Wissenschaftsförderung
der Deutschen Brauwirtschaft e.V.

BERICHT

zu Forschungsvorhaben **B94**

Projekt-Nr.

☐ Zwischenbericht Nr.: _____

☒ Abschlußbericht

für den Zeitraum vom: 01.01.2007 bis: 28.01.2009

Thema:
Standardisierte Flaschenverschmutzung als Bewertungssystem zur Validierung von Flaschenreinigungsanlagen

Forschungsstelle:
Versuchs- und Lehranstalt für Brauerei in Berlin (VLB)
Seestr. 13

13353 Berlin

Leiter der Forschungsstelle:
Dipl.-Kfm Eberhard Weinmann/ Dr.-Ing. Josef Fontaine

Projektleiter:
Dipl.-Ing. Roland Pahl

Verfasser des Berichtes:
Dipl.-Ing. (FH) Alexander Birnstiel

Datum:
28.01.2009

1. ***wissenschaftlich-technische und wirtschaftliche Problemstellung*** 3
2. ***Zielsetzung*** 4
3. ***Ergebnisse*** 5
3.1. Arbeitspaket 1 - Durchführung eines Runden Tisches 5
3.2. Arbeitspaket 2 – Recherche von bestehenden Standardverschmutzungen . 5
3.3. Arbeitspaket 3 – Festlegung einer Standardverschmutzung 6
3.4. Arbeitspaket 4 – Differenzierung der Standardverschmutzung 10
3.5. Arbeitspaket 5 – Erarbeitung einer definierten Herstellung 11
3.6. Arbeitspaket 6 – Entwicklung einer definierten Aufbringung und Fixierung von Suspension 13
3.7. Arbeitspaket 7 – Erarbeitung der Grundlagen für eine visuelle Messwerterfassung 14
3.8. Arbeitspaket 8 – Beurteilung eines ganzheitlichen Bewertungssystems unter Einbeziehung der VLB-Dreisprung-Analytik 17
3.9. Arbeitspaket 9 – Praxistests 17
3.9.1. Durchführung 17
3.9.2. Ergebnisse Ringversuch, Sitzung vom 15.11.07 18
3.10. Arbeitspaket 10 – Gestaltung als Validierungsrichtlinie 19
3.11. Arbeitspaket 12 – Projektabschließende Phase 19
4. ***Gegenüberstellung von Ergebnissen und Zielsetzung*** 20
5. ***Nutzen der erzielten Ergebnisse*** 20
6. ***Literatur*** 22
7. ***Anhang*** 23
7.1. Übersicht über bestehende Standardverschmutzungen 23
7.2. Bewertungsschema 25
7.3. Anforderungen 26
7.4. Ergebnisse 27
7.5 Vorgaben Flaschendrehautomat 29

*1. **wissenschaftlich-technische und wirtschaftliche Problemstellung***

Zur technisch-energetischen Abnahme von Flaschenreinigungsanlagen werden die spezifischen Verbrauchswerte von Wasser, Reinigungschemikalien und Energie herangezogen. Darüber hinaus wird gegebenenfalls eine Bewertung der durch die Flascheninspektionsmaschine aussortierten Flaschen vorgenommen.

Eine Erfassung des durchschnittlichen Reinigungserfolges ist damit nicht gegeben, da der entsprechende Ressourcenverbrauch vom Reinigungsprozess an der Flasche entkoppelt erfasst wird. Der Ressourcenverbrauch kann nur unzureichend mit dem tatsächlichen durchschnittlichen Reinigungserfolg in Beziehung gesetzt werden, weil dieser vorausgesetzt wird, jedoch nicht präzise festgelegt und quantifiziert werden kann. Aussortierte Flaschen beschreiben darüber hinaus nur ein einzelnes Versagen, dessen Ursachen vielfältig sein können.

Aus diesem Vorgehen ergeben sich große Schwierigkeiten bezüglich der Validierung und Vergleichbarkeit von Reinigungsprozessen: Wenn es nicht möglich ist, den erzielten Reinigungserfolg direkt an der Flasche festzustellen, lassen sich auch keine diesbezüglichen Anforderungen durch den abfüllenden Betrieb formulieren.

Insbesondere ergibt sich die Notwendigkeit eines Bewertungsverfahrens mit dem eine kontinuierliche Beurteilung des Reinigungserfolges eines Reinigungsprozesses möglich ist. Im Rahmen von Anlagenabnahmen soll eine Validierung und Vergleichbarkeit von Reinigungsprozessen vorgenommen werden können.

Als Verfahren bietet sich das Konzept einer standardisiert verschmutzten Flasche an. Grundidee ist die Bewertung des Reinigungserfolges an der einzelnen Flasche, die den Reinigungsprozess durchlaufen hat, nachdem als Referenz eine definierte Verschmutzung eingebracht wurde. Diese ist so beschaffen, dass sie auch nach der Flaschenreinigung noch anhaftet, jedoch deutliche Spuren des Einwirkens, beispielsweise Fließspuren, die sich bei der Ausspritzung bilden, zeigt. Anhand der Restverschmutzung erfolgt die nachfolgende Untersuchung zum Reinigungserfolg. Dieser kann dann in Abhängigkeit von der angewendeten Untersuchungsmethode quantifiziert und klassifiziert werden, so dass damit auch eine Vergleichbarkeit des Prozesses gegeben ist.

An der einzelnen Flasche ergibt sich dabei die beste Möglichkeit für eine Bewertung des komplexen Prozesseinwirkens. Letztendlich muss auch an der einzelnen Flasche ein bestimmter Reinigungserfolg nachweisbar sein, damit sie weiter verwendet werden kann.

Da das Konzept viele Einsatzmöglichkeiten bietet, gibt es für die Standardverschmutzung diverse betriebsinterne Ansätze. Dies bezieht sich in erster Linie auf die Art und Weise der Verschmutzung und auf die Auswertung. Beispielhaft sei hier verwiesen auf die Verwendung von so genannten „Zement-“ oder „Maurerflaschen“[]; Flaschen werden teilweise auch mit Mikroorganismen oder Insekten kontaminiert oder zum Zweck der Anlagerung einer Verschmutzung bei Wind und Wetter auf dem Hof gelagert [10].

Da das Konzept an sich sehr vielfältig ist, kann es vielen verschiedenen Problemstellungen angepasst werden. Ein verbindliches anerkanntes Bewertungssystem für die Standardverschmutzung wurde dabei, soweit bekannt, noch nicht entwickelt. Es gab in der Vergangenheit verschiedentlich Ansätze bezüglich einer Standardverschmutzung, die noch Optimierungspotential aufweisen.

*2. **Zielsetzung***

Für das Projekt ergab sich folgende Zielsetzung: Es sollte eine umfassende Methodik entwickelt werden, mit der eine Beurteilung des Reinigungserfolges eines Reinigungsprozesses an der einzelnen Flasche mittels standardisiert verschmutzter Flasche möglich ist, die den Prozess durchläuft. Daraus ergaben sich folgende Entwicklungsschwerpunkte:

1. Ermittlung des aktuellen Wissensstandes: Da die Methodik einer Standardverschmutzung eine vielfältige Verwendung zulässt, gibt es bereits sehr verschiedene Anwendungen in den einzelnen Betrieben. Eine wirklich allgemein bekannte und anerkannte Konzeption gibt es nicht. Da im Rahmen des Projektes auch auf bereits bestehende Erfahrungen aufgebaut werden soll, muss zunächst der aktuelle Kenntnisstand zusammengetragen und formuliert werden.
2. Entwicklung einer Standardverschmutzung für ein Anforderungsprofil: Es soll eine Bewertung anhand der in der Flasche verbleibenden Restverschmutzung vorgenommen werden. Damit ist eine differenziertere Bewertung des Reinigungserfolgs möglich, als bei einer vollständigen Auslösung. Es soll ein entsprechendes Stufenmodell entwickelt werden, mit welchem eine Klassifizierung von Reinigungsprozessen nach ihrer Intensität ermöglicht wird. Aus Gründen des Arbeitsumfanges sollte zunächst nur ein Anforderungsprofil berücksichtigt werden. Das Anforderungsprofil ergibt sich dabei insbesondere aus der Verschmutzung, die der einzelne Betrieb in der Flaschenreinigung entfernen muss, die Arten der Verschmutzung unterscheiden sich dabei weltweit. Eine grobe Unterscheidung diesbezüglich stellt bereits die Nutzung von Einend- oder Zweiend-Reinigungsmaschinen dar. Zur Anwendbarkeit und allgemeinen Überprüfbarkeit sollten zunächst Verschmutzungsintensitäten und Anforderungen berücksichtigt werden, wie sie in Mitteleuropa auftreten.
3. Festlegung der Art und Weise der Aufbringung: Aufgrund der Vielfältigkeit des Konzeptes bestehen auch diverse Möglichkeiten zur Aufbringung einer Standardverschmutzung. Hier sollten verschiedene Möglichkeiten untersucht werden.
4. Entwicklung einer personenunabhängigen Bewertung: Ein bekanntes Problem, das für alle Arten von Standardverschmutzung besteht, ist die Art und Weise der Auswertung. Eine detaillierte Bewertung lässt sich anhand visuell erkennbarer Merkmale durchführen. Damit ist es möglich, einzelne Zonen der Flasche zu betrachten. Eine entsprechende Erfassung wird jedoch in der Regel mit bloßem Auge ausgeführt. Sie ist damit personenabhängig, tagesformabhängig und subjektiv. Es sollten Grundlagen für eine automatisierte Erfassung mit bereits bestehender Inspektionstechnik bzw. Analysentechnik erarbeitet werden. In diesem Projekt sollte untersucht werden, welche Phänomene zu erfassen sind und auf welche Art und Weise eine Quantifizierung vorgenommen werden kann.

In diesem Projekt sollte die Standardverschmutzung in den oben genannten Punkten eindeutig festgelegt werden. Damit sollte eine gute Realisierbarkeit und damit einhergehend die Vereinheitlichung der Methodik durchgesetzt werden.

*3. **Ergebnisse***

Die Bearbeitung der Projektinhalte erfolgte weitgehend wie vorab im Zeitplan und in den Arbeitspaketen definiert. Es ergaben sich im Verlauf der Projektarbeit teilweise abweichende Fragestellungen und Erkenntnisse, die in der weiteren Bearbeitung berücksichtigt wurden. In dem vorliegenden Bericht wird eine Zuordnung der Ergebnisse zu den vorab definierten Arbeitspaketen vorgenommen.

3.1. Arbeitspaket 1 - Durchführung eines Runden Tisches

Um eine breite Akzeptanz des entwickelten Verfahrens von Anfang zu erreichen, wurden die Projektinhalte begleitend mit Wissensträgern aus der deutschen Brauwirtschaft diskutiert. Einleitend wurde hierzu ein Runder Tisch im Februar 2007 durchgeführt. Die Diskussion wurde zu gegebenen Zeitpunkten mit entsprechendem Kenntnisstand weitergeführt. Auch diese Treffen waren der interessierten Fachindustrie zugänglich, da das gesamte Projekt vorwettbewerblichen Charakter hat. Im Rahmen des Runden Tisches wurden folgende Schwerpunkte diskutiert und für die Durchführung festgelegt:

Da über die Standardverschmutzung der Reinigungserfolg einer entsprechenden Maschine definiert werden soll, wurde diskutiert, das Konzept so zu gestalten, dass es zukünftig Bestandteil von Validierungen wird und in entsprechenden Regelwerken hinterlegt wird. Hierzu sollten im Rahmen des Projektes entsprechende Vorarbeiten durchgeführt werden.

Zunächst war der allgemeine Wissensstand zu ermitteln und zu formulieren. Es wurden von den Diskussionsteilnehmern bereits bekannte Rezepturen für Standardverschmutzungen zusammengetragen, es wurden weitere Ansprechpartner benannt und es wurden Möglichkeiten zur Bewertung diskutiert.

Aufgrund der Vielzahl der einzubeziehenden Themenbereiche wurde der Umfang für die Untersuchungen festgelegt. Die Methodik einer Standardverschmutzung sollte zunächst nur für die Beschreibung von Reinigungsergebnissen bei relativ leichten Verschmutzungsgraden des Leergutes entwickelt werden. Solche treten in den gemäßigten Regionen Mitteleuropas auf. Da insbesondere die deutsche Brauwirtschaft einbezogen wurde, sollte es somit allen Projektteilnehmern ermöglicht werden, die entsprechende Synthese anzuwenden und Erfahrungen zu sammeln und im Diskussionsprozess beizusteuern. Es wurde vereinbart, zunächst nur den Typus der NRW-Weißglasflasche in die Untersuchung einzubeziehen. Die NRW-Flaschenform weist einen harmonischen Übergang von Zylinder-, Schulter- und Halsbereich auf, bei dem deshalb keine großen Probleme bei der Ausspülung der Flaschen zu erwarten sind. Weißglas sollte Anwendung finden, da die entsprechende Auswertung zunächst noch nach dem bekannten Muster der visuellen Auswertung wie in [1] dargestellt, benutzt wurde, wobei eine transparente Flasche für das menschliche Auge leichter zu durchschauen ist, als eine farbige Flasche.
All diese Einschränkungen zielten darauf ab, mit der zu entwickelnden Verschmutzung insbesondere die Wirksamkeit der mechanischen Reinigungseffekte festzustellen. Diese werden in der Regel mit Spritzsystemen in den Kaskaden des Reinigungsprozesses realisiert. Die zu entwickelnde Standardverschmutzung sollte sich für eine detaillierte Auswertung durch den einwirkenden Reinigungsvorgang nicht vollständig aus der einzelnen Flasche herauslösen.

3.2. Arbeitspaket 2 – Recherche von bestehenden Standardverschmutzungen

Ergänzend zu den im Kick-Off-Meeting zusammengetragenen Konzepten wurde eine weitergehende Recherche nach bestehenden Konzepten durchgeführt. Es wurden dazu Informationen aus der spezifischen Fachliteratur, in Diplomarbeiten und Dissertationen zusammengetragen. Ebenfalls erfolgte eine Patentrecherche. Über die Projektteilnehmer wurden weitere Konzepte und Ideen zusammengetragen. Eine Übersicht findet sich im Anhang, Kapitel 7.1.

Aus den Rechercheergebnissen und der begleitenden Diskussion kann folgendes abgeleitet werden:

- Für eine gute Umsetzung muss die Verschmutzung an sich definiert sein. Eine sich zufällig anlagernde Verschmutzung ist nicht zulässig, da sie nicht reproduziert werden kann. Damit entfallen Verschmutzungen, die sich aufgrund der Lagerung an der frischen Luft anlagern bzw. auch solche, die explizit angezüchtet werden müssten, wie beispielsweise Schimmelpilze, da diese darüber hinaus auch eine Gesundheitsgefährdung darstellen.
- Allgemein findet sich das Konzept von standardisierten Verschmutzungen auch branchenübergreifend. Ähnliche Konzepte gibt es bspw. auch in der Galvanik und in der Medizintechnik. Es finden sich auch viele Analogien, die nicht als Standardverschmutzung entwickelt wurden, im Rahmen der Aufgabenstellung aber als solche interpretiert werden können.
- Im Brauerei-/Getränkebereich erreicht man eine gute Umsetzung mit Suspensionen, die im Überschuss in die Flasche eingebracht werden und danach an der Flaschenwand verteilt und angetrocknet werden. In der Regel werden leicht zu beschaffende Zutaten wie Brauhefe, Kieselgur, Stärke, Würze usw. verwendet, bei denen es sich um Inhalts- und Hilfsstoffe für den Brauvorgang handelt. Es ist jedoch zu beachten, dass die eingesetzten Stoffe als Grundstoffe für den Brauprozess keinesfalls einer normalerweise in der Flasche vorzufindenden späteren Verschmutzung entsprechen.
- Verschmutzungen bestehen in der Regel als Mehrstoffgemische. Es konnte festgestellt werden, dass die meisten bereits existierenden Standardverschmutzungen sich aus ähnlichen grundsätzlichen Komponenten zusammensetzen.
- Die visuelle Auswertung gestaltet sich bei allen Verschmutzungen schwierig, da es sich, wenn durchgeführt, um eine personenabhängige Auswertung handelt. Es wird ggf. eine Sichtkontrolle durchgeführt.
- Bei einigen Konzepten, bei denen keine visuelle Auswertung durchgeführt wird, erfolgt oft eine mikrobiologische Untersuchung. Dem liegt jedoch eine andere Prüfphilosophie zugrunde: Hier wird davon ausgegangen, dass die Standardverschmutzung vollständig aus den Testflaschen entfernt werden soll. Eine zufriedenstellende Reinigung wird festgestellt, wenn sich kein Mikroorganismenwachstum feststellen lässt.
- Eine alternative Art der Aufbringung stellt das Aufbringen als Aerosol dar. Dieses wird beispielsweise praktiziert bei der Einbringung von Sporensuspension bspw. bei Flaschen, die für eine mikrobiologische Überprüfung von aseptisch arbeitenden Anlagen verwendet werden sollen. Damit erhält man ebenfalls eine gleichmäßige Beschichtung auf der Flaschenwand. Definiert man eine Verschmutzung nach der Art der Aufbringung, kann im weiteren Sinn hierzu auch das Aufdampfen einer diamantähnlichen Kohlenstoffbeschichtung gezählt werden, welches als Patent existiert. Diese Beschichtung ist vordergründig nicht als Verschmutzung konzipiert, sondern als Oberflächenmodifizierung zur Verbesserung der Eigenschaften von Bauteilen in der Maschinentechnik. Vorteil dieser Methodik wäre eine absolut reproduzierbare gleichmäßige Beschichtung, die in ihren Ablösungseigenschaften einstellbar wäre. Hierbei handelt es sich um eine Lösung aus der Oberflächentechnik, die insbesondere für Bauteile entwickelt wurde, die einer starken mechanischen Reibbelastung ausgesetzt sind. Für die genannte Aufgabenstellung muss eine Anwendung entfallen, da diese Lösung mit einem hohen apparativen und Kostenaufwand verbunden wäre, der wahrscheinlich nicht tragbar ist. Die Beschichtung wurde als Verschmutzung nicht untersucht, die tatsächliche Anwendbarkeit als Standard bleibt deshalb fraglich.

3.3. Arbeitspaket 3 – Festlegung einer Standardverschmutzung

Es sollten zweckmäßige Konzepte identifiziert und ihre theoretischen Grundlagen verwertet werden. Dazu musste ein Vergleich der ermittelten Konzepte vorgenommen werden. Im Rahmen einer Studienarbeit [2] wurden hier relevante Parameter für die Bewertung erarbeitet und in einem Bewertungssystem zusammengefasst. Besonderes Augenmerk lag auf der Reproduzierbarkeit von präparierten Flaschen mit Standardverschmutzung, da dies auch von den am Projekt teilnehmenden Unternehmen

eingefordert worden war, siehe Ergebnisprotokoll der Sitzung vom 28.08.07 [11]. Die Vorlage und eine Erläuterung für das Bewertungsschema findet sich im Anhang, Kapitel 7.2.

Im Vergleich konnten mit dem entwickelten Bewertungsschema Schwachpunkte bzw. viel versprechende Lösungsansätze identifiziert werden. Ein Großteil der nunmehr bekannten Verschmutzungskonzepte war in praktischen Versuchen nachgebildet und bewertet worden. Ausgehend von ähnlichen stofflichen Zusammensetzungen wurden mehrere Versuchserien untersucht. Es ergab sich folgendes Bild:

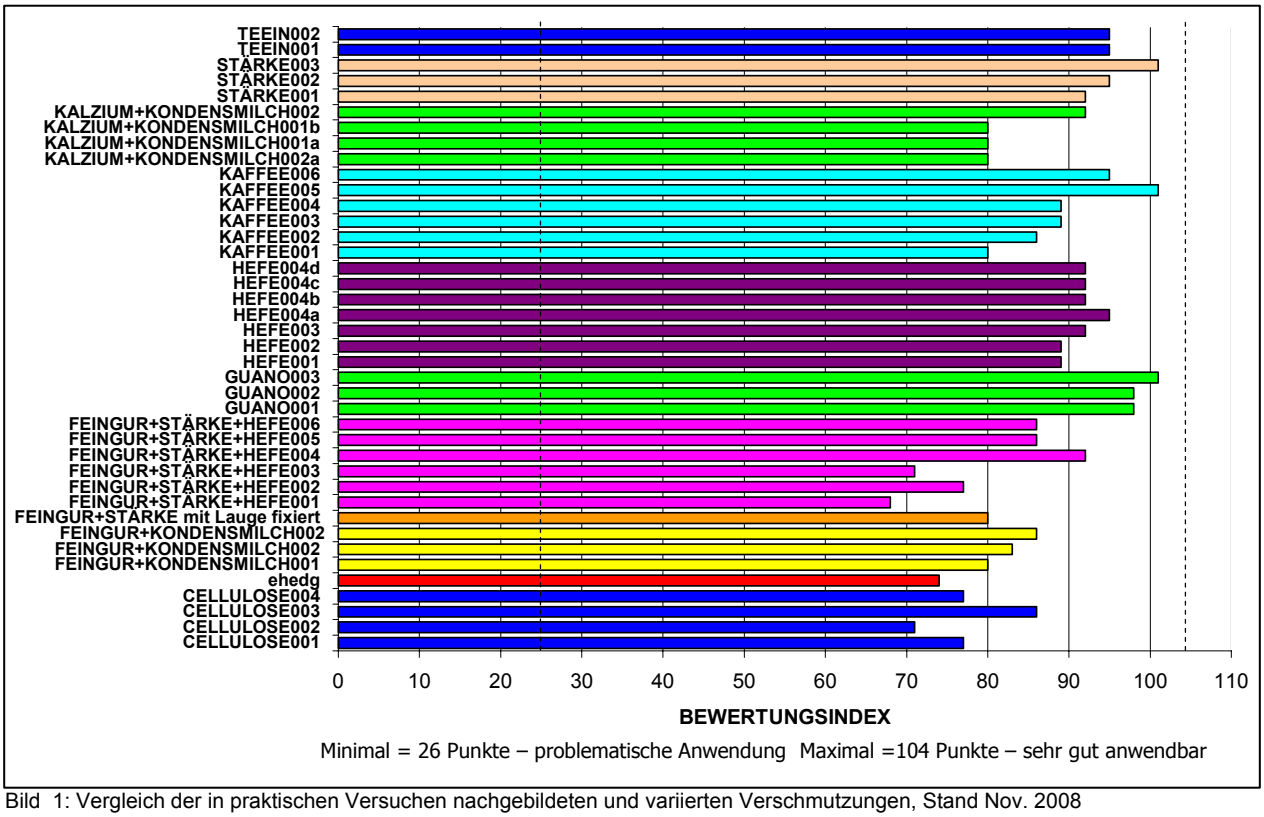

Bild 1: Vergleich der in praktischen Versuchen nachgebildeten und variierten Verschmutzungen, Stand Nov. 2008

Wie in Bild 1 dargestellt konnte für jede alternative Verschmutzung eine eindeutige Kennzahl ermittelt werden. Es ist erkennbar, dass im Verlauf der praktischen Versuche durch Variation bei den meisten Verschmutzungskonzepten innerhalb der Versuchsserien eine Verbesserung der geforderten Eigenschaften erreicht werden konnte. Relevant ist hier das Zusammenspiel von Herstellung, durchgeführter Reinigung und Art und Weise der Auswertung, wie in Bild 11 dargestellt. Relativ niedrige Kennzahlen wurden mit dem VLB-Standard (Verschmutzung Feingur + Stärke + Hefe) erzielt. Hier konnte zwar eine Verbesserung in kleinen Schritten realisiert werden, jedoch ergaben sich immer wieder Probleme mit der Reproduzierbarkeit der Ergebnisse, die nicht endgültig gelöst werden konnten. Gute Ergebnisse zeigten sich generell bei Verschmutzungen mit Kennzahlen > 90. Diese ließen sich relativ schnell und problemlos herstellen und sie erwiesen sich innerhalb der einzelnen hergestellten Serien als gut reproduzierbar. Die besten Ergebnisse mit Kennzahlen von jeweils 101 wurden mit Verschmutzungen erzielt, die als wichtigsten wirkenden Bestandteil Guano, Stärke bzw. Kaffee enthielten. Die besonders hohen Kennzahlen konnten aufgrund einer guten Restverschmutzung erzielt werden.

Im Laufe des Projektes konnte zwar eine anwendbare Standardverschmutzung entwickelt werden. Der gewünschte Umfang, die Entwicklung mehrerer sich ergänzender Standardverschmutzungen, konnte nicht realisiert werden. So ist es in diesem Projekt nicht im vollen Umfang gelungen, Zusammensetzungen zu entwickeln, die eine ausreichende Anhaftung gezeigt hätten, sodass auch nach der Einwirkung des Reinigungsprozesses eine differenzierte aber eindeutige Bewertung anhand einer

ausreichenden Restverschmutzung hätte vorgenommen werden können. Daher war es auch nicht in vollem Umfang möglich, das vorgesehene Stufenmodell, wie in 3.4 beschrieben, zu entwickeln.

Es konnten jedoch Tendenzen für zukünftige Standardverschmutzungen formuliert werden. So wurde versucht, die stofflichen Zusammensetzungen von Standardverschmutzungen zu erfassen und zu kategorisieren und anhand ihrer Haftintensität zu bewerten. Es konnten im „Rundumschlag“ verschiedenartige Stoffe untersucht und bewertet werden. Ein Vorschlag für eine zukünftige Charakterisierung hierzu kann Bild 2 entnommen werden.

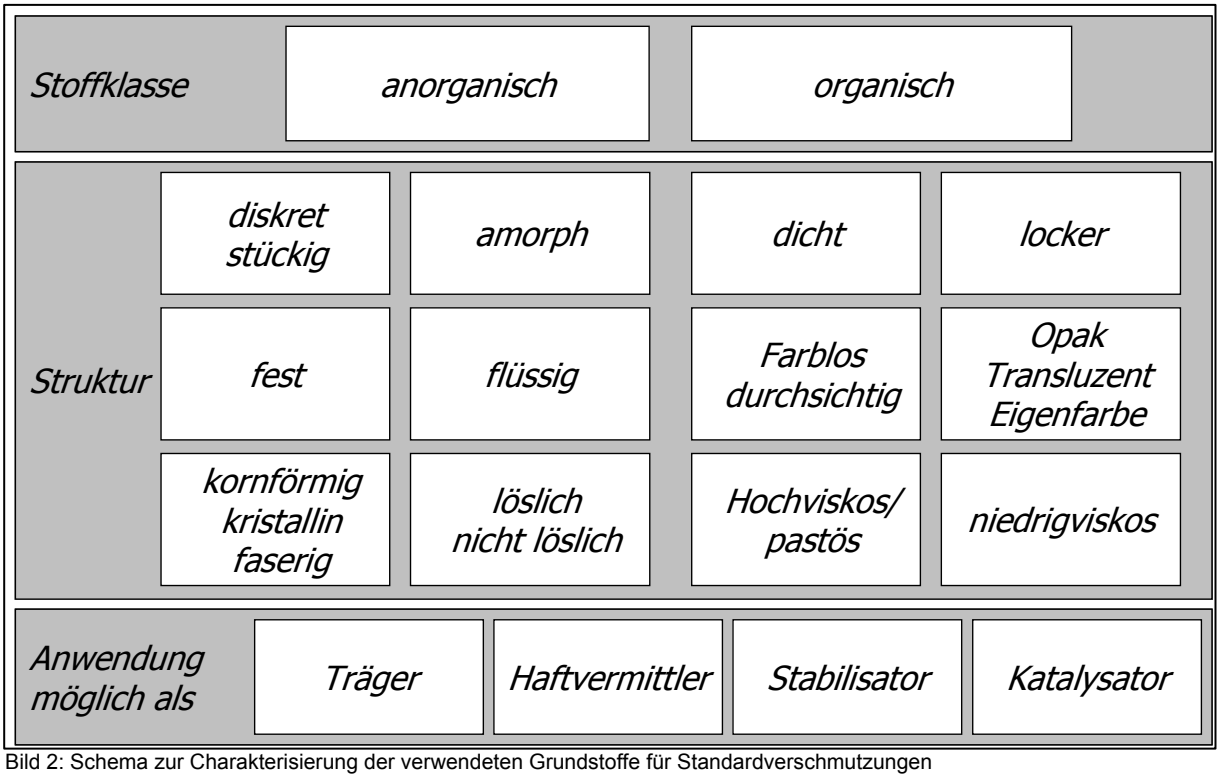

Bild 2: Schema zur Charakterisierung der verwendeten Grundstoffe für Standardverschmutzungen

Dargestellt sind mögliche Eigenschaftspaarungen, die eine Charakterisierung ermöglichen. Eine zweckmäßige Einschätzung wird anhand der Stoffklasse und der Struktur vorgenommen. Die Eigenschaften der zusammengesetzten Verschmutzung ergeben sich teilweise aus der Struktur der Einzelstoffe, die kombiniert werden. Sie lassen sich ebenfalls anhand der vorgegebenen Parameter einschätzen. Von den Stoffen, die im Rahmen der Versuche verwendet wurden, war lediglich bekannt, dass sie jeweils einzelne der aufgeführten Eigenschaften aufwiesen. Es bleibt zu untersuchen, welche Rolle der einzelne Stoff im Rahmen einer Stoffsuspension übernehmen kann.

Es bietet sich primär die Beschreibung der Stoffklasse - eine Aufteilung in organische/anorganische Bestandteile - an, da Verschmutzungen im realen Reinigungsprozess diesbezüglich die signifikantesten Unterschiede in physikalischen und chemischen Reaktionen zeigen und deren Abreinigung verschiedene Herangehensweisen erfordern.
Dies ist zu beachten, wenn man für eine Standardverschmutzung entsprechende Stoffe kombiniert. So kann es sein, dass eine eingebrachte organische Komponente, wie beispielsweise Mikroorganismen, zu großen Anteilen ausgetragen wird, da diese beispielsweise auf eine anorganische Beschichtung aufgebracht wurde, die im Reinigungsbad nicht löslich ist und unter Wärmeeinfluss ungleichmäßig abplatzt und so einen Großteil der Mikroorganismenverschmutzung mitreißt.
Organische Verschmutzungen können auf der anderen Seite z.B. auch Fette, Öle oder Eiweißstrukturen sein, die erst im Reinigungsbad und unter Temperatur ihre Struktur verändern, bspw. durch Verseifen und so zu einer Verfestigung der Verschmutzung führen.

Aus der Struktur ergibt sich auch das spezifische Verhalten bei der Verarbeitung einer Verschmutzung. Wichtig bei der Herstellung ist z.B. das Fließverhalten, da sich die Suspension gleichmäßig auf der Flaschenwand verteilen lassen und gut anhaften soll.
Diese Anforderung erscheint widersprüchlich, da eine gleichmäßige Verteilung eher bei dünnflüssigen Suspensionen gegeben ist, während hochviskose Lösungen besser an der Wandung anhaften und in den eigenen Versuchen auch höhere Resistenzen gegenüber dem Reinigungsprozess aufweisen. Diese Eigenschaften konnten teilweise beeinflusst werden, indem die Suspension beispielsweise unter erhöhter Temperatur in die Flaschen eingebracht wurde. Es zeigte sich jedoch in den praktischen Versuchen, dass es nicht möglich war, ein Temperaturfenster zu definieren bzw. die Temperatur während der Aufbringung präzis genug einzustellen und zu halten, da die Suspension in offenen Gefäßen hergestellt werden musste und teilweise in die Flaschen pipettiert wurde, wobei es zu einer nicht definierten Abkühlung kam. Hier ergaben sich Schwankungen um +/- 8 K, die auch negativen Einfluss auf das Fließverhalten und damit auf die Reproduzierbarkeit innerhalb von Serien hatten.
Die besten Resultate bezüglich der Aufbringung und Verteilung ließen sich mit Beimengungen von Stärke realisieren. Diese quillt in Flüssigkeiten unter Temperaturen von 70 °C bis 80 °C stark auf und verkleistert. Die Suspensionen konnten bei diesen Temperaturen gut in die Flaschen eingebracht und an der Wand verteilt werden, da sie noch ausreichend dünnflüssig waren. Die Flaschen wurden dann mit Hilfe eines Flaschendrehautomaten in Rotation gehalten, während dieser erfolgte eine Abkühlung und Anhaftung.

Die besten Ergebnisse bezüglich Anhaftung und Gleichmäßigkeit konnten mit Eiweißverschmutzungen mit Stärkeanteil erzielt werden. Konkret handelte es sich um eine Verschmutzung mit Guanodünger als Grundstoff in Kombination mit Maisstärke, aufgelöst in Lauge und destilliertem Wasser.
Vogelkot als Grundstoff mag zunächst ungewöhnlich erscheinen, der Einsatz im Lebensmittelbetrieb ist eventuell zu diskutieren. Es muss dabei aber stets berücksichtigt werden, dass auch Leergut allgemein sehr unterschiedliche, unter Umständen auch abwegige Verschmutzung aufweisen kann, die ebenfalls in einem Flaschenreinigungsprozess entfernt soll. Der Prozess ist erfahrungsgemäß auch robust genug und wird von extremen Einzelverschmutzungen nicht negativ verändert.

3.4. Arbeitspaket 4 – Differenzierung der Standardverschmutzung

Der im Projekt formulierte Ansatz sah vor, dass die zu entwickelnde Standardverschmutzung in Form eines „Baukastensystems“ entwickelt werden sollte. Da Reinigungsprozesse sehr vielfältig sind, war abzusehen, dass eine entsprechende Anpassung der Standardverschmutzung mit nur einer einzigen Rezeptur nicht möglich ist.
Anhand des Baukastensystems sollten verschiedene Standardverschmutzungen realisiert werden, die sich stufenweise, bei verschiedenen Intensitäten von Reinigungsprozessen auslösen sollten. Erst damit wäre eine genaue Klassifizierung von Reinigungsprozessen möglich, wie in Bild 3 dargestellt.

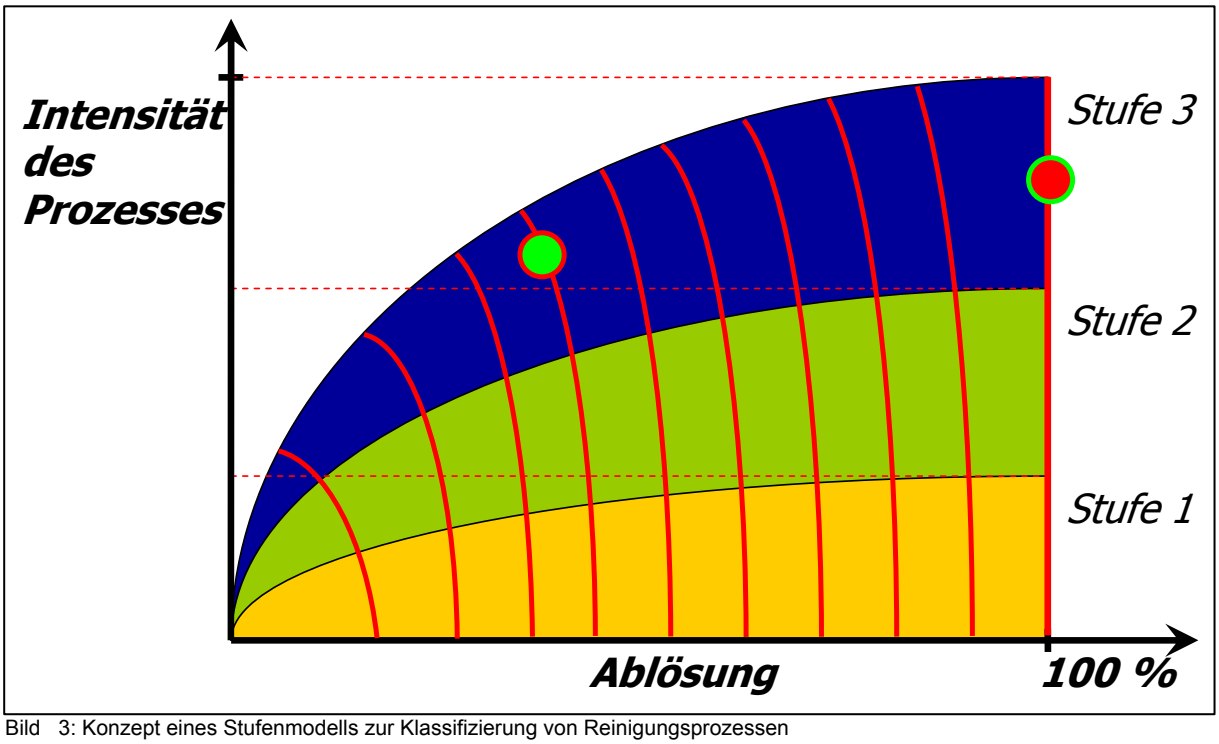

Bild 3: Konzept eines Stufenmodells zur Klassifizierung von Reinigungsprozessen

Im weiteren Sinn gibt es zwei Arten, die Prozessintensität anhand der Standardverschmutzung einzuschätzen [13], diese sind ebenfalls im **Bild 3** dargestellt:

1. Der Prozess wird als effektiv eingeschätzt, wenn sich nach der Reinigung keine Restverschmutzung in der Flasche zeigt. Dies entspricht einer Auslösung der Standardverschmutzung von 100 %. Der große Nachteil ist dabei, dass man bei Verwendung von nur einer Standardverschmutzung, wie derzeit üblich, nicht einschätzen kann, um wie viel die Intensität des Prozesses die Hartnäckigkeit der Standardverschmutzung und damit der realen Verschmutzung übertrifft. Es lassen sich nach derzeitigem Stand damit keine Optimierungspotentiale identifizieren.
2. Der Prozess wird anhand der Restverschmutzung graduell eingeschätzt. Dies kann anhand der Kennlinien erfolgen, die einzelne Ablösungsgrade darstellen. Bei dem dargestellten Beispiel werden drei sich ergänzende Standardverschmutzungen beurteilt. Die Stufen 1 bis 3 stellen die Intensität des einwirkenden Prozesses dar, wobei Stufe 1 eine niedrige einwirkende Intensität darstellt und Stufe 3 eine hohe Intensität. Die Standardverschmutzungen sind diesen Intensitäten durch verschieden hohe Hartnäckigkeiten angepasst. Diese Intensitäten lassen sich anhand der Parameterkombination aus dem SINNERschen Kreis beschreiben: Chemie, Temperatur, Einwirkdauer, Mechanische Effekte, zu reinigende Flaschen mit Material und Geometrie. Der einwirkende Reinigungsprozess weist im Beispiel eine Intensität der Stufe 3 auf, da die Standardverschmutzungen 1 und 2 vollständig ausgelöst werden und die

Standardverschmutzung mit der Haftintensität der Stufe 3 um 40 % auf 60 % Restverschmutzung reduziert wird.

Beide Methoden lassen sich theoretisch auch anhand einer einzigen Verschmutzung anwenden, allerdings müssen die genauen Parameter bekannt sein, bei der eine 100%ige Auslösung der Verschmutzung erfolgt, um überhaupt einen Vergleich anstellen zu können. Die entsprechenden Erfahrungswerte sind zu erarbeiten.

Es ist abzusehen, dass man die benötigten Erfahrungswerte vorerst nur durch iterative Annäherung ermitteln können wird. Um eine visuelle Auswertung wie gefordert vornehmen zu können, muss die Verschmutzung in ihrer Hartnäckigkeit der Intensität des einwirkenden Prozesses entsprechen. Hier besteht im Einzelfall nur eine kleine Schnittmenge wie in Bild 4 dargestellt.

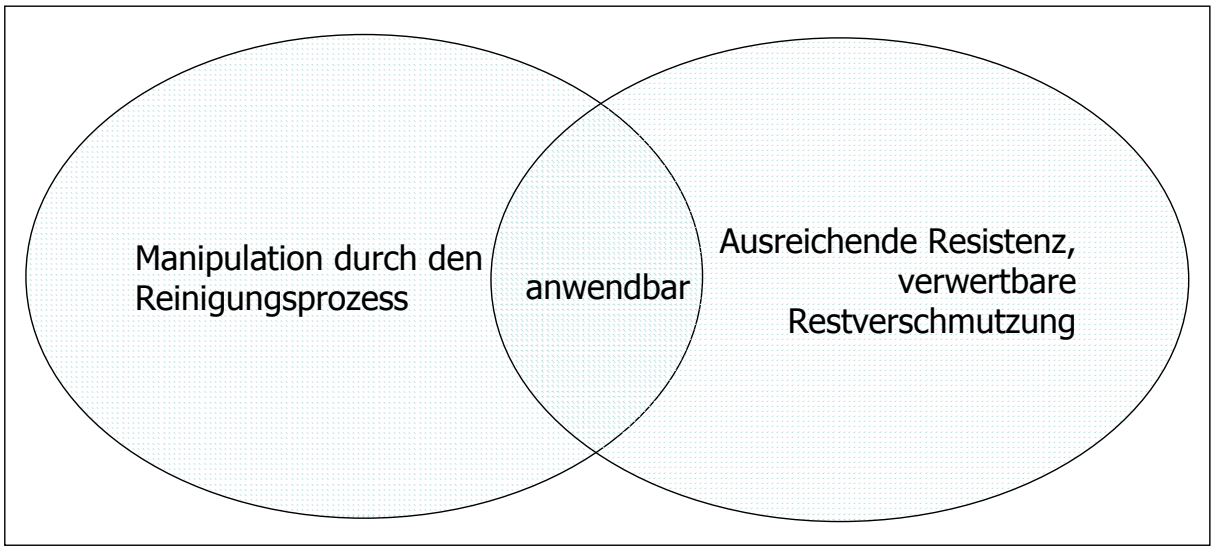

Bild 4: schematische Darstellung der Anforderungen an die zu entwickelnde Standardverschmutzung

Die Grundverschmutzung sollte aus Bausteinen/Modulen im Verlauf des Projektes entwickelt werden. Dies sollte eine kontinuierliche Entwicklung des Gesamtkonzeptes ermöglichen. Die Diskussion und Entwicklung der Bausteine sollte zu gegebener Zeit mit entsprechendem Erkenntnisstand erfolgen.

Probleme ergaben sich mit der Einstellung der Hartnäckigkeit der Verschmutzung. Hier konnte in den eigenen praktischen Versuchen kein entsprechender Fortschritt realisiert werden. Alle untersuchten Verschmutzungen wurden in derartiger Größenordnung ausgetragen, dass für eine angestrebte visuelle Auswertung nicht genügend Restverschmutzung im Flaschenkörper verblieb.

3.5. Arbeitspaket 5 – Erarbeitung einer definierten Herstellung

Nach dem ermittelten Stand der Technik werden Probenflaschen bei den meisten Konzepten von Hand hergestellt. Dies resultiert aus der relativ kleinen Anzahl von Flaschen von max. 50 bis 100 Stück/Versuch. Für den einzelnen Betrieb lohnt sich ein allzu großer Aufwand für die Herstellung anscheinend nicht. Die Art und Weise der Einbringung ist bei den meisten der ermittelten Konzepte gleich: Die Verschmutzung wird als Suspension eingebracht, i.d.R. handelt es sich um ein Stoffgemisch aus Wasser und anorganischen und/oder organischen Komponenten. Diese werden als Suspension im Überschuss in die Flasche eingebracht, d.h. es wird mehr Suspension eingegeben, als an der Flaschenwand anhaftet. Die Suspension wird durch eine entsprechende Orientierung und Bewegung der Flasche an der Wand verteilt, der Überschuss wird ausgegossen. Anschließend wird die anhaftende Suspension unter Temperatur eingetrocknet, die Flasche wird dann dem Reinigungsprozess zugeführt und ausgewertet. Aus dieser Methodik zur Herstellung ergibt sich letztendlich ein er-

heblicher kumulierter Zeit- und Arbeitsaufwand. Es wurde in den eigenen Versuchen ein zeitlicher Aufwand mit Personalbindung von 4 bis 10 min pro Flasche festgestellt.

Im Rahmen dieser Untersuchungen wurde zunächst versucht, Probenflaschen mit Hilfe alternativer Verfahren zu präparieren, auch um den kumulierten Zeitaufwand ggf. zu reduzieren. Als nicht durchführbar erwies sich die Verteilung von Suspension in Flaschen mit Hilfe eines Orbitalschüttlers, siehe Bild 5. Zwar wurde durch die realisierte Taumelbewegung eine Anhaftung von Suspension an jedem Punkt in der Flasche erreicht. Diese war aber ungleichmäßig. Aufgrund der relativ großen Laufgeschwindigkeit des Gerätes konnte auch kein Modus für eine ausreichende Restentleerung gefunden werden, da die Flasche unter Verschluss gehalten werden musste, während das Gerät lief.

Bild 5: Orbitalschüttler mit Testflasche mit Suspension

Als vielversprechend erwies sich zunächst die Aufbringung durch Einsprühen. Die Verschmutzung sollte dabei mittels Sprühpistole als Aerosol in mehreren Schichten übereinander in die Flasche eingebracht werden. Bei dieser Art der Aufbringung ist darauf zu achten, dass die Verschmutzung jeweils sehr dünn aufgetragen wird. Deshalb müssen mehrere Schichten übereinander aufgebracht werden. Die Eigenschaften der Standardverschmutzung sollten durch verschiedenartige Schichten, die übereinander aufgebracht wurden, „eingestellt“ werden. Es zeigte sich, dass in begrenztem Rahmen die Verschmutzungen sehr gleichmäßig aufgetragen werden konnten. Dennoch ist das beschriebene Verfahren für die eigenen Ziele ungeeignet und wurde deshalb nicht weiterverfolgt:

- Ab einer Anzahl von mehr als 12 Schichten entwickelten sich bei allen durchgeführten Versuchen ungleichmäßige Flächenbelegungen. Es zeigte sich, dass mit zunehmender Anzahl an Beschichtungen die Flächenbelegung ungleichmäßiger wurde. Oft bildeten sich mit zunehmender Anzahl an aufgebrachten Schichten immer schneller Fließspuren aus, die nicht verhindert werden konnten. Dies limitierte die Qualität dieser Verschmutzungen, da Schichten in entsprechender Anzahl aufzubringen sind, um eine haltbare Verschmutzung mit guten optischen Eigenschaften zu erhalten.
- Es besteht ein unverhältnismäßiger zeitlicher Aufwand, da die einzelnen Schichten nach dem Einsprühen angetrocknet werden müssen,
- Bei Einbringen von unterschiedlichen Stoffschichten übereinander ist die auszuwertende Restverschmutzung ungleichmäßig. Dies deutet auf eine ungleichmäßige Auslösung der einzelnen Schichten während der Reinigung hin, da die Stoffe in den einzelnen Schichten im Reinigungsprozess unterschiedlich reagieren. So kann es sein, dass Schichten abplatzen und darüber liegende Schichten mitreißen. Eine Vereinigung der Einzelschichten zu einer zusammenhängenden Schicht wurde bei keiner der eingesprühten Suspensionen beobachtet.

Parallel zu den oben beschriebenen Versuchen, wurde jedoch auch die konventionelle Methode der Aufbringung untersucht, wobei hier entscheidende Verbesserungen durch den Einsatz eines entsprechenden Automaten herbeigeführt werden konnten. Den größten Aufwand bei der Herstellung verur-

sacht die Rollbewegung zum Verteilen der Suspension in der Flasche. Diese sollte nach eigenen Erkenntnissen für alle Flaschen gleich ausgeführt werden, da aus der Art, Abfolge, Orientierung und Geschwindigkeit der Dreh- und Taumelbewegung das Anhaften der Suspension an der Flaschenoberfläche resultiert. Das In-Bewegung-halten der Probenflasche ist außerdem unabdingbar während die überschüssige Suspension aus der Flasche ausläuft, da sich anderenfalls Fließspuren innerhalb der Flasche ausbilden. Diese können bei einer visuellen Auswertung nach der Reinigung ggf. nicht mehr der Herstellung oder dem Einwirken des Reinigungsprozesses zugeordnet werden und sind deshalb zu vermeiden.

In den eigenen Versuchen zeigte sich, dass aus händischem Arbeiten innerhalb einer Serie von Flaschen tatsächlich unterschiedlich starke und unterschiedlich verteilte Anhaftungen in den Flaschen resultierten. Im Rahmen des Projektes wurde eine Vereinheitlichung und damit bessere Reproduzierbarkeit bei der Herstellung von Probenflaschen angestrebt. Das Verfahren konnte entscheidend verbessert werden, indem eine Maschine für die Ausführung der Rollbewegung entwickelt wurde, siehe **Bild 6** und **Bild 7**. Es handelt sich dabei um einen Tisch mit gummierten Walzen. Auf diese werden die Flaschen mit der Suspension in Richtung ihrer Längsachse gelegt. Die Walzen werden mittels Riemenantrieb durch einen Elektromotor in Drehbewegung gebracht und drehen damit die Flaschen samt Suspension. Gleichzeitig lässt sich der der Tisch quer dazu kippen und fixieren, sodass sich die Suspension im Bewegungszustand im oberen und unteren Teil der Flaschen verteilt. Zum Entleeren wird der Tisch in einen spitzen Winkel gekippt, sodass die Flaschen fast auf die Mündung gestellt werden und restliche Suspension durch diese ausläuft und in einer Rinne aufgefangen wird. Damit ließen sich sehr gleichmäßige Ergebnisse bei der Herstellung erzielen.

Zum konkreten Einbringen empfiehlt sich, die Suspension ggf. mit Hilfe eines Trichters in die Flasche zu gießen, insbesondere bei dickflüssigen Stoffgemischen, und nicht einzupipettieren, da es relativ schnell zu einer Entmischung kommen kann und insbesondere die größeren und gröberen Stoffpartien in der Pipette verbleiben.

Bild 6: Flaschendrehautomat, Gummiwalzen auf Tisch gekippt

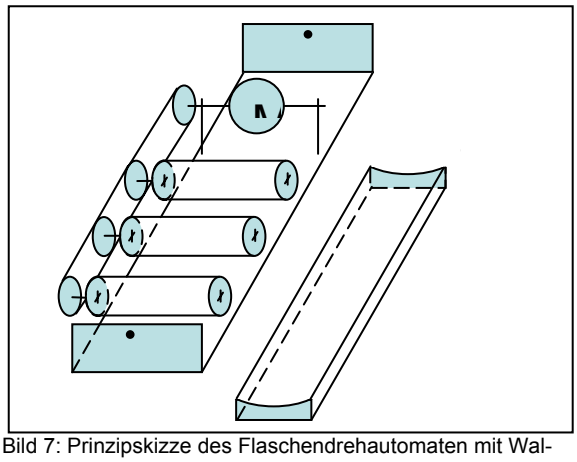

Bild 7: Prinzipskizze des Flaschendrehautomaten mit Walzen, Antrieb, Tisch und Auffangrinne

Letztendlich konnten durch Optimierung der konventionellen Methodik der Aufbringung gute Ergebnisse erzielt werden.

3.6. Arbeitspaket 6 – Entwicklung einer definierten Aufbringung und Fixierung von Suspension

Es konnte wie beschrieben das Verfahren für die Aufbringung und Verteilung von Stoffsuspension optimiert werden. Im Rahmen des Projektes wurden ebenfalls Möglichkeiten untersucht, eine stärkere Anhaftung der Verschmutzung zu erreichen. Soltau gibt als Möglichkeiten verschiedene Behandlungen der Probenflaschen mit Lauge vor [1]:

1. Laugefixierung: Nachdem die Probenflaschen mit der Standardverschmutzung versehen worden sind und nachdem diese eingetrocknet ist, wird ein Volumen von 10 ml Lauge eingebracht

und analog an der Flaschenwand verteilt. Diese Beschichtung wird ebenfalls eingetrocknet. Man erhält i.d.R. eine wischfeste Beschichtung der Flaschen.

2. Vorbehandlung mit Lauge: Die zu verwendenden Flaschen werden in Lauge gekocht und erst danach mit der Suspension versehen. Lauge greift bei längerem Einwirken das Glas an und raut die Oberfläche auf. Für nachvollziehbare Ergebnisse müssen alle Flaschen der Lauge über genau den gleichen Zeitraum ausgesetzt werden. Soltau gibt zwei Stunden bei 80 °C bei einer Laugenkonzentration von 1,5% vor.

In den durchgeführten Untersuchungen wurden befriedigende Ergebnisse auch mit diesen Behandlungen erzielt:

3. Einbringen von Lauge in die verwendete Suspension: Diese Behandlung stellt eine Kombination der oben beschriebenen Verfahrensschritte dar. Es wird bei verringertem Wasseranteil in der Stoffsuspension ein Teil Lauge in der Größenordnung von 10 % bis 20 % eingebracht.

4. Fixierung mit Ölfilm: Es wurde festgestellt, dass Verschmutzungen unter Einfluss von Temperatur und Chemikalien eine Veränderung in ihrer Struktur, teilweise eine Verfestigung erfahren. Gute Ergebnisse ließen sich durch Einbringen eines Ölfilmes realisieren, der analog zur Laugefixierung auf der Verschmutzung eingetrocknet wurde und mit dieser scheinbar eine Reaktion einging. Insbesondere bei der Guano-Verschmutzung konnten dadurch noch weiter verbesserte Anhaftungen realisiert werden.

Es bleibt festzuhalten, dass die Vorbehandlung von Flaschen in zukünftigen Untersuchungen noch intensiver untersucht werden sollte, da durch entsprechende Präparation der Probenkörper verbesserte Anhaftungen zu erwarten sind. Eindeutig reproduzierbare und wiederholbare Ergebnisse lassen sich mit der in Kapitel 3.5 beschriebenen Methodik erzielen.

3.7. Arbeitspaket 7 – Erarbeitung der Grundlagen für eine visuelle Messwerterfassung

Im Laufe des Reinigungsprozesses erfährt die Standardverschmutzung intensive Einwirkungen, die die Erscheinung der Restverschmutzung prägen. Zwei Phänomene lassen sich im Regelfall feststellen: Es kommt durch die Reinigung zu einer Verringerung des Belages, und, wo Restverschmutzung verbleibt, bilden sich Fließspuren aus. Der Belag verringert sich i.d.R. gleichmäßig, er wird insbesondere im Laugenbad aufgeweicht und durch eine vorhandene Strömung ausgetragen.

Fließspuren bilden sich durch unterschiedlich intensives Einwirken der Spritzung aus. Der Innenraum der Flasche wird dabei stets nur annähernd gleichmäßig erfasst. Sowohl bei Dreh- (quer/längs zur Maschinenlaufrichtung = “Spritzachse“) als auch Taktspritzung (Boden/Schulter) bestehen Unterschiede zwischen den einzelnen Regionen der Flasche. Fließspuren entstehen in Bereichen, in denen nach dem Laugenbad noch Verschmutzung vorhanden ist. Gründe hierfür können sein, dass diese nicht ausreichend aufgeweicht ist, um mechanisch vollständig abgelöst zu werden, was im Fall der Standardverschmutzung wünschenswert ist, dass der Spritzdruck zu schwach ist oder das Volumen der Spritzflüssigkeit zu klein. Das Phänomen kann auch auftreten in einem Bereich der Flasche, der nicht direkt von der Spritzung erfasst werden kann, beispielsweise aufgrund einer ausgeprägten Schulterrundung. Auf derartigen Flächen lassen sich Materialansammlungen, Verdichtungen, aber auch großflächige Mäander feststellen.

Die beschriebenen Phänomene „Verringerung des Belages“ und „Fließspuren“ gehen fließend ineinander über und bilden für die einzelne Flasche ein spezifisches Muster. Gemeinsamkeiten lassen sich dann statistisch, im Vergleich mehrerer Flaschen einer Serie ermitteln, womit im Umkehrschluss das Einwirken des Reinigungsprozesses erfasst wird.

Wie bereits auf der Sitzung vom 07.02.07 festgelegt wurde, sollte die Auswertung des Reinigungserfolges visuell anhand der verbliebenen Restverschmutzung vorgenommen werden. Hierzu hatte Soltau im Rahmen seiner Arbeit [1] bereits eine Systematik entwickelt. Diese ist in Bild 8

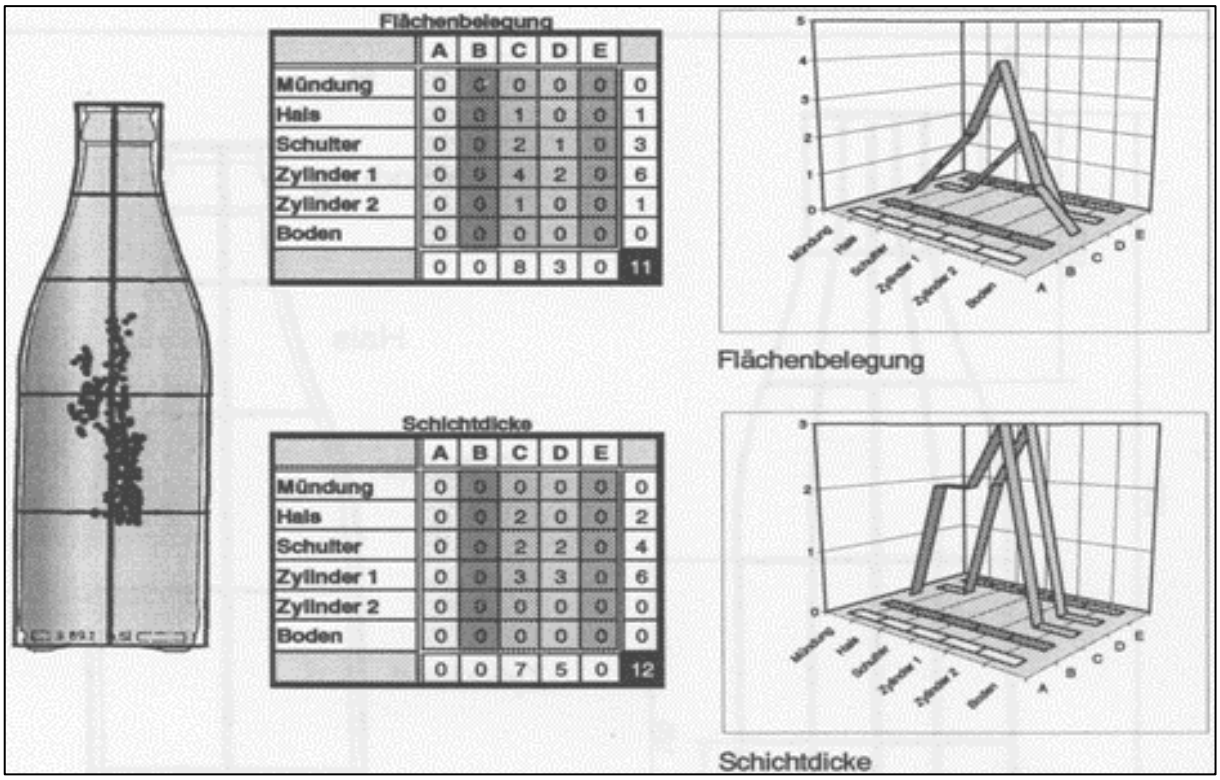

Bild 8: visuelle Bewertung - Schema nach Soltau

dargestellt. Bei dieser Art der Auswertung wird die Flasche in mehrere Sektoren eingeteilt. Jeder dieser Sektoren wird anhand der Parameter Flächenbelegung und Schichtdicke beurteilt und mit einer Kennzahl versehen. Es lassen sich so die Reinigungserfolge in den einzelnen Regionen der Flasche feststellen. Die Flächenbelegung beschreibt das Verhältnis der freigespülten zur mit Verschmutzung belegten Fläche pro Sektor in der Ebene der Flascheninnenwand. Letztere ist umso größer, je mehr Restverschmutzung im einzelnen Sektor festgestellt wird.

Die Schichtdicke beschreibt das „Sich-Auftürmen“ von Partikeln senkrecht zur Flaschen-Innenwand. Im Regelfall findet eine Verringerung statt, wie oben beschrieben, es kann jedoch auch sein, dass sich Material ansammelt und verdickt, insbesondere in dem Fall, dass in einem Sektor Restverschmutzung vorhanden ist und sich Fließspuren ausgebildet haben.

Die beschriebene Art der Auswertung wurde weiter verfolgt. Große Schwachstelle der visuellen Auswertung ist, wie beschrieben, die Messwerterfassung mit dem bloßen Auge. Eine diesbezügliche Automatisierung konnte durch den Einsatz des an der VLB Berlin vorhandenen Leerflascheninspektors der Firma Heuft umgesetzt werden. Die Anwendung wurde ohne nennenswerte Modifikationen an dem System realisiert, die konkrete Anwendung gestaltet sich wie folgt: Zur Auswertung wird insbesondere die Seitenwandinspektion herangezogen. Die einzelne Flasche wird mit einer Kamera und einem Spiegelkabinett in vier um 90 ° versetzten Einzelbildern rundherum erfasst, wie in Bild 9 dargestellt. Mit Hilfe von so genannten Masken kann eine Einteilung der Flasche in Regionen vorgenommen werden. Diese Masken sind frei programmierbar, für die eigenen Untersuchungen wurden jedoch vorgegebene Masken verwendet. Die Software des Leerflascheninspektors nimmt für die einzelnen Maskenflächen eine Pixelzählung und eine Unterscheidung der erfassten Pixel nach den Grauwerten vor.

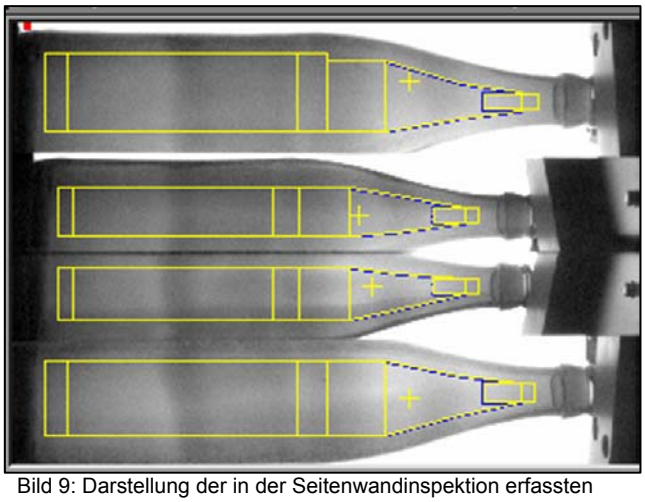

Bild 9: Darstellung der in der Seitenwandinspektion erfassten standardisiert verschmutzten Flaschen

Anhand der Grauwerte wird in acht Abstufungen zwischen semi-transparenten und nicht transparenten Restverschmutzungen unterschieden. Dies entspricht der Erfassung der Flächenbelegung und der Schichtdicke. Mit der Pixelzählung lassen sich auch diskrete optische Objekte erfassen, so bspw. auch Strukturen einer Restverschmutzung wie Fließspuren. Die entsprechenden Zahlenwerte lassen sich gut weiterverarbeiten. Anhand des Vergleiches der an einer Flasche ermittelten Zahlenwerte vor und nach der Reinigung lässt sich der Reinigungserfolg als Wirkungsgrad feststellen. Abzuziehen ist die Pixelanzahl bei Neuglas, diese stellt ein mögliches grundsätzlich vorhandenes Rauschen dar.

Es gilt:

$$\frac{\text{(Pixelanzahl nach der Reinigung)} - \text{(Pixelanzahl bei Neuglas)}}{\text{(Pixelanzahl vor der Reinigung)} - \text{(Pixelanzahl bei Neuglas)}}$$

Es ist festzustellen, dass für eine Durchführung ausreichend Restverschmutzung vorhanden sein muss. Eine Auswertung und Erfassung ist möglich, solange man auch mit dem bloßen Auge noch eine Verschmutzung erkennen kann.

Es bleibt zu diskutieren, ob die beschriebene Art der Auswertung allgemein angewendet werden kann und soll. Nicht in jedem Betrieb stehen entsprechende Flascheninspektionssysteme zur Verfügung. Denkbar ist hier die Schaffung und Anwendung einer Referenz, bspw. anhand von Fotoserien zum Vergleich. Grenzfälle könnten immer noch mit dem System an der VLB Berlin untersucht werden. Ein entgültiger Konsens konnte in den projektbegleitenden Diskussionen noch nicht gefunden werden.

Es wurde jedoch diskutiert in ähnlicher Weise die Restverschmutzung mit Hilfe eines Partikelzählsystems zu erfassen. Vorteile der Anwendung sind die Mobilität des Messgerätes und die grobe Unterscheidung in organische und anorganische Komponenten anhand der Verteilung von Partikeln in den einzelnen Größenklassen. Aus dem Verfahren ergeben sich trotzdem grundsätzliche Unterschiede. Entsprechende Untersuchungen wurden im Rahmen einer Studienarbeit durchgeführt. Zur Anwendung kam das Pamas System 31, ein Partikelzählsystem für Flüssigkeiten, als Leihgabe von der Firma Krones.

Grundsätzlich kann die Partikelzählung zur Auswertung herangezogen werden. Es wird eine Untersuchung anhand eines in die Flasche eingebrachten Lösemittels, bidestilliertes Wasser, ggf. mit Beimengung von Ethanol, vorgenommen. Für die eigene Arbeit wurde die Partikelzählung insbesondere auch zur Entwicklung von eigenen Rezepturen von Standardverschmutzungen benutzt, da die eingebrachten Partikel verschiedener Grundstoffe sich gut anhand der Größenverteilung wiederfinden ließen und es so möglich war, die spezifische Anhaftung jener Stoffe grob zu ermitteln.

Zur Auswertung gilt:

$$\frac{\text{(Partikelanzahl nach der Reinigung) – (Partikelanzahl bei Neuglas)}}{\text{(Partikelanzahl vor der Reinigung) – (Partikelanzahl bei Neuglas)}}$$

Die Auswertung kann bei Flaschen vorgenommen werden, bei denen aufgrund der geringen Restverschmutzung schon keine optische Erfassung mehr möglich ist. Es bleibt jedoch zu beachten, dass bei einer geringen Restverschmutzung eine größere Streuung in den Ergebnissen besteht. Es wurden Restverschmutzungen in der Größenordnung von 0,5 % bis 3 % gemäß obiger Formel festgestellt [17]. Es besteht im Vergleich dazu ein relativ großes Grundrauschen von ca. 1 %. Die Präzision der Ergebnisse ist außerdem abhängig von der Definition der Größenklassen.

3.8. Arbeitspaket 8 – Beurteilung eines ganzheitlichen Bewertungssystems unter Einbeziehung der VLB-Dreisprung-Analytik

In diesem Arbeitspaket sollte ein Bewertungskonzept entworfen werden, welches das Konzept der standardverschmutzten Flasche und der VLB-Dreisprung-Analytik miteinander in Beziehung setzt. Es ist klar, dass zwischen chemischen und mechanischen Reinigungseffekten eine Korrelation besteht. Mechanische Effekte haben, auch wenn sie nur lokal einwirken, einen globalen Einfluss auf die chemische Reinheit der Flasche.

In den Recherchen zum Projekt wurde festgestellt, dass in den Betrieben bei Anwendung einer Standardverschmutzung zur Auswertung oft auch eine chemisch-biologische Analyse erfolgt, z.B. in den Kaskaden der Waschmaschine oder an der einzelnen Flasche. Die Art und Weise der chemisch-biologischen Auswertung ist vielfältig und sollte dem einzelnen Betrieb überlassen bleiben, da dieser seine eigenen Gegebenheiten vor Ort und die eigenen Anforderungen sicherlich am besten formulieren kann. Es wurde als nicht sinnvoll herausgestellt, hier weitergehende Festlegungen im Rahmen des Projektes zu erarbeiten.

Eine Auswertung in Form der VLB-Dreisprung-Analyse ist sicherlich sinnvoll, da die Restschmutzfracht erfasst und anhand der vorgegebenen Parameter eingehend charakterisiert werden kann.

3.9. Arbeitspaket 9 – Praxistests

3.9.1. Durchführung

Im Rahmen der praktischen Arbeit wurden die ermittelten Verschmutzungskonzepte nachgebildet und teilweise variiert. Umsetzbare Lösungen wurden einer maschinellen Flaschenreinigung zugeführt. Damit in Zusammenhang wurden die Flaschen anhand des entwickelten Schemas bewertet. Schließlich erfolgte eine weitergehende Auswertung primär mit dem Leerflascheninspektor. Diese Art der Auswertung war am besten geeignet. Der Ablauf der praktischen Versuche ist in Bild 10 dargestellt.

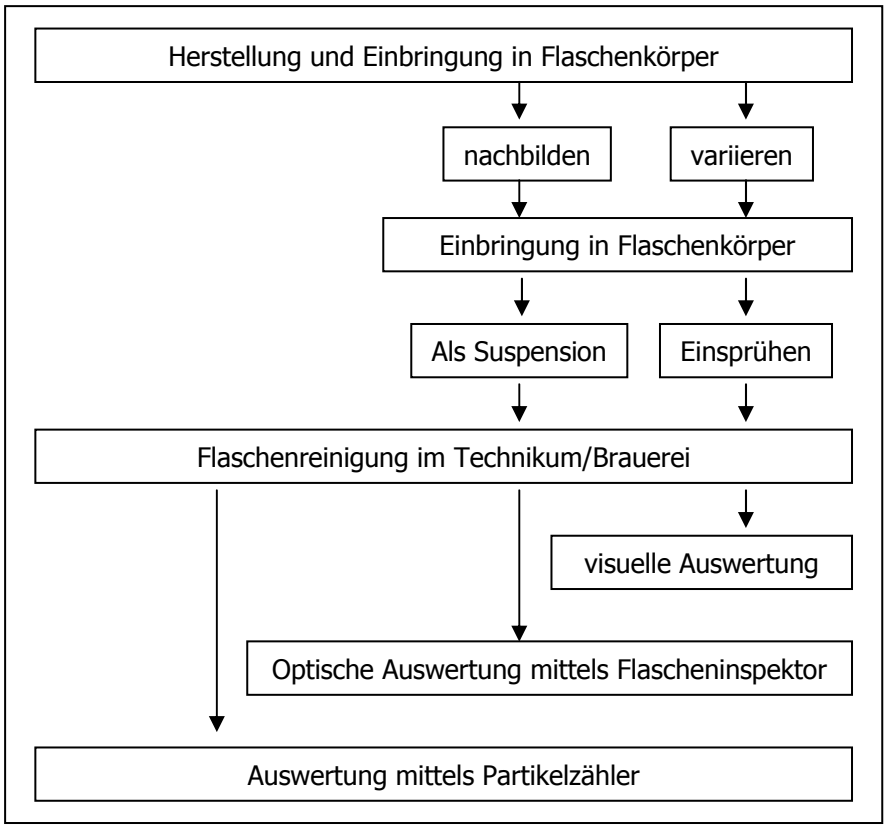

Bild 10: schematischer Ablauf der durchgeführten praktischen Versuche

Alle Versuche wurden an Neuglasflaschen durchgeführt. Es sollte davon ausgegangen werden, dass alle Flaschen den gleichen Abnutzungsgrad aufweisen, was bei bereits benutzten Glasflaschen nicht nachvollziehbar ist. Teilweise konnte die Verschmutzung an diesen Neuglasflaschen jedoch nicht gleichmäßig aufgebracht werden. Dazu wird vermutet, dass die Neuglasflaschen eine zu glatte Oberfläche aufweisen, die erst im Laufe des Lebenszyklus der Flasche soweit aufraut, dass eine gute gleichmäßige Anhaftung innerhalb des Flaschenkörpers gegeben ist. Derartiges konnte zufällig an älteren Flaschen beobachtet werden, die für einen der Versuche zum Vergleich verwendet worden waren. Das Phänomen wurde nicht eingehend untersucht. Es wurden darauf aufbauend alle Neuglasflaschen vor ihrer Verwendung in einem Laugebad über einen definierten Zeitraum gekocht, in der Annahme, eine ausreichende Aufrauung der Oberfläche zu erhalten.

Als problematisch erwies sich die vielschichtige und aufwendige Prozedur der Herstellung, Behandlung im Reinigungsprozess und Auswertung, bis ein verwertbares Ergebnis der einzelnen Untersuchung festgestellt werden konnte. Neue Erkenntnisse und ggf. Veränderungen in den einzelnen Verfahrensschritten konnten deshalb nur in danach und separat angesetzten Versuchsreihen bearbeitet werden.

3.9.2. Ergebnisse Ringversuch, Sitzung vom 15.11.07

Wenig Erfolg hatte der durchgeführte Ringversuch. Mit diesem sollte die mögliche allgemeine Anwendbarkeit von den entwickelten Standardverschmutzungen untersucht werden. Es war diskutiert worden, die in den eigenen Untersuchungen als vielversprechend identifizierten Konzepte allgemein nachzubilden, einer Reinigung im Prozess vor Ort zuzuführen und auszuwerten. Hierzu wurden Flaschen teilweise nach Anleitung hergestellt und abgereinigt und teilweise an der VLB Berlin hergestellt und dem einzelnen Betrieb zugesendet und dort abgereinigt. Bei dem Großteil der zur Auswertung zurückgeschickten Flaschen konnte kein relevanter Restbelag mehr festgestellt werden, so dass die vorgesehene visuelle Auswertung nicht vorgenommen werden konnte. Folgende Gründe sind möglich:

- Interpretationsspielräume in der Verfahrensanweisung,

- Unterschiede in der Intensität des Reinigungsprozesses, Einflussfaktoren: insbesondere Laugentauchzeit, Spritzdrücke, Temperaturen, Strömungsintensität, Neuglas als Flaschenmaterial,
- Generelle Überreinigung in den Betrieben verglichen mit dem Labor-/Technikumsmaßstab

Anhand der erbetenen Beschreibungen der jeweiligen Reinigungsprozesse konnte an den zugehörigen Flaschen festgestellt werden, dass insbesondere bei größeren Reinigungsmaschinen der Reinigungsprozess sehr intensiv auf bestehende Flaschenverschmutzungen eingewirkt hatte. Hier kann sicherlich von Prozessen ausgegangen werden, die über der Zeit sehr stabil und gleichmäßig laufen und wo sich die einzelnen Kaskaden gut aufeinander eingestellt haben. Es ist jedoch auch die Qualitätsphilosophie in den Betrieben zu berücksichtigen: Es muss eine bestimmte Mindestmenge an Flaschen für die nachfolgenden Prozesse zur Verfügung stehen, bei diesen Flaschen will man sich jedoch auch sicher sein, dass sie zu 100 % rein sind. Da es hierfür noch keinen geeigneten Vergleichsmaßstab gibt, wird der Prozess so gesteuert, dass die Ergebnisse von Untersuchungen (Mibi, VLB-Dreisprung usw.) auf jeden Fall reine Flaschen implizieren, was unter Umständen einer Überreinigung entspricht. Im Vergleich dazu konnte der in Versuchen angewendete Reinigungsprozess im Technikums-Maßstab variiert werden, wies jedoch bei Einstellungen ähnlich denen der Industriemaschinen geringere Einwirkungsintensitäten, vielleicht auch aufgrund der Größe der Maschine, auf.

3.10. Arbeitspaket 10 – Gestaltung als Validierungsrichtlinie

Eine Gestaltung der Ergebnisse und Erkenntnisse als Validierungsrichtlinie lässt sich noch nicht realisieren. Es ist jedoch aufgrund der gewonnenen Erkenntnisse möglich, Standardverschmutzungen herzustellen, und an der VLB differenziert bewerten zu lassen. Die VLB Berlin würde hierbei als neutrale Dritte fungieren. Eine Diskussion darüber, wie Versuche mit Standardverschmutzung generell durchgeführt und organisiert werden können, ist jedoch erst im Ansatz geführt worden.

Aufbauend auf den in diesem Projekt gesammelten Erfahrungen kann nun die grundsätzliche Struktur einer Systematik entwickelt werden. Es konnten im weiteren Sinn die Nebenbedingungen des Konzeptes Standardverschmutzung definiert werden indem Standards für Verfahren zur Aufbringung und zur Auswertung entwickelt wurden.

Standardverschmutzungen mit den diskutierten vielfältigen und verschiedenartigen Eigenschaften konnten noch nicht im geforderten Umfang entwickelt werden. Im Zusammenhang mit einem anzustrebenden Fortschritt diesbezüglich sollte sicherlich auch eine weitergehende statistische Erfassung der Eigenschaften von Standardverschmutzungen erfolgen, insbesondere in den Korrelationskoeffizienten r und R, wie im Rahmen der Projekt abschließenden Diskussion angeregt [14].

3.11. Arbeitspaket 12 – Projektabschließende Phase

Wie geplant wurden die Ergebnisse des Projektes erst in der abschließenden Phase in größerem Umfang veröffentlicht. Hierzu gab es zwei Vorträge, [15] und [16], auf der VLB Oktobertagung 2008 in Berlin, in denen der abschließende Erkenntnisstand beschrieben wurde. Darüber hinaus fand eine Projekt abschließende Diskussion mit den Projektteilnehmern auf der BRAU 2008 in Nürnberg statt [14].

4. Gegenüberstellung von Ergebnissen und Zielsetzung

Grundsätzlich konnte ein Fortschritt in der „Problematik Standardverschmutzung“ erzielt werden. Der aktuelle Stand der Technik wurde in den Rechercheergebnissen weitgehend dokumentiert. Bestehende Problemstellungen zur Anwendung der Standardverschmutzung konnten identifiziert und dokumentiert werden. Der Nutzen der erzielten Ergebnisse muss differenziert betrachtet werden, hier konnten aber zu einzelnen Fragestellungen große Fortschritte erzielt werden. Insbesondere durch die entwickelte maschinengestützte Herstellung und automatisierte Messwerterfassung konnte eine starke Objektivierung für das Konzept Standardverschmutzung herbeigeführt werden

Mit dem objektivierten Bewertungssystem wurden neu entwickelte Verschmutzungssysteme und auch die bereits etablierten bewertbar gemacht. Anhand des entwickelten Bewertungsschemas haben sich drei Verschmutzungen als sehr geeignet herauskristallisiert. Diese drei Standardverschmutzungen zusammen mit den automatisierten Aufbringungs- und Bewertungssystemen stellen anwendbare Gesamtsysteme dar, mit denen Reinigungsprozesse reproduzierbar zu bewerten sind. Es hat sich allerdings im Projektverlauf herausgestellt, dass es ein ideales Verschmutzungskonzept nicht gibt. Ein Grund war die zum Teil unterschiedliche Erwartungshaltung der Anwender. Aus diesem Grund kann es sogar als Vorteil betrachtet werden, dass verschiedene Systeme als etwa gleichwertig aus dem Projekt hervorgegangen sind, so dass je nach Interessenlage eines zukünftigen Anwenders unterschiedliche Ansätze verfügbar sind.

Was eine tatsächliche Anwendung angeht, wäre es vorteilhaft, statistische Angaben zur Genauigkeit, wie zum Beispiel die Wiederholgrenze r und die Vergleichsgrenze R zu ermitteln. Mit der Durchführung größerer Versuchsreihen wäre es möglich, aus der Methodik eine Methode zu entwickeln. Im Gespräch mit den Vertretern der Industrie, die im Projekt mitgearbeitet haben, ist dieses als wünschenswert formuliert worden.

Betrachtungen zum Kostenaufwand für Probenkörperherstellung und –auswertung wurden im Rahmen des Projektes noch nicht angestellt. Dass für eine Analyse mit Standardverschmutzung Kosten entstehen werden, ist jedoch nicht zu umgehen.

Anhand der realisierten Verschmutzungen hat sich gezeigt, dass standardisiert verschmutzte Flaschen nicht unbedingt nur mit einfachen, in einer Brauerei vorhandenen Stoffen, herstellbar sind. Hierzu ist zu bedenken, dass entsprechende Zutaten in einem Betrieb zwar vorhanden sind, jedoch in ihren Wirkmechanismen nicht den Bestandteilen einer realen Verschmutzung entsprechen.

Des Weiteren würde hiermit unterschlagen, dass ggf. auch aufwändige Vorbehandlungsstufen vonnöten sind, um eine haltbare Verschmutzung zu erhalten. Natürlich ist bei einfach herzustellenden Verschmutzungen auch eine schnelle und allgemeine Anerkennung von Konzepten oder gar einer Systematik eher gegeben. Es hat sich jedoch gezeigt, dass es eine einfache Lösung nicht geben kann. Der Ansatz, Flaschen deshalb z.B. zentral und ggf. auch mit höherem Aufwand zu präparieren, sollte daher diskutiert und bearbeitet werden. Untersuchungen zu einer eindeutigeren und detaillierteren Charakterisierung von Stoffen sollten unbedingt angestrebt werden.

Letztendlich muss es möglich sein, die Hartnäckigkeit und Anhaftung der Verschmutzung der Intensität des einwirkenden Reinigungsprozesses anzupassen. Diese Faktoren beeinflussen sich gegenseitig. Einer idealen Lösung kann man sich ggf. iterativ annähern, wie oben beschrieben. Da die Problemstellungen Aufbringung und Auswertung in diesem Projekt zur vollen Befriedigung gelöst werden konnten, wäre es nun möglich, verschiedenartige stoffliche Zusammensetzungen für eine Systematik, wie sie oben beschrieben wurde, konzentriert zu untersuchen und zu entwickeln.

5. Nutzen der erzielten Ergebnisse

Die in diesem Projekt erarbeiteten Erkenntnisse lassen sich wie angestrebt praktisch anwenden. Es konnten auftretende Problemstellungen identifiziert und Lösungsansätze für diese erarbeitet werden. Für die reproduzierbare Herstellung von standardverschmutzten Flaschen und für eine personenu-

nabhängige Messwerterfassung fanden sich Lösungen. Eine reproduzierbare Herstellung von Probenkörpern lässt sich maschinell realisieren. Sehr gute und gleichmäßige Ergebnisse wurden mit einem selbst entwickelten Flaschendrehautomat erzielt, mit dem die Verteilung und Anhaftung von eingebrachter Suspension realisiert wird.

Entsprechende Vorgaben zur Konstruktion und Anforderung an diesen Automaten finden sich in 6.5. Damit soll der interessierten Brauerei ermöglicht werden, mit geringem finanziellem Aufwand die Rollapparatur nachzubauen.

Zur maschinellen Messwerterfassung an Flaschen eignet sich jeder in einer Brauerei vorhandene Leerflascheninspektor. Dieser muss letztlich nicht einmal umprogrammiert werden, es sind lediglich an der entsprechenden Computerschnittstelle die ermittelten Einzeldaten auszulesen. Ggf. sind die optischen Bereiche zur Erfassung zu gestalten. Grundsätzlich wird anhand dieser Daten ein optischer Abgleich vorher/nachher an der einzelnen Flasche durchgeführt. Damit ist es möglich den Grad der Auslösung und damit die Intensität des Reinigungsprozesses zu erfassen.

Die entwickelten Verfahren zur maschinellen Aufbringung der Standardverschmutzung und zur optischen Messwerterfassung und Auswertung mittels Leerflascheninspektor lassen sich in dieser Form ebenfalls in Brauereien anwenden.

Für eine haltbare Standardverschmutzung konnten verschiedene Rezepturen gefunden bzw. bereits vorhandene Konzepte weiterentwickelt werden. Die besten Haltbarkeiten konnten mit drei Rezepturen gefunden werden, die auf Stärke, Kaffee bzw. Vogelkot basierten.

Für die Brauwirtschaft ergeben sich durch die erreichte Realisierung entscheidende Vorteile:

1. Es ergibt sich die Möglichkeit einer ganzheitlichen Betrachtung von Reinigungsprozessen. In die Validierung von Reinigungsprozessen kann sowohl der Ressourcenhaushalt einer Anlage, als auch der konkret an der einzelnen Flasche erzielte Reinigungserfolg einbezogen werden, soweit sich dieser anhand der entwickelten Verschmutzungen abbilden lässt.
2. Es ergibt sich für den abfüllenden Betrieb die Möglichkeit, gemäß den eigenen Anforderungen einen optimalen Reinigungserfolg zu definieren. Mit einem ausgewählten Verschmutzungskonzept und geringem zeitlichen und finanziellen Aufwand können Bewertungen des Reinigungsergebnisses reproduzierbar gemacht werden. Setzt die Brauerei einmal ihren Reinigungserfolg als gut fest, und erfasst diesen Zustand mit einem der entwickelten Verschmutzungskonzepte, kann sie regelmäßig die Beibehaltung des Status Quo überprüfen. Aus der Vergleichbarkeit von Reinigungsprozessen resultiert für den abfüllenden Betrieb der Vorteil, den eigenen Prozess sehr präzise nachvollziehen und steuern zu können. Beispielsweise kann ein Vergleich hausintern an ein und derselben Anlage durchgeführt werden, um Auswirkungen einer Modifikation nicht nur maschinenseitig, sondern auch im Reinigungsergebnis zu identifizieren und mögliche Schwachstellen aufzudecken. Insgesamt lassen sich damit verschiedenste Prozessvariationen hinsichtlich des Reinigungserfolges vergleichen, wie zum Beispiel der Einsatz unterschiedlicher Reinigungsmittel, Etikettenleime und Etiketten, variierte Spritzdrücke und Durchlaufzeiten usw..
3. Anhand der entwickelten Methoden ist es für die Brauerei möglich, ihren Reinigungsprozess exakt zu spezifizieren, um so beispielsweise Anforderungen gegenüber einem Maschinenhersteller zu formulieren. Bei allgemeiner Anerkennung der Standardverschmutzung ist eine Einheitlichkeit in der Bewertung von Reinigungsprozessen gegeben

6. Literatur

[1] Soltau, K.: Untersuchungen zur Reinigungswirkung von Flaschenwaschmaschinen in Brauereien mittels standardverschmutzter Flasche. Berlin: Technische Universität Berlin, Diplomarbeit, 2001.

[2] Ingenohl, Kolja: Untersuchung der Durchführbarkeit von vollfaktoriellen Versuchen zur Bewertung und Entwicklung einer Standardverschmutzung für die Mehrwegflaschenreinigung. Technische Fachhochschule Berlin, Bachelorarbeit 2007.

[3] Birnstiel, A.: Ergebnisprotokoll zum Kickoff-Meeting zum WIFÖ-Forschungsvorhaben B94 "Standardverschmutzung" vom 07.02.07

[4] Birnstiel, A.: Untersuchung der maschinellen Flaschenreinigung hinsichtlich der Reinigungswirkung durch intensivere Nutzung mechanischer Effekte bei der Ausspritzung. Berlin: Technische Fachhochschule Berlin, Diplomarbeit, 2006

[5] Orzinski, M.; Schneider, J.: Exemplarische Studie, Mechanische Effekte bei Flaschenreinigungsmaschinen mit Geradstrahl- und Drehrohrspritzung. Brauindustrie 8, S. 48 – 52, 2005.

[6] Kunzmann, C.; Orzinski, M.; Schildbach, S.; Ahrens, A.: Einsparungspotentiale in der Flaschenreinigungsmaschine, Teil 1: Methodik. Brauwelt 41/42, S. 1240 – 1246, 2004.

[7] Wöhler, Mathias: Optimierung von Flaschenreinigungsmaschinen, Paderborn: Dissertation, 2002

[8] Christanti, M.: Untersuchung von Flaschenwaschmaschinensystemen hinsichtlich der Ausspülbarkeit und Reinigungserfolg von Glasflaschen. Berlin: Technische Fachhochschule Berlin, Diplomarbeit, 2005.

[9] Orzinski, Martin: Rückstandsproblematik hinsichtlich der Ausspülbarkeit von Tensiden aus Glasflaschen. Berlin: Technische Universität, Diplomarbeit, 2003.

[10] Holger Grawe: Arbeitssitzung zum WIFÖ-Forschungsvorhaben B94 „Standardverschmutzung“ vom 15.11.2007, nachfolgende Diskussion

[11] Birnstiel, Alexander: Ergebnisprotokoll zur Arbeitssitzung zum WIFÖ-Forschungsvorhaben B94 „Standardverschmutzung“ vom 28.08.2007

[12] Schüßler, H.-J.; Mrozek, H.: Praxis der Flaschenreinigung. Henkel & Cie, Düsseldorf, 1968.

[13] Arbeitssitzung des Technisch-Wissenschaftlichen Ausschusses vom 13.10.08 aus Anlass der 95. VLB-Oktobertagung in Berlin

[14] Birnstiel, Alexander: Ergebnisprotokoll zur Arbeitssitzung zum WIFÖ-Forschungsvorhaben B94 „Standardverschmutzung“ vom 13.11.2008 in Nürnberg

[15] Pahl, Roland; Birnstiel, Alexander: Standardverschmutzung von Flaschen zur Validierung von Flaschenreinigungsanlagen, Vortrag auf der technischen Veranstaltung der VLB-Oktobertagung am 14.10.2008 in Berlin

[16] Pahl, Roland; Birnstiel, Alexander: Standardverschmutzung von Flaschen zur Validierung von Flaschenreinigungsanlagen, Vortrag auf der Sitzung des Technisch-Wissenschaftlichen Ausschusses des Deutschen Brauerbundes auf der VLB-Oktobertagung am 13.10.2008 in Berlin

[17] Utomo, Wahyu: Untersuchungen zum Einsatz eines Partikelzählsystems für die Bewertung von Reinigungsprozessen mit Testflaschen. Technische Fachhochschule Berlin, Diplomarbeit 2008.

7. Anhang

7.1. Übersicht über bestehende Standardverschmutzungen

Quelle/Kürzel/Name	Zusammensetzung	Kurzbeschreibung/Neuigkeitswert
Soltau 1	10 % Kieselgur 18 % Stärke 72 % Wasser	VLB Standard
VLB	Sporensuspension	Aufbringen als Aerosol mit der Sprühpistole; bekannt aus der Probenvorbereitung für die Abnahme von Aseptik-Anlagen
Fraunhofer Gesellschaft Dresden: „Testflasche und Verfahren zu ihrer Herstellung“	Entfällt	diamantähnliche Kohlenstoffbeschichtung, deren Ablösungsgrad, Farbe und Transparenz einstellbar ist
KRONES Kastenverschmutzung	16 % Kaolin 17 % Dosenmilch (4 % Fett) 67 % Wasser	Ursprünglich Standardverschmutzung für Getränkekästen
Stockmeier Chemie	Verschmutzung mit Rauch	Wird auf Testbleche aufgebracht, Anwendung zu Beurteilung von Reinigungschemikalien in der Fleischindustrie
Bitburger Brauerei	10 ml Dickbreiige Hefe, 168 Std. bei 50 °C drehen 1 Stunde bei 120 °C	Flaschen durchlaufen Reinigungsprozess, werden mit Bier gefüllt und 24 Std. bei 27 °C gelagert, danach visuelle Prüfung auf Schmutzreste, danach Öffnen der Flaschen und Überprüfung auf sekundäres Gushing (CO_2-Entbindung an Schmutzresten)
VDMA – Riboflavin	0,1 % Riboflavin 0,9 % 1,9 %ige Hydroxyethylcellulose 99 % Wasser Aufbringen, eintrocknen	Eigentlich Bauteilprüfung, nach der Reinigung mittels UV-Lampe Restverschmutzung sichtbar machen, visuelle Prüfung
TU München/Weihenstephan MiBi-Hausstandard „Italienflasche“ - Weissbierverschmutzung	5 g Presshefe 15 ml Würze in die Flasche, Gären lassen, eintrocknen 24 Std., 45 °C	
EHEDG Methode zur Überprüfung der in-prozess Reinigbarkeit von Komponenten für geschlossene Prozesse	Sauermilch mit Sporen Geobacillus Stearothermophilus	Ermittlung der Reinigbarkeit eines Testbauteils im Vergleich zur Reinigbarkeit eines Referenzrohres, visuelle und mikrobioloische Beurteilung
Backus-Brauerei-Standard, Peru	30 % Hefe 70 % Wasser, einbringen, austropfen, eintrocknen	Visuelle Auswertung an 10 Flaschen mit einem Punktesystem, danach MiBi-Auswertung an den Flaschen
Krombacher Brauerei	70 % Wasser 2 % Hefe 10 % Kieselgur 18 % Stärke	Visuelle Auswertung, die Verschmutzung soll vollständig ausgelöst werden; MiBi-Auswertung an Flaschen und Becken

Im Rahmen der Diskussion mit den Projektteilnehmern wurden folgende Substanzen und Materialien benannt, von denen bekannt ist, dass sie im weiteren Sinne für die Überprüfung von (Reinigungs)prozessen eingesetzt werden:

Quelle/Kürzel/Name	Zusammensetzung	Kurzbeschreibung/Neuigkeitswert
Bitburger Brauerei Th. Simon GmbH – hausinterner Standard	Anlagerung einer Verschmutzung bei Lagerung von Flaschen bei Wind und Wetter auf dem Hof	Wurde nicht in die Untersuchung einbezogen
PD Dr. Evers, KHS AG	Trinkjogurt mit Betakarotin, antrocknen, wird für Füllerabnahmen verwendet, Referenzpunkte werden mit ATP markiert,	Wurde nicht in die Untersuchung einbezogen
Unbekannt	Hefe als Keimträger	Wurde nicht in die Untersuchung einbezogen
PD Dr. Evers, KHS AG	Pektin als Beimengung für erhöhte Viskosität	
PD Dr. Evers, KHS AG	Stärke + Riboflavin (ersetzt Kieselgur, da dieses abrasiv wirkt),	

Quelle/Kürzel/Name	Zusammensetzung	Kurzbeschrei-bung/Neuigkeitswert
Unbekannt	Aufbringen per Sprühdüse	
Unbekannt	Maurerflaschen	
Unbekannt, Dr. Manger(?)	Schimmelpilze einzüchten	Wurde nicht in die Unter-suchung einbezogen
Dr. Manger (?)	Insekten einzüchten	Wurde nicht in die Unter-suchung einbezogen

7.2. Bewertungsschema

Das Bewertungsschema wurde als Nutzwertanalyse realisiert. Dabei wurden die einzelnen Alternativen (Verschmutzungen) anhand der gegebenen Parameter mit einem Punktesystem bewertet. Die Fragestellung wurde so strukturiert, dass die einzelnen Fragen mit ja oder nein beantwortet werden konnten. Damit war dieses Bewertungssystem zwar noch personenabhängig, konnte jedoch weitgehend objektiviert werden. Es gab mehrere Teilkomplexe, die gegeneinander gewichtet wurden. Aufgrund der eindeutigen Zahlenvergabe für die Antworten Ja oder Nein und die Gewichtung der Fragekomplexe Präparation, Reproduzierbarkeit und Schmutzablöseverhalten durch Reinigung gegeneinander ergab sich in der Summe eine eindeutige Kennzahl für jede Alternative. Im Vergleich konnten damit Schwachpunkte bzw. viel versprechende Lösungsansätze identifiziert werden.

Kriterien	**Gewichtung**	**Punktevergabe**
Muss-Faktoren		Alternative x/y/z
Restschmutz vorhanden?	ja/nein	
Reinigungsbäder bleiben unbelastet?	ja/nein	
Soll-Faktoren		
Präparation	1	
Die Verschmutzung ist in einem angemessenen Zeitrahmen herstellbar?		1/4
Der apparative Aufwand ist angemessen?		1/4
Die benötigten Zutaten sind leicht zu beschaffen?		1/4
Die benötigten Zutaten sind stets von gleicher Qualität?		1/4
Reproduzierbarkeit	2	
Allgemein		
Die Suspension lässt sich stets in der gleichen Qualität herstellen?		1/4
Die hergestellten Flaschen mit Verschmutzung zeigen bei Lagerung über der Zeit keine Veränderung?		1/4
einzelne Flasche		
Die Gleichmäßigkeit der Verschmutzung ist innerhalb der Flasche gegeben?		1/4
Die Gleichmäßigkeit der Flächenbelegung ist gegeben?		1/4
Die Gleichmäßigkeit der Schichtdicke ist gegeben?		1/4
Flaschenserie		
Die Gleichmäßigkeit der Verschmutzung ist innerhalb der Serie gegeben?		1/4
Schmutzablöse-Verhalten durch Reinigung	2	
Es ist eindeutig Restschmutz vorhanden?		1/4
(Der Restschmutz zeigt Spuren einer Manipulation durch die Reinigung?)		(1/4)
Die Restverschmutzung ist großflächig vorhanden?		1/4
An der Restverschmutzung zeigen sich Fließspuren?		1/4
Die Verschmutzung lässt sich bei definierten Parametern vollständig ablösen?		1/4
Es zeigt sich bei gleichen Randbedingungen (Flaschenkanal, Maschineneinstellung) die gleiche Manipulation bei allen Flaschen?		1/4
Es ist genügend Restschmutz vorhanden für eine visuelle Auswertung?		1/4
Ergebnis/Summe		

positive Einzelantwort = 4 Punkte
negative Einzelantwort = 1 Punkt

Minimal mögliche Gesamtpunktzahl = 28 Punkte - ungenügend
Maximal mögliche Gesamtpunktzahl = 112 Punkte - sehr gut

7.3. Anforderungen

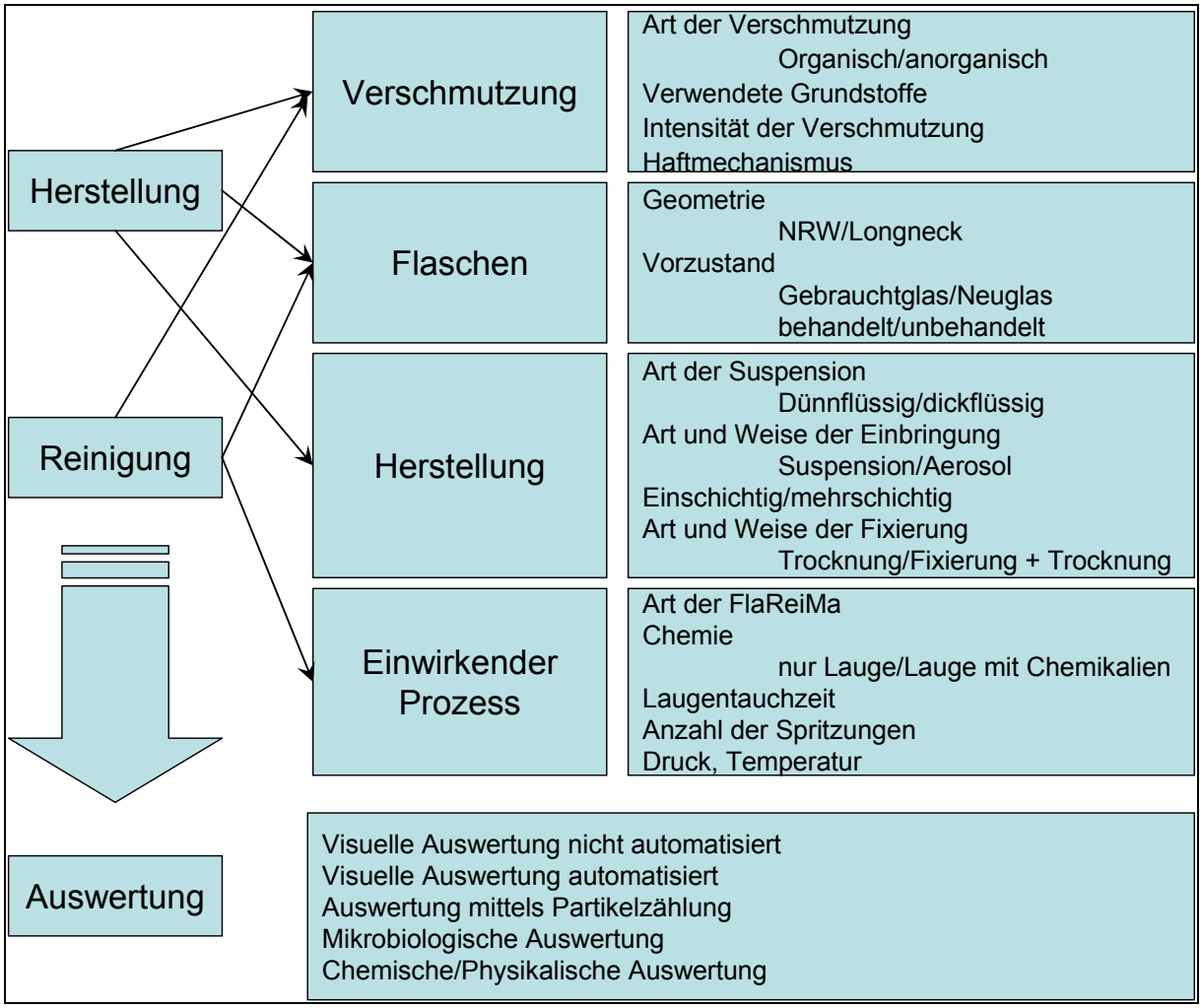

Bild 11: Abhängigkeiten der einzelnen Versuchsschritte

7.4. Ergebnisse

Folgende Verschmutzungen wurden in dargestellter Weise untersucht.

Verschmutzung – Rezeptur		***Modifizierung***			***Aufbringung***		
Kurzbezeichnung	Details, Zusammensetzung		Bemerkungen, Besonderheiten, Notizen	Fixierung mit Ölfilm	Suspension im Überschuß	Aufsprühen	
						7	10
SOLTAU	10% Feingur; 18% Mondaminstärke; 72% Wasser	1x Laugefixierung	wie vorgegeben		x		
SOLTAU	10% Feingur; 18% Mondaminstärke; 72% Wasser	2x Laugefixierung			x		
KRONES Kasten	16 % Kaolin; 17 %Dosenmilch (4 % Fett); 67 % Wasser		wie vorgegeben, Kasten mittel				
KRONES Kasten	16 % Kaolin; 17 %Dosenmilch (4 % Fett); 67 % Wasser	1x Laugefixierung	Kasten mittel		x		
KRONES Kasten	16 % Kaolin; 17 %Dosenmilch (4 % Fett); 67 % Wasser	2x Laugefixierung	Kasten mittel				
KRONES Kasten	16 % Kaolin; 21 % Dosenmilch (4 % Fett); 63 % Wasser	ohne Laugefix	Kasten schwer				
KRONES KASTEN	16 % Kaolin; 21 % Dosenmilch (4 % Fett); 63 % Wasser	1x Laugefix	Kasten schwer		x		
KROMBACHER001	70 % Wasser; 2% Hefe; 18 % Kartoffelstärke/Mondamin; 10 g Feingur	ohne Laugefix					
W.Stephaner	5 g Presshefe; 15 ml Würze	ohne Laugenfix			x		
Kaffee	Wasser; Instantkaffee; Dosenmilch 4 %	ohne Laugenfix		x			
Teein	1% Feingur; 5g Schwarzer Tee;	ohne Laugenfix				x	
Teein	12% Feingur; 5g Schwarzer Tee;	ohne Laugenfix					
ecolab1	72 % Kondensmilch; 18 % Zucker; 5 % MgCl2; 5 % CaCl2	ohne Laugenfix			x		
KRONES ehedg	bacillus stearothermophylus; saure Milch	ohne Laugenfix			x		
KRONES geheim 1	30 %Hefe; 70 % dest. Wasser				x		
HEFE_001	30 % Hefe1 % Feingur69 % dest. Wasser					5	10
STÄRKE_001	10 % feine Stärke90 % Wasser						
KROMBACHER002	7 % Wasser1,8 % Mondamin1 % Feingur0,2 % Hefe; alles in 90 % Wasser	ohne Laugefix			x		
KROMBACHER003	35 % Wasser9 % Mondamin5 % Feingur1 % Hefe; alles in 50 % Wasser	ohne Laugefix			x		

Verschmutzung – Rezeptur		*Modifizierung*			*Aufbringung*		
Kurzbezeichnung	Details, Zusammensetzung		Bemerkungen, Besonderheiten, Notizen	Fixierung mit Ölfilm	Suspension im Überschuß	Aufsprühen	
						7	10
KROMBACHER004	70 % Wasser18 % Mondamin10 % Feingur2 % Hefe	mit Laugefix			x		
PAPIER001	0,5 % Altpapier99,5 % dest. Wasser	ohne Laugefix			x		
PAPIER002	0,4 % Altpapier98 % dest. Wasser1,6 % NaOH	mit Laugefix			x		
PAPIER003	0,4 % Altpapier87,6 % dest. Wasser12 % Stärke	mit Laugefix			x		
KAFFEE001	6 % Feingur10 % Milchpulver3 % Pulverkaffee81 % dest. Wasser	ohne Laugefix		x	x		
KAFFEE003	6 % Feingur10 % Milchpulver3 % Pulverkaffee81 % dest. Wasser	mit Laugefix			x		
KAFFEE002	6 % Hefe10 % Milchpulver3 % Pulverkaffee81 % dest. Wasser	ohne Laugefix			x		
PAPIER004	1 % Altpapier96,4 % dest. Wasser1,6 % NaOH3 % Stärke	mit Laugefix		x	x		
KAFFEE004	6 % Hefe10 % Milchpulver3 % Pulverkaffee80 % dest. Wasser1 % Stärke	ohne Laugefix			x		
STÄRKE002	25 g Stärke1 g Kaffeeweißer6 g Feingur500 ml dest Wasser7 min, 74 °C	ohne Laugefix			x		
STÄRKE003	25 g Stärke1 g Kaffeeweißer6 g Feingur500 ml dest Wasser12 min, 78 °C	ohne Laugefix			x		
STÄRKE004	25 g Stärke1 g Kaffeeweißer6 g Feingur500 ml dest Wasser17 min, 80 °C	ohne Laugefix		x	x		

7.5. Vorgaben Flaschendrehautomat

Der für die Probenpräparation an der VLB Berlin verwendete Flaschendrehautomat wurde nach folgenden Vorgaben gefertigt.

- 10 Flaschen gleichzeitig in verschiedenen Neigunswinkeln gleichmäßig um die Flaschenlängsachse rotieren,
- Flaschen werden an der Mündung mit einem Lochblech oder einzeln mit einem Trichter fixiert, durch das die Prüfflüssigkeit ablaufen kann,
- Prüfflüssigkeit wird in einer Rinne/Trog aufgefangen, diese/r kann zur Reinigung herausgenommen werden,
- Lochblech kann zur Reinigung herausgenommen werden,
- Antrieb mittels Elektromotor, Übertragung mittels Riemen,
- Drehzahl ist regelbar von 2 Flaschenumdrehungen/min bis 43 Flaschenumdrehungen/min bei Walzenumfang = 138,23 mm,
- Walzendurchmesser 44 mm,
- Walzen sind gummiert (Fahrradschlauch),
- Walzengestell ist hängend gelagert und kann auch angekippt werden, Winkel -10° bis 60°, um ein Auslaufen von Flüssigkeit aus den auf die Mündung „gekippten“ Flaschen zu ermöglichen,
- Winkelstellung kann fixiert werden,
- Der Walzenapparat soll fahrbar sein, Räder feststellbar;

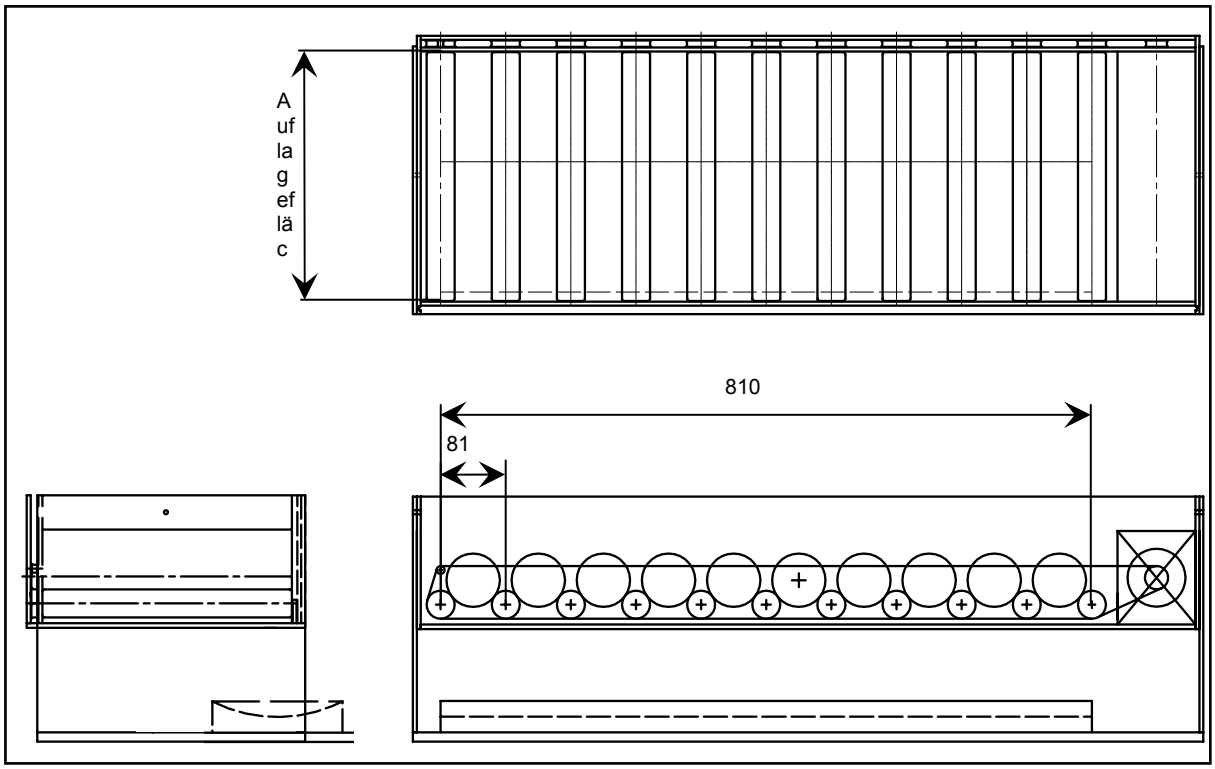

Bild 12: Schematische Darstellung des Flaschendrehautomaten