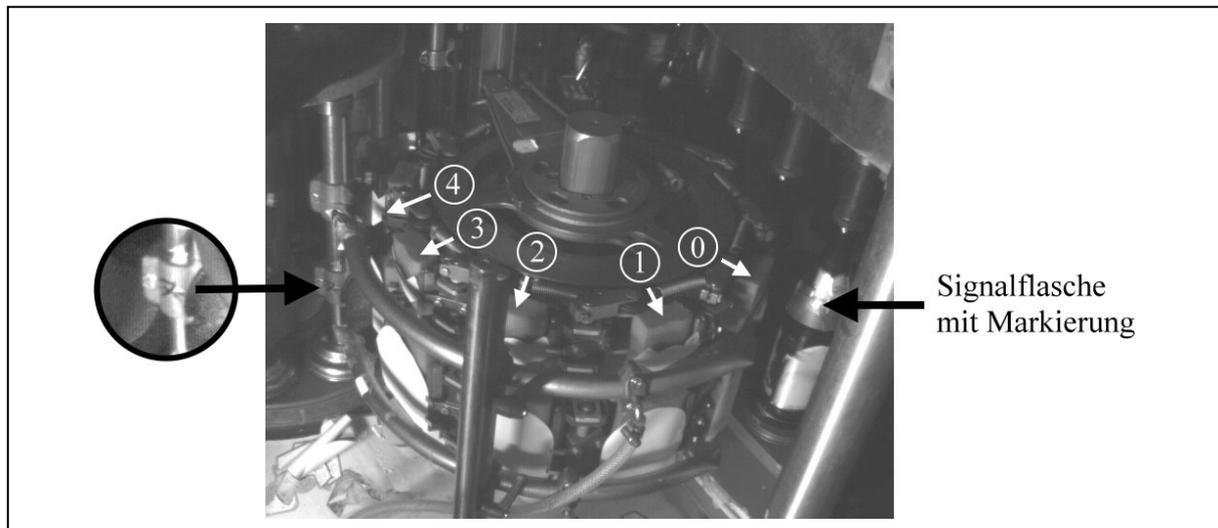


Abbildung 34: Zuordnung der Probenflasche zur Beleimungspalette

Die sich aus den HG-Filmen ergebende Zuordnung der entnommenen Flaschen zu den entsprechenden Beleimungspaletten ist der Übersicht in Abschnitt 11.11 auf Seite 204 gegeben. Nach der Entnahme wurden die Flaschen in den gekennzeichneten Kästen zum Trocknen an einem trockenen, möglichst windstillen Ort gelagert, um ein vergleichbares Abtrocknungsverhalten aller untersuchten Biermarken zu erreichen.

Die Bewertung der Faltenbildung erfolgte nach dem in Abschnitt 4.2.2 auf Seite 46 beschriebenen Schema.

4.3 Versuche im industriellen Maßstab

Die Versuche im industriellen Maßstab wurden im Etikettiertechnikum eines Herstellers von Abfüll- und Verpackungsmaschinen für die Lebensmittelindustrie durchgeführt. Bei den Versuchen im Etikettiertechnikum war es möglich, einzelne Faktoren zu variieren, während alle weiteren kontrollierbaren Einflussgrößen konstant gehalten wurden.

4.3.1 Ausstattung des Etikettiertechnikums

Im folgenden Abschnitt werden die gegebenen Rahmenbedingungen und die Möglichkeiten des Etikettiertechnikums, das im Weiteren auch als Technikum bezeichnet wird, beschrieben.

4.3.1.1 Umweltbedingungen im Etikettiertechnikum

Das Technikum befindet sich in einer teilklimatisierten Halle, deren Temperatur auf 23 °C geregelt wird. Eine Möglichkeit zur Regelung der relativen Luftfeuchtigkeit besteht dabei nicht. In Abbildung 35 sind die Temperatur und die relative Luftfeuchtigkeit im Etikettiertechnikum über den gesamten Versuchszeitraum dargestellt. Die Schwankungen im Temperaturverlauf wurden durch Einzelaggregate im Technikum, wie zum Beispiel einem Dampftunnel zum Anschrumphen von Sleeves, hervorgerufen. Die Tagesschwankungen der relativen Luftfeuchtigkeit hängen ebenfalls von diesen Aggregaten ab. Aufgrund der Teilklimatisierung wird die Luftfeuchtigkeit jedoch auch von der Jahreszeit beeinflusst. Wird kältere Außenluft auf die Technikumstemperatur von 23 °C aufgewärmt, sinkt die relative Luftfeuchtigkeit in dieser Luftmenge. So war aufgrund der Witterung ab Oktober 2006 tendenziell eine Abnahme der relativen Luftfeuchtigkeit zu beobachten, die ab Januar 2007 bis zum Ende der Versuche im März 2007 konstant blieb.

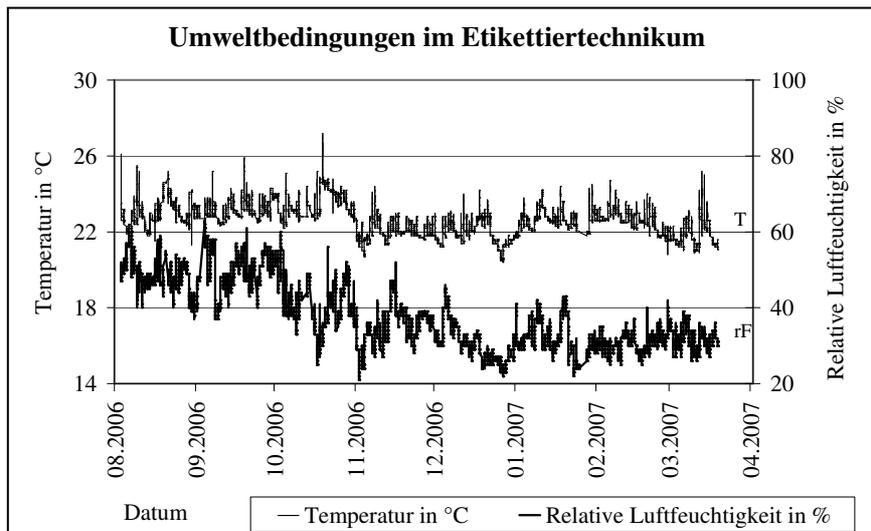


Abbildung 35: Temperatur und relative Luftfeuchtigkeit im Etikettiertechnikum

4.3.1.2 Modul-Etikettiermaschine

Die im Etikettiertechnikum installierte Modul-Etikettiermaschine mit Nassleim-Aggregat (Skizze siehe Abbildung 36) erfüllt alle Anforderungen an eine in realen Abfüllbetrieben eingesetzte Etikettiermaschine. Die maximale Einstellausbringung $Q_{(EST)}$ der Etikettiermaschine war aufgrund einer Antriebsstörung während des Versuchszeitraumes auf 25.080 Flaschen pro Stunde begrenzt.

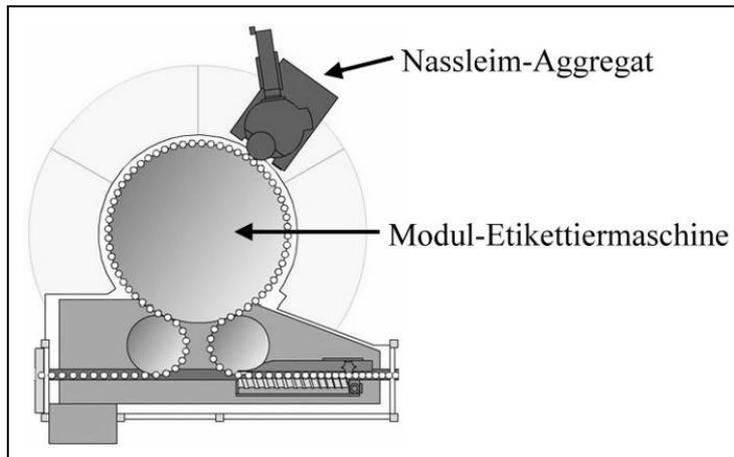


Abbildung 36: Skizze der Modul-Etikettiermaschine

4.3.1.3 Lagerung der Etiketten

Die Lagerung der Etiketten erfolgte im Labor des Etikettiertechnikums. Die Klimatisierung des Labors ist an die Klimaanlage des Technikums gekoppelt. Die Temperaturschwankungen im Tagesverlauf fallen jedoch geringer aus, da das Labor von den zusätzlichen Aggregaten im Technikum nicht unmittelbar beeinflusst wird (Abbildung 37). Die relative Luftfeuchtigkeit im Etiketten-Lager hing jedoch ebenfalls von der jahreszeitlich bedingten Witterung ab, so dass ab Oktober 2006 dieselbe Abnahme der relativen Luftfeuchtigkeit wie im Technikum beobachtet wurde. Im Zeitraum von November 2006 bis März 2007 bewegt sich die relative Luftfeuchtigkeit überwiegend zwischen 23 % und 36 % rF.

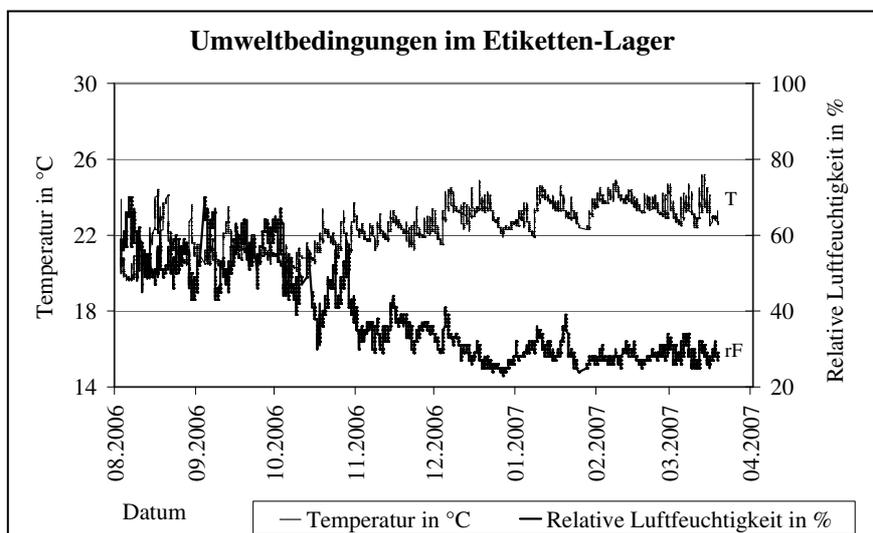


Abbildung 37: T und rF im Labor des Etikettiertechnikums

4.3.1.4 Lagerung der etikettierten Flaschen

Die Lagerung der etikettierten Versuchsflaschen erfolgte in Getränkekästen im Etikettiertechnikum. Die Kästen mit Flaschen aus einem Versuchslauf wurden jeweils übereinander gestapelt.

4.3.1.5 Flaschenpool für die Etikettierversuche

Für die Versuche im Etikettiertechnikum wurden zunächst 2000 neue NRW-Flaschen eingesetzt. Diese wurden vor dem ersten Versuch zweimal in einer Flaschenreinigungsmaschine einer Brauerei gereinigt, um eventuell vorhandene Verschmutzungen oder Übervergütung bei der Kaltendvergütung zu entfernen. Im Laufe der Versuchsdurchführung war es notwendig, den Flaschenpool um weitere Flaschen zu ergänzen. Zu diesem Zweck wurden von Brauerei 1 weitere 800 gebrauchte NRW-Flaschen zur Verfügung gestellt. Die Flaschen wurden nach der Flaschenreinigungsmaschine entnommen und konnten direkt für die Versuche eingesetzt werden.

Nach Auswertung der Etikettierversuche wurden die Etiketten in einem beheizbaren Wasserbad von den Flaschen abgelöst und die Klebstoffreste entfernt. Die Flaschen wurden nach dieser Behandlung erneut für die Etikettierversuche eingesetzt.

4.3.2 Papieretiketten im Technikum

Die Versuchsetiketten wurden aus insgesamt sechs verschiedenen Basispapieren gefertigt. Bei den Basispapieren B1, B2 und B3 handelte es sich um metallisierte Papiere, bei den Basispapieren B4, B5 und B6 um nicht metallisierte Papiere. Die Etiketten aller Basispapiere waren jeweils in geprägter oder ungeprägter Form ausgeführt. Die Etiketten auf nicht metallisiertem Papier standen zusätzlich in den Variationen lackiert oder nicht lackiert zur Verfügung. Sämtliche Verarbeitungsvarianten wurden im Offsetdruck mit fünf verschiedenen Dekoren (siehe Abbildung 38) bedruckt. Daraus ergeben sich 90 verschiedene Etikettenvarianten. Die Etiketten wurden mit einer Breite von 114,42 mm ($s = 0,042$) und einer Höhe von 81,18 mm ($s = 0,042$) auf die Abmessungen der Beleimungspaletten der Modul-Etikettiermaschine zurechtgeschnitten. Die Abmessungen der Etiketten wurden mit einem Präzisions-Glasmessstab mit 1/10 mm Teilung und verstellbaren Lupen der A. Messerli GmbH, mit einer maximalen Abweichung von 0,017 mm auf 500 mm bestimmt. Bei der Anlieferung der Etiketten im Etikettiertechnikum wurden die Gleichgewichtsfeuchte zwischen 40 % und 51 % relativer Luftfeuchtigkeit und die Temperatur mit einem Stechhygrometer (siehe Tabelle 51 auf Seite 192) zwischen 20,7 °C und 22,5 °C bestimmt.

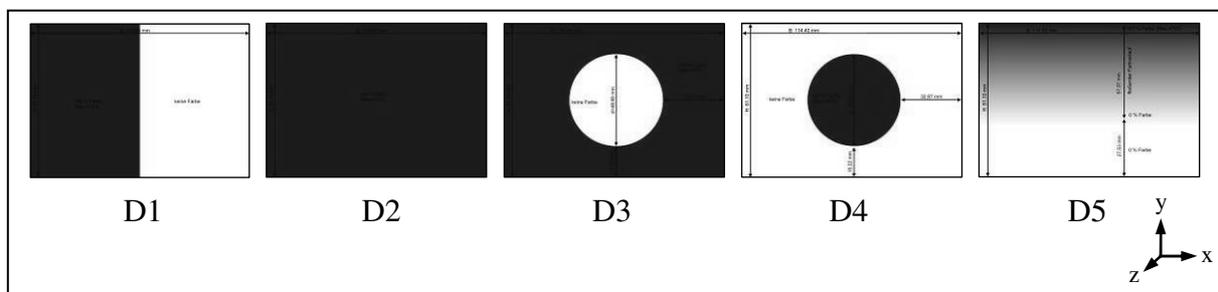


Abbildung 38: Dekorvarianten der Versuchsetiketten

Die Bezeichnung der Versuchsetiketten erfolgte nach folgendem Schlüssel:

BP _x -M _y -P _y -L _y -D _z	BP = Basispapier	x = 1 bis 6		
	M = Metallisierung	y = 1 = ja	y = 0 = nein	
	P = Prägung	y = 1 = ja	y = 0 = nein	
	L = Lackierung	y = 1 = ja	y = 0 = nein	
	D = Dekor	z = 1 bis 5		

Beispiel: BP3-M1-P1-L0-D5 ⇒ Ein geprägtes, nicht lackiertes Etikett mit dem metallisierten Basispapier BP3 und der Dekorvariante D5.

4.3.2.1 Etikettenuntersuchungen nach den STLB

Die Untersuchung der Versuchsetiketten umfasste die flächenbezogene Masse, den Cobb-Wert, die Rollneigung, die Glätte nach Bekk und die Dicke der Etiketten. Auskunft über die Methodenquellen, die Dimension der Ergebnisse und Genauigkeit der Analysen nach den STLB sowie die wichtigsten Gerätschaften gibt Tabelle 6 auf Seite 48.

4.3.2.2 Dynamisches Penetrationsverhalten

Die Methode zur Bestimmung des dynamischen Penetrationsverhaltens der Versuchsetiketten wird in Abschnitt 4.2.3.2 auf Seite 48 beschrieben. Die Messdauer wurde bei den Versuchsetiketten auf 2 Minuten festgelegt.

4.3.2.3 Dynamische Nassdehnung und Hysterese

Die Methoden zur Bestimmung der dynamischen Nassdehnung und der Hysterese der Versuchsetiketten werden in Abschnitt 4.2.3.3 auf Seite 49 beschrieben. Die Messdauer wurde bei der Hysteresemessung jedoch auf zwei Stunden reduziert.

4.3.3 Konstanz der Klebstoffmenge

Die Bestimmung der Klebstoffmenge, die von den Beileimungspaletten auf die Etiketten übertragen wurde, erfolgte mit gesleeften Flaschen. Die Masse der einzelnen Sleeves wurden zuvor auf einer Laborwaage vom Typ LE323S der Sartorius AG bestimmt und auf dem jeweiligen Sleeve notiert (technische Daten der Laborwaage siehe Abschnitt 11.4, Tabelle 61). Anschließend wurden die Sleeves über die Flaschen geschoben (siehe Abbildung 39, linke Flasche) und in einem Dampftunnel an die Flaschen angeschrumpft (rechte Flasche). Die Etiketten wurden von der Modul-Etikettiermaschine direkt auf die Sleeves appliziert. Diese wurden unmittelbar nach der Etikettierung mit einem Messer aufgeschnitten und von den Flaschen entfernt wurden, um deren Masse mitsamt der anhaftenden Etiketten und dem übertragenen Etikettierklebstoff auf der oben angegebenen Laborwaage zu bestimmen. Mit

diesen Werten und der Masse der Etiketten, die zuvor bei der Bestimmung der flächenbezogenen Masse ermittelt wurde (siehe Tabelle 22 auf Seite 111), lässt sich die Masse an Etikettierklebstoff auf dem einzelnen Etikett nach Formel 2 berechnen.

Formel 2:
$$m_{\text{(Etikettierklebstoff pro Etikett)}} = m_{\text{(Sleeve + Etikett + Etikettierklebstoff)}} - m_{\text{(Sleeve)}} - m_{\text{(Etikett)}}$$

Die Umrechnung der Klebstoffmenge des einzelnen Etiketts auf die übertragene Klebstoffmenge pro m² erfolgt nach Formel 3.

Formel 3:
$$m_{\text{(Etikettierklebstoff)}} = m_{\text{(Etikettierklebstoff pro Etikett)}} / A_{\text{(Etikett)}}$$

$$= m_{\text{(Etikettierklebstoff pro Etikett)}} / 0,009288 \text{ m}^2$$

Entsprechend der Anzahl an Beleimungspaletten der Modul-Etikettiermaschine wurden jeweils fünf gesleepte Flaschen vor und nach den Versuchsflaschen, zur Bestimmung der übertragenen Klebstoffmenge des jeweiligen Versuchslaufs, eingesetzt.



Abbildung 39: Sleeven der Flaschen zur Bestimmung der Klebstoffmenge

4.3.4 Bewertung der Etikettierergebnisse

Für die Bewertung der Faltenbildung an den Papieretiketten wurden die Seiten der Etiketten, entsprechend der Anzahl seitlicher Aussparungen an den Beleimungspaletten der Modul-Etikettiermaschine, in jeweils drei Bereiche unterteilt. Nach Abschluss einer Trocknungsphase von mindestens 48 Stunden wurde die Faltenbildung in jedem der insgesamt sechs Bereiche, nach den in Tabelle 5 auf Seite 47 beschriebenen Kriterien separat bestimmt.

Bewertung der Versuchsläufe A bis I

Die Summe aus mittleren und großen Falten wurde bei den Versuchsläufen A bis I in Prozent umgerechnet. Das prozentuale Ergebnis der Faltenbildung in den einzelnen Bereichen der Papieretiketten wurde anschließend in einer dimensionslosen Kennzahl zusammengefasst. Diese „Kennzahl der Faltenbildung“ entspricht dem Mittelwert der Prozentangaben an Faltenbildung in den sechs Bereichen. Ein Berechnungsbeispiel ist in Abbildung 40 aufgeführt. Zwei mittlere (MF) und drei große Falten (GF) im oberen Drittel der linken Etikettenseite

belaufen sich in diesem Bereich auf eine Faltenbildung von 13 %, bei insgesamt 40 untersuchten Flaschen. Zusammen mit der Faltenbildung in den anderen fünf Segmenten ergibt sich für diesen Versuchslauf die Kennzahl 14.

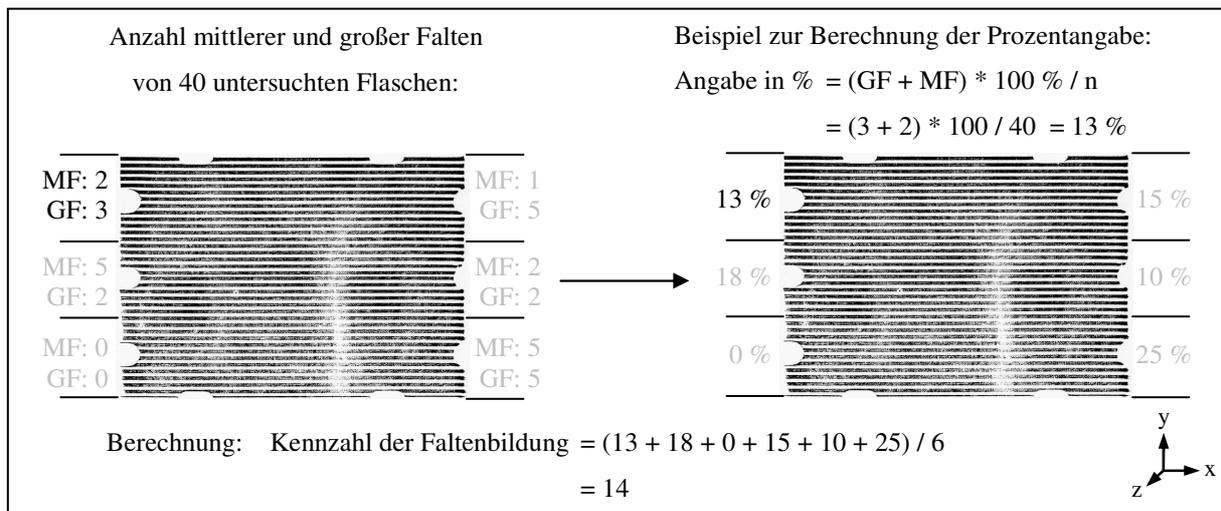


Abbildung 40: Berechnungsbeispiel für die Kennzahl der Versuchsläufe A bis I

Zwei Kennzahlen der Faltenbildung mit einer Differenz kleiner oder gleich zwei werden zwischen null und 30 als gleichwertig betrachtet. Bei höheren Kennzahlen werden Differenzen kleiner oder gleich fünf zwischen den Kennzahlen als äquivalent bewertet. Diese Unterscheidung ergab sich aus dem visuellen Vergleich etikettierter Flaschen während der Auswertung im Etikettiertechnikum. Bei kleineren Differenzen konnte augenscheinlich kein Unterschied im Etikettierergebnis festgestellt werden, während das Erscheinungsbild der Etiketten bei größeren Differenzen erkennbar voneinander abwich.

Bewertung der Versuchsläufe M1 bis M12

Für die Bewertung der Versuchsläufe M1 bis M12 wurde die Summe aus mittleren und großen Falten ebenfalls in Prozent umgerechnet. Große Falten wurden jedoch gegenüber Falten mittlerer Größe, durch Multiplikation mit dem Faktor zwei, doppelt gewichtet. Das prozentuale Ergebnis der Faltenbildung in den einzelnen Bereichen der Papieretiketten wurde anschließend in einer dimensionslosen Kennzahl der Faltenbildung, als Mittelwert der Prozentangaben der sechs Segmente, zusammengefasst. Ein Berechnungsbeispiel ist in Abbildung 41 gegeben.

Zwei mittlere (MF) und drei große Falten (GF) im oberen Drittel der linken Etikettenseite ergeben in diesem Segment, nach Gewichtung der großen Falten mit dem Faktor zwei, eine Faltenbildung von 20 %, bei insgesamt 40 untersuchten Flaschen. Zusammen mit der gewichteten Faltenbildung in den anderen fünf Segmenten ergibt sich für diesen Versuchslauf die Kennzahl 21.

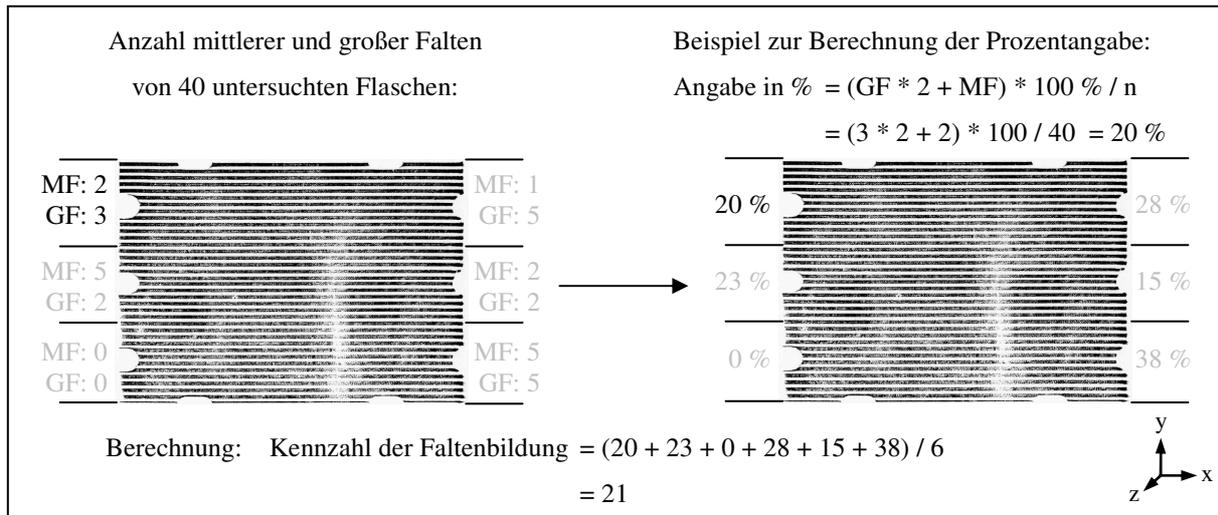


Abbildung 41: Berechnungsbeispiel für die Kennzahlen der Versuchsläufe M1 bis M12

Wie bei den Versuchsläufen A bis I werden zwei Kennzahlen der Faltenbildung mit einer Differenz kleiner oder gleich zwei zwischen null und 30 als gleichwertig betrachtet. Bei höheren Kennzahlen werden Differenzen kleiner oder gleich fünf zwischen den Kennzahlen als äquivalent bewertet. Ein Vergleich der Kennzahlen der Versuchsläufe A bis I mit den Kennzahlen der Versuchsläufe M1 bis M12 ist aufgrund der unterschiedlichen Gewichtung der großen Falten nicht möglich.

4.3.5 Durchführung der Etikettiersuche

4.3.5.1 Vorbereitung

Versuchsflaschen

Die Abfüllung von Bier erfolgt in einem Bereich der als „nass und kalt“ bezeichnet wird [33]. Um diese Bedingungen nachzustellen, wurden die mit Wasser befüllten und mit Kronkorken verschlossenen NRW-Flaschen in einem Kühlraum für mindestens zwölf Stunden temperiert. Die durchschnittliche Kerntemperatur dieser mit Wasser befüllten Versuchsflaschen betrug 10 °C ($s = 1,0$) und wurde direkt nach der Versuchsdurchführung mit dem in Abschnitt 11.4, Tabelle 52 beschriebenen Stechthermometer bestimmt. Diese Temperatur entspricht dem harmonischen Mittelwert der Abfülltemperaturen in den drei Brauereien (vgl. Tabelle 11 auf Seite 84). Auf diese Weise wurde sichergestellt, dass die NRW-Flaschen bei den Versuchen im Etikettiertechnikum unter praxisgerechten Bedingungen eingesetzt wurden.

Die Bildung von Schwitzwasser, wie sie bei der Abfüllung von Bierflaschen auftritt, konnte bei der gegebenen relativen Luftfeuchtigkeit im Etikettiertechnikum jedoch nicht zuverlässig generiert werden. Ursache hierfür ist, dass bei Raumtemperaturen um 23 °C und 30% relativer Luftfeuchtigkeit der Taupunkt für Wasser bei $4,5\text{ °C}$ Oberflächentemperatur und bei 40% rF bei $8,7\text{ °C}$ Oberflächentemperatur liegt (vgl. Abschnitt 11.13 auf Seite 209). Wird aufgrund der hohen spezifischen Wärmekapazität von Wasser vereinfachend angenommen, dass die Oberflächentemperatur der NRW-Flaschen der Kerntemperatur entspricht, so sind bei einer gegebenen Oberflächentemperatur von 10 °C rund 45% relative Luftfeuchtigkeit

notwendig, damit eine Schwitzwasserbildung auf der Flasche überhaupt einsetzt. Wie aus Abbildung 35 auf Seite 55 hervorgeht, war diese Voraussetzung nicht über den gesamten Versuchszeitraum gegeben. Um zu gewährleisten, dass eine ausreichende und vergleichbare Feuchtigkeitsmenge auf den Flaschenoberflächen vorhanden war, wurden die Versuchsflaschen direkt vor Versuchsbeginn mit Wasser aus einem fünf Liter Drucksprüngerät der Kress + Kastner GmbH überschwallt, so dass sich ein Feuchtigkeitsfilm auf der Flaschenoberfläche bildete, der bis nach der Etikettierung erhalten blieb. Die Feuchtigkeitsmasse auf der Flaschenoberfläche wurde durch Differenzwägung feuchter und trockener Flaschen, mit einer Oberschalenwaage vom Typ EW 6200-2NM der Kern & Sohn GmbH bestimmt, deren technische Daten in Abschnitt 11.4, Tabelle 62 zusammengestellt sind. Die durchschnittliche Masse Feuchtigkeit auf der Flaschenoberfläche betrug 0,11 g pro Flasche ($s = 0,078$; $n = 49$; Einzelmesswerte siehe Abschnitt 11.14 auf Seite 210) und lag damit an der unteren Grenze der bei den Brauereien festgestellten Feuchtigkeitswerte (vgl. Tabelle 11 auf Seite 84).

Etikettierklebstoffe

Für die Versuche im Etikettiertechnikum wurde mit dem Etikettierklebstoff EK1 ein handelsüblicher Kaseinklebstoff für die Nassetikettierung von Papieretiketten verwendet. Mit Ausnahme der Versuche zum Einfluss der Klebstoffsorte, wurde der Etikettierklebstoff EK1 für sämtliche Versuche im Etikettiertechnikum verwendet. Die empfohlene Verarbeitungstemperatur dieses Klebstoffes beträgt 28 °C.

Anordnung der Versuchsflaschen

Die Modul-Etikettiermaschine im Technikum verfügt über eine Flaschentransportstrecke, welche die Flaschen im Kreislauf transportieren kann. Die nutzbare Kapazität des Transporteurs beträgt 350 Flaschen. Um homogene Versuchsbedingungen für alle Versuchsflaschen zu erzielen, wurde eine spezielle Flaschenanordnung gewählt, in der unterschiedliche Flaschengruppen, entsprechend ihrer Position auf der Transportstrecke, unterschiedliche Aufgaben zukamen. Die Anordnung der Flaschengruppen und die Anzahl der Flaschen variierten jeweils entsprechend der Anforderungen der Versuchsreihen. Die Versuchsflaschen wurden in vier verschiedenen Flaschengruppen eingeteilt:

- Vor- / Auslaufflaschen – A:

Die Vorlaufflaschen dienten zum einen dazu, dass die Etikettiermaschine auf die eingestellte Ausbringung beschleunigen konnte, bevor die Flaschen zur Klebstoffmengenbestimmung und die Versuchsflaschen etikettiert wurden. Zum anderen sollte damit sichergestellt werden, dass sich auf den Beleimungspaletten ein homogener Klebstofffilm ausbildet und eine möglichst konstante Klebstoffmenge übertragen wird. Die Auslaufflaschen waren notwendig, um die eingestellte Ausbringung bis zur letzten Flasche der Klebstoffmengenbestimmung konstant zu halten.

- Gesleepte Flaschen – B:

Jeweils fünf gesleepte Flaschen wurden zur Bestimmung der Klebstoffmenge unmittelbar vor und nach den Versuchsflaschen eingesetzt.

- Pufferflaschen – C:

Die Pufferflaschen hatten die Aufgabe, die mittels Drucksprüngerät befeuchteten Versuchsflaschen von den trockenen, gesleeften Flaschen zur Klebstoffmengenbestimmung räumlich zu trennen. Ebenso wurden die einzelnen Versuchsläufe durch Pufferflaschen getrennt.

- Versuchsflaschen – D:

Als Versuchsflaschen wurden gekühlte und befeuchtete NRW-Flaschen zur Aufnahme der Versuchsetiketten eingesetzt. Der Bereich der Versuchsflaschen wurde entweder in zwei oder drei Abschnitte unterteilt, um einen direkten Vergleich unterschiedlicher Versuchsparameter innerhalb eines einzigen Versuchslaufs zu ermöglichen.

Ein Beispiel für die Anordnung der Flaschengruppen bei drei parallelen Versuchsreihen ist in Abbildung 42 gegeben. Bei dieser Anordnung wurden jeweils 70 Versuchsflaschen etikettiert, so dass stets eine ausreichende Anzahl etikettierter Flaschen für die Berechnung der Kennzahl der Faltenbildung zur Verfügung stand.

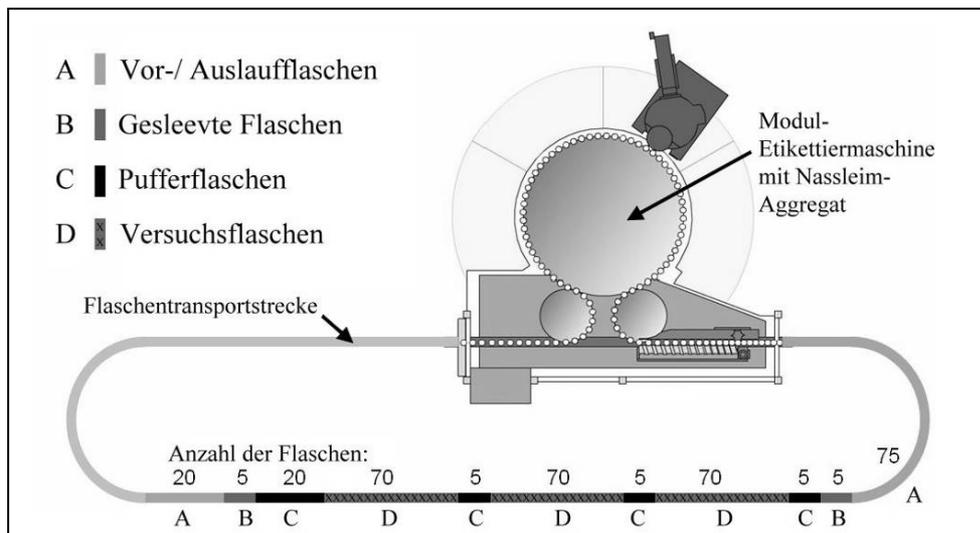


Abbildung 42: Skizze der Etikettiermaschine mit möglicher Flaschenanordnung

Modul-Etikettiermaschine

Für die Durchführung der Versuchsläufe A bis I wurden keine Änderungen an der Modul-Etikettiermaschine vorgenommen. Bei den im Anschluss an die Versuchsläufe A bis I durchgeführten Versuchsläufen M, wurde der Einfluss der Etikettiermaschine auf das Etikettierergebnis untersucht. Für die Versuchsläufe M1 bis M4 wurden reversible Veränderungen an der Modul-Etikettiermaschine realisiert (siehe Abschnitt 4.3.5.6 bis 4.3.5.7), die vor jedem neuen Versuchslauf rückgängig gemacht wurden. Für die Durchführung der Versuchsläufe M5 bis M12 wurde ein Teil der Beleimungspaletten dauerhaft beschädigt (siehe Abschnitt 4.3.5.8). Aus diesem Grund wurden diese Versuchsläufe zuletzt durchgeführt.

4.3.5.2 Durchführung – 6.3 Einfluss der Papieretiketten

Die Durchführung der Versuchsläufe A bis E umfasste folgende Arbeitsschritte:

- 1) Sortieren der Versuchsetiketten in einem Etikettenstapel, entsprechend den Versuchsparametern und der Flaschenanordnung auf der Flaschentransportstrecke.
- 2) Einsetzen des Etikettenstapels in die Etikettenzuführung der Modul-Etikettiermaschine.
- 3) Aufstellen der Flaschengruppen A, B und C auf der Flaschentransportstrecke, nach den Anforderungen der entsprechenden Versuchsläufe.
- 4) Bestimmen der Klebstofftemperatur an der Leimwalze mittels Thermometer.
- 5) Transport der Versuchsflaschen D aus dem Kühlraum an die Flaschentransportstrecke und Aufstellen der Flaschen auf der Flaschentransportstrecke, nach den Anforderungen der entsprechenden Versuchsläufe.
- 6) Überschwallen der Versuchsflaschen mit Wasser aus dem Drucksprühgerät.
- 7) Starten des Etikettiervorgangs mit $Q_{(EST)} = 25.080$ Flaschen pro Stunde. Etikettieren sämtlicher Flaschen auf der Flaschentransportstrecke.
- 8) Bestimmen der Klebstoffmenge auf den Flaschen der Gruppe B, nach den Vorgaben in Abschnitt 4.3.3 auf Seite 58.

Die Arbeitsschritte 4 – 8 wurden unmittelbar nacheinander und ohne zeitliche Verzögerung durchgeführt.

- 9) Einstellen der Versuchsflaschen D in Getränkekästen. Trocknen der Versuchsflaschen mit Etikett und Etikettierklebstoff im Etikettiertechnikum für mindestens 48 Stunden.

4.3.5.3 Durchführung – 6.4.1 Klebstoffsorten mit unterschiedlichen Abbildeigenschaften

Für die Untersuchung unterschiedlicher Klebstoffsorten wurden die drei Etikettierklebstoffe EK2, EK3 und EK4 miteinander verglichen. Bei allen drei Klebstoffen handelte es sich um Kaseinklebstoffe für die Nassetikettierung mit unterschiedlicher Zusammensetzung. Der Kaseingehalt und die vom Hersteller empfohlenen Verarbeitungstemperaturen der Etikettierklebstoffe sind in Tabelle 8 aufgeführt.

Tabelle 8: Kaseingehalt und empfohlene Verarbeitungstemperatur der Kaseinklebstoffe

Etikettierklebstoff	Kaseingehalt	Verarbeitungstemperatur
EK2	38 %	30 – 36 °C
EK3	37 %	28 – 34 °C
EK4	34 %	26 – 32 °C

Die Abbindeigenschaften der drei Klebstoffsorten wurden nach der in Abschnitt 4.2.4.2 ab Seite 50 beschriebenen, modifizierten Methode nach KEMENATER und BADE [29] bestimmt. Auf die Messung der Haftkraft nach zwei Sekunden wurde bei dieser Versuchsreihe jedoch verzichtet.

Die eingesetzten Klebstoffmengen wurden in drei Klassen eingeteilt (siehe Tabelle 9). Die durchschnittliche Klebstoffmenge wurde nach den Angaben des Maschinenführers der Modul-Etikettiermaschine zwischen $10,0 \text{ g/m}^2$ und $17,0 \text{ g/m}^2$ Etikett festgelegt. Als reduzierte Klebstoffmenge werden die Mengen bezeichnet, die die durchschnittliche Klebstoffmenge unterschreiten. Alle Klebstoffmengen, die die durchschnittliche Klebstoffmenge überschreiten, werden als erhöhte Klebstoffmenge bezeichnet.

Tabelle 9: Einteilung der Klebstoffmengen

Klasse	Klebstoffmenge in g/m^2 Etikett
Reduzierte Klebstoffmenge	$\leq 10,0$
Durchschnittliche Klebstoffmenge	10,0 bis 17,0
Erhöhte Klebstoffmenge	$> 17,0$

Die Durchführung der Versuchsläufe G bis I umfasste folgende Arbeitsschritte:

- 1) Reinigen der Leimstation am Nassleim-Aggregat der Modul-Etikettiermaschine sowie der pneumatischen Leimpumpe mit Wasser.
- 2) Einsetzen der trockenen Leimpumpe in den Vorratseimer des entsprechenden Etikettierklebstoffs. Temperieren des Etikettierklebstoffs auf die vorgegebene Verarbeitungstemperatur.

Die Arbeitsschritte 1 und 2 wurden nur bei einem Wechsel der Klebstoffsorte durchgeführt.

- 3) Sortieren der Versuchsetiketten in einem Etikettenstapel, entsprechend den Versuchsparametern und der Flaschenanordnung auf der Flaschentransportstrecke.
- 4) Einsetzen des Etikettenstapels in die Etikettenzuführung der Modul-Etikettiermaschine.
- 5) Aufstellen der Flaschengruppen A, B und C auf der Flaschentransportstrecke, nach den Anforderungen der entsprechenden Versuchsläufe.
- 6) Bestimmen der Klebstofftemperatur an der Leimwalze mittels Thermometer und einstellen des Leimspaltes, nach den Anforderungen der entsprechenden Versuchsläufe.
- 7) Transport der Versuchsflaschen D aus dem Kühlraum an die Flaschentransportstrecke und Aufstellen der Flaschen auf der Flaschentransportstrecke, nach den Anforderungen der entsprechenden Versuchsläufe.
- 8) Überschwallen der Versuchsflaschen mit Wasser aus dem Drucksprühgerät.
- 9) Starten des Etikettiervorgangs mit $Q_{(EST)} = 25.080$ Flaschen pro Stunde. Etikettieren sämtlicher Flaschen auf der Flaschentransportstrecke.
- 10) Bestimmen der Klebstoffmenge auf den Flaschen der Gruppe B, nach den Vorgaben in Abschnitt 4.3.3 auf Seite 58.

Die Arbeitsschritte 6 – 10 wurden unmittelbar nacheinander und ohne zeitliche Verzögerung durchgeführt.

- 11) Einstellen der Versuchsflaschen D in Getränkekästen. Trocknen der Versuchsflaschen mit Etikett und Etikettierklebstoff im Etikettiertechnikum für mindestens 48 Stunden.

4.3.5.4 Durchführung – 6.4.2 Klebstoffmenge

Die Untersuchung der Klebstoffmenge wurde in den oben genannten Versuchsläufen C sowie G bis I durchgeführt. Die Veränderung der Klebstoffmenge wurde an der Modul-Etikettiermaschine über eine Stellschraube mit Mikrometeranzeige vorgenommen, die den Abstand des Leimschabers zur Leimwalze reguliert. Die Einstellung der Klebstoffmenge erfolgte unmittelbar vor dem Start des Etikettiervorgangs. Die Arbeitsschritte zur Durchführung dieser Versuchsläufe wurden in den Abschnitten 4.3.5.2 und 4.3.5.3 beschrieben.

4.3.5.5 Durchführung – 6.4.3 Verarbeitungstemperatur der Klebstoffe

Die Untersuchungen zum Einfluss der Verarbeitungstemperatur der Etikettierklebstoffe wurden in den Versuchsläufen F durchgeführt. Die Einstellung der Klebstofftemperatur erfolgte über den Thermostaten in der Leimpumpe. Die Arbeitsschritte zur Durchführung dieser Versuchsläufe entsprachen den in Abschnitt 4.3.5.2 beschriebenen Arbeitsschritten.

4.3.5.6 Durchführung – 6.5.1 Aufsetzen der Etiketten auf die Flaschen

Für den Versuchslauf M1 wurde der Kreuzschlitten des Nassleim-Aggregats so positioniert, dass die Etiketten gegenüber ihrer vorgesehenen Position etwa 2 cm weiter links appliziert wurden. Im folgenden Versuchslauf M2 wurde der Kreuzschlitten so eingestellt, dass die Etiketten rund 2 cm weiter rechts von ihrer vorgesehenen Position auf die Flasche gedrückt wurden (vgl. Abbildung 23 auf Seite 29).

Die reversible Beschädigung der Schwämme für Versuchslauf M3 wurde durch Klebebänder umgesetzt, welche die Schwämme der Greiferstationen definiert eindrückten und auf diese Weise am Kontakt mit der Flasche hinderten (siehe Abbildung 43). Die Bezeichnung „links beschädigt“ sagt aus, dass der Schwamm auf seiner linken Seite durch Klebebänder beschädigt wurde. Das Etikett wurde dadurch an seiner rechten Seite nicht vom Schwamm an die Flasche angedrückt.

Die Zuordnung der etikettierten Flaschen auf dem einsträngigen Transportband zum jeweiligen Schwamm wurde realisiert, indem die Etikettiermaschine bei der Etikettierung der ersten Vorlaufflasche gestoppt wurde. Die Nummer der Greiferstation mit dem entsprechenden Schwamm wurde notiert. Da die Anordnung der Flaschen auf dem Band bekannt war, konnte anschließend jeder Versuchflasche der entsprechende Schwamm zugeordnet werden. Voraussetzung für diese Vorgehensweise war, dass keine der Flaschen auf dem Transportband umfällt.

Die Durchführung der Versuchsläufe M1 bis M3 umfasste folgende Arbeitsschritte:

- 1) Sortieren der Versuchsetiketten in einem Etikettenstapel, entsprechend den Versuchsparametern und der Flaschenanordnung auf der Flaschentransportstrecke.
- 2) Einsetzen des Etikettenstapels in die Etikettenzuführung der Modul-Etikettiermaschine.

- 3) Aufstellen der Flaschengruppen A, B und C auf der Flaschentransportstrecke, nach den Anforderungen der entsprechenden Versuchsläufe.
- 4) Bestimmen der Klebstofftemperatur an der Leimwalze mittels Thermometer.
- 5) Transport der Versuchsflaschen D aus dem Kühlraum an die Flaschentransportstrecke und Aufstellen der Flaschen auf der Flaschentransportstrecke nach den Anforderungen der entsprechenden Versuchsläufe.
- 6) Überschallen der Versuchsflaschen mit Wasser aus dem Drucksprühgerät.
- 7) Starten des Etikettiervorgangs mit minimaler Ausbringung im Handbetrieb. Anhalten des Etikettiervorgangs, wenn die erste Flasche etikettiert wurde. Notieren der Greiferstation.
- 8) Starten des Etikettiervorgangs mit $Q_{(EST)} = 25.080$ Flaschen pro Stunde. Etikettieren sämtlicher Flaschen auf der Flaschentransportstrecke.
- 9) Bestimmen der Klebstoffmenge auf den Flaschen der Gruppe B, nach den Vorgaben in Abschnitt 4.3.3 auf Seite 58.

Die Arbeitsschritte 4 – 9 wurden unmittelbar nacheinander und ohne zeitliche Verzögerung durchgeführt.

- 10) Separates Einstellen der Versuchsflaschen D in markierte Getränkekästen, entsprechend der Greiferstation. Trocknen der Versuchsflaschen mit Etikett und Etikettierklebstoff im Etikettiertechnikum für mindestens 48 Stunden.

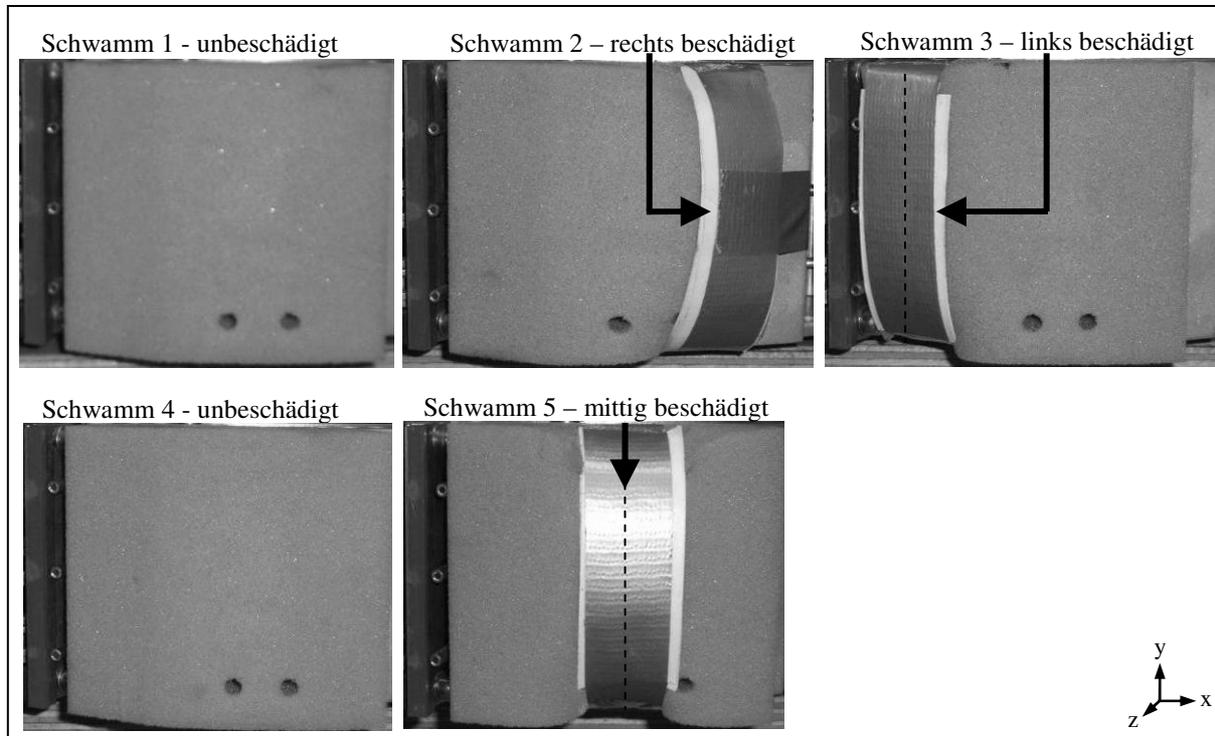


Abbildung 43: Reversible Beschädigung der Schwämme mittels Klebeband

4.3.5.7 Durchführung – 6.5.2 Schrägstellung der Greiferfinger

Eine Schrägstellung der Greiferfinger in Versuchslauf M4 ließ sich an der Modul-Etikettiermaschine im Technikum nur in einem begrenzten Maße realisieren, da das geringe Spiel der Bohrungen in den Greiferfingern wenig Bewegungsfreiheit für die Greiferfinger erlaubte. Diese in der Praxis sinnvolle Begrenzung schränkte die Variationsmöglichkeit bei den Versuchen ein. Abbildung 44 zeigt exemplarisch die Schrägstellung der Greiferfinger von Greiferstation 1. In diesem Beispiel zeigen die beiden oberen Greiferfinger nach unten, der untere Greiferfinger nach oben. Die Fingerstellung der übrigen Greiferstationen ist in Tabelle 10 aufgelistet.

Die Zuordnung der etikettierten Flaschen auf dem einsträngigen Transportband zur jeweiligen Greiferstation wurde wie in Abschnitt 4.3.5.6 beschrieben durchgeführt. Voraussetzung für diese Vorgehensweise war wiederum, dass keine der Flaschen auf dem Transportband umfällt.

Die Arbeitsschritte zur Durchführung des Versuchslaufs M4 entsprach ebenfalls den Arbeitsschritten in Abschnitt 4.3.5.6.

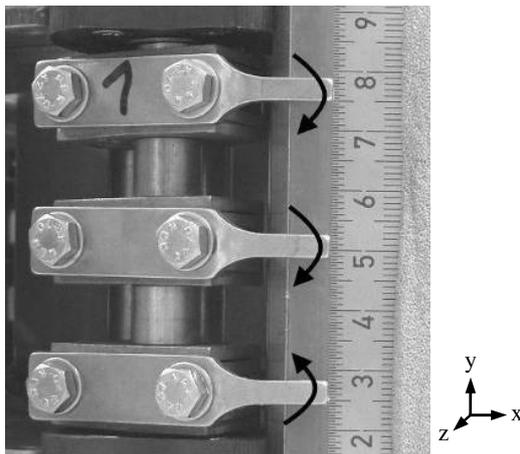


Abbildung 44: Schrägstellung der Greiferfinger bei Greiferstation 1

Tabelle 10: Schrägstellung der Greiferfinger aller Greiferstationen

Greiferstation	Greiferfinger	Stellung
1	Oben	Zeigt nach unten
	Mitte	Zeigt nach unten
	Unten	Zeigt nach oben
2	Oben	Zeigt nach unten
	Mitte	Zeigt nach unten
	Unten	Zeigt nach unten
3	Oben	Gerade
	Mitte	Gerade
	Unten	Gerade
4	Oben	Zeigt nach unten
	Mitte	Zeigt nach unten
	Unten	Gerade
5	Oben	Gerade
	Mitte	Zeigt nach unten
	Unten	Gerade

4.3.5.8 Durchführung – 6.5.3 Beleimungspaletten

Mit den Versuchsläufen M5 bis M8 sowie M10 und M11 wurden die Auswirkungen von vergrößerten Aussparungen an den Beleimungspaletten untersucht. Hierfür wurden die Aussparungen der Beleimungspalette 5 leicht, die Aussparungen der Paletten 2 und 4 stark vergrößert. Die Beleimungspaletten 1 und 2 wurden nicht verändert. Die Abdrücke der Beleimungspaletten sind in Abbildung 45 dargestellt und zeigen das Ausmaß der Aussparungsvergrößerungen (siehe Pfeile).

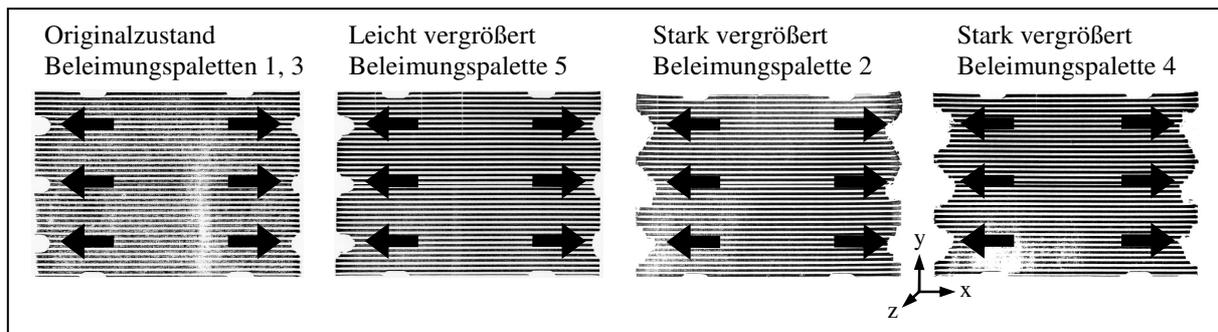


Abbildung 45: Abdruck der Beleimungspaletten nach Beschädigung

Die Zuordnung der etikettierten Flaschen auf dem einsträngigen Transportband zur jeweiligen Beleimungspalette wurde realisiert, indem die Etikettiermaschine bei der Etikettierung der ersten Vorlaufflasche gestoppt wurde. Die Nummer der Greiferstation mit dem entsprechenden Schwamm wurde notiert. Da die Anordnung der Flaschen auf dem Band bekannt war, konnte anschließend jeder Versuchflasche die entsprechende Beleimungspalette zugeordnet werden. Voraussetzung für diese Vorgehensweise war, dass keine der Flaschen auf dem Transportband umfällt.

Die Arbeitsschritte zur Durchführung dieser Versuchsläufe entsprach den in Abschnitt 4.3.5.6 beschriebenen Arbeitsschritten.

4.3.5.9 Durchführung – 6.6.1 Feuchtigkeit auf der Flaschenoberfläche

Die Versuchsläufe M9 Nummer 9-5a und M12 Nummer 9-8a wurden durchgeführt, um den Einfluss der Feuchtigkeit auf der Flaschenoberfläche auf die Faltenbildung beurteilen zu können. Hierfür wurden die Flaschen des Versuchslaufs M9 feucht etikettiert, während bei Versuchslauf M12 auf die Überschwallung mit dem Drucksprühergerät vor der Etikettierung verzichtet wurde.

Die Durchführung der beiden Versuchsläufe umfasste folgende Arbeitsschritte:

- 1) Sortieren der Versuchsetiketten in einem Etikettenstapel, entsprechend den Versuchsparametern und der Flaschenanordnung auf der Flaschentransportstrecke.
- 2) Einsetzen des Etikettenstapels in die Etikettenzuführung der Modul-Etikettiermaschine.
- 3) Aufstellen der Flaschengruppen A, B und C auf der Flaschentransportstrecke, nach den Anforderungen der entsprechenden Versuchsläufe.

- 4) Bestimmen der Klebstofftemperatur an der Leimwalze mittels Thermometer.
- 5) Transport der Versuchsflaschen D aus dem Kühlraum an die Flaschentransportstrecke und Aufstellen der Flaschen auf der Flaschentransportstrecke, nach den Anforderungen der entsprechenden Versuchsläufe.
- 6) Versuchslauf M9 Nummer 9-5a: Überschwallen der Versuchsflaschen mit Wasser aus dem Drucksprühgerät.
- 7) Starten des Etikettiervorgangs mit $Q_{(EST)} = 25.080$ Flaschen pro Stunde. Etikettieren sämtlicher Flaschen auf der Flaschentransportstrecke.
- 8) Bestimmen der Klebstoffmenge auf den Flaschen der Gruppe B, nach den Vorgaben in Abschnitt 4.3.3 auf Seite 58.

Die Arbeitsschritte 4 – 8 wurden unmittelbar nacheinander und ohne zeitliche Verzögerung durchgeführt.

- 9) Einstellen der Versuchsflaschen D in Getränkekästen. Trocknen der Versuchsflaschen mit Etikett und Etikettierklebstoff im Etikettiertechnikum für mindestens 48 Stunden.

4.3.5.10 Durchführung – 6.6.2 Nachträgliche Überschwallung etikettierter Flaschen

Der Einfluss einer nachträglichen Überschwallung etikettierter Flaschen mit Wasser aus dem Drucksprühgerät wurde in den Versuchsläufen M8, M9 und M12 untersucht. Dazu wurden die Flaschen der Versuchsläufe M8 und M9 feucht etikettiert, während bei Versuchslauf M12 auf eine Überschwallung mit dem Drucksprühgerät vor der Etikettierung verzichtet wurde. Etwa fünf bis zehn Minuten nach der Etikettierung wurden die Versuchsflaschen der Versuchsläufe M8 Nummer 9-4b, M9 Nummer 9-5b und M12 Nummer 9-8b erneut mit Wasser aus dem Drucksprühgerät überschwallt. Die Etiketten wurden dabei für kurze Zeit vollständig mit Wasser benetzt.

Die Durchführung der Versuchsläufe umfasste folgende Arbeitsschritte:

- 1) Sortieren der Versuchsetiketten in einem Etikettenstapel, entsprechend den Versuchsparametern und der Flaschenanordnung auf der Flaschentransportstrecke.
- 2) Einsetzen des Etikettenstapels in die Etikettenzuführung der Modul-Etikettiermaschine.
- 3) Aufstellen der Flaschengruppen A, B und C auf der Flaschentransportstrecke, nach den Anforderungen der entsprechenden Versuchsläufe.
- 4) Bestimmen der Klebstofftemperatur an der Leimwalze mittels Thermometer.
- 5) Transport der Versuchsflaschen D aus dem Kühlraum an die Flaschentransportstrecke und Aufstellen der Flaschen auf der Flaschentransportstrecke, nach den Anforderungen der entsprechenden Versuchsläufe.
- 6) Versuchsläufe M8 und M9: Überschwallen der Versuchsflaschen mit Wasser aus dem Drucksprühgerät.

- 7) Starten des Etikettiervorgangs mit minimaler Ausbringung im Handbetrieb. Anhalten des Etikettiervorgangs, wenn die erste Flasche etikettiert wurde. Notieren der Greiferstation.
- 8) Starten des Etikettiervorgangs mit $Q_{(EST)} = 25.080$ Flaschen pro Stunde. Etikettieren sämtlicher Flaschen auf der Flaschentransportstrecke.
- 9) Bestimmen der Klebstoffmenge auf den Flaschen der Gruppe B, nach den Vorgaben in Abschnitt 4.3.3 auf Seite 58.

Die Arbeitsschritte 4 – 9 wurden unmittelbar nacheinander und ohne zeitliche Verzögerung durchgeführt.

- 10) Versuchsläufe M8 Nummer 9-4b, M9 Nummer 9-5b und M12 Nummer 9-8b: Nachträgliches Überschwallen der etikettierten Versuchsflaschen mit Wasser aus dem Drucksprüngerät.
- 11) Versuchslauf M8: Separates Einstellen der Versuchsflaschen D in markierte Getränkekästen, entsprechend der Greiferstation. Trocknen der Versuchsflaschen mit Etikett und Etikettierklebstoff im Etikettiertechnikum für mindestens 48 Stunden.

Versuchsläufe M9 und M12: Einstellen der Versuchsflaschen D in Getränkekästen. Trocknen der Versuchsflaschen mit Etikett und Etikettierklebstoff im Etikettiertechnikum für mindestens 48 Stunden.

4.4 Versuche im Labormaßstab

Die Versuche im Labormaßstab wurden an der VLB Berlin, im Etikettenprüfraum der Verpackungsprüfstelle des Forschungsinstituts für Maschinen- und Verpackungstechnik, bei Normalklima [22] durchgeführt.

4.4.1 Simulation der Faltenbildung und deren Rückbildung

Die Faltenbildung an Papieretiketten bei Kontakt mit Feuchtigkeit und deren Rückbildung beim Abtrocknen des Etikettenpapiers wurde anhand plan aufliegender Etikettenstreifen nachgestellt. Die 15 mm breiten Streifen wurden mit einem Probenschneider vom Typ RP15 der Karl Schröder KG aus unterschiedlichen Etiketten ausgeschnitten. Die verwendeten Etiketten stammen aus den Versuchen im industriellen Maßstab (siehe Abschnitt 4.3.2). Auf die Zuordnung der Basispapiere wurde an dieser Stelle verzichtet, da in dieser Versuchsreihe die Bildung und Rückbildung der Falten, unabhängig von der Papiersorte, beobachtet werden sollte. Die Etikettenstreifen wurden, bis auf einen rund ein Zentimeter breiten Bereich in der Mitte des Streifens, quer zu ihrer Längsachse mit durchsichtigem Klebeband auf einer festen Unterlage fixiert (siehe Abbildung 46). Mit Hilfe dieser Anordnung wurde der klebstofffreie Bereich, der bei den applizierten Etiketten durch die Greiferfingerlücken in den Belemungspaletten hervorgerufen wird, nachgestellt. Dieser freie Bereich wurde mit Wasser unterspritzt um die Auswirkungen der Feuchtigkeit auf der Flaschenoberfläche und der Schweißwasserbildung in Form von Faltenbildung sichtbar zu machen. Die Ausdehnung der Falten wurde mit

einer FinePix F455 Digitalkamera der Fuji Photo Film CO., LTD im trockenen Ausgangszustand, im feuchten Zustand bei maximaler Ausdehnung und nach dem vollständigen Abtrocknen festgehalten.

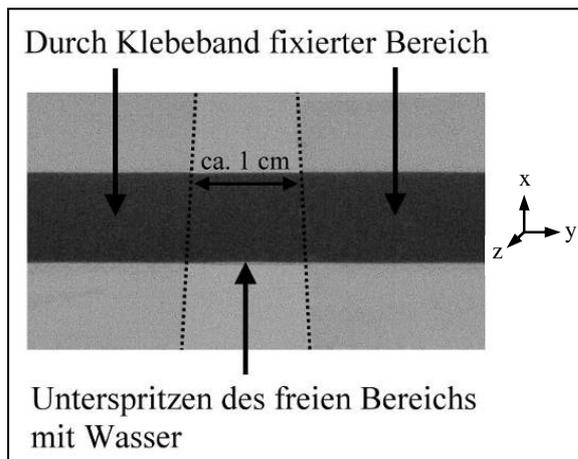


Abbildung 46: Versuchsanordnung zur Simulation der Faltenbildung und Rückbildung

4.4.2 Nachstellen des Etikettiervorgangs

Wie in Abschnitt 2.4 Grundlagen der Nassetikettierung mit Papieretiketten beschrieben, umfasst der Etikettiervorgang sechs Arbeitsschritte. Diese wurden mit einem eigens konstruierten Beleimungsgerät nachgestellt.

4.4.2.1 Beleimungsgerät zum Nachstellen des Etikettiervorgangs

1. Arbeitsschritt: Beleimung der Beleimungspaletten

Der erste Arbeitsschritt bei der Nassetikettierung, die Beleimung der Beleimungspaletten, wurde mit dem in Abbildung 47 dargestellten Leimauftragsgerät vom Typ KCCL der Gockel und Co. GmbH durchgeführt. Dieses besteht aus den Komponenten Motor, Glasfläche und dem vom Motor angetriebenen Schlitten mit Raketstange und den beiden Gewichten. Das Leimauftragsgerät wurde um zwei mit der Bodenplatte verschraubte, höhenverstellbare Seitenwände, zwei U-Profilleisten und drei Gewichtsplatten erweitert. Die Höhe der Seitenwände wurde so eingestellt, dass die Beleimungspalette in jedem Anstellwinkel und in jeder Position der Welle auf den Seitenwänden denselben Abstand zur Glasplatte hatte. Die Beleimungspalette war an der Welle frei drehbar gelagert, begrenzt durch Ringe mit Madenschrauben, die sicherstellten, dass die Position der Beleimungspalette auf der Welle gleich bleibend war. Die zusätzlich an der Welle befestigten Begrenzungsringe gewährleisteten, dass die Welle stets senkrecht zu den Seitenwänden geführt wurde und die Stellung der Beleimungspalette entlang der Glasplatte konstant war. Das gummierte Streifenprofil sowie die Abmessung der Beleimungspalette entsprechen mit einer Breite von 113,0 mm und einer Höhe von 79,5 mm den Paletten der Modul-Etikettiermaschine im Etikettiertechnikum. Die Raketstange, mit welcher der Etikettierklebstoff auf der Glasplatte ausgestrichen wurde, besaß bei diesen Versuchen eine Rillentiefe von 100 μm . Der Motor erlaubt eine stufenlose Regelung

der Vortriebsgeschwindigkeit des Schlittens zwischen 1,5 m/min (Stufe 1) und 16,7 m/min (Stufe 10).

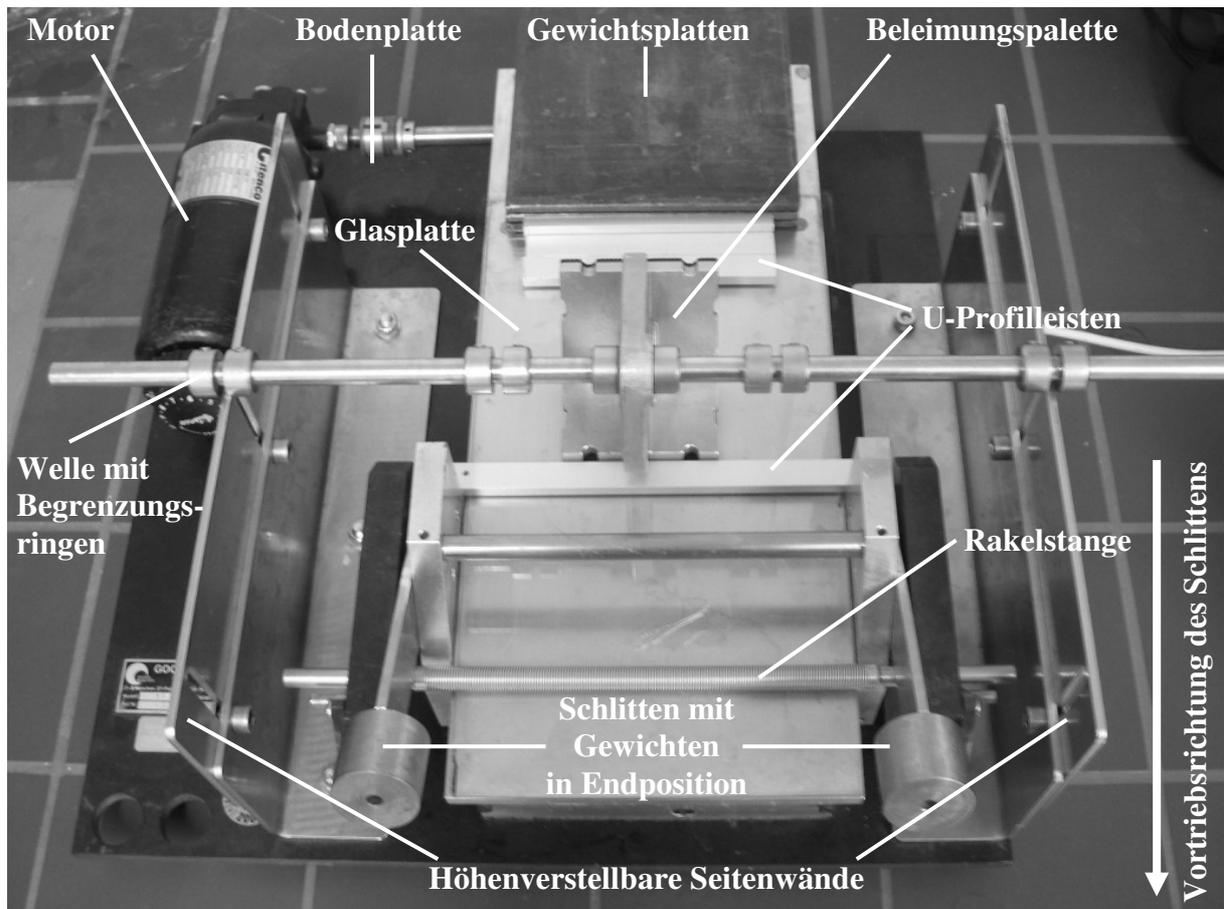


Abbildung 47: Vorrichtung zum Beleimen der Beleimungspalette

2. und 3. Arbeitsschritt: Entnahme der Etiketten und Übergabe an den Greiferzylinder

Die Entnahme der Etiketten aus dem Etikettenbehälter, bei dem der Etikettierklebstoff von der Beleimungspalette auf die Etiketten übertragen wird, und die Übergabe der Etiketten an den Greiferzylinder erfolgten in der in Abbildung 48 und Abbildung 49 dargestellten Vorrichtung. Diese besteht aus einem U-förmigen Blech mit höhenverstellbaren Seitenwänden, die so justiert wurden, dass die Beleimungspalette mit konstantem Abstand über die Kunststoffplatte beziehungsweise die Etiketten geführt werden konnte. Die inneren Begrenzungsringe auf der Welle stellten sicher, dass die Welle stets senkrecht zu den Seitenwänden geführt wurde und die Stellung der Beleimungspalette über den Etiketten konstant war. Die Etiketten wurden in dieser Vorrichtung zwischen der Kunststoffplatte und der mit der Kunststoffplatte verbundenen Greiferfingerplatte eingeklemmt und mit einer Klemme fixiert.

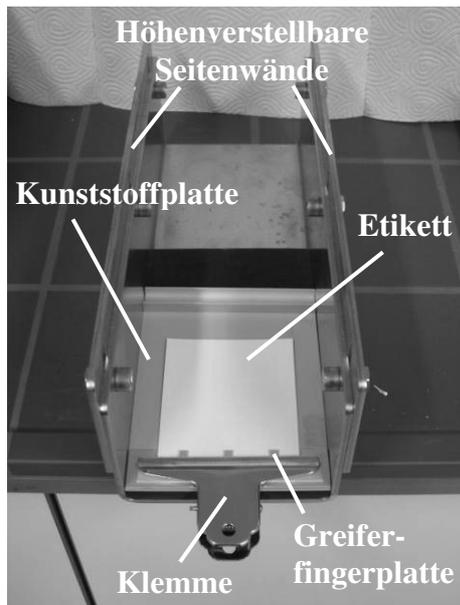


Abbildung 48: Vorrichtung zum Beleimen der Etiketten

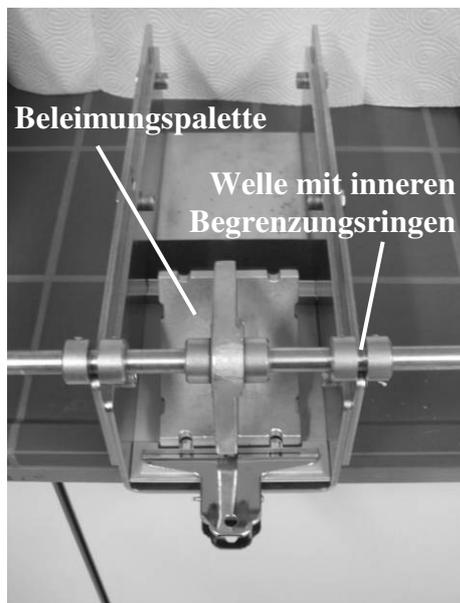


Abbildung 49: Beleimungspalette vor dem Übertragen des Etikettierklebstoffs auf das Etikett

4. Arbeitsschritt: Aufsetzen der Etiketten auf die Flaschen

Für das Aufsetzen der Etiketten auf die Flaschen wurde die Kunststoffplatte mit der Greiferfingerplatte, wie in Abbildung 50 verdeutlicht, auf die vorbereiteten NRW-Flaschen gedrückt. Als Gegengewicht zur Stabilisierung der Versuchsflaschen diente ein Anschlagblock aus Metall.



Abbildung 50: Aufsetzen der Etiketten auf die Flaschen

5. Arbeitsschritt: Anbürsten der Etiketten

Unmittelbar nach dem Aufsetzen des Etiketts auf die Flasche erfolgte das Anbürsten der Etiketten mit der in Abbildung 51 dargestellten Anbürststation.



Abbildung 51: Anbürststation

6. Arbeitsschritt: Abtrocknen der Flaschen

Die etikettierten Flaschen wurden im Anschluss an die Etikettierung in einem Klimaschrank vom Typ HC4020 der Heraeus-Vötsch GmbH (siehe Abschnitt 11.4, Tabelle 63) für 24 Stunden getrocknet. Als Trocknungsparameter wurden 23 °C bei 35 % rF beziehungsweise 18 °C bei 80 % rF gewählt, in Anlehnung an die klimatischen Bedingungen in den beiden Lagerhallen der Brauerei 2 (siehe Abschnitt 5.1.3 ab Seite 84).

4.4.2.2 Papieretiketten der Versuche im Labormaßstab

Für die Versuche im Labormaßstab wurde die Etikettensorte B1M4 der Brauerei 1 verwendet. Bei den Etiketten der Marke B1M4 handelt es sich um geprägte und metallisierte Etiketten mit einer flächebezogenen Masse von 68 g/m². Die Bestimmung der dynamische Nassdehnung und der Hysterese dieser Etikettensorte wurde wie in Abschnitt 4.2.3.3 beschrieben durchgeführt.

Für die Versuche zum Nachstellen des Etikettiervorgangs wurden die Etiketten der Marke B1M4 von ihrer ursprünglichen Größe (100 mm Höhe und 90 mm Breite) auf eine Höhe von 79 mm und eine Breite von 90 mm zugeschnitten, damit sie mit der oben beschriebenen Beileimungspalette verarbeitet werden konnten.

4.4.2.3 Etikettierklebstoff und übertragene Klebstoffmenge

Die Versuche im Labormaßstab wurden mit dem Etikettierklebstoff EK1 durchgeführt, der bereits bei den Versuchen im industriellen Maßstab Verwendung gefunden hat.

Die auf die Etiketten übertragene Klebstoffmenge wurde an jeweils zehn Etiketten, durch eine Vergleichswägung zwischen unbeleimtem und beleimtem Etikett, auf einer AC 211 S Analysenwaage (siehe Tabelle 53 auf Seite 192) bestimmt. Die Berechnung der übertragenen Klebstoffmenge erfolgte nach Formel 4.

Formel 4: $m_{\text{Beleimtes Etikett}} - m_{\text{Etikett}} = m_{\text{Übertragene Klebstoffmenge}}$

4.4.2.4 Durchführung der Versuche im Labormaßstab

Vorbereitung der Versuche

Für die Versuche im Labormaßstab wurden NRW-Flaschen ohne Heiß- und Kaltendvergütung eingesetzt, die mit Wasser befüllt und anschließend mit Kronkorken verschlossen wurden. Diese Flaschen wurden mindestens zwölf Stunden in einem Kühlschrank auf eine Temperatur von 6 °C gekühlt.

Der Etikettierklebstoff EK1 wurde in eine Kunststoffflasche mit einer acht Millimeter weiten Öffnung umgefüllt und in einem Wasserbad vom Typ Haake L mit Haake D1 Thermostat der Firma Thermo Fisher Scientific Inc. auf 31 °C temperiert. Auf diese Weise konnte der Etikettierklebstoff gleichmäßig und mit der vom Hersteller empfohlenen Verarbeitungstemperatur vor der Rakel aufgetragen werden. Gleichzeitig verhinderte der Verschluss der Kunststoffflasche ein Austrocknen des Etikettierklebstoffs.

Durchführung der Etikettierung

Die Durchführung der Etikettierung im Labormaßstab umfasste folgende Arbeitsschritte:

- 1) Schlitten des Leimauftragsgeräts in die Ausgangsposition bringen (Abbildung 47 zeigt den Schlitten in der Endposition).
- 2) Einstellen der Motorgeschwindigkeit.

- 3) Auflegen der Gewichtsplatten auf die gereinigte Glasplatte (siehe Abbildung 47).
- 4) Einspannen der Rakel. Die Gewichte kommen dabei nicht zum Einsatz.
- 5) Einlegen des Etiketts zwischen Kunststoffplatte und Greiferfingerplatte. Anschließend mit der Klemme festklemmen (siehe Abbildung 48). Der Faserlauf des Etiketts verläuft parallel zu den Führungsschienen.

6) Vorbehandeln der Flaschen:

Durch eine gezielte Vorbehandlung der Flaschen wird der Einfluss der Schweißwasserbildung auf den Flaschen vor und nach der Etikettierung simuliert. Zudem wird durch das vollständige Untertauchen der Flaschen in einem Wasserbad das Abduschen der Flaschen nach der Verschleißmaschine, zur Entfernung von Produktresten, nachgestellt.

- Flaschen ohne Schweißwasserbildung oder Untertauchen: Entnahme einer Flasche aus dem Kühlschrank.
- Flaschen mit Schweißwasserbildung: Entnahme einer Flasche aus dem Kühlschrank. Für die Bildung von Schweißwasser auf der kalten Flaschenoberfläche wird die Flasche fünf Minuten im Normalklima gelagert.
- Flaschen mit Untertauchen: Entnahme einer Flasche aus dem Kühlschrank und vollständiges Untertauchen in einem mit Wasser befüllten Becken.
- Flaschen mit Schweißwasserbildung und Untertauchen: Entnahme einer Flasche aus dem Kühlschrank. Für die Bildung von Schweißwasser auf der kalten Flaschenoberfläche wird die Flasche fünf Minuten im Normalklima gelagert. Anschließend wird die Flasche vollständig in einem mit Wasser befüllten Becken untergetaucht.

Im Anschluss an die Vorbehandlung werden die Flaschen vor den Anschlagblock gestellt (siehe Abbildung 50). Dabei ist darauf zu achten, dass eine der beiden Flaschennähte senkrecht auf den Anschlagblock zeigt. Dies gewährleistet, dass sich die Flaschennähte stets in der Mitte der Etiketten befinden und keinen Einfluss auf die Faltenbildung an den Etikettenseiten ausüben können.

- 7) Auftragen eines etwa acht Millimeter breiten Streifens Etikettierklebstoff aus der temperierten Kunststoffflasche, unmittelbar vor die Rakel.
- 8) Einschalten des Motors. Dies führt dazu, dass der Schlitten mit der Rakelstange in die Endposition fährt (siehe Abbildung 47) und die Rakel den Streifen Etikettierklebstoff gleichmäßig auf der Glasplatte verteilt.
- 9) Umklappen der Gewichte, so dass die Rakelstange belastet wird. Einlegen der beiden U-Profilleisten, die dem Schlupf der Beleimungspalette auf dem Etikettierklebstoff entgegenwirken und das Verrutschen der Beleimungspalette beim Abrollen auf dem Etikettierklebstoff verhindern.
- 10) Einsetzen der Beleimungspalette in die Beleimungsapparatur (siehe Abbildung 47), so dass die Beleimungspalette mit der Seite der Greiferfingerlücken an der vorderen U-

Profilleiste aufliegt, ohne mit der beleimten Glasplatte in Kontakt zu treten. Die äußeren Begrenzungsringe führen die Welle auf den Seitenwänden.

- 11) Abrollen der Beleimungspalette auf der mit Etikettierklebstoff benetzten Glasplatte, bis die Palette auf der hinteren U-Profilleiste aufliegt und die Glasplatte nicht mehr berührt. Die Welle wird dabei ausschließlich an den äußeren Begrenzungsringen über den Seitenwänden geführt, wodurch die Beleimungspalette mit einer konstanten Druckkraft auf der Glasplatte abrollt und Etikettierklebstoff aufnimmt.
- 12) Einsetzen der Beleimungspalette in die Vorrichtung zum Beleimen der Etiketten (siehe Abbildung 49), so dass die Beleimungspalette mit der Seite der Greiferfingerlücken an der Greiferfingerplatte aufliegt, ohne mit dem eingespannten Etikett in Kontakt zu treten. Die inneren Begrenzungsringe führen die Welle auf den Seitenwänden.
- 13) Abrollen der Beleimungspalette auf dem Etikett. Die Welle wird dabei ausschließlich an den inneren Begrenzungsringen über den Seitenwänden geführt, wodurch die Beleimungspalette mit einer konstanten Druckkraft auf dem Etikett abrollt und den Etikettierklebstoff auf das Etikett überträgt.
- 14) Öffnen der Klammer und Entnahme der Kunststoffplatte mit dem eingeklemmten Etikett.
- 15) Aufsetzen des Etiketts auf die Naht der Glasflasche (siehe Abbildung 50). Durch leichtes Biegen der Kunststoffplatte wird das Etikett freigegeben und haftet aufgrund der Anfangshaftung an der Flasche.
- 16) Anbürsten des Etiketts durch dreimaliges durchfahren der Anbürststation (siehe Abbildung 51). Dabei wird das Etikett zunächst mittig, anschließend jeweils die Etikettenseiten, durch vorheriges drehen der Flaschen um 45° zur Flaschenachse, angebürstet.

5 Untersuchung des Etikettiervorgangs in Brauereien

Ziel dieser Arbeit ist die Aufschlüsselung der Vorgänge bei der Faltenbildung und die Identifikation der Einflussgrößen. Der erste von drei Teilbereichen zur Generierung der hierfür erforderlichen Datenbasis umfasst die Untersuchung des Etikettiervorgangs von sieben Biermarken in drei Brauereien.

Die Diskussion und Bewertung der Ergebnisse erfolgt anschließend in Kapitel 8, getrennt von der reinen Darstellung der Ergebnisse in den Kapiteln 5, 6 und 7. Diese strikte Trennung erscheint notwendig, da aufgrund der komplexen Zusammenhänge bei der Nassetikettierung eine isolierte Betrachtung einzelner Ergebnisse nicht zielführend ist.

5.1 Rahmenbedingungen der Etikettierung

Als Grundlage für die Versuche im Industrie- und Labormaßstab in den Kapiteln 6 und 7 wurden die Rahmenbedingungen während der Etikettierung in den drei Brauereien aufgenommen. Die Aufzeichnungen umfassen die Lagerung der Etiketten, die Kenngrößen der an der Etikettierung beteiligten Komponenten sowie die Lagerbedingungen der etikettierten Flaschen im Vollgut-Lager.

5.1.1 Lagerung der Etiketten

Die einwandfreie Verarbeitbarkeit von Papieretiketten, auch nach einer längeren Lagerzeit, setzt geeignete klimatische Bedingungen voraus. Um eine Vorschädigung der Etiketten durch unsachgemäße Lagerung und damit eine Beeinflussung der Ergebnisse in diesem Kapitel beurteilen zu können, wurden die Lagerbedingungen und der Zustand der Etiketten in den untersuchten Brauereien mittels Datenlogger und Stechhygrometer protokolliert.

Brauerei 1

Das Etiketten-Lager von Brauerei 1 befindet sich in einem quadratischen, rund 200 m² großen Raum, der über drei Ventilatoren belüftet werden kann. Die Lüfter werden nach Brauereiangaben jedoch nicht eingesetzt. Durch ein Oberlicht wird der Raum schwach beleuchtet, so dass keine direkte Sonneneinstrahlung auf die Etiketten fällt. Die Lagerung der Etiketten erfolgt bis zum unmittelbaren Gebrauch in der Transportverpackung. Diese besteht aus Europoolpaletten, auf denen die Etiketten in einer mit Folie eingewickelten Umverpackung aus Karton stehen.

In Abbildung 52 sind die Temperatur in °C und die relative Luftfeuchtigkeit in Prozent abgebildet. Die Daten wurden über einen Zeitraum von sechs Tagen im Etiketten-Lager aufgezeichnet und bewegen sich größtenteils im Rahmen der empfohlenen Grenzen von 18 °C bis 23 °C und 55 % bis 65 % rF. Die Temperaturempfehlung wird mit 24 °C nur kurzfristig überschritten.

Der Zustand der Etiketten wurde mittels Stechhygrometer bestimmt. Die Entnahme der Stapel aus der Transportverpackung erfolgte erst unmittelbar vor der Messung. Die Temperatur befand sich mit 22 °C im empfohlenen Rahmen. Auch die relative Luftfeuchtigkeit lag, nach Einstellung der Gleichgewichtsfeuchte, mit 52 % rF nur unwesentlich darunter. Sämtliche Einzelmessungen zur Lagerung der Etiketten sind für die drei Brauereien in Abschnitt 11.5 auf Seite 195 aufgeführt.

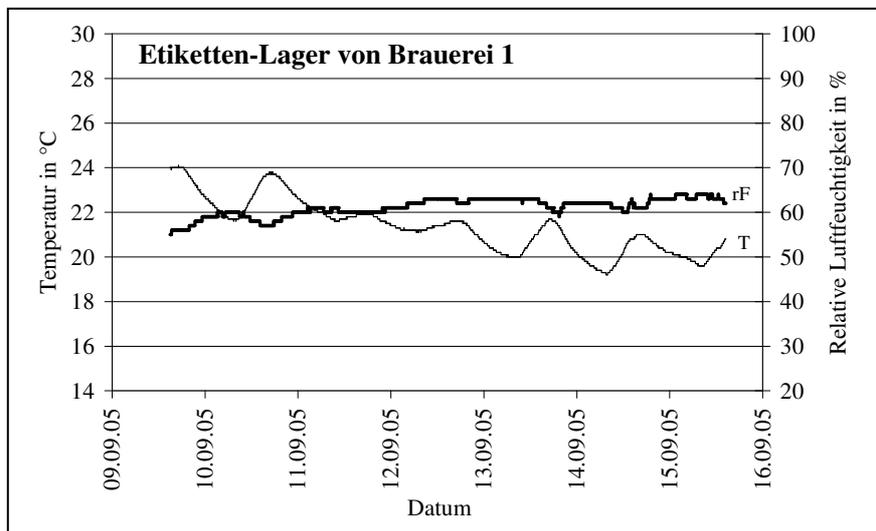


Abbildung 52: T und rF im Etiketten-Lager der Brauerei 1

Brauerei 2

Bei Brauerei 2 ist das Etiketten-Lager L-förmig angelegt und nimmt eine Gesamtfläche von rund 330 m² ein. Der Raum verfügt über keine speziellen Belüftungseinrichtungen und wird durch mehrere Fenster hell ausgeleuchtet. Die Lagerung der Etiketten erfolgt bis zum unmittelbaren Gebrauch in der Transportverpackung, bestehend aus Europoolpaletten, Umverpackung aus Karton und Folierung.

Im Gegensatz zu den Aufzeichnungen von Brauerei 1 unterschreiten die über 22 Tage protokollierte Temperatur und relative Luftfeuchtigkeit die empfohlenen Richtwerte deutlich (siehe Abbildung 53). Die Temperatur schwankt zwischen 14 °C und 19 °C, während die relative Luftfeuchtigkeit zwischen 30 % und 55 % rF variiert.

Dementsprechend lag die relative Luftfeuchtigkeit im Etikettenstapel mit 47 % rF bei 22 °C niedriger als bei den zwei anderen Brauereien.

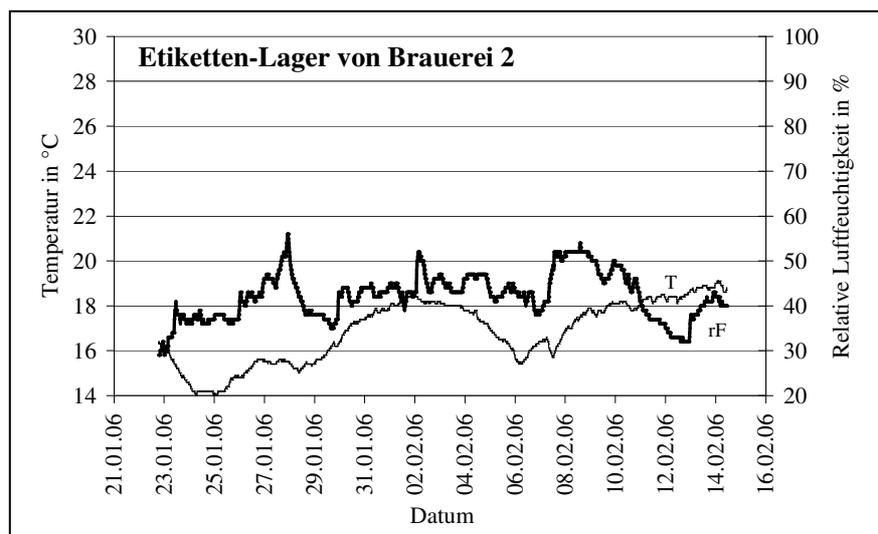


Abbildung 53: T und rF im Etiketten-Lager der Brauerei 2

Brauerei 3

Die Lagerung der Etiketten erfolgt in Brauerei 3 in einem etwa 230 m² großen Raum mit Belüftungseinrichtungen, die jedoch nicht in Gebrauch waren. Der Raum ist hell, allerdings ohne direkte Sonneneinstrahlung auf die Etiketten. Die Lagerung der Etiketten bis zum Gebrauch erfolgt wie in den beiden anderen Brauereien auf Europoolpaletten in Karton und Folie.

Eine Aufzeichnung der Temperatur und relativen Luftfeuchtigkeit im Etiketten-Lager mit dem Datenlogger wurde nicht durchgeführt.

Dagegen wurde der Zustand der Etiketten im Etiketten-Lager mittels Stechhygrometer kontrolliert. Die Temperatur lag mit 19 °C im empfohlenen Rahmen. Die relative Luftfeuchtigkeit wurde, nach Einstellung der Gleichgewichtsfeuchte, mit 53 % rF gemessen und lag nur unwesentlich unter den Empfehlungen.

5.1.2 Rahmenbedingungen während der Etikettierung

An der Etikettiermaschine werden die an der Etikettierung direkt beteiligten Komponenten zusammengeführt. Es wird vermutet, dass die Rahmenbedingungen die bei diesem Zusammentreffen vorherrschen, einen Einfluss auf das Ergebnis der Etikettierung ausüben können. Aus diesem Grund wurden die klimatischen Bedingungen während der Etikettierung sowie weitere Kenngrößen, die das Etikettierergebnis beeinflussen könnten, dokumentiert.

Klimatische Bedingungen an den Etikettiermaschinen

Die während dem Etikettiervorgang der einzelnen Biermarken aufgezeichnete Temperatur und relative Luftfeuchtigkeit der unmittelbaren Umgebungsluft der Etikettiermaschinen ist Abbildung 54 bis Abbildung 57 zu entnehmen.

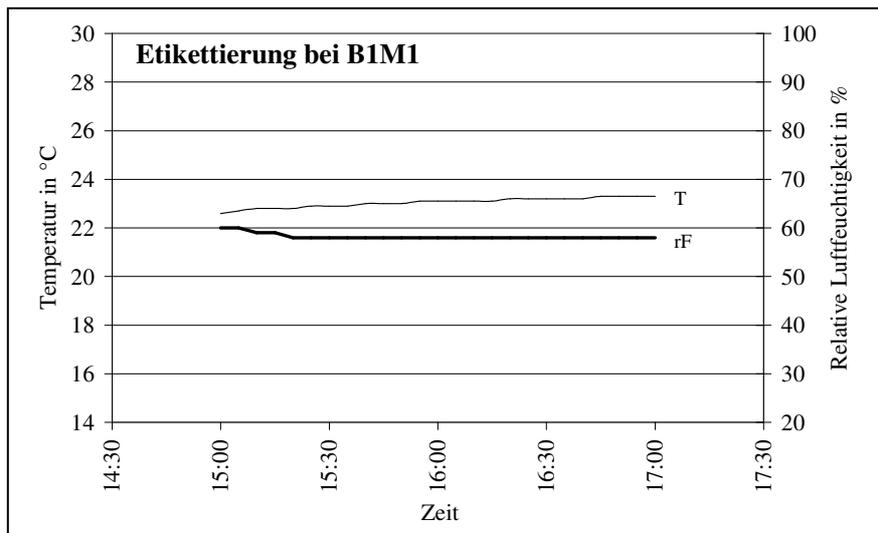


Abbildung 54: T und rF an der Etikettiermaschine – B1M1

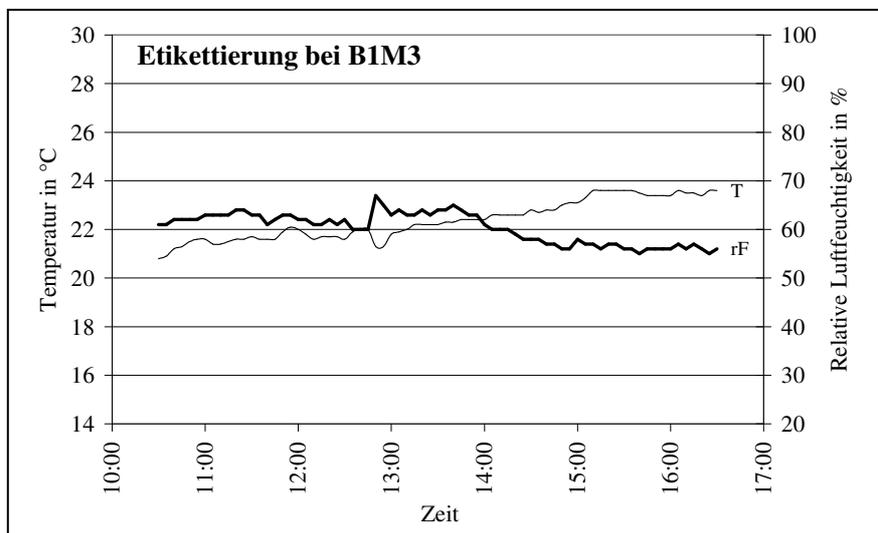


Abbildung 55: T und rF an der Etikettiermaschine – B1M3

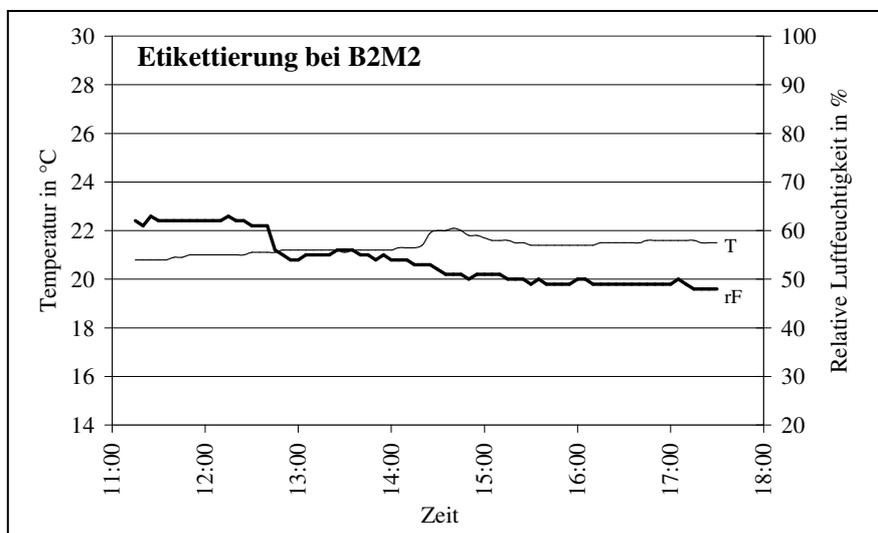


Abbildung 56: T und rF an der Etikettiermaschine – B2M2

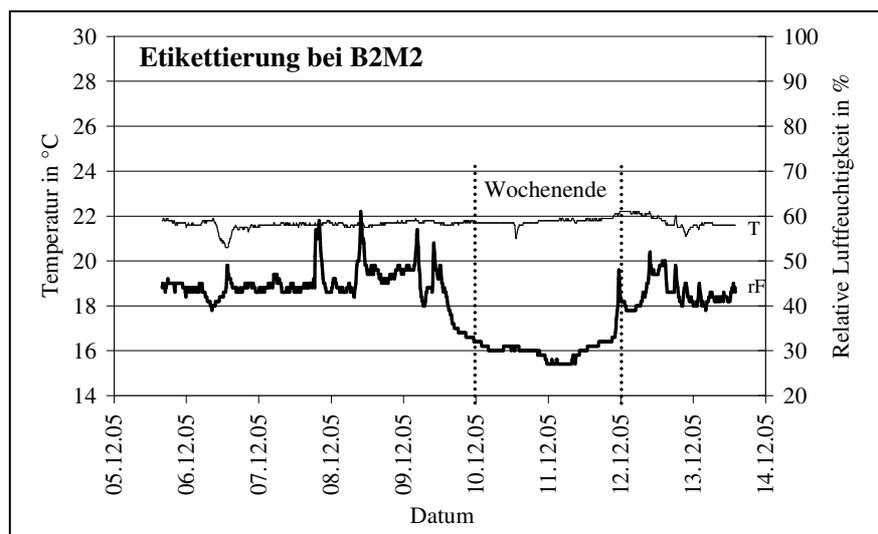


Abbildung 57: T und rF an der Etikettiermaschine über eine Woche – B2M2

Bei den untersuchten Brauereien lag die relative Luftfeuchtigkeit zumeist zwischen 50 % und 60 % rF, mindestens jedoch bei 40 % rF. Die Temperatur bewegte sich zwischen 20 °C und 24 °C.

Aus Abbildung 57 geht hervor, dass die relative Luftfeuchtigkeit während eines Produktionsstillstandes am Wochenende auf < 30 % rF absinken kann, um bei Wiederaufnahme der Produktion erneut sprunghaft anzusteigen.

Kenngrößen an der Etikettierung beteiligter Komponenten

Während der Etikettierung wurden, neben den Umweltbedingungen, die klimatische Gleichgewichtsfeuchte im Etikettenstapel, die Abfülltemperatur des Produktes, die Verarbeitungstemperatur des Etikettierklebstoffs und die Feuchtigkeit auf der Flaschenoberfläche unmittelbar vor der Etikettiermaschine bestimmt. Die Ergebnisse sind in Tabelle 11 aufgelistet (Einzelmessungen siehe Abschnitt 11.6 ab Seite 196).

Die Temperatur und die relative Luftfeuchtigkeit im Etikettenstapel entsprachen beim Etikettiervorgang in allen drei Brauereien annähernd dem in den STL B vorgegebenen Normalklima von 23 °C bei 50 % rF.

Die Messung der Abfülltemperatur offenbarte deutliche Unterschiede zwischen den Brauereien. Die niedrigste Abfülltemperatur wurde bei Brauerei 2, mit 7 °C gemessen und entspricht somit einer klassischen Kaltabfüllung [33]. Brauerei 1 füllt ihr Bier mit 15 °C ab und auch Brauerei 3 befand sich mit 13 °C Abfülltemperatur bereits über dem Temperaturbereich einer Kaltabfüllung.

Sämtliche Etikettierklebstoffe wurden in einem Temperaturbereich zwischen 25 °C und 33 °C verarbeitet. Dies entspricht dem für die Etikettierung mit Kaseinklebstoffen üblichen Temperaturbereich.

Die Feuchtigkeit auf der Flaschenoberfläche schwankte deutlich zwischen den untersuchten Brauereien. Bei Brauerei 3 erreichten die Flaschen die Etikettiermaschine in fast trockenem Zustand, mit 0,18 g Wasser auf der Oberfläche. Die Flaschen der Brauereien 1 und 2 waren

feuchter. Bei Brauerei 1 befanden sich bei Marke B1M1 0,45 g Wasser auf der Flaschenoberfläche beziehungsweise 0,50 g bei Marke B1M3. Eine noch höhere Wassermenge war bei Brauerei 2, mit 0,51 g auf Marke B2M2 und 0,58 g auf Marke B2M1 zu finden.

Tabelle 11: Dokumentation an der Etikettierung beteiligter Komponenten

Untersuchung	B1M1	B1M3	B2M1	B2M2	B3M1
T (Etikettenstapel)	22 °C (s = 0,6) n = 6	23 °C n = 1	23 °C (s = 3,3) n = 3	22 °C (s = 0,3) n = 9	---
rF (Etikettenstapel)	52 % rF (s = 1,5) n = 6	53 % rF n = 1	47 % rF (s = 6,6) n = 3	51 % rF (s = 2,2) n = 9	---
T (Abfülltemperatur)	14 °C (s = 0,2) n = 3	14 °C (s = 0,8) n = 2	7 °C (s = 0,1) n = 2	10 °C (s = 0,4) n = 2	13 °C (s = 0,1) n = 2
T (Etikettierklebstoff)	28 °C (s = 0,0) n = 2	29 °C n = 1	29 °C (s = 0,4) n = 3	26 °C (s = 1,0) n = 4	31 °C (s = 1,1) n = 4
m (Feuchtigkeit auf der Flaschenoberfläche)	0,45 g (s = 0,089) (v = 19,6 %) n = 11	0,50 g (s = 0,040) (v = 8,1 %) n = 10	0,58 g (s = 0,145) (v = 24,8 %) n = 10	0,51 g (s = 0,203) (v = 40,0 %) n = 10	0,18 g (s = 0,063) (v = 36,3 %) n = 10

n = Anzahl der Einzelmessungen; s = Standardabweichung; v = Variationskoeffizient

5.1.3 Lagerung der etikettierten Flaschen

Unmittelbar nach der Etikettierung werden die Flaschen im Vollgut-Lager bis zu ihrem Weitertransport zum Getränkefachgroßhandel oder zum Endkunden zwischengelagert. Während dieser Zeit trocknen die Flaschen und die feuchten Etiketten ab, so dass der Etikettierklebstoff aushärten kann. Die Temperatur und relative Luftfeuchtigkeit im Vollgut-Lager, die Bauart des Lagers und die Anordnung der Europoolpaletten mit den Flaschenkästen können während der Lagerung einen Einfluss auf die Abtrocknung der Etiketten nehmen.

Auf die Dokumentation der Anordnung der Europoolpaletten wurde jedoch verzichtet, da sich die Aufstellung der Paletten durch die Einlagerung neu beschickter Paletten aus der Abfüllung und dem Verladen älterer Paletten auf LKW ständig verändert. Auch das jeweilige Design der Flaschenkästen wurde nicht explizit aufgezeichnet, da alle Varianten zwischen offenen Kästen mit sehr guter Durchlüftung und Flaschenkästen mit hohen, geschlossenen Seitenwänden und geringer Durchlüftung in den drei Brauereien vertreten waren.

Brauerei 1

Das Vollgut-Lager der Brauerei 1 ist in einer Halle mit einem Wellblechdach auf einer Stahlkonstruktion untergebracht. Die Wände bestehen aus Stahlbetonelementen. Die Belüftung der Halle erfolgt über die während der Arbeitszeit offenen Zufahrtstore und über Fenster im Dachgiebel. Die Halle ist hell, jedoch ohne eine direkte Sonneneinstrahlung auf das Vollgut. Der Geruch im Vollgut-Lager kann als neutral bezeichnet werden. Die Höhe der Halle würde theoretisch eine maximale Stapelhöhe von fünf Europoolpaletten, mit jeweils fünf Lagen Bierkästen erlauben.

Nach Angaben des Abfüllpersonals schwankt die Verweildauer der abgefüllten Produkte im Vollgut-Lager zwischen einem und vier Tagen.

Die Temperatur und die relative Luftfeuchtigkeit sind bestimmend für das Gleichgewicht zwischen der feuchten Etikettenoberfläche und der Luftschicht direkt um der Flasche. Die Daten wurden mittels Datenlogger jeweils über mehrere Tage aufgezeichnet. Bei dieser Untersuchung wurden Differenzen zwischen den einzelnen Brauereien sowie innerhalb einer Brauerei festgestellt. Bei Brauerei 1 schwankte die Temperatur im September über zwei Tage zwischen 22 °C und 27 °C, während sich die relative Luftfeuchtigkeit zwischen 40 % und 60 % rF bewegte (siehe Abbildung 58). Im Oktober (siehe Abbildung 59) waren die Temperaturen im Vollgut-Lager geringer und lagen in den Grenzen 16 °C und 22 °C. Die relative Luftfeuchtigkeit dagegen war höher als im Vormonat und bewegte sich zwischen 45 % und 70 % rF.

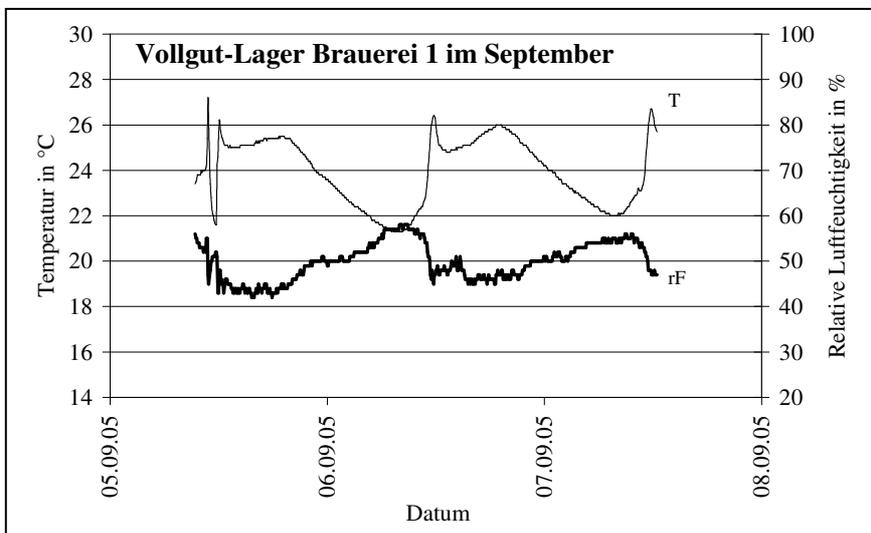


Abbildung 58: T und rF im Vollgut-Lager der Brauerei 1 im September

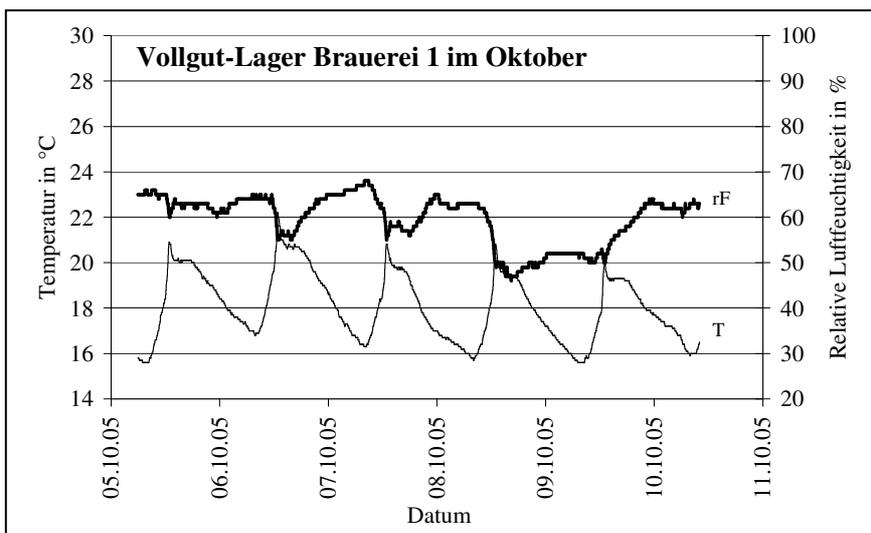


Abbildung 59: T und rF im Vollgut-Lager der Brauerei 1 im Oktober

Brauerei 2

Die Brauerei 2 verfügt über zwei Vollgut-Lager. Das Vollgut-Lager – Halle 1 besteht aus einer Stahlkonstruktion und ist unmittelbar an die Abfüllhalle angeschlossen. Es ist hell, jedoch ohne direkte Sonneneinstrahlung auf das Vollgut. Die Belüftung erfolgt über die Zufahrtstore und der Geruch ist neutral.

Bei Vollgut-Lager – Halle 2 handelt es sich um ein älteres Gebäude aus dickem Stahlbeton. Das Lager ist relativ flach und die maximal mögliche Stapelhöhe beträgt drei Europoolpaletten mit jeweils fünf Lagen Getränkekästen. Das Lager verfügt über keine Fenster und ist insgesamt recht dunkel. Die Belüftung erfolgt über das Zufahrtstor. Der Geruch ist modrig, nach zersetztem Kasein.

Die Verweildauer der abgefüllten Produkte schwankt nach Angaben des Abfüllpersonals zwischen einer und zwei Wochen. Sowohl B2M1 als auch B2M2 werden in Vollgut-Lager – Halle 2 gelagert.

Bei Brauerei 2 bewegte sich die Temperatur in Vollgut-Lager – Halle 1 im Tagesrhythmus mit etwa ± 1 °C um den Wert 21 °C. Erst ab dem 09.06.2006 stieg sie auf ein Maximum von 25 °C an. Die Luftfeuchtigkeit variierte zwischen 30 % und 55 % rF (siehe Abbildung 60).

In Vollgut-Lager – Halle 2 lag die Temperatur bei vergleichbaren Außentemperaturen um etwa 2 °C niedriger als in Vollgut-Lager – Halle 1. Dies hatte zur Folge, dass die relative Luftfeuchtigkeit in Halle 2 gegenüber Halle 1 deutlich erhöht war. Sie variierte zwischen 60 % und 85 % rF (siehe Abbildung 61). Für den Zersetzungsgeruch von Kasein ist die Bauart des Gebäudes verantwortlich. Die Konstruktion aus dickem Stahlbeton, in Verbindung mit einer tiefen Decke und unzureichender Belüftung sorgen dafür, dass die tiefen Temperaturen des frischen abgefüllten Vollguts die Temperatur der Hallenluft ebenfalls niedrig halten. Dies hat zur Folge, dass die relative Luftfeuchtigkeit ansteigt und die Etiketten, respektive der Etikettierklebstoff, nur langsam trocknen und aushärten können. Dies macht sich nach einiger Zeit, durch die Zersetzung des Kaseinbestandteils im Etikettierklebstoff, geruchlich bemerkbar.

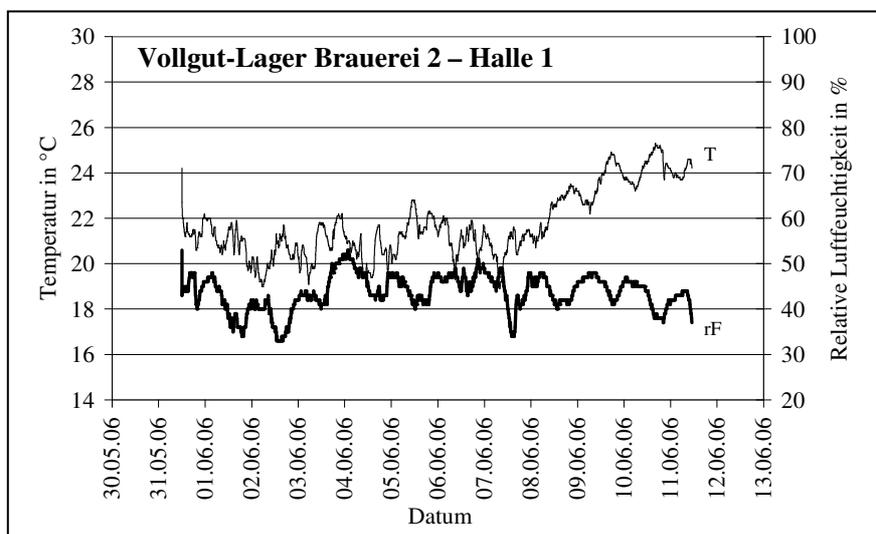


Abbildung 60: T und rF im Vollgut-Lager der Brauerei 2 – Halle 1

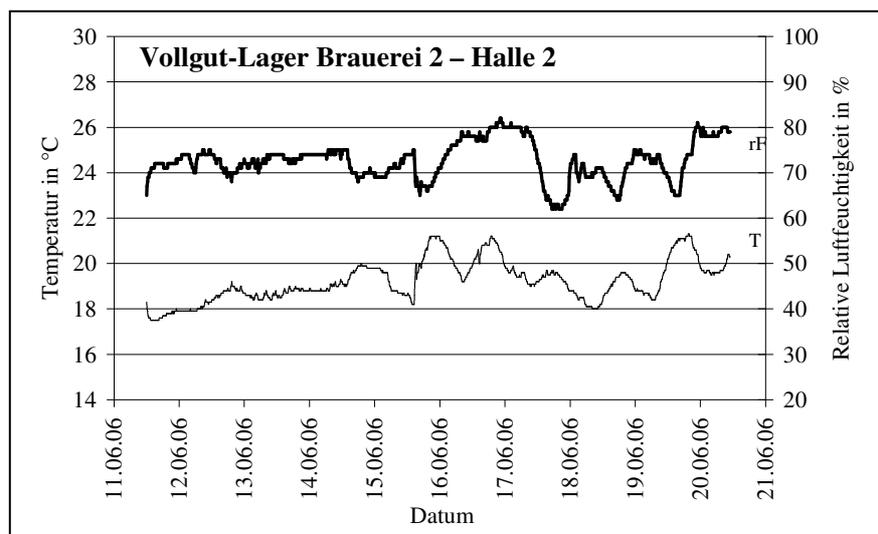


Abbildung 61: T und rF im Vollgut-Lager der Brauerei 2 – Halle 2

Brauerei 3

Das Vollgut-Lager der Brauerei 3 besteht aus einer Stahlkonstruktion die über die Zufahrtstore belüftet wird. Sie ist hell, jedoch ohne direkte Sonneneinstrahlung auf das Vollgut. Der Geruch ist neutral.

Eine Aufzeichnung der Temperatur und der relativen Luftfeuchtigkeit mit einem Datenlogger ist nicht erfolgt. Angaben über die Verweildauer der etikettierten Flaschen im Vollgut-Lager liegen ebenfalls nicht vor.

5.2 Abtrocknungsversuch

Im Vollgut-Lager von Brauerei 1 wurde mit der Marke B1M1 ein Abtrocknungsversuch durchgeführt, um herauszufinden, wie stark sich die drei Einflussgrößen Temperatur, relative Luftfeuchtigkeit und Luftströmung auf die Faltenbildung auswirken. Hierfür wurden zwei Europoolpaletten mit frisch etikettierten Flaschen bei drei unterschiedlichen Lagerbedingungen getrocknet (siehe Abschnitt 4.2.2 auf Seite 46). Ein Teil der Flaschen der ersten Palette wurde im Vollgut-Lager getrocknet, der andere Teil auf dem Hof der Brauerei. Die zweite Palette wurde mit Folie umwickelt im Vollgut-Lager getrocknet.

Das Ergebnis der Faltenbildung ist in Abbildung 62 zusammengestellt. Die Etiketten sind als Rechtecke dargestellt. Die Halbkreise entsprechen den Bereichen, in denen die Faltenbildung aufgetreten ist. Der Wert innerhalb der Halbkreise gibt den prozentualen Anteil an Etiketten mit Faltenbildung in diesem Bereich an.

Die häufigste Faltenbildung ist in feuchtem Zustand, etwa 30 Minuten nach der Etikettierung, feststellbar (Abtrocknungsbedingung A). Dieselben Etiketten zeigten nach dem Abtrocknen im Vollgut-Lager (Abtrocknungsbedingung B) weniger Falten, jedoch konnte bei 70 % der Etiketten eine Falte im mittleren Segment auf der rechten Etikettenseite festgestellt werden. Bei den Etiketten der Abtrocknungsbedingung D ergab sich ein ähnliches Bild. Zwar ist der Anteil an Falten im mittleren Segment der rechten Etikettenseite um 20 % geringer, dafür ist

im unteren Drittel der rechten Seite eine etwas erhöhte Faltenbildung erkennbar. Die Etiketten, die unter Abtrocknungsbedingung C getrocknet wurden, weisen mit 25 % im mittleren Segment auf der rechten Etikettenseite die geringste Faltenbildung auf.

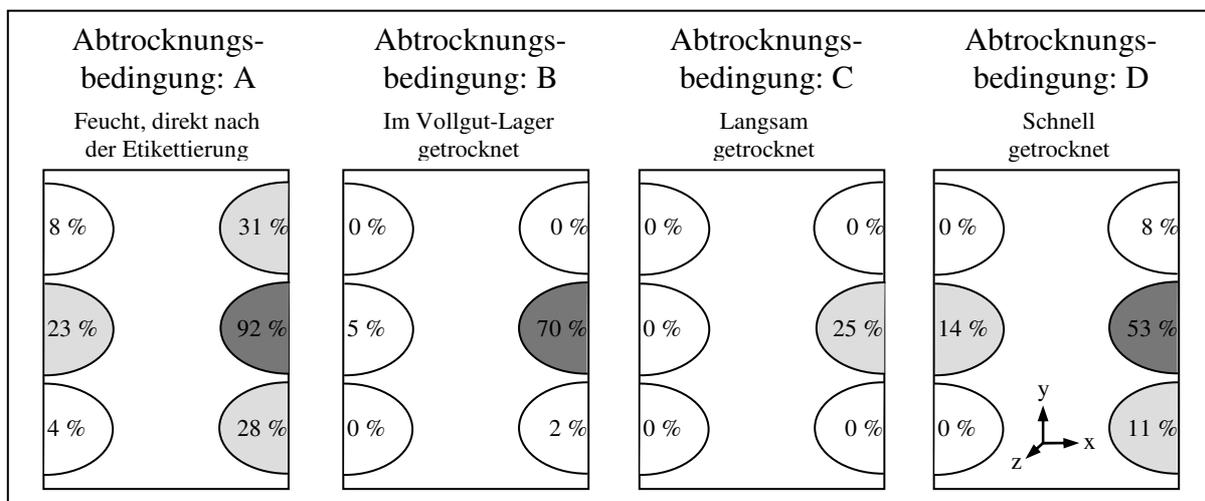


Abbildung 62: Faltenbildung bei unterschiedlichen Abtrocknungsbedingungen

Die Umweltbedingungen sollten während dem Abtrocknen mittels Datenlogger aufgezeichnet werden. Aufgrund baulicher Gegebenheiten ist jedoch der Funkkontakt zu den Messstationen von Bedingung B und C abgebrochen, so dass nur die Temperatur und relative Luftfeuchtigkeit von Bedingung D aufgezeichnet wurden (siehe Abbildung 63).

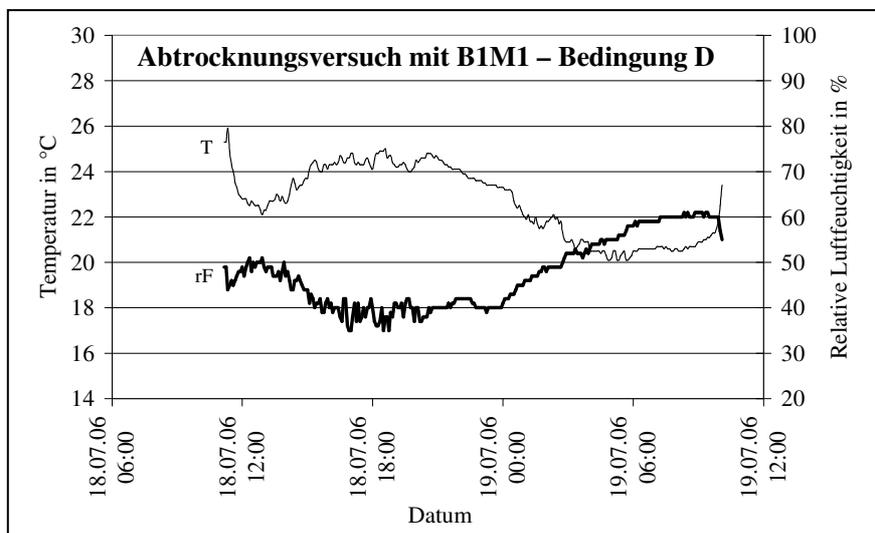


Abbildung 63: T und rF während der Abtrocknung – Bedingung D

5.3 Papieretiketten der Brauereien

Die charakterisierenden physikalischen Eigenschaften der in den untersuchten Brauereien eingesetzten Papieretiketten wurden nach Vorgabe der STLB sowie zusätzlicher Untersuchungen bestimmt.

5.3.1 Etikettenuntersuchungen nach den STLB

Die STLB ermöglichen eine objektive Vergleichbarkeit der Etiketten und erlauben es, in gewissen Grenzen, deren Eignung für den Etikettierprozess zu beurteilen.

Nach Vorgaben der STLB wurden die Etiketten auf die Parameter Trocken- (TBK) und Nassbruchkraft (NBK), jeweils in Richtung Faserlauf (FL) und quer zum Faserlauf, untersucht. Anschließend erfolgte die Untersuchung der Wasseraufnahmefähigkeit (Cobb-Wert) und der Glätte der Etikettenrückseite nach Bekk.

Die Ergebnisse sind in Tabelle 12 aufgeführt (Einzelmesswerte siehe Abschnitt 11.7 auf Seite 199). Alle untersuchten Etiketten lagen innerhalb der von den Brauereien geforderten Spezifikationen.

Tabelle 12: Untersuchungsergebnisse der Brauereietiketten nach den STLB

Untersuchung	B1M1	B1M3	B2M1	B2M2	B3M1	n
TBK (in FL)	53 N *	51 N	52 N	51 N	54 N	5
TBK (quer zum FL)	38 N	42 N	33 N	44 N	36 N	5
NBK (in FL)	19 N	15 N	23 N	17 N	20 N	5
NBK (quer zum FL)	16 N	13 N	12 N	13 N	14 N	5
Cobb-Wert	18,0 g/m ²	19,5 g/m ²	19,5 g/m ²	18,5 g/m ²	16,5 g/m ²	5
Glätte nach Bekk	76 s (s = 1,5)	58 s (s = 0,6)	47 s (s = 1,8)	59 s (s = 0,6)	54 s (s = 1,6)	5

n = Anzahl der Einzelmessungen;

* n = 6;

s = Standardabweichung

5.3.2 Dynamisches Penetrationsverhalten

Eine Eigenschaft von Papieretiketten, die in den STLB nicht berücksichtigt wird, ist das dynamische Penetrationsverhalten der Etiketten. Diese Eigenschaft beschreibt, wie schnell Feuchtigkeit in das Fasergefüge der Papieretiketten eindringt. Mit einem Penetrationsmessgerät wurde das dynamische Penetrationsverhalten der Etiketten mit jeweils drei Einzelmessungen bestimmt.

Die Ergebnisse der Penetrationsmessung sind in Abbildung 64 zu sehen. Die Etiketten B1M1 und B2M1 heben sich von den anderen Etiketten durch ihre flachere Abnahme der Transmission ab. Sie nehmen die Feuchtigkeit am langsamsten auf und haben nach 120 Sekunden ihre Sättigungsgrenze noch nicht erreicht. Die Etiketten B2M2 und B3M1 erreichen den Sättigungszeitpunkt nach etwa 50 Sekunden. Die Etiketten der Marke B1M3 von Brauerei 1 nehmen am schnellsten Feuchtigkeit auf. Sie zeigen die steilste Abnahme der Transmission und erreichen den Sättigungszustand bereits nach etwa 20 bis 30 Sekunden.

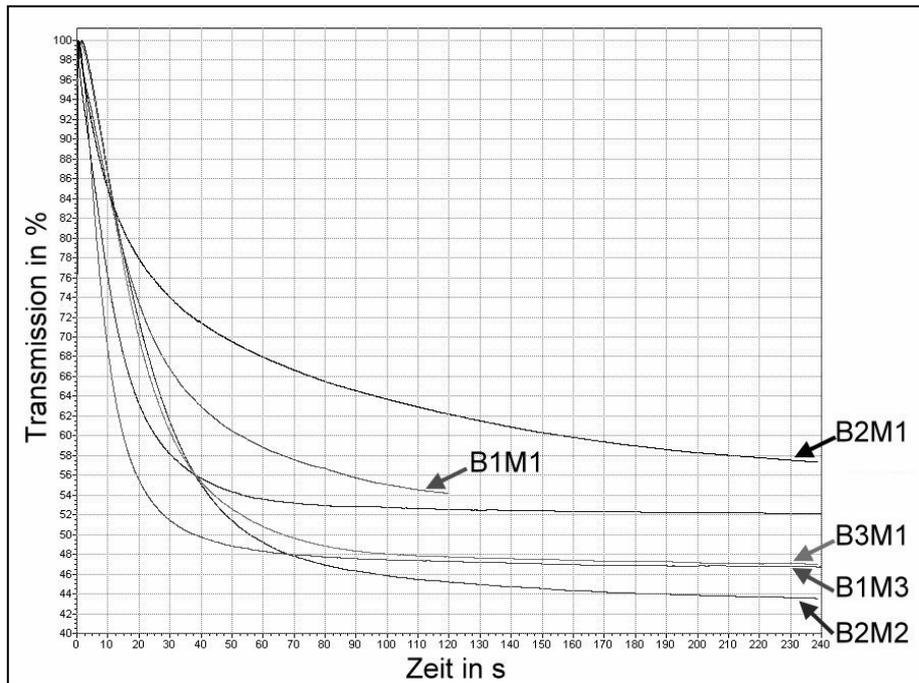


Abbildung 64: Dynamisches Penetrationsverhalten der Brauereietiketten

5.3.3 Dynamische Nassdehnung und Hysterese

Eine weitere Eigenschaft von Papieretiketten ist ihr Nassdehnungsverhalten. Bei Kontakt mit Feuchtigkeit dringt diese in die Papierfasern ein und bringt die Faserwand zum Aufquellen. Dadurch gewinnt die Papierfaser an Volumen, wodurch sich das Papier quer zum Faserlauf ausdehnt und länger wird. Die Bestimmung der Hysterese der Etiketten erlaubt Rückschlüsse darüber, wie weit sich ein Etikett bei der Trockenschrumpfung im Vollgut-Lager wieder auf seine ursprünglichen Abmessungen zusammenzieht. Mit dem Dehnungsmodul des Penetrationsmessgerätes wurde das dynamische Nassdehnungsverhalten nach vier Minuten und die Hysterese der Etiketten nach vier Stunden, in jeweils drei Einzelmessungen bestimmt.

Die Ergebnisse der dynamischen Nassdehnung sind in Abbildung 65 zu sehen. Um ein gutes Etikettierergebnis zu begünstigen sollte die Nassdehnung der Etiketten ein Maximum von 2,0 % quer zum Faserlauf des Etiketts nicht überschreiten [8]. Diese Forderung wurde von den Etiketten B1M1 und B2M1, mit einer Nassdehnung von etwa 1,7 % und knapp 2,0 %, erfüllt. Die Etiketten B2M2 und B3M1 liegen mit Werten < 2,3 % nur geringfügig über dem empfohlenen Wert. Die Etiketten der Marke B1M3, mit Werten über 3 % Nassdehnung, liegen bereits deutlich oberhalb der empfohlenen 2,0 %.

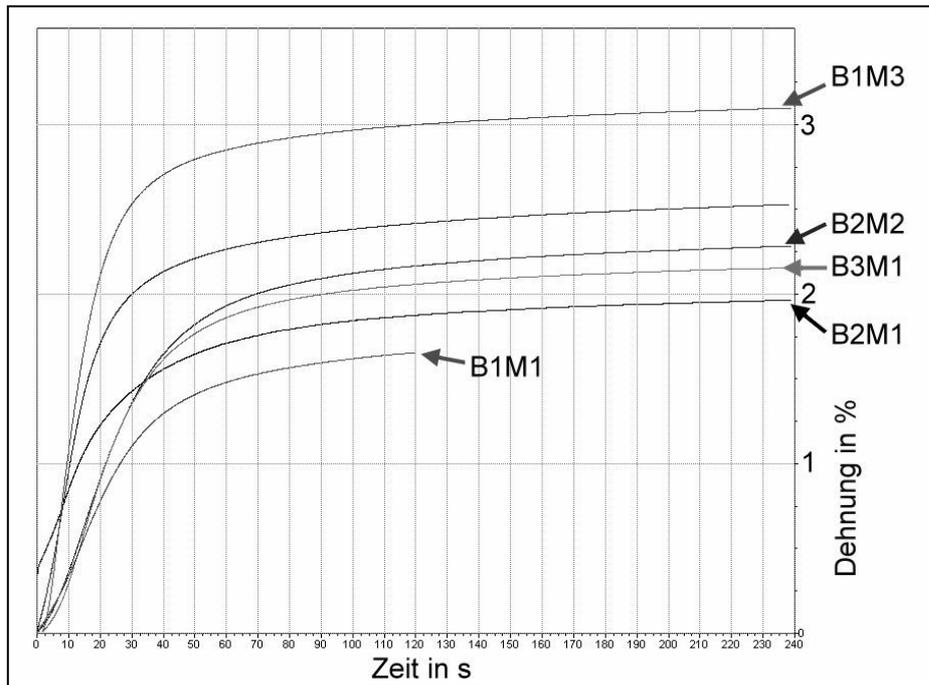


Abbildung 65: Dynamische Nassdehnung der Brauereietiketten

Die Hysterese-Eigenschaften der Etiketten sind in Abbildung 66 dargestellt. Die Etiketten der Marke B1M1 zeigen die ausgeprägteste Hysterese. Die Hysterese aller untersuchten Etiketten fällt jedoch mit einem Maximalwert von 0,2 % sehr gering aus. Die Etiketten der Marke B2M1 zeigten bei den Messungen eine negative Hysterese, da sie sich über ihre Ursprungsgröße hinaus zusammensetzten. Dieses Verhalten ist für Etikettenpapiere ungewöhnlich. Die Ursache hierfür konnte nicht festgestellt werden, zumal aufgrund der mehrfachen Bestätigung des Ergebnisses ein Messfehler ausgeschlossen werden kann.

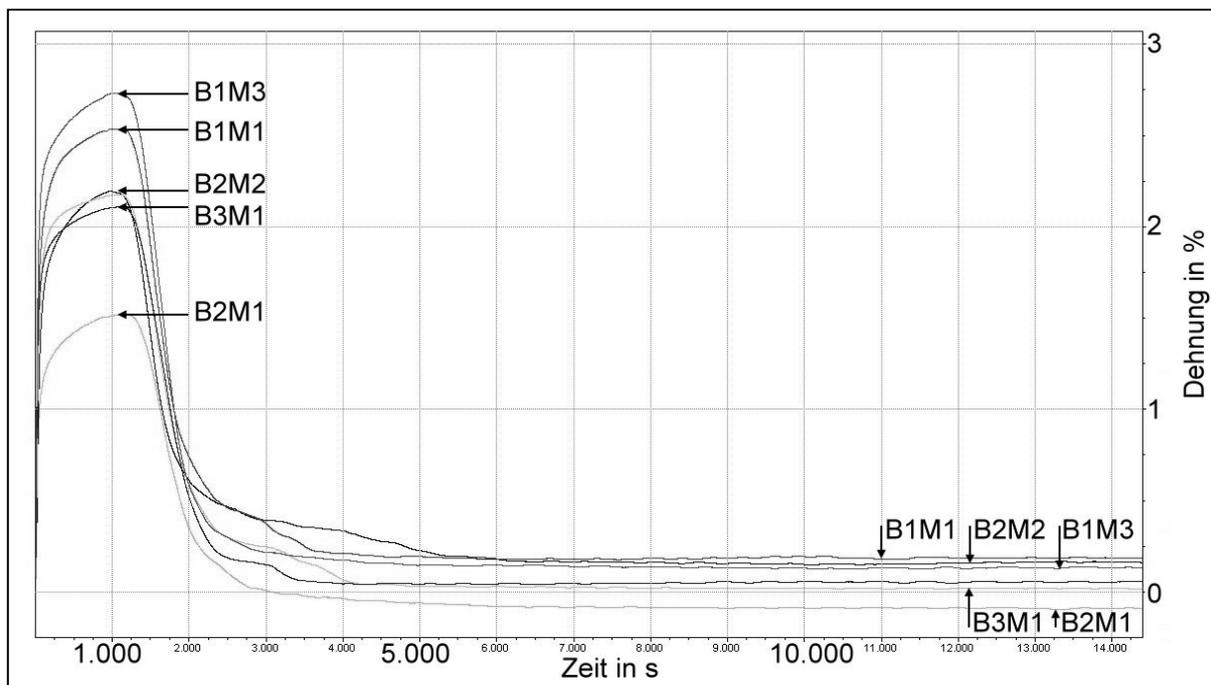


Abbildung 66: Hysterese der Nassdehnung bei den Brauereietiketten

5.3.4 Aufbau und Erscheinungsbild der Etiketten

Neben den Anforderungen nach den STLB werden in der Literatur weitere Faktoren genannt, die einen Einfluss auf das Etikettierergebnis im Allgemeinen und die Faltenbildung im Speziellen haben. Diese betreffen den Aufbau und das Erscheinungsbild der Etiketten.

Die Ergebnisse zum Aufbau und Erscheinungsbild sind in Tabelle 13 aufgelistet. Insgesamt wurden in den untersuchten Brauereien zwei metallisierte und zwei nicht metallisierte Etiketten verwendet. Bei den Etiketten der Brauerei 3 handelt es sich ebenfalls um nicht metallisierte Etiketten. Diese wurden mit einer speziellen, schwermetallfreien Metallfarbe in Silber bedruckt, die eine Alternative zu metallisierten Papieren darstellt [61]. Die Farbverteilung ist bei allen Etiketten symmetrisch. Bei den Etiketten können drei Formtypen unterschieden werden. Die Etiketten der Marke B1M1 stellen eine Raute mit konkav geschwungener Ober- und konvexer Unterseite dar (vgl. Abbildung 78 auf Seite 104). Die rechte Etikettenseite ist um etwa 11 mm höher als die linke Seite. Die übrigen Etiketten der Brauerei 1 sowie die Etiketten der Brauerei 2 haben dieselbe Form. Die untere Hälfte der Etiketten ist rechteckig, die obere Hälfte halbkreisförmig (vgl. Abbildung 79 auf Seite 105). Die Etiketten der Brauerei 3 sind oval, wobei die längere Achse parallel zur Flaschenachse verläuft.

Tabelle 13: Erscheinungsformen der Etiketten

Untersuchung	B1M1	B1M3	B2M1	B2M2	B3M1
Metallisierung	ja	nein	ja	nein	Metallfarbe
Farben	4	4	4	4	3
Farbverteilung	symmetrisch	symmetrisch	symmetrisch	symmetrisch	symmetrisch
Symmetrie	asymmetrisch	symmetrisch	symmetrisch	symmetrisch	symmetrisch
Form	rechts höher	rund + eckig	rund + eckig	rund + eckig	oval
Abmessungen	Höhe R: 10,1 cm Höhe L: 8,9 cm Breite: 6,8 cm	Höhe: 9,6 cm Breite: 9,3 cm	Höhe: 9,8 cm Breite: 9,3 cm	Höhe: 9,8 cm Breite: 9,3 cm	Höhe: 10,3 cm Breite: 7,2 cm

* R = Rechte Seite; S = Linke Seite

5.4 Etikettierklebstoffe

Die Etikettierklebstoffe wurden wie die Papieretiketten nach Vorgabe der STLB untersucht. Zusätzlich zu den STLB wurden die Hafteigenschaften der Klebstoffe bestimmt.

5.4.1 Untersuchung der Etikettierklebstoffe nach den STLB

Die STLB ermöglichen eine objektive Vergleichbarkeit der Etikettierklebstoffe und erlauben es, deren Eignung für den Etikettierprozess innerhalb gewisser Grenzen zu beurteilen. Die durchgeführten Untersuchungen umfassen die Bestimmung des Festkörpergehaltes, des pH-Wertes und der Viskosität.

Die Probenahme (siehe Tabelle 14) der Etikettierklebstoffe erfolgte während der Untersuchungen in den Brauereien. Dabei wurden neben dem Zeitpunkt der Probenahme auch die aktuelle Verarbeitungstemperatur des Klebstoffes an der Etikettiermaschine und der momentane Füllstand des Klebstoffeimers erfasst. Die Kennzeichnung der Klebstoffe $B_xM_y - K_iM_j$

setzt sich aus der Brauerei x und deren Marke y zusammen sowie dem Klebstoffhersteller i und dessen Klebstoffmarke j .

Tabelle 14: Probenahme der Etikettierklebstoffe

Marke – Klebstoff	Probenahme		Verarbeitungs- temperatur	Füllstand des Klebstoffeimers
	Datum	Zeit		
B1M1 – K1M1	26.09.2005	11:34	28,3 °C	voll
B2M1 – K3M1	14.02.2006	11:40	26,9 °C	voll
B2M2 – K3M1-Neu	08.11.2005	10:55	26,9 °C	voll
B2M2 – K3M1-Alt	08.11.2005	15:31	24,8 °C	fast leer
B3M1 – K1M2	15.03.2006	15:00	32,0 °C	fast leer
B3M1 – K4M1	15.03.2006	k. A.	k. A.	k. A.

Die Ergebnisse der Untersuchungen nach den STLB sind in Tabelle 15 zusammengefasst. Die Feststoffgehalte der Etikettierklebstoffe liegen im Bereich von 34,8 % bis 37,2 %. Die pH-Werte bewegen sich in dem Bereich zwischen 7,28 und 7,81. Der Vergleich des Etikettierklebstoffes in frischem Zustand (B2M2 - K3M1-Neu) mit demselben Klebstoff nach rund viereinhalb Stunden Kreislaufförderung durch die pneumatische Leimpumpe der Etikettiermaschine (B2M2 - K3M1-Alt) zeigt, dass der Feststoffgehalt um 0,4 % zunimmt. Die dynamische Viskosität nimmt bei 15°C ebenfalls um 9 % zu. (Einzelmesswerte siehe Abschnitt 11.8 ab Seite 200)

Tabelle 15: Ergebnisse der Untersuchungen nach den STLB

Marke – Klebstoff	Feststoff- gehalt	pH-Wert	Dynamische Viskosität in mPa*s bei				
			15 °C	20 °C	25 °C	30 °C	35 °C
B2M2 – K3M1-Neu	34,8 %	7,69	122.000	78.000	43.200	26.400	16.800
B2M2 – K3M1-Alt	35,2 %	7,71	132.800	81.600	48.000	30.800	21.600
B3M1 – K1M2	37,2 %	7,28	124.000	78.800	51.600	27.400	22.400
B3M1 – K4M1	35,8 %	7,81	180.000	108.800	65.600	36.800	23.200
	n = 3	n = 1	n = 3				

n = Anzahl der Einzelmessungen

5.4.2 Hafteigenschaften der Etikettierklebstoffe

Etikettierklebstoffe auf Kaseinbasis fixieren die Etiketten durch zwei aufeinander folgende Vorgänge. Die Anfangshaftung wird durch die schlagartige Erhöhung der Viskosität der Etikettierklebstoffe bei Temperaturerniedrigung erreicht. Die Endhaftung der Etikettierklebstoffe wird durch Kohäsions- und Adhäsionskräfte hervorgerufen. Diese Kräfte steigen mit zunehmender Dauer der Verklebung durch Feuchtigkeitsverlust des Etikettierklebstoffs an. Um die Hafteigenschaften vergleichen zu können, wurde von einigen Etikettierklebstoffen die Haftkraft der Verklebung nach verschiedenen Haftzeiten bestimmt.

Die Untersuchungsergebnisse sind in Tabelle 16 aufgelistet. Die Anfangshaftkraft der Etikettierklebstoffe bei 23 °C Klebstofftemperatur auf den Originaletiketten der Biermarken schwankt bei den untersuchten Klebstoffen nach zwei Sekunden zwischen 1,3 N und 1,7 N, um nach 300 Sekunden auf Werte zwischen 6,3 N bis 7,9 N anzusteigen. (Einzelmesswerte siehe Abschnitt 11.9 auf Seite 202)

Tabelle 16: Untersuchungsergebnisse der Hafteigenschaften

Brauerei-Klebstoff	Dauer der Verklebung	Haftung der Verklebung bei 23 °C	
		bei 23 °C	<i>s</i>
B1M1-K1M1	2 s	1,7 N	0,32
	5 s	2,2 N	0,29
	30 s	3,3 N	0,48
	60 s	3,2 N	0,49
	180 s	5,5 N	0,38
	300 s	6,6 N	0,86
		n = 3	

Brauerei-Klebstoff	Dauer der Verklebung	Haftung der Verklebung bei 23 °C	
		bei 23 °C	<i>s</i>
B2M1-K3M1	2 s	1,6 N	0,42
	5 s	1,8 N	0,01
	30 s	3,7 N	0,31
	60 s	4,9 N	0,65
	180 s	6,4 N	0,23
	300 s	7,9 N	0,87
		n = 3	

Brauerei-Klebstoff	Dauer der Verklebung	Haftung der Verklebung bei 23 °C	
		bei 23 °C	<i>s</i>
B2M2-K3M1-Neu	2 s	1,5 N	0,41
	5 s	1,6 N	0,38
	30 s	3,3 N	0,53
	60 s	3,3 N	0,52
	180 s	4,7 N	0,65
	300 s	6,3 N	0,91
		n = 3	

Brauerei-Klebstoff	Dauer der Verklebung	Haftung der Verklebung bei 23 °C	
		bei 23 °C	<i>s</i>
B3M1-K1M2	2 s	1,7 N	0,45
	5 s	1,2 N	0,09
	30 s	2,5 N	0,27
	60 s	3,4 N	0,26
	180 s	7,1 N	0,31
	300 s	7,4 N	1,28
		n = 3	

n = Anzahl der Einzelmessungen; *s* = Standardabweichung

5.5 Flaschen

Etikettierklebstoffe verkleben die Oberfläche der Etiketten und der Flaschen miteinander. Die Eigenschaften der Flaschenoberfläche, die durch die Heiß- und Kaltendvergütung sowie der Oberflächenenergie bestimmt werden, sind daher mitentscheidend für die Verklebung.

5.5.1 Heißendvergütung der Flaschen

Die Heißendvergütung hat die Aufgabe die Stabilität der Flasche zu erhöhen. Wird diese Vergütung zu dick aufgetragen, kann sie das Erscheinungsbild der Flasche negativ beeinflussen und nach [9, 54, 55] gegebenenfalls zur Faltenbildung führen.

Um den Einfluss der Heißendvergütung zu beurteilen wurden von jeder Biermarke jeweils sechs Flaschen mit Faltenbildung und sechs Flaschen ohne Faltenbildung untersucht. Die Ergebnisse sind in Tabelle 17 aufgeführt. Bei den meisten untersuchten Biermarken war die Heißendvergütung kleiner oder gleich fünf Coating Thickness Units (CTU). Lediglich die Marke B3M1 hebt sich von den anderen Sorten ab. Die Flaschen ohne Faltenbildung haben bei dieser Sorte im Durchschnitt 13 CTU, während bei den Flaschen mit Faltenbildung keine Heißendvergütung festgestellt werden konnte. Auslöser für diesen erhöhten Wert und die Standardabweichung von 13,0 waren zwei Neuglasflaschen oder zwei Glas-Mehrwegflaschen mit nur wenigen Umläufen und 28 CTU beziehungsweise 30 CTU Heißendvergütung. (Einzelmesswerte siehe Abschnitt 11.10 auf Seite 203).

Tabelle 17: Heißendvergütung in CTU

Kennung	Heißendvergütung im Bauchbereich auf Flaschen			
	ohne Faltenbildung		mit Faltenbildung	
	in CTU	<i>s</i>	in CTU	<i>s</i>
B1M1	3	4,4	0	0,0
B1M3	0	0,0	2	2,8
B2M1	1	1,0	5	10,4
B2M2	2	4,1	2	2,7
B3M1	13	13,0	0	0,0
	n = 6			

n = Anzahl der untersuchten Flaschen; *s* = Standardabweichung

5.5.2 Oberflächenenergie der Flaschen

Nach der Bestimmung der Heißendvergütung wurde an denselben Flaschen die Oberflächenenergie gemessen. Bei allen Flaschen wurde mit den Testtinten eine Oberflächenenergie von 48 mN/m bestimmt. Ursache hierfür ist vermutlich, dass die Flaschen zum Ablösen der Etiketten über Nacht in ein Wasserbad gestellt wurden und sich dadurch auf allen Flaschen dieselbe Oberflächenenergie eingestellt hat.

5.6 Dokumentation des Etikettiervorgangs

Die Etikettiermaschine ist das zentrale Aggregat bei der Nassetikettierung. Hier werden sämtliche, an der Etikettierung beteiligten Komponenten vereinigt. Die zum Teil sehr diffizilen Vorgänge bei der Etikettierung, wie zum Beispiel die Übergabe der Etiketten von den Beleimungspaletten an den Greiferzylinder, geschehen mitunter bei sehr hohen Anlagenausbringungen. Die Vermutung liegt nahe, dass die dabei am Etikett wirkenden Kräfte einen Einfluss auf das Etikettierergebnis haben.

Um die Wirkung dieser Kräfte auf die Etiketten sichtbar zu machen, wurden die relevanten Arbeitsschritte der Etikettiermaschinen (vgl. Abschnitt 2.4 ab Seite 24) mit einer HG-Kamera dokumentiert. Die HG-Aufnahmen wurden in der Brauerei 1, bei den Marken B1M1 und B1M3 durchgeführt, da diese auf unterschiedlichen Abfüllanlagen, mit einer eigenen Etikettiermaschine abgefüllt wurden. Bei der Brauerei 2 wurden beide Marken, B2M1 und B2M2 untersucht. Diese wurden auf derselben Anlage abgefüllt und etikettiert. Bei der Brauerei 3 wurde nur die Marke B3M1 gefilmt. Die Ausbringung der Etikettiermaschinen ($Q_{(IST)}$) bei denen die HG-Aufnahmen durchgeführt wurden ist in Flaschen pro Stunde (Fl/h) in Tabelle 18 angegeben, ebenso wie die durchschnittliche Einstellausbringung $Q_{(\emptyset)}$.

Tabelle 18: Ausbringung der Etikettiermaschinen während der HG-Aufnahmen

Biermarke	Minimale und maximale Ausbringung ($Q_{(IST)}$) in Fl/h über den Aufnahmezeitraum	Durchschnittliche Einstellausbringung ($Q_{(\emptyset)}$) in Fl/h
B1M1	32.400 bis 47.200	46.200
B1M3	31.800 bis 40.500	40.500
B2M1	26.100 bis 35.900	35.900
B2M2	24.600 bis 37.100	32.100
B3M1	27.500 bis 37.400	27.500

5.6.1 1. Arbeitsschritt: Beleimung der Beleimungspaletten

Das Abrollen der Beleimungspaletten auf der Leimwalze dient der Aufnahme von Etikettierklebstoff, der in den beiden folgenden Schritten teilweise auf die Etiketten übertragen wird. Eine Auffälligkeit konnte bei beiden Marken der Brauerei 2 beobachtet werden. Die Beleimungspalette Nummer 3 rollt nicht vollflächig auf der Leimwalze ab. Dies wird dadurch erkennbar, dass die Beleimungspalette 3 keinen vollständigen Abdruck im Klebstofffilm der Leimwalze hinterlässt, wie ein Vergleich der Abdrücke mit einer anderen der insgesamt acht Beleimungspaletten in Abbildung 67 zeigt.

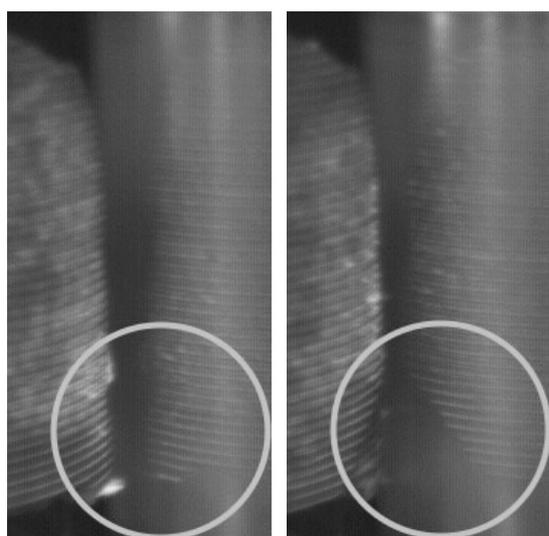


Abbildung 67: Vergleich des vollständigen Abdrucks von Beleimungspalette 2 (links) mit dem unvollständigen Abdruck der Beleimungspalette 3 (rechts)
($Q_{(IST)} = 30.400 \text{ FL/h}$)

Dies führte dazu, dass bei jeder achten Flasche das Etikett an der rechten, unteren Ecke nicht beleimt war und lose auf der Flasche auflag. Der fehlende Etikettierklebstoff machte sich zudem durch eine ungleichmäßige Entnahme der Etiketten aus der Etikettenzuführung bemerkbar (Kreis in Abbildung 68). Als Ursache für die Beschädigung der Beleimungspalette kommt unter anderem ein Schlag auf die Palettenecke in Frage, zum Beispiel durch Herunterfallen der Beleimungspalette.

Bei den beiden anderen Brauereien wurden beim Abrollen der Beleimungspaletten über die Leimwalze keine Auffälligkeiten entdeckt.



Abbildung 68: Folgen der unvollständigen Beleimung durch Palette 3 ($Q_{(IST)} = 32.100 \text{ Fl/h}$)

5.6.2 2. Arbeitsschritt: Entnahme der Etiketten aus dem Etikettenbehälter

Die vordersten Etiketten werden entnommen, indem die Beleimungspaletten mit der eben aufgenommenen Schicht Etikettierklebstoff über die Rückseite der Etiketten abrollen und diese durch die Haftkraft des Etikettierklebstoffs an den Beleimungspaletten haften.

Eine Übersicht über die Beobachtungsergebnisse bei diesem Arbeitsschritt ist in Tabelle 19 aufgelistet. Das Eintauchen der Beleimungspaletten in den Etikettenstapel war bei allen untersuchten Marken deutlich erkennbar. Die Eintauchtiefe wird daher als unkritisch bewertet.

Bei Brauerei 1 wurden Abweichungen beim passgenauen Eintauchen beobachtet. Die Beleimungspaletten von B1M1 tauchen nicht exakt in die oberen Haltenasen ein. Es kam jedoch zu keinem Kontakt zwischen Haltenasen und Palette und somit auch nicht zu einer Beschädigung der Paletten. Die gestrichelten Linien in Abbildung 69 zeigen, dass die Position der seitlichen Haltenasen bei B1M1 ebenfalls nicht mit den Aussparungen auf der Beleimungspalette übereinstimmt. Hier kommt es sogar zum direkten Kontakt und damit zu einer Beschädigung der Gummierung, die eine Vergrößerung der klebstofffreien Stellen um die ursprünglichen Aussparungen nach sich zieht. Die Entnahme der Etiketten bei B1M1 wird daher als kritisch bewertet.

Bei B1M3 tauchen die Haltenasen ebenfalls nicht mittig in die Aussparungen ein, wie aus Abbildung 70 hervorgeht. Da es jedoch zu keinem direkten Kontakt kommt wird die Entnahme nur als auffällig bewertet.

Bei den Brauereien 2 und 3 war die Entnahme der Etiketten unkritisch.

Tabelle 19: Ergebnisübersicht über die Entnahme der vordersten Etiketten

Biermarke	Eintauchtiefe in den Etikettenstapel	Passgenaues Eintauchen der oberen Haltenasen	Passgenaues Eintauchen der seitlichen Haltenasen
B1M1	✓	~	—
B1M3	✓	✓	~
B2M1	✓	✓	✓
B2M2	✓	✓	✓
B3M1	✓	✓	✓

✓ = Unkritisch; ~ = Auffällig; — = Kritisch

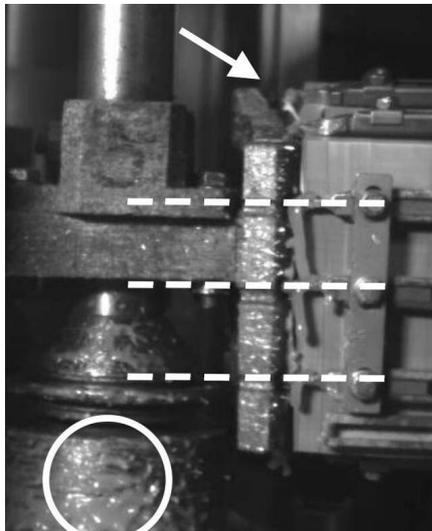


Abbildung 69: Entnahme eines Etiketts bei B1M1 ($Q_{(IST)} = 46.200 \text{ Fl/h}$)

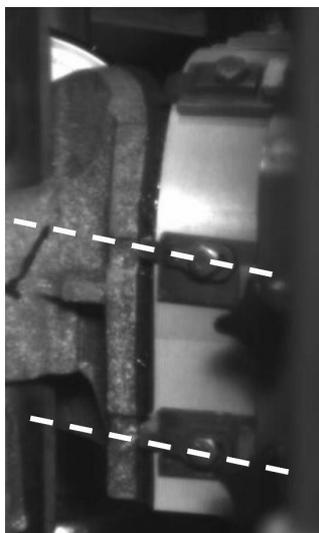


Abbildung 70: Entnahme eines Etiketts bei B1M3 ($Q_{(IST)} = 31.800 \text{ Fl/h}$)

In Abbildung 69 offenbaren sich zwei weitere Auffälligkeiten bei B1M1. Zum einen wird die obere, rechte Kante des Etikettes bei der Entnahme durch die Beleimungspalette von der Haltenase zurückgehalten (siehe Pfeil). Zum anderen weist das Palettenkarussell eine starke Verunreinigung mit Etikettierklebstoff auf (siehe Kreis). Eine mögliche Erklärung ist die stark erhöhte Einstellung der Klebstoffmenge auf der Leimwalze bei B1M1. Verstärkend kommt hinzu, dass die Etikettiermaschine von B1M1 mit der höchsten Ausbringung (vgl. Tabelle 20 auf Seite 96) der untersuchten Etikettiermaschinen betrieben wurde.

5.6.3 3. Arbeitsschritt: Übergabe des Etiketts an den Greiferzylinder

Die Etikettenrückseiten werden durch die Beleimungspaletten mit Etikettierklebstoff benetzt. Für die spätere Applikation auf der Flasche müssen die Etiketten von der Beleimungspalette abgenommen werden. Hierfür klemmen die Greiferfinger des Greiferzylinders die Etiketten zwischen den Fingern und der Ambossleiste ein, sobald sich die Beleimungspaletten dem Greiferzylinder entsprechend genähert haben. Entfernen sich die Beleimungspaletten wieder vom Greiferzylinder, halten die Greiferfinger und die Ambossleiste die Etiketten fest und ziehen sie von den Paletten.

Eine Ergebnisübersicht der Etikettenübergabe an den Greiferzylinder ist in Tabelle 20 zusammengestellt. Bei einigen Biermarken war es aufgrund der kompakten Bauart der Etikettiermaschinen nicht möglich, diesen Bearbeitungsschritt mit der HG-Kamera zu dokumentieren.

Tabelle 20: Ergebnisübersicht der Übergabe des Etiketts an den Greiferzylinder

Biermarke	Passgenaues Eintauchen	Planlage auf Ambossleiste	Schrägstellung der Greiferfinger	Weitere Mängel
B1M1	✓	—	✓	
B1M3	X	X	X	Ja
B2M1	✓	—	✓	Ja
B2M2	✓	—	X	
B3M1	✓	~	✓	

✓ = Unkritisch; ~ = Auffällig; — = Kritisch; X = Nicht dokumentiert

Bei B1M1 war die Planlage der Etiketten auffällig. Die Pfeile in Abbildung 71 zeigen auf die Wellenbildung des Etiketts um die Greiferfinger. Dies deutet auf eine erhöhte Belastung der Etiketten beim Abziehen von den Beleimungspaletten hin. Die Abbildung zeigt zudem, dass die obere Ecke des Etiketts an der Beleimungspalette anhaftet und somit eine zusätzliche Belastung auf die Etiketten ausgeübt wird. Eine weitere Auffälligkeit bei den Greiferfingern von B1M1 ist, dass sie im Vergleich zu den Greiferfingern der anderen Marken sehr schmal ausgeführt sind.

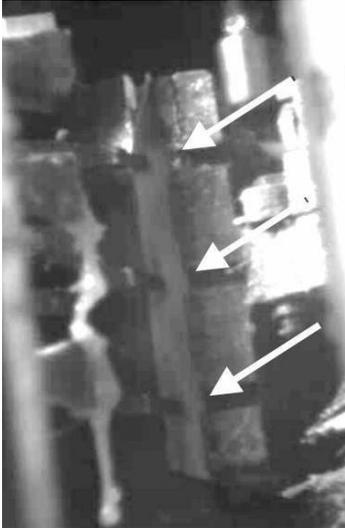


Abbildung 71: Auffällige Planlage des Etiketts B3M1 auf der Ambossleiste
($Q_{(IST)} = 46.200 \text{ Fl/h}$)

Die Planlage der Etiketten war auch bei B3M1 auffällig. Dies zeigt sich in Abbildung 72. Innerhalb des Kreises ist eine leichte Wellung des Etiketts, durch die unterschiedlichen Grauschattierungen zwischen den Greiferfingern, zu erkennen.

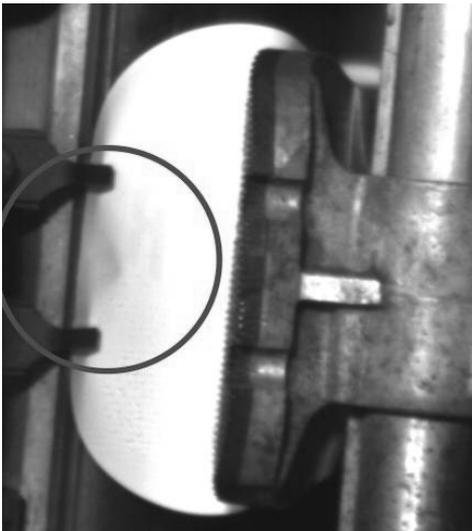


Abbildung 72: Auffällige Planlage des Etiketts B3M1 auf der Ambossleiste
($Q_{(IST)} = 27.500 \text{ Fl/h}$)

Bei B2M1 und B2M2 war dieses Verhalten deutlich ausgeprägt und wurde als kritisch bewertet. Bei diesen Biermarken war immer wieder zu beobachten, dass die Etiketten beim Abziehen, direkt nach den Greiferfingern einknicken und sich zwischen den Greiferfingern eine Falte ausbildet (Kreise in Abbildung 73 und Abbildung 74).

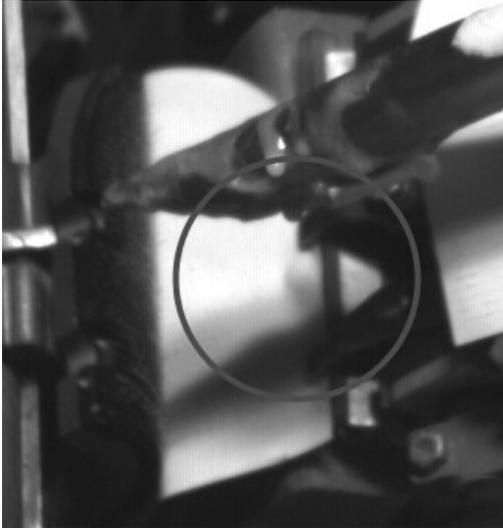


Abbildung 73: Keine Planlage des Etiketts B2M1 auf der Ambossleiste ($Q_{(IST)} = 35.900 \text{ Fl/h}$)

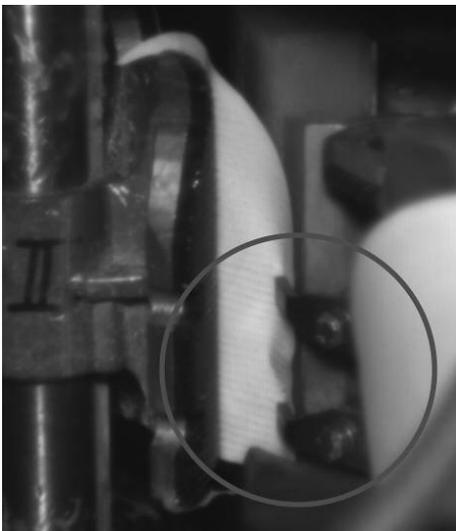


Abbildung 74: Keine Planlage des Etiketts B2M2 auf der Ambossleiste ($Q_{(IST)} = 32.100 \text{ Fl/h}$)

Bei B2M1 führte darüber hinaus eine oder mehrere, durch Etikettierklebstoff verstopfte Druckluftdüsen am Düsenkamm dazu, dass die Etiketten nicht gegen die Schwämme des Greiferzylinders geblasen wurden. Dadurch wurden die Etiketten in Folge der Fliehkraft nach außen getragen (siehe Abbildung 75, links) und kollidierten mit dem Düsenkamm (Mitte), bevor sie von den offenen Düsen wieder gegen das Schwämmchen geblasen wurden (rechts).

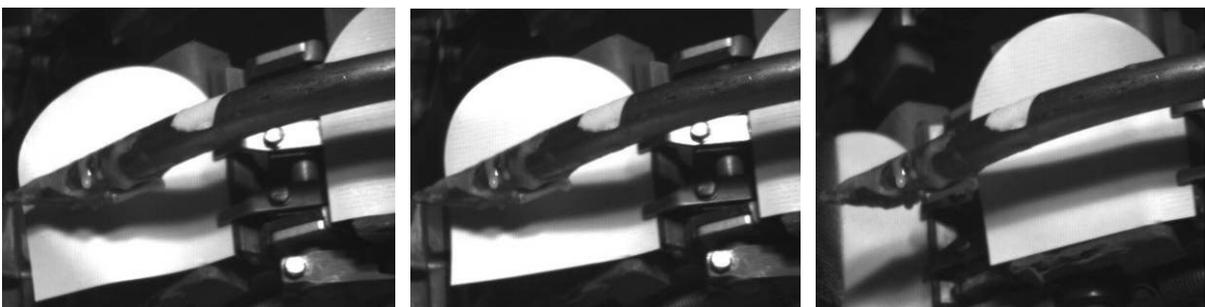


Abbildung 75: Verstopfte Druckluftdüsen im Düsenkamm ($Q_{(IST)} = 35.900 \text{ Fl/h}$)

Beim Abziehen der Etiketten von B1M3 konnte eine weitere Unregelmäßigkeit beobachtet werden. Um die Greiferfinger waren beim Abziehen der Etiketten große klebstofffreie Bereiche zu erkennen (Abbildung 76, Kreis im linken Bildausschnitt). Dasselbe Klebstoffbild wurde an der gegenüberliegenden Etikettenseite beobachtet (Kreis im rechten Bildausschnitt).

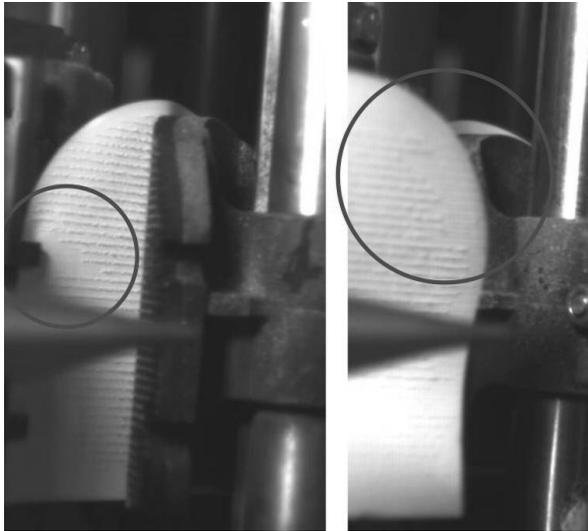


Abbildung 76: Klebstofffreie Flächen um die Greiferfinger und am Etikettenrand
($Q_{(IST)} = 40.500 \text{ Fl/h}$)

5.6.4 4. Arbeitsschritt: Aufsetzen der Etiketten auf die Flaschen

Nach Übergabe der Etiketten an den Greiferzylinder werden die Etiketten im nächsten Arbeitsschritt auf die Flaschen aufgesetzt. Hierfür nähern sich die Flaschen auf ihren Flaschentellern in einer Kreisbahn dem Greiferfingerzylinder an. Am Berührungspunkt drückt die Flasche gegen das Etikett und den dahinter liegenden Schwamm, so dass der Schwamm um etwa einen Zentimeter eingedrückt wird. Durch diesen Anpressdruck, sowie die kalte Oberfläche der Flasche und die damit verbundene schlagartige Erhöhung der Viskosität des Etikettierklebstoffes, haftet das Etikett an der Flasche. In diesem Moment öffnen die Greiferfinger und geben das an der Flasche haftende Etikett frei.

Aufgrund der kompakten Bauweise der untersuchten Etikettiermaschinen war es nicht möglich diesen Schritt mit der HG-Kamera zu dokumentieren. Bei seitlichen Aufnahmen wird der Moment der Etikettenübergabe durch die nachfolgende beziehungsweise die vorherige Flasche verdeckt. Eine Aufnahme von oben wurde durch die Anbauten der Etikettiermaschinen oder unzureichende Beleuchtungsmöglichkeiten vereitelt.

5.6.5 5. Arbeitsschritt: Anbürsten der Etiketten

In der Anbürststation werden die bisher nur mittig an den Flaschen haftenden Etiketten an die Flasche angebürstet. Dabei ist auf eine möglichst gleichmäßige Krafteinwirkung zu achten, um die Etiketten vollflächig an die Flasche anzuschmiegen, ohne dass das Etikett dabei verrutscht.

Bei den untersuchten Brauereien wurden die Flaschen direkt nach der Anbürststation für die Rumpfetiketten mit der HG-Kamera aufgenommen um festzustellen, ob zu diesem Zeitpunkt bereits eine Faltenbildung zu erkennen war. Die Ergebnisse sind in Tabelle 21 dargestellt. Bei dieser Untersuchung wurde, mit Ausnahme der Marke B1M1, keine Faltenbildung bei den Biermarken festgestellt.

Tabelle 21: Faltenfreiheit der Etiketten nach der Anbürststation

Kennung	Faltenfreie Etiketten
B1M1	—
B1M3	✓
B2M1	✓
B2M2	X
B3M1	✓

✓ = Unkritisch; — = Kritisch; X = Nicht dokumentiert

Bei den Etiketten von B1M1 waren direkt nach der Anbürststation Falten im Bereich der klebstofffreien Stellen vorhanden, wie an den beiden Beispielen in Abbildung 77 zu sehen ist.

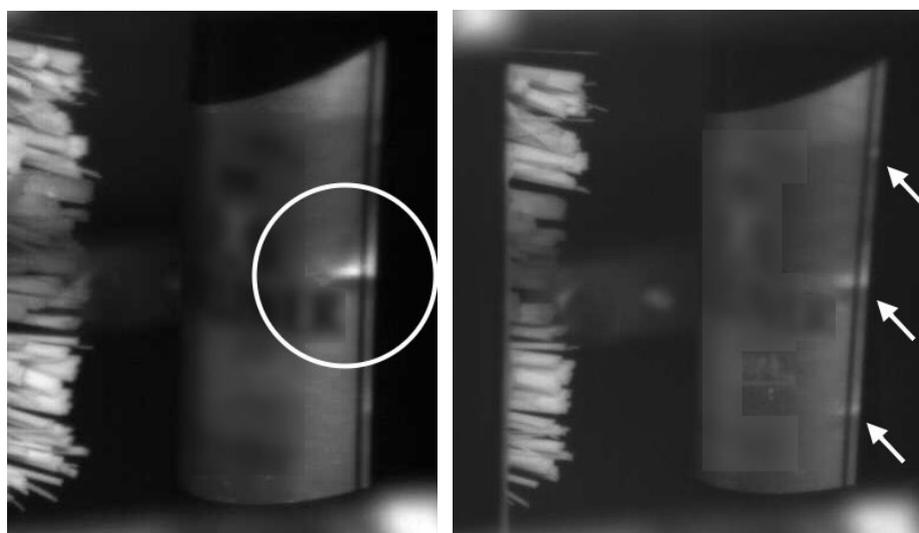


Abbildung 77: Faltenbildung nach der Anbürststation bei B1M1

5.7 Etikettierergebnis der einzelnen Beleimungspaletten

Zur Bestimmung der Faltenbildung der einzelnen Biermarken wurden während der Dokumentation des Etikettiervorgangs Flaschen direkt nach der Etikettiermaschine vom Transportband genommen und getrocknet. Durch Aufnahmen mit der HG-Kamera wurde jeder einzelnen dieser Flasche die entsprechende Beleimungspalette zugeordnet.

Die Ergebnisse dieser Untersuchung werden in den folgenden fünf Abbildungen dargestellt. Die Prozentangaben stehen für den Anteil mittlerer und großer Falten in dem jeweiligen Randbereich des Etiketts. Kleine Falten wurden nicht berücksichtigt. Die Prozentangaben sind um die Abdrücke der entsprechenden Beleimungspaletten angeordnet. Die Abdrücke sind spiegelverkehrt dargestellt und stimmen mit dem Klebstoffbild auf der Etikettenrückseite überein.

B1M1

Das Palettenkarussell der Etikettiermaschine für B1M1 besteht aus fünf Beleimungspaletten. Pro Beleimungspalette wurden 20 Flaschen auf Falten untersucht.

Bei B1M1 (siehe Abbildung 78) hebt sich keine der Beleimungspaletten durch besondere Auffälligkeiten hervor. Die höchste Abweichung der Faltenbildung einer einzelnen Beleimungspalette vom Durchschnitt (\emptyset) aller Beleimungspaletten fällt mit -15 % bei Beleimungspalette 3 moderat aus. Vor allem wenn in Betracht gezogen wird, dass sich die Werte der Faltenbildung bei B1M1 mit einem Höchstwert von 80 % beim Palettendurchschnitt auf einem sehr hohen Niveau befinden.

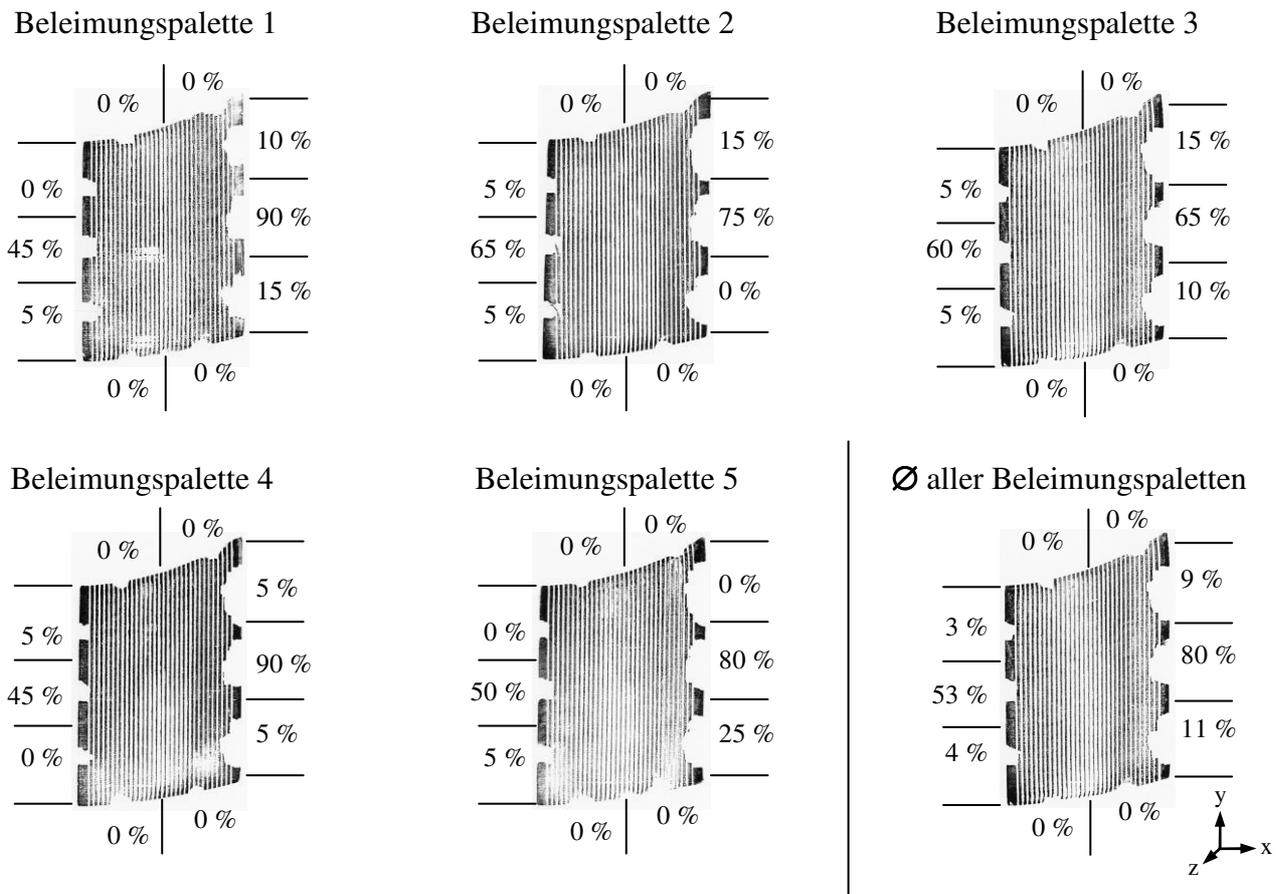


Abbildung 78: Vergleich der Beleimungspaletten von B1M1

B1M3

Das Palettenkarussell der Etikettiermaschine für B1M3 verfügt über acht Beleimungspaletten. Es wurden 12 Flaschen pro Beleimungspalette auf Falten untersucht.

Bei der Marke B1M3 (siehe Abbildung 79) fallen die Unterschiede zwischen den einzelnen Beleimungspaletten deutlicher aus als bei B1M1. Die stärksten Ungleichheiten bestehen zwischen den Paletten 4 und 6. Beleimungspalette 4 zeigt insgesamt die schwächste Neigung zur Faltenbildung im Vergleich aller acht Paletten. Dagegen liegt bei Palette 6 die Faltenbildung mit 75 % und 50 % auf der rechten Seite der Palette über dem Durchschnitt aller Paletten und um das vier- bzw. sechsfache über den entsprechenden Werten der Beleimungspalette 4.

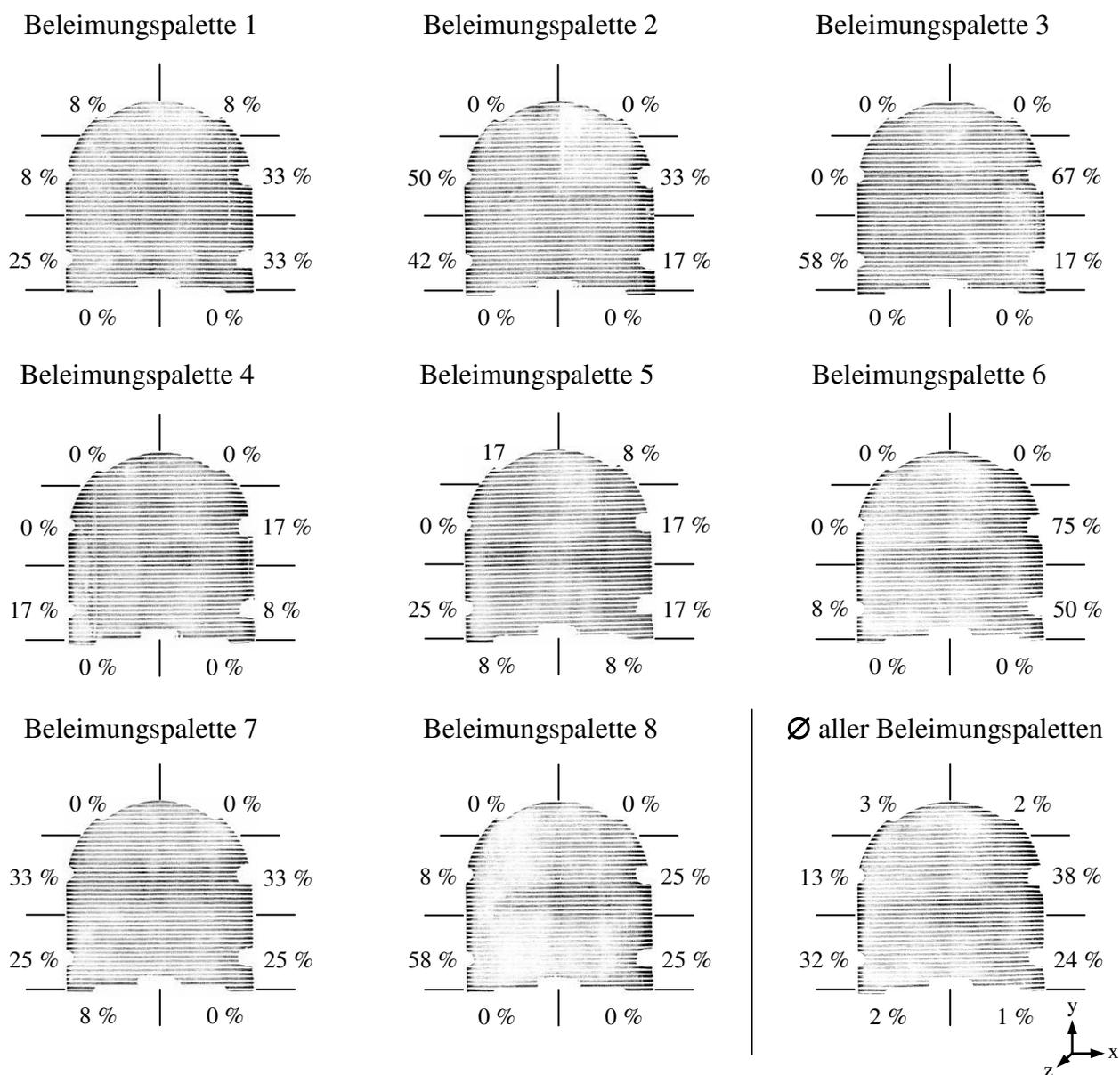


Abbildung 79: Vergleich der Beleimungspaletten von B1M3

B2M1

Das Palettenkarussell der Etikettiermaschine für B2M1 setzt sich aus acht Beleimungspaletten zusammen. Es wurden 11 Flaschen pro Beleimungspalette auf Falten untersucht.

Bei B2M1 (siehe Abbildung 80) hebt sich, wie bei B1M1, keine der Beleimungspaletten besonders hervor. Die höchste Abweichung vom Durchschnitt aller Beleimungspaletten zeigt Beleimungspalette 4, mit 8 %. Der Unterschied zu B1M1 liegt jedoch darin, dass bei dieser Marke die Tendenz zur Faltenbildung, mit einem Höchstwert von 6 % beim Palettendurchschnitt, nur begrenzt vorhanden ist.

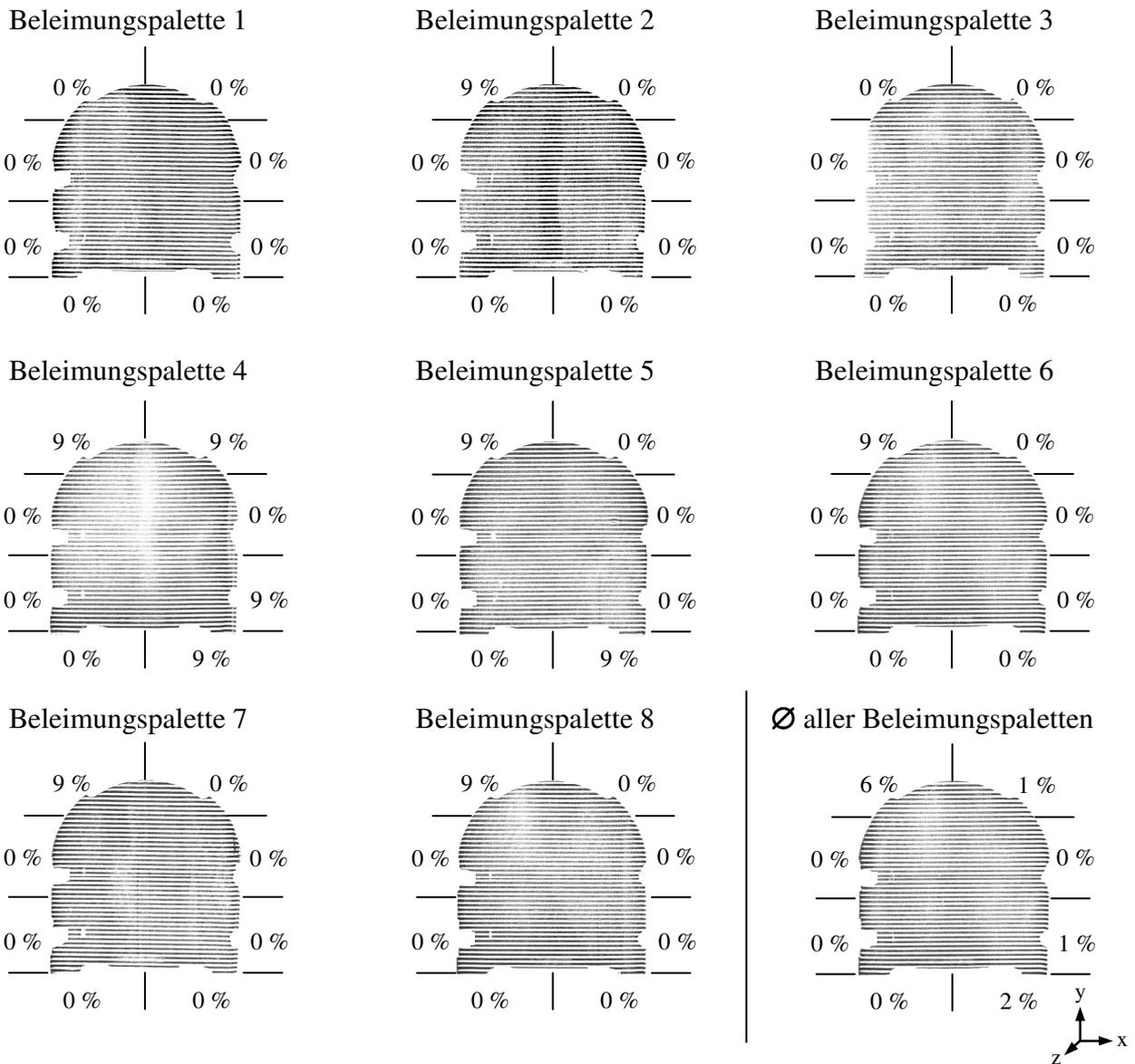


Abbildung 80: Vergleich der Beleimungspaletten von B2M1

B2M2

Die Marken B2M1 und B2M2 wurden auf derselben Etikettiermaschine etikettiert. Das Palettenkarussell von B2M1 und B2M2 mit seinen acht Beleimungspaletten, ist somit identisch. Es wurden 13 Flaschen pro Beleimungspalette auf Falten untersucht.

Auch bei B2M2 (siehe Abbildung 81) hebt sich keine der Beleimungspaletten besonders hervor. Die höchste Abweichung vom Durchschnitt aller Beleimungspaletten zeigt erneut Beleimungspalette 4, mit 15 %. Die Tendenz zur Faltenbildung, mit einem Höchstwert von 11 % beim Palettendurchschnitt, ist auch bei B2M2 nur schwach vorhanden ist.

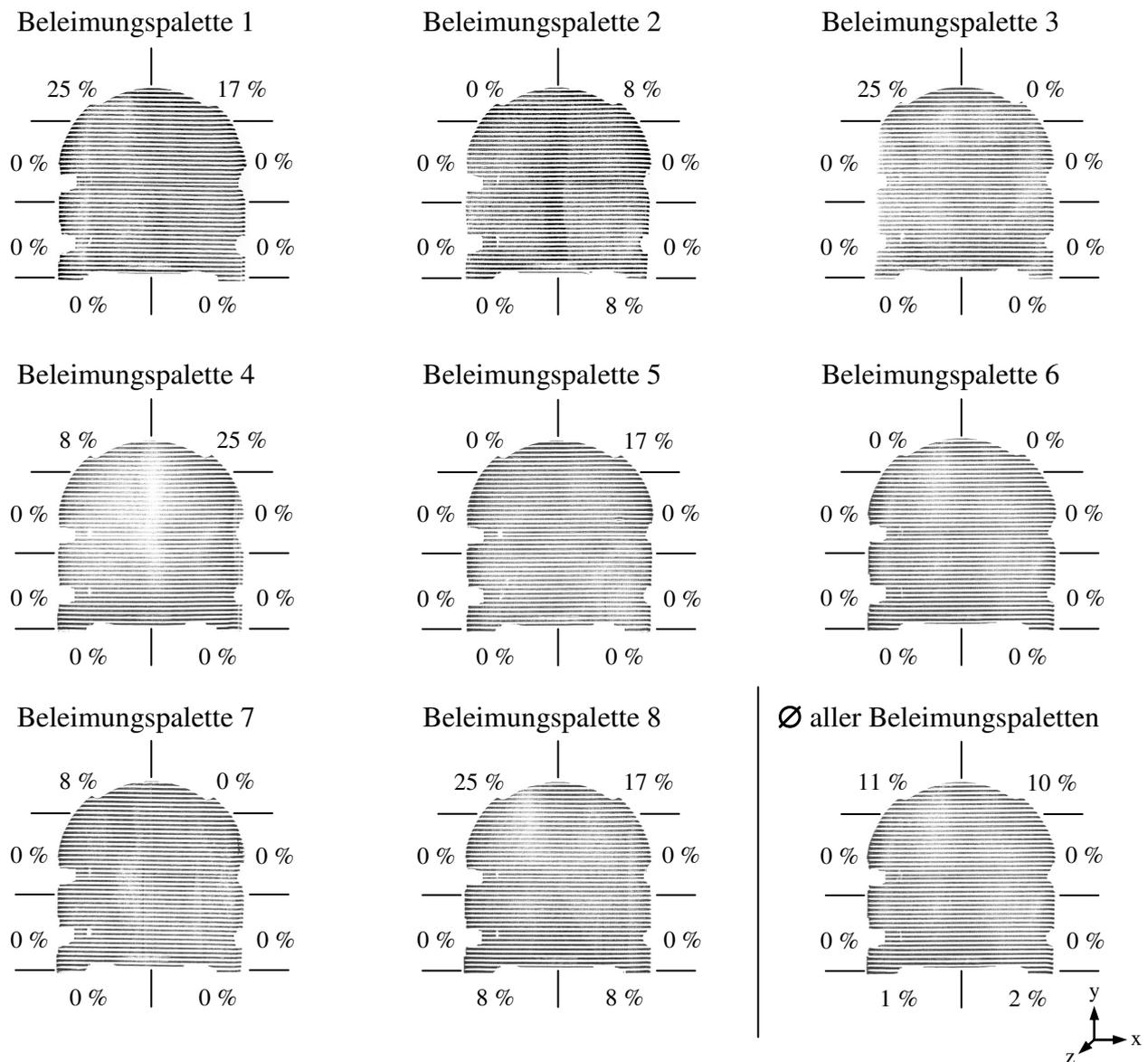


Abbildung 81: Vergleich der Beleimungspaletten von B2M2

B3M1

Das Palettenkarussell der Etikettiermaschine für B3M1 besteht aus acht Beleimungspaletten. Es wurden 12 Flaschen pro Beleimungspalette auf Falten untersucht. Ein Abdruck der Beleimungspaletten wurde nicht aufgenommen. Die Beleimungspaletten waren jedoch in neuwertigem Zustand.

Bei B3M1 hebt sich einzig die Beleimungspalette 6 hervor, die mit 34 % im linken, unteren Bereich des Etiketts eine um 24 % höhere Faltenbildung gegenüber dem Durchschnitt aller Beleimungspaletten zeigt.

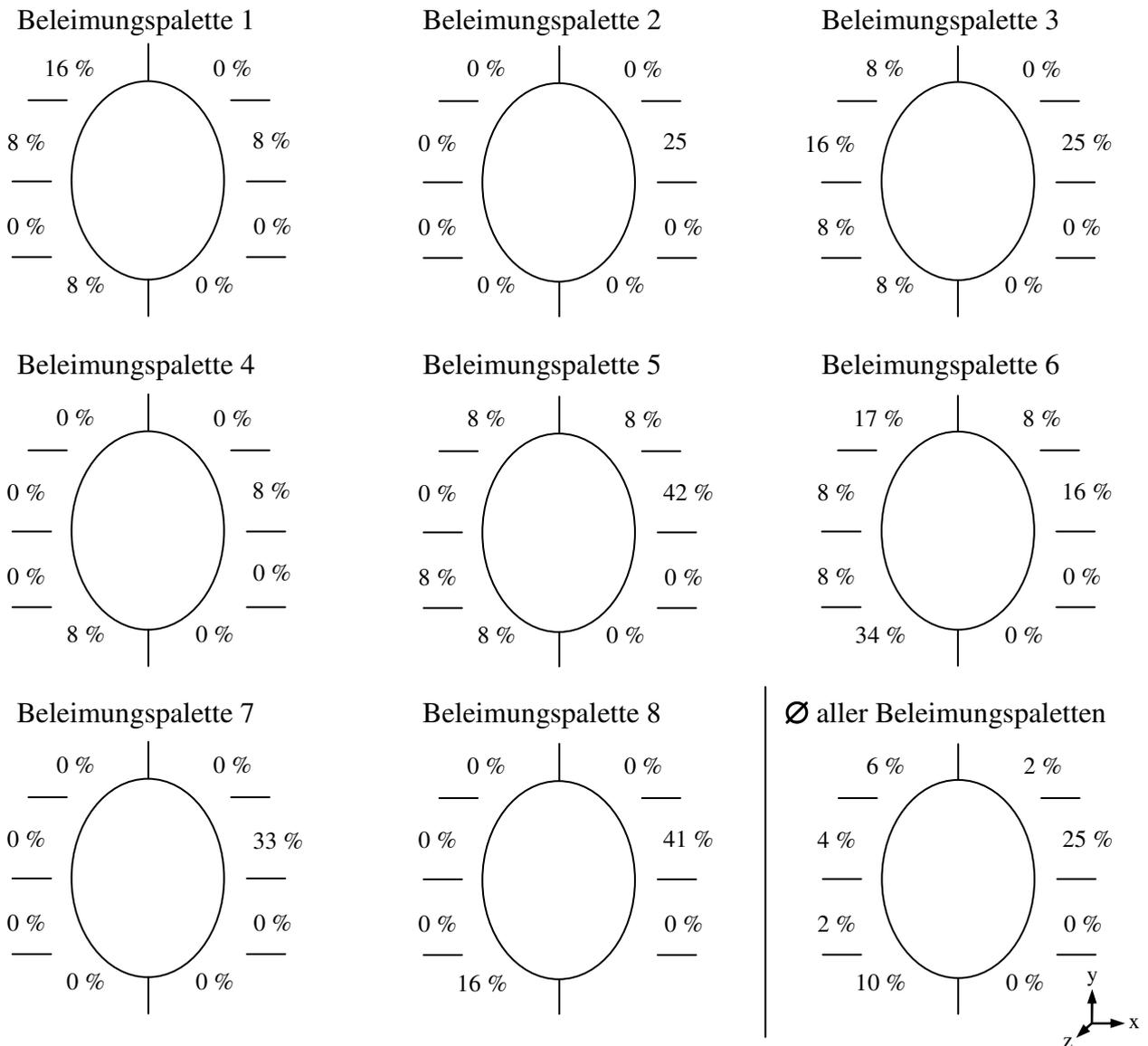


Abbildung 82: Vergleich der Beleimungspaletten von B3M1

6 Versuche im industriellen Maßstab

Zur Erweiterung der Datenbasis, die der Aufschlüsselung der Vorgänge bei der Faltenbildung und der Identifikation der Einflussgrößen dient, umfasst der zweite Teilbereich der ersten Stufe Technikumsversuche im industriellen Maßstab.

Auch in diesem Kapitel erfolgt zunächst ausschließlich eine Auflistung der Messwerte und Ergebnisse, um sie anschließend in Kapitel 8, gemeinsam mit den beiden anderen Teilbereichen, zu diskutieren.

6.1 Konstanz der Klebstoffmenge

Nach Egon SCHILDMANN hängt das Etikettierergebnis unmittelbar mit der auf die Etiketten übertragenen Klebstoffmenge zusammen [54, 55]. Bei den Versuchen in den drei Brauereien wurde aufgrund des kontinuierlichen Betriebes der Etikettiermaschinen angenommen, dass eine konstante Klebstoffmenge auf die Etiketten übertragen wird. Im Gegensatz dazu können auf der Etikettiermaschine im Technikum maximal 350 Flaschen nacheinander etikettiert werden. Wie sich dieser Umstand auf die übertragene Klebstoffmenge auswirkt, wurde in zwei Versuchsläufen bestimmt. Die Ergebnisse der beiden Durchläufe sind in Abbildung 83 graphisch dargestellt. Bei Versuchslauf 1 wurden durchschnittlich 7,9 g Etikettierklebstoff pro m^2 Etikettenfläche auf die Etiketten übertragen. Die Einzelmesswerte schwanken mit einer Standardabweichung von $s = 1,87$ um den Mittelwert. Die Korrelation R^2 der Einzelwerte mit der linearen Trendlinie beträgt beim ersten Versuchslauf 0,24.

Im 2. Versuchslauf wurden im Mittel $5,6 \text{ g/m}^2$ Etikettierklebstoff auf die Etiketten übertragen. Die Standardabweichung der Einzelmessungen zum Mittelwert ist bei diesem Versuch mit 2,28 größer als bei Versuchslauf 1. Mit $R^2 = 0,11$ ist die Korrelation der Einzelwerte zur linearen Trendlinie ebenfalls geringer als beim ersten Versuchslauf.

Bei beiden Versuchsläufen zeigen die linearen Trendlinien mit zunehmender Anzahl etikettierter Flaschen einen kontinuierlichen Rückgang der Klebstoffmenge.

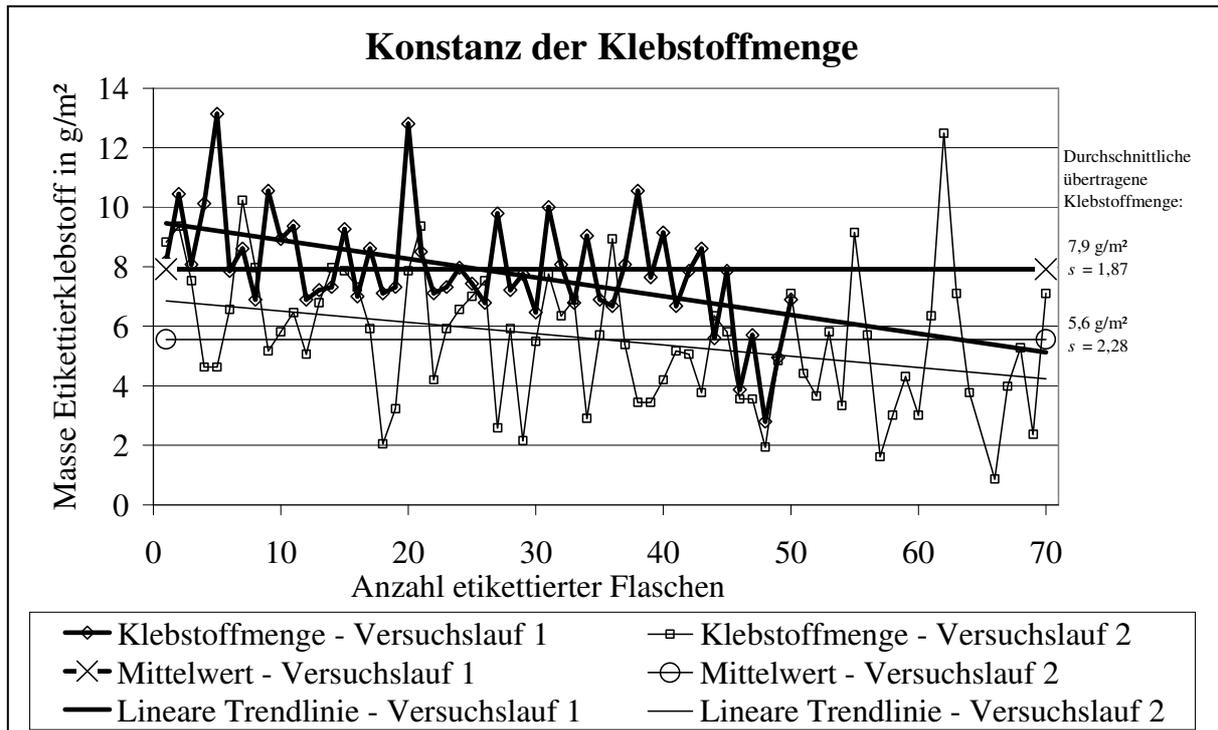


Abbildung 83: Konstanz der Klebstoffmenge bei der Modul-Etikettiermaschine

6.2 Papieretiketten im Technikum

Für die Versuche im industriellen Maßstab wurden sechs verschiedene Basispapiere eingesetzt, mit jeweils fünf verschiedenen, im Offsetdruck hergestellten Dekoren. Drei der Basispapiere waren metallisiert, drei Papiere waren nicht metallisiert. Alle Etiketten waren jeweils in geprägter und ungeprägter Form vorhanden. Die Etiketten mit nicht metallisiertem Basispapier waren zudem in den Varianten lackiert und nicht lackiert verfügbar. Für die Bezeichnung der Versuchsetiketten in den einzelnen Versuchsläufen wurde der in Abschnitt 4.3.2 auf Seite 57 angegebene Schlüssel angewendet.

6.2.1 Etikettenuntersuchungen nach den STLB

Die Versuchsetiketten wurden, wie bereits die Etiketten der Brauereien, nach den STLB und weiteren Analysen untersucht. Dabei sind keine für Papieretiketten außergewöhnlichen Messwerte aufgetreten. Auch der Faserlauf stimmte bei allen Etiketten mit den Vorgaben überein. Auf die Bestimmung der Glätte nach Bekk bei den lackierten Varianten der Etiketten mit den Basispapieren 4, 5 und 6 wurde verzichtet, da eine Lackierung lediglich die Etiketenoberfläche beeinflusst und somit keine Auswirkungen auf die Glätte der Etikettenrückseite zu erwarten ist. Es wird daher davon ausgegangen, dass die Glätte nach Bekk der lackierten Varianten mit der Glätte der entsprechenden nicht lackierten Varianten übereinstimmt. Die Untersuchungsergebnisse nach den STLB sind in Tabelle 22 aufgelistet. (Einzelmesswerte siehe Abschnitt 11.12 auf Seite 206).

Tabelle 22: Untersuchungsergebnisse der Versuchsetiketten nach den STLB

Etikett					Flächenbezogene Masse in g/m ²		Cobb-Wert in g/m ²		Rollneigung	Glätte nach Bekk in Sekunden		Dicke in mm	
BP	M	P	L	D	\bar{x} *	<i>s</i>	\bar{x} *	<i>s</i>	\bar{x} **	\bar{x} ***	<i>s</i>	\bar{x} ***	<i>s</i>
1	1	0	-	2	74,3	0,92	16,0	0,21	2	128 *	3,6	0,073	0,0020
1	1	1	-	2	74,2	1,33	16,5	0,57	2	92 *	2,5	0,075	0,0017
2	1	0	-	2	73,7	0,54	25,5	0,66	2	116 *	2,7	0,067	0,0015
2	1	1	-	2	73,8	0,27	29,0	0,52	2	92 *	2,2	0,068	0,0013
3	1	0	-	2	71,5	0,76	14,5	0,22	2	145 *	5,3	0,069	0,0018
3	1	1	-	2	70,9	0,77	15,0	0,23	2	99 *	6,2	0,072	0,0019
4	0	0	0	2	71,7	0,48	10,0	0,17	1	346	11,5	0,068	0,0013
4	0	1	0	2	71,5	0,92	10,0	0,19	1	120	9,6	0,070	0,0014
4	0	0	1	2	73,0	0,67	11,0	0,21	2	X	X	0,067	0,0016
4	0	1	1	2	73,2	0,80	11,5	0,26	1	X	X	0,069	0,0020
5	0	0	0	2	71,7	1,22	16,5	0,40	1	411	11,2	0,066	0,0020
5	0	1	0	2	71,1	0,68	16,5	0,31	1	133	7,6	0,068	0,0012
5	0	0	1	2	72,9	0,25	15,5	0,42	2	X	X	0,066	0,0016
5	0	1	1	2	72,6	0,24	15,5	0,20	1	X	X	0,067	0,0025
6	0	0	0	2	72,6	0,73	17,0	0,29	1	427	18,9	0,066	0,0018
6	0	1	0	2	71,3	1,36	17,5	0,24	1	196	12,1	0,068	0,0020
6	0	0	1	2	74,3	1,02	15,0	0,44	2	X	X	0,066	0,0013
6	0	1	1	2	73,8	1,05	15,5	0,26	1	X	X	0,067	0,0013

n = Anzahl der Einzelmessungen; * n = 5; ** n = 2; *** n = 10; \bar{x} = Mittelwert; *s* = Standardabweichung;

X = Nicht bestimmt

6.2.2 Dynamisches Penetrationsverhalten

Das dynamische Penetrationsverhalten beschreibt, wie schnell Feuchtigkeit in das Fasergefüge der Papieretiketten eindringt. Das dynamische Penetrationsverhalten der verschiedenen Etiketten für die Technikumsversuche wurde in jeweils drei Einzelmessungen mit einem Penetrationsmessgerät bestimmt.

Metallisierte Etiketten

Die drei metallisierten, jeweils vollflächig bedruckten Basispapiere unterscheiden sich deutlich in ihren Penetrationseigenschaften (siehe Abbildung 84). Die Transmissionskurve von Basispapier BP3 verläuft am flachsten und weist darauf hin, dass dieses Basispapier die Feuchtigkeit am langsamsten aufnimmt, verglichen mit den beiden anderen Basispapieren. Bei Basispapier BP2 nimmt die Transmissionskurve am steilsten ab, während die Kurven von BP1 etwa in der Mitte der beiden anderen Transmissionskurven verlaufen.

Eine Prägung der Etikettenpapiere führt bei BP1 und BP3 zu einer minimalen Verzögerung bei der Feuchtigkeitsaufnahme. Bei BP2 führt die Prägung zu keiner Veränderung der Transmissionskurve, weder bei der Feuchtigkeitsaufnahme noch im Sättigungszustand. Dies liegt vermutlich an der ohnehin schnellen Feuchtigkeitsaufnahme des Basispapiers.

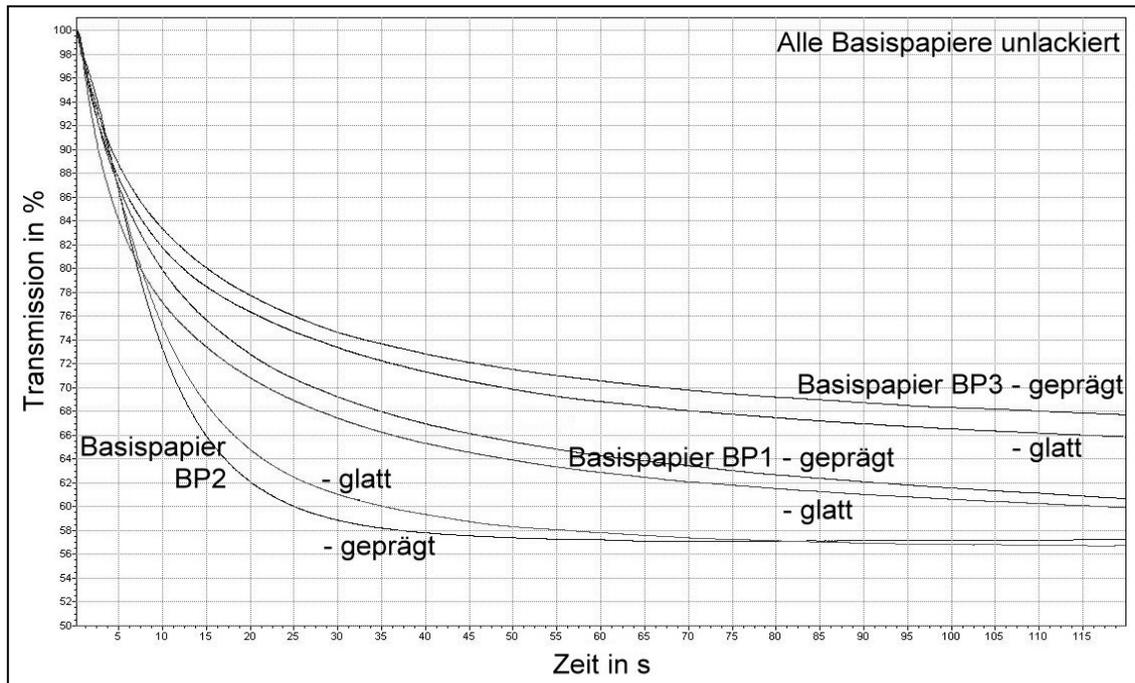


Abbildung 84: Dynamisches Penetrationsverhalten der metallisierten Versuchsetiketten

Nicht metallisierte Etiketten

Unter den drei jeweils vollflächig bedruckten, nicht metallisierten Basispapieren hebt sich BP4, durch einen flacheren Verlauf der Transmissionskurve, von den beiden anderen Basispapieren ab (siehe Abbildung 85).

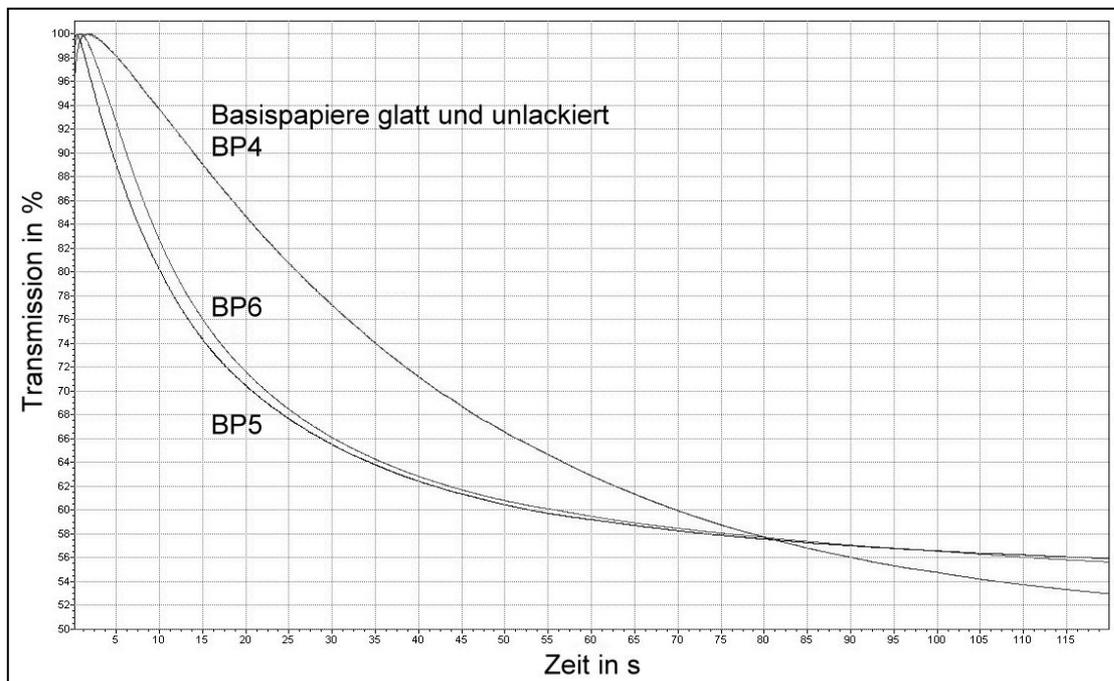


Abbildung 85: Dynamisches Penetrationsverhalten der nicht metallisierten Etiketten

Die Transmissionskurven aller weiteren Varianten der nicht metallisierten Basispapieren sind im Anhang, in Abschnitt 11.15 auf Seite 211 abgebildet. Bei allen drei Basispapieren wirkt sich die Prägung in Form einer leicht verzögerten Transmissionsabnahme aus. Der Einfluss

einer Lackierung auf die Transmissionskurven ist uneinheitlich. Bei BP4 beschleunigt die Lackierung die Feuchtigkeitsaufnahme leicht, was an einer etwas steileren Abnahme der Transmissionskurven erkennbar ist. Bei den Basispapieren BP5 und BP6 verlangsamt sich dagegen die Feuchtigkeitsaufnahme durch die Lackierung.

6.2.3 Dynamische Nassdehnung und Hysterese

Mit dem Dehnungsmodul des Penetrationsmessgerätes wurden das dynamische Nassdehnungsverhalten und die Hysterese der Etiketten in jeweils drei Einzelmessungen bestimmt.

Bis auf Basispapier BP6 erfüllen alle Papiere die Forderung einer Nassdehnung quer zum Faserlauf unter 2,0 % [8]. BP6 liegt mit etwa 2,3 % Nassdehnung bereits deutlich darüber. Die Hysterese liegt bei allen Basispapieren unter 0,25 %. Einzige Ausnahme bildet das Basispapier BP4 mit einer Hysterese knapp über 0,25 % (siehe Abbildung 86). Die Nassdehnungskurven sämtlicher Varianten sind im Anhang in Abschnitt 11.16 ab Seite 212 dargestellt. Das dynamische Nassdehnungsverhalten der einzelnen Basispapiere wird durch eine Prägung nicht signifikant beeinflusst. Eine Lackierung der nicht metallisierten Basispapiere führte nur bei BP6 zu einer Erhöhung der Nassdehnung.

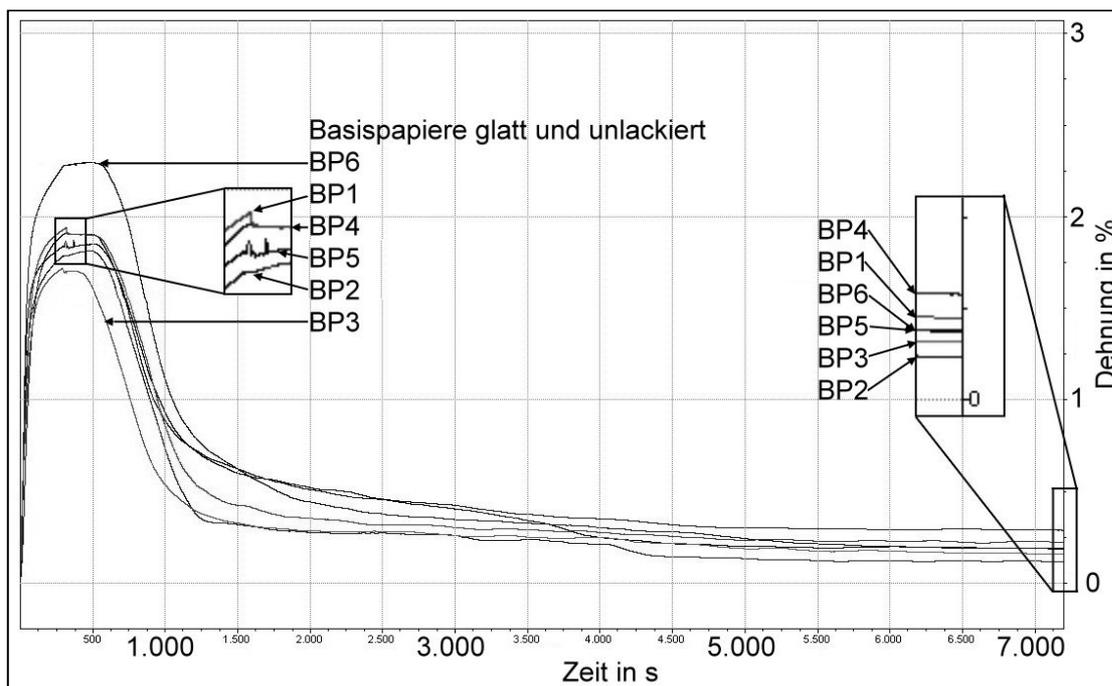


Abbildung 86: Nassdehnung und Hysterese der Versuchsetiketten

6.3 Einfluss der Papieretiketten

6.3.1 Basispapiere

Das Ziel der Versuchsläufe A1 bis A8 bestand darin herauszufinden, ob der Einsatz unterschiedlicher Basispapiere zu unterschiedlichen Etikettierergebnissen führt. Die bei diesen Versuchsläufen ermittelten Kennzahlen der Faltenbildung sind in Tabelle 23 aufgelistet.

Tabelle 23: Einfluss der Basispapiere

Versuch Lauf	Versuch Nummer	Etikett	Kennzahl der Faltenbildung
A1	1-8	BP1-M1-P0-L0-D2	10
	1-9	BP2-M1-P0-L0-D2	7
A2	1-10	BP3-M1-P0-L0-D2	8
	1-11	BP4-M0-P0-L0-D2	4
	1-12	BP5-M0-P0-L0-D2	13
A3	1-13	BP6-M0-P0-L0-D2	69
	2-2	BP2-M1-P0-L0-D2	29
A4	1-4	BP3-M1-P1-L0-D2	20
	1-7	BP6-M0-P1-L0-D2	18
A5	1-5	BP4-M0-P1-L0-D2	3
	4-9	BP5-M0-P1-L0-D2	9
A6	4-2	BP4-M0-P1-L1-D2	6
	4-3	BP5-M0-P1-L1-D2	10
A7	4-4	BP6-M0-P1-L1-D2	31
	4-6	BP5-M0-P1-L1-D2	20
A8	3-2	BP4-M0-P0-L1-D2	3
	3-3	BP5-M0-P0-L1-D2	9
	3-4	BP6-M0-P0-L1-D2	7

6.3.2 Dekor

Der Einfluss des Etikettendekors wurde mit dem Etikett BP2-M1-P0-L0, in Versuchslauf B1 untersucht. Die Kennzahlen der Faltenbildung in Tabelle 24 zeigen, dass bei den Versuchsetiketten mit den Dekoren D2, D3 und D4, die eine horizontal und vertikal symmetrische Farbverteilung aufweisen (siehe Abbildung 38 auf Seite 57), keine unterschiedliche Neigung zur Faltenbildung auftritt. Die Kennzahlen dieser drei Dekorvarianten liegen mit den Werten 3, 4 und 5 dicht beieinander. Das Etikett mit dem horizontal symmetrischen Dekor D1 zeigt mit dem Wert 8 eine geringfügig höhere Kennzahl als die Dekore D2, D3 und D4. Das Dekor D5, das an den Seitenrändern einen fließenden Farbverlauf hat, zeigt mit der Kennzahl 15 die höchste Neigung zur Faltenbildung, verglichen mit den anderen vier Dekorvarianten.

Tabelle 24: Einfluss des Dekors

Versuch Lauf	Versuch Nummer	Etikett	Kennzahl der Faltenbildung
B1	8-11	BP2-M1-P0-L0-D1	8
	8-11	BP2-M1-P0-L0-D2	3
	8-11	BP2-M1-P0-L0-D3	4
	8-11	BP2-M1-P0-L0-D4	5
	8-11	BP2-M1-P0-L0-D5	15

6.3.3 Prägung

Eine Prägung des Papiers wird unter anderem eingesetzt, um die haptische Wahrnehmung der Papieroberfläche zu verändern. Durch eine Prägung werden jedoch auch die physikalischen Eigenschaften des Etikettenpapiers beeinflusst. Ob dadurch eine Änderung der Neigung zur Faltenbildung hervorgerufen wird, wurde in den Versuchsläufen C und E untersucht.

Die Ergebnisse der Versuchsreihen sind in Tabelle 25 aufgetragen. Bei den Versuchsläufen C1 bis C6 konnte durch die Prägung keine eindeutige Änderung der Neigung zu Faltenbildung beobachtet werden. Bei dem Versuchslauf C5 verschlechterte sich die Kennzahl der Faltenbildung durch eine Prägung, während sich bei den Läufen C1, C3 und C4 keine signifikante Änderung in der Neigung zur Faltenbildung ergab. In den Versuchsläufen C2, C6 und E1 bewirkte die Prägung des Papiers eine Verringerung der Neigung zur Faltenbildung.

Tabelle 25: Einfluss der Prägung

Versuch Lauf	Versuch Nummer	Etikett	Kennzahl der Faltenbildung	Untersuchtes Merkmal	Effekt auf die Faltenbildung
C1	6-2	BP2-M1-P0-L0-D2	0		~
	6-3	BP2-M1-P1-L0-D2	0	Prägung	
C2	6-2	BP2-M1-P0-L0-D2	5		+
	6-3	BP2-M1-P1-L0-D2	2	Prägung	
C3	6-6	BP5-M0-P0-L1-D2	11		~
	6-7	BP5-M0-P1-L1-D2	12	Prägung	
C4	6-8	BP2-M1-P0-L0-D2	48		~
	6-9	BP2-M1-P1-L0-D2	44	Prägung	
C5	6-8	BP2-M1-P0-L0-D2	1		-
	6-9	BP2-M1-P1-L0-D2	5	Prägung	
C6	6-12	BP5-M0-P0-L1-D2	23		+
	6-13	BP5-M0-P1-L1-D2	19	Prägung	
E1	8-10	BP5-M0-P0-L0-D2	8		+
	8-10	BP5-M0-P1-L0-D2	2	Prägung	
	8-10	BP5-M0-P0-L1-D2	10		+
	8-10	BP5-M0-P1-L1-D2	4	Prägung	

+ = Verbesserung der Kennzahl der Faltenbildung durch eine Prägung

- = Verschlechterung der Kennzahl der Faltenbildung durch eine Prägung

~ = Keine signifikante Änderung durch eine Prägung

6.3.4 Lackierung

Eine vollflächige Lackierung, wie sie bei den lackierten Versuchsetiketten aufgebracht wurde, erhöht den Glanz des Dekors von nicht metallisierten Etiketten. Klarlack wird jedoch auch als unsichtbare Druckfarbe verwendet, um unbedruckte, weiße Teilbereiche im Dekor zu verschließen und das Entstehen einer ungleichmäßigen Bedruckung auf diese Weise zu vermeiden. Ob die Lackierung einen Einfluss auf die Faltenbildung ausübt, wurde in den Versuchsläufen C, D und E untersucht.

Bei den Versuchen im Etikettiertechnikum hatten die Etiketten mit einer Lackierung entweder dieselbe oder aber eine erhöhte Neigung zur Faltenbildung, verglichen mit der entsprechenden unlackierten Etikettenvariante (siehe Tabelle 26). Eine Verbesserung des Etikettierergebnisses durch eine Lackierung wurde in keinem der Versuchsläufe erzielt.

Tabelle 26: Einfluss der Lackierung

Versuch Lauf	Versuch Nummer	Etikett	Kennzahl der Faltenbildung	Untersuchtes Merkmal	Effekt auf die Faltenbildung
C3	6-5	BP5-M0-P1-L0-D2	8		-
	6-7	BP5-M0-P1-L1-D2	12	Lackierung	
C6	6-11	BP5-M0-P1-L0-D2	5		-
	6-13	BP5-M0-P1-L1-D2	19	Lackierung	
D1	3-11	BP5-M0-P0-L0-D5	26		-
	3-12	BP5-M0-P0-L1-D5	50	Lackierung	
D2	4-5	BP5-M0-P1-L0-D1	19		~
	4-6	BP5-M0-P1-L1-D1	20	Lackierung	
D3	4-7	BP5-M0-P1-L0-D3	27		-
	4-8	BP5-M0-P1-L1-D3	34	Lackierung	
D4	4-11	BP5-M0-P1-L0-D5	17		~
	4-12	BP5-M0-P1-L1-D5	17	Lackierung	
E1	8-10	BP5-M0-P0-L0-D2	8		~
	8-10	BP5-M0-P0-L1-D2	10	Lackierung	
	8-10	BP5-M0-P1-L0-D2	2		~
	8-10	BP5-M0-P1-L1-D2	4	Lackierung	

+ = Verbesserung der Kennzahl der Faltenbildung durch eine Lackierung

- = Verschlechterung der Kennzahl der Faltenbildung durch eine Lackierung

~ = Keine signifikante Änderung der Kennzahl der Faltenbildung durch eine Lackierung

6.4 Einfluss unterschiedlicher Etikettierklebstoffe

Die Klebstoffsorte ist nach dem Stand des Wissens eine der Einflussgrößen auf das Etikettierergebnis. Aus diesem Grund wurden die Abbindeigenschaften verschiedener Etikettierklebstoffe, die Verarbeitungstemperatur und die aufgetragene Klebstoffmenge auf deren Auswirkung auf die Faltenbildung untersucht.

6.4.1 Klebstoffsorten mit unterschiedlichen Abbindeigenschaften

In Abbildung 87 sind die Abbindeigenschaften der eingesetzten Etikettierklebstoffe, bestimmt nach der modifizierten Methode von KEMENATER und BADE [29], dargestellt. Die Nummerierung der Etikettierklebstoffe steigt mit zunehmender Abbindgeschwindigkeit an. Der Etikettierklebstoff EK2 bindet am langsamsten, der Klebstoff EK4 bindet am schnellsten von den untersuchten Etikettierklebstoffen ab.

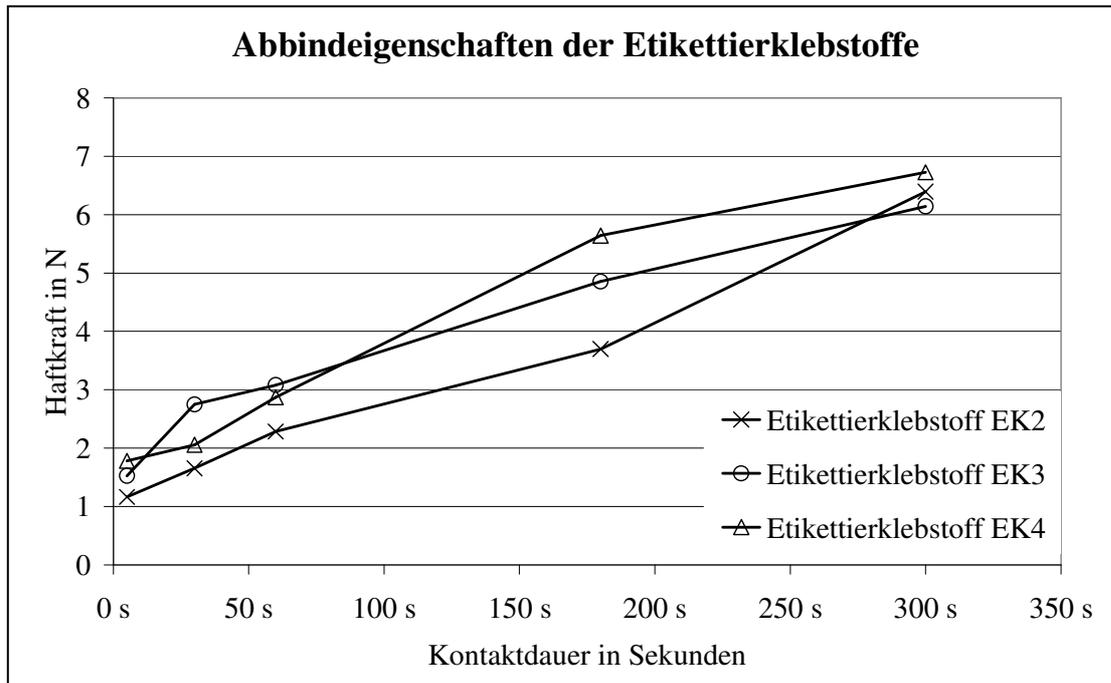


Abbildung 87: Abbindeigenschaften der Etikettierklebstoffe

In den Versuchsläufen G bis I sollte durch den Einsatz unterschiedlich schnell abbindender Etikettierklebstoffe festgestellt werden, wie die Abbindeigenschaften das Etikettierverhalten beeinflussen.

Die Versuchsergebnisse in Tabelle 27 zeigen, dass es Unterschiede zwischen den Etikettierklebstoffen gibt. Das Ergebnis ist jedoch nicht eindeutig.

Bei einer reduzierten Klebstoffmenge zwischen $4,3 \text{ g/m}^2$ und $5,4 \text{ g/m}^2$ verursacht der Etikettierklebstoff EK4 auf den beiden Basispapieren BP2 und BP5 am wenigsten Falten. Der Klebstoff EK3 verursacht die meisten Falten und EK2 liegt zwischen den beiden Klebstoffen.

Bei einer durchschnittlichen Klebstoffmenge von $10,8 \text{ g/m}^2$ bis $16,1 \text{ g/m}^2$ ist das Ergebnis abhängig vom Basispapier. Mit dem Basispapier BP2 ergibt sich eine ähnliche Reihenfolge wie bei der reduzierten Klebstoffmenge. Etikettierklebstoff EK4 zeigt auf diesem Basispapier wiederum die geringste Neigung zur Faltenbildung. Die Klebstoffe EK2 und EK3 unterscheiden sich dagegen kaum. In Verbindung mit Basispapier BP5 zeigt der Etikettierklebstoff EK4 ebenfalls das beste Etikettierergebnis. Mit dem Etikettierklebstoff EK2 wird auf diesem Papier jedoch ein messbar schlechteres Ergebnis erzielt als mit Klebstoff EK3.

Bei einer erhöhten Klebstoffmenge zwischen $23,7 \text{ g/m}^2$ und $29,1 \text{ g/m}^2$ ist das Ergebnis ebenfalls vom Basispapier abhängig. Mit Basispapier BP2 zeigen alle drei Etikettierklebstoffe ein vergleichbares Etikettierergebnis. Auf Basispapier BP5 zeigt der Klebstoff EK2 das beste Ergebnis, dicht gefolgt von Etikettierklebstoff EK3. Der Klebstoff EK4 hebt sich in dieser Kombination durch eine deutlich höhere Kennzahl der Faltenbildung ab.

Tabelle 27: Einfluss der Klebstoffsorte

Versuch		Etikett	Kennzahl der Faltenbildung	Klebstoff Sorte	Temperatur Klebstoff	Klebstoffmenge
Lauf	Nummer					
Vergleich der Klebstoffsorten bei reduzierter Klebstoffmenge						
G1	5-2a	BP5-M0-P0-L0-D2	74	EK4	26 °C	5,4 g/m ²
	5-2b	BP2-M1-P0-L0-D2	24			
H1	5-5a	BP5-M0-P0-L0-D2	91	EK3	27 °C	5,4 g/m ²
	5-5b	BP2-M1-P0-L0-D2	77			
I1	5-8a	BP5-M0-P0-L0-D2	87	EK2	33 °C	4,3 g/m ²
	5-8b	BP2-M1-P0-L0-D2	55			
Vergleich der Klebstoffsorten bei durchschnittlicher Klebstoffmenge						
G2	5-3a	BP5-M0-P0-L0-D2	43	EK4	26 °C	16,1 g/m ²
	5-3b	BP2-M1-P0-L0-D2	16			
H2	5-6a	BP5-M0-P0-L0-D2	52	EK3	26 °C	10,8 g/m ²
	5-6b	BP2-M1-P0-L0-D2	20			
I2	5-9a	BP5-M0-P0-L0-D2	39	EK2	33 °C	12,9 g/m ²
	5-9b	BP2-M1-P0-L0-D2	22			
Vergleich der Klebstoffsorten bei erhöhter Klebstoffmenge						
G3	5-4a	BP5-M0-P0-L0-D2	21	EK4	26 °C	29,1 g/m ²
	5-4b	BP2-M1-P0-L0-D2	3			
H3	5-7a	BP5-M0-P0-L0-D2	8	EK3	26 °C	28,0 g/m ²
	5-7b	BP2-M1-P0-L0-D2	1			
I3	5-10a	BP5-M0-P0-L0-D2	5	EK2	29 °C	23,7 g/m ²
	5-10b	BP2-M1-P0-L0-D2	0			

6.4.2 Klebstoffmenge

Um den Einfluss der Klebstoffmenge auf die Faltenbildung zu bestimmen, wurden mehrere Versuchsläufe mit Klebstoffmengen zwischen 2,2 g/m² und 48,4 g/m² durchgeführt.

Die Ergebnisse der Versuchsläufe C1, C2 und C4 in Tabelle 28 zeigen, dass die Klebstoffmenge einen starken Einfluss auf die Faltenbildung bei der Nassetikettierung hat. Mit Reduzierung der Klebstoffmenge pro m² Etikett nimmt die Neigung zur Faltenbildung, die in der Kennzahl der Faltenbildung ihren Ausdruck findet, zu.

Tabelle 28: Einfluss der Klebstoffmenge – Versuchsläufe C1, C2 und C4

Versuch		Etikett	Klebstoffmenge	Kennzahl der Faltenbildung *
Lauf	Nummer			
C1	6-4a	BP5-M0-P0-L0-D2	48,4 g/m ²	1 (Ausgangswert)
C2	6-4a	BP5-M0-P0-L0-D2	11,8 g/m ²	6 (+ 5)
C4	6-10a	BP5-M0-P0-L0-D2	2,2 g/m ²	26 (+ 15)
C1	6-2a	BP2-M1-P0-L0-D2	48,4 g/m ²	0 (Ausgangswert)
C2	6-2b	BP2-M1-P0-L0-D2	11,8 g/m ²	5 (+ 5)
C4	6-8a	BP2-M1-P0-L0-D2	2,2 g/m ²	48 (+ 48)
C1	6-3a	BP2-M1-P1-L0-D2	48,4 g/m ²	0 (Ausgangswert)
C2	6-3b	BP2-M1-P1-L0-D2	11,8 g/m ²	2 (+ 2)
C4	6-9a	BP2-M1-P1-L0-D2	2,2 g/m ²	44 (+ 44)

* In Klammern: Zunahme der Kennzahl der Faltenbildung im Vergleich zum Ausgangswert

Dieses Ergebnis wird durch die Versuchsläufe G, H und I bestätigt (siehe Tabelle 29). Die Reduzierung der Klebstoffmenge pro m² Etikett führte unabhängig von der Klebstoffsorte und dem Basispapier in allen Versuchsläufen stets zu einer Zunahme der Kennzahl der Faltenbildung und damit der Neigung zur Faltenbildung.

Tabelle 29: Einfluss der Klebstoffmenge – Versuchsläufe G, H und I

Versuch		Etikett	Klebstoff Sorte	Temperatur Klebstoff	Klebstoff- menge	Kennzahl der Faltenbildung *
Lauf	Nummer					
G3	5-4a	BP5-M0-P0-L0-D2	4	26 °C	29,1 g/m ²	21 (Ausgangswert)
G2	5-3a	BP5-M0-P0-L0-D2	4	26 °C	16,1 g/m ²	43 (+ 22)
G1	5-2a	BP5-M0-P0-L0-D2	4	26 °C	5,4 g/m ²	74 (+ 53)
H3	5-7a	BP5-M0-P0-L0-D2	3	26 °C	28,0 g/m ²	8 (Ausgangswert)
H2	5-6a	BP5-M0-P0-L0-D2	3	26 °C	10,8 g/m ²	52 (+ 44)
H1	5-5a	BP5-M0-P0-L0-D2	3	27 °C	5,4 g/m ²	91 (+ 83)
I3	5-10a	BP5-M0-P0-L0-D2	2	29 °C	23,7 g/m ²	5 (Ausgangswert)
I2	5-9a	BP5-M0-P0-L0-D2	2	33 °C	12,9 g/m ²	39 (+ 34)
I1	5-8a	BP5-M0-P0-L0-D2	2	33 °C	4,3 g/m ²	87 (+ 82)
G3	5-4b	BP2-M1-P0-L0-D2	4	26 °C	29,1 g/m ²	3 (Ausgangswert)
G2	5-3b	BP2-M1-P0-L0-D2	4	26 °C	16,1 g/m ²	16 (+ 13)
G1	5-2b	BP2-M1-P0-L0-D2	4	26 °C	5,4 g/m ²	24 (+ 21)
H3	5-7b	BP2-M1-P0-L0-D2	3	26 °C	28,0 g/m ²	1 (Ausgangswert)
H2	5-6b	BP2-M1-P0-L0-D2	3	26 °C	10,8 g/m ²	20 (+ 19)
H1	5-5b	BP2-M1-P0-L0-D2	3	27 °C	5,4 g/m ²	77 (+ 76)
I3	5-10b	BP2-M1-P0-L0-D2	2	29 °C	23,7 g/m ²	0 (Ausgangswert)
I2	5-9b	BP2-M1-P0-L0-D2	2	33 °C	12,9 g/m ²	22 (+ 22)
I1	5-8b	BP2-M1-P0-L0-D2	2	33 °C	4,3 g/m ²	55 (+ 55)

* In Klammern: Zunahme der Kennzahl der Faltenbildung im Vergleich zum Ausgangswert

6.4.3 Verarbeitungstemperatur der Klebstoffe

Die Verarbeitungstemperatur der Etikettierklebstoffe beeinflusst die Viskosität und damit das Fließverhalten des Klebstoffes am Leimschaber der Beleimungswalze. Inwieweit die Verarbeitungstemperatur das Etikettiererergebnis beeinflusst, wurde in den Versuchsreihen F1 und F2 untersucht. Für den Versuch wurde die empfohlene Verarbeitungstemperatur von 28 °C des Etikettierklebstoffs EK1 um mindestens fünf Grad Celsius unter- beziehungsweise überschritten.

Die Auswirkungen auf das Etikettiererergebnis sind Tabelle 30 zu entnehmen. Es hat sich gezeigt, dass bei einer reduzierten Klebstofftemperatur weniger Etikettierklebstoff auf das Etikett übertragen wird, als dies bei der erhöhten Temperatur der Fall war, ungeachtet der annähernd gleichen Einstellung der Mikrometerschraube am Leimschaber und der damit vergleichbaren Leimfilmdicke auf der Beleimungswalze. Die Folge der herabgesetzten Klebstoffmenge bei reduzierter Klebstofftemperatur spiegelt sich in den erhöhten Kennzahlen der Faltenbildung des Versuchslaufs F1 wieder.

Tabelle 30: Einfluss der Verarbeitungstemperatur

Versuch		Etikett	Kennzahl der Faltenbildung	Temperatur Klebstoff	Klebstoff- menge	Einstellung Leimschaber
Lauf	Nummer					
F1	7-14	BP2-M1-P0-L0-D2	9	21 °C	8,6 g/m ²	8,7
	7-15	BP2-M1-P1-L0-D2	17			
	7-16	BP5-M0-P0-L0-D2	34			
F2	7-17	BP5-M0-P1-L0-D2	4	33 °C	18,3 g/m ²	9,0
	7-18	BP5-M0-P1-L0-D2	3			
	7-19	BP5-M0-P1-L1-D2	1			

6.5 Einfluss der Etikettiermaschine

In Abschnitt 5.6 Dokumentation des Etikettiervorgangs wurden die Etikettiermaschinen dreier Brauereien mit einer HG-Kamera untersucht, ohne dass an den Maschinen Veränderungen vorgenommen wurden. In diesem Abschnitt werden einzelne Komponenten der Modul-Etikettiermaschine im Technikum gezielt verändert, um deren Einfluss auf die Faltenbildung bewerten zu können.

6.5.1 Aufsetzen der Etiketten auf die Flaschen

In den Versuchsläufen M1 bis M3 wurde der vierte Arbeitsschritt einer Etikettiermaschine, das Aufsetzen der Etiketten auf die Flaschen, untersucht. Hierfür wurde der Kreuzschlitten mit dem Palettenkarussell und dem Greiferzylinder so positioniert, dass die Etiketten zu weit links beziehungsweise zu weit rechts auf die Flaschen aufgesetzt wurden. Anschließend wurde der Kreuzschlitten wieder zentriert und die Schwämme am Greiferzylinder definiert beschädigt.

Die Kennzahlen der Faltenbildung der Versuchsläufe sind in Tabelle 31 aufgeführt. Der Vergleich der Versuche M1 und M2 mit den Kennzahlen der unbeschädigten Schwämme aus Versuch M3 zeigt keinen signifikanten Unterschied in der Faltenbildung zwischen versetzt und mittig aufgesetzten Etiketten.

Der direkte Vergleich definiert beschädigter Schwämme in Versuchslauf M3 zeigt ebenfalls nur geringfügige Unterschiede in den Kennzahlen. Die höchste Kennzahl wird dabei vom unbeschädigten Schwamm Nr. 1 erzielt. Die Einzelwerte zu den Versuchsläufen M1 bis M3 sind im Anhang, in Abschnitt 11.17 ab Seite 214 aufgelistet.

Tabelle 31: Einfluss des Kreuzschlittens und der Schwämme am Greiferzylinder

Versuch		Etikett	Kennzahl der Faltenbildung	Untersuchtes Merkmal
Lauf	Nummer			
M1	8-4	BP2-M1-P0-L0-D2	3	Etikett zu weit links
M2	8-5	BP2-M1-P0-L0-D2	1	Etikett zu weit rechts
M3	8-6	BP2-M1-P0-L0-D2	5	Schwamm Nr. 1 – Unbeschädigt
			0	Schwamm Nr. 2 – Rechte Seite beschädigt
			0	Schwamm Nr. 3 – Linke Seite beschädigt
			1	Schwamm Nr. 4 – Unbeschädigt
			1	Schwamm Nr. 5 – Mittig beschädigt

6.5.2 Schrägstellung der Greiferfinger

Der Versuchslauf M4 sollte aufzeigen, ob eine Schrägstellung der Greiferfinger beim Abziehen der Etiketten von den Beleimungspaletten ein Einknicken der Etiketten hervorruft, wie es bei der Untersuchung des Etikettiervorgangs in den Brauereien zum Teil beobachtet werden konnte (vgl. Abbildung 74 auf Seite 101).

Die Übergabe der Etiketten wurde bei diesem Versuchslauf mit der HG-Kamera dokumentiert. Die Aufnahmen zeigen jedoch bei keiner der Greiferfingerstationen ein Einknicken des Etiketts. Auch die Kennzahlen der Faltenbildung in Tabelle 32 weisen bei den Greiferstatio-

nen mit schräg gestellten Greiferfingern keinen signifikanten Unterschied in der Tendenz zur Faltenbildung auf. Die Einzelwerte zum Versuchslauf M4 sind im Anhang, in Abschnitt 11.17 ab Seite 214 aufgelistet.

Tabelle 32: Einfluss der Greiferfinger

Versuch		Etikett	Kennzahl der Faltenbildung	Untersuchtes Merkmal
Lauf	Nummer			
M4	8-8	BP2-M1-P0-L0-D2	0	Greiferstation Nr. 1 – Schrägstellung
			0	Greiferstation Nr. 2 – Schrägstellung
			1	Greiferstation Nr. 3 – Gerade
			2	Greiferstation Nr. 4 – Schrägstellung
			1	Greiferstation Nr. 5 – Schrägstellung

6.5.3 Beleimungspaletten

An den Beleimungspaletten der Biermarke B1M1 konnten starke Abnutzungen der Greiferfingerlücken der Beleimungspaletten festgestellt werden (vgl. Abbildung 78 auf Seite 104). Die Versuchsläufe M5 bis M8 sowie M10 und M11 sollten zeigen, wie sich die Abnutzung beziehungsweise die Vergrößerung der Aussparungen an den Beleimungspaletten auf das Ergebnis der Faltenbildung auswirkt.

Bei den Versuchsläufen M5 und M6 fallen die unbeschädigte Beleimungspalette Nr. 1 und die leicht beschädigte Palette Nr. 5 mit Werten zwischen 12 und 24 jeweils durch die höchsten Kennzahlen der Faltenbildung auf (siehe Tabelle 33). Die stark beschädigten Beleimungspaletten Nr. 2 und 4, zusammen mit der unbeschädigten Palette Nr. 3 zeigen mit Kennzahlen zwischen null und acht eine signifikant geringere Faltenbildung. Im Versuchslauf M8 wurde die Klebstoffmenge um $1,1 \text{ g/m}^2$ gegenüber Versuchslauf M6 erhöht. Dies führte dazu, dass die Kennzahlen mit einem Maximalwert von zwei deutlich geringer ausfielen als bei M6 und keine signifikanten Unterschiede mehr zwischen den Beleimungspaletten messbar waren. Bei den übrigen Versuchsläufen M7, M10 und M11, mit Klebstoffmengen über $22,6 \text{ g/m}^2$, konnte ebenfalls nur eine minimale Tendenz zur Faltenbildung beobachtet werden. Die Einzelwerte zu den Versuchsläufen M5 bis M8, M10 und M11 sind in Abschnitt 11.17 ab Seite 214 aufgelistet.

Tabelle 33: Einfluss des Zustandes der Beleimungspaletten

Versuch		Etikett	Beleimungspalette Nr.	Kennzahl der Faltenbildung
Lauf	Nummer			
Reduzierte Klebstoffmenge: 8,6 g/m ²				
M5	9-1	BP3-M1-P0-L0-D2	1 – unbeschädigt	24
			2 – stark beschädigt	6
			3 – unbeschädigt	8
			4 – stark beschädigt	8
			5 – leicht beschädigt	12
Durchschnittliche Klebstoffmenge: 12,9 g/m ²				
M6	9-2	BP3-M1-P0-L0-D2	1 – unbeschädigt	13
			2 – stark beschädigt	0
			3 – unbeschädigt	6
			4 – stark beschädigt	7
			5 – leicht beschädigt	17
Durchschnittliche Klebstoffmenge: 14,0 g/m ²				
M8	9-4a	BP3-M1-P0-L0-D2	1 – unbeschädigt	2
			2 – stark beschädigt	0
			3 – unbeschädigt	0
			4 – stark beschädigt	2
			5 – leicht beschädigt	0
Erhöhte Klebstoffmenge: 22,6 g/m ²				
M7	9-3	BP3-M1-P0-L0-D2	1 – unbeschädigt	1
			2 – stark beschädigt	0
			3 – unbeschädigt	0
			4 – stark beschädigt	0
			5 – leicht beschädigt	0
Erhöhte Klebstoffmenge: 26,9 g/m ²				
M10	9-6	BP3-M1-P0-L0-D2	1 – unbeschädigt	0
			2 – stark beschädigt	0
			3 – unbeschädigt	1
			4 – stark beschädigt	0
			5 – leicht beschädigt	0
Stark erhöhte Klebstoffmenge: 37,7 g/m ²				
M11	9-7	BP3-M1-P0-L0-D2	1 – unbeschädigt	0
			2 – stark beschädigt	0
			3 – unbeschädigt	1
			4 – stark beschädigt	0
			5 – leicht beschädigt	0

6.6 Einfluss der Feuchtigkeit auf den Flaschen

Nach dem Stand des Wissens zur Problematik der Faltenbildung bei der Nassetikettierung führt die Feuchtigkeitsaufnahme zur Ausdehnung der Etiketten quer zum Faserlauf. Daher wird ein unmittelbarer Zusammenhang zwischen der Feuchtigkeit und der Faltenbildung bei der Nassetikettierung vermutet. In den Versuchsläufen M8, M9 und M12 sollte diese Beziehung untersucht werden.

6.6.1 Feuchtigkeit auf der Flaschenoberfläche

Welchen Einfluss die Feuchtigkeit, die sich unmittelbar vor der Etikettierung auf der Flaschenoberfläche befindet, auf die Tendenz zur Faltenbildung ausübt, wurde in zwei Versuchsläufen untersucht. In Versuchslauf M12 wurden trockene Flaschen etikettiert, während bei Versuchslauf M9 feuchte Flaschen eingesetzt wurden.

Die Kennzahlen der Faltenbildung der beiden Versuchsläufe unterscheiden sich kaum voneinander und bewegen sich mit einem Höchstwert von zwei auf niedrigem Niveau (siehe Tabelle 34). Die Einzelwerte zu den Versuchsläufen M9 und M12 sind in Abschnitt 11.17 ab Seite 214 aufgelistet.

Tabelle 34: Einfluss der Feuchtigkeit auf der Flaschenoberfläche

Versuch		Etikett	Beleimungs- palette	Klebstoff- menge	Zustand der Flaschen	Kennzahl der Faltenbildung
Lauf	Nummer					
M12	9-8a	BP3-M1-P0-L0-D2	1 bis 5	20,4 g/m ²	Trocken, ohne Überschwällung	1
M9	9-5a	BP3-M1-P0-L0-D2	1 bis 5	15,3 g/m ²	Feucht, ohne Überschwällung	2

6.6.2 Nachträgliche Überschwällung etikettierter Flaschen

Aus der Praxis ist bekannt, dass in manchen Abfüllbetrieben eine nachträgliche Überschwällung der etikettierten Flaschen mit Wasser durchgeführt wird [52]. Mit den Versuchsläufen M8, M9 und M12 sollte untersucht werden, wie sich die Überschwällung auf ein metallisiertes und ein nicht metallisiertes Etikett, unter den Rahmenbedingungen des Etikettieretechnikums auswirkt.

In Tabelle 35 sind die Kennzahlen der Faltenbildung aus den Versuchen aufgeführt. Bei den metallisierten Etiketten in Versuchslauf M8 bewirkte die nachträgliche Überschwällung eine Erhöhung der Kennzahl um 11 Punkte, was mit einer deutlichen Verschlechterung des Etikettierergebnisses in Bezug auf die Faltenbildung einherging.

In den Versuchsläufen M9 und M12 wurden nicht metallisierte Etiketten verwendet. Diese reagierten auf die nachträgliche Überschwällung mit einer noch ausgeprägteren Erhöhung der Kennzahl als die metallisierten Etiketten. Bei den feuchten Flaschen in Versuchslauf M9 stieg die Kennzahl um 85 Punkte, die Kennzahl der trockenen Flaschen in Versuchslauf M12 stieg um 46 Punkte. Die Einzelwerte zu den Versuchsläufen M8, M9 und M12 sind in Abschnitt 11.17 ab Seite 214 zusammengetragen.

Tabelle 35: Einfluss der nachträglichen Überschwällung

Versuch		Etikett	Beleimungs- palette	Zustand der Flaschen	Kennzahl der Faltenbildung *
Lauf	Nummer				
M8	9-4a	BP3-M1-P0-L0-D2	1 bis 5	Feucht, ohne Überschwällung	1 (Ausgangswert)
M8	9-4b	BP3-M1-P0-L0-D2	1 bis 5	Feucht, mit Überschwällung	12 (+ 11)
M9	9-5a	BP3-M1-P0-L0-D2	1 bis 5	Feucht, ohne Überschwällung	2 (Ausgangswert)
M9	9-5b	BP3-M1-P0-L0-D2	1 bis 5	Feucht, mit Überschwällung	87 (+ 85)
M12	9-8a	BP3-M1-P0-L0-D2	1 bis 5	Trocken, ohne Überschwällung	1 (Ausgangswert)
M12	9-8b	BP3-M1-P0-L0-D2	1 bis 5	Trocken, mit Überschwällung	47 (+ 46)

* In Klammern: Zunahme der Kennzahl der Faltenbildung im Vergleich zum Ausgangswert

7 Versuche im Labormaßstab

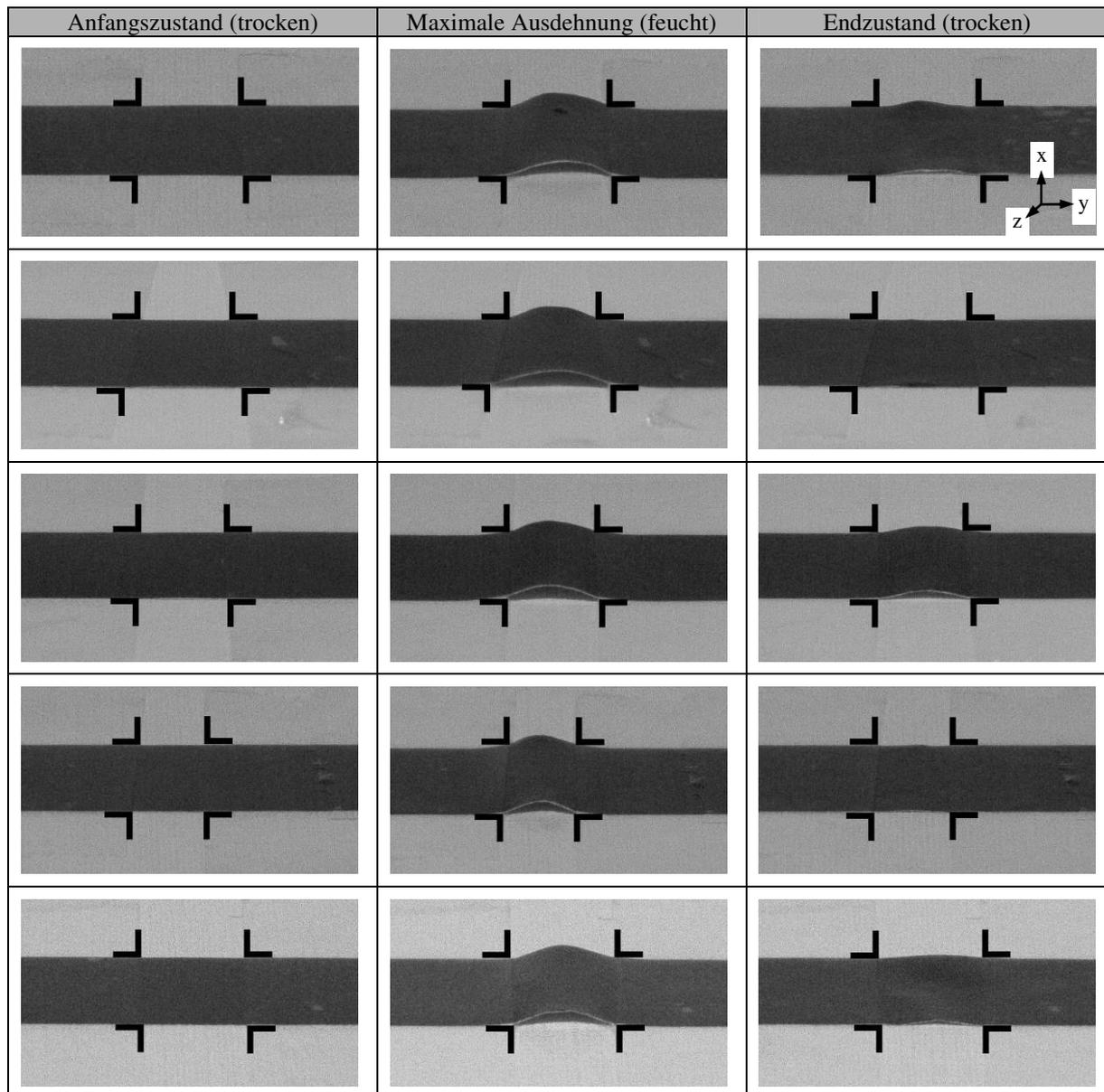
Mit Versuchen im Labormaßstab rundet der letzte von drei Teilbereichen die Datenbasis zur Aufschlüsselung der Vorgänge bei der Faltenbildung und deren Einflussgrößen ab. Die Versuche umfassen die Simulation der Faltenbildung und das Nachstellen des Etikettiervorgangs.

Wie in den vorangegangenen Kapiteln werden zunächst nur die Ergebnisse zusammengestellt, um im folgenden Kapitel, gemeinsam mit den anderen Teilbereichen, diskutiert und bewertet zu werden.

7.1 Simulation der Faltenbildung und deren Rückbildung

Die Bildung von Falten wurde an plan aufliegenden Etikettenstreifen unterschiedlicher Basispapieren nachgestellt, bei denen die Haftkraft des Etikettierklebstoffs durch Klebeband ersetzt wurde. Auf die Zuordnung der Basispapiere wurde verzichtet, da in dieser Versuchsreihe die Bildung und Rückbildung der Falten im Allgemeinen und unabhängig von der Papiersorte beobachtet werden sollte. Das Klebeband fixierte die Etikettenstreifen in einer Weise, dass eine Stelle von der Breite einer Greiferfingerlücke in der Mitte des Etikettenstreifens nicht von dem Klebeband in Planlage gehalten wurde. Nach Befeuchten des Etikettenstreifens mit Wasser bildete sich an dieser Stelle zunächst eine Falte, die sich nach dem Abtrocknen der Flüssigkeit wieder zurückbildete, jedoch nie bis zur vollständigen Planlage. In Tabelle 36 sind der Anfangszustand der Etikettenstreifen, deren maximale Ausdehnung sowie der Endzustand nach Abtrocknen der Etikettenstreifen dargestellt. Die Markierungen in den Abbildungen zeigen die Stellen, an denen der Etikettenstreifen mit Klebeband fixiert wurde, da das durchsichtige Klebeband in den Abbildungen nur bedingt erkennbar ist.

Tabelle 36: Simulation der Faltenbildung



7.2 Nachstellen des Etikettiervorgangs

Der Etikettiervorgang wird in Abfüllbetrieben von Etikettiermaschinen durchgeführt, die mit Ausbringungen von 60.000 Flaschen pro Stunde und mehr betrieben werden [16]. Unter Laborbedingungen können die einzelnen Arbeitsschritte einer Etikettiermaschine ohne eine Beeinflussung des Etikettierergebnisses durch die mechanische Belastung der Etiketten nachgestellt werden, die bei den hohen Ausbringungen der Etikettiermaschinen auf das Papier ausgeübt werden.

7.2.1 Konstanz der Klebstoffmenge

Nach Egon SCHILDMANN hängt das Etikettierergebnis unmittelbar mit der auf die Etiketten übertragenen Klebstoffmenge zusammen [54, 55]. Bei den Versuchen in den drei Brauereien

wurde aufgrund des kontinuierlichen Betriebes der Etikettiermaschinen angenommen, dass eine konstante Klebstoffmenge auf die Etiketten übertragen wird. Bei den Versuchen im Technikum wurde festgestellt, dass die Klebstoffmengen bei durchschnittlich 7,9 g Etikettierklebstoff pro m² Etikettenfläche mit einer Standardabweichung von $s = 1,87$ um den Mittelwert schwanken. Im 2. Versuchslauf wurden im Mittel 5,6 g/m² Etikettierklebstoff auf die Etiketten übertragen. Die Standardabweichung s betrug bei diesem Versuch 2,28.

Die Klebstoffmenge sollte in den folgenden Laborversuchen, wie bereits bei den Versuchen im industriellen Maßstab, variiert werden. Zu diesem Zweck wurden drei verschiedene Rakelgeschwindigkeiten gewählt. Je schneller die Rakel über die Glasfläche des Leimauftragsgeräts bewegt wurde, desto mehr Etikettierklebstoff wurde übertragen, da die Rakel bei höheren Geschwindigkeiten auf dem Etikettierklebstoff aufschwimmt und somit eine dickere Schicht Etikettierklebstoff auf die Glasfläche aufträgt. Je dicker diese Schicht ausfällt, desto mehr Etikettierklebstoff kann von der Beleimungspalette aufgenommen und auf die Etiketten übertragen werden.

In Tabelle 37 sind die Klebstoffmengen aufgelistet, die auf die drei eingesetzten Etiketten, bei den drei verwendeten Rakelgeschwindigkeiten übertragen wurden. Bei einer Rakelgeschwindigkeit von 2,4 m/min (Motoreinstellung = 1,5) wurden im Durchschnitt 9,68 g Etikettierklebstoff pro m² Etikettenfläche übertragen. Die Standardabweichung lag zwischen $s = 0,628$ und $s = 1,236$. Mit der Rakelgeschwindigkeit von 4,9 m/min (Motoreinstellung = 3) wurden durchschnittlich 17,02 g/m², mit einer Standardabweichung zwischen $s = 1,965$ und $s = 2,744$, übertragen. Bei der Rakelgeschwindigkeit 9,9 m/min (Motoreinstellung = 6) wurden in Mittel 33,72 g/m² Etikettenfläche übertragen. Dabei lag die Standardabweichung zwischen $s = 2,955$ und $s = 3,353$.

Tabelle 37: Übertragene Klebstoffmengen

Rakelgeschwindigkeit	2,4 m/min	4,9 m/min	9,9 m/min	2,4 m/min	4,9 m/min	9,9 m/min	2,4 m/min	4,9 m/min	9,9 m/min
Etikett	B1M1			B1M2			B1M4		
Nr.	Klebstoffmenge in g/m ²								
1	9,78	13,04	34,52	12,16	24,33	35,32	10,23	16,32	39,66
2	8,63	13,62	32,41	9,82	16,42	34,00	10,76	18,57	35,16
3	9,59	11,70	27,62	8,35	16,27	38,25	10,73	12,52	36,29
4	9,40	17,84	31,07	12,31	17,44	30,19	11,13	17,64	42,76
5	9,40	16,11	27,81	9,82	16,12	32,10	9,73	19,31	38,26
6	9,21	16,69	30,30	10,85	17,59	39,87	10,83	22,60	35,72
7	7,67	15,73	27,04	9,82	17,00	32,98	11,39	18,21	39,38
8	7,48	18,22	24,55	9,67	18,03	40,45	9,42	19,51	38,68
9	6,90	15,15	32,99	9,23	21,25	31,66	11,39	20,68	37,27
10	8,06	15,34	26,66	8,94	15,24	35,76	10,83	14,91	31,22
\bar{x}	8,48	15,60	28,94	9,87	17,26	35,03	10,69	18,22	37,19
s	0,965	1,965	3,066	1,236	2,622	3,353	0,628	2,744	2,955

\bar{x} = Mittelwert; s = Standardabweichung;

7.2.2 Papieretiketten der Laborversuche

Für die Versuche im Labormaßstab wurden mit B1M2 und B1M4 zwei weitere Etikettensorten der Brauerei 1 verwendet. Diese Etiketten unterscheiden sich in der dynamische Nassdeh-

nung und der Hysterese von der Marken B1M1. Die Ergebnisse sind in Abbildung 88 zu sehen. Die Etiketten der Marken B1M1 und B1M2 zeigen mit einer Nassdehnung um 2 % und einer Hysterese unter 0,1 % keine Auffälligkeiten. Das Etikett der Marke B1M4, mit einer Nassdehnung größer 2,5 %, liegt bereits deutlich über dem empfohlenen Wert von 2,0 % Nassdehnung [8]. Auch die Hysterese dieses Etiketts ist mehr als doppelt so stark ausgeprägt, wie bei den anderen beiden Etiketten der Brauerei 1. Aufgrund dieser Werte wird erwartet, dass sich das Etikett der Marke B1M4 am kritischsten in Bezug auf die Faltenbildung verhält, verglichen mit den Etiketten der Marken B1M1 und B1M2, und wird daher für die weiteren Laborversuche eingesetzt.

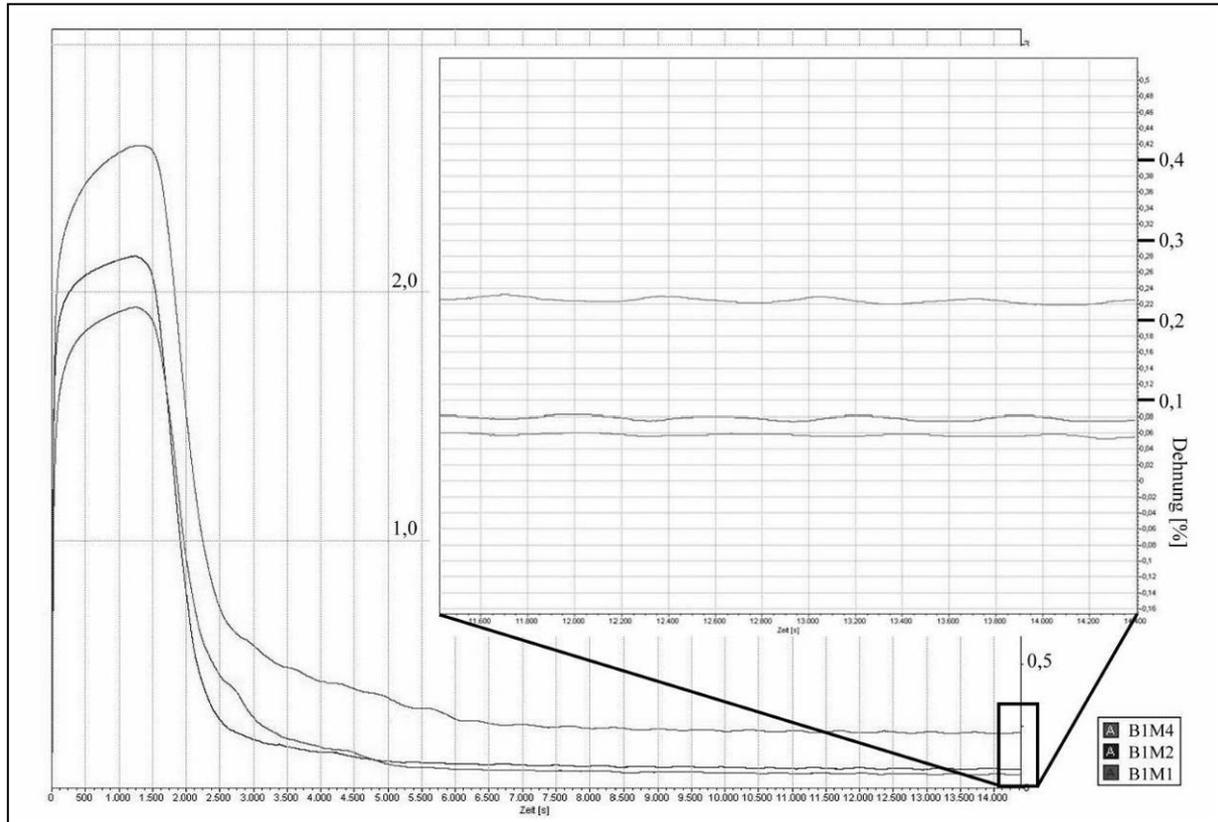


Abbildung 88: Nassdehnung und Hysterese der Etiketten der Laborversuche

7.2.3 Ergebnis der Etikettierversuche im Labormaßstab

Im Rahmen der Versuche im Labormaßstab wurden insgesamt 24 Versuchsreihen durchgeführt. Dabei wurden die Abtrocknungsbedingungen der etikettierten Flaschen, der Klebstoffauftrag, die Schwitzwasserbildung sowie das Untertauchen der Flaschen in Wasser variiert. Eine Übersicht über die Ergebnisse ist in Tabelle 38 gegeben.

Eine dauerhafte Faltenbildung konnte bei drei von fünf etikettierten Flaschen ausschließlich mit den Abtrocknungsbedingungen 18 °C und 80 % relativer Luftfeuchtigkeit, bei einer Klebstoffmenge von durchschnittlich 10,7 g/m² und bei vorherigem Untertauchen der Flaschen in einem Wasserbad festgestellt werden. Die Schwitzwasserbildung scheint dabei keinen Einfluss auf das Ergebnis auszuüben. Eine weitere Falte ist bei Versuchslauf 17 aufgetreten. Da jedoch nur bei einem der fünf Etiketten eine Faltenbildung aufgetreten ist,

wird das Ergebnis als Ausreißer betrachtet. Die Einzelergebnisse sind in Abschnitt 11.18 ab Seite 228 aufgeführt.

Tabelle 38: Ergebnisübersicht der Etikettierversuche im Labormaßstab

Versuchsreihe	Versuchsnummer:	Abtrocknungsbedingungen:	Klebstoffmenge	Schwitzwasserbildung	Untertauchen der Flaschen	Faltenbildung
1	1-5	23 °C, 35 % rF	10,69 g/m ²	nein	nein	–
2	6-10	23 °C, 35 % rF	10,69 g/m ²	ja	nein	–
3	11-15	23 °C, 35 % rF	10,69 g/m ²	nein	ja	–
4	16-20	23 °C, 35 % rF	10,69 g/m ²	ja	ja	–
5	21-25	23 °C, 35 % rF	18,22 g/m ²	nein	nein	–
6	26-30	23 °C, 35 % rF	18,22 g/m ²	ja	nein	–
7	31-35	23 °C, 35 % rF	18,22 g/m ²	nein	ja	–
8	36-40	23 °C, 35 % rF	18,22 g/m ²	ja	ja	–
9	41-45	23 °C, 35 % rF	37,19 g/m ²	nein	nein	–
10	46-50	23 °C, 35 % rF	37,19 g/m ²	ja	nein	–
11	51-55	23 °C, 35 % rF	37,19 g/m ²	nein	ja	–
12	56-60	23 °C, 35 % rF	37,19 g/m ²	ja	ja	–
13	61-65	18 °C, 80 % rF	10,69 g/m ²	nein	nein	–
14	66-70	18 °C, 80 % rF	10,69 g/m ²	ja	nein	–
15	71-75	18 °C, 80 % rF	10,69 g/m ²	nein	ja	3 von 5 Etiketten
16	76-80	18 °C, 80 % rF	10,69 g/m ²	ja	ja	3 von 5 Etiketten
17	81-85	18 °C, 80 % rF	18,22 g/m ²	nein	nein	1 von 5 Etiketten
18	86-90	18 °C, 80 % rF	18,22 g/m ²	ja	nein	–
19	91-95	18 °C, 80 % rF	18,22 g/m ²	nein	ja	–
20	96-100	18 °C, 80 % rF	18,22 g/m ²	ja	ja	–
21	101-105	18 °C, 80 % rF	37,19 g/m ²	nein	nein	–
22	106-110	18 °C, 80 % rF	37,19 g/m ²	ja	nein	–
23	111-115	18 °C, 80 % rF	37,19 g/m ²	nein	ja	–
24	116-120	18 °C, 80 % rF	37,19 g/m ²	ja	ja	–

8 Diskussion

Ziel dieser Arbeit ist die Aufschlüsselung der Vorgänge bei der Faltenbildung und deren Einflussgrößen. Die hierfür notwendige Datenbasis wurde in der ersten Stufe durch die Untersuchung des Etikettiervorgangs in drei Brauereien sowie durch Versuche im industriellen Maßstab und im Labormaßstab geschaffen.

Die Ergebnisse aus diesen drei Teilbereichen werden in diesem Kapitel bewertet und diskutiert. Die daraus gewonnenen Erkenntnisse ermöglichen es, die Einflussgrößen auf die Vorgänge bei der Faltenbildung zu gewichten und ein Modell der Vorgänge an den Etiketten bei der Nassetikettierung zu entwickeln.

Aus diesem Modell werden in der letzten Stufe eine Hypothese zur Entstehung der Faltenbildung bei der Nassetikettierung abgeleitet und Empfehlungen für die Praxis erarbeitet, mit denen die Faltenbildung reduziert beziehungsweise vermieden werden kann.

8.1 Bewertung des Etikettiervorgangs in den Brauereien

Der Vergleich des Etikettiervorgangs in den Brauereien zeigt, worin die Unterschiede zwischen der Etikettierung der fünf untersuchten Biermarken bestehen und wie sich diese auf die Faltenbildung an Papieretiketten auswirken.

8.1.1 Vergleich der Etikettierergergebnisse in den Brauereien

Die Etikettierergergebnisse der fünf untersuchten Biermarken, bezogen auf die Faltenbildung an den Seiten der Etiketten, sind in Tabelle 39 zusammengefasst dargestellt. Die Angaben in Prozent entsprechen dem Anteil mittlerer und großer Falten (vgl. Tabelle 5 auf Seite 47) in dem entsprechenden Segment, bezogen auf die Anzahl untersuchter Etiketten dieser Marke. Die Segmente wurden gleichmäßig um die Aussparungen in den Beleimungspaletten angeordnet.

Die Marke B1M1 führt die Tabelle mit der ausgeprägtesten Faltenbildung an. Im mittleren Segment der rechten Etikettenseite wurde bei vier von fünf Etiketten eine Faltenbildung festgestellt. An der oberen und unteren Aussparung für die Greiferfinger wurde auf der rechten Seite bei etwa jedem zehnten Etikett eine Faltenbildung beobachtet. Im mittleren Sektor der linken Etikettenseite wurde bei mehr als der Hälfte der Etiketten eine Faltenbildung beobachtet.

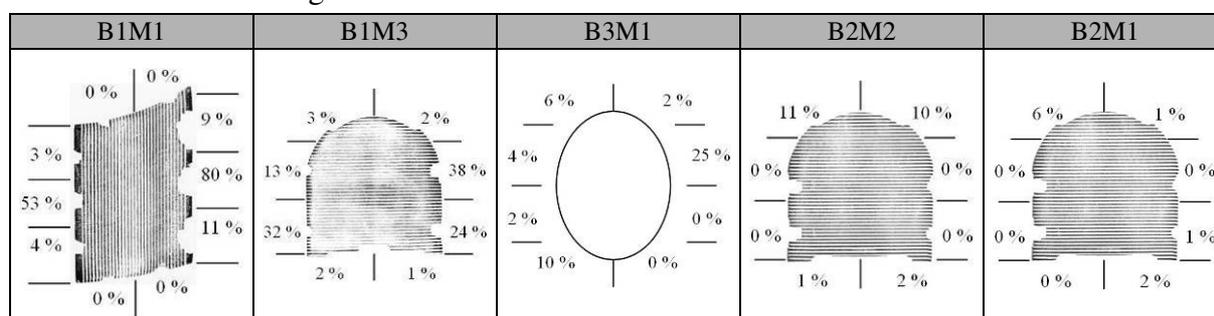
Bei den Untersuchungen zeigte B1M3 die zweithäufigste Faltenbildung. Auf der linken Etikettenseite wurde im unteren Teilabschnitt bei annähernd jedem dritten Etikett eine Falte erkannt. Im mittleren Bereich der linken Seite war dies bei 13 % der Etiketten der Fall. Auf der gegenüberliegenden Seite, mit 38 % im mittleren und 24 % im unteren Segment, wurden diese Werte noch übertroffen.

Bei der Marke B3M1 fällt ein Segment auf der rechten Etikettenseite auf, bei dem jedes fünfte Etikett eine Faltenbildung aufwies. In den übrigen Teilabschnitten lag der Anteil der Faltenbildung zwischen zwei und zehn Prozent.

Die Marken B2M1 und B2M2 wurden auf derselben Etikettiermaschine, mit denselben Beleimungspaletten etikettiert. Bei B2M2 zeigte sich bei etwa jedem zehnten Etikett in den beiden oberen Sektoren eine Faltenbildung. An den Seiten dieser Marke trat keine Faltenbildung auf.

Die Etikettenseiten der Marke B2M1 wiesen ein ähnliches Ergebnis auf. Bei dieser Marke wurde jedoch in den oberen Segmenten eine um 5 % und 9 % geringere Faltenbildung als bei B2M2 verzeichnet, so dass B2M1 von den fünf untersuchten Marken die insgesamt geringste Faltenbildung zeigt.

Tabelle 39: Etikettiererergebnis der untersuchten Brauereien



8.1.2 Unterschiede im Etikettiervorgang der Brauereien

Wie aus Tabelle 39 hervorgeht, unterscheiden sich die untersuchten Marken zum Teil erheblich in ihrem Etikettiererergebnis. Als Ursachen für diese Abweichungen kommen unter anderem die Unterschiede bei den Etikettiermaschinen, den verwendeten Etiketten sowie den während der Etikettierung herrschenden Rahmenbedingungen in Frage, die in den folgenden Abschnitten herausgearbeitet werden.

8.1.2.1 Unterschiede bei den Etikettiermaschinen

Bis auf die beiden Marken der Brauerei 2 wurden alle fünf untersuchten Marken auf verschiedenen Etikettiermaschinen verarbeitet. Diese unterschieden sich sowohl in der Bauart als auch im Wartungszustand, insbesondere dem Zustand der Beleimungspaletten.

B1M1

Das Etikettiererergebnis der Marke B1M1 zeigt die ausgeprägteste Faltenbildung im Vergleich mit den vier anderen Marken. Bei der Etikettiermaschine der Marke B1M1 fallen in besonderem Maße die durch Abnutzung vergrößerten Greiferfingerlücken auf. Der Rand des Klebstofffilms unter dem Etikett (siehe ① in Abbildung 89) stimmt mit der Grenze der nicht abgenutzten Fläche der Beleimungspalette ② überein. ③ markiert die ursprüngliche Grenze der gummierten Fläche einer neuen Beleimungspalette und dementsprechend den Rand des Klebstofffilms bei einer neuen Beleimungspalette. Die Fläche ④, die sich zwischen diesen

beiden Linien ergibt, entspricht der um das drei- bis vierfache vergrößerten klebstofffreien Fläche um die Greiferfingerlücken.

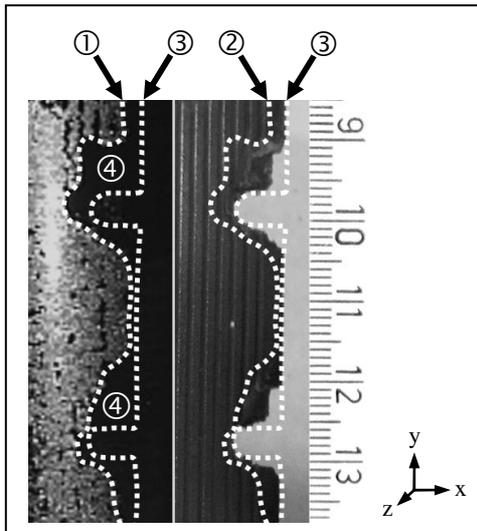


Abbildung 89: Vergrößerte klebstofffreie Flächen bei B1M1

Eine mögliche Ursache für die Beschädigung der Beleimungspaletten könnte unter anderem das nicht passgenaue Eintauchen der Beleimungspaletten in die Etikettenzuführung sein, das beim Etikettiervorgang der Marke B1M1 beobachtet wurde. Die Fehlstellung ist in Abbildung 90 dargestellt und wird durch Kreise hervorgehoben. Diese Fehlstellung führt zu wiederholtem Kontakt zwischen der gummierten Fläche der Beleimungspaletten und den Haltenasen der Etikettenzuführung, aus dem letztlich die Beschädigung des Gummis resultiert. Die Ausmaße der Beschädigung auf der Seite der Greiferfinger lassen sich jedoch nicht alleine durch den Kontakt mit den Haltenasen erklären. Ein weiterer Auslöser konnte im Rahmen der Beobachtung des Etikettiervorgangs jedoch nicht ermittelt werden.

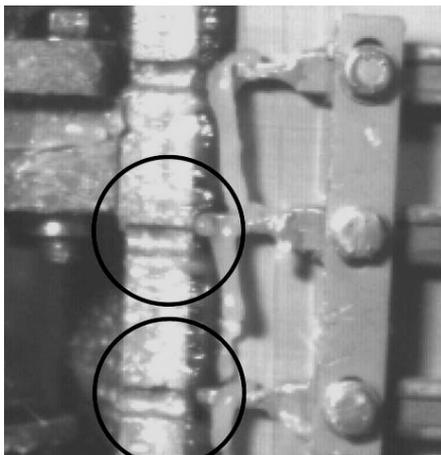


Abbildung 90: Fehlstellung der Haltenasen bei B1M1 ($Q_{(IST)} = 46.200 \text{ Fl/h}$)

Die Auswirkungen der beschädigten Beleimungspaletten zeigen sich beim Abziehen der Etiketten von den Paletten durch den Greiferzylinder. Die Wellenbildung des Etiketts um die schmalen Greiferfinger in Abbildung 71 auf Seite 100, hervorgehoben durch Pfeile, deutet auf eine erhöhte mechanische Belastung der Etiketten beim Abziehen von den Beleimungspaletten hin.

Die Etikettiermaschine der Marke B1M1 wurde mit einer durchschnittlichen Ausbringung von $Q_{(\varnothing)} = 46.200 \text{ Fl/h}$ betrieben. Dies entspricht einer 14 % höheren Ausbringung gegenüber der Etikettiermaschine von B1M3 mit der zweithöchsten Faltenbildung und einer um 29 % höheren durchschnittlichen Ausbringung im Vergleich zu B2M1, mit der geringsten Faltenbildung der fünf untersuchten Marken (vgl. Tabelle 18 auf Seite 96). Aufgrund der höheren Ausbringung ist zu vermuten, dass auf die Etiketten der Marke B1M1 höhere mechanische Belastungen ausgeübt wurden als auf die Etiketten der anderen Marken. Eine Bestimmung der auf die Etiketten wirkenden Kräfte war jedoch im Rahmen der Untersuchungen nicht möglich.

Unterstützt wird die Annahme einer erhöhten mechanischen Belastung der Etiketten durch Abbildung 77 auf Seite 103, die belegt, dass bei der Marke B1M1 bereits eine Faltenbildung erkennbar war, noch bevor die Flaschen die Etikettiermaschine verlassen hatten. Alleine aufgrund der Feuchtigkeitsaufnahme aus dem Etikettierklebstoff und von der Flaschenoberfläche lässt sich die beobachtete Faltenhöhe nicht erklären, da bei einer durchschnittlichen Ausbringung von $Q_{(\varnothing)} = 46.200 \text{ Fl/h}$ von der Entnahme der Etiketten aus der Etikettenzuführung bis zum Verlassen der Anbürststation weniger als eine Sekunde vergeht und dieser Zeitraum für die beobachtete Nassdehnung des Etikettenpapiers nicht ausreicht.

Die in Abbildung 77 erkennbare Faltenbildung ist dabei nicht auf eine fehlerhafte Anbürstung zurückzuführen, da die Anbürststation eine ausreichende Länge aufwies und ein gleichmäßiges Anbürsten der Etiketten gewährleistet war.

B1M3

Das Etikettierergebnis der Marke B1M3 weist die zweithäufigste Faltenbildung der fünf untersuchten Marken auf. Auch bei dieser Marke zeigten sich Auffälligkeiten an den Beleimungspaletten, die in Abbildung 91 beispielhaft an einer Palette gezeigt werden. Die Abnutzungserscheinungen treten zwar nicht so offensichtlich zum Vorschein wie bei den Paletten der Marke B1M1, es zeigen sich jedoch auch hier eindeutige Verschleißspuren an der Gummierung. Die Ränder des Gummis um die Aussparungen sind abgerundet und eine Kerbe zieht sich senkrecht durch die versprödete und von Rissen durchzogene Gummioberfläche. Die Beschädigungen der Paletten durch den Datierungslaser sind ebenfalls Indikatoren für eine überdurchschnittlich lange Nutzungsdauer dieser Beleimungspaletten. Eine vergleichbare Beschädigung konnte bei den Paletten der anderen Marken nicht festgestellt werden.

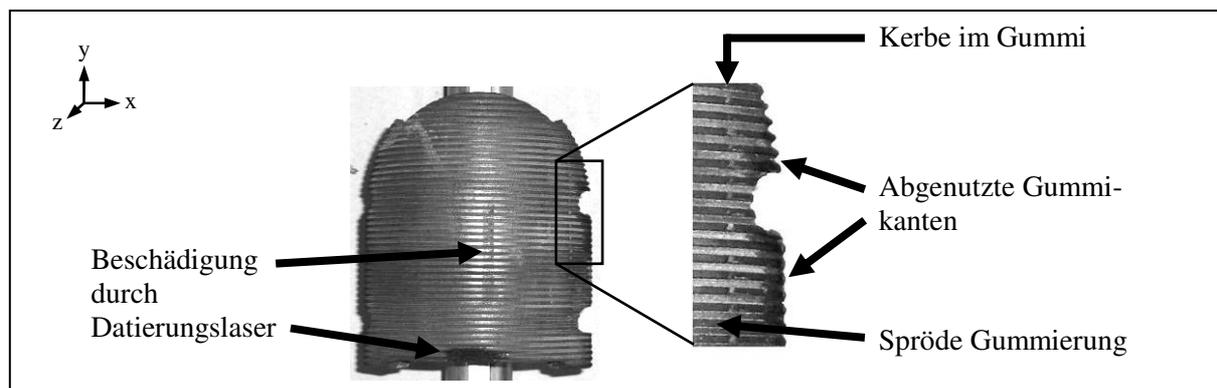


Abbildung 91: Beleimungspalette der Etikettiermaschine der Marke B1M3

Die Folge dieser Überalterung sind in Abbildung 76 innerhalb der Kreise zu erkennen. Bei $Q_{(IST)} = 40.500 \text{ Fl/h}$ bleiben die Stellen um die Greiferfingerlücken und auf der gegenüberliegenden Seite aufgrund der Abnutzung und Versprödung des Gummis ohne Etikettierklebstoff.

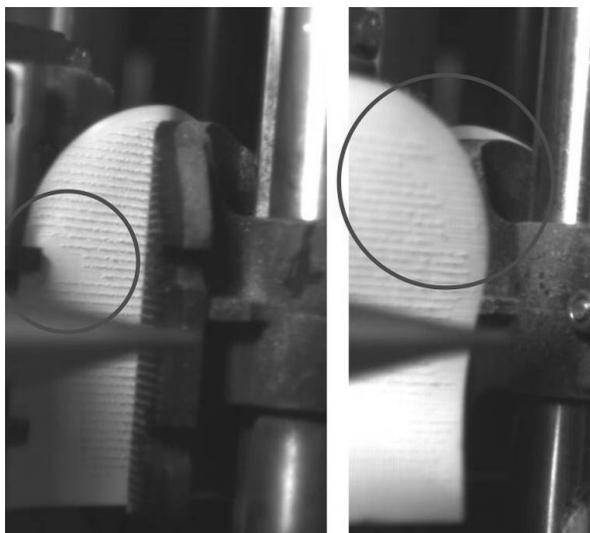


Abbildung 92: Vergrößerte klebstofffreie Flächen um die Greiferfinger und am Etikettenrand
($Q_{(IST)} = 40.500 \text{ Fl/h}$)

B3M1

Die Marke B3M1 liegt mit ihrem Etikettierergebnis in der Mitte der fünf untersuchten Marken. Im Unterschied zu den Marken der Brauerei 1 waren bei B3M1 die Beleimungspaletten in neuwertigem Zustand. Einzige Besonderheit bei dieser Marke war die als auffällig bewertete Planlage der Etiketten auf der Ambossleiste (vgl. Abbildung 72 auf Seite 100).

B2M1 und B2M2

Die beiden Marken der Brauerei 2, die auf derselben Etikettiermaschine verarbeitet wurden, zeigen das beste Etikettierergebnis der fünf untersuchten Marken. Dabei weist B2M2 in den oberen Segmenten eine etwas höhere Faltenbildung auf als B2M1. Der Zustand der Beleimungspaletten war auch bei dieser Etikettiermaschine einwandfrei, so dass hier keine Beeinträchtigungen zu erwarten waren. Die Planlage der Etiketten auf den Ambossleisten wurde jedoch bei beiden Marken als kritisch bewertet (vgl. Tabelle 20 sowie Abbildung 73 und Abbildung 74 ab Seite 99).

Bewertung der Unterschiede bei den Etikettiermaschinen

Der Vergleich der Marken der Brauerei 1 mit den anderen Brauereien zeigt, dass eine Beschädigung der Beleimungspaletten, sofern sie eine Vergrößerung der klebstofffreien Stellen um die Aussparungen der Beleimungspaletten nach sich zieht, was in dieser Form nur bei Brauerei 1 festgestellt wurde, zu einer Erhöhung der Faltenbildung im Etikettierergebnis beitragen kann, womit die Aussagen von [54, 55] teilweise bestätigt werden.

Die Gegenüberstellung der Etikettierergebnisse der Marken B1M1 und B1M3 deutet darauf hin, dass die höhere Ausbringung der Etikettiermaschinen von B1M1 im Vergleich zu B1M3 und eine damit verbundene, höhere mechanische Belastung der Papieretiketten ebenfalls zu

einer Steigerung der Faltenbildung führt. Da die Belastung jedoch nicht ausschließlich von der Ausbringung abhängt, ist zu vermuten, dass die Konstruktion und Bauart der Etikettiermaschinen ebenfalls einen Einfluss auf das Etikettierergebnis haben, wie bereits von [54, 55] angegeben wurde.

Ein weiteres Indiz für den negativen Einfluss mechanischer Belastungen wurde bei Brauerei 3 beobachtet. Das Einknicken der Etiketten bei der Übergabe von den Beleimungspaletten an den Greiferzylinder könnte bei der Marke B3M1 zu den 25 % Faltenbildung im Bereich des oberen Greiferfingers (vgl. Tabelle 39) geführt haben, indem dieser Knick beim Aufsetzen der Etiketten auf die Flaschen erhalten blieb und anschließend durch die Anbürststation fixiert wurde.

Dasselbe Einknicken der Etiketten wurde auch bei den Marken der Brauerei 2 beobachtet. Bei B2M1 und B2M2 führte es jedoch nicht zu einer Erhöhung der Faltenbildung. Dies legt den Schluss nahe, dass es weitere Faktoren gibt, die den Einfluss mechanischer Belastungen ausgleichen können.

Kritische Betrachtung der Untersuchungen in Abschnitt 8.1.2.1

Die Untersuchungsergebnisse dieses Abschnitts sind insofern zu hinterfragen, als dass sie ausschließlich auf Beobachtungen beruhen. Die Schlussfolgerungen in diesem Abschnitt sind durch den unmittelbaren Vergleich der beobachteten Unterschiede im Etikettiervorgang der einzelnen Marken zustande gekommen. Dabei wurden jedoch zahlreiche Rahmenbedingungen, die ebenfalls einen Einfluss auf das Etikettierergebnis ausüben könnten, ausgeblendet.

Diese Einschränkung war unvermeidbar, da die Manipulation einzelner Einflussgrößen während des laufenden Abfüllbetriebs der Brauereien nicht möglich war. Gezielte Veränderungen am Etikettierprozess gehen unter Umständen mit einer Verschlechterung des Etikettierergebnisses einher oder unterbrechen den Ablauf der Abfüllung, was für kommerziell arbeitende Betriebe, wie Brauereien, nicht hinnehmbar ist.

Die Ergebnisse und Schlussfolgerungen aus diesem ersten Teilbereich sind daher mit einer gewissen Unsicherheit behaftet. Eine Aussage darüber, wie sich das Etikettierergebnis bei Variation einzelner Parameter ändert, ist mit dieser Untersuchung nicht zu treffen.

8.1.2.2 Vergleich der einzelnen Beleimungspaletten einer Etikettiermaschine

Bei der Bestimmung der Faltenbildung der einzelnen Biermarken konnte durch Aufnahmen mit der HG-Kamera jeder einzelnen Flasche die Beleimungspalette zugeordnet werden, mit der sie etikettiert wurde.

Der Vergleich der Etikettierergebnisse der einzelnen Beleimungspaletten (siehe Abschnitt 5.7 ab Seite 103) ergab bei den Paletten der Marken B1M1 sowie B2M1 und B2M2 keine Auffälligkeit einer einzelner Beleimungspaletten in Bezug auf die Faltenbildung.

Bei der Marke B1M3 wurde ein Unterschied im Etikettierergebnis zwischen den Beleimungs- paletten 4 und 6 festgestellt. Palette 4 zeigte mit 17 % und 8 % Faltenbildung auf der rechten Etikettenseite insgesamt die geringste Neigung zur Faltenbildung im Vergleich aller acht

Paletten. Dagegen lag bei Palette 6 die Faltenbildung mit 75 % und 50 % auf der rechten Seite der Palette über dem Durchschnitt aller Paletten und um das vier- bzw. sechsfache über den entsprechenden Werten der Beileimungspalette 4. Eine Ursache für diesen Unterschied konnte durch einen visuellen Vergleich der Beileimungspaletten (siehe Abbildung 93) sowie durch Vergleich der Abdrücke beider Paletten (siehe Abbildung 79 auf Seite 105) nicht bestimmt werden. Bei den dunklen Stellen der Palette 4 handelt es sich lediglich um Restfeuchtigkeit von der zuvor durchgeführten Reinigung.

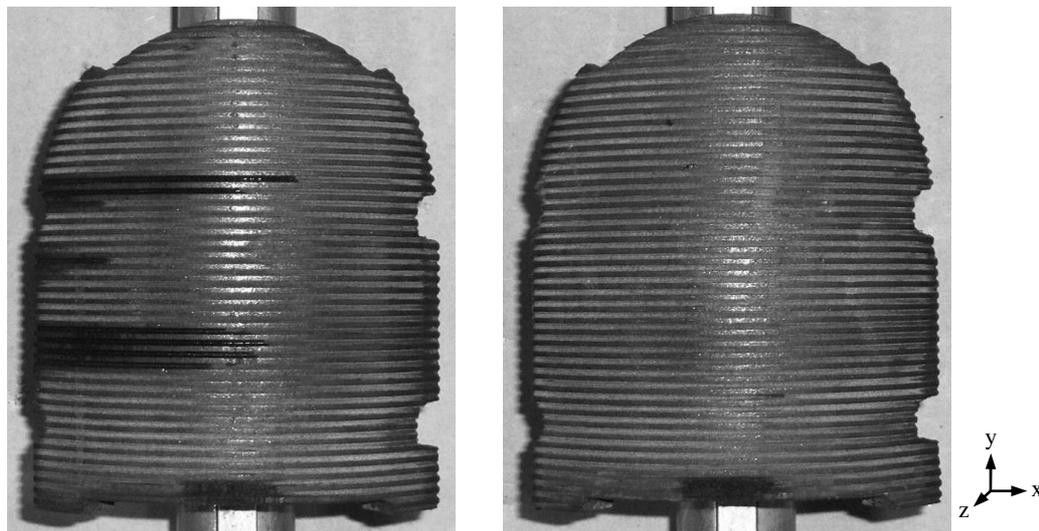


Abbildung 93: Beileimungspalette 4 (links) und 6 (rechts) der Marke B1M3

Die Beileimungspalette 6 der Marke B3M1 hebt sich ebenfalls hervor. Sie zeigte mit 34 % im linken, unteren Bereich des Etiketts eine um 24 % höhere Faltenbildung gegenüber dem Durchschnitt aller Beileimungspaletten dieser Etikettiermaschine. Auch bei den Paletten dieser Marke konnte visuell kein Unterschied festgestellt werden, da sich diese Paletten in neuwertigem Zustand befanden.

Der Vergleich einzelner Beileimungspaletten einer Etikettiermaschine zeigt somit, dass sich deren Etikettierergebnis unterscheiden kann.

Da durch eine visuelle Betrachtung der Beileimungspaletten die Ursache für die Unterschiede im Etikettierergebnis nicht bestimmt werden konnte, besteht die Möglichkeit, dass bereits leichte, mit bloßem Auge nicht erkennbare Deformationen der Paletten oder eine eventuell ungleichmäßige Abnutzung der Gummierung bei den Paletten der Marke B1M3 (vgl. Abbildung 91 auf Seite 133) das Etikettierergebnis beeinflussen können. Eine weitere Erklärung für die Unterschiede bei der Marke B1M3 könnten alterungsbedingte Differenzen in der Oberflächenenergie der Palettengummierung sein, die zu einer abweichenden Klebstoffaufnahme führen würden. Für diese Annahme sprechen die Aufnahmen mit der HG-Kamera, welche das Abziehen der Etiketten der Marke B1M3 von den Beileimungspaletten durch den Greiferzylinder zeigen (vgl. Abbildung 92 auf Seite 134). Diese Aufnahmen offenbaren vergrößerte, klebstofffreie Flächen rund um die Greiferfinger und auf der gegenüberliegenden Etikettenseite, die durch mangelndes Klebstoffaufnahmevermögen der Paletten verursacht werden könnten. Die Größe der klebstofffreien Fläche war dabei von Palette zu Palette unterschiedlich, was letztlich die Abweichungen im Etikettierergebnis einer einzelnen Beilei-

mungspalette erklären könnte. Es ist zudem denkbar, dass sich die Effekte einer ungleichmäßigen Abnutzung und die Unterschiede in der Oberflächenenergie der Gummierung der Marke B1M3 ergänzen.

Kritische Betrachtung der Untersuchungen in Abschnitt 8.1.2.2

Anhand der Anzahl untersuchter Flaschen kann nicht mit endgültiger Sicherheit festgestellt werden, ob die beobachtete, höhere Faltenbildung bei einzelnen Beleimungspaletten eine wiederkehrende Erscheinung oder zufälliger Natur war.

Die Bestimmung der Größe der klebstofffreien Flächen rund um die Greiferfingerlücke und die gleichzeitige Zuordnung der jeweiligen Beleimungspalette war technisch nicht durchführbar. Deshalb kann das oben beschriebene Erklärungsmodell für die Marke B1M3 nicht durch HG-Aufnahmen belegt werden.

8.1.2.3 Drehrichtung des Palettenkarussells

Bis auf die Marken B2M1 und B2M2 wurden alle untersuchten Marken auf verschiedenen Etikettiermaschinen verarbeitet. Bei den Etikettiermaschinen der Brauereien 2 und 3 sowie bei der Etikettiermaschine der Marke B1M3 handelte es sich um Maschinen mit oszillierendem Gleichlaufsystem (vgl. Abbildung 21 auf Seite 28). Die Marke B1M1 wurde auf einer Maschine mit rotierendem Gegenlaufsystem etikettiert.

Das Etikettierergebnis der Maschine mit rotierendem Gegenlaufsystem weist eine höhere Faltenbildung aus, als die Marken, die von den Maschinen mit oszillierendem Gleichlaufsystem etikettiert wurden.

Der Rückschluss, dass dieses Ergebnis vom Etikettiersystem verursacht wird oder das Etikettiersystem mitverantwortlich ist, kann hier jedoch nicht gezogen werden. Die Etikettiermaschine mit rotierendem Gegenlaufsystem wurde im Vergleich zu den Maschinen mit oszillierendem Gleichlaufsystem mit einer höheren Maschinenausbringung betrieben. Zudem waren die Beleimungspaletten der Etikettiermaschine der Marke B1M1 augenscheinlich stärker beschädigt als die Paletten der anderen Marken. Auch bei der Dokumentation des Etikettiervorgangs mit der Hochgeschwindigkeitskamera konnte bei der Übergabe der Etiketten an den Greiferzylinder im rotierenden Gegenlaufsystem keine Ursache festgestellt werden, die auf eine Mitverantwortung des Etikettiersystems schließen ließe.

Kritische Betrachtung der Untersuchungen in Abschnitt 8.1.2.3

Alleine durch Beobachtung der Etikettierung ist es nicht möglich, eine vergleichende Bewertung der Eignung von Etikettiersystemen, wie dem rotierenden Gegenlaufsystem und dem oszillierenden Gleichlaufsystem, durchzuführen. Eine solche Bewertung wäre nur möglich, wenn einerseits alle Faktoren, wie zum Beispiel die klimatischen Raumbedingungen, das Flaschenmaterial, die Etiketten, der Etikettierklebstoff samt der auf das Etikett übertragener Klebstoffmenge konstant und somit vergleichbar wären. Zum Anderen müsste eine Etikettiermaschine eingesetzt werden, die zwischen den beiden Systemen wechseln kann, um Einflüsse durch die Etikettiermaschine selbst, zum Beispiel bei der Etikettenentnahme oder

der Anbürstung der Etiketten, ebenfalls auszuschließen. Eine solche Etikettiermaschine ist am Markt jedoch nicht verfügbar.

8.1.2.4 Besonderheiten der verwendeten Etiketten

Die eingesetzten Etiketten unterscheiden sich im Papieraufbau und den damit verbundenen, charakteristischen Eigenschaften der Feuchtigkeitsaufnahme, Nassdehnung und Hysterese. Zudem variieren sie in der Form und der Bedruckung (vgl. Tabelle 13 auf Seite 92). In diesem Abschnitt wird das Etikettierergebnis der Marken den Besonderheiten des jeweiligen Etiketts gegenübergestellt und deren Einfluss auf die Faltenbildung bei der Nassetikettierung diskutiert.

B1M1

Die Etiketten der Marke B1M1, die im Vergleich der fünf Marken die ausgeprägteste Faltenbildung aufweisen, besitzen als einziges Etikett eine asymmetrische Form. Die rechte Etikettenseite ist um etwa 11 mm höher als die linke Seite. Daraus folgt, dass sich das Etikett bei einer Nassdehnung von rund 1,8 % (vgl. Abbildung 65 auf Seite 91) auf der rechten Etikettenseite um 0,2 mm stärker ausdehnt als auf der linken Etikettenseite. Diese ungleiche Nassdehnung führt zum Aufbau einer Spannung im Etikettenpapier, die jedoch aufgrund der Dimension der unterschiedlichen Ausdehnung nicht zu einer negativen Beeinflussung des Etikettierergebnisses führen sollte. Bei den übrigen Marken ist aufgrund ihrer symmetrischen Form nicht von einem negativen Effekt auszugehen.

Die Nassdehnung der Etiketten der Marke B1M1 liegt mit rund 1,7 % deutlich unter dem empfohlenen Wert von 2,0 % Nassdehnung. Die Etiketten zeigen jedoch die ausgeprägteste Hysterese im Vergleich mit den anderen Marken (vgl. Abbildung 66 auf Seite 91). Mit einem Wert von rund 0,2 % ist die Hysterese von B1M1 zwar nur unwesentlich höher als die der Marke B2M2, ein Einfluss auf die Ausprägung der Faltenbildung kann jedoch nicht ausgeschlossen werden.

Somit lässt sich nicht ausschließen, dass die Etiketten der Marke B1M1 die Faltenbildung verstärkt haben.

B1M3

An den Etiketten der Marke B1M3 tritt die zweithäufigste Faltenbildung bei den fünf untersuchten Marken auf. Bei dieser Marke ist nicht zu erwarten, dass die Hysterese mit einem Wert um 0,1 % einen negativen Einfluss auf das Etikettierergebnis ausübt. Dahingegen liegt die Nassdehnung bei diesen Etiketten mit einem Wert größer 3 % deutlich über der Empfehlung von 2,0 %.

Aufgrund der starken Nassdehnung ist ein negativer Einfluss auf das Ergebnis der Faltenbildung bei der Marke B1M3 nicht auszuschließen.

B2M1 und B2M2

Das Etikettierergebnis der Marken B2M1 und B2M2 ist im Vergleich mit den anderen Marken durch die geringste Faltenbildung belastet, obwohl die Planlage der Etiketten auf den Ambossleisten bei beiden Marken als kritisch bewertet wurde. Dies ist möglicherweise auf die Etiketten zurückzuführen, die bei der Untersuchung nach den STLB, der Nassdehnung und der Hysterese innerhalb der spezifizierten Grenzen lagen.

Dementsprechend ist nicht zu erwarten, dass durch die Etiketten der Brauerei 2 eine negative Beeinflussung des Etikettierergebnisses ausging.

B3M1

Die Hysterese der Etiketten der Marke B3M1 kann ebenso wie deren Nassdehnung als unkritisch betrachtet werden.

Es ist somit nicht davon auszugehen, dass es zu einer Beeinträchtigung des Etikettierergebnisses durch die Etiketten kam.

Einfluss einer Metallisierung auf das Etikettierergebnis

Bei den Etiketten der Marke B2M1 handelt es sich im Gegensatz zu B2M2 um metallisierte Etiketten. In diesem Fall war die annähernd faltenfreie Verarbeitung eines Basispapiers ohne Metallisierung und eines Papiers mit Metallisierung auf einer Etikettiermaschine unter vergleichbaren Rahmenbedingungen möglich.

Demnach ist die Verarbeitung beider Papiertypen in Etikettiermaschinen unter bestimmten Bedingungen ohne Faltenbildung möglich. Dies bedeutet im Umkehrschluss jedoch nicht, dass grundsätzlich alle Papiere auf einer Etikettiermaschine faltenfrei verarbeitet werden können, da weitere Parameter, wie zum Beispiel die Maschinenausbringung und das Raumklima, für die Papierwahl ebenfalls von Bedeutung sind.

Untersuchungen der Etiketten nach den STLB

Sämtliche Ergebnisse der Untersuchungen nach Vorgabe der STLB lagern innerhalb der von den Brauereien festgelegten Spezifikationen (vgl. Tabelle 12 auf Seite 89).

Aufgrund dieser Ergebnisse kann somit nicht auf eine negative Beeinflussung des Etikettiervorgangs in Bezug auf die Faltenbildung geschlossen werden.

Kritische Betrachtung der Untersuchungen in Abschnitt 8.1.2.4

Nassdehnung der Etiketten

Als Richtwert für die Eignung von Etiketten oder Etikettenpapieren zur faltenfreien Nassetikettierung wird von [8] eine maximale Nassdehnung von 2,0 % nach 120 Sekunden angegeben. Im Rahmen dieser Arbeit konnte dieser Wert nicht überprüft werden. Aus diesem Grund werden nur Etiketten als möglicherweise kritisch beurteilt, die diesen Richtwert deutlich überschreiten. Gleichzeitig bleibt festzuhalten, dass ein negativer Einfluss auf das Etikettierergebnis auch bei Etiketten, deren Nassdehnung kleiner oder gleich dem Richtwert ist, nicht mit letzter Sicherheit ausgeschlossen werden kann.

Spezifikationen nach STLB

Sämtliche Untersuchungsergebnisse nach den STLB lagen innerhalb der von den Brauereien festgelegten Spezifikationen, die zwischen Brauerei und Lieferanten individuell vereinbart werden. Diese Spezifikationen werden in der Regel anhand von Praxiserfahrungen so definiert, dass unter den gegebenen Rahmenbedingungen des Anwenders keine Probleme mit Faltenbildung bei der Nassetikettierung erwartet werden.

In dieser Arbeit wird angenommen, dass bei Einhaltung dieser von den Brauereien vorgegebenen Spezifikationen die Faltenbildung durch die in den STLB festgelegten Parametern nicht beeinflusst wird.

Da jedoch die Praxiserfahrungen und die daraus entwickelten Spezifikationen im Rahmen dieser Arbeit nicht überprüft wurden, kann ein negativer Einfluss auf das Etikettierergebnis nicht endgültig ausgeschlossen werden, obwohl die untersuchten Etiketten innerhalb der Spezifikationen lagen.

Lagerung der Etiketten in den Brauereien

Die Lagerung der Etiketten sollte bei einem Raumklima von 18 °C bis 23 °C und 60 % bis 70 % relativer Luftfeuchtigkeit erfolgen, um zu gewährleisten, dass die Etiketten ihre Funktionalität und Verarbeitbarkeit beibehalten. Die physikalischen Eigenschaften von Papieretiketten hängen in hohem Maße von den klimatischen Bedingungen während der Lagerung ab [16, 54, 55].

Die idealen Lagerbedingungen wurden während der Untersuchung der Etiketten-Lager von Brauerei 1 mit Temperaturen zwischen 19 °C und 24 °C sowie einer relativen Luftfeuchtigkeit zwischen 55 % und 65 % weitgehend eingehalten. Bei Brauerei 2 schwankte die Temperatur im Lager zwischen 14 °C und 19 °C, während die relative Luftfeuchtigkeit zwischen 30 % und 55 % variierte und somit unter den empfohlenen Lagerbedingungen lag. Die Lagerbedingungen in Brauerei 3 konnten aus technischen Gründen nicht aufgezeichnet werden.

Die Räume, die zur Lagerung der Etiketten in den drei Brauereien verwendet wurden, wiesen keine sichtbaren Mängel auf, so dass nicht davon auszugehen ist, dass sie für die Lagerung von Getränkeflaschenetiketten aus Papier ungeeignet wären. Eine Klimatisierung der Etiketten-Lager, welche die Einhaltung der idealen Lagerbedingungen gewährleisten würde, war bei keiner der drei Brauereien vorhanden. Ventilatoren zur Belüftung der Räume wurden nicht genutzt. Die Lagerung der Etiketten selbst erfolgte in der Transportverpackung und war nicht zu beanstanden.

Die Messung der Gleichgewichtsfeuchte der Etiketten in der Transportverpackung lag bei Brauerei 1 (22 °C; 52 % rF) und 3 (19 °C; 53 % rF) annähernd in dem oben angegebene Idealbereich. Bei Brauerei 2 lag die Gleichgewichtsfeuchte mit 47 % rF bei 22 °C bereits deutlich unter den Empfehlungen, eine Schädigung der Etiketten ist bei 47 % rF jedoch nicht zu erwarten. Die Messungen des Gleichgewichtsfeuchte der Etiketten in der Etikettenzuführung der Etikettiermaschinen bestätigen die Ergebnisse aus dem Etiketten-Lager weitgehend (vgl. Tabelle 11 auf Seite 84).

Die Untersuchungen der Etiketten-Lager lässt somit keine unmittelbare Beeinträchtigung der Etiketten in den drei Brauereien erkennen. Bei dieser Bewertung ist jedoch zu beachten, dass die Aufzeichnung der Lagerbedingungen nur eine Momentaufnahme darstellt und nicht die gesamte Lagerdauer der Etiketten erfasst werden konnte. Somit bleibt eine Unsicherheit, ob die Etiketten, die während der Untersuchung der drei Brauereien eingesetzt wurden, das Etikettierergebnis aufgrund ungeeigneter Lagerung negativ beeinflusst haben.

Bewertung der Transmissionskurven

Auf eine Bewertung der Transmissionskurven (vgl. Abbildung 64 auf Seite 90), die eine Aussage darüber erlauben, wie schnell Feuchtigkeit von der Etikettenrückseite aufgenommen wird, wurde bei der Beurteilung der Etiketten und deren Einfluss auf die Faltenbildung verzichtet. Die Aufnahme der Feuchtigkeit durch die Etikettenrückseite steht, neben der Feuchtigkeit auf der Flaschenoberfläche, in Wechselwirkung mit der Feuchtigkeit aus dem Etikettierklebstoff. Da die Klebstoffmenge in den Brauereien nicht bestimmt werden konnte und somit die Menge der Feuchtigkeit aus dem Etikettierklebstoff nicht bekannt sind, wären Aussagen über die Art und den Verlauf dieser Wechselwirkung reine Spekulation.

8.1.2.5 Rahmenbedingungen während der Etikettierung

Die Aufzeichnung der Rahmenbedingungen während der Etikettierung in den Brauereien umfasste die Aufzeichnung der Temperatur und der relativen Luftfeuchtigkeit an der Etikettiermaschine sowie der Gleichgewichtsfeuchte der Etiketten kurz vor der Etikettierung. Des Weiteren wurden die Abfülltemperaturen und die Feuchtigkeit auf der Flaschenoberfläche bestimmt, bevor die Flaschen etikettiert wurden.

Temperatur, relative Luftfeuchtigkeit und Gleichgewichtsfeuchte

Die Temperatur und die relative Luftfeuchtigkeit lagen in den Brauereien 1 und 2 während des Etikettiervorgangs stets über 20 °C und 48 % rF. Die Gleichgewichtsfeuchte der Etikettenstapel entsprach ebenfalls annähernd dem in den STLB vorgegebenen Normklima von 23 °C bei 50 % rF, so dass durch die klimatischen Bedingungen während des Etikettierprozesses von keiner negativen Beeinflussung der Faltebildung auszugehen ist.

Abfülltemperatur und Feuchtigkeit auf der Flaschenoberfläche

Die Abfülltemperatur in Verbindung mit der Feuchtigkeit aus der Umgebungsluft führt zur Schwitzwasserbildung auf den Flaschenoberflächen. Zusammen mit der Restfeuchtigkeit vom Abbrausen der Flaschen nach dem Verschließen ergibt diese die Feuchtigkeit auf der Flaschenoberfläche.

Die Marken der Brauerei 2, die im Vergleich der Marken die geringste Faltenbildung zeigten, wiesen mit 0,59 g und 0,62 g die höchste Feuchtigkeit auf der Flaschenoberfläche auf. Die Marke B3M1 lag mit der Faltenbildung zwischen den Ergebnissen der Brauerei 1 und 2 und hatte mit 0,17 g die geringste Menge Feuchtigkeit auf der Flaschenoberfläche. Die Marken der Brauerei 1 zeigten die ausgeprägteste Faltenbildung, lagen jedoch mit Feuchtigkeitswerten von 0,45 g und 0,50 g nur wenig unter der Feuchtigkeit der Marken von Brauerei 2.

Es ist davon auszugehen, dass die Feuchtigkeit auf der Flaschenoberfläche einen Einfluss auf die Faltenbildung bei der Nassetikettierung ausübt. Einer der Gründe für diese Annahme ist, dass es ohne Feuchtigkeit nicht zu einer Nassdehnung des Papiers und somit auch nicht zur Faltenbildung kommen würde. Unter diesem Gesichtspunkt wäre anzunehmen, dass eine höhere Feuchtigkeitsmenge auf der Flasche auch zu einer erhöhten Faltenbildung führen würde.

Ein einheitlicher Einfluss der Feuchtigkeit auf der Flaschenoberfläche beziehungsweise der Abfülltemperatur auf das Etikettierergebnis konnte durch die Untersuchung des Etikettiervorgangs in den Brauereien jedoch nicht bestätigt werden.

Eine Erklärung dafür ist, dass eine erhöhte Feuchtigkeitsmenge gleichzeitig dazu führt, dass sich der Zeitraum bis zur vollständigen Klebstoffaushärtung durch Verdünnung des Etikettierklebstoffs verlängert. Somit erhält das Etikett bei einer erhöhten Feuchtigkeitsmenge mehr Zeit, um eventuell entstandene Falten wieder zurückzubilden (vgl. Abschnitt 8.1.4 auf Seite 143). Aus diesem Grund würde eine höhere Feuchtigkeitsmenge sowohl zu einer erhöhten Faltenbildung als auch zu einer verbesserten Faltenrückbildung führen und sich die Effekte durch die Feuchtigkeit möglicherweise ganz oder teilweise gegenseitig aufheben und auf diese Weise die uneinheitlichen Ergebnissen bei der Gegenüberstellung von Faltenbildung an den Etiketten und der gemessenen Feuchtigkeitsmengen bei den drei Brauereien erklären.

Beeinflusst wird dieses Zusammenspiel von Nassdehnung des Etiketts und Aushärten des Etikettierklebstoffs zusätzlich durch die Klebstoffmenge, die bei diesen Untersuchungen jedoch nicht bestimmt werden konnte, und der darin enthaltenen Feuchtigkeitsmenge. Wird zum Beispiel ein Etikettierklebstoff mit 35 % Feststoffgehalt verwendet und werden zwischen 5 g/m^2 und 30 g/m^2 Etikettierklebstoff auf ein Etikett mit einer Fläche von $0,01 \text{ m}^2$ aufgetragen, so beträgt die Feuchtigkeitsmenge, die aus dem Klebstoff in das Etikett eindringen kann, zwischen $0,03 \text{ g/Etikett}$ und $0,18 \text{ g/Etikett}$. Bei höheren Klebstoffmengen kann dem Feuchtigkeitsanteil aus dem Etikettierklebstoff somit ein ähnlicher Beitrag zur Faltenbildung beigemessen werden, wie der Feuchtigkeit von der Flaschenoberfläche. Die Spanne der in diesem Beispiel angenommenen Klebstoffmenge entspricht im Wesentlichen den bei den Versuchen im industriellen Maßstab eingestellten Klebstoffmengen.

Kritische Betrachtung der Untersuchungen in Abschnitt 8.1.2.5

Auf eine Bewertung des Einflusses der Etikettierklebstoffe auf die Faltenbildung wurde in diesem Teilbereich gänzlich verzichtet. Auslöser hierfür ist die Unkenntnis über die Klebstoffmengen, die während der Etikettierung der untersuchten Flaschen eingesetzt wurden. Da die Eigenschaften der Verklebung unmittelbar von der verwendeten Klebstoffmenge abhängen, sind bei den untersuchten Marken keine zuverlässigen Aussagen über den Verlauf der Hafteigenschaften der Etikettierklebstoffe möglich. Die Ergebnisse der Klebstoffuntersuchungen nach den STLB lagen jedoch alle innerhalb der Spezifikationen der Brauereien, so dass keine Beeinträchtigung durch Qualitätsmängel der Etikettierklebstoffen in den untersuchten Brauereien zu erwarten sind.

8.1.3 Lagerung der etikettierten Flaschen

Die klimatischen Lagerbedingungen der etikettierten Flaschen im Vollgut-Lager wurden mittels Datenlogger erfasst.

Die Aufzeichnungen sind Abbildung 58 bis Abbildung 61 ab Seite 85 zu entnehmen. Es hat sich gezeigt, dass die Temperatur und die relative Luftfeuchtigkeit im Vollgutlager sowohl über den Tag als auch jahreszeitlich bedingt Schwankungen unterliegen. Zusätzlich muss in Betracht gezogen werden, dass sich innerhalb des Vollgut-Lagers, abhängig von der Position der etikettierten Flasche in den Palettenreihen und dem Design der Flaschenkästen, weitere Unterschiede in den Abtrocknungsbedingungen ergeben.

Somit wird festgestellt, dass im Vollgut-Lager nicht von konstanten Abtrocknungsbedingungen ausgegangen werden kann.

8.1.4 Abtrocknungsversuch

Die Flaschen für die Bestimmung der Faltenbildung in den untersuchten Brauereien (vgl. Tabelle 39 auf Seite 131) wurden freistehend in offene Getränkekästen getrocknet, um einen Einfluss der jeweils vorherrschenden Abtrocknungsbedingungen zu minimieren und vergleichbare Ergebnisse zu erzielen. Ob die Abtrocknungsbedingungen tatsächlich die Faltenbildung beeinflussen, wie von [54, 55] angenommen wird, wurde in einem Abtrocknungsversuch ermittelt. In diesem Abtrocknungsversuch wurden etikettierte Flaschen der Marke B1M1 unmittelbar nach der Etikettierung auf deren Faltenbildung hin untersucht und anschließend unterschiedlichen Abtrocknungsbedingungen ausgesetzt.

Die Ergebnisse sind in Abbildung 62 auf Seite 88 dargestellt. Die ausgeprägteste Faltenbildung wurde in feuchtem Zustand, direkt nach der Etikettierung bestimmt. Je langsamer anschließend die Trocknung von statten ging, desto weniger Falten konnten in abgetrocknetem Zustand gezählt werden.

Die klimatischen Bedingungen während der Abtrocknung spielen somit einen gewichtigen Einfluss auf die Ausprägung der Faltenbildung bei der Nassetikettierung. Etikettierte Flaschen einer Charge, die bei unterschiedlichen Abtrocknungsbedingungen gelagert werden, bringen eine unterschiedlich starke Faltenbildung an den Etiketten hervor. Dabei gilt, je länger die Etiketten Zeit haben, bis sie vollständig abgetrocknet sind und der Etikettierklebstoff ausgehärtet ist, desto mehr Falten werden zurückgebildet.

Kritische Betrachtung der Untersuchungen in Abschnitt 8.1.4

Die Temperatur und die absolute Luftfeuchtigkeit sollten bei diesem Versuch mit einem Datenlogger und daran angeschlossenen Funkstationen aufgezeichnet werden. Während der Versuche ist jedoch der Funkkontakt zwischen den Stationen und dem Datenlogger abgebrochen, so dass ausschließlich die klimatischen Daten von Bedingung D durch den Datenlogger aufgezeichnet wurden. Daher kann für die Abtrocknungsbedingungen A, B und C keine Aussage über die tatsächlich herrschende Temperatur und relative Luftfeuchtigkeit getroffen

werden. Eine relative Einteilung der Abtrocknungsgeschwindigkeit in langsamer und schneller getrocknet als im Vollgut-Lager konnte dennoch durchgeführt werden.

8.1.5 Flaschen

Die Verklebung von Etikett und Flasche findet unmittelbar auf den beiden zu verklebenden Oberflächen statt. Es ist daher anzunehmen, dass die Vergütung der Flaschen einen Einfluss auf die Verklebung und damit letztlich auf die Faltenbildung bei der Nassetikettierung ausübt [17].

Heißendvergütung der Flaschen

Bei den untersuchten Marken kamen Glasflaschen aus NRW- und 0,5 Liter Ale-Flaschen Mehrwegpools zum Einsatz. Neuglas wurde während der Untersuchungen in den Brauereien nicht verwendet. Um festzustellen, ob die Heißendvergütung einen Einfluss hat, wurde die Vergütung von Flaschen mit ausgeprägter Faltenbildung und Flaschen ohne Faltenbildung gegenübergestellt (vgl. Tabelle 17 auf Seite 95).

Das Ergebnis zeigt, dass bei den untersuchten Flaschen aus dem Mehrwegpool kaum noch Heißendvergütung bestimmbar war, weder bei den Flaschen mit ausgeprägter Faltenbildung noch bei den untersuchten Flaschen ohne Faltenbildung.

Somit scheint eine Heißendvergütung bei Glas-Mehrwegflaschen nicht ausschlaggebend für die Entstehung von Faltenbildung bei der Nassetikettierung zu sein.

Kritische Betrachtung der Untersuchungen in Abschnitt 8.1.5

Die untersuchten Marken der drei Brauereien wurden in Glas-Mehrwegflaschen abgefüllt, bei denen eine Heißendvergütung kaum mehr nachweisbar war (vgl. Tabelle 17 auf Seite 95). Die Ergebnisse beziehen sich daher ausschließlich auf gebrauchte Glas-Mehrwegflaschen. Eine Aussage über das Verhalten von Neu- oder Einwegglasflaschen, die mit rund 30 CTU vergütet werden, kann mit dieser Untersuchung nicht getroffen werden.

Die Bestimmung der Oberflächenenergie mittels Testtinten ergab bei sämtlichen untersuchten Flaschen einen Wert von 48 mN/m. Als Ursache für diesen einheitlichen Wert wird vermutet, dass sich durch das Wasserbad, in dem die Etiketten über Nacht von den Flaschen abgelöst wurden, auf allen Flaschen dieselbe Oberflächenenergie eingestellt hat. Die gemessenen Werte entsprechen somit nicht den Oberflächenenergien, wie sie während der Etikettierung auf den Flaschen geherrscht haben, und wurden daher bei den Untersuchungen im ersten Teilbereich nicht berücksichtigt.

8.2 Bewertung der Versuche im industriellen Maßstab

Während der Untersuchungen in den Brauereien konnten der Etikettierprozess und die Rahmenbedingungen ausschließlich beobachtet werden. Bei den Versuchen im industriellen Maßstab war es darüber hinaus möglich, einzelne Kenngrößen bei der Etikettierung zu verän-

dern und auf diese Weise gezielt zu untersuchen, wie sich die jeweiligen Parameter auf die Faltenbildung bei der Nassetikettierung auswirken.

8.2.1 Einfluss der Etikettiermaschine

Die Untersuchung des Etikettiervorgangs in den Brauereien hat gezeigt, dass der Zustand der Etikettiermaschinen einen Einfluss auf das Etikettierergebnis ausübt. An der Modul-Etikettiermaschine im Etikettiertechnikum wurden der Einfluss einer Schrägstellung der Greiferfinger, einer vertikal versetzten Applikation der Etiketten sowie einer Beschädigung der Greiferschwämme und der Beleimungspaletten unter den Rahmenbedingungen im Technikum überprüft.

Schrägstellung der Greiferfinger

Durch das Schrägstellen der Greiferfinger wurde der Effekt von verbogenen Greiferfingern am Greiferzylinder simuliert.

Ein negativer Einfluss auf die Bildung von Falten am Etikettenrand konnte durch einen Vergleich der erzielten Kennzahlen der Faltenbildung bei den Versuchen im industriellen Maßstab jedoch nicht festgestellt werden (vgl. Abschnitt 6.5.2).

Versetztes Applizieren der Etiketten

In zwei weiteren Versuchen wurde der Kreuzschlitten der Modul-Etikettiermaschine in einer Weise verschoben, dass die Etiketten einmal zu weit links, im zweiten Versuch zu weit rechts von der typischerweise zentralen Position auf die Flaschen aufgesetzt wurden. Dies führte dazu, dass die Etiketten in der Anbürststation nicht in der vorgesehenen Weise an die Flaschen angebürstet wurden und sollte zeigen, welchen Einfluss ein verändertes Anbürsten auf das Etikettierergebnis hat.

Unter den Rahmenbedingungen des Etikettiertechnikums führte dies jedoch zu keinen negativen Auswirkungen bei der Faltenbildung (vgl. Abschnitt 6.5.1).

Beschädigte Schwämme am Greiferzylinder

Durch Abkleben der Schwämme des Greiferzylinders, die die Etiketten an die Flaschen andrücken und somit den ersten Kontakt zwischen Flasche und Etikett herstellen, wurden die Auswirkungen einer Beschädigung dieser Schwämme auf das Etikettierergebnis untersucht.

Eine Beschädigung der Schwämme am Greiferzylinder führte ebenso wenig wie das versetzte Aufsetzen der Etiketten zu einer Erhöhung der Faltenbildung bei den Versuchen im Etikettiertechnikum (vgl. Abschnitt 6.5.1).

Beides lässt sich damit erklären, dass der Etikettierklebstoff bereits bei dem ersten Kontakt mit der Flaschenoberfläche seine volle Anfangshaftkraft entfaltet und somit auch eine geringere oder ungleichmäßige Andruckkraft der beschädigten Schwämme sowie eine schwächere Anbürstung für das Etikettierergebnis, in Bezug auf die Faltenbildung, nicht ausschlaggebend waren.

Zustand der Beleimungspaletten

Die Untersuchungsergebnisse der Versuche in den Brauereien legen nahe, dass der Zustand der Beleimungspaletten einen Einfluss auf die Faltenbildung bei der Nassetikettierung ausübt. Durch eine definierte Beschädigung einzelner Beleimungspaletten wurde der Einfluss einer vergrößerten klebstofffreien Fläche auf das Etikettierergebnis unmittelbar mit unbeschädigten Paletten verglichen.

Die Beobachtungen aus den Untersuchungen in den Brauereien (vgl. Abschnitt 8.1.2.1 ab Seite 131) konnten durch die Versuche im Etikettiertechnikum nicht bestätigt werden (vgl. Abschnitt 6.5.3 ab Seite 121). Bei den Versuchen mit geringer Klebstoffmenge fielen, entgegen der Erwartungen, eine unbeschädigte und eine leicht beschädigte Beleimungspalette gegenüber den stark beschädigten Paletten durch deutlich erhöhte Kennzahlen bei der Faltenbildung auf. Bei höheren Klebstoffmengen waren weder bei den unbeschädigten noch bei den leicht oder stark beschädigten Paletten Falten am Etikettenrand zu beobachten.

Für dieses Ergebnis gibt es zwei Erklärungsmodelle. Zum einen, dass die Beschädigung der Beleimungspaletten nicht alleine, sondern in Kombination mit einer oder mehreren weiteren Einflussgrößen, für die Faltenbildung verantwortlich ist. Zum anderen ist denkbar, dass durch weitere Einflussgrößen die Auswirkungen der beschädigten Beleimungspaletten ausgeglichen werden. Welche der beiden Erklärungen zutrifft, konnte während der Versuche im Etikettiertechnikum nicht geklärt werden.

Kritische Betrachtung der Untersuchungen in Abschnitt 8.2.1

Bei der Etikettierung mit schräg gestellten Greiferfingern an der Modul-Etikettiermaschine konnte kein negativer Einfluss auf die Bildung von Falten am Etikettenrand festgestellt werden. Bei der Bewertung der Ergebnisse ist jedoch zu berücksichtigen, dass die Verstellmöglichkeiten aufgrund der Konstruktion der Greiferfinger Elemente begrenzt waren und dadurch einer in der Praxis möglichen Verbiegung der Greiferfinger eventuell nicht gerecht werden.

Ebenso konnte im Rahmen der Versuche im industriellen Maßstab die Breite der Greiferfinger an der Modul-Etikettiermaschine nicht verändert werden. Es ist somit keine Aussage darüber möglich, ob die geringere Breite der Greiferfinger bei B1M1, im Vergleich mit den anderen untersuchten Marken (vgl. Abbildung 71 auf Seite 100), für die ausgeprägte Faltenbildung mitverantwortlich ist.

Bei den untersuchten Etikettiermaschinen in Kapitel 5 bestanden die Ambossleisten aus Kunststoff. Diese Ambossleisten müssen bei Anzeichen von Verschleiß ausgetauscht werden [16]. Die Auswirkungen einer solchen Abnutzung auf die Faltenbildung bei der Nassetikettierung und die damit verbundene, höhere mechanische Belastung der Etiketten, sollte ebenfalls im Etikettiertechnikum untersucht werden. Dies war jedoch mit der Modul-Etikettiermaschine nicht durchführbar, da die Etiketten bei der nachgeahmten Abnutzung der Ambossleisten nicht mehr von den Beleimungspaletten abgezogen wurden.

8.2.2 Einfluss der Papieretiketten

Die Bewertung einer Einflussnahme des Etikettenpapiers auf das Etikettierergebnis, wie sie von [9, 13, 17, 54, 55] erwartet wird, konnte bei den Untersuchungen in den Brauereien nicht befriedigend durchgeführt werden, da zwischen den Brauereien keine vergleichbaren Rahmenbedingungen geherrscht haben und innerhalb einer Brauerei nur bei Brauerei 2 dieselbe Etikettiermaschine zu Einsatz kam. Die Erkenntnisse aus den Beobachtungen der Brauereien im ersten Teilbereich werden durch die Versuche im Etikettiertechnikum ergänzt, bei denen es möglich war, die Basispapiere der Etiketten zu variieren und den Einfluss einer Prägung und einer Lackierung durch den unmittelbaren Vergleich der Etikettierergebnisse zu beurteilen.

8.2.2.1 Basispapier

Dass das Etikettenpapier an der Faltenbildung bei der Nassetikettierung beteiligt ist, wurde bereits festgestellt. Auch die Versuche in den Brauereien legten nahe, dass sich unter anderem eine ausgeprägte Nassdehnung negativ auf die Faltenbildung auswirken kann. Um den Einfluss der Basispapiere zu quantifizieren, wurde deren Tendenz zur Faltenbildung in mehreren direkten oder parallelen Versuchen überprüft.

Dabei konnten bei den sechs untersuchten Etikettenpapieren signifikante Unterschiede zwischen den Papieren ermittelt werden. In Abbildung 94 ist eine Rangfolge der Neigung zur Faltenbildung dargestellt, die sich aus dem Vergleich der Kennzahlen der Faltenbildung ergibt (vgl. Abschnitt 6.3.1). Das Basispapier BP4 hebt sich mit der geringsten Neigung zur Faltenbildung von allen anderen Papieren ab. Auf das Basispapier BP4 folgen die Papiere BP2, BP1 und BP3 mit jeweils zunehmender Neigung zur Faltenbildung. Eine präzise Abgrenzung der Neigung zur Faltenbildung ist bei diesen drei Papieren durch die teilweise parallelen Vergleiche der Kennzahlen nicht möglich, woraus sich die Überschneidung der Ergebnisse ergibt. Die Basispapiere BP5 und BP6 zeigen unter den Bedingungen des Etikettiertechnikums die ausgeprägteste Neigung zur Faltenbildung.

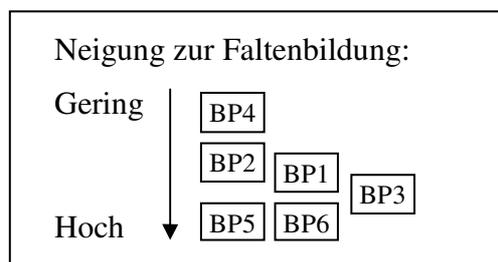


Abbildung 94: Neigung der Basispapiere zur Faltenbildung

Die Papieretiketten zeigen unter vergleichbaren Bedingungen unterschiedliche Ergebnisse, womit die Aussagen von [9, 13, 17, 54, 55] bestätigt werden. Kenngrößen, an denen sich das Verhalten in Bezug auf die Faltenbildung festmachen lässt, können sich aus den Untersuchungen nach den STLB und weiteren Untersuchungen an den Papieretiketten ergeben, deren Ergebnisse in den folgenden Abschnitten betrachtet werden.

Dass eine mangelnde Durchlässigkeit der Etiketten für Feuchtigkeit die Faltenbildung verstärkt, wie von [54, 55] angenommen wird, kann durch dieses Untersuchungsergebnis nicht bestätigt werden. Auch Etiketten aus ungeprägtem, metallisiertem Basispapier, das aufgrund seines Aufbaus eine nahezu geschlossene Oberfläche besitzen und somit die geringste Feuchtigkeitsdurchlässigkeit unter den eingesetzten Basispapieren hat, ließen sich zum Teil ohne Faltenbildung etikettieren. Somit ist anzunehmen, dass diese Eigenschaft keinen entscheidenden Einfluss auf die Faltenbildung bei der Nassetikettierung ausübt. Da von [54, 55] nicht spezifiziert wird, wann ein Etikett eine „mangelnde“ Durchlässigkeit für Feuchtigkeit besitzt, kann die Annahme von [54, 55] mit dieser Untersuchung jedoch nicht widerlegt werden.

Von [54, 55] wird ebenfalls berichtet, dass in der Praxis bei Verwendung von „abgemagerten“ Papiersorten mit geringem Flächengewicht häufiger eine Faltenbildung beobachtet werden kann. Bei Basispapier BP3 handelte es sich nach Herstellerangaben um ein metallisiertes Papier mit einem Flächengewicht von 68 g/m^2 . Die übrigen Basispapiere wurden mit einem Flächengewicht von 70 g/m^2 bis 71 g/m^2 angegeben. Auch wenn das Flächengewicht von BP3 gegenüber den anderen Papieren reduziert ist, kann dennoch nicht von einem „abgemagerten“ Etikettenpapier gesprochen werden, da es sich um eine in der Praxis gängige und verbreitete Grammaturlieferung handelt. Ob die von [54, 55] nicht näher definierten „abgemagerten“ Papiersorten einen Einfluss auf die Faltenbildung haben, kann mit dieser Untersuchung somit nicht beurteilt werden.

Etikettenuntersuchungen nach den STLB

Durch Untersuchung der Etiketten nach den Vorgaben der STLB sowie durch die Bestimmung des Penetrationsverhaltens, der Nassdehnung und der Hysterese der Etikettenpapiere sollte eine Erklärung für das unterschiedliche Verhalten der Basispapiere im Etikettierergebnis gefunden werden.

Aus den Untersuchungen der Etiketten nach den STLB gehen jedoch keine Hinweise hervor, welche das unterschiedliche Verhalten der Basispapiere erklären würde. Einzige Auffälligkeit ist, dass das nicht metallisierte Basispapier BP4 mit der geringsten Neigung zur Faltenbildung mit $10,0 \text{ g/m}^2$ bis $11,5 \text{ g/m}^2$ auch den niedrigsten Cobb-Wert besitzt. Dies wird jedoch unmittelbar dadurch relativiert, dass das Basispapier BP2 mit der zweitgeringsten Neigung zur Faltenbildung ungeprägt mit $25,5 \text{ g/m}^2$ und geprägt mit $29,0 \text{ g/m}^2$ den höchsten Cobb-Wert aufweist (vgl. Abschnitt 6.2.1). Die Aussage von [54, 55], dass ein zu hoher Cobb-Wert unmittelbar für die Entstehung von Faltenbildung verantwortlich ist, kann mit diesem Ergebnis nicht widerlegt werden, da von [54, 55] nicht näher spezifiziert wird, ab welchem Wert der Cobb-Wert „zu hoch“ ist. Es muss jedoch bezweifelt werden, dass ein „zu hoher“ Cobb-Wert als alleiniges Kriterium für die Beurteilung einer möglichen Tendenz zur Faltenbildung geeignet ist.

Dynamisches Penetrationsverhalten

Werden zunächst nur die metallisierten Basispapiere BP1 bis BP3 betrachtet, so deckt sich die Reihenfolge in der Rangliste mit der Reihenfolge der Penetrationsergebnisse. Das Basispapier BP2 nimmt am schnellsten Feuchtigkeit auf, während BP3 am langsamsten Feuchtigkeit aufnimmt. Eine Gesetzmäßigkeit kann jedoch auch hier nicht festgestellt werden, da bei den

nicht metallisierten Basispapieren BP4 bis BP6 die Reihenfolge umgekehrt verläuft. Basispapier BP4 mit der geringsten Neigung zur Faltenbildung nimmt die Feuchtigkeit mit reduzierter Geschwindigkeit auf, verglichen mit den Basispapieren BP5 und BP6, welche die Feuchtigkeit schneller aufnehmen (vgl. Abschnitt 6.2.2).

Ein direkter Zusammenhang zwischen der Neigung der Basispapiere zur Faltenbildung und den Untersuchungsergebnissen nach den STLB beziehungsweise dem Penetrationsverhalten lässt sich somit nicht herstellen.

Dynamische Nassdehnung und Hysterese

Das Basispapier BP6 weist mit 2,3 % die höchste Nassdehnung der sechs Basispapiere auf, was die Position in der Rangliste als eines der beiden Papiere mit der ausgeprägtesten Neigung zur Faltenbildung erklärt. Basispapier BP5, das mit BP6 etwa dieselbe Neigung zur Faltenbildung aufweist, liegt bei dieser Untersuchung jedoch mit rund 1,8 % Nassdehnung unterhalb der empfohlenen, maximalen Nassdehnung von 2,0 %.

Dies zeigt, dass eine Nassdehnung über dem empfohlenen Wert von 2,0 % zur Erhöhung der Faltenbildung beitragen kann. Es zeigt sich jedoch auch, dass die dynamische Nassdehnung alleine keinen Schluss auf die zu erwartende Faltenbildung bei der Nassdehnung erlaubt.

Kritische Betrachtung der Untersuchungen in Abschnitt 8.2.2.1

Vergleichbarkeit der Versuche

Die in Abbildung 94 dargestellte Rangfolge der Basispapiere, bezogen auf ihre Neigung zur Faltenbildung, wurde für die Basispapiere BP4, BP5 und BP6 in einem Versuchslauf bestimmt. Eine Beeinflussung der Etikettiererergebnisse für diese Basispapiere, zum Beispiel durch unterschiedliche Klebstoffmengen, kann somit ausgeschlossen werden. Die Einordnung der übrigen Basispapiere BP1, BP2 und BP3 erfolgte durch in Verhältnissetzung der Einzelergebnisse verschiedener Versuchsläufe. Mit dieser Methode ist jedoch eine eindeutige Eingliederung der Basispapiere in eine Rangfolge nicht möglich gewesen, was in der teilweisen oder vollständigen Überschneidung der Basispapiere in Abbildung 94 zum Ausdruck kommt.

Spezifikationen nach STLB

Sämtliche Untersuchungsergebnisse nach den STLB lagen innerhalb der allgemein üblichen Spezifikationen, die zwischen dem Anwender und Lieferanten individuell vereinbart werden. Diese Spezifikationen werden in der Regel anhand von Praxiserfahrungen so definiert, dass unter den gegebenen Bedingungen des Anwenders keine Probleme mit Faltenbildung bei der Nassetikettierung erwartet werden.

In dieser Arbeit wird angenommen, dass bei Einhaltung dieser allgemein üblichen Spezifikationen die Faltenbildung durch die in den STLB festgelegten Parametern nicht beeinflusst wird.

Da jedoch die Praxiserfahrungen und die daraus entwickelten Spezifikationen im Rahmen dieser Arbeit nicht überprüft wurden, kann ein negativer Einfluss auf das Etikettiererergebnis

nicht endgültig ausgeschlossen werden, obwohl die untersuchten Etiketten innerhalb der allgemein üblichen Spezifikationen lagen.

Lagerung der Etiketten im Labor des Etikettiertechnikums

Die Lagerung der Etiketten sollte bei einem Raumklima von 18 °C bis 23 °C und 60 % bis 70 % relativer Luftfeuchtigkeit erfolgen, um zu gewährleisten, dass die Etiketten ihre Funktionalität und Verarbeitbarkeit beibehalten. Die physikalischen Eigenschaften von Papieretiketten hängen in hohem Maße von den klimatischen Bedingungen während der Lagerung ab [16, 54, 55].

Im Zeitraum von November 2006 bis März 2007 bewegt sich die relative Luftfeuchtigkeit im Labor des Etikettiertechnikums, in dem die Versuchsetiketten gelagert wurden, überwiegend zwischen 23 % und 36 % rF und damit deutlich unterhalb der empfohlenen relativen Luftfeuchtigkeit (vgl. Abbildung 37 auf Seite 56).

Eine Beeinträchtigung der Etikettiererergebnisse durch die Lagerbedingungen kann daher nicht ausgeschlossen werden. Dennoch bleibt die Aussagekraft der Versuchsergebnisse erhalten, da ausschließlich Etikettiererergebnisse aus einem Versuchslauf oder Versuche, die am selben Tag durchgeführt wurden, verglichen werden und sich die Etiketten stets im selben und somit vergleichbaren Lagerzustand befanden.

8.2.2.2 Dekor

Das Dekor wird in der Literatur von [9, 13, 17, 54, 55] als eine mögliche Einflussgröße bei der Nassetikettierung auf die Bildung von Falten am Etikettenrand genannt. Durch den direkten Vergleich von fünf verschiedenen Dekorvarianten in einem Versuchslauf wurde deren Einfluss auf das Etikettiererergebnis untersucht.

Bei diesem Versuchslauf im Etikettiertechnikum hat sich gezeigt, dass Dekore, bei denen die Farbverteilung horizontal und vertikal symmetrisch verläuft (siehe Abbildung 95, Dekor D2, D3 und D4), keine unterschiedliche Neigung zur Faltenbildung auftritt. Bei den Dekoren, deren Farben ungleichmäßig verteilt waren (Dekor D1 und D5), wurden dagegen höhere Kennzahlen der Faltenbildung, verglichen mit den symmetrischen Dekoren (vgl. Tabelle 24 auf Seite 114), festgestellt.

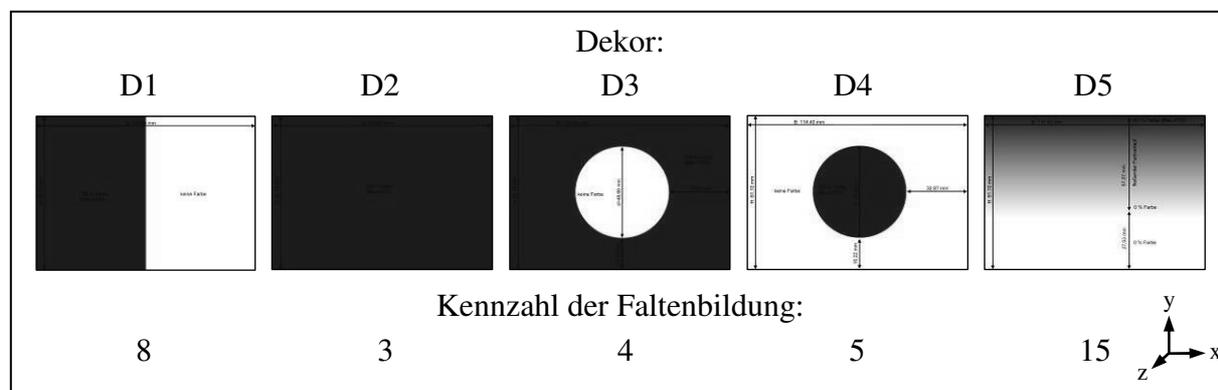


Abbildung 95: Dekorvarianten und Kennzahlen der Faltenbildung der Versuchsetiketten

Unter den Rahmenbedingungen des Etikettiertechnikums konnte somit die Aussage von [9, 13, 17, 54, 55], dass das Dekor einen Einfluss auf die Faltenbildung bei der Nassetikettierung ausübt, bestätigt werden. Eine ungleichmäßige Verteilung der Druckfarbe auf den Etiketten übt einen messbaren, negativen Einfluss auf die Faltenbildung bei der Nassetikettierung aus.

8.2.2.3 Prägung

Ebenso wie die Farbverteilung wird auch die Prägung von Papieretiketten als mögliche Einflussgröße auf die Faltenbildung bei der Nassetikettierung genannt [17, 54, 55]. In mehreren Versuchsläufen wurde die Wirkung einer Prägung durch unmittelbaren Vergleich geprägter und nicht geprägter Etiketten untersucht.

Das Ergebnis dieser Versuchsläufe war uneinheitlich (vgl. Tabelle 25 auf Seite 114). Bei der Hälfte der insgesamt acht Versuchsläufe wurde durch die Prägung eine Reduzierung der Faltenbildung beobachtet, während bei drei Versuchsläufen keine signifikante Änderung der Faltenbildung durch die Prägung hervorgerufen wurde. Eine erhöhte Kennzahl der Faltenbildung bei einem geprägten Papier, verglichen mit seiner glatten Variante, konnte nur in einem Versuchslauf beobachtet werden.

Die Aussagen von [17, 54 und 55] konnten im Etikettiertechnikum nur teilweise bestätigt werden. Für die Praxis bedeutet dieses Ergebnis, dass beim Auftreten von Faltenbildung an glatten Papieretiketten eine Prägung der Etiketten die Problematik in den überwiegenden Fällen abschwächen, zumindest jedoch nicht verschärfen wird.

8.2.2.4 Lackierung

Die vollflächige Lackierung von Etiketten ist aus der Literatur [13, 17, 54, 55] als weitere Einflussgröße auf die Faltenbildung bei der Nassetikettierung bekannt. Analog zu den Versuchen zum Einfluss einer Prägung wurden lackierte und nicht lackierte Etiketten in verschiedenen Versuchsläufen direkt verglichen.

Unter den Rahmenbedingungen des Etikettiertechnikums führte eine Lackierung bei vier von acht Versuchsläufen zu einer signifikanten Verschlechterung des Etikettierergebnisses in Bezug auf die Faltenbildung. In den übrigen vier Fällen blieben die Kennzahlen für die Faltenbildung unbeeinflusst. Eine Verbesserung des Etikettierergebnisses konnte durch eine Lackierung in keinem Fall erreicht werden (vgl. Tabelle 26 auf Seite 116).

Die Versuchsergebnisse aus dem Etikettiertechnikum legen nahe, dass beim Auftreten von Faltenbildung auf eine gegebenenfalls vorhandene Lackierung der Etiketten verzichtet werden sollte. Als Alternative zum vollständigen Verzicht könnten auch Etikettierversuche mit einer anderen Lackformulierung durchgeführt werden.

8.2.3 Einfluss der Etikettierklebstoffe

[9, 13, 17, 54, 55] sehen die Etikettierklebstoffe als einen der Einflussfaktoren auf die Faltenbildung bei der Nassetikettierung. Wie sich die Klebstoffsorte mit ihren spezifischen Hafteigenschaften und die Klebstoffmenge sowie die Verarbeitungstemperatur auf das Etikettierergebnis auswirken, wurde im Etikettiertechnikum in diversen Versuchsreihen untersucht.

8.2.3.1 Hafteigenschaften der Etikettierklebstoffe

Mit Auswahl der Klebstoffsorte sind die Hafteigenschaften des Etikettierklebstoffs festgelegt. Ob diese einen Einfluss auf die Faltenbildung bei der Nassetikettierung ausüben, wurde auf der Modul-Etikettiermaschine mit drei verschiedenen Klebstoffsorten, bei drei unterschiedlichen Klebstoffmengen auf zwei Basispapieren getestet.

Die drei untersuchten Etikettierklebstoffe binden mit unterschiedlicher Geschwindigkeit ab. Klebstoff EK2 bindet am langsamsten, EK4 bindet am schnellsten ab. Daraus ergibt sich die Reihenfolge 2-3-4 für die Abbindegeschwindigkeit der Etikettierklebstoffe (vgl. Abschnitt 6.4.1 ab Seite 116).

Bei erhöhter Klebstoffmenge stimmt das Etikettierergebnis auf Basispapier BP5 mit dieser Reihenfolge überein. Der Etikettierklebstoff EK2 zeigte das beste, EK4 das schlechteste Etikettierergebnis, so dass sich auch für das Etikettierergebnis die Reihenfolge 2-3-4 ergibt. Auf dem Basispapier BP2 zeigten alle drei Etikettierklebstoffe ein einwandfreies Etikettierergebnis ohne Faltenbildung.

Dieses Ergebnis ändert sich jedoch mit der Klebstoffmenge. Bei einer durchschnittlichen Klebstoffmenge zeigte EK4 auf BP5 das beste, EK2 das schlechteste Etikettierergebnis bezogen auf die Faltenbildung. Die sich ergebende Reihenfolge 4-3-2 stellt das Ergebnis der Untersuchungen mit erhöhter Klebstoffmenge auf den Kopf. Auf BP2 ist das Ergebnis nicht eindeutig, da sich die Etikettierergergebnisse zwischen EK2 und EK3 nicht signifikant unterscheiden.

Bei einer reduzierten Klebstoffmenge lieferte der EK4 das beste, EK3 das schlechteste Etikettierergebnis in Bezug auf die Faltenbildung. Die sich daraus ergebende Reihenfolge von 4-2-3 ist nicht deckungsgleich mit der 2-3-4 Reihenfolge der Abbindegeschwindigkeit der Etikettierklebstoffe und deckt sich auch nicht mit den Ergebnissen bei durchschnittlicher und erhöhter Klebstoffmenge.

Eine Korrelation zwischen dem Verlauf der Hafteigenschaften und dem Etikettierergebnis konnte bei den Versuchen im Etikettiertechnikum nicht festgestellt werden. Ein eindeutiger Einfluss der Abbindegeschwindigkeit der Etikettierklebstoffe, wie er von [9, 17] angegeben wurde, konnte somit nicht belegt werden.

Die Kombination von Basispapier und Etikettierklebstoff scheint jedoch entscheidend für die Ausprägung der Faltenbildung bei der Nassetikettierung zu sein, da derselbe Klebstoff auf unterschiedlichen Etikettenpapieren andere Kennzahlen bei der Faltenbildung hervorbringt. Damit wird die Aussage von [13] bestätigt, der neben den verwendeten Klebstoffsorten die

Eigenschaften der Etiketten als einen der dominanten Einflüsse auf die Abbindegeschwindigkeit des Klebstoffs sieht. Wie sich diese Komponenten im Zusammenspiel verhalten, kann jedoch anhand der einzelnen Untersuchungen der Etikettierklebstoffe und der Papiere nicht vorhergesagt werden. Soll deren Eignung zur faltenfreien Etikettierung beurteilt werden, muss die entsprechende Kombination in einem Etikettierversuch bewertet werden. Dabei ist auch die eingesetzte Klebstoffmenge zu berücksichtigen, da sie das Verhalten der Etikettierklebstoffe entscheidend zu beeinflussen scheint.

8.2.3.2 Klebstoffmenge

Von [9, 54, 55] wird die Klebstoffmenge als eine Einflussgröße auf die Faltenbildung bei der Nassetikettierung genannt. In zahlreichen Versuchsläufen wurde das Etikettierergebnis bei unterschiedlichen Klebstoffmengen untersucht, um herauszufinden, in welcher Weise sich die Veränderung der Klebstoffmenge auf die Ausprägung der Faltenbildung auswirkt.

In allen 27 durchgeführten Versuchsläufen (vgl. Tabelle 28 und Tabelle 29) führte eine Erhöhung der Klebstoffmenge zu einer deutlichen Reduzierung der Faltenbildung, unabhängig vom Basispapier, der Prägung oder einer Lackierung. Durch eine Reduzierung der Klebstoffmenge pro Quadratmeter Etikett erhöht sich dagegen die Neigung zur Faltenbildung.

Dieses Ergebnis, zusammen mit den Erkenntnissen aus Abschnitt 8.2.3.1, deutet darauf hin, dass der eingesetzten Klebstoffmenge bei der Nassetikettierung eine überragende Bedeutung bei der Entstehung von Faltenbildung zukommt. Dabei gilt, je mehr Etikettierklebstoff eingesetzt wird, desto geringer ist die Neigung zur Faltenbildung.

Kritische Betrachtung der Untersuchungen in Abschnitt 8.2.3.2

Die Untersuchungsergebnisse zeigen einen ausgeprägten Einfluss der Klebstoffmenge auf die Faltenbildung bei der Nassetikettierung. Durch den Einsatz von Vorlaufflaschen (vgl. Abschnitt 4.3.5.1 ab Seite 61) wurde versucht, die Klebstoffmenge bei den Versuchen auf der Modul-Etikettiermaschine bis zu den gesleeften Flaschen für die Bestimmung der Klebstoffmenge auf ein konstantes Niveau zu bringen, um zu gewährleisten, dass jedes Etikett mit der selben Menge Etikettierklebstoff auf die Versuchsflaschen geklebt wird. Die Schwankungen bei der Bestimmung der Klebstoffmenge (siehe Abschnitt 6.1 ab Seite 109) zeigen jedoch, dass die Klebstoffmenge nur bedingt konstant war.

Auf die Erkenntnis, dass die Klebstoffmenge einen außerordentlichen Einfluss auf die Faltenbildung hat, sowie auf die Ergebnisse der anderen Untersuchungen im Etikettiertechnikum haben die festgestellten Schwankungen jedoch keine Auswirkungen. Von dieser Annahme wird ausgegangen, da die Schwankungen in der Klebstoffmenge bei allen Versuchsläufen gleichermaßen auftraten und somit vergleichbar sind. Zudem wurden in den einzelnen Versuchsläufen jeweils mindestens 70 Versuchsflaschen etikettiert, so dass die Ergebnisse und Kennzahlen der Faltenbildung auf einer ausreichenden Anzahl von Einzeluntersuchungen beruhen. Aus Abbildung 83 geht darüber hinaus hervor, dass die Schwankungen mit zunehmender Klebstoffmenge geringer werden. So sank die Standardabweichung bei Erhöhung der durchschnittlichen Klebstoffmenge von $5,6 \text{ g/m}^2$ auf $7,9 \text{ g/m}^2$ von 2,28 auf einen Wert von

1,87. Wird berücksichtigt, dass es sich bei der eingestellten Klebstoffmenge um die untere Grenze der möglichen Klebstoffmenge handelt, so kann davon ausgegangen werden, dass sich die Schwankungen und damit deren Einfluss bei durchschnittlicher und erhöhter Klebstoffmenge (vgl. Tabelle 27 auf Seite 118) weiter reduzieren.

Die beobachteten Schwankungen in der übertragenen Klebstoffmenge und der gleichzeitig sehr ausgeprägte Einfluss der Klebstoffmenge auf die Faltenbildung könnten eine Erklärung dafür sein, dass bei den Versuchsläufen der Etikettierversuchen im Technikum jeweils nur ein bestimmter Teil der Flaschen eine Faltenbildung zeigte, obwohl alle Versuchsflaschen unter den selben Rahmenbedingungen etikettiert wurden. Bei den Versuchsflaschen ohne Faltenbildung könnte die Klebstoffmenge aufgrund der Schwankungen hoch genug gewesen sein, um die Faltenbildung wieder zurückzubilden. Bei den Versuchsflaschen mit Faltenbildung war die Klebstoffmenge aufgrund der Schwankungen eventuell zu niedrig für eine vollständige Rückbildung.

Des Weiteren war in Abbildung 83 eine kontinuierliche Abnahme der Klebstoffmenge bei der Bestimmung der übertragenen Klebstoffmenge zu beobachten. Diese Abnahme wird vermutlich durch die Zeit für die Bestimmung der Klebstoffmenge auf den 50 beziehungsweise 70 gesleeften Flaschen hervorgerufen. Werden für jede Messung etwa 20 Sekunden veranschlagt, ergibt sich daraus eine Gesamtdauer für die Bestimmung der durchschnittlichen Klebstoffmenge von rund 16 beziehungsweise 23 Minuten. Durch eine kontinuierliche Verdunstung der Feuchtigkeit aus dem Etikettierklebstoff über das Etikett nimmt die Masse des Etikettierklebstoffes über die Gesamtdauer der Bestimmung ab, was sich in der beobachteten, scheinbar kontinuierlichen Abnahme der Klebstoffmenge äußert. Es wird somit davon ausgegangen, dass die durchschnittliche Klebstoffmenge, entgegen der Beobachtung aus Abbildung 83, während der Etikettierung der Versuchsflaschen konstant war.

8.2.3.3 Verarbeitungstemperatur des Etikettierklebstoffs

Von [17, 54, 55] wird der Klebstofftemperatur ebenfalls einen Einfluss auf die Faltenbildung bei der Nassetikettierung beigemessen. Durch den Vergleich zweier Klebstofftemperaturen bei annähernd konstanter Leimschabereinstellung sollte herausgefunden werden, wie sich die Temperatur auf das Ergebnis der Nassetikettierung auswirkt.

Bei einer Reduzierung der Klebstofftemperatur erhöht sich die dynamische Viskosität des Etikettierklebstoffs. Dadurch wird bei gleich bleibender Leimschabereinstellung weniger Etikettierklebstoff auf die Leimwalze und folglich auf Beleimungspaletten und Etiketten übertragen, als dies bei einer erhöhten Klebstofftemperatur der Fall ist (vgl. Abschnitt 6.4.3 ab Seite 119). Die Folge der herabgesetzten Klebstoffmenge durch die reduzierte Klebstofftemperatur spiegelt sich in den erhöhten Kennzahlen der Faltenbildung des Versuchslaufs F1 wieder.

Die Klebstofftemperatur hat insofern einen Einfluss auf die Faltenbildung, als die übertragene Klebstoffmenge unmittelbar von ihr abhängt. Aufgrund des enormen Einflusses der Klebstoffmenge muss auch der Klebstofftemperatur ein Einfluss zugeschrieben werden.

Die reduzierte Klebstofftemperatur wurde mit 21 °C, gegenüber der empfohlenen Verarbeitungstemperatur von 28 °C, sehr tief gewählt, um deren Einfluss in möglichst ausgeprägter Form beobachten zu können. Der Einfluss der Klebstofftemperatur ist jedoch stets relativ zu den tatsächlichen Temperaturschwankungen bei der Etikettierung zu sehen. In den beobachteten Brauereien in Kapitel 5 wurde die vom Klebstoffhersteller empfohlene Verarbeitungstemperatur während der Versuche stets eingehalten. Mögliche Schwankungen in der Klebstofftemperatur können jedoch durch die Leimheizung selbst, durch längere Produktionspausen beziehungsweise durch den Wechsel von einem leeren auf einen neuen, vollen Klebstoffeimer hervorgerufen werden. Dass diese Temperaturschwankungen Ausmaße wie bei den Versuchen im Etikettiertechnikum annehmen ist allerdings nicht zu erwarten.

Daher wird der Klebstofftemperatur, unter der Voraussetzung, dass die empfohlene Verarbeitungstemperatur eingehalten wird, ein geringer Einfluss auf die Faltenbildung bei der Nassetikettierung zugeschrieben.

8.2.4 Einfluss der Rahmenbedingungen

8.2.4.1 Feuchtigkeit auf der Flaschenoberfläche

Die Feuchtigkeit auf der Flaschenoberfläche wird von [9, 13, 17] als eine mögliche Einflussgröße auf die Faltenbildung bei der Nassetikettierung genannt. Im Etikettiertechnikum wurden in zwei Versuchsläufen trockene Flaschen mit befeuchteten Flaschen verglichen.

Unter den gegebenen Rahmenbedingungen im Etikettiertechnikum konnte kein signifikanter Unterschied in der Faltenbildung zwischen trockenen und feuchten Flaschen festgestellt werden (vgl. Abschnitt 6.6.1 ab Seite 123).

Dieses Ergebnis legt den Schluss nahe, dass die Feuchtigkeit auf der Flaschenoberfläche keinen messbaren Einfluss auf das Etikettierergebnis in Bezug auf die Faltenbildung ausübt.

Kritische Betrachtung der Untersuchungen in Abschnitt 8.2.4.1

Bei kritischer Betrachtung der Versuchsbedingungen muss diese Schlussfolgerung jedoch relativiert werden.

Zunächst ist zu beachten, dass die Feuchtigkeitsmenge, die im Etikettiertechnikum auf die Flaschen übertragen werden konnten, mit durchschnittlich 0,11 g pro Flasche an der unteren Grenze der festgestellten Feuchtigkeitswerte bei den in Kapitel 5 untersuchten Brauereien lag (vgl. Abschnitt 4.3.5.1 ab Seite 61). Somit würde sich ein vorhandener Einfluss im Etikettiertechnikum voraussichtlich schwächer auswirken. Eine höhere Feuchtigkeitsmenge auf den Flaschen konnte aufgrund der klimatischen Bedingungen im Etikettiertechnikum nicht erzeugt werden (vgl. Abschnitt 4.3.5.1 auf Seite 61).

Noch wichtiger für die Interpretation der Versuchsergebnisse ist jedoch die verwendete Klebstoffmenge in den beiden untersuchten Versuchsläufen. Wie im vorangegangenen Abschnitt 8.2.3.2 festgestellt wurde, hat die Klebstoffmenge einen ausgeprägten Einfluss auf die Faltenbildung bei der Nassetikettierung. Im Versuchslauf M9 wurde mit 15,3 g/m² eine durchschnittliche Klebstoffmenge verwendet, während bei M12 mit 20,4 g/m² eine erhöhte

Klebstoffmenge auf die Etiketten übertragen wurde. Bei diesen unterschiedlichen Klebstoffmengen ist es wahrscheinlich, dass positive wie negative Effekte der Feuchtigkeit auf der Flaschenoberfläche durch den Einfluss der Klebstoffmenge überlagert wurden.

Mit dieser Untersuchung ist es somit nicht möglich, einen Einfluss durch die Feuchtigkeit auf der Flaschenoberfläche auszuschließen. Es zeigt sich jedoch, dass ein gegebenenfalls vorhandener Einfluss der Feuchtigkeit auf die Faltenbildung durch eine erhöhte Klebstoffmenge ausgeglichen werden kann.

8.2.4.2 Nachträgliche Überschwällung der etikettierten Flaschen

Von [52] wurde eine nachträgliche Überschwällung der etikettierten Flaschen als eine Möglichkeit genannt, die in manchen Abfüllbetrieben zur Reduzierung der Faltenbildung eingesetzt wird. Im Etikettiertechnikum wurde der Effekt einer nachträglichen Überschwällung an metallisierten und an nicht metallisierten Etiketten untersucht.

Sowohl bei den metallisierten als auch bei den nicht metallisierten Etiketten führte die nachträgliche Überschwällung zu einer signifikanten Erhöhung der Kennzahlen der Faltenbildung (vgl. Abschnitt 6.6.2 ab Seite 123), wobei die nicht metallisierten Etiketten eine weitaus stärkere Reaktion zeigten.

Die Ergebnisse der nachträglichen Überschwällung zeigen eindrucksvoll die Auswirkungen der Feuchtigkeit auf die Faltenbildung bei der Nassetikettierung. Dabei ist jedoch zu berücksichtigen, dass sich diese Art der Befeuchtung ausschließlich auf die Nassdehnung des Etiketts auswirkt. Der Zeitpunkt, an dem der Etikettierklebstoff aushärtet, wird dagegen nicht beeinflusst, da die zusätzliche Feuchtigkeit vom Etikettenpapier aufgenommen wird und den Etikettierklebstoff nicht erreicht. Aus diesem Grund sind die Folgen einer nachträglichen Überschwällung nicht mit den Auswirkungen der Feuchtigkeit auf der Flaschenoberfläche vor der Nassetikettierung gleichzusetzen.

8.3 Bewertung der Versuche im Labormaßstab

Die Versuche im Labormaßstab veranschaulichen, wie sich die Bildung und Rückbildung der Falten an den Seitenrändern der Etiketten vollzieht. Durch das Nachstellen des Etikettiervorgangs konnte der Einfluss der Klebstoffmenge und der Abtrocknungsbedingungen untersucht werden, ohne dabei durch die mechanische Belastung der Etiketten, die bei einer maschinellen Etikettierung auftreten, beeinflusst zu werden.

8.3.1 Simulation der Faltenbildung und deren Rückbildung

Die Bildung und anschließende Rückbildung der Falten über den klebstofffreien Flächen der Greiferfingerlücken wurde an mehreren, plan aufliegenden Etikettenstreifen durch Befeuchten mit Wasser nachgestellt. Die Fixierung der Etikettenstreifen durch den Etikettierklebstoff wurde dabei durch Klebeband simuliert.

Nach Befeuchten der Etikettenstreifen mit Wasser bildete sich an den nicht fixierten Stellen der Etikettenstreifen zunächst eine Falte (siehe Tabelle 36 auf Seite 126). Während des Abtrocknens bildete sich diese Falte durch die Trockenschrumpfung der Papiere wieder zurück. Die vollständige Planlage wurde jedoch bei keinem der Versuche erreicht.

Daraus folgt, dass die Feuchtigkeit auf der Flaschenoberfläche als alleiniger Auslöser für eine Faltenbildung ausreichen kann. Sie führt dazu, dass sich die Etikettenpapiere über der klebstofffreien Fläche ausdehnen und eine Falte bilden. Für diese Falte wird die Bezeichnung „Anfangsfalte“ eingeführt. Die Hysterese der Etikettenpapiere verhindert bei der anschließenden Abtrocknung und der damit verbundenen Trockenschrumpfung des Papiers eine vollständige Rückbildung der Anfangsfalten über der klebstofffreien Fläche, so dass stets eine erkennbare Faltenbildung erhalten bleibt.

Kritische Betrachtung der Untersuchungen in Abschnitt 8.3.1

Bei der Simulation der Faltenbildung und deren Rückbildung wurden zwei Faktoren ausgeschlossen, die bei realen Etikettiervorgängen die Bildung und Rückbildung der Anfangsfalte beeinflussen können.

- **Nassdehnung des Etikettenpapiers über den verklebten Flächen**

Die Hysterese des Etikettenpapiers über der klebstofffreien Fläche war bei den Simulationsversuchen dafür verantwortlich, dass eine erkennbare Faltenbildung nach dem Abtrocknen der Etiketten übrig blieb. Bei einer realen Nassetikettierung wird der Effekt der Hysterese durch die Nassdehnung des Etikettenpapiers über den verklebten Flächen ergänzt.

Das Etikettenpapier über diesen Flächen nimmt die Feuchtigkeit von der Flaschenoberfläche, das Schweißwasser sowie die Feuchtigkeit aus dem Etikettierklebstoff auf. Dadurch dehnt es sich ebenfalls quer zum Faserlauf aus. Da das Etikettenpapier an diesen Stellen durch die Anfangshaftung des Klebstoffs in der Planlage gehalten wird, führt die Nassdehnung über den verklebten Flächen dazu, dass zusätzliches Etikettenmaterial über die klebstofffreie Fläche geschoben wird. Dies führt zu einer Erhöhung der Anfangsfalte, in Abhängigkeit der Nassdehnung (vgl. Marke B1M3 in Abschnitt 8.1.2.4 ab Seite 138 und Basispapier BP6 in Abschnitt 8.2.2.1 ab Seite 147). Folglich müsste sich das Etikettenpapier über der klebstofffreien Fläche weiter als seine ursprüngliche Ausdehnung zusammenziehen, um nach der Trockenschrumpfung wieder die Planlage zu erreichen.

- **Flexibilität der Verklebung mit Kaseinklebstoff**

Im Idealfall liegen die Etiketten bei der Nassetikettierung nach dem vollständigen Abtrocknen der Flaschen in Planlage auf den Flaschen auf und es ist keine Faltenbildung am Etikettenrand erkennbar. Bei der Simulation hingegen war aufgrund der Hysterese der Etikettenpapiere nach dem Abtrocknen stets eine Faltenbildung erkennbar. Durch die oben beschriebene Nassdehnung des Etikettenpapiers über den verklebten Flächen wurde diese Problematik noch verschärft. Somit muss bei der realen Nassetikettierung

ein Vorgang stattfinden, der die Hysterese der Etikettenpapiere und die Nassdehnung der Etikettenpapiere über den verklebten Flächen ausgleicht.

Dieser Vorgang wird vermutlich durch Rückstellkräfte im Etikett ausgelöst, die solange ihre Wirkung entfalten können, wie der Etikettierklebstoff noch nicht vollständig ausgehärtet ist.

Mit Ausbildung einer Anfangsfalte, wie sie in der Seitenansicht in Abbildung 96 dargestellt ist, weicht des Etiketts von seiner ursprünglichen Planlage ab. Würde das Etikett nicht vom Etikettierklebstoff auf der Flaschenoberfläche fixiert, so würde es aufgrund der Spannung im Etikett sofort wieder die bevorzugte Planlage einnehmen. Diese Rückstellkräfte im Etikett, die das Etikett ohne Fixierung wieder in Planlage bringen würden, wirken senkrecht zur Anfangshaftung. Bei der Simulation der Faltenbildung wurde der Etikettierklebstoff durch eine Fixierung mit Klebeband ersetzt, die keinerlei Verschiebung der Etikettenstreifen auf der Oberfläche zuließ. Im Gegensatz dazu bleibt ein Etikett, das mit Kaseinklebstoff auf einer Flasche fixiert wurde, innerhalb gewisser Grenzen verschiebbar, bis der Etikettierklebstoff durch den Verlust von Feuchtigkeit vollständig ausgehärtet ist [17]. Je höher die aufgetragene Klebstoffmenge, desto länger dauert es, bis der Klebstoff ausgehärtet ist [13, 19]. Daraus wiederum folgt, dass je mehr Etikettierklebstoff eingesetzt wird, desto mehr Zeit bleibt den Rückstellkräften im Etikett, um das Etikett über den Klebstofffilm zu schieben und die Anfangsfalte abzuschwächen.

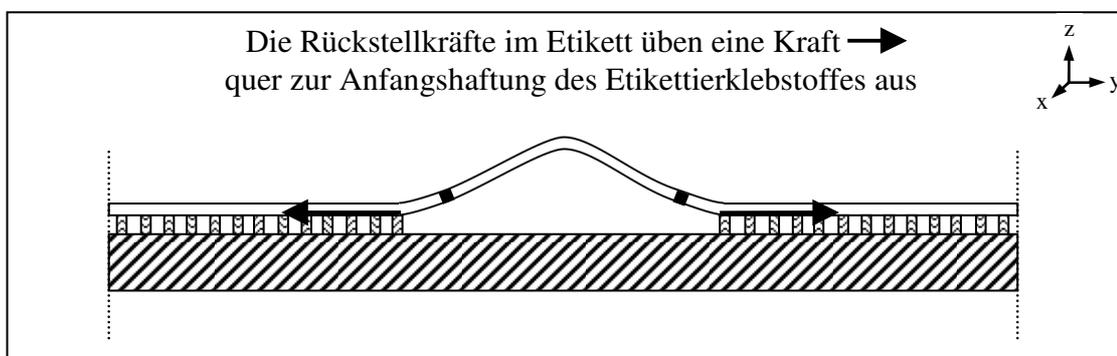


Abbildung 96: Anfangsfalte mit Rückstellkräften

Eine Voraussetzung für die faltenfreie Etikettierung ist somit, dass der Etikettierklebstoff nicht aushärtet, bevor die Rückstellkräfte im Etikett den Effekt der Hysterese der Etikettenpapiere und das reduzierte Platzangebot über den klebstofffreien Flächen, verursacht durch die Nassdehnung des Etikettenpapiers über den verklebten Flächen, ausgeglichen haben. Mit dieser Feststellung wird die Aussagen von [17], dass eine Rückbildung von Falten möglich ist, solange der Etikettierklebstoff feucht ist, bestätigt. [17] sieht jedoch eine ungleichmäßige Durchfeuchtung der Etiketten als Auslöser für die Faltenbildung und deren Ausgleich als treibende Kraft für die Faltenrückbildung. Dies wird durch die erhöhte Faltenbildung bei den Versuchen in Abschnitt 8.2.4.2 auf Seite 156 widerlegt, bei denen durch nachträgliches Überschwallen der Etiketten eine gleichmäßige Durchfeuchtung in den Etiketten erzeugt wurde.

8.3.2 Nachstellen des Etikettiervorgangs

Die einzelnen Arbeitsschritte des Etikettiervorgangs in einer Etikettiermaschine wurden mit einem speziellen Beleimungsgerät im Labormaßstab nachgestellt (siehe Abschnitt 4.4.2 ab Seite 72). Bei den Etikettierversuchen im Labormaßstab konnte auf diese Weise, neben der Klebstoffmenge, zusätzlich die Feuchtigkeitsmenge, mit der die Etiketten beaufschlagt wurden, sowie die Abtrocknungsbedingungen variiert werden. Gleichzeitig war es möglich, diese Einflüsse auf das Etikettierergebnis zu untersuchen, ohne dabei eine Beeinflussung der Ergebnisse durch die mechanische Belastung des Etikettes, ausgehend von den hohen Anlagenausbringungen der Etikettiermaschinen, in Kauf nehmen zu müssen. Dies hat jedoch auch zur Folge, dass die Dynamik der Feuchtigkeitsaufnahme in das Etikett nicht direkt mit einer industriellen Etikettierung verglichen werden kann, da der gesamte Etikettiervorgang im Labormaßstab konstruktionsbedingt langsamer abläuft als bei einer Etikettiermaschine.

Bei den Etikettierversuchen mit dem Beleimungsgerät konnte ausschließlich bei den Versuchsreihen 15 und 16 (siehe Tabelle 40) eine signifikante Faltenbildung am Etikettenrand, über den klebstofffreien Flächen festgestellt werden. Bei trockenen Flaschen, Klebstoffmengen über $8,5 \text{ g/m}^2$ sowie bei den Abtrocknungsbedingungen mit reduzierter Luftfeuchtigkeit bei 23 °C und 35 \% rF konnte keine Faltenbildung an den Etiketten beobachtet werden (vgl. Ergebnisübersicht in Tabelle 38 auf Seite 129).

Tabelle 40: Versuchsreihen mit Faltenbildung

Versuchsreihe	Abtrocknungsbedingungen:	Klebstoffmenge	Schwitzwasserbildung	Untertauchen der Flaschen	Faltenbildung
3	23 °C , 35 \% rF	$10,69 \text{ g/m}^2$	nein	ja	–
4	23 °C , 35 \% rF	$10,69 \text{ g/m}^2$	ja	ja	–
13	18 °C , 80 \% rF	$10,69 \text{ g/m}^2$	nein	nein	–
14	18 °C , 80 \% rF	$10,69 \text{ g/m}^2$	ja	nein	–
15	18 °C , 80 \% rF	$10,69 \text{ g/m}^2$	nein	ja	3 von 5 Etiketten
16	18 °C , 80 \% rF	$10,69 \text{ g/m}^2$	ja	ja	3 von 5 Etiketten

Der direkte Vergleich der Versuchsreihen 15 und 16 mit den Versuchsreihen 13 und 14, bei denen die Flaschen vor der Etikettierung nicht in einem Wasserbad untergetaucht wurden, bestätigt die Erkenntnis aus Abschnitt 8.3.1, dass bereits die Feuchtigkeit auf der Flaschenoberfläche Auslöser für Faltenbildung sein kann. Eine mechanische Einwirkung auf die Etiketten ist nicht zwingend erforderlich. Unter Laborbedingungen war dabei die Feuchtigkeitsmenge, die durch das vorherige Untertauchen der Flaschen auf die Etiketten einwirkte, höher als die Schwitzwassermenge. Daher ist anzunehmen, dass der Effekt des Untertauchens und der danach auf der Flaschenoberfläche anhaftende Feuchtigkeitsfilm die Schwitzwasserbildung unter den herrschenden Laborbedingungen überlagert hat.

Dass bei diesen Versuchsreihen eine Faltenbildung nur bei der geringsten verwendeten Klebstoffmenge aufgetreten ist, zeigt abermals den ausgeprägten Einfluss der Klebstoffmenge (vgl. Abschnitte 8.2.3.1 und 8.2.3.2). Die Erhöhung der Klebstoffmenge und die damit verbundene Verzögerung der vollständigen Aushärtung der Klebstoffschicht führten bei den Laborversuchen, wie bereits bei den Versuchen im industriellen Maßstab, zu einer Reduzierung der Faltenbildung. Einflüsse, die zu einer Verstärkung der Faltenbildung führen, konnten wiederum durch eine höhere Klebstoffmenge ausgeglichen werden.

Die Gegenüberstellung der Versuchsreihen drei und vier, bei denen die Etiketten im Trockenschrank mit 35 % relativer Luftfeuchtigkeit unter ihre ursprüngliche Gleichgewichtsfeuchte von 50 % rF abgetrocknet wurden, mit den Versuchsreihen 15 und 16 belegt den Einfluss der Trockenschrumpfung bei der Rückbildung der Falten. Bei den Versuchsreihen 15 und 16 blieb die Nassdehnung der Etiketten durch die relative Luftfeuchtigkeit von 80 % im Trockenschrank erhalten, bis der Etikettierklebstoff ausgehärtet war. Bei Versuchsreihe drei und vier führte die geringere relative Luftfeuchtigkeit und die damit verbundene Trockenschrumpfung der Etiketten, bei ansonsten identischen Versuchsbedingungen, zur vollständigen Rückbildung der Falten.

8.4 Einflussgrößen auf die Faltenbildung

Im den folgenden Abschnitten werden die in den drei Teilbereichen identifizierten Einflussfaktoren auf die Faltenbildung bei der Nassetikettierung zusammengefasst (Tabelle 41 bis Tabelle 48). Die Wirkung dieser Faktoren auf die Faltenbildung wird auf Grundlage der Bewertungen in den drei Teilbereichen gewichtet und in drei Klassen eingestuft. Diese werden durch eine vierte Klasse mit den aus der Literatur bekannten Einflussfaktoren auf die Faltenbildung ergänzt.

- **Klasse ①: Keine feststellbare Wirkung auf die Faltenbildung**

In Klasse ① werden jene Einflussgrößen eingestuft, von denen ein Einfluss auf die Faltenbildung bei der Nassetikettierung erwartet wurde, dieser jedoch durch die Versuche in den drei Teilbereichen nicht bestätigt werden konnte.

- **Klasse ②: Feststellbare Wirkung auf die Faltenbildung**

Klasse ② umfasst sämtliche Einflussfaktoren bei denen eine Wirkung auf die Faltenbildung festgestellt wurde, die Ausprägung der Faltenbildung durch eine Manipulation der Kenngröße jedoch nicht unmittelbar oder gezielt verändert werden kann.

Ebenfalls zur Klasse ② werden die Einflussgrößen gezählt, die nicht oder nur mit erheblichem technischen, finanziellen oder logistischem Aufwand zu verändern sind und daher als nicht beeinflussbar angenommen werden.

- **Klasse ③: Ausgeprägte Wirkung auf die Faltenbildung**

In Klasse ③ werden die Einflüsse zusammengefasst, mit denen sich der Grad der Faltenbildung bei der Nassetikettierung unmittelbar und gezielt beeinflussen lässt.

- **Klasse ④: Aus der Literatur bekannte Einflussgrößen auf die Faltenbildung**

Klasse ④ beinhaltet die aus der Literatur bekannten Einflussgrößen, deren Veränderung eine gezielte Wirkung auf die Ausprägung der Faltenbildung bei der Nassetikettierung hervorrufen sollen (vgl. Tabelle 3, ab Seite 40), im Rahmen dieser Arbeit jedoch nicht untersucht werden konnten. In der Literatur werden darüber hinaus zahlreiche weitere Einflussgrößen genannt, deren Wirkung von den Autoren jedoch nicht näher spezifiziert wurde und daher nicht in Klasse ④ aufgenommen wurden.

Wie sich der Grad der Faltenbildung in Abhängigkeit vom Einflussfaktor in Klasse ③ verändert hat, beziehungsweise welche Veränderung die Literaturquellen in Klasse ④ voraussagen, wird in Tabelle 42 bis Tabelle 46 durch die unten aufgeführten Symbole gekennzeichnet:

↑ **Verstärkung der Faltenbildung**

Die Erhöhung, Verstärkung oder Einführung des Einflussfaktors erhöhte den Grad der Faltenbildung.

↓ **Reduzierung der Faltenbildung**

Die Erhöhung, Verstärkung oder Einführung des Einflussfaktors reduzierte den Grad der Faltenbildung.

↗ **Teilweise Verstärkung der Faltenbildung**

Die Erhöhung, Verstärkung oder Einführung des Einflussfaktors verstärkte zum Teil den Grad der Faltenbildung. Eine Reduzierung der Faltenbildung konnte nicht beobachtet werden.

↘ **Teilweise Reduzierung der Faltenbildung**

Die Erhöhung, Verstärkung oder Einführung des Einflussfaktors reduzierte zum Teil den Grad der Faltenbildung. Eine Erhöhung der Faltenbildung konnte nicht beobachtet werden.

8.4.1 Faktoren ohne festgestellte Wirkung auf die Faltenbildung

Die in den drei Teilbereichen durchgeführten Untersuchungen offenbarten bei den in Tabelle 41 aufgelisteten Faktoren keine Wirkung auf die Faltenbildung bei der Nassetikettierung.

Aufgrund des nicht erkennbaren Einflusses der Heißendvergütung wird angenommen, dass ein inhomogener Mehrwegflaschenpool [54, 55] und die Form sowie der Verschleiß der Gebinde [9, 54, 55] keinen oder zumindest einen nicht relevanten Einfluss auf die Faltenbildung bei der Nassetikettierung ausüben.

Eine Schrägstellung der Greiferfinger, das versetzte Applizieren der Etiketten oder Beschädigungen an den Greiferfingerschwämmen führten unter den Bedingungen im Etikettiertechnikum zu keiner signifikanten Erhöhung der Faltenbildung. In der Praxis jedoch kann zum Beispiel eine ausgeprägte Fehlstellung der Greiferfinger direkt zur Beschädigung der Etiketten führen. Diese Faktoren wurden dennoch in Klasse ① eingeteilt, da eine ordentlich gewartete und einwandfrei justierte Etikettiermaschine als Grundvoraussetzung für eine faltenfreie Etikettierung anzusehen ist.

Die Abbindgeschwindigkeit, bestimmt nach der modifizierten Methode von KEMENATER und BADE [29], als eine der physikalischen Eigenschaften des Etikettierklebstoffs, hat keinen erkennbaren Einfluss auf die Faltenbildung bei der Nassetikettierung gezeigt und wird daher in Klasse ① eingestuft. Die gemessene Abbindgeschwindigkeit des Klebstoffes lässt keine Rückschlüsse auf den tatsächlichen Verlauf des Aushärtens und den Zeitpunkt des endgültigen Abbindens des Etikettierklebstoffs zu. Der Zeitpunkt, an dem der Klebstoff aushärtet,

wird maßgeblich von den Faktoren Klebstoffmenge, Etikettenpapier und Feuchtigkeit auf der Flaschenoberfläche beeinflusst, die einen gegebenenfalls vorhandenen Einfluss der Abbindgeschwindigkeit überlagern.

Tabelle 41: Faktoren ohne festgestellte Wirkung auf die Faltenbildung

Einflussfaktor – Rahmenbedingungen im Abfüllbetrieb	Klasse	Abhängigkeit	Vergleiche Abschnitt / Quelle
Heißendvergütung der Flaschen	①	Keine	8.1.5; S.144
Inhomogener Mehrwegflaschenpool	④		[54, 55]
Form der Gebinde	④		[9, 54, 55]
Verschleiß der Gebinde	④		[9]
Einflussfaktor – Etikettiermaschine	Klasse	fest- stell- bare	Vergleiche Abschnitt / Quelle
Schrägstellung der Greiferfinger	①		8.2.1; S.145
Versetztes Applizieren der Etiketten	①		8.2.1; S.145
Beschädigte Schwämme am Greiferzylinder	①		8.2.1; S.145
Einflussfaktor – Etikettierklebstoff	Klasse	Abhän- gigkeit	Vergleiche Abschnitt / Quelle
Abbindgeschwindigkeit der Etikettierklebstoffe	①		8.2.3.1; S.152

8.4.2 Einflussfaktoren auf die Bildung der Anfangsfalten

In den folgenden drei Tabellen wurden sämtliche Faktoren zusammengefasst, denen ein Einfluss auf die Bildung der Anfangsfalten durch die Untersuchungen in den drei Teilbereichen nachgewiesen werden konnte. Die Einflussfaktoren wurden mit einem Index versehen, um deren Zuordnung bei der Beschreibung des Modells zur Bildung und Rückbildung der Anfangsfalten in Abschnitt 8.5 zu erleichtern.

Tabelle 42: Einflussfaktoren – Rahmenbedingungen im Abfüllbetrieb

Index	Einflussfaktor	Klasse	Abhängigkeit	Vergleiche Abschnitt / Quelle
1	Feuchtigkeitsmenge auf der Flaschenoberfläche	③	↗	8.1.2.5; S.141
	in Verbindung mit der Klebstoffmenge	②		8.3.1; S.156
2	Nachträgliche Überschwammung der Etiketten mit Wasser	③	↑	8.1.2.5; S.141
				8.2.4.2; S.156

Tabelle 43: Einflussfaktoren – Papieretiketten

Index	Einflussfaktor	Klasse	Abhängigkeit	Vergleiche Abschnitt / Quelle
3	Summe der physikalischen Eigenschaften der Papieretiketten	②		8.2.2.1; S.147
4	Nassdehnung der Etiketten	③	↗	8.1.2.4; S.138
				8.2.2.1; S.147
5	Ungleichmäßige Druckfarbenverteilung	③	↗	8.2.2.2; S.150
6	Prägung der Etiketten	③	↘	8.2.2.3; S.151
7	Lackierung der Etiketten	③	↗	8.2.2.4; S.151
8	Höhe der Etiketten	④	↗	[9]

Tabelle 44: Einflussfaktor – Etikettiermaschine

Index	Einflussfaktor	Klasse	Abhängigkeit	Vergleiche Abschnitt / Quelle
9	Mechanische Belastung der Etiketten	③	↗	8.1.2.1; S.131
				8.1.2.3; S.137
				8.2.1; S.145

8.4.3 Einflussfaktoren auf die Rückbildung der Anfangsfalten

Die folgenden vier Tabellen zeigen alle Faktoren, bei denen durch die Untersuchungen in den drei Teilbereichen ein Einfluss auf die Rückbildung der Anfangsfalten festgestellt werden konnte.

Tabelle 45: Einflussfaktoren – Rahmenbedingungen im Abfüllbetrieb

Index	Einflussfaktor	Klasse	Abhängigkeit	Vergleiche Abschnitt / Quelle
10	Feuchtigkeitsmenge auf der Flaschenoberfläche	③	↘	8.1.2.5; S.141
11	Lufttemperatur während der Abtrocknung	③	↗	8.1.4; S.143
				8.3.2; S.159
12	Relative Luftfeuchtigkeit während der Abtrocknung	③	↘	8.1.4; S.143
				8.3.2; S.159

Tabelle 46: Einflussfaktoren – Papieretiketten

Index	Einflussfaktor	Klasse	Abhängigkeit	Vergleiche Abschnitt / Quelle
13	Summe der physikalischen Eigenschaften der Papieretiketten	②		8.2.2.1; S.147
14	Hysterese bei der Trockenschrumpfung	③	↑	8.3.1; S.156
15	Kombination von Etikettenpapier und Etikettierklebstoff	②		8.2.3.1 S.152

Tabelle 47: Einflussfaktoren – Etikettierklebstoff

Index	Einflussfaktor	Klasse	Abhängigkeit	Vergleiche Abschnitt / Quelle
16	Erhöhung der Klebstoffmenge	③	↘	8.2.3.2; S.153
17	Reduzierung der Klebstoffmenge	③	↑	8.2.3.2; S.153
18	Klebstofftemperatur (durch Beeinflussung der Klebstoffmenge)	②		8.2.3.3; S.154
		④		[17, 54, 55]

Tabelle 48: Einflussfaktor – Etikettiermaschine

Index	Einflussfaktor	Klasse	Abhängigkeit	Vergleiche Abschnitt / Quelle
19	Klebstofffreie Fläche auf den Etiketten durch beschädigte oder abgenutzte Belemungspaletten	③	↗	8.1.2.1; S.131
				8.2.1; S.145
		8.1.2.2; S.135		
④	↗	[9]		

8.5 Modell zur Bildung und Rückbildung der Anfangsfalten

Anhand der Untersuchungen in den drei Teilbereichen der ersten Stufe und deren Ergebnisse sowie aus den in Abschnitt 8.4 zusammengetragenen, gewichteten Einflussgrößen der zweiten Stufe, lassen sich in Kombination mit den aus der Literatur bekannten Faktoren die Vorgänge, die nach der Etikettierung an den Seiten der Etiketten ablaufen, in der dritten Stufe in einem Modell zur Bildung und Rückbildung der Anfangsfalten abbilden.

Dieses Modell beschreibt, welche Umstände die Nassdehnung der Etiketten hervorruft und wie diese, aufgrund des inhomogenen Klebstoffauftrages an den Seiten der Etiketten, zur

Bildung der Anfangsfalten führt, die beim Abtrocknen der Etiketten und der damit einhergehenden Trockenschumpfung wieder zurück gebildet werden.

8.5.1.1 Nassdehnung der Etiketten durch Feuchtigkeitsaufnahme

Durch die Aufnahme von Feuchtigkeit in das Papiergefüge der Etiketten kommt es zu der in Abschnitt 2.3.1.5 ab Seite 13 beschriebenen Nassdehnung der Papieretiketten quer zum Faserlauf. Die Feuchtigkeit kann dabei aus drei verschiedenen Quellen stammen:

- **Quelle 1: Schwitzwasserbildung auf der Flaschenoberfläche**

In Abhängigkeit von der Oberflächentemperatur der Flaschen und der Temperatur und relativen Luftfeuchtigkeit der Umgebungsluft schlägt sich Schwitzwasser auf den Flaschen und nach der Etikettierung auch auf den Etiketten nieder. Erst wenn die Oberflächentemperatur der Flaschen die Taupunkttemperatur t_s der Umgebungsluft überschreitet, bildet sich kein weiteres Schwitzwasser auf den Flaschen (vgl. Abschnitt 2.3.3.3 auf Seite 24).

- **Quelle 2: Abbrausen der Flaschen nach der Verschleißmaschine**

Unmittelbar nach dem Verschließen der Flaschen durchlaufen diese eine Wasserbrause zur Entfernung von Produktresten (vgl. Abschnitt 2.3.3.3 auf Seite 24). Dieses Wasser haftet als Film auf der Flaschenoberfläche und bleibt in der Regel bis zum Aufsetzen der Etiketten auf den Flaschen erhalten.

- **Quelle 3: Feuchtigkeit aus dem Etikettierklebstoff**

Die im Rahmen dieser Arbeit eingesetzten Etikettierklebstoffe enthielten nach Herstellerspezifikation einen Festkörpergehalt zwischen 34 % und 38 %. Der überwiegende Teil der verbleibenden 62 % bis 66 % besteht aus dem Lösemittel Wasser [19]. Somit wird selbst bei trockenen und warmen Flaschen eine bestimmte Menge Feuchtigkeit vorhanden sein und in das Etikettenpapier eindringen, was letztlich zu einer Nassdehnung der Etiketten führt.

Die Menge an Feuchtigkeit auf der Flaschenoberfläche, die letztlich mit dem Etikett in Kontakt kommt und die Nassdehnung quer zum Faserlauf auslöst, kann dabei nicht als konstant betrachtet werden. Dies belegen die Variationskoeffizienten der Bestimmung der Feuchtigkeit auf der Flaschenoberfläche im ersten Teilbereich der Untersuchungen, die bei den fünf Marken zwischen 8,1 % und 40,0 % variieren (vgl. Tabelle 11 auf Seite 84).

Eine mögliche Ursache für die ausgeprägten Schwankungen der Feuchtigkeitsmenge ist die wechselnde Transportdauer der Flaschen von der Wasserbrause bis zur Etikettiermaschine. Die Transportdauer verändert sich in Abhängigkeit von der Verfügbarkeit der Etikettiermaschine und der nachfolgenden Maschinen. Bei einem Rückstau der Flaschen zwischen Füll- und Etikettiermaschine, zum Beispiel durch eine Störung an der Etikettiermaschine, erhöht sich zwangsläufig die Transportdauer der Flaschen. Dies führt einerseits zu einer Erhöhung der Feuchtigkeitsmenge auf den Flaschen durch Schwitzwasserbildung, andererseits reduziert sich der Feuchtigkeitsfilm der Wasserbrause mit zunehmender Transportdauer. Eine Vorher-

sage, mit welcher Feuchtigkeitsmenge eine Flasche nach einer bestimmten Transportdauer die Etikettiermaschine erreicht, ist zum Einen aufgrund dieser gegenläufigen Vorgänge nicht möglich. Zum Anderen ist zu vermuten, dass die Schwitzwasserbildung und die Reduzierung des Feuchtigkeitsfilms auf den Flaschen auch durch deren Position auf der Transportstrecke und dem direkten Kontakt mit den umgebenden Flaschen beeinflusst werden.

Darüber hinaus verändern sich die Temperatur und die relative Luftfeuchtigkeit der Umgebungsluft in der Abfüllhalle und im Vollgut-Lager sowohl im Tagesverlauf als auch in Abhängigkeit der Jahreszeiten (vgl. Abschnitt 5.1.2 und 5.1.3 ab Seite 81), was jeweils mit einer Änderung der Schwitzwassermenge einhergeht.

8.5.1.2 Entstehung der Anfangsfalten am Etikettenrand

Die im vorangegangenen Abschnitt beschriebene Nassdehnung der Etiketten tritt mit der Streifenbeimung zwischen den Etiketten und den Glasflaschen in Wechselwirkung. An den Seiten der Etiketten wird jedoch im Bereich der Aussparungen an den Beimungspaletten kein Etikettierklebstoff auf die Etiketten übertragen. Der Bereich der mittleren Aussparung für den mittleren Greiferfinger ist in Abbildung 97 in vergrößerter Seitenansicht dargestellt. Die Skizze zeigt, wie das Etikett unmittelbar nach der Etikettierung oben und unten durch die nicht ausgehärtete Streifenbeimung mit der Glasflasche verbunden wird, während sich dazwischen, aufgrund der Aussparung an den Beimungspaletten, eine klebstofffreie Fläche befindet, in der das Etikett nicht auf der Glasflasche fixiert wird.

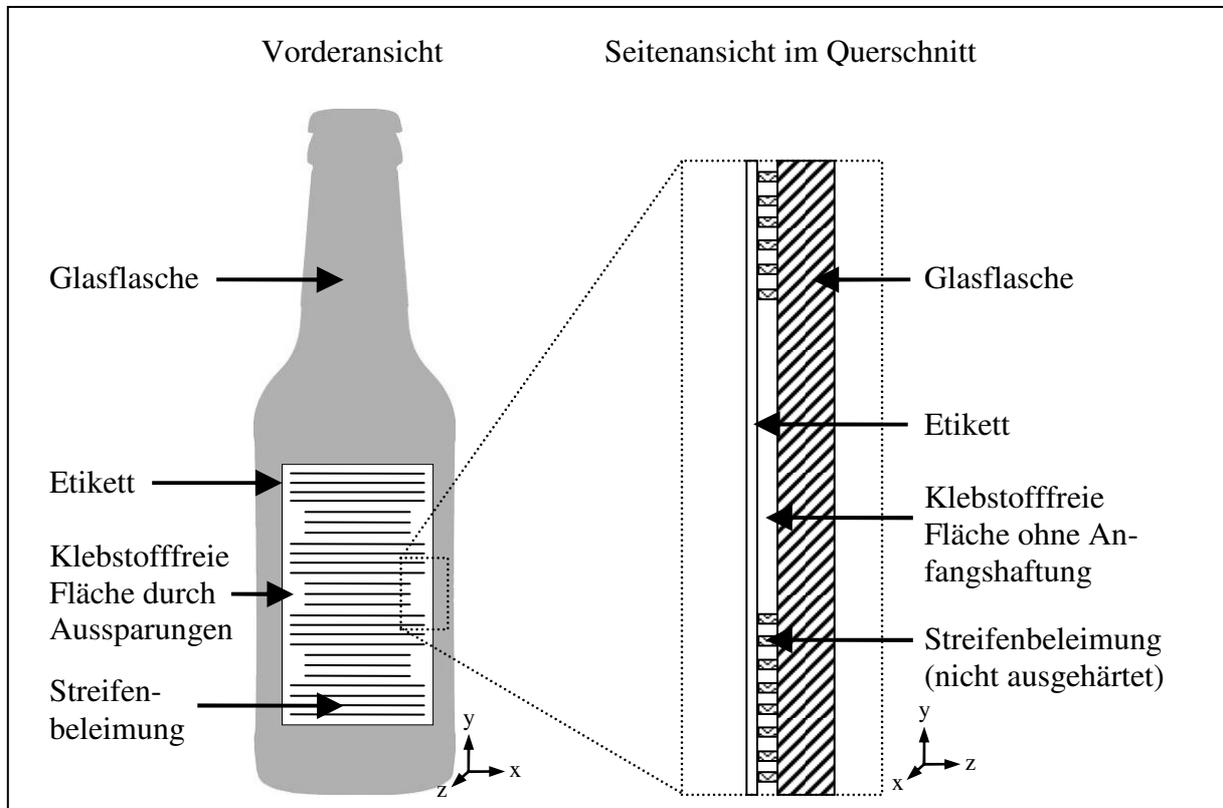


Abbildung 97: Inhomogenen Streifenbeimung am Etikettenrand.

In den folgenden Abbildungen wird die vergrößerte Seitenansicht aus Abbildung 97 um 90° im Uhrzeigersinn verdreht dargestellt. In den Bereichen mit Streifenbeimung hält die Anfangshaftung die Etikettenteilstücke über diesen Bereichen in Planlage. Die Grenze zwischen diesen Bereichen und dem Bereich der klebstofffreien Fläche wird durch einen schwarzen Punkt im Etikett markiert (siehe Abbildung 98), der sich in den weiteren Abbildungen immer an derselben Stelle im Etikett befindet und auf diese Weise die Lageänderung des Etiketts kenntlich macht.

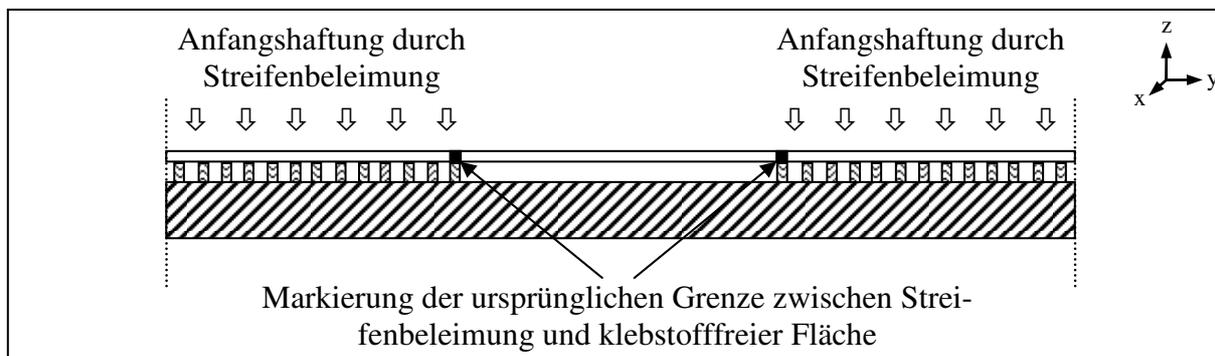


Abbildung 98: Anfangshaftung fixiert das Etikett auf der Glasflasche

Durch das Eindringen von Feuchtigkeit, aus den in Abschnitt 8.5.1.1 genannten Feuchtigkeitsquellen, in das Etikettenpapier setzt im gesamten Etikett eine Nassdehnung quer zum Faserlauf ein. Diese gleichzeitige Ausdehnung des Etiketts entlang der Flaschenachse wird in Abbildung 99 durch Doppelpfeile dargestellt.

Die Ausprägung der Nassdehnung ist innerhalb gewisser Grenzen abhängig von der Feuchtigkeitsmenge (Index 1 und 2). Je mehr Feuchtigkeit in das Etikett eindringt, desto stärker dehnt sich das Etikett. Somit wird die Nassdehnung in den Bereichen der Streifenbeimung um den Anteil der Feuchtigkeit aus dem Etikettierklebstoff stärker ausfallen als im Bereich der klebstofffreien Fläche, symbolisiert durch die größeren Doppelpfeile im Bereich der Streifenbeimung.

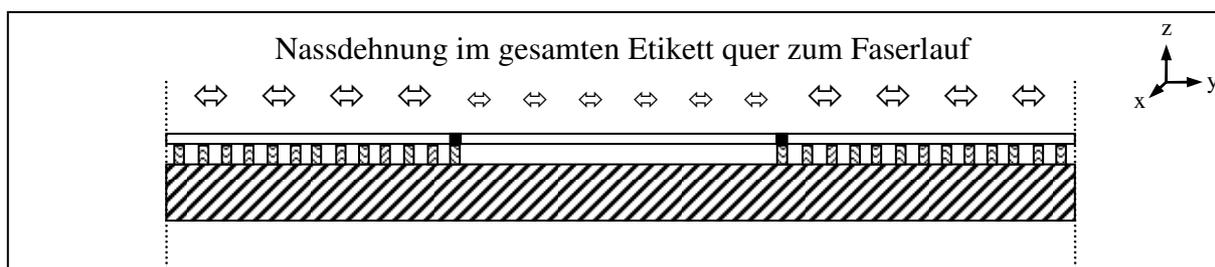


Abbildung 99: Nassdehnung der Etiketten quer zum Faserlauf

Die Nassdehnung im Etikettenteilstück über der klebstofffreien Fläche führt dazu, dass dem ausgedehnten Teilstück das ursprüngliche Platzangebot über der klebstofffreien Fläche nicht ausreicht. Die Spannung, die sich dadurch in diesem Teilstück des Etiketts aufbaut, zwingt das Etikett die Planlage, wie in Abbildung 100 skizziert, zu verlassen und eine Anfangsfalte zu bilden.

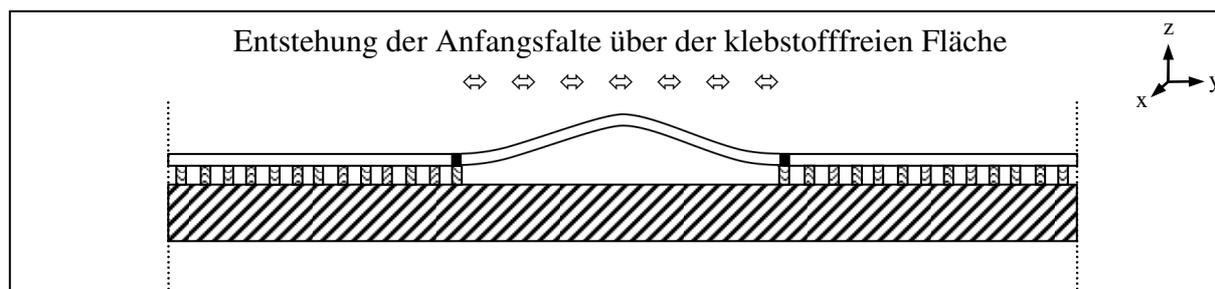


Abbildung 100: Entstehung der Anfangsfalte über der klebstofffreien Fläche

Gleichzeitig führt die Nassdehnung des Etiketts in den Bereichen mit der Anfangshaftung durch die Streifenbeimung dazu, dass zusätzliches Etikettenmaterial über den Bereich der klebstofffreien Fläche geschoben wird. Dies bedingt eine zusätzliche Erhöhung der Anfangsfalte durch das Etikettenmaterial aus den Bereichen mit Anfangshaftung (siehe Abbildung 101). Wie deutlich die zusätzliche Erhöhung und damit die endgültige, maximale Höhe der Anfangsfalte ausfällt, hängt unmittelbar von der prozentualen Nassdehnung des Etikettenpapiers (Index 4) oder ganz allgemein von der Summe der physikalischen Eigenschaften des Basispapiers (Index 3) ab. Je stärker sich die Etiketten durch die Feuchtigkeit ausdehnen, desto höher wird die Anfangsfalte über der klebstofffreien Fläche.

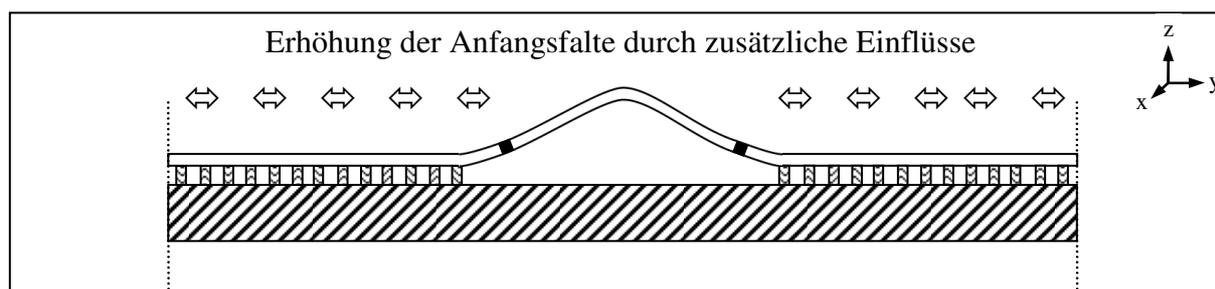


Abbildung 101: Erhöhung der Anfangsfalte durch zusätzliche Einflüsse

Die Feuchtigkeit, die in die Etiketten eindringt, ist der Auslöser für die Nassdehnung der Etiketten. Eine höhere Feuchtigkeitsmenge (Index 1 und 2) verstärkt die absolute Nassdehnung des Etiketts und bewirkt somit eine direkte Erhöhung der Anfangsfalte.

Ein weiterer Faktor für die Höhe der Anfangsfalte ist der Abstand zwischen zwei benachbarten klebstofffreien Flächen. Bei gleich bleibender Anzahl an Greiferfingern vergrößert sich dieser Abstand mit zunehmender Höhe der Etiketten (Index 8) und hat zur Folge, dass die absolute Nassdehnung des Etiketts über den Bereichen mit Anfangshaftung in gleicher Weise zunimmt. Dadurch vergrößert sich der Anteil an zusätzlichem Etikettenmaterial, das über die klebstofffreie Fläche geschoben wird und schließlich mit einer Erhöhung der Anfangsfalte einhergeht.

Des Weiteren kann eine Verstärkung der mechanischen Belastung der Etiketten (Index 9), zum Beispiel durch Erhöhung der Einstellausbringung, beim Abziehen der Etiketten von den Beimungspaletten durch die Greiferfinger zu einer Erhöhung der Anfangsfalte führen.

Die Höhe der Anfangsfalte kann zudem durch eine Prägung beziehungsweise eine Lackierung der Etiketten beeinflusst werden. Kann die Feuchtigkeit, die von der Flaschenoberfläche und dem Etikettierklebstoff in die Etiketten eindringt, direkt von den Etiketten an die Umgebung

abgegeben werden, so fällt die absolute Nassdehnung und damit die Höhe der Anfangsfalte geringer aus. Eine Prägung (Index 6) steigert in der Regel die Feuchtigkeitsdurchlässigkeit der Etiketten und bewirkt somit eine Reduzierung der Anfangshöhe, während eine Lackierung der Etiketten (Index 7) eine zusätzliche Barriere für die Feuchtigkeit darstellt und daher eine Erhöhung der Anfangsfalte nach sich zieht. Da jedoch der Effekt einer Prägung oder einer Lackierung auf die Feuchtigkeitsdurchlässigkeit der Etiketten von weiteren Faktoren, wie zum Beispiel dem Basispapier, abhängig ist, sind die Auswirkungen auf die Höhe der Anfangsfalten nicht einheitlich.

Eine ungleichmäßige Druckfarbenverteilung (Index 5) kann dazu führen, dass die Luftfeuchtigkeit, die sich in Form von Schwitzwasser auf den Etiketten niederschlägt, nicht gleichmäßig in die Etiketten eindringt. Die aufgrund partiell unterschiedlich ausgeprägter Nassdehnung resultierenden Spannungen im Etikett können ebenfalls zur Erhöhung der Anfangsfalten beitragen.

8.5.1.3 Rückbildung der Anfangsfalten am Etikettenrand

Die bevorzugte Form für Etiketten ist die Planlage. Durch den im vorangegangenen Abschnitt beschriebenen Vorgang zwingt die Nassdehnung die Etiketten dazu, diese bevorzugte Form zu verlassen. Gleichzeitig führt die Formveränderung im Etikett über dem Bereich der klebstofffreien Fläche zu einer Spannung, die eine Kraft $F_{\text{Rückstellkraft}}$ (siehe Abbildung 102) senkrecht zur Anfangshaftung ausübt (vgl. Abschnitt 8.3.1 ab Seite 156).

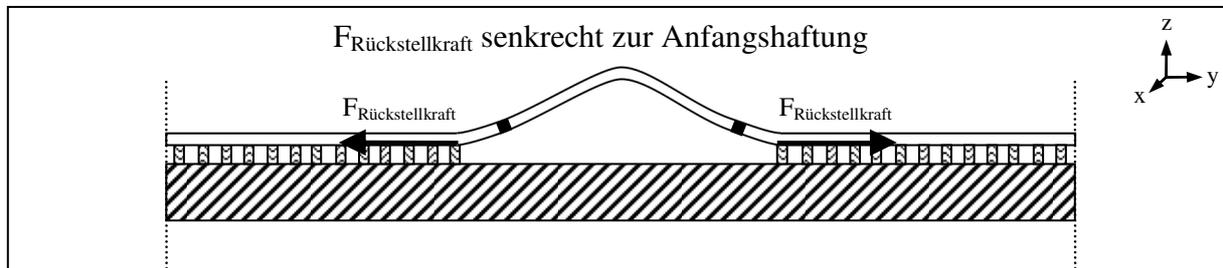


Abbildung 102: Rückstellkräfte im Etikett

Da zum Zeitpunkt der maximalen Ausprägung der Anfangsfalte der Etikettierklebstoff zwischen Etikett und Glasflasche noch nicht vollständig ausgehärtet ist und eine Bewegung der Etiketten auf der Flaschenoberfläche weiterhin zulässt, kann diese Kraft $F_{\text{Rückstellkraft}}$, die im Weiteren als Rückstellkraft bezeichnet wird, das Etikett nach oben und unten über die Bereiche der Streifenbeimung hinweg verschieben. Auf diese Weise gleichen die Rückstellkräfte die Nassdehnung des Etikettenpapiers im Bereich über der klebstofffreien Fläche und das zusätzliche Etikettenmaterial aus den Bereichen mit Anfangshaftung teilweise aus. Dies bewirkt, dass die Markierungen im Etikett über die Bereiche mit Streifenbeimung und Anfangshaftung geschoben werden (siehe Abbildung 103).

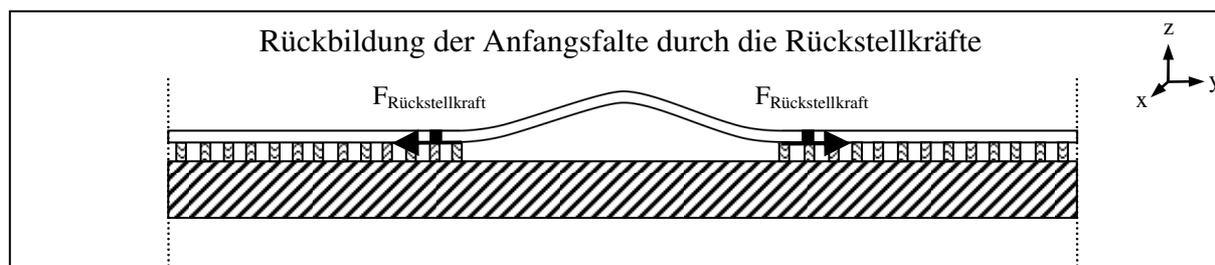


Abbildung 103: Rückbildung der Anfangsfalte durch die Rückstellkräfte

Das Etikettierergebnis der Marke BIM1, der einzigen Marke mit drei Greiferfingern und geraden Etikettenseiten, weist im Bereich der mittleren Aussparungen eine vielfach höhere Faltenbildung auf als im Bereich der unteren und oberen Aussparung (vgl. Tabelle 39 auf Seite 131). Diese Verteilung der Faltenbildung hat ihren Ausgangspunkt in den gegeneinander gerichteten, inneren Rückstellkräften. Diese heben sich, wie in Abbildung 104 in der oberen Skizze dargestellt, zunächst gegenseitig auf, so dass zuerst die äußeren Anfangsfalten teilweise zurückgebildet werden. Erst nach einer gewissen Verzögerung, wenn die Rückstellkräfte der mittleren Anfangsfalte nur noch zum Teil von den Rückstellkräften der äußeren Anfangsfalten aufgehoben werden (siehe untere Skizze in Abbildung 104), wird auch die mittlere Anfangsfalte teilweise zurückgebildet.

Eine vollständige Rückbildung der Anfangsfalte durch die Rückstellkräfte findet nicht statt, da sich diese Kräfte mit zunehmender Rückbildung der Anfangsfalten abschwächen.

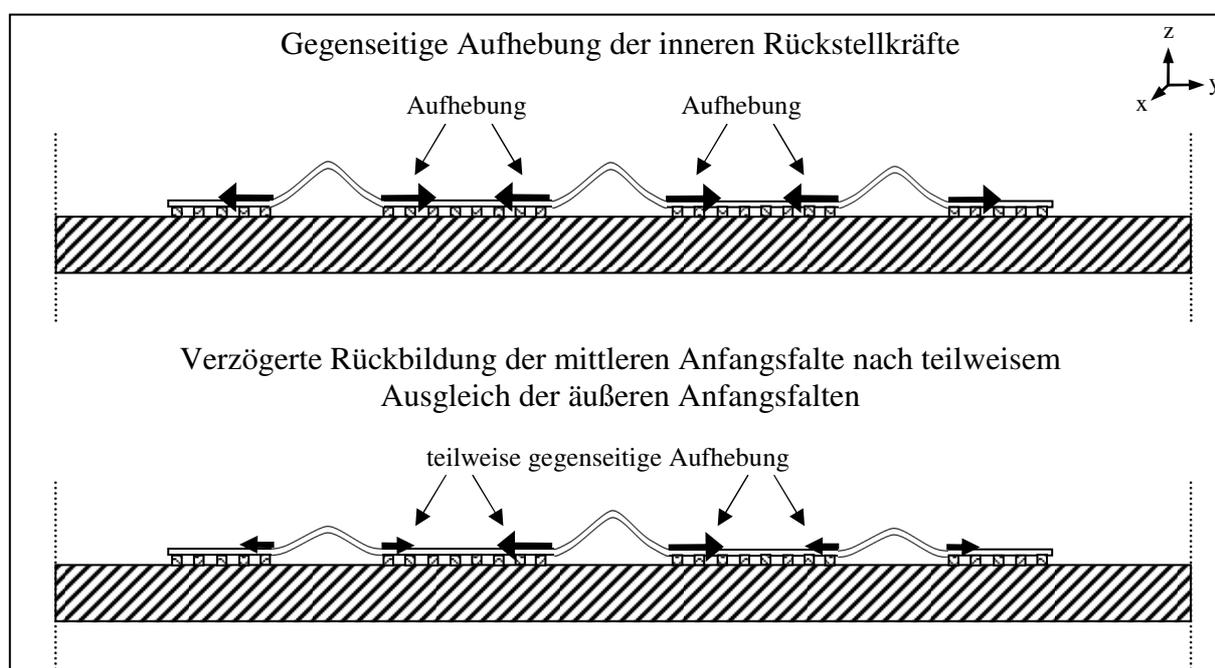


Abbildung 104: Zeitlich verzögerte Rückbildung der mittleren Anfangsfalte

Sobald die Temperatur der Flaschenoberfläche die Taupunkttemperatur t_s , in Abhängigkeit von der Temperatur und relativen Luftfeuchtigkeit der Umgebungsluft, überschreitet und keine weitere Schwitzwasserbildung auftritt, trocknen die Etiketten ab. Parallel dazu härtet der Etikettierklebstoff aufgrund der fortschreitenden Feuchtigkeitsabgabe an das Etikettenpa-

pier vollständig aus und fixiert die Etiketten dauerhaft. Eine weitere Verschiebung der Etiketten auf der Flaschenoberfläche ist ab diesem Zeitpunkt ausgeschlossen.

Mit fortschreitender Abtrocknung des Etikettenpapiers bewirkt die Trockenschrumpfung, dass sich die Etiketten in den Bereichen, die nicht dauerhaft vom Klebstoff fixiert wurden, zusammenziehen und sich das Etikettenpapier auf diese Weise auf der Flaschenoberfläche spannt, somit wieder die Planlage einnimmt und faltenfrei auf der Flaschenoberfläche aufliegt (siehe Abbildung 105).

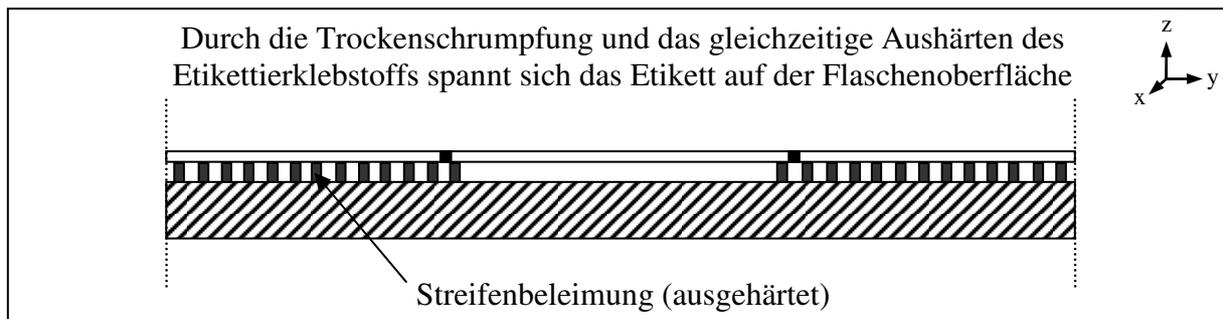


Abbildung 105: Planlage der Etiketten nach der Trockenschrumpfung

8.6 Hypothese zur Entstehung der Faltenbildung bei der Nassetikettierung

Auf Grundlage dieses Modells der Bildung und Rückbildung der Anfangsfalten lässt sich die Hypothese ableiten, dass eine Faltenbildung bei der Nassetikettierung auftritt, wenn die entstandenen Anfangsfalten nicht vollständig zurückgebildet werden. Hierfür ergeben sich aus dem Modell zwei mögliche Ursachen:

1. Vergrößerung der Anfangsfalte

Ein möglicher Auslöser für die unvollständige Rückbildung der Anfangsfalten ist, dass einer oder mehrere der in Abschnitt 8.4.2 auf Seite 162 genannten Einflussfaktoren die Anfangsfalten soweit vergrößern, dass sie unter den gegebenen Rahmenbedingungen nicht vollständig zurückgebildet werden können. Wie die Faktoren im Einzelnen auf die Höhe der Anfangsfalte wirken, wurde bereits im Modell bei der Beschreibung der Entstehung der Anfangsfalten erläutert.

Bestätigung findet diese Annahme in den Versuchen im industriellen Maßstab, bei denen die Versuchsetiketten nach der Etikettierung nachträglich mit Wasser überschwallt wurden (vgl. Abschnitt 8.2.4.2 auf Seite 156). Die nachträgliche Überschwallung führte zu einer zusätzlichen Nassdehnung der Etiketten, die eine Erhöhung der Anfangsfalten zur Folge hatte, während die Rückbildung der Anfangsfalten von der Überschwallung unbeeinflusst blieb. Im direkten Vergleich mit den Versuchsetiketten ohne Überschwallung führte die zusätzliche Erhöhung der Anfangsfalte zu einer signifikant höheren Faltenbildung.

2. Behinderung der Rückbildung der Anfangsfalte

Die zweite mögliche Ursache für die unvollständige Rückbildung der Anfangsfalten sind Faktoren, die den Zeitraum zur Rückbildung der Anfangsfalten verkürzen oder der Rückbildung direkt entgegenwirken.

Die vollständige Rückbildung der Anfangsfalten setzt nach dem oben beschriebenen Modell voraus, dass die Rückstellkräfte die Nassdehnung des Etikettenpapiers im Bereich über der klebstofffreien Fläche und das zusätzliche Etikettenmaterial aus den Bereichen mit Anfangshaftung soweit ausgleichen, dass die anschließende Trockenschrumpfung ausreicht, um die restlichen Anfangsfalten und die Hysterese des Etikettenpapiers auszugleichen (vgl. Abbildung 103). Daraus folgt, dass der Etikettierklebstoff erst aushärten und keine weitere Verschiebung der Etiketten mehr zulassen darf, sobald die Reduzierung der Anfangsfalten in ausreichendem Maße vollzogen wurde. Bindet der Etikettierklebstoff vorzeitig ab, kann die Trockenschrumpfung die verbleibenden Anfangsfalten nicht vollständig, mit dem Ergebnis der Faltenbildung am Etikettenrand, zurückbilden.

Für den Zeitpunkt der vollständigen Aushärtung des Etikettierklebstoffs und damit für die Dauer, die den Rückstellkräften für das Ausgleichen der Anfangsfalten zur Verfügung steht, ist vor allem die auf die Etiketten übertragene Klebstoffmenge von Bedeutung. Wird die Klebstoffmenge reduziert (Index 17), so sinkt zum einen die absolute Feuchtigkeitsmenge im Etikettierklebstoff, die vom Etikettenpapier aufgenommen werden muss. Zum anderen reduziert sich die Schichtdicke des Klebstoffs, wodurch die Feuchtigkeit von der Seite der Glasflasche eine kürzere Distanz bis zum Etikettenpapier zurücklegen muss. Beides verkürzt den Zeitraum, den die Feuchtigkeit benötigt, um aus dem Etikettierklebstoff in das Etikettenpapier zu gelangen. Nach dem Modell gilt somit, je weniger Etikettierklebstoff aufgetragen wird, desto kürzer ist der Zeitraum, in dem die Rückstellkräfte wirken und die Anfangsfalten ausgleichen können. Eine Erhöhung der Klebstoffmenge (Index 16) hat indes den gegenteiligen Effekt und verlängert diesen Zeitraum.

Im Zusammenhang mit der Klebstoffmenge spielt auch die Klebstofftemperatur (Index 18) eine Rolle. Mit der Temperatur verändern sich die rheologischen Eigenschaften des Etikettierklebstoffs und damit die Klebstoffmenge, die bei konstantem Rakelspalt auf die Leimwalze und anschließend über die Beleimungspaletten auf die Etiketten übertragen wird. Eine konstante Klebstofftemperatur ist somit Voraussetzung für einen gleich bleibenden Zeitpunkt der Klebstoffaushärtung.

Ein weiterer Einflussfaktor auf den Zeitpunkt der Klebstoffaushärtung ist die Feuchtigkeit auf der Flaschenoberfläche (Index 10). Der Feuchtigkeitsfilm tritt zunächst mit dem Etikettierklebstoff in Kontakt und führt zu einer Verdünnung, respektive einer Erhöhung des Feuchtigkeitsgehalts des Etikettierklebstoffs. Die zusätzliche Feuchtigkeitsmenge muss ebenfalls von den Etiketten aufgenommen und dem Klebstoff entzogen werden, was den Zeitraum bis zum vollständigen Aushärten des Klebstoffs verlängert. Je weniger Feuchtigkeit sich zum Zeitpunkt des Aufsetzens der Etiketten auf der Flaschenoberfläche befindet, desto geringer ist der Verdünnungseffekt und desto früher bindet der Etikettierklebstoff vollständig ab.

Dementsprechend ist auch die Kombination von Etikettenpapier und Etikettierklebstoff (Index 15) für das Etikettierergebnis in Bezug auf die Faltenbildung von Bedeutung, da sich das Verhalten der Etikettierklebstoffe in Abhängigkeit vom Etikettenpapier verändert. Wird eine der beiden Komponenten ausgetauscht, können sich demnach auch die Etikettiereigenschaften fundamental verändern.

Die Abgabe der Feuchtigkeit aus dem Etikett an die Umgebungsluft wird von der Lufttemperatur (Index 11) und der relative Luftfeuchtigkeit (Index 12) der unmittelbaren Umgebung der Flaschen beeinflusst. Entsprechend dieser beiden Größen stellen sich die Gleichgewichtsfeuchte der Etiketten und die Temperatur der Flaschen ein. Eine Erhöhung der Lufttemperatur beziehungsweise eine Reduzierung der relativen Luftfeuchtigkeit bei der Lagerung der etikettierten Flaschen beschleunigen das Verdunsten der Flüssigkeit aus den Etiketten. Dies intensiviert wiederum den Entzug der Feuchtigkeit aus dem Etikettierklebstoff durch das Etikett und beschleunigt dessen vollständige Aushärtung.

Die Hysterese der Etikettenpapiere (Index 14) steht der Rückbildung der Anfangsfalten direkt entgegen. Je ausgeprägter die Hysterese bei einem Basispapier ausfällt, desto stärker müssen die Anfangsfalten durch die Rückstellkräfte ausgeglichen werden.

Wie sich letztlich die Etiketten bei der Feuchtigkeitsaufnahme gegenüber dem Etikettierklebstoff, beim Feuchtigkeitstransport durch die Etiketten und bei der Feuchtigkeitsabgabe an die Umgebungsluft verhalten, wird durch die Summe der physikalischen Eigenschaften der Papieretiketten (Index 13) festgelegt, die in der Praxis nur durch ein Austausch des Basispapiers verändert werden können.

Schließlich beeinflusst auch die Größe der klebstofffreien Fläche (Index 19) das Etikettierergebnis in Bezug auf die Faltenbildung. Mit zunehmender Breite dieser Fläche nimmt auch die absolute Nassdehnung des Etikettenabschnitts über dieser Fläche zu und erfordert somit einen erhöhten Aufwand bei der Rückbildung der Anfangsfalte. Dies bedeutet im Umkehrschluss, dass der Etikettierklebstoff den Etiketten bei vergrößerten klebstofffreien Flächen mehr Zeit für die Rückbildung der Anfangsfalte durch die Rückstellkräfte gewähren muss.

8.7 Empfehlungen für die Praxis

Anhand der im Modell beschriebenen Mechanismen und der daraus abgeleiteten Hypothese zur Entstehung der Faltenbildung bei der Nassetikettierung werden in diesem Abschnitt, der vierten Stufe dieser Arbeit, Maßnahmen für die Praxis der Nassetikettierung aufgezeigt, mit denen die Faltenbildung vermieden beziehungsweise reduziert werden kann.

8.7.1 Praxisversuche zur Auswahl des Basispapiere und der Klebstoffsorte

Die durchgeführten Untersuchungen haben gezeigt, dass das Etikettierergebnis nicht alleine von den verwendeten Etiketten und dem Etikettierklebstoff abhängt, sondern ebenfalls von den spezifischen Rahmenbedingungen des Abfüllbetriebs beeinflusst wird.

Aus dieser Erkenntnis folgt unmittelbar, dass sich das Etikettierergebnis, auch bei Verwendung derselben Etiketten und desselben Etikettierklebstoffs, nicht immer von einem Abfüllbetrieb auf den anderen übertragen lässt. Die beiden Komponenten Etikett und Klebstoff, die im Vergleich zu den Rahmenbedingungen durch einen Austausch relativ einfach zu verändern sind, müssen für ein faltenfreies Etikettierergebnis letztlich auf die gegebenen Rahmenbedingungen des Abfüllbetriebs abgestimmt werden. Dabei sind zudem die herstellungsbedingten Schwankungen der beiden Komponenten sowie die jahreszeitlich wechselnden, klimatischen Bedingungen zu berücksichtigen. Aus den Untersuchungen geht darüber hinaus hervor, dass eine Vorhersage der zu erwartenden Faltenbildung nicht aus den messbaren physikalischen Größen der Etikettenpapiere, der Etikettierklebstoffe und der Rahmenbedingungen abgeleitet werden kann, sofern diese den branchenüblichen Spezifikationen entsprechen.

Die Eignung von Etikettenpapieren und Etikettierklebstoffen, unter den jeweils gegebenen spezifischen Rahmenbedingungen des Abfüllbetriebs, kann somit ausschließlich durch Praxisversuche ermittelt werden.

8.7.2 Voraussetzungen für die faltenfreie Nassetikettierung

Um das Risiko einer Faltenbildung bei der Nassetikettierung zu reduzieren, sind entsprechend der Untersuchungsergebnisse und den Angaben aus der Literatur drei Voraussetzungen zu erfüllen.

- **Abstimmen der Komponenten im Praxisversuch**

Wie im vorangegangenen Abschnitt erläutert wurde, sind die Etiketten und Etikettierklebstoffe durch Praxisversuche auf ihre Eignung zur faltenfreien Nassetikettierung unter den gegebenen Rahmenbedingungen des Abfüllbetriebs zu überprüfen. Aufgrund der gegenseitigen Beeinflussung von Etikettenpapier und Etikettierklebstoff sowie dem ausgeprägten Einfluss der Klebstoffmenge auf das Etikettierergebnis empfiehlt es sich, jede Kombination von Basispapier und Klebstoff jeweils mit mehrfach abgestuften Klebstoffmengen zu etikettieren. Auf diese Weise wird es möglich, die gewählten Kombinationen sowohl nach ihrem Etikettierergebnis als auch nach den entstehenden Kosten durch die Etiketten und dem entsprechenden Mindestklebstoffverbrauch zu beurteilen. Für die Bestimmung der Klebstoffmenge bei den Etikettierversuchen kann die in Abschnitt 4.3.3 auf Seite 58 beschriebene Vorgehensweise angewendet werden.

- **Technische Voraussetzungen**

Zu den technischen Voraussetzungen zählt unter anderem die Einhaltung der von den Abfüllbetrieben festgelegten Spezifikation innerhalb der STLB für Etiketten und Etikettierklebstoffe.

Eine weitere Voraussetzung ist die möglichst geringe mechanische Belastung der Etiketten während des Etikettiervorgangs. Dies kann in der Regel gewährleistet werden, wenn die Etikettiermaschine entsprechend der Herstelleranweisungen gewartet und

justiert wird sowie Verschleißteile, wie zum Beispiel Beleimungspaletten, rechtzeitig ersetzt werden.

Um eine Schädigung der Etikettierklebstoffe zu vermeiden, sind Scherkräfte durch die Etikettiermaschine zu reduzieren. Dies kann durch eine angepasste Pumpfrequenz der pneumatischen Klebstoffpumpe und das Ausschalten der Pumpen bei längeren Stillstandszeiten der Etikettiermaschine erreicht werden. Auf diese Weise und durch Abdecken des Vorratseimers während des Pumpes wird gleichzeitig einem übermäßigen Feuchtigkeitsverlust vorgebeugt.

- **Produktvorschriften beachten**

Die Planlage der Etiketten in der Etikettenzuführung hängt von der Gleichgewichtsfeuchte der Etiketten ab. Bei einer Änderung der Feuchtigkeit in den Etiketten dehnen sich die verschiedenen Schichten der Etiketten unterschiedlich stark aus und das Etikett beginnt sich einzurollen. Um diesen Rolleffekt zu vermeiden, sollten die empfohlenen Lagerbedingungen von 18 °C bis 23 °C bei 60 % bis 70 % relativer Luftfeuchtigkeit [16] eingehalten werden.

Bei der Lagerung der Etikettierklebstoffe darf die Raumtemperatur 10 °C nicht unterschreiten, um einer thermischen Schädigung der Klebstoffkomponenten vorzubeugen.

Die in Tabelle 49 aufgelisteten Einflussfaktoren, die im Rahmen dieser Arbeit nicht untersucht werden konnten, sind nach Ansicht von [9, 17, 54, 55] mitverantwortlich für Faltenbildung bei der Nassetikettierung. Durch Einhalten der oben beschriebenen Voraussetzungen lassen sich die genannten Faktoren jedoch von vorneherein ausschließen.

Tabelle 49: Bekannte Einflussfaktoren auf die Faltenbildung

Einflussfaktor	Quelle
Mangelnde Nassfestigkeit der Etikettenpapiere	[9]
Planlage der Etiketten in der Etikettenzuführung	[54, 55]
Frostschaden des Etikettierklebstoffs bei der Lagerung	[9]
Feuchtigkeitsverluste des Etikettierklebstoffs und Scherkräfte	[54, 55]
Klebstofffreie Fläche ist zu groß	[9]
Zustand der Etikettiermaschine	[9, 54, 55]
Leimwalze	[9, 17]
Schwämme	[17]
Beleimungspalette	[9, 17, 54, 55]
Ungleichmäßiges Leimbild	[9]

8.7.3 Identifikation der Ursachen

Wurden die Etiketten und der Etikettierklebstoff auf die Rahmenbedingungen des Abfüllbetriebes erfolgreich abgestimmt und tritt zu einem späteren Zeitpunkt Faltenbildung im Etikettierergebnis auf, so müssen zur dauerhaften Beseitigung der Faltenbildung die Ursachen für die Veränderung des Etikettierergebnisses identifiziert werden.

Überprüfen der Voraussetzungen für die faltenfreie Nassetikettierung

Hierfür kann zunächst die Einstellung der Klebstoffmenge überprüft werden, die aufgrund ihres ausgeprägten Einflusses auf die Faltenbildung bei einer Reduzierung für das Etikettierergebnis verantwortlich sein kann. Anschließend kann in einem weiteren Schritt eine Kontrolle der technischen Voraussetzungen und der Einhaltung der Produktvorschriften erfolgen.

Änderung der Komponenten

Eine mögliche Ursache für das plötzliche Auftreten von Faltenbildung bei der Nassetikettierung kann der Austausch einer der Komponenten gegen ein anderes Produkt sein, zum Beispiel durch den Wechsel des Etikettendruckers oder Klebstoffherstellers. Dies kann, wie durch den Austausch der Basispapiere und des Klebstoffs in den Versuchen im industriellen Maßstab belegt werden konnte, dazu führen, dass das Zusammenwirken von Etikett und Klebstoff nicht mehr auf die gegebenen Rahmenbedingungen des Abfüllbetriebs abgestimmt ist.

Eine weitere Möglichkeit besteht darin, dass eine der Komponenten vom Hersteller verändert wurde. Zum Beispiel werden die Basispapiere von Zeit zu Zeit modifiziert, was gegebenenfalls eine spätere Modifikation der Klebstoffe nach sich zieht. Diese Änderungen werden in der Regel von den Herstellern kommuniziert, so dass durch Beobachtung der Etikettiererergebnisse im Zuge der Produktumstellung schnell auf eventuell auftretende Probleme mit Faltenbildung reagiert werden kann.

Änderung der Rahmenbedingungen

Wurden keine Änderungen vorgenommen beziehungsweise festgestellt, so besteht die Möglichkeit, dass sich die Rahmenbedingungen im Abfüllbetrieb für das Zusammenspiel von Etiketten und Etikettierklebstoff geändert haben. Wird dadurch einer der Einflussfaktoren auf die Bildung und Rückbildung der Anfangsfalten beeinflusst, kann dies zur Faltenbildung bei der Nassetikettierung führen.

Die Identifikation der Ursache für die Faltenbildung kann sich in diesem Fall schwierig gestalten, da Änderungen im Abfüllbetrieb eventuell nicht unmittelbar mit dem Etikettierergebnis in Verbindung gesetzt werden. So kann zum Beispiel der Einbau automatischer Rolltore im Vollgut-Lager die herrschende Luftströmung und damit die klimatischen Bedingungen bei der Abtrocknung der etikettierten Flaschen verändern und gegebenenfalls die Rückbildung der Anfangsfalte behindern. Ein weiteres Beispiel ist die Erhöhung der Abfülltemperatur, die wiederum zu einer veränderten Schwitzwasserbildung auf den Flaschen führt, wodurch sowohl die Nassdehnung der Etiketten als auch die Verdünnung des Etikettierklebstoffs und damit letztlich das Etikettierergebnis beeinflusst wird.

Wurden Änderungen im Abfüllbetrieb durchgeführt und festgestellt, so gilt es diese auf ihren möglichen Einfluss auf eine der Einflussgrößen aus Abschnitt 8.4 hin zu überprüfen und gegebenenfalls rückgängig zu machen. Gelingt es nicht, die Ursache für eine plötzlich auftretende Faltenbildung bei der Nassetikettierung zu identifizieren, so sind die Etiketten und der Etikettierklebstoff durch Praxisversuche erneut auf die nun veränderten Rahmenbedingungen abzustimmen.

8.7.4 Möglichkeiten zur Reduzierung oder Vermeidung von Faltenbildung

Das Auftreten von Faltenbildung bei der Nassetikettierung kann in gewissen Grenzen durch gezielte Veränderung der in Abschnitt 8.4 ab Seite 160 aufgeführten Einflussfaktoren auf die Bildung und Rückbildung der Anfangsfalten reduziert werden. Die Maßnahmen unterscheiden sich jedoch sowohl in der Dauer bis zur Umsetzung und Wirkungsentfaltung als auch in den Kosten und somit letztlich der Durchführbarkeit.

Kurzfristige Reaktion auf Faltenbildung

Im Falle plötzlich auftretender Faltenbildung bietet sich als schnell umsetzbare Gegenmaßnahme die schrittweise Erhöhung der Klebstoffmenge an. Dadurch wird die Dauer bis zum Aushärten des Etikettierklebstoffs verlängert und die Rückstellkräfte haben mehr Zeit, um die Anfangsfalten auszugleichen.

Die Erhöhung der Klebstoffmenge kann jedoch ausschließlich als vorübergehende Notlösung betrachtet werden und ist kein Ersatz für die Identifikation der tatsächlichen Ursachen der Faltenbildung. Zum Einen erhöhen sich die variablen Kosten durch den Mehrverbrauch an Etikettierklebstoff, zum Anderen führt der Einsatz von zu viel Klebstoff, durch Abschleudern von den Beleimungspaletten, zur Verschmutzung der Etikettiermaschine und ist somit nach oben limitiert. Darüber hinaus wird durch die erhöhte Klebstoffmenge das Verrutschen der Etiketten auf den Flaschen, durch gegenseitigen Kontakt der Flaschen auf den Drängelstrecken oder bei Berührung der Transportbandbegrenzungen, begünstigt [16].

Optimierung der Einflussfaktoren

Bei wiederkehrendem Auftreten von Faltenbildung können Maßnahmen ergriffen werden, die zwar nicht, wie die Erhöhung der Klebstoffmenge, sofort umsetzbar sind, dafür jedoch das Potential zur Faltenbildung nachhaltig reduzieren. So kann gegebenenfalls durch eine Prägung der Etiketten der nächsten Etikettenlieferung eventuell eine Reduzierung der Faltenbildung erreicht werden.

Die Möglichkeiten zur Optimierung sind zahlreich. Deren Umsetzung dauert jedoch oft nicht nur sehr lange, sondern ist teilweise mit erheblichen Kosten verbunden. Eine Klimatisierung des Vollgut-Lagers zur Reduzierung der Lufttemperatur, bei gleichzeitiger Erhöhung der relativen Luftfeuchtigkeit würde zum Beispiel das Potential zur Faltenbildung reduzieren. Dem möglichen Nutzen sind jedoch stets die Investitions- und Betriebskosten gegenüberzustellen.

9 Zusammenfassung

Das Ziel dieser Arbeit bestand darin, die Vorgänge bei der Faltenbildung und deren Einflussgrößen zu bestimmen, um daraus Empfehlungen für die Praxis zur Vermeidung respektive Beseitigung von Faltenbildung bei der Nassetikettierung abzuleiten.

Als Basis für die vorgesehenen Untersuchungen wurde im Kapitel Grundlagen der Nassetikettierung mit Papieretiketten unter anderem der direkte Zusammenhang zwischen einer faltenfreien Etikettierung und dem Verkaufserfolg am POS beschrieben sowie die möglichen Fehler im Etikettierergebnis aufgezählt, die den Verkaufserfolg beeinträchtigen können. Im Weiteren wurden die Eigenschaften der an der Nassetikettierung beteiligten Komponenten beleuchtet und die einzelnen Arbeitsschritte einer Etikettiermaschine erläutert.

Im Kapitel Stand des Wissens zur Faltenbildung bei Papieretiketten wurden die verfügbaren Quellen [9, 13, 17, 54, 55], die sich mit der Thematik Faltenbildung befassen, vorgestellt. Die veröffentlichten Erkenntnisse basieren ausschließlich auf praktischen Erfahrungsberichten, die nicht durch wissenschaftliche Untersuchungen verifiziert wurden. In welcher Form und Ausprägung die von den Autoren genannten Einflussgrößen auf die Faltenbildung einwirken und wie diese miteinander in Wechselwirkung stehen, wird in den Quellen nicht ausgeführt oder nur vage beschrieben. Das von [17] beschriebene Modell zur Faltenbildung hängt im Wesentlichen von zwei Faktoren ab, was unter Berücksichtigung der zahlreichen Einflussgrößen nur eine sehr eingeschränkte Sicht auf die Vorgänge bei der Faltenbildung darstellen kann. Ein ausführlicher Mechanismus, wie die Faltenbildung bei der Nassetikettierung mit Getränkeflaschenetiketten aus Papier entsteht und welche Einflussgrößen dabei wirken, ist nicht veröffentlicht.

Die im Rahmen dieser Arbeit durchgeführten Versuche zur Entschlüsselung der Vorgänge und Einflüsse bei der Faltenbildung wurden in drei von einander unabhängige Teilbereiche untergliedert. Der erste Bereich umfasst die passive Untersuchung des Etikettiervorgangs in Brauereien. Dabei wurden die in den Brauereien herrschenden Rahmenbedingungen, wie zum Beispiel die klimatischen Verhältnisse im Etikettenlager, dokumentiert und die verwendeten Etiketten, Etikettierklebstoffe und Flaschen der Brauereien untersucht. Der Etikettiervorgang wurde bei voller Ausbringung mit Hilfe einer Hochgeschwindigkeitskamera festgehalten, so dass jeder einzelne Arbeitsschritt in Bezug auf seinen Einfluss auf die Faltenbildung bewertet werden konnte.

Im zweiten Teilbereich wurden Versuche im industriellen Maßstab durchgeführt. Für diese Versuche stand ein Etikettiertechnikum mit einer Modul-Etikettiermaschine zur Verfügung, mit der die gezielte Variation einzelner Einflussgrößen unter reproduzierbaren Rahmenbedingungen möglich war.

Der letzte Teilbereich umfasste Versuche im Labormaßstab. In diesem Maßstab konnten die Rahmenbedingungen bei der Nassetikettierung, beispielsweise die klimatischen Abtrocknungsbedingungen, gezielt verändert werden. Dabei war von Vorteil, dass der mechanische Einfluss einer Etikettiermaschine auf das Etikettierergebnis durch die von Hand durchgeführte Etikettierung ausgeschlossen werden konnte.

Die Ergebnisse der bis dahin getrennt betrachteten Teilbereiche wurden im Kapitel Diskussion bewertet und in einer Übersicht der Einflussgrößen auf die Faltenbildung zusammengeführt. Als einer der bedeutendsten Einflussfaktoren auf die Bildung und Ausprägung der Anfangsfalten wurde die Feuchtigkeit auf der Flaschenoberfläche in Verbindung mit der Klebstoffmenge identifiziert. Für die Rückbildung der Anfangsfalten ist vor allem die Klebstoffmenge von zentraler Bedeutung.

Anhand der Erkenntnisse aus den drei Teilbereichen und der identifizierten Einflussfaktoren wurde ein Modell zur Bildung und Rückbildung der Anfangsfalten entwickelt. In diesem Modell wird zunächst die Bildung der Anfangsfalten dargestellt, die durch die Feuchtigkeitsaufnahme in das Papier und der damit verbundenen Nassdehnung der Etiketten hervorgerufen wird. Anschließend wird die Rückbildung der Anfangsfalten beschrieben, die durch die Abgabe der Feuchtigkeit aus den Etiketten an die Umgebung und der damit einhergehenden Trockenschrumpfung eingeleitet wird. Gleichzeitig wird veranschaulicht, wie einzelne Faktoren auf diese beiden Vorgänge einwirken.

Auf Grundlage des Modells wurde die Hypothese zur Entstehung der Faltenbildung bei der Nassetikettierung abgeleitet. Nach dieser Hypothese bleibt eine dauerhafte Faltenbildung an den Etiketten erhalten, wenn zum Einen durch einen einzelnen oder mehrere, sich ergänzende Einflussfaktoren eine Erhöhung der Anfangsfalten hervorgerufen wird, und diese unter den gegebenen Rahmenbedingungen des Abfüllbetriebes nicht mehr vollständig zurückgebildet werden können, bevor der Etikettierklebstoff aushärtet. Zum Anderen führen ein einzelner oder mehrere Faktoren zu bleibender Faltenbildung, wenn dadurch die Rückbildung der Anfangsfalten verzögert wird und wiederum der Etikettierklebstoff aushärtet, bevor die Anfangsfalten vollständig zurückgebildet werden konnten.

Basierend auf dem im Modell beschriebenen Mechanismus und der Hypothese konnten Empfehlungen für die Praxis erarbeitet werden. In diesen wird den Anwendern für die Auswahl der Basispapiere der Etiketten und der Klebstoffsorte die Durchführung von Praxisversuchen nahe gelegt, da die eingesetzten Komponenten stets mit den herrschenden Rahmenbedingungen im Abfüllbetrieb in Wechselwirkung stehen. Ergänzend wird aufgeführt, wie die Komponenten bei der Nassetikettierung aufeinander abgestimmt werden sollten und welche technischen Voraussetzungen als Grundlage für ein faltenfreies Etikettierergebnis erfüllt werden müssen. Im Falle plötzlich auftretender Faltenbildung wird als schnell umsetzbare Gegenmaßnahme die schrittweise Erhöhung der Klebstoffmenge vorgeschlagen, wodurch die Dauer bis zur Aushärtung des Etikettierklebstoffs verlängert wird und vorhandene Rückstellkräfte im Etikett mehr Zeit haben, um die Anfangsfalten zurückzubilden. Diese Maßnahme wird jedoch aufgrund verschiedener negativer Auswirkungen, wie zum Beispiel Mehrkosten durch erhöhten Klebstoffverbrauch, ausschließlich als Zwischenlösung betrachtet und stellt keinen Ersatz für die ebenfalls in diesem Kapitel beschriebene Identifikation der Ursachen der Faltenbildung dar.

10 Quellennachweise

10.1 Literatur

- 1 3C-TECHNOLOGIES: Die Brücke von der Kundeninformation zur Kaufentscheidung. URL.: <http://www.3c-technologies.com/clickscreen-temp/analyse3.html>, 2005-10-07. – Firmenschrift
- 2 AGENTUR BRENNECKE: Papier-Glossar. URL.: <http://www.agentur-brennecke.de/papier-glossar/>, 2007-12-16. – Firmenschrift
- 3 AGR EUROPE GMBH: Hot End Coating Meter – Betriebsanleitung. München, 1988. – Firmenschrift
- 4 ARBEITSGEMEINSCHAFT INDUSTRIELLER FORSCHUNGSVEREINIGUNGEN „OTTO VON GUERICKE“ E.V. (AiF) (Hrsg.): Leitfaden für die Beantragung und Verwendung von Zuwendungen des BMWA im Rahmen der industriellen Gemeinschaftsforschung. Köln, Juni 2005. – 4.3.6 Regeln zur Sicherung guter wissenschaftlicher Praxis in der industriellen Gemeinschaftsforschung, Stand 30. Juni 2002
- 5 ARCOTEST GMBH: Testtinten zur Prüfung der Oberflächenenergie. Mönshheim. – Firmenschrift
- 6 ARNDT, Günter: Gut gerüstet in das WM-Jahr 2006 : 8. Fresenius Getränkekongress steckt neue Ziele ab. In: GTM (2006), Nr. 1, S. 20
- 7 BBDO CONSULTING, DER UNTERNEHMENSBERATUNG DER DEUTSCHEN BBDO-GRUPPE: Zwei Drittel aller Deutschen nehmen Marken als völlig austauschbar wahr. URL.: http://www.bbdo.de/de/home/presse/aktuell/20050/03_02_2005_-_zwei.html, 2007-11-25. – Firmenschrift
- 8 BELTZ, R.: Charakterisierung des dynamischen Verhaltens von Papier : emcoDPM Methode. In: Tagungsschrift zum 4. Internationalen emcoSeminar. Leipzig : emco Elektronische Meß- und Steuerungstechnik GmbH, 2003-10-29.
- 9 BIEBELRIEDER KREIS (Hrsg.): Praktiker Handbuch für die Etikettierung und Ausstattung von Gebinden für Getränke. Düsseldorf : Biebelrieder Kreis, 1998
- 10 BIEBELRIEDER KREIS (Hrsg.): Qualitätssichernde Maßnahmen : Qualitätssichernde Maßnahmen für die Getränkeverpackung, Etikettierung und Flaschenausstattung. Düsseldorf : Biebelrieder Kreis, 2004
- 11 BIRNBAUM, Günter: Ausreichend Potential für höherpreisige Biere!. In: Brauindustrie (2006), Nr. 3, S. 8
- 12 BLEISCH, Günter ; GOLDHAHN, Horst ; SCHRICKER, Gerhard: Lexikon Verpackungstechnik. 1. Aufl. Hamburg : Behrs, 2003

- 13 BOLTE, Andreas: Klebstoffe für die Flaschenetikettierung : Wichtige Zusammenhänge aus anwendungstechnischer Sicht. In: Brauindustrie (2007), Nr. 7, S. 13–17
- 14 BRECHT, W. ; HILDEBRAND, W.: Über die Flächenbeständigkeit der Papiere. In: Das Papier 14 (1960), Nr. 10A, S. 610–624
- 15 BRECHT, W.: Über das Dimensionsverhalten von Papier. In: Cellulose, Chemie und Technologie (1969), Nr. 3, S. 657–674
- 16 BÜCKLE, Jörg ; LEYKAMM, Dieter: Handbuch der Etikettiertechnik : Grundlagen und Praxis erfolgreicher Produktausstattung. 6. Aufl. Neutraubling : V. Kronseder, 2001
- 17 DAUB, Egon ; KÜHNE, L.: Was Etikettenpapiere leisten müssen : Stora Enso Uetersen. In: Tagungsschrift 12. Internationales Münchner Papier Symposium. München : IMPS Management Ltd&Co.KG, 2002
- 18 DE PUISEAU, M. ; SCHEMPP, W.: Der Einfluss von Faserstoff und Hilfsmitteln auf die Blattbildung. In: Wochenblatt für Papierfabrikation 122 (1994), Nr. 3, S. 78–82
- 19 DEGENKOLB, Daniela: Klebstoffe. URL.:<http://www.old.uni-bayreuth.de/departments/didaktikchemie/umat/klebstoffe/klebstoffe.htm>, 2007-12-26. – WS 2000/2001
- 20 DEISTER, Heinz-Peter: Ablösen von Etikettenpapieren in der Lauge. In: Tagungsschrift 12. Flaschenkellerseminar. Freising : Technische Universität München, Lehrstuhl für Lebensmittel und Verpackungstechnik, 2005
- 21 DEUTSCHER BRAUER-BUND E.V. (Hrsg.) ; INDUSTRIEVERBAND KLEBSTOFFE E.V. (Hrsg.) ; VERSUCHS- UND LEHRANSTALT FÜR BRAUEREI IN BERLIN E.V. (Hrsg.): Spezielle Technische Liefer- und Bezugsbedingungen (STLB) für Etikettierklebstoffe. Bonn, 2000
- 22 DEUTSCHER BRAUER-BUND E.V. (Hrsg.) ; VERSUCHS- UND LEHRANSTALT FÜR BRAUEREI IN BERLIN E.V. (Hrsg.) ; BUNDESVERBAND DRUCK E.V. (Hrsg.): Spezielle Technische Liefer- und Bezugsbedingungen (STLB) für Getränkeflaschen-Etiketten aus Papier. Bonn 1998
- 23 DRAWERT, F. (Hrsg): Brautechnische Analysenmethoden Band 3 : Methodensammlung der Mitteleuropäischen Brautechnischen Analysenkommission (MEBAK). Freising-Neustift : MEBAK, 1982
- 24 EMCO ELEKTRONISCHE MEß- UND STEUERUNGSTECHNIK GMBH: EmcoDPM Ultraschall – Transmissionsmessung. (2007). URL.: http://www.emco-leipzig.com/deutsch/DPM/PDF/emco_dpm_deu.pdf, 2007-12-17. – Firmenschrift
- 25 EMCO ELEKTRONISCHE MEß- UND STEUERUNGSTECHNIK GMBH: Betriebsanleitung : Dynamisches Penetrationsmessgerät DPM 30. Leipzig, 1999. – Firmenschrift
- 26 ERHARD, Klaus ; FIEDLER, Manuela ; KRETZSCHMAR, Jens: Verbesserung der Dimensionsstabilität von Papier durch gezielte Auswahl und Aufbereitung der Faserstoffe. URL.: http://www.ptspaper.de/live/dokukategorien/dokumanagement/psfi-le/file/85/AiF_1391644716286708af.pdf, 2007-12-17. – Forschungsbericht. PTS. 2006

-
- 27 HIRTH, Andreas ; WÖHRLE, Dieter: Klebstoffe : Schülerlabor Chemie. Nr. 7. Bremen : Universität Bremen, Institut für Organische und Makromolekulare Chemie. URL.: <http://www.chemie.uni-bremen.de/woehrle/Schuelerlabor-Klebstoffe.pdf>, 2007-12-26
 - 28 KALLIES, Eckhard: Nassfest und geprägt. In: Brauindustrie (2005), Nr. 9, S. 92–94
 - 29 KEMENATER, Christoph ; BADE, Gerhard: Ein neues Gerät zur Messung der Anzugsgeschwindigkeit von Klebstoffen. In: Adhäsion (1968), Nr. 11, S. 487
 - 30 KOMPETENZFORUM GETRÄNKEBEHÄLTER: Entwicklung und Aufgabenstellung. URL.: <http://www.bevcomp.org/>, 2008-01-02
 - 31 KOWALIK, Markus: Industriekompass Rheinland-Pfalz 2004. Mainz : Ministerium für Wirtschaft, Verkehr, Landwirtschaft und Weinbau Rheinland-Pfalz, 2004
 - 32 KOWOL, Stefanie: Klebstoffe : Protokoll zum Experimentalvortrag. URL: http://www.chids.de/dachs/expvotr/698Klebstoffe_Kowol.doc, 2007-12-30
 - 33 KUNZE, Wolfgang: Technologie Brauer und Mälzer. 9. Aufl. Berlin : Versuchs- und Lehranstalt für Brauerei in Berlin (VLB) e.V., 2007
 - 34 LANGNER, S.: „Top of your Mind“ – Entscheidungspsychologie im Internet Marketing. In: Marke-X Internet Marketing Magazin (2005), URL.: <http://www.marke-x.de/deutsch/webmarketing/archiv/evoked-sets.htm>, 2005-11-18
 - 35 LEYKAMM, Dieter: Maschinenteknik : Applikation von Papieretiketten. In: Tagungsschrift Fachtagung ETIKETTIERUNG in der Getränkeindustrie. Berlin : Versuchs- und Lehranstalt für Brauerei in Berlin (VLB) e.V., Forschungsinstitut für Maschinen und Verpackungstechnik, 2006
 - 36 MANGOLDT, Christine: Auf den Leib geschnitten : Etikettenpapiere müssen den unterschiedlichsten Anforderungen genüge leisten. In: Getränkeindustrie (1999), Nr. 7, S. 399–400
 - 37 NACHTSHEIM, Franz: Qualität ganz oben : Verschlussinspektion für Flaschen sichert die Produktqualität. In: Brauindustrie (2001), Nr. 7, S. 26–29
 - 38 Norm DIN 53019-1 1980. Viskosimetrie – Messung von Viskositäten und Fließkurven mit Rotationsviskosimetern mit Standardgeometrie – Normalausführung
 - 39 Norm DIN 53107 2003. Prüfung von Papier und Pappe – Bestimmung der Glätte nach Bekk
 - 40 Norm DIN 55405-4 1988. Begriffe für das Verpackungswesen
 - 41 Norm DIN 8539-8 2003. Fertigungsverfahren Fügen
 - 42 Norm DIN EN 20187 1993. Normalklima für die Vorbehandlung und Prüfung und Verfahren zur Überwachung des Klimas und der Probenvorbehandlung
 - 43 Norm DIN EN 20534 1993. Bestimmung der mittleren Dicke von Papier und Pappe durch mechanische Abtastung

- 44 Norm DIN EN 20535 1994. Papier und Pappe – Bestimmung des Wasserabsorptionsvermögens – Cobb-Verfahren
- 45 Norm DIN EN 827 1995. Bestimmung des Feststoffgehaltes nach Vereinbarung bis zur Massenkonstanz
- 46 Norm DIN EN ISO 1924-2 1995. Papier und Pappe – Bestimmung von Eigenschaften bei zugförmiger Belastung – Teil 2: Verfahren mit konstanter Dehngeschwindigkeit
- 47 Norm DIN EN ISO 536 1996. Papier und Pappe – Bestimmung der flächenbezogenen Masse
- 48 Norm DIN ISO 3781 1994. Papier und Pappe – Zugversuch – Bestimmung der breitenbezogenen Bruchkraft nach dem Eintauchen in Wasser
- 49 Norm DIN ISO 976 1998. Kautschuk und Kunststoffe – Polymer-Dispersionen und Kautschuk-Latices – Bestimmung des pH-Wertes
- 50 OESTREICHER, Thomas: Welche Markttrends beeinflussen die Innovationen in der Abfüll- und Verpackungstechnik. In: Tagungsschrift 94. Internationale Brau- und Maschinentechnische Arbeitstagung in Bad Kreuznach. Berlin : Versuchs- und Lehranstalt für Brauerei in Berlin (VLB) e.V., Forschungsinstitut für Maschinen und Verpackungstechnik, 2007
- 51 OKSANEN, T. ; BUCHERT, J. ; VIKARI, L.: The role of hemicelluloses in the hornification of bleached kraft pulps. In: *Holzforschung* 51 (1997), Nr. 4, S. 355–360
- 52 SANDT, Erwin: Nachträgliche Überschwelligung etikettierter Flaschen : Diskussion, 1. Treffen des Projektbegleitenden Ausschusses zum AiF Forschungsvorhaben 14207 N. Berlin, 2006-05-17
- 53 SANDT, Erwin ; KARL, Josef: Wässrige Etikettierklebstoffe : Grundlagen und aktuelle Entwicklungen. In: Tagungsschrift. Überlingen : Kompetenzforum Getränkebehälter, 2007
- 54 SCHILDMANN, Egon: Funktionale Zusammenhänge : Wirkungszusammenhänge bei der Etikettierung mit Etiketten aus Papier. In: *Getränkeindustrie* (2002), Nr. 6, S. 30–33
- 55 SCHILDMANN, Egon: Wirkungszusammenhänge bei der Etikettierung mit Etiketten aus Papier. In: *Der Mineralbrunnen* (2002), Nr. 7, S. 258–263
- 56 SCHIMLECK, L. R. ; WRIGHT, P. J. ; MICHELL, A. J. ; WALLIS, A. F. A.: Near-infrared spectra and chemical composition of *E. globulus* and *E. nitens* plantation woods. In: *Appita Journal* 50 (1997), Nr. 1, S. 40–46
- 57 SCHOELLER & HOESCH GMBH & CO. KG: Metallisierte Produkte : Glanzleistung für einen brillanten Auftritt. URL.: http://gr4410.x.modix.de/go.to/modix/now/de_metallized_produc.html, 2007-12-16. – Firmenschrift
- 58 SCHUHMACHER, Alex: Die vier Säulen der Stanzbarkeit. In: Tagungsschrift Fachtagung Etikettierung in der Getränkeindustrie. Berlin : Versuchs- und Lehranstalt für Brauerei in Berlin (VLB) e.V., Forschungsinstitut für Maschinen und Verpackungstechnik, 2006

- 59 SEIDEL, Bernd: Das Phänomen der selbsterregten Schwingungen in der Technik. 1. Aufl. Hamburg : Kovač, 1996
- 60 STÖRK, Andreas ; SEIDEL, Bernd ; BÄRWALG, Günter : Kratzer, Blasen oder Bruch : Hinweise zur Produktsicherheit bei Flaschen aus Glas. In: Getränkeindustrie (1998), Nr. 4, S. 259–263
- 61 TÖPFER KULMBACH GMBH: Produkte : MIC. URL.: <http://www.toepfer.de/mic.htm>, 2008-01-19. – Firmenschrift
- 62 TREIBER, KARL: Glas und PET : Verpackungsmaterialien im Vergleich. In: Der Doemensianer (2001), Nr. 4, S. 22–26
- 63 VORWERK, Bernd ; Ratemann, Martin ; Hausfeld, Reiner (Hrsg.): Natur bewusst. 9/10 NRW. Verlag : Westermann Schulbuchverlag, 2002
- 64 WENK, Georg ; WEBER, Ingrid ; ORZINSKI, Martin: Ablöseverhalten von Getränkeflaschen-Etiketten aus Papier von Glas-Mehrwegflaschen. In: Brauwelt (2006), Nr. 31-32, S. 922–925
- 65 WILKE-WEICHBRODT, Annette: Etikett muss sein : Die heutige Etikettenvielfalt umfasst Wash-offs, Sleeves oder No-Label-Look. In: Getränkeindustrie (2005), Nr. 7, S. 78–80
- 66 WIRTSCHAFTSUNIVERSITÄT WIEN, ABTEILUNG WERBEWIRTSCHAFT UND MARKTFORSCHUNG (Hrsg.): Die letzten Sekunden: Kaufentscheidung am POS. URL.: <http://www.werbelehrgang.at/forschun/schwerpu/sp/28.html>, 2005-10-07
- 67 ZWILLING, MICHAEL: Neue Möglichkeiten in der Etikettiertechnik. In: Tagungsschrift 12. Flaschenkellerseminar. Freising : Technische Universität München, Lehrstuhl für Lebensmittel und Verpackungstechnik, 2005
- 68 o.V.: „Schön-Trinken“ einmal anders: Zipfer mit neuem Kisten-Design. In: derStandard.at (2005), URL.: <http://www.derStandard.at>, 2005-11-14
- 69 o.V.: Adhäsion. URL.: <http://de.wikipedia.org/wiki/Adhäsion>, 2008-01-02
- 70 o.V.: Klebstoffe. URL.: <http://www.burg100.de/archiv/ProWoWa/KursCD/Inhalt/Klebstoffe1.html#Kraefte>, 2007-12-30
- 71 o.V.: Kohäsion (Chemie). URL.: [http://de.wikipedia.org/wiki/Kohäsion_\(Chemie\)](http://de.wikipedia.org/wiki/Kohäsion_(Chemie)), 2008-01-02
- 72 o.V.: Mit Sicherheit mehr auffallen. In: Verpackungs-Rundschau (2006), Nr. 9, S.138–140
- 73 o.V.: o.T.. URL: http://berichte.basf.de/de/?id=2hX-PAd_tbc2Ka, 2007-06-18
- 74 o.V.: Wertschöpfungsorientierte Partnerschaft. In: Getränkefachgrosshandel (2007), Nr. 1, S. 46–49

10.2 Diplom-, Master- und Bachelorarbeiten

AVERBECK, Matthias: Einfluss der Etikettenqualität auf die Faltenbildung bei der Nassetikettierung im Mehrwegbereich. Berlin, Technische Fachhochschule Berlin, Fachbereich V, Diplomarbeit, 2006

GALEWSKI, Monika: Einfluss der Beleimungspaletten einer Etikettiermaschine und der Klebstoffs auf die Faltenbildung bei der Nassetikettierung von Getränkeflaschen. Berlin, Technische Fachhochschule Berlin, Fachbereich V, Masterarbeit, 2006

HERZOG, Ulrike: Entwicklung einer Methode zur Nachstellung der Nassetikettierung. Berlin, Technische Fachhochschule Berlin, Fachbereich V, Bachelorarbeit, 2007

MENDRYSCHA, Claudia: Untersuchung zum Einfluss des Nassdehnungsverhaltens von Etikettenpapieren auf die Faltenbildung. Berlin, Technische Fachhochschule Berlin, Fachbereich V, Diplomarbeit, 2007

PRIELIPP, Claudia: Untersuchung ausgewählter Einflüsse von Packhilfsmittelcharakteristika auf die Faltenbildung bei der Nassetikettierung. Berlin, Technische Fachhochschule Berlin, Fachbereich V, Diplomarbeit, 2007

10.3 Eigene Publikationen

Teile dieser Arbeit wurden in folgenden Publikationen veröffentlicht (nach Datum):

WENK, Georg: AiF – Forschungsprojekt : Vermeidung von Faltenbildung bei der Nassetikettierung im Mehr- und Einwegbereich von Getränkeflaschen. In: Tagungsschrift 12. Flaschenkellerseminar. Freising : Technische Universität München, Lehrstuhl für Lebensmittel und Verpackungstechnik, 2005

WENK, Georg ; WEBER, Ingrid ; ORZINSKI, Martin: High-Speed Kamera kontrolliert Etikettiermaschinen. In: Brauerei Forum (2006), Nr. 10, S. 11–12

WENK, Georg: AiF Forschungsprojekt : Faltenbildung bei der Nassetikettierung. In: Tagungsschrift 45. Fachlehrgang Verband Deutscher Mineralbrunnen e. V.. Bonn : Verband Deutscher Mineralbrunnen e. V., 2006-12-11

WENK, Georg: AiF Forschungsprojekt : Faltenbildung bei der Nassetikettierung. In: Tagungsschrift Fachtagung Etikettierung in der Getränkeindustrie. Berlin : Versuchs- und Lehranstalt für Brauerei in Berlin (VLB) e.V., Forschungsinstitut für Maschinen und Verpackungstechnik, 2006-12-13

WENK, Georg: Neue Aspekte in der Etikettiertechnik. In: Tagungsschrift 94. Brau- und Maschinentechnische Arbeitstagung der VLB. Berlin : Versuchs- und Lehranstalt für Brauerei in Berlin (VLB) e.V., 2007-03-13

WENK, Georg: AiF Forschungsprojekt : Faltenbildung bei der Nassetikettierung. In: Tagungsschrift Kompetenzforum Getränkebehälter. Mannheim : Kompetenzforum Getränkebehälter, 2007-05-03

WENK, Georg ; WEBER, Ingrid ; ORZINSKI, Martin: New Aspects in Labelling Technology. In: Tagungsschrift 31. EBC Kongress in Venedig. Brüssel : European Brewery Convention (Veranst.), 2007-05-06

WENK, Georg: Papieretiketten in der technischen Anwendung. In: Tagungsschrift VLB Fachtagung Getränkeverpackung. Berlin : Versuchs- und Lehranstalt für Brauerei in Berlin (VLB) e.V., Forschungsinstitut für Maschinen und Verpackungstechnik, 2008-01-30

WENK, Georg ; FORSCHUNGSINSTITUT FÜR MASCHINEN UND VERPACKUNGSTECHNIK: Vermeidung von Faltenbildung bei der Nassetikettierung im Mehr- und Einwegbereich von Getränkeflaschen : Schlussbericht. Berlin : Versuchs- und Lehranstalt für Brauerei in Berlin (VLB) e.V., (2007). – Forschungsbericht 14207 N. Industrielle Gemeinschaftsforschung (IGF). Arbeitsgemeinschaft industrieller Forschungsvereinigungen "Otto von Guericke" e.V. (AiF). Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie (BMWi). URL.: https://www.vlb-berlin.org/cms/upload/pdf/publikationen/VLB-FMV-Schlussbericht-AiF14207N-Faltenbildung_bei_Flaschenetiketten.pdf, 2008-03-24.

WENK, Georg ; PAHL, Roland ; WEBER, Ingrid : Make-up für die Flasche : Faltenbildung bei der Nassetikettierung. In: Brauindustrie (2008), Nr. 5, S. 18–21

WENK, Georg ; PAHL, Roland ; WEBER, Ingrid : Make-up für die Flasche : Faltenbildung bei der Nassetikettierung. In: Getränkeindustrie (2008), Nr. 7, S. 16–18

WENK, Georg: Faltenbildung bei Etiketten. In: Tagungsschrift 15. Flaschenkellerseminar. Freising : Technische Universität München, Lehrstuhl für Lebensmittel und Verpackungstechnik, 2008-12-09

11 Anhang

11.1 Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Faltenbildung an Papieretiketten.....	9
Abbildung 2: Etikettentypen für NRW-Flaschen (links) und Ale-Flaschen (rechts).....	10
Abbildung 3: Aufbau von metallisierten Etikettenpapieren.....	11
Abbildung 4: Lichtmikroskopische Aufnahme des Querschnitts eines Etikettenpapiers	11
Abbildung 5: Faserlauf von Papieretiketten.....	13
Abbildung 6: Nassdehnung und Trockenschrumpfung zweier unterschiedlicher Etiketten	14
Abbildung 7: Ultraschall-Transmissionskurve zweier Etiketten	14
Abbildung 8: Hysterese von Papier.....	15
Abbildung 9: Verfahrensschema Tiefdruck	16
Abbildung 10: Verfahrensschema Offsetdruck.....	16
Abbildung 11: Stanzeisen für das Gegendruckstanzen	17
Abbildung 12: Viskosität und Wasserbeständigkeit verschiedener Klebstofftypen	18
Abbildung 13: Adhäsions- und Kohäsionskräfte bei der Verklebung	19
Abbildung 14: Temperaturabhängigkeit des Klebstoffverbrauchs	21
Abbildung 15: Klebstoffverbrauch in Abhängigkeit vom Rakelspalt.....	22
Abbildung 16: Rundläufer-Etikettiermaschine mit feststehendem Etikettenbehälter.....	25
Abbildung 17: Abrollen der Beleimungspaletten.....	25
Abbildung 18: Entnahme eines Etiketts aus dem Etikettenbehälter	26
Abbildung 19: Beleimungspalette mit Steifenbeleimung	27
Abbildung 20: Übergabe des Etiketts an den Greiferzylinder	27
Abbildung 21: Oszillierendes Gleichlauf- und rotierendes Gegenlaufsystem.....	28
Abbildung 22: Aufsetzen der Etiketten auf die Flaschen.....	29
Abbildung 23: Kreuzschlitten des Etikettiermoduls	29
Abbildung 24: Anbürststation der Etikettiermaschine	30
Abbildung 25: Innermaschinelles Verarbeitungsverfahren.....	30
Abbildung 26: Vergleich der Etikettiertechniken (weltweit).....	32
Abbildung 27: Faltenbildung durch Staunässe unter der Etikettenoberfläche	35
Abbildung 28: Mechanismus der Faltenbildung aus Sicht der Papierhersteller	38
Abbildung 29: Konzeption dieser Arbeit	43
Abbildung 30: Große Falte.....	47
Abbildung 31: Mittlere Falte.....	47
Abbildung 32: Penetrationsmessgerät DPM 33 mit Dehnungsmodul	49
Abbildung 33: Messaufbau zur Bestimmung der Anfangshaftkraft	51
Abbildung 34: Zuordnung der Probenflasche zur Beleimungspalette	54
Abbildung 35: Temperatur und relative Luftfeuchtigkeit im Etikettiertechnikum	55
Abbildung 36: Skizze der Modul-Etikettiermaschine.....	56
Abbildung 37: T und rF im Labor des Etikettiertechnikums	56
Abbildung 38: Dekorvarianten der Versuchsetiketten	57
Abbildung 39: Sleeven der Flaschen zur Bestimmung der Klebstoffmenge	59
Abbildung 40: Berechnungsbeispiel für die Kennzahl	60
Abbildung 41: Berechnungsbeispiel für die Kennzahlen der Versuchsläufe M1 bis M12.....	61
Abbildung 42: Skizze der Etikettiermaschine mit möglicher Flaschenanordnung.....	63
Abbildung 43: Reversible Beschädigung der Schwämme mittels Klebeband.....	67
Abbildung 44: Schrägstellung der Greiferfinger bei Greiferstation 1.....	68
Abbildung 45: Abdruck der Beleimungspaletten nach Beschädigung.....	69
Abbildung 46: Versuchsanordnung zur Simulation der Faltenbildung und Rückbildung.....	72
Abbildung 47: Vorrichtung zum Beleimen der Beleimungspalette	73

Abbildung 48: Vorrichtung zum Beleimen der Etiketten	74
Abbildung 49: Beleimungspalette vor dem Übertragen des Etikettierklebstoffs.....	74
Abbildung 50: Aufsetzen der Etiketten auf die Flaschen.....	75
Abbildung 51: Anbürststation	75
Abbildung 52: T und rF im Etiketten-Lager der Brauerei 1	80
Abbildung 53: T und rF im Etiketten-Lager der Brauerei 2	81
Abbildung 54: T und rF an der Etikettiermaschine – B1M1.....	82
Abbildung 55: T und rF an der Etikettiermaschine – B1M3.....	82
Abbildung 56: T und rF an der Etikettiermaschine – B2M2.....	82
Abbildung 57: T und rF an der Etikettiermaschine über eine Woche – B2M2	83
Abbildung 58: T und rF im Vollgut-Lager der Brauerei 1 im September	85
Abbildung 59: T und rF im Vollgut-Lager der Brauerei 1 im Oktober	85
Abbildung 60: T und rF im Vollgut-Lager der Brauerei 2 – Halle 1	86
Abbildung 61: T und rF im Vollgut-Lager der Brauerei 2 – Halle 2	87
Abbildung 62: Faltenbildung bei unterschiedlichen Abtrocknungsbedingungen	88
Abbildung 63: T und rF während der Abtrocknung – Bedingung D	88
Abbildung 64: Dynamisches Penetrationsverhalten der Brauereietiketten.....	90
Abbildung 65: Dynamische Nassdehnung der Brauereietiketten	91
Abbildung 66: Hysterese der Nassdehnung bei den Brauereietiketten	91
Abbildung 67: Vergleich des vollständigen Abdrucks	96
Abbildung 68: Folgen der unvollständigen Beleimung durch Palette 3	97
Abbildung 69: Entnahme eines Etiketts bei B1M1	98
Abbildung 70: Entnahme eines Etiketts bei B1M3.....	98
Abbildung 71: Auffällige Planlage des Etiketts B3M1 auf der Ambossleiste.....	100
Abbildung 72: Auffällige Planlage des Etiketts B3M1 auf der Ambossleiste.....	100
Abbildung 73: Keine Planlage des Etiketts B2M1 auf der Ambossleiste.....	101
Abbildung 74: Keine Planlage des Etiketts B2M2 auf der Ambossleiste.....	101
Abbildung 75: Verstopfte Druckluftdüsen im Düsenkamm	101
Abbildung 76: Klebstofffreie Flächen um die Greiferfinger	102
Abbildung 77: Faltenbildung nach der Anbürststation bei B1M1	103
Abbildung 78: Vergleich der Beleimungspaletten von B1M1	104
Abbildung 79: Vergleich der Beleimungspaletten von B1M3.....	105
Abbildung 80: Vergleich der Beleimungspaletten von B2M1.....	106
Abbildung 81: Vergleich der Beleimungspaletten von B2M2.....	107
Abbildung 82: Vergleich der Beleimungspaletten von B3M1	108
Abbildung 83: Konstanz der Klebstoffmenge bei der Modul-Etikettiermaschine.....	110
Abbildung 84: Dynamisches Penetrationsverhalten der metallisierten Versuchsetiketten....	112
Abbildung 85: Dynamisches Penetrationsverhalten der nicht metallisierten Etiketten	112
Abbildung 86: Nassdehnung und Hysterese der Versuchsetiketten.....	113
Abbildung 87: Abbindeigenschaften der Etikettierklebstoffe.....	117
Abbildung 88: Nassdehnung und Hysterese der Etiketten der Laborversuche.....	128
Abbildung 89: Vergrößerte klebstofffreie Flächen bei B1M1	132
Abbildung 90: Fehlstellung der Haltenasen bei B1M1	132
Abbildung 91: Beleimungspalette der Etikettiermaschine der Marke B1M3	133
Abbildung 92: Vergrößerte klebstofffreie Flächen um die Greiferfinger	134
Abbildung 93: Beleimungspalette 4 (links) und 6 (rechts) der Marke B1M3	136
Abbildung 94: Neigung der Basispapiere zur Faltenbildung	147
Abbildung 95: Dekorvarianten und Kennzahlen der Faltenbildung der Versuchsetiketten...	150
Abbildung 96: Anfangsfalte mit Rückstellkräften	158
Abbildung 97: Inhomogenen Streifenbeleimung am Etikettenrand.....	165
Abbildung 98: Anfangshaftung fixiert das Etikett auf der Glasflasche	166

Abbildung 99: Nassdehnung der Etiketten quer zum Faserlauf.....	166
Abbildung 100: Entstehung der Anfangsfalte über der klebstofffreien Fläche	167
Abbildung 101: Erhöhung der Anfangsfalte durch zusätzliche Einflüsse	167
Abbildung 102: Rückstellkräfte im Etikett	168
Abbildung 103: Rückbildung der Anfangsfalte durch die Rückstellkräfte.....	169
Abbildung 104: Zeitlich verzögerte Rückbildung der mittleren Anfangsfalte	169
Abbildung 105: Planlage der Etiketten nach der Trockenschumpfung	170

11.2 Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Elementeliste des innermaschinellen Verarbeitungsverfahrens.....	30
Tabelle 2: Checkliste zur Vorbeugung und Beseitigung von Etikettierstörungen	36
Tabelle 3: Bekannte Einflussfaktoren auf die Faltenbildung	40
Tabelle 4: Abtrocknungsbedingungen des Abtrocknungsversuchs	47
Tabelle 5: Klassen der Faltenbildung.....	47
Tabelle 6: Etikettenuntersuchung nach den STLB.....	48
Tabelle 7: Untersuchung der Etikettierklebstoffe nach den STLB	50
Tabelle 8: Kaseingehalt und empfohlene Verarbeitungstemperatur der Kaseinklebstoffe.....	64
Tabelle 9: Einteilung der Klebstoffmengen	65
Tabelle 10: Schrägstellung der Greiferfinger aller Greiferstationen.....	68
Tabelle 11: Dokumentation an der Etikettierung beteiligter Komponenten	84
Tabelle 12: Untersuchungsergebnisse der Brauereietiketten nach den STLB	89
Tabelle 13: Erscheinungsformen der Etiketten	92
Tabelle 14: Probenahme der Etikettierklebstoffe.....	93
Tabelle 15: Ergebnisse der Untersuchungen nach den STLB.....	93
Tabelle 16: Untersuchungsergebnisse der Hafteigenschaften.....	94
Tabelle 17: Heißendvergütung in CTU	95
Tabelle 18: Ausbringung der Etikettiermaschinen während der HG-Aufnahmen.....	96
Tabelle 19: Ergebnisübersicht über die Entnahme der vordersten Etiketten	98
Tabelle 20: Ergebnisübersicht der Übergabe des Etiketts an den Greiferzylinder	99
Tabelle 21: Faltenfreiheit der Etiketten nach der Anbürststation	103
Tabelle 22: Untersuchungsergebnisse der Versuchsetiketten nach den STLB	111
Tabelle 23: Einfluss der Basispapiere	114
Tabelle 24: Einfluss des Dekors.....	114
Tabelle 25: Einfluss der Prägung	115
Tabelle 26: Einfluss der Lackierung	116
Tabelle 27: Einfluss der Klebstoffsorte.....	118
Tabelle 28: Einfluss der Klebstoffmenge – Versuchsläufe C1, C2 und C4.....	118
Tabelle 29: Einfluss der Klebstoffmenge – Versuchsläufe G, H und I.....	119
Tabelle 30: Einfluss der Verarbeitungstemperatur.....	119
Tabelle 31: Einfluss des Kreuzschlittens und der Schwämme am Greiferzylinder	120
Tabelle 32: Einfluss der Greiferfinger	121
Tabelle 33: Einfluss des Zustandes der Beleimungspaletten	122
Tabelle 34: Einfluss der Feuchtigkeit auf der Flaschenoberfläche	123
Tabelle 35: Einfluss der nachträglichen Überschwattung.....	124
Tabelle 36: Simulation der Faltenbildung.....	126
Tabelle 37: Übertragene Klebstoffmengen	127
Tabelle 38: Ergebnisübersicht der Etikettierversuche im Labormaßstab.....	129
Tabelle 39: Etikettierergebnis der untersuchten Brauereien	131
Tabelle 40: Versuchsreihen mit Faltenbildung	159
Tabelle 41: Faktoren ohne festgestellte Wirkung auf die Faltenbildung	162

Tabelle 42: Einflussfaktoren – Rahmenbedingungen im Abfüllbetrieb.....	162
Tabelle 43: Einflussfaktoren – Papieretiketten	162
Tabelle 44: Einflussfaktor – Etikettiermaschine	162
Tabelle 45: Einflussfaktoren – Rahmenbedingungen im Abfüllbetrieb.....	163
Tabelle 46: Einflussfaktoren – Papieretiketten	163
Tabelle 47: Einflussfaktoren – Etikettierklebstoff	163
Tabelle 48: Einflussfaktor – Etikettiermaschine	163
Tabelle 49: Bekannte Einflussfaktoren auf die Faltenbildung.....	174
Tabelle 50: Datelogger der Firma Dostmann GmbH.....	192
Tabelle 51: Stechhygrometer S1	192
Tabelle 52: Thermometer TFN 1093-SMP mit EB 120-LC-SMP	192
Tabelle 53: Analysenwaage AC 211 S.....	192
Tabelle 54: Laborwaage U 4600 P.....	192
Tabelle 55: 433 MHs Outdoor Temperature Transmitter	193
Tabelle 56: Eigengewicht Mikrometer IDC 112B	193
Tabelle 57: Labor-pH-Meter 766	193
Tabelle 58: Viscotester VT 24	193
Tabelle 59: Hot End Coating Meter	193
Tabelle 60: MotionScope M1.....	193
Tabelle 61: Analysenwaage LE 323S	194
Tabelle 62: Oberschalenwaage EW 6200-2NM.....	194
Tabelle 63: Klimaschrank HC4020.....	194

11.3 Abkürzungen

∅	Durchschnitt
°C	Grad Celsius
avi	Audio Video Interleaved (Dateiformat)
CTU	Coating Thickness Units
EK	Etikettierklebstoff
g	Gramm
g/Fl	Gramm pro Flasche
GDB	Genossenschaft Deutscher Brunnen
GF	Große Falte
h	Stunde
HG-Aufnahmen	Hochgeschwindigkeitsaufnahmen
HG-Kamera	Hochgeschwindigkeitskamera
Hrsg.	Herausgeber
Hz	Hertz
jpg	Joint Photographic Experts Group (Dateiformat)
k. A.	Keine Angaben
LKW	Lastkraftwagen
m	Meter
<i>m</i>	Masse
MB	Megabyte
MF	Mittlere Falte
min	Minute
n	Messumfang; Anzahl der Einzelmessungen
N	Newton
NBK	Nassbruchkraft
NiCr-Ni	Thermoelement aus den Elementen Nickel und Chrom
Nr.	Nummer
NRW-Flasche	Nordrhein-Westfalen-Flasche
o.T.	ohne Titel
o.V.	ohne Verfasser

Pa	Pascal
PE	Polyethylen
PEN	Polyethylennaphthalat
PET	Polyethylenterephthalat
POS	Point of Sale
$Q_{(\emptyset)}$	Durchschnittliche Ausbringungen einer Maschine
$Q_{(EST)}$	Maximale Einstellausbringungen einer Maschine
$Q_{(IST)}$	Aktuelle Ausbringungen einer Maschine
raw	Englisches Wort für „roh“ (Dateiformat)
rF	relative Luftfeuchtigkeit
s	Sekunde
s	Standardabweichung
s.	siehe
S.	Seite
STLB	Spezielle Technische Liefer- und Bezugsbedingungen
T	Temperatur
TBK	Trockenbruchkraft
t_s	Taupunkttemperatur
URL	Uniform Resource Locator
v	Variationskoeffizient
vgl.	vergleiche
VLB Berlin	Versuchs und Lehranstalt für Brauerei in Berlin (VLB) e.V.
\bar{x}	Mittelwert

11.4 Technische Daten

Tabelle 50: Datalogger der Firma Dostmann GmbH

Messbereich – relative Luftfeuchtigkeit	0 – 99 % rF
Messbereich – Temperatur	0 – 60 °C
Genauigkeit – relative Luftfeuchtigkeit	±3 % rF
Genauigkeit – Temperatur	±1 °C
Auflösung – relative Luftfeuchtigkeit	0,1 % rF
Auflösung – Temperatur	0,1 °C

Tabelle 51: Stechhygrometer S1

Messbereich – Gleichgewichtsfeuchte	5,0 – 99,9 % rF
Messbereich – Temperatur	-25,0 – 75,0 °C
Genauigkeit – Gleichgewichtsfeuchte (23 °C)	±1,5 % rF
Genauigkeit – Temperatur	±0,3 °C
Reproduzierbarkeit – Gleichgewichtsfeuchte	< 0,5 % rF
Reproduzierbarkeit – Temperatur	< 0,1 °C
Auflösung – Gleichgewichtsfeuchte	0,1 % rF
Auflösung – Temperatur	0,1 °C
Kalibrierung	Einpunkt Kalibrierung via Potentiometer
Langzeitstabilität	< 1 % rF pro Jahr

Tabelle 52: Thermometer TFN 1093-SMP mit EB 120-LC-SMP

Messbereich – Temperatur	-200 – 1200 °C
Genauigkeit – -200,0 °C bis -100,0 °C	±0,3 % vom Messbereich
Genauigkeit – -99,9 °C bis 249,9 °C	±0,3 °C ±1 Digit
Genauigkeit – 250 °C bis 1200 °C	±2 °C ±1 Digit
Auflösung – -200,0 °C bis 249,9 °C	0,1 °C
Auflösung – 250 °C bis 1200 °C	1 °C
Messintervall	1,2 Sekunden
Messfühler	NiCr-Ni

Tabelle 53: Analysenwaage AC 211 S

Messbereich	0 – 210 g
Standardabweichung	≤ ±0,0001
Linearitätsabweichung	≤ ±0,0002
Auflösung	0,0001 g

Tabelle 54: Laborwaage U 4600 P

Messbereich	0 – 4140 g
Eichwert e	0,1 g
Auflösung (0 – 600 g / – 1200 g / – 3000 g / – 4140 g)	0,01 g / 0,02 g / 0,05 g / 0,1 g

Tabelle 55: 433 MHz Outdoor Temperature Transmitter

Messbereich – relative Luftfeuchtigkeit	0 – 99 % rF
Messbereich – Temperatur	-30,0 – 69,9 °C
Genauigkeit – relative Luftfeuchtigkeit	±3 % rF
Genauigkeit – Temperatur	±1 °C
Auflösung – relative Luftfeuchtigkeit	1 % rF
Auflösung – Temperatur	0,1 °C
Übertragungsintervall	5 Minuten
Reichweite der Übertragung	≤ 25 Meter

Tabelle 56: Eigengewicht Mikrometer IDC 112B

Messbereich	0 – 12 mm
Genauigkeit	0,003 mm
Auflösung	0,001 mm

Tabelle 57: Labor-pH-Meter 766

Messbereich – pH	-2,00 – 16,00
Messbereich – Temperatur	-50,0 – 150,0
Messfehler – pH	< 0,01
Messfehler – Temperatur	< 0,3 °C

Tabelle 58: Viscotester VT 24

Messbereich	0 – 3000 Skalenteile
Typ	Zylinder-System SV II
Gerätefaktor – F	30
Radius – R _{innen}	10,1 mm
Radius – R _{außen}	11,5 mm
Länge – L	19,6 mm
Drehzahl – Stufe U = 1	22,6 Umdrehungen pro Minute
Drehzahl – Stufe U = 2	5,66 Umdrehungen pro Minute
Drehmoment	0 – 2,5 Ncm

Tabelle 59: Hot End Coating Meter

Messbereich	0 – 200 CTU
Genauigkeit – 0 CTU bis 100 CTU	±5 CTU
Genauigkeit – > 100 CTU	±10 CTU

Tabelle 60: MotionScope M1

Bezeichnung	MotionScope M1
Hersteller	Redlake Inc.
Auflösung	640 * 520 Bildpunkte, Monochrom
Bildfrequenz	32 – 1000 Bilder pro Sekunde
Verschlusszeit	0,05 – 31,25 ms
Objektiv	TV Zoom Lens 11,5 – 69 mm F 1.4
Aufnahmekapazität	2047 Einzelbilder (650 MB interner Speicher)
Stromversorgung	Netzteil oder integrierter Akkumulator

Tabelle 61: Analysenwaage LE 323S

Messbereich	0 – 320 g
Wiederholbarkeit	±0,001
Linearitätsabweichung	±0,002
Auflösung	0,001 g

Tabelle 62: Oberschalenwaage EW 6200-2NM

Messbereich	1 – 6.200 g
Reproduzierbarkeit	0,01 g
Linearitätsabweichung	±0,03 g
Auflösung	0,01 g

Tabelle 63: Klimaschrank HC4020

Feuchtebereich	10 – 98 % rF
Taupunktbereich	5 – 89,5 °C
Temperaturbereich	10 – 90 °C
Feuchteabweichung – zeitlich	±1 bis 3 % rF
Temperaturabweichung – zeitlich	±0,3 °C
Temperaturabweichung – räumlich	±1,0 °C
Toleranzen für Klimanormzustand – relative Luftfeuchtigkeit	< ±1,5 % rF
Toleranzen für Klimanormzustand – Temperatur	±0,1 °C

11.5 Messwerte zu 5.1.1 Lagerung der Etiketten

Brauerei 1

Marke	Relative Luftfeuchtigkeit in % (n = 1)					Länge des Etikettenstapels in cm
	Links außen	Mitte links	Mitte	Mitte rechts	Rechts außen	
B1M1	46	48	42	52	46	24
B1M3	50	54	54	54	53	24
\bar{x}	50					
s	4,2					

Marke	Temperatur in °C (n = 1)					Länge des Etikettenstapels in cm
	Links außen	Mitte links	Mitte	Mitte rechts	Rechts außen	
B1M1	21,7	21,7	21,8	21,7	21,9	24
B1M3	22,2	22,2	22,2	22,2	22,2	24
\bar{x}	22					
s	0,2					

Brauerei 2

Marke	Relative Luftfeuchtigkeit in % (n = 3)					Länge des Etikettenstapels in cm
	Links außen	Mitte links	Mitte	Mitte rechts	Rechts außen	
B2 M1	48		47		46	7
B2 M2	50		50		50	8
\bar{x}	47					
s	3,8					

Marke	Temperatur in °C (n = 3)					Länge des Etikettenstapels in cm
	Links außen	Mitte links	Mitte	Mitte rechts	Rechts außen	
B2 M1	21,6		21,7		21,8	7
B2 M2	21,2		21,3		21,3	8
\bar{x}	21,5					
s	0,25					

Brauerei 3

Marke	Relative Luftfeuchtigkeit in % (n = 1)					Länge des Etikettenstapels in cm
	Links außen	Mitte links	Mitte	Mitte rechts	Rechts außen	
B3 M1	52	51	50	50	51	25
B3 M2	54	54	54	54	55	26
\bar{x}	53					
s	1,8					

Marke	Temperatur in °C (n = 1)					Länge des Etikettenstapels in cm
	Links außen	Mitte links	Mitte	Mitte rechts	Rechts außen	
B3 M1	19,2	19	18,9	18,9	18,9	25
B3 M2	19,1	19,2	19,3	19,3	19,4	26
\bar{x}	19,1					
s	0,19					

11.6 Messwerte zu 5.1.2 Rahmenbedingungen während der Etikettierung

Temperatur und relative Luftfeuchtigkeit

Untersuchung	Einzelmesswerte der Marken				
	B1M1	B1M3	B2M1	B2M2	
T (Etikettenstapel)	21,5	22,6	20,3	22,0	
	21,3		26,5	22,5	
	21,1		21,6	22,2	
	22,0			22,5	
	22,4			22,2	
	22,4			21,7	
				22,5	
				22,2	
\bar{x}	21,8	22,6	22,8	22,3	
s	0,56		3,27	0,28	

Untersuchung	Einzelmesswerte der Marken				
	B1M1	B1M3	B2M1	B2M2	
rF (Etikettenstapel)	50,9	53,3	54,4	50,5	
	53,9		41,2	50,9	
	53,1		46,7	50,1	
	53,4			50,6	
	50,8			50,4	
	50,9			50,5	
				47,5	
				54,1	
\bar{x}	52,2	53,3	47,4	51,0	
s	1,45		6,63	2,16	

Untersuchung	Einzelmesswerte der Marken				
	B1M1	B1M3	B2M1	B2M2	B3M1
T (Abfülltemperatur)	14,1	14,8	7,3	10,1	12,8
	14,5	13,7	7,2	9,5	12,6
	14,3				
\bar{x}	14,3	14,3	7,3	9,8	12,7
s	0,20	0,78	0,07	0,42	0,14

Untersuchung	Einzelmesswerte der Marken				
	B1M1	B1M3	B2M1	B2M2	B3M1
T (Etikettierklebstoff)	28,3	29,0	28,9	24,8	30,3
	28,3		29,1	26,9	30,4
			28,4	26,7	32,5
				26,9	32,0
\bar{x}	28,3	29,0	28,8	26,3	31,3
s	0,00		0,36	1,02	1,12

Feuchtigkeit auf der Flaschenoberfläche**Marke: B1M1**

Ort der Probenahme:	Massentransport, direkt vor der Vereinzlung, etwa 10 m vor der Ausstattungsmaschine (vor dem Luftmesser)			
Probennummer:	$m_{(Tüte)}$:	$m_{(Fl. feucht + Tüte)}$:	$m_{(Fl. Trocken)}$:	$m_{(Feuchtigkeit)}$:
1	10,18 g	893,10 g	882,52 g	0,40 g
2	10,14 g	895,24 g	884,56 g	0,54 g
3	10,46 g	894,22 g	883,14 g	0,62 g
4	10,46 g	904,66 g	893,78 g	0,42 g
5	10,33 g	899,42 g	888,70 g	0,39 g
6	10,15 g	903,02 g	892,52 g	0,35 g
7	10,11 g	901,22 g	890,74 g	0,37 g
8	10,45 g	904,60 g	893,74 g	0,41 g
9	10,22 g	902,76 g	892,12 g	0,42 g
10	10,17 g	891,14 g	880,40 g	0,57 g
11	10,19 g	894,76 g	884,08 g	0,49 g
			\bar{x}	0,45 g
			s	0,089
			v	19,6 %

Marke: B1M3

Ort der Probenahme:	Einzeltransport, etwa 3 m vor der Ausstattungsmaschine (nach dem Luftmesser)			
Probennummer:	$m_{(Tüte)}$:	$m_{(Fl. feucht + Tüte)}$:	$m_{(Fl. Trocken)}$:	$m_{(Feuchtigkeit)}$:
1	10,27 g	882,66 g	871,94 g	0,45 g
2	10,28 g	899,64 g	888,88 g	0,48 g
3	10,22 g	884,14 g	873,40 g	0,52 g
4	10,14 g	883,44 g	872,82 g	0,48 g
5	10,25 g	886,36 g	875,58 g	0,53 g
6	10,25 g	888,22 g	877,42 g	0,55 g
7	10,39 g	889,62 g	878,78 g	0,45 g
8	10,31 g	887,50 g	876,66 g	0,53 g
9	10,40 g	897,14 g	886,20 g	0,54 g
10	10,29 g	882,48 g	871,74 g	0,45 g
			\bar{x}	0,50 g
			s	0,040
			v	8,1 %

Marke: B2M1

Ort der Probenahme:	Einzeltransport, etwa 6 m vor der Ausstattungsmaschine (nach dem Luftmesser)			
Probennummer:	$m_{(Tüte)}$:	$m_{(Fl. feucht + Tüte)}$:	$m_{(Fl. Trocken)}$:	$m_{(Feuchtigkeit)}$:
1	12,45 g	905,54 g	892,86 g	0,23 g
2	12,31 g	884,20 g	871,18 g	0,71 g
3	12,30 g	894,28 g	881,34 g	0,64 g
4	12,35 g	898,36 g	885,30 g	0,71 g
5	12,46 g	901,26 g	888,10 g	0,70 g
6	10,72 g	902,70 g	891,36 g	0,62 g
7	10,77 g	901,18 g	889,84 g	0,57 g
8	10,84 g	898,00 g	886,54 g	0,62 g
9	10,79 g	894,40 g	883,12 g	0,49 g
10	10,87 g	919,28 g	907,88 g	0,53 g
			\bar{x}	0,58 g
			s	0,145
			v	24,8 %

Anhang

Marke: B2M2

Ort der Probenahme:	Einzeltransport, etwa 6 m vor der Ausstattungsmaschine (nach dem Luftmesser)			
Probennummer:	m (Tüte):	m (Fl. feucht + Tüte):	m (Fl. Trocken):	m (Feuchtigkeit):
1	12,28 g	893,82 g	881,10 g	0,44 g
2	12,15 g	910,84 g	898,00 g	0,69 g
3	12,08 g	907,18 g	894,56 g	0,54 g
4	12,10 g	893,90 g	881,66 g	0,14 g
5	12,14 g	904,16 g	891,32 g	0,70 g
6	12,12 g	902,62 g	889,82 g	0,68 g
7	12,15 g	904,30 g	891,60 g	0,55 g
8	12,12 g	900,08 g	887,46 g	0,50 g
9	12,20 g	900,56 g	888,18 g	0,18 g
10	12,11 g	872,46 g	859,70 g	0,65 g
			\bar{x}	0,51 g
			s	0,203
			v	40,0 %

Marke: B3M1

Ort der Probenahme:	Einzeltransport, etwa 3 m vor der Ausstattungsmaschine (nach dem Luftmesser)			
Probennummer:	m (Tüte):	m (Fl. feucht + Tüte):	m (Fl. Trocken):	m (Feuchtigkeit):
1	12,45 g	945,20 g	932,56 g	0,19 g
2	12,31 g	895,90 g	883,34 g	0,25 g
3	12,29 g	933,28 g	920,70 g	0,29 g
4	12,35 g	932,40 g	919,82 g	0,23 g
5	12,45 g	925,06 g	912,46 g	0,15 g
6	10,71 g	928,10 g	917,26 g	0,13 g
7	10,77 g	921,72 g	910,84 g	0,11 g
8	10,84 g	920,32 g	909,36 g	0,12 g
9	10,69 g	905,28 g	894,42 g	0,17 g
10	10,87 g	926,00 g	915,02 g	0,11 g
			\bar{x}	0,18 g
			s	0,063
			v	36,3 %

11.7 Messwerte zu 5.3.1 Etikettenuntersuchungen nach den STLB

Untersuchung	Einzelmesswerte der Marken				
	B1M1	B1M3	B2M1	B2M2	B3M1
TBK (in FL) in N	46,0	48,5	49,0	43,0	54,0
	64,0	52,8	59,0	43,0	58,0
	43,5	44,0	47,0	47,5	51,0
	54,5	57,0	58,0	67,0	57,0
	56,5	53,5	46,0	52,0	52,0
	54,9				
\bar{x}	53,2	51,2	51,8	50,5	55,0
s	7,46	5,01	6,22	9,95	3,05

Untersuchung	Einzelmesswerte der Marken				
	B1M1	B1M3	B2M1	B2M2	B3M1
TBK (quer zum FL) in N	39,5	40,5	30,8	40,0	28,5
	39,5	41,5	33,0	39,8	36,5
	38,0	40,3	32,8	43,3	36,0
	36,0	44,8	32,5	49,5	39,0
	43,5	42,0	34,8	45,5	37,5
	34,0				
\bar{x}	38,4	41,8	32,8	43,6	35,0
s	3,28	1,80	1,43	4,07	4,08

Untersuchung	Einzelmesswerte der Marken				
	B1M1	B1M3	B2M1	B2M2	B3M1
NBK (in FL) in N	14,3	14,0	21,0	18,5	21,0
	19,0	16,8	23,5	17,0	21,0
	21,0	15,0	23,5	14,0	19,0
	19,5	16,0	23,3	16,5	19,8
	20,7	14,3	23,5	18,5	17,0
\bar{x}	18,9	5,2	22,8	16,5	20,2
s	2,72	1,16	1,10	1,85	1,66

Untersuchung	Einzelmesswerte der Marken				
	B1M1	B1M3	B2M1	B2M2	B3M1
NBK (quer zum FL) in N	14,9	10,5	12,0	14,0	14,0
	16,5	14,0	11,0	14,0	12,5
	15,0	13,3	11,3	12,5	9,5
	15,9	13,5	10,5	13,5	15,3
	15,5	15,5	13,5	12,0	19,0
\bar{x}	15,6	13,4	11,2	13,5	12,8
s	0,66	1,82	1,17	0,91	3,50

Untersuchung	Einzelmesswerte der Marken				
	B1M1	B1M3	B2M1	B2M2	B3M1
Cobb-Wert in g/m ²	17,5	19,5	17,6	14,4	16,4
	16,8	18,8	20,7	18,0	15,2
	17,3	19,2	19,8	19,0	16,2
	17,6	21,2	20,6	20,3	18,6
	20,3	18,3	19,6	20,8	16,2
\bar{x}	17,9	19,4	19,7	17,9	16,6
s	1,37	1,08	1,22	2,53	1,26

Untersuchung	Einzelmesswerte der Marken				
	B1M1	B1M3	B2M1	B2M2	B3M1
Glätte nach Bekk in s	77	58	49	58	53
	76	58	45	59	55
	74	57	48	59	56
	77	58	45	59	52
	78	57	47	58	53
\bar{x}	76	58	47	59	54
s	1,5	0,6	1,8	0,6	1,6

11.8 Messwerte zu 5.4.1 Untersuchung der Etikettierklebstoffe nach den STLB

Etikettierklebstoff: B2M2 – K3M1 – Neu

Messung Nr.:	Einzelmesswerte bei Messtemperatur				
	15 °C	20 °C	25 °C	30 °C	35 °C
1	1000	650	360	220	140
2	1050	650	360	220	140
3	1000	650	360	220	140
\bar{x}	1017	650	360	220	140
Dynamische Viskosität in mPa*s = $\bar{x} * 120$	122000	78000	43200	26400	16800

120 = Gerätefaktor

Messung Nr.:	m _(leer)	m _(voll)	m _(Klebstoff) = m _(voll) - m _(leer)	m _(trocken)	m _(Feststoff) = m _(trocken) - m _(leer)	Feststoff- gehalt
1	31,2000 g	31,4726 g	0,2726 g	31,2935 g	0,0935 g	34,3 %
2	28,1863 g	28,4559 g	0,2696 g	28,2807 g	0,0944 g	35,0 %
3	28,7876 g	29,0912 g	0,3036 g	28,8941 g	0,1065 g	35,1 %
\bar{x}						34,8 %

Etikettierklebstoff: B2M2 – K3M1 – Alt

Messung Nr.:	Einzelmesswerte bei Messtemperatur				
	15 °C	20 °C	25 °C	30 °C	35 °C
1	1100	680	400	260	180
2	1100	680	400	250	180
3	1120	680	400	260	180
\bar{x}	1107	680	400	257	180
Dynamische Viskosität in mPa*s = $\bar{x} * 120$	132800	81600	48000	30800	21600

120 = Gerätefaktor

Messung Nr.:	m _(leer)	m _(voll)	m _(Klebstoff) = m _(voll) - m _(leer)	m _(trocken)	m _(Feststoff) = m _(trocken) - m _(leer)	Feststoff- gehalt
1	31,1997 g	31,7734 g	0,5737 g	31,4010 g	0,2013 g	35,1 %
2	28,1851 g	28,4475 g	0,2624 g	28,2774 g	0,0923 g	35,2 %
3	28,7868 g	29,0910 g	0,3042 g	28,8940 g	0,1072 g	35,2 %
\bar{x}						35,2 %

Etikettierklebstoff: B3M1 – K1M2

Messung Nr.:	Einzelmesswerte bei Messtemperatur				
	15 °C	20 °C	25 °C	30 °C	35 °C
1	1020	660	440	225	180
2	1040	660	430	230	190
3	1040	650	420	230	190
\bar{x}	1033	657	430	228,3	187
Dynamische Viskosität in mPa*s = $\bar{x} * 120$	124000	78800	51600	27400	22400

120 = Gerätefaktor

Messung Nr.:	m _(leer)	m _(voll)	m _(Klebstoff) = m _(voll) - m _(leer)	m _(trocken)	m _(Feststoff) = m _(trocken) - m _(leer)	Feststoff- gehalt
1	31,1995 g	31,5156 g	0,3161 g	31,3164 g	0,1169 g	37,0 %
2	28,1863 g	28,4232 g	0,2369 g	28,2744 g	0,0881 g	37,2 %
3	28,7871 g	29,0051 g	0,2180 g	28,8686 g	0,0815 g	37,4 %
\bar{x}						37,2 %

Etikettierklebstoff: B3M1 – K4M1

Messung Nr.:	Einzelmesswerte bei Messtemperatur				
	15 °C	20 °C	25 °C	30 °C	35 °C
1	1500	920	560	300	200
2	1500	900	540	310	190
3	1500	900	540	310	190
\bar{x}	1500	907	547	307	193
Dynamische Viskosität in mPa*s = \bar{x} * 120	180000	108800	65600	36800	23200

120 = Gerätefaktor

Messung Nr.:	m _(leer)	m _(voll)	m _(Klebstoff) = m _(voll) - m _(leer)	m _(trocken)	m _(Feststoff) = m _(trocken) - m _(leer)	Feststoff- gehalt
1	28,3557 g	28,7611 g	0,4054 g	28,4981 g	0,1424 g	35,1 %
2	28,7332 g	29,3123 g	0,5791 g	28,9380 g	0,2048 g	35,4 %
3	31,0836 g	31,5864 g	0,5028 g	31,2688 g	0,1852 g	36,8 %
\bar{x}						35,8 %

11.9 Messwerte zu 5.4.2 Hafteigenschaften der Etikettierklebstoffe

Etikettierklebstoff: B1M1 – K1M1

Messung Nr.:	Einzelmesswerte nach					
	2 s	5 s	30 s	60 s	180 s	300 s
Blindwert	1,64 N (wurde von den Einzelmesswerten bereits abgezogen)					
1	2,0 N	1,9 N	3,7 N	3,3 N	5,8 N	6,0 N
2	1,4 N	2,4 N	3,5 N	3,6 N	5,1 N	7,6 N
3	1,5 N	2,3 N	2,8 N	2,6 N	5,5 N	6,2 N
\bar{x}	1,7 N	2,2 N	3,3 N	3,2 N	5,5 N	6,6 N
s	0,32	0,29	0,48	0,49	0,38	0,86

Etikettierklebstoff: B2M1 – K3M1

Messung Nr.:	Einzelmesswerte nach					
	2 s	5 s	30 s	60 s	180 s	300 s
Blindwert	1,57 N (wurde von den Einzelmesswerten bereits abgezogen)					
1	1,7 N	1,8 N	3,4 N	5,5 N	6,3 N	7,0 N
2	1,2 N	1,8 N	3,8 N	5,0 N	6,7 N	8,1 N
3	2,0 N	1,8 N	4,0 N	4,2 N	6,3 N	8,7 N
\bar{x}	1,6 N	1,8 N	3,7 N	4,9 N	6,4 N	7,9 N
s	0,42	0,01	0,31	0,65	0,23	0,87

Etikettierklebstoff: B2M2 – K3M1 – Neu

Messung Nr.:	Einzelmesswerte nach					
	2 s	5 s	30 s	60 s	180 s	300 s
Blindwert	1,46 N (wurde von den Einzelmesswerten bereits abgezogen)					
1	1,2 N	1,6 N	2,9 N	3,2 N	5,4 N	7,3 N
2	1,9 N	2,0 N	3,9 N	2,9 N	4,8 N	5,5 N
3	1,3 N	1,3 N	3,1 N	3,9 N	4,1 N	6,2 N
\bar{x}	1,5 N	1,6 N	3,3 N	3,3 N	4,7 N	6,3 N
s	0,41	0,38	0,53	0,52	0,65	0,91

Etikettierklebstoff: B3M1 – K1M2

Messung Nr.:	Einzelmesswerte nach					
	2 s	5 s	30 s	60 s	180 s	300 s
Blindwert	1,46 N (wurde von den Einzelmesswerten bereits abgezogen)					
1	2,1 N	1,1 N	2,8 N	3,2 N	6,7 N	5,5 N
2	1,8 N	1,2 N	2,4 N	3,5 N	7,3 N	6,9 N
3	1,2 N	1,3 N	2,2 N	3,7 N	7,2 N	8,1 N
\bar{x}	1,7 N	1,2 N	2,5 N	3,4 N	7,1 N	6,8 N
s	0,45	0,09	0,27	0,26	0,31	1,28

11.10 Messwerte zu 5.5.1 Heißendvergütung der Flaschen

Marke	Probenflaschen	Heißendvergütung in CTU
B3M1	ohne Faltenbildung	3
		30
		9
		6
		0
	28	
	mit Faltenbildung	0
		0
		0
		0
0		
B1M3	ohne Falte	0
		0
		0
		0
		0
	mit Falte	7
		0
		0
		2
		0
B1M1	ohne Falte	1
		11
		4
		0
		0
	mit Falte	0
		0
		0
		0
		0
B2M1	ohne Falte	0
		0
		1
		0
		2
	mit Falte	2
		6
		0
		0
		0
B2M2	mit Falte	26
		0
		10
		0
		0
	ohne Falte	0
		0
		4
		6
		0
ohne Falte	0	
	0	
	0	
	0	
	4	

11.11 Zuordnung der Belemungspaletten zu den Probeflaschen

Marke: B1M1

Versuchslauf	Signalflasche	Flasche 1	Flasche 2	Flasche 3	Flasche 4	Flasche 5
1	5	4	1	2	3	5
2	1	2	3	5	4	1
3	1	2	3	5	4	1
4	3	5	4	1	2	3
5	5	4	1	2	3	5
6	4	1	2	3	5	4
7	2	3	5	4	1	2
8	1	2	3	5	4	1
9	2	3	5	4	1	2
10	5	4	1	2	3	5
11	3	5	4	1	2	3
12	3	5	4	1	2	3
13	3	5	4	1	2	3
14	4	1	2	3	5	4
15	2	3	5	4	1	2
16	2	3	5	4	1	2
17	1	2	3	5	4	1
18	5	4	1	2	3	5
19	2	3	5	4	1	2
20	4	1	2	3	5	4

Marke: B1M3

Versuchslauf	Signalflasche	Flasche 1	Flasche 2	Flasche 3	Flasche 4	Flasche 5	Flasche 6	Flasche 7	Flasche 8
1	8	1	2	3	4	5	6	7	8
2	1	2	3	4	5	6	7	8	1
3	3	4	5	6	7	8	1	2	3
4	1	2	3	4	5	6	7	8	1
5	8	1	2	3	4	5	6	7	8
6	4	5	6	7	8	1	2	3	4
7	6	7	8	1	2	3	4	5	6
8	2	3	4	5	6	7	8	1	2
9	8	1	2	3	4	5	6	7	8
10	2	3	4	5	6	7	8	1	2
11	2	3	4	5	6	7	8	1	2
12	1	2	3	4	5	6	7	8	1

Marke: B2M1

Versuchslauf	Signalflasche	Flasche 1	Flasche 2	Flasche 3	Flasche 4	Flasche 5	Flasche 6	Flasche 7	Flasche 8
1	2	4	5	6	8	3	7	1	2
2	8	3	7	1	2	4	5	6	8
3	4	5	6	8	3	7	1	2	4
4	2	4	5	6	8	3	7	1	2
5	5	6	8	3	7	1	2	4	5
6	4	5	6	8	3	7	1	2	4
7	7	1	2	4	5	6	8	3	7
8	6	8	3	7	1	2	4	5	6
9	1	2	4	5	6	8	3	7	1
10	2	4	5	6	8	3	7	1	2
11	7	1	2	4	5	6	8	3	7

Anhang

Marke: B2M2

Versuchslauf	Signalflasche	Flasche 1	Flasche 2	Flasche 3	Flasche 4	Flasche 5	Flasche 6	Flasche 7	Flasche 8
1	3	2	1	8	7	6	5	4	3
2	1	8	7	6	5	4	3	2	1
3	8	7	6	5	4	3	2	1	8
4	4	3	2	1	8	7	6	5	4
5	2	1	8	7	6	5	4	3	2
6	2	1	8	7	6	5	4	3	2
7	5	4	3	2	1	8	7	6	5
8	2	1	8	7	6	5	4	3	2
9	5	4	3	2	1	8	7	6	5
10	3	2	1	8	7	6	5	4	3
11	2	1	8	7	6	5	4	3	2
12	7	6	5	4	3	2	1	8	7
13	1	8	7	6	5	4	3	2	1

Marke: B3M1

Versuchslauf	Signalflasche	Flasche 1	Flasche 2	Flasche 3	Flasche 4	Flasche 5	Flasche 6	Flasche 7	Flasche 8
1	4	3	2	1	8	7	6	5	4
2	5	4	3	2	1	8	7	6	5
3	6	5	4	3	2	1	8	7	6
4	2	1	8	7	6	5	4	3	2
5	8	7	6	5	4	3	2	1	8
6	1	8	7	6	5	4	3	2	1
7	4	3	2	1	8	7	6	5	4
8	4	3	2	1	8	7	6	5	4
9	8	7	6	5	4	3	2	1	8
10	5	4	3	2	1	8	7	6	5
11	1	8	7	6	5	4	3	2	1
12	1	8	7	6	5	4	3	2	1

11.12 Messwerte zu 6.2.1 Etikettenuntersuchungen nach den STLB

Etikett					Flächenbezogene Masse in g/m ²	Cobb-Wert in g/m ²	Rollneigung	Glätte nach Bekk in s	Dicke in mm
BP	M	P	L	D					
1	1	0	-	2	75,4	15,7	2	124	0,075
					74,3	15,4	2	125	0,074
					73,2	16,0		129	0,074
					73,4	15,8		133	0,071
					75,0	15,8		129	0,069
									0,072
									0,073
									0,075
									0,075
									0,074
1	1	1	-	2	73,0	16,2	2	93	0,075
					75,1	16,1	2	90	0,076
					75,7	17,3		93	0,073
					72,6	15,9		96	0,077
					74,6	16,6		90	0,076
									0,073
									0,077
									0,073
									0,073
									0,074
2	1	0	-	2	73,1	26,1	2	116	0,067
					73,2	24,5	2	120	0,070
					74,0	24,9		114	0,069
					74,4	25,7		113	0,066
					73,8	25,8		116	0,066
									0,065
									0,066
									0,066
									0,067
									0,066
2	1	1	-	2	73,5	28,8	2	91	0,068
					74,0	29,3	2	90	0,069
					73,6	28,4		93	0,069
					74,0	28,5		95	0,068
					74,0	27,9		90	0,070
									0,068
									0,066
									0,067
									0,067
									0,070
3	1	0	-	2	70,3	14,2	2	146	0,068
					72,0	14,6	2	146	0,065
					72,1	14,0		140	0,069
					71,1	14,2		152	0,069
					71,9	14,4		139	0,070
									0,071
									0,068
									0,068
				0,069					

Anhang

Etikett					Flächenbezogene Masse in g/m ²	Cobb-Wert in g/m ²	Rollneigung	Glätte nach Bekk in s	Dicke in mm
BP	M	P	L	D					
									0,071
3	1	1	-	2	70,9	15,0	2	107	0,069
					69,7	15,1	2	93	0,072
					70,7	14,5		100	0,073
					71,7	14,8		92	0,074
					71,4	14,8		101	0,075
									0,070
									0,073
									0,072
									0,070
									0,072
4	0	0	0	2	71,2	10,2	1	344	0,066
					72,4	9,9	1	325	0,068
					71,3	9,8		338	0,068
					71,6	9,7		341	0,066
					71,9	9,8		354	0,069
								362	0,067
								345	0,067
								343	0,068
								348	0,070
								364	0,068
4	0	1	0	2	70,4	10,0	1	107	0,067
					70,9	9,6	1	114	0,071
					72,4	10,0		120	0,071
					72,4	9,8		116	0,070
					71,4	9,9		129	0,069
								138	0,069
								132	0,070
								114	0,070
								118	0,072
								115	0,070
4	0	0	1	2	72,2	11,2	2		0,067
					72,4	10,6	2		0,064
					73,8	10,9			0,064
					73,4	10,8			0,068
					73,2	10,8			0,069
									0,066
									0,068
									0,066
									0,067
									0,067
4	0	1	1	2	72,0	11,4	1		0,071
					73,1	11,1	1		0,068
					73,3	11,5			0,068
					74,2	11,8			0,073
					73,2	11,4			0,068
									0,072
									0,068
									0,070
									0,069
									0,067

Anhang

Etikett					Flächenbezogene Masse in g/m ²	Cobb-Wert in g/m ²	Rollneigung	Glätte nach Bekk in s	Dicke in mm
BP	M	P	L	D					
5	0	0	0	2	70,6	17,4	1	404	0,066
					71,4	16,3	1	394	0,067
					71,4	16,7		410	0,068
					73,8	16,4		428	0,068
					71,2	16,8		406	0,067
								417	0,067
								417	0,062
								428	0,064
								406	0,066
								402	0,064
5	0	1	0	2	70,3	16,7	1	133	0,069
					71,0	17,1	1	123	0,068
					72,2	16,7		138	0,069
					71,1	16,5		124	0,067
					70,8	16,3		145	0,070
								134	0,069
								135	0,067
								141	0,068
								124	0,066
								128	0,068
5	0	0	1	2	72,6	15,1	2		0,064
					73,0	15,4	2		0,068
					73,3	16,2			0,067
					72,8	15,6			0,067
					73,0	15,8			0,064
									0,066
									0,067
									0,066
									0,063
									0,065
5	0	1	1	2	72,4	15,9	1		0,065
					72,6	16,0	1		0,065
					72,8	15,5			0,064
					72,4	15,7			0,067
					72,9	15,5			0,069
									0,067
									0,067
									0,072
									0,067
									0,064
6	0	0	0	2	73,2	17,6	1	398	0,063
					72,6	16,9	1	443	0,066
					73,1	17,1		458	0,064
					72,8	17,0		421	0,068
					71,4	17,0		422	0,066
								423	0,066
								400	0,069
								445	0,066
								430	0,067
								432	0,067
6	0	1	0	2	72,4	17,3	1	188	0,070

Anhang

Etikett					Flächenbezogene Masse in g/m ²	Cobb-Wert in g/m ²	Rollneigung	Glätte nach Bekk in s	Dicke in mm
BP	M	P	L	D					
					70,6	17,5	1	184	0,068
					70,0	17,0		201	0,067
					70,3	17,5		200	0,071
					73,0	17,0		199	0,069
								182	0,068
								216	0,068
								209	0,066
								203	0,069
								180	0,064
6	0	0	1	2	74,5	15,6	2		0,066
					73,1	15,1	2		0,066
					75,4	15,8			0,068
					75,1	14,8			0,067
					73,4	14,8			0,067
									0,066
									0,065
									0,064
									0,066
6	0	1	1	2	75,4	15,2	1		0,068
					72,5	15,8	1		0,066
					74,0	15,5			0,066
					73,6	15,2			0,069
					73,4	15,6			0,068
									0,066
									0,067
									0,066
									0,068
				0,069					

11.13 Taupunkt von Wasser

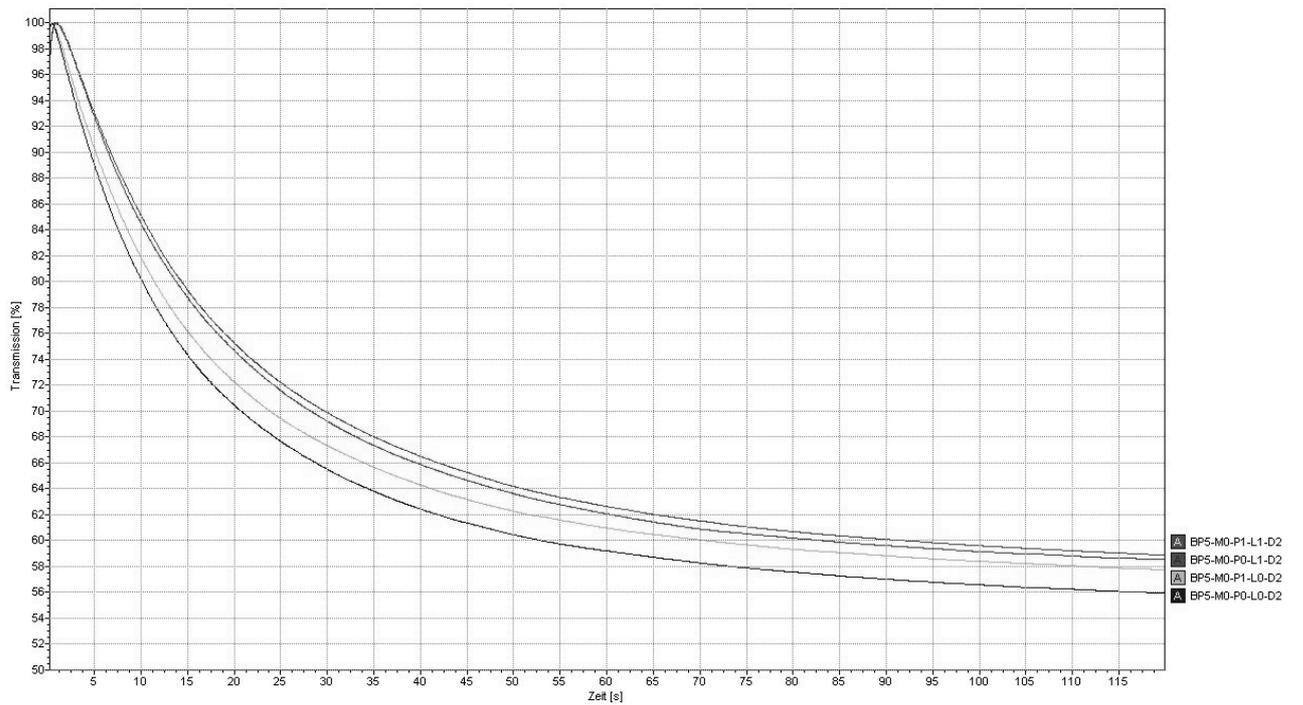
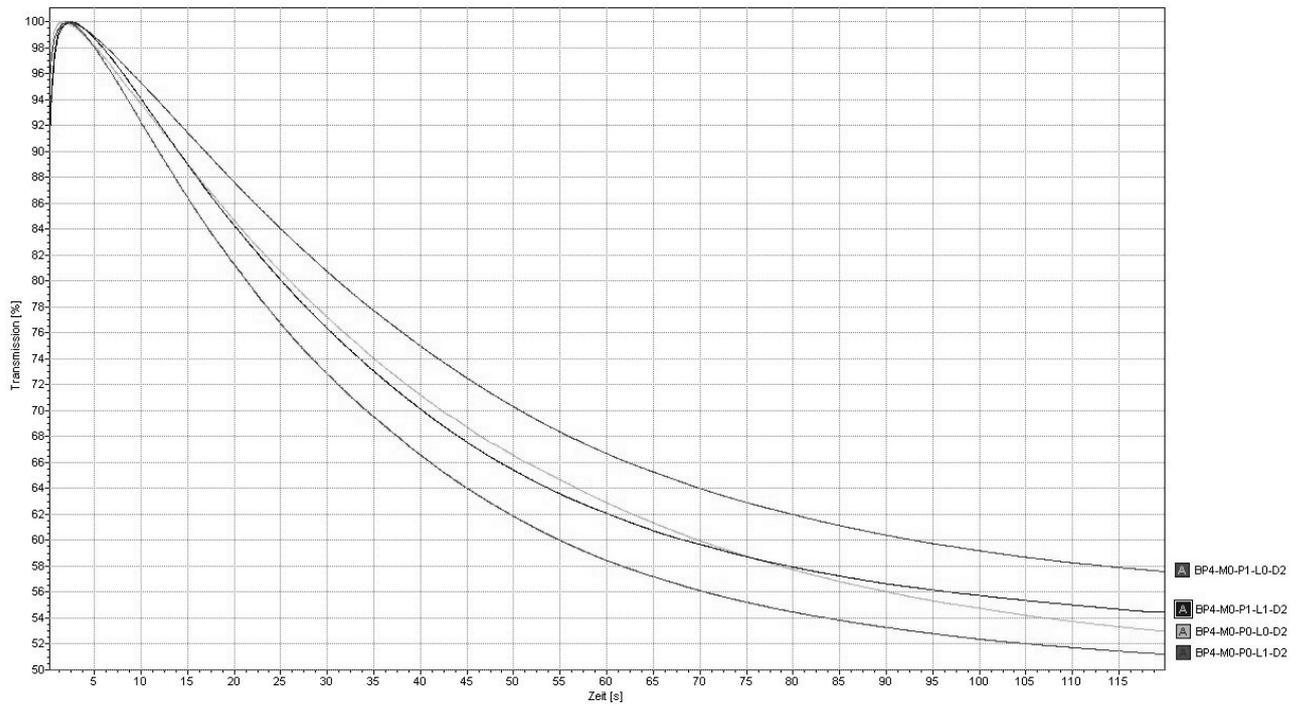
Taupunkttemperatur t_s in Abhängigkeit von Temperatur und relativer Feuchte (aus DIN 4108 Teil 5)						
Lufttempe- ratur °C	Taupunkttemperatur t_s in °C bei einer rel. Feuchte von					
	40%	45%	50%	55%	60%	65%
30	14,9	16,8	18,4	20,0	21,4	22,7
29	14,0	15,9	17,5	19,0	20,4	21,7
28	13,1	15,0	16,6	18,1	19,5	20,8
27	12,2	14,1	15,7	17,2	18,6	19,9
26	11,4	13,2	14,8	16,3	17,6	18,9
25	10,5	12,2	13,9	15,3	16,7	18,0
24	9,6	11,3	12,9	14,4	15,8	17,0
23	8,7	10,4	12,0	13,5	14,7	16,1
22	7,8	9,5	11,1	12,5	13,9	15,1
21	6,9	8,6	10,2	11,6	12,9	14,2
20	6,0	7,7	9,3	10,7	12,0	13,2
19	5,1	6,8	8,3	9,8	11,1	12,3
18	4,2	5,9	7,4	8,8	10,1	11,3
17	3,3	5,0	6,5	7,9	9,2	10,4
16	2,4	4,1	5,6	7,0	8,2	9,4
15	1,5	3,2	4,7	6,1	7,3	8,5

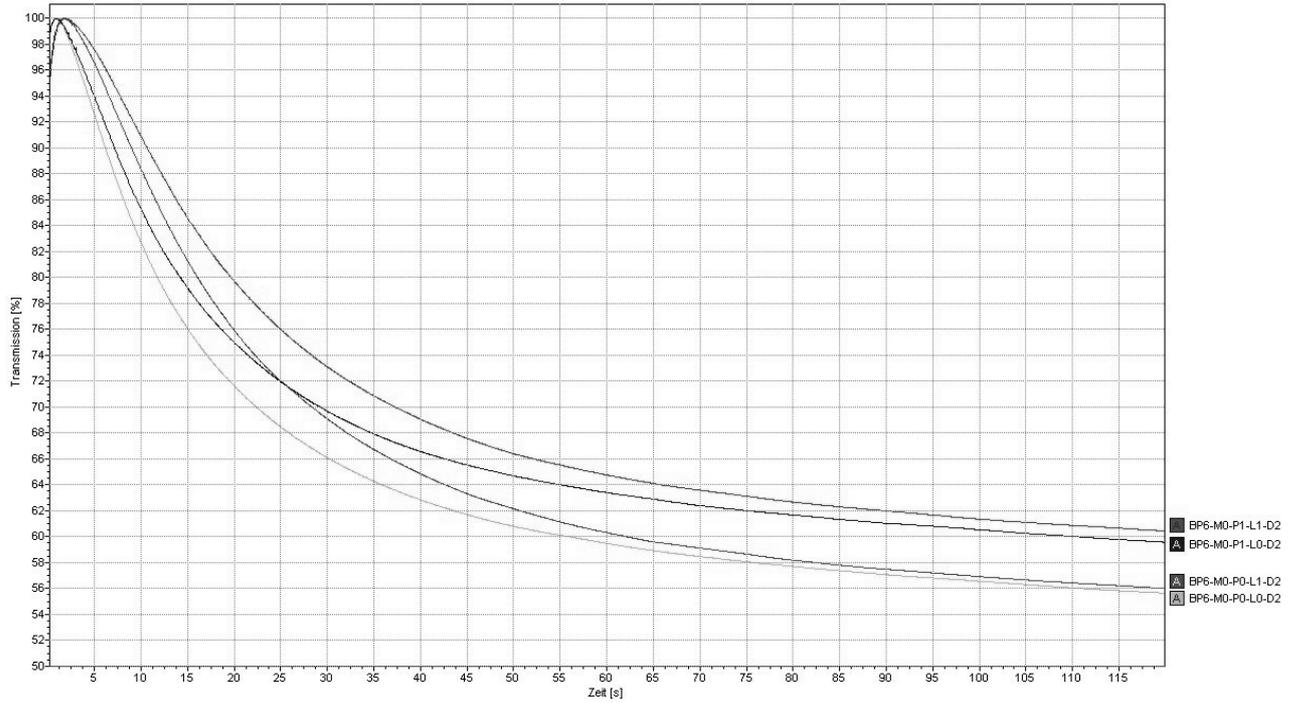
11.14 Feuchtigkeit auf der Flaschenoberfläche im Etikettiertechnikum

Probennummer:	m (Flasche feucht)	m (Flasche trocken)	m (Feuchtigkeit)
1	377,73 g	377,66 g	0,07 g
2	377,95 g	377,75 g	0,20 g
3	377,80 g	377,49 g	0,31 g
4	376,07 g	375,85 g	0,22 g
5	377,90 g	377,67 g	0,23 g
6	375,99 g	375,81 g	0,18 g
7	377,81 g	377,61 g	0,20 g
8	374,93 g	374,68 g	0,25 g
9	377,52 g	377,23 g	0,29 g
10	376,95 g	376,90 g	0,05 g
11	376,24 g	376,00 g	0,24 g
12	378,12 g	377,94 g	0,18 g
13	377,67 g	377,57 g	0,10 g
14	376,85 g	376,65 g	0,20 g
15	378,17 g	377,95 g	0,22 g
16	376,50 g	376,30 g	0,20 g
17	376,20 g	376,04 g	0,16 g
18	377,46 g	377,30 g	0,16 g
19	376,17 g	376,07 g	0,10 g
20	377,44 g	377,31 g	0,13 g
21	375,85 g	375,73 g	0,12 g
22	376,79 g	376,67 g	0,12 g
23	374,72 g	374,64 g	0,08 g
24	374,37 g	374,29 g	0,08 g
25	373,73 g	373,61 g	0,12 g
26	374,93 g	374,85 g	0,08 g
27	374,65 g	374,56 g	0,09 g
28	377,02 g	376,89 g	0,13 g
29	375,64 g	375,54 g	0,10 g
30	376,05 g	375,99 g	0,06 g
31	376,57 g	376,49 g	0,08 g
32	374,54 g	374,44 g	0,10 g
33	---	---	---
34	376,67 g	376,62 g	0,05 g
35	374,17 g	374,08 g	0,09 g
36	376,05 g	375,99 g	0,06 g
37	375,68 g	375,63 g	0,05 g
38	374,88 g	374,87 g	0,01 g
39	374,28 g	374,25 g	0,03 g
40	374,83 g	374,79 g	0,04 g
41	376,91 g	376,85 g	0,06 g
42	374,71 g	374,68 g	0,03 g
43	376,31 g	376,29 g	0,02 g
44	373,97 g	373,95 g	0,02 g
45	374,44 g	374,38 g	0,06 g
46	374,09 g	374,03 g	0,06 g
47	375,07 g	375,02 g	0,05 g
48	376,48 g	376,44 g	0,04 g
49	376,19 g	376,18 g	0,01 g
50	376,79 g	376,76 g	0,03 g
		\bar{x}	0,11 g
		s	0,078

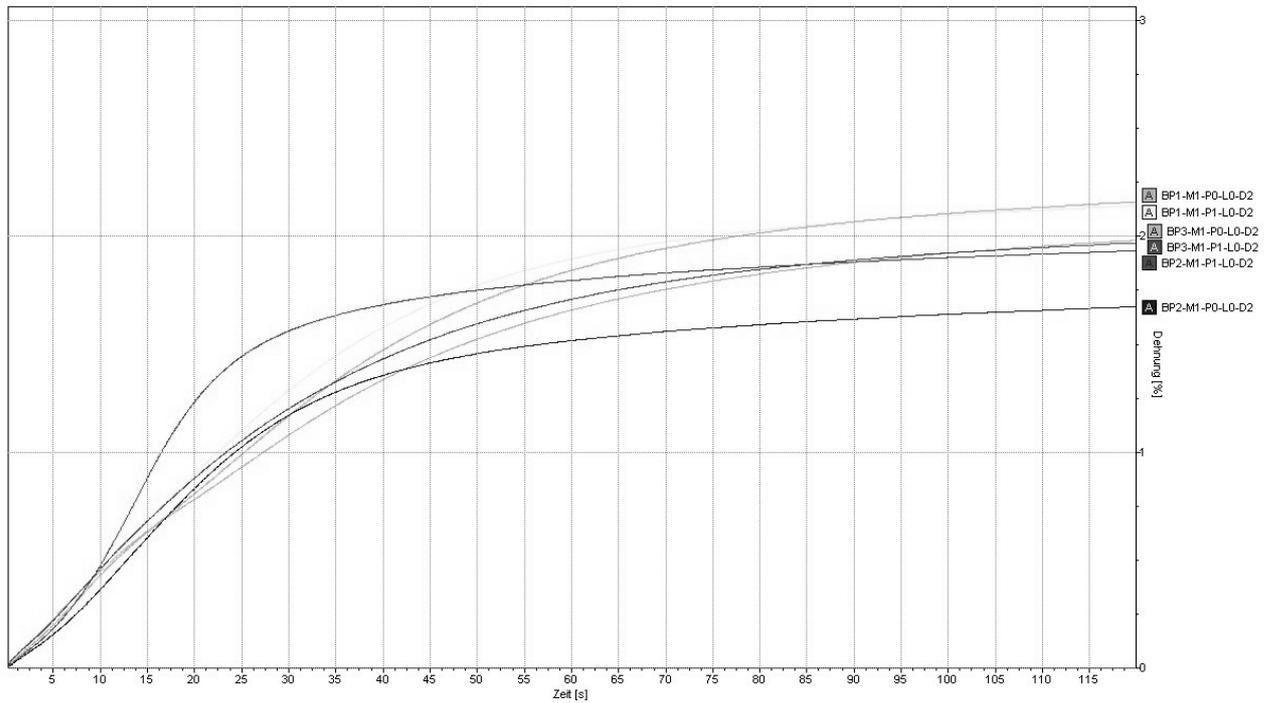
11.15 Dynamisches Penetrationsverhalten der Versuchsetiketten

Nicht metallisierte Etiketten

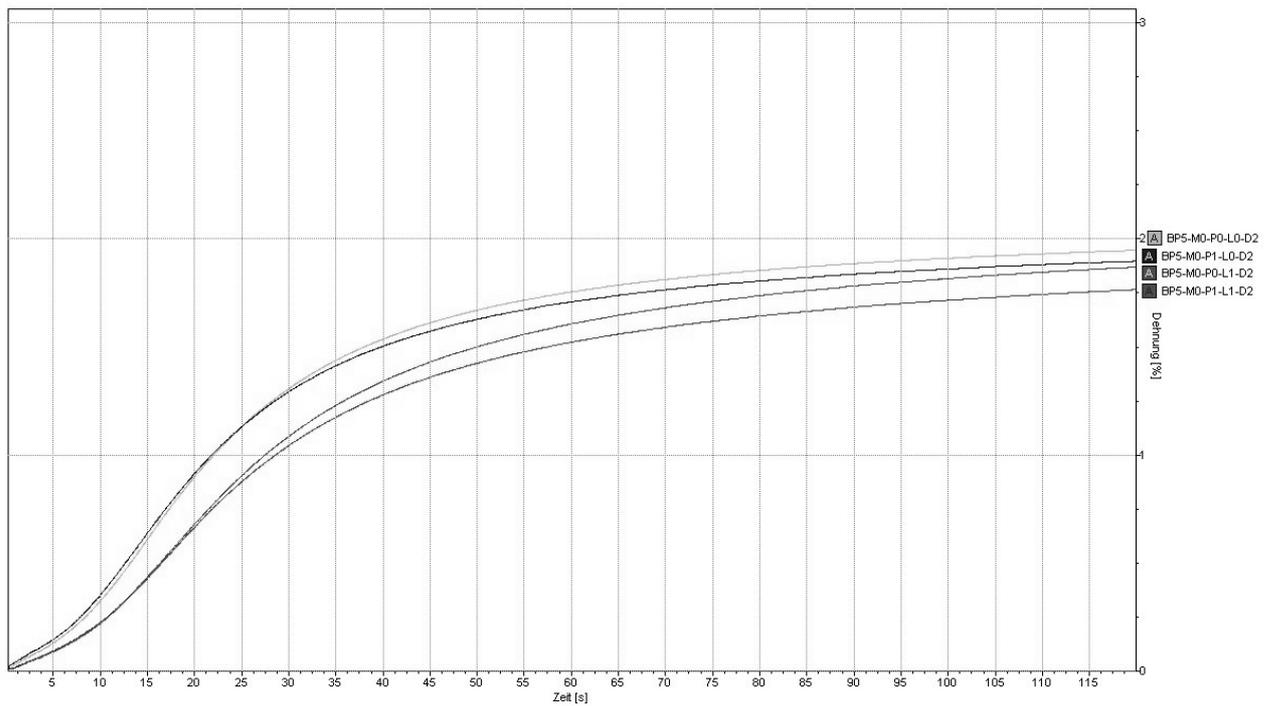
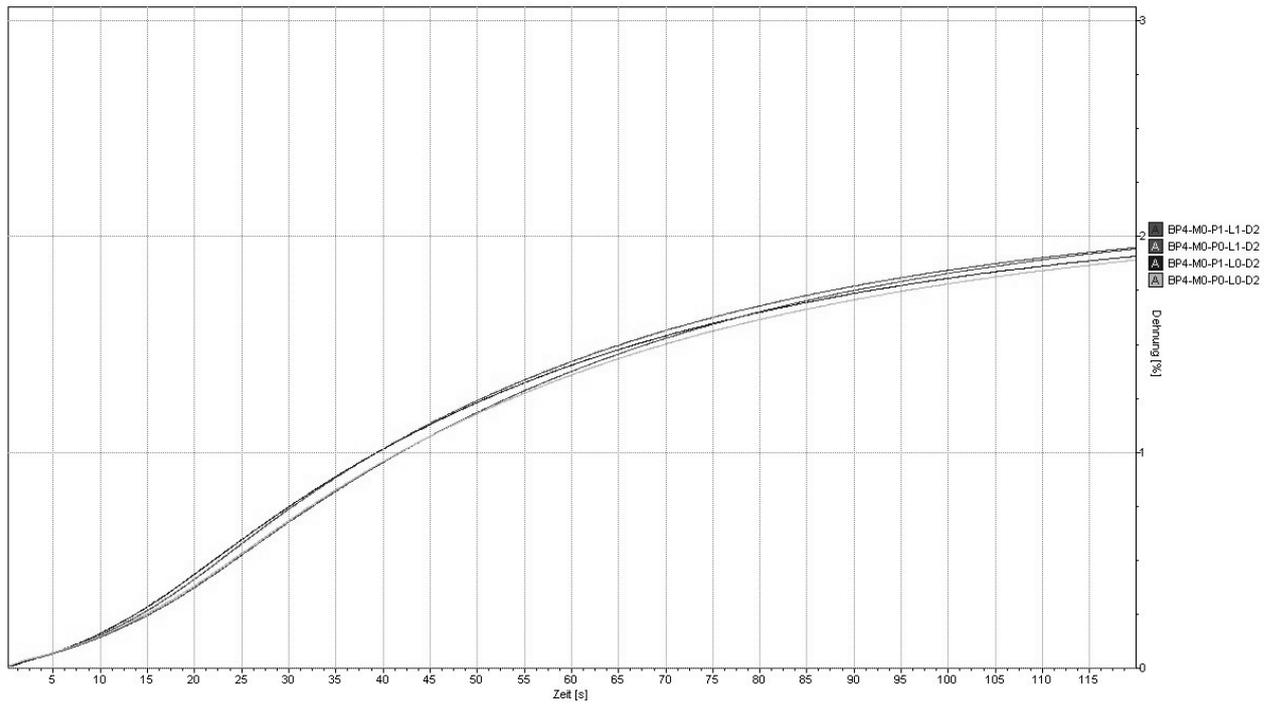


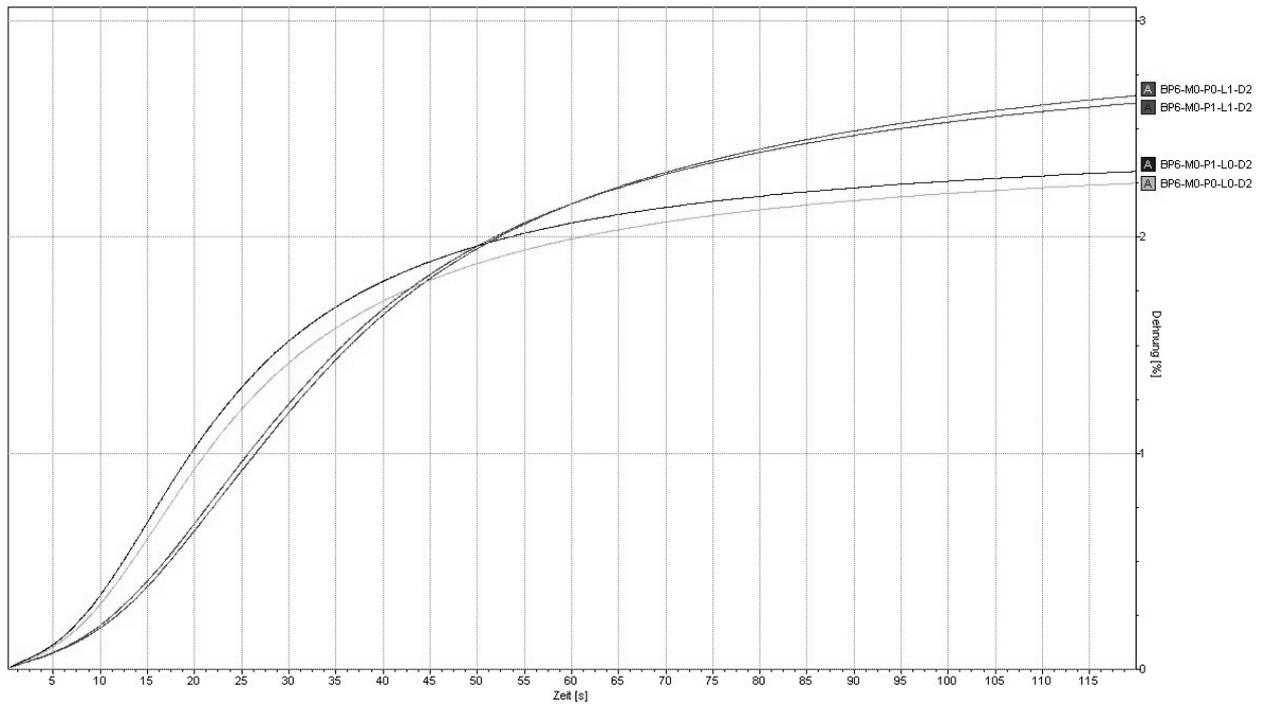


11.16 Dynamisches Nassdehnung der Versuchsetiketten Metallisierte Etiketten



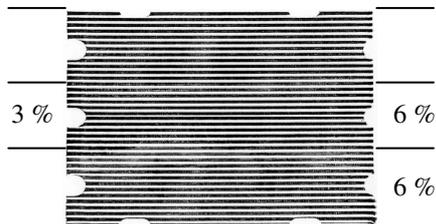
Nicht metallisierte Etiketten



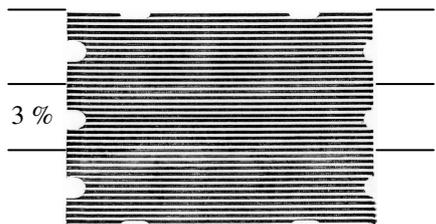


11.17 Einzelwerte zu Kapitel 6.5 Einfluss der Etikettiermaschine

M1 – Versuchslauf 8-4

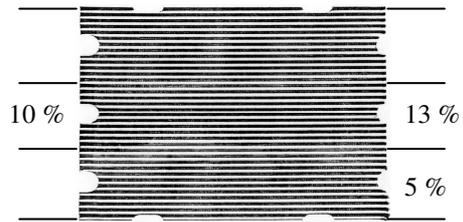


M2 – Versuchslauf 8-5

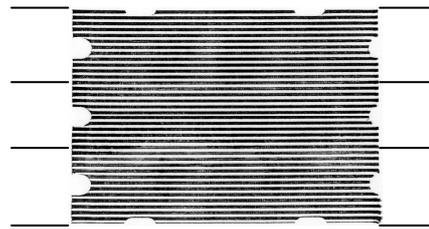


M3 – Versuchslauf 8-6

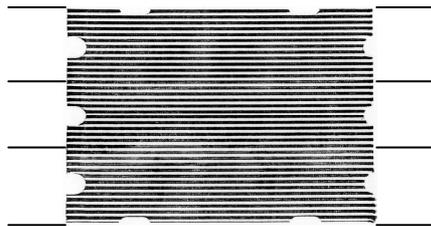
Schwamm 1



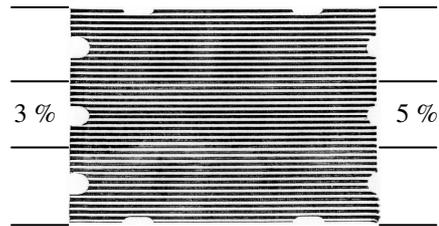
Schwamm 2



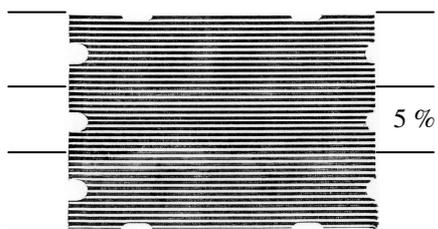
Schwamm 3



Schwamm 4

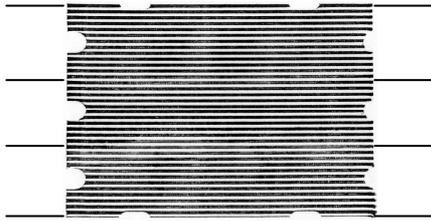


Schwamm 5

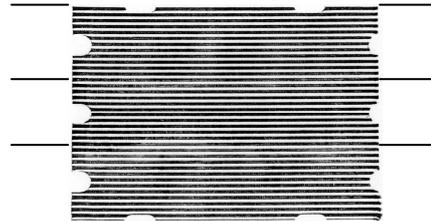


M4 – Versuchslauf 8-8

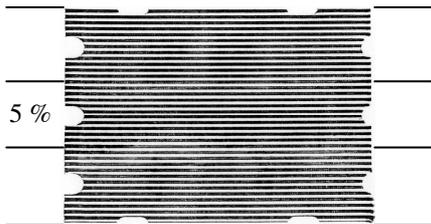
Greiferstation 1



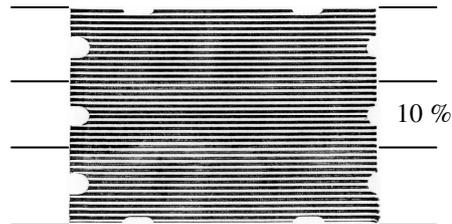
Greiferstation 2



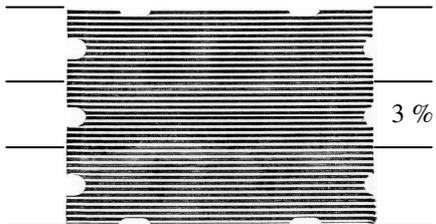
Greiferstation 3



Greiferstation 4

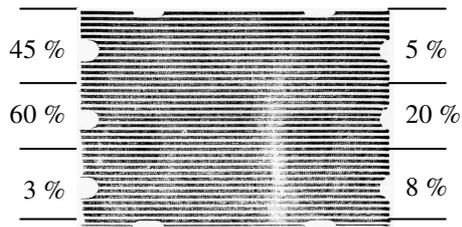


Greiferstation 5

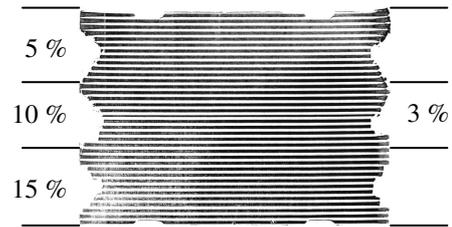


M5 – Versuchslauf 9-1

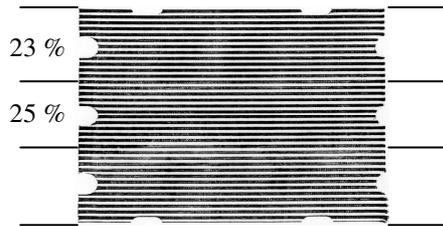
Beleimungspalette 1



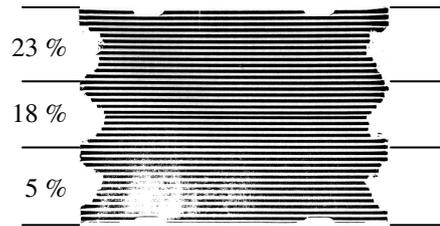
Beleimungspalette 2



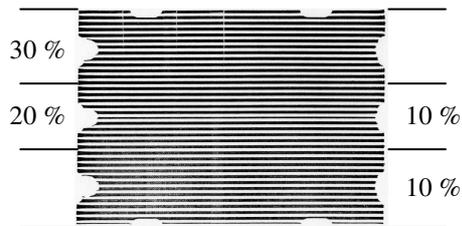
Beleimungspalette 3



Beleimungspalette 4

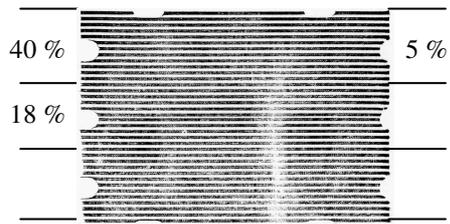


Beleimungspalette 5

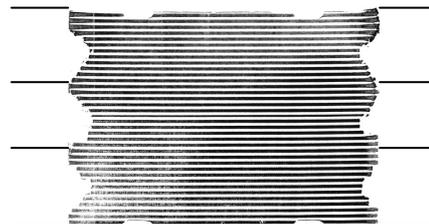


M6 – Versuchslauf 9-2

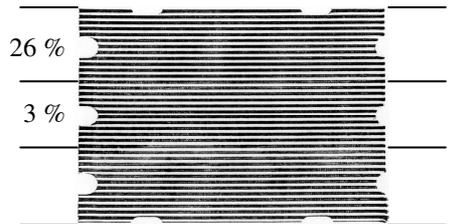
Beleimungspalette 1



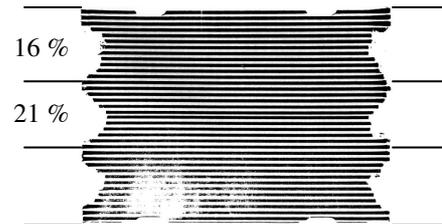
Beleimungspalette 2



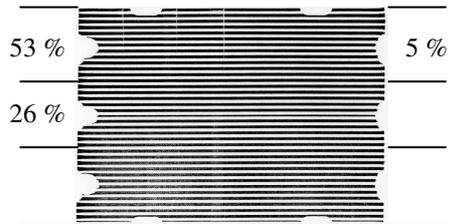
Beleimungspalette 3



Beleimungspalette 4

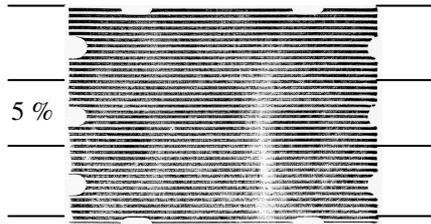


Beleimungspalette 5

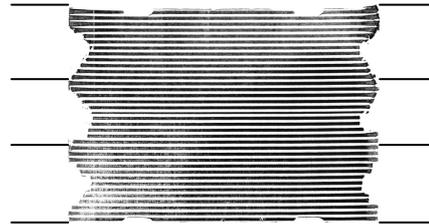


M7 – Versuchslauf 9-3

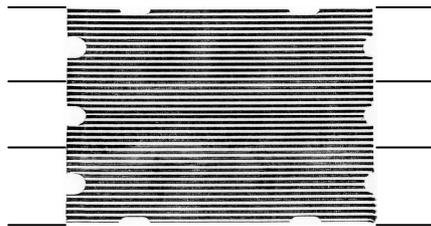
Beleimungspalette 1



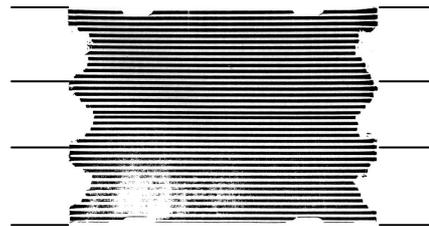
Beleimungspalette 2



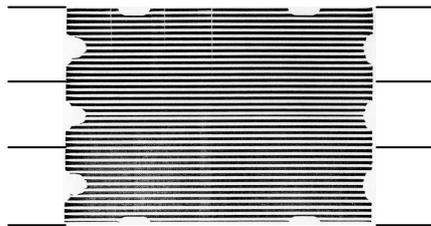
Beleimungspalette 3



Beleimungspalette 4

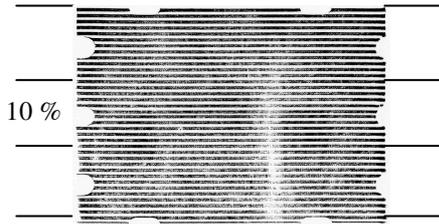


Beleimungspalette 5

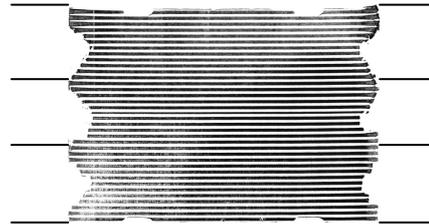


M8 – Versuchslauf 9-4a

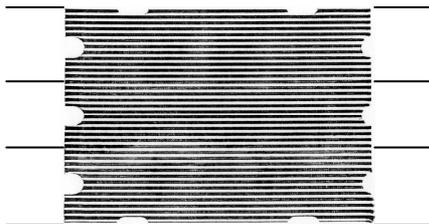
Beleimungspalette 1



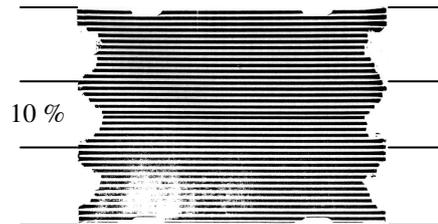
Beleimungspalette 2



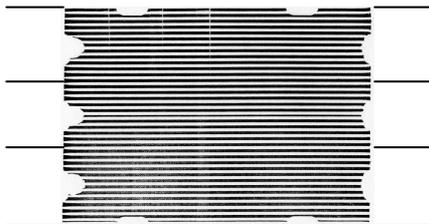
Beleimungspalette 3



Beleimungspalette 4

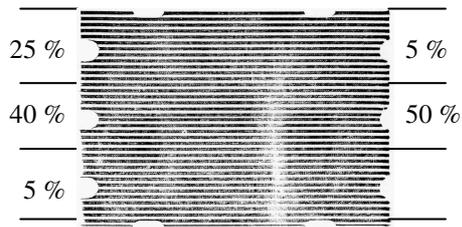


Beleimungspalette 5

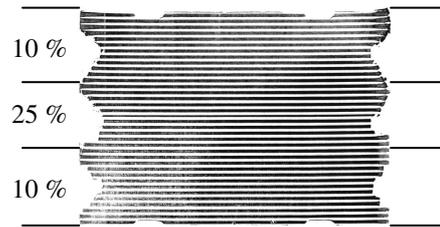


M8 – Versuchslauf 9-4b

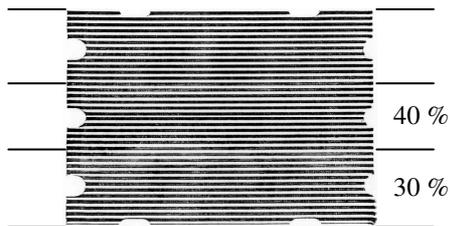
Beleimungspalette 1



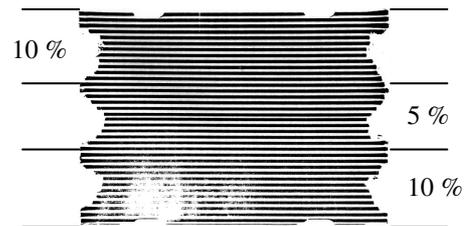
Beleimungspalette 2



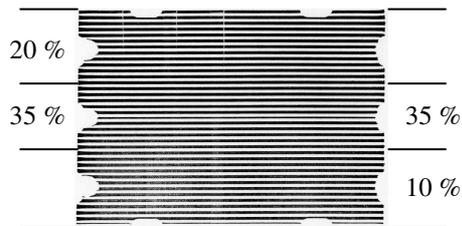
Beleimungspalette 3



Beleimungspalette 4

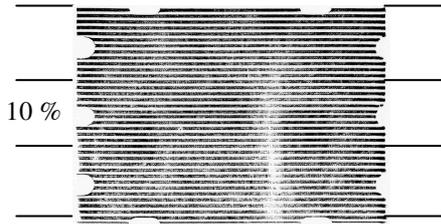


Beleimungspalette 5

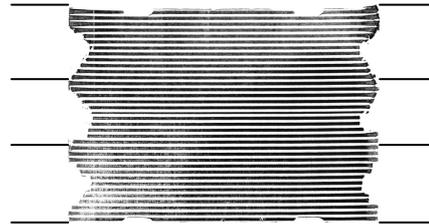


M9 – Versuchslauf 9-5a

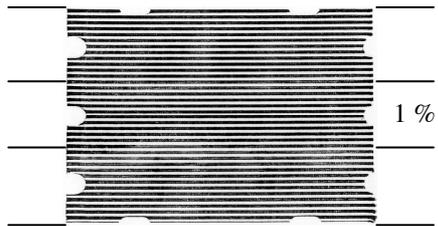
Beleimungspalette 1



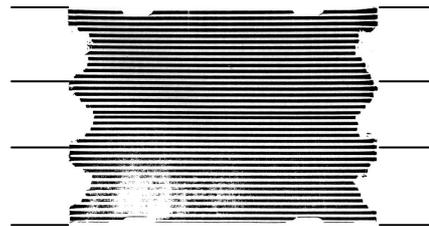
Beleimungspalette 2



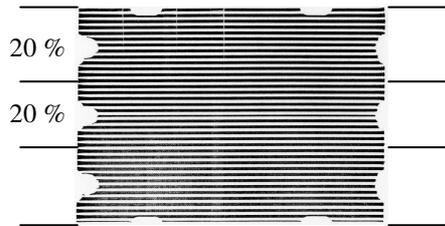
Beleimungspalette 3



Beleimungspalette 4

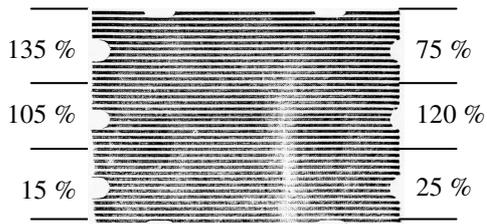


Beleimungspalette 5

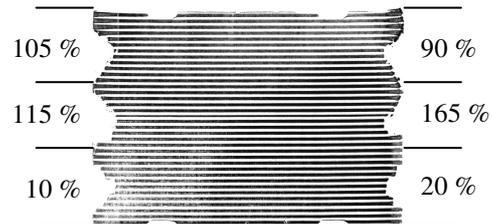


M9 – Versuchslauf 9-5b

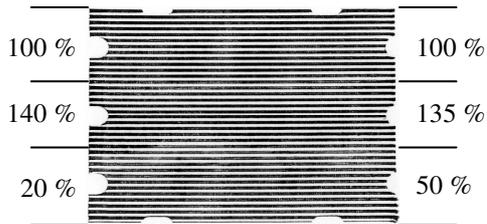
Beleimungspalette 1



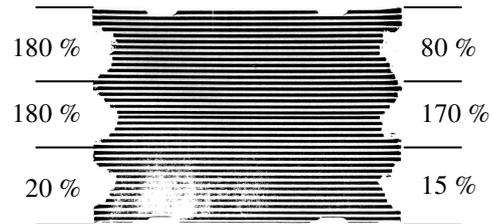
Beleimungspalette 2



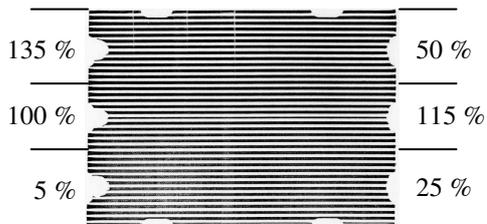
Beleimungspalette 3



Beleimungspalette 4

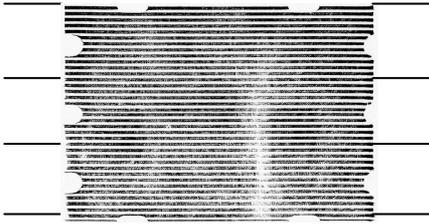


Beleimungspalette 5

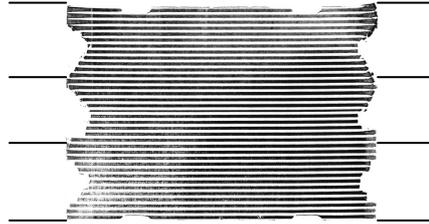


M10 – Versuchslauf 9-6

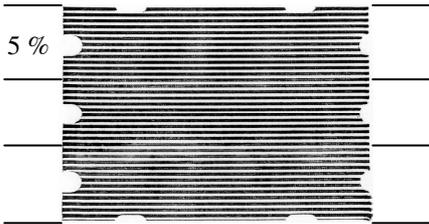
Beleimungspalette 1



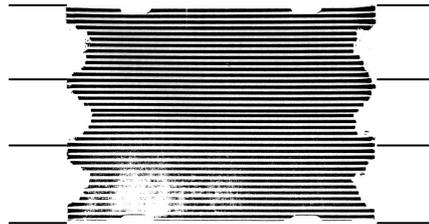
Beleimungspalette 2



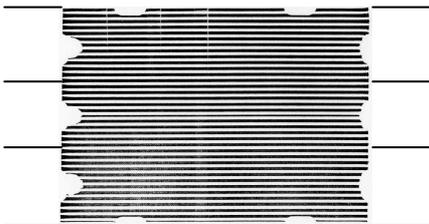
Beleimungspalette 3



Beleimungspalette 4

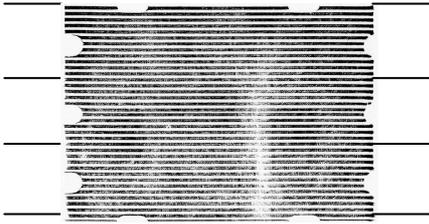


Beleimungspalette 5

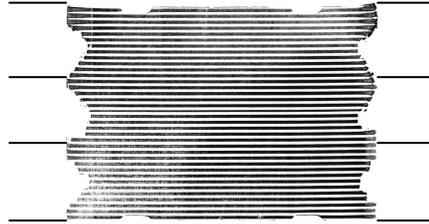


M11 – Versuchslauf 9-7

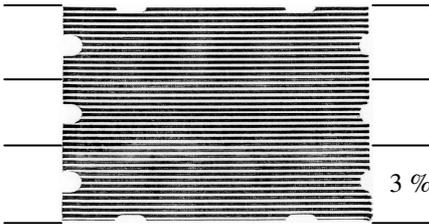
Beleimungspalette 1



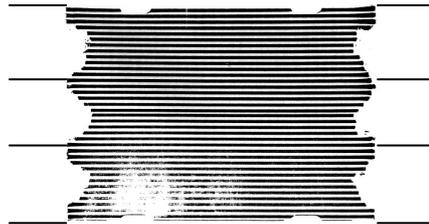
Beleimungspalette 2



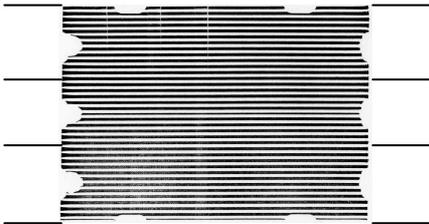
Beleimungspalette 3



Beleimungspalette 4

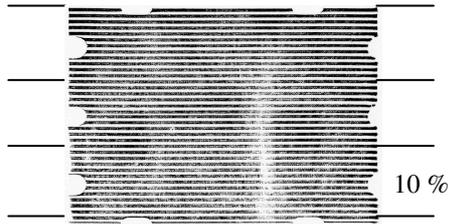


Beleimungspalette 5

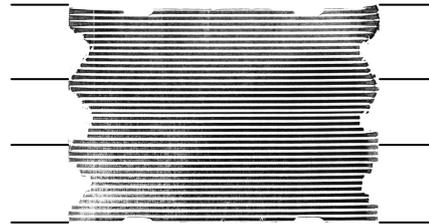


M12 – Versuchslauf 9-8a

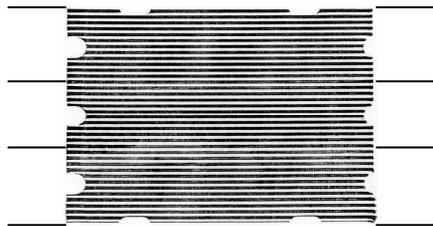
Beleimungspalette 1



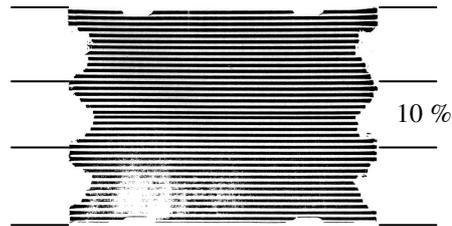
Beleimungspalette 2



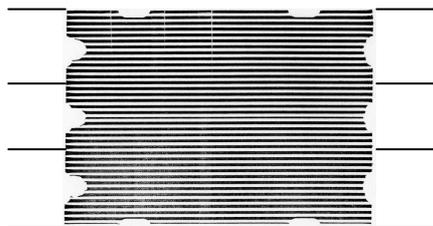
Beleimungspalette 3



Beleimungspalette 4

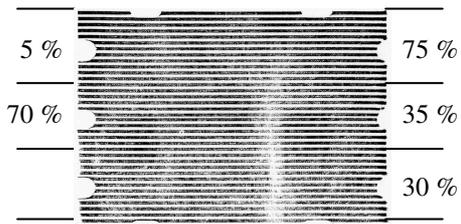


Beleimungspalette 5



M12 – Versuchslauf 9-8b

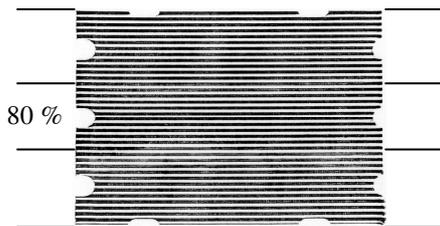
Beleimungspalette 1



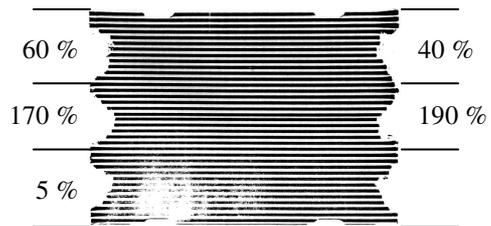
Beleimungspalette 2



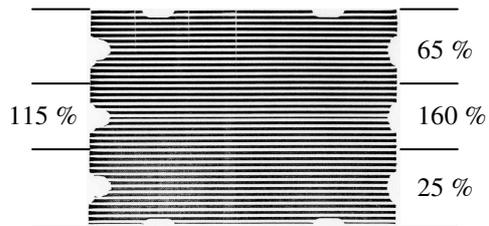
Beleimungspalette 3



Beleimungspalette 4



Beleimungspalette 5



11.18 Ergebnisse der Versuche im Labormaßstab

Versuchsreihe	Versuchsnummer	Abtrocknungsbedingungen	Rakelgeschwindigkeit	Schwitzwasserbildung	Überschwallung	Faltenbildung
1	1	23 °C, 35 % rF	1,5	nein	nein	
	2	23 °C, 35 % rF	1,5	nein	nein	
	3	23 °C, 35 % rF	1,5	nein	nein	
	4	23 °C, 35 % rF	1,5	nein	nein	
	5	23 °C, 35 % rF	1,5	nein	nein	
2	6	23 °C, 35 % rF	1,5	ja	nein	
	7	23 °C, 35 % rF	1,5	ja	nein	
	8	23 °C, 35 % rF	1,5	ja	nein	
	9	23 °C, 35 % rF	1,5	ja	nein	
	10	23 °C, 35 % rF	1,5	ja	nein	
3	11	23 °C, 35 % rF	1,5	nein	ja	
	12	23 °C, 35 % rF	1,5	nein	ja	
	13	23 °C, 35 % rF	1,5	nein	ja	
	14	23 °C, 35 % rF	1,5	nein	ja	
	15	23 °C, 35 % rF	1,5	nein	ja	
4	16	23 °C, 35 % rF	1,5	ja	ja	
	17	23 °C, 35 % rF	1,5	ja	ja	
	18	23 °C, 35 % rF	1,5	ja	ja	
	19	23 °C, 35 % rF	1,5	ja	ja	
	20	23 °C, 35 % rF	1,5	ja	ja	
5	21	23 °C, 35 % rF	3	nein	nein	
	22	23 °C, 35 % rF	3	nein	nein	
	23	23 °C, 35 % rF	3	nein	nein	
	24	23 °C, 35 % rF	3	nein	nein	
	25	23 °C, 35 % rF	3	nein	nein	
6	26	23 °C, 35 % rF	3	ja	nein	
	27	23 °C, 35 % rF	3	ja	nein	
	28	23 °C, 35 % rF	3	ja	nein	
	29	23 °C, 35 % rF	3	ja	nein	
	30	23 °C, 35 % rF	3	ja	nein	
7	31	23 °C, 35 % rF	3	nein	ja	
	32	23 °C, 35 % rF	3	nein	ja	
	33	23 °C, 35 % rF	3	nein	ja	
	34	23 °C, 35 % rF	3	nein	ja	
	35	23 °C, 35 % rF	3	nein	ja	
8	36	23 °C, 35 % rF	3	ja	ja	
	37	23 °C, 35 % rF	3	ja	ja	
	38	23 °C, 35 % rF	3	ja	ja	
	39	23 °C, 35 % rF	3	ja	ja	
	40	23 °C, 35 % rF	3	ja	ja	
9	41	23 °C, 35 % rF	6	nein	nein	
	42	23 °C, 35 % rF	6	nein	nein	
	43	23 °C, 35 % rF	6	nein	nein	
	44	23 °C, 35 % rF	6	nein	nein	
	45	23 °C, 35 % rF	6	nein	nein	
10	46	23 °C, 35 % rF	6	ja	nein	
	47	23 °C, 35 % rF	6	ja	nein	
	48	23 °C, 35 % rF	6	ja	nein	
	49	23 °C, 35 % rF	6	ja	nein	

Anhang

Versuchsreihe	Versuchsnummer	Abtrocknungsbedingungen	Rakelgeschwindigkeit	Schwitzwasserbildung	Überschwallung	Faltenbildung
	50	23 °C, 35 % rF	6	ja	nein	
11	51	23 °C, 35 % rF	6	nein	ja	
	52	23 °C, 35 % rF	6	nein	ja	
	53	23 °C, 35 % rF	6	nein	ja	
	54	23 °C, 35 % rF	6	nein	ja	
	55	23 °C, 35 % rF	6	nein	ja	
12	56	23 °C, 35 % rF	6	ja	ja	
	57	23 °C, 35 % rF	6	ja	ja	
	58	23 °C, 35 % rF	6	ja	ja	
	59	23 °C, 35 % rF	6	ja	ja	
	60	23 °C, 35 % rF	6	ja	ja	
13	61	18 °C, 80 % rF	1,5	nein	nein	
	62	18 °C, 80 % rF	1,5	nein	nein	
	63	18 °C, 80 % rF	1,5	nein	nein	
	64	18 °C, 80 % rF	1,5	nein	nein	
	65	18 °C, 80 % rF	1,5	nein	nein	
14	66	18 °C, 80 % rF	1,5	ja	nein	
	67	18 °C, 80 % rF	1,5	ja	nein	
	68	18 °C, 80 % rF	1,5	ja	nein	
	69	18 °C, 80 % rF	1,5	ja	nein	
	70	18 °C, 80 % rF	1,5	ja	nein	
15	71	18 °C, 80 % rF	1,5	nein	ja	
	72	18 °C, 80 % rF	1,5	nein	ja	ja
	73	18 °C, 80 % rF	1,5	nein	ja	ja
	74	18 °C, 80 % rF	1,5	nein	ja	
	75	18 °C, 80 % rF	1,5	nein	ja	ja
16	76	18 °C, 80 % rF	1,5	ja	ja	
	77	18 °C, 80 % rF	1,5	ja	ja	
	78	18 °C, 80 % rF	1,5	ja	ja	ja
	79	18 °C, 80 % rF	1,5	ja	ja	ja
	80	18 °C, 80 % rF	1,5	ja	ja	ja
17	81	18 °C, 80 % rF	3	nein	nein	
	82	18 °C, 80 % rF	3	nein	nein	
	83	18 °C, 80 % rF	3	nein	nein	
	84	18 °C, 80 % rF	3	nein	nein	
	85	18 °C, 80 % rF	3	nein	nein	ja
18	86	18 °C, 80 % rF	3	ja	nein	
	87	18 °C, 80 % rF	3	ja	nein	
	88	18 °C, 80 % rF	3	ja	nein	
	89	18 °C, 80 % rF	3	ja	nein	
	90	18 °C, 80 % rF	3	ja	nein	
19	91	18 °C, 80 % rF	3	nein	ja	
	92	18 °C, 80 % rF	3	nein	ja	
	93	18 °C, 80 % rF	3	nein	ja	
	94	18 °C, 80 % rF	3	nein	ja	
	95	18 °C, 80 % rF	3	nein	ja	
20	96	18 °C, 80 % rF	3	ja	ja	
	97	18 °C, 80 % rF	3	ja	ja	
	98	18 °C, 80 % rF	3	ja	ja	
	99	18 °C, 80 % rF	3	ja	ja	
	100	18 °C, 80 % rF	3	ja	ja	
21	101	18 °C, 80 % rF	6	nein	nein	

Anhang

Versuchsreihe	Versuchsnummer	Abtrocknungsbedingungen	Rakelgeschwindigkeit	Schwitzwasserbildung	Überschwallung	Faltenbildung
	102	18 °C, 80 % rF	6	nein	nein	
	103	18 °C, 80 % rF	6	nein	nein	
	104	18 °C, 80 % rF	6	nein	nein	
	105	18 °C, 80 % rF	6	nein	nein	
22	106	18 °C, 80 % rF	6	ja	nein	
	107	18 °C, 80 % rF	6	ja	nein	
	108	18 °C, 80 % rF	6	ja	nein	
	109	18 °C, 80 % rF	6	ja	nein	
	110	18 °C, 80 % rF	6	ja	nein	
23	111	18 °C, 80 % rF	6	nein	ja	
	112	18 °C, 80 % rF	6	nein	ja	
	113	18 °C, 80 % rF	6	nein	ja	
	114	18 °C, 80 % rF	6	nein	ja	
	115	18 °C, 80 % rF	6	nein	ja	
24	116	18 °C, 80 % rF	6	ja	ja	
	117	18 °C, 80 % rF	6	ja	ja	
	118	18 °C, 80 % rF	6	ja	ja	
	119	18 °C, 80 % rF	6	ja	ja	
	120	18 °C, 80 % rF	6	ja	ja	

