

Applikationsbericht

Applikationsbericht: AR299

Industrie: Körperpflege

Autoren: Fiona Mary Antony, Stefan Benn,
Daniel Frese

Datum: 04/2025

Methode:



Dynamic Foam Analyzer – DFA100FSM

Stichwörter: Shampoo, Körperpflege, Schaumbildungsvermögen, Schaumstabilität, Schaumstruktur

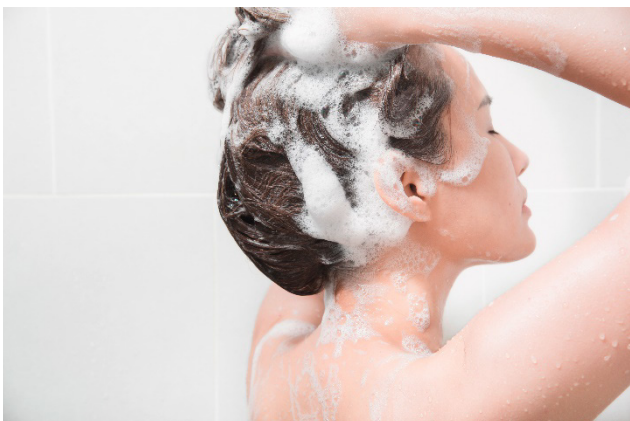


Optimierung der Shampoo-Schaumanalyse: Eine vergleichende Studie zu Messverfahren

Wirksamkeitsbewertung der Methoden Sparging, Foam Flash und Adapted Foam Flash

Schaum ist ein entscheidendes Merkmal von Shampoo-Formulierungen, das maßgeblich die Zufriedenheit der Verbraucher bestimmt. Während Shampoos hauptsächlich, Talg, Schmutz und Stylingrückstände entfernen sollen, hat das sensorische Erlebnis – insbesondere die Schaumqualität – einen tiefgreifenden Einfluss auf die Wahrnehmung der Anwender. Reichhaltiger, stabiler Schaum wird mit Wirksamkeit verbunden, was die Nachfrage nach Produkten mit gleichbleibender Schaumbildung fördert. Die Analyse des Schaumverhaltens ist jedoch eine Herausforderung, da Schaummenge, Stabilität und Struktur von der Chemie der Tenside und Stabilisatoren sowie der Anwendungsdynamik beeinflusst werden.

Das Schaumverhalten zu steuern ist unerlässlich für die Entwicklung von Shampoos mit gewünschten und effektiven sensorischen- und Reinigungseigenschaften. Diese Studie untersucht das Schaumverhalten von vier verschiedenen Shampoo-Formulierungen unter Verwendung des Dynamic Foam Analyzer – DFA100. Ziel war es, verschiedene Methoden der Schaumerzeugung zu bewerten und deren Eignung zur Charakterisierung von Schaumhöhe, Struktur, Stabilität und Drainageverhalten zu bestimmen. Die aus dieser Studie gewonnenen Erkenntnisse tragen zur Optimierung der Rezepturen und zu einer verbesserten Produktleistung bei.



Hintergrund

Die Entwicklung moderner Shampoos begann im frühen 20. Jahrhundert mit der Einführung flüssiger Formulierungen im Jahr 1927 und dem Aufkommen synthetischer Tenside in den 1930er Jahren. Diese Innovationen legten den Grundstein für fortschrittliche Formulierungen wie die silikonhaltigen „Conditioning“-Shampoos der 1980er Jahre, welche Reinigung mit haarglättenden Eigenschaften verbanden. Heute reichen Shampoo-Formulierungen von einfachen Reinigungsmitteln bis hin zu

multifunktionalen Produkten, die mit Pflegestoffen, Proteinen, Vitaminen und speziellen Wirkstoffen angereichert sind. Trotz ihrer vielfältigen Zusammensetzungen müssen alle Shampoos zentrale Leistungskriterien erfüllen, darunter eine effiziente Schaumbildung, gründliches Ausspülbarkeit und ein weiches, kämmbares Haargefühl.

Schaum, eine Dispersion von Gasblasen in einer flüssigen Matrix, ist ein entscheidendes Merkmal, das die Leistung des Shampoos und die Wahrnehmung durch den Verbraucher beeinflusst. Die Schaumbildung wird durch Tenside gesteuert – amphiphile Moleküle, die sich an der Luft-Wasser-Grenzfläche anlagern, die Oberflächenspannung verringern und die Stabilisierung der Gas-Flüssigkeits-Grenzflächen erleichtern. Primäre Tenside wie Natriumlaurylsulfat (SLS) sorgen durch die Emulgierung von Fetten für die Reinigungskraft, während sekundäre Tenside (z. B. Cocamidopropylbetain) und Schaumstabilisatoren die Textur, Dichte und Haltbarkeit des Schaums verbessern. Diese Komponenten wirken synergistisch zusammen, um einen reichhaltigen, stabilen Schaum zu erzeugen, den Verbraucher oft mit hervorragender Reinigungskraft und Produktqualität assoziieren. Obwohl der Schaum von Natur aus nicht dauerhaft ist und lediglich während der Anwendung bestehen bleiben muss, beeinflussen seine Struktur und Stabilität die Zufriedenheit der Verbraucher erheblich.

Die Schaumstabilität wird durch Grenzflächeneigenschaften und kolloidale Dynamik bestimmt. Aufgrund ihrer von Natur aus hohen freien Grenzflächenenergie sind Schäume thermodynamisch instabil und zerfallen durch Prozesse wie Drainage (schwerkraftgetriebener Abfluss der Flüssigkeit aus dem Schaum), Koaleszenz (Zusammenwachsen von Blasen) und Disproportionierung (Gasdiffusion von kleineren zu größeren Blasen). Schlüsselparameter wie die Drainagehalbwertszeit (die Zeit, die benötigt wird, bis die Hälfte der Flüssigkeit aus dem Schaum abgeflossen ist) und die mittlere Blasengröße (ein Maß für die Vergrößerung der Blasen und die strukturelle Integrität) dienen als quantitative Indikatoren für die Schaumstabilität. Gleichmäßig große, feinere Blasen erhöhen die Schaumdichte und die wahrgenommene

Cremigkeit, während ein schneller Flüssigkeitsabfluss und übermäßiges Blasenwachstum auf eine schlechte Schaumstabilität hindeuten.

Fortschrittliche Analysetechniken wie der KRÜSS Dynamic Foam Analyzer – DFA100 ermöglichen präzise Charakterisierungen des Schaumverhaltens, indem sie reale Bildungsdynamik simulieren und zeitaufgelöste Daten zu Schaumhöhe, Volumen und Zerfallskinetik erfassen. Videoanalysen liefern zudem detaillierte Einblicke in die Schaummorphologie und erzeugen Histogramme zur Blasengrößenverteilung, die einen Zusammenhang zwischen den Formulierungskomponenten und der Schaumqualität herstellen.

Das Zusammenspiel zwischen Formulierungswissenschaft und Verbrauchewahrnehmung unterstreicht die Bedeutung der Schaumanalyse bei der Shampoo-Entwicklung.

Experimenteller Teil

Vier Shampoo-Proben, bezeichnet als Probe 1 bis Probe 4, wurden mit dem KRÜSS Dynamic Foam Analyzer – DFA100 analysiert. Es wurden drei unterschiedliche Methoden angewendet, um die optimale Methode zur Unterscheidung der Schaumeigenschaften zu ermitteln: Aufsprudeln (*Sparging*), *Foam Flash* und ein angepasster Foam-Flash-Messablauf (*Adapted Foam Flash*). Jedes Experiment wurde bei einer kontrollierten Temperatur von 20 °C ±2 °C durchgeführt, wobei Schaumhöhe, Blasengrößenverteilung und Drainage über einen Zeitraum von 30 Minuten in Echtzeit überwacht wurden, um die Schaumstabilität und die strukturelle Integrität zu bewerten. Das DFA100-System in Verbindung mit der ADVANCE Software gewährleistete eine genaue Datenerfassung. Jede Probe wurde doppelt getestet, um die Reproduzierbarkeit sicherzustellen.

Sparging

Bei der *Sparging*-Methode wurde Luft kontrolliert durch einen porösen Papierfilter (Porengröße 12 - 25 µm, FL4551) eingeleitet, um Schaum zu erzeugen. Die Shampoo-Proben wurden im Verhältnis 1:4 (Shampoo : Wasser) auf ein Gesamtprobenvolumen von 50 mL verdünnt und in der 40-mm-Prismasäule CY4572 vermischt. Luft wurde mit einer Durchflussrate von 0,3 L/min eingeleitet, bis ein

Gesamtgasvolumen von 100 mL gepumpt worden war.

Foam Flash

Foam Flash ist eine in der ADVANCE Software verfügbare Methode, die mit einem Rührmodul arbeitet und in erster Linie für die Analyse stark schäumender Flüssigkeiten vorgesehen ist. Die Methode simuliert die Bildungsdynamik durch zyklisches Rühren.

Die Shampoo-Proben wurden im Verhältnis 1:2 (Shampoo:Wasser) bei einem Gesamtprobenvolumen von 60 mL verdünnt. Das Rühren erfolgte bei 3000 U/min mit dem Rührer SR4501 in 30 Zyklen, die jeweils aus 5 Sekunden Rühren gefolgt von einer 5-sekündigen Pause bestanden.

Adapted Foam Flash Verfahren

Die Methode *Adapted Foam Flash* zielte darauf ab, für die vorliegende Fragestellung eine reproduzierbare Schaumbildung und -messung zu gewährleisten. Die Shampoo-Proben wurden im Verhältnis 1:2 verdünnt und direkt in der Messsäule (SH4512 + SR4501) zu einem Gesamtvolumen von 60 mL vermischt. Die Homogenisierungsphase wurde 15 Sekunden lang bei lediglich 400 U/min durchgeführt, um eine vorzeitige Schaumbildung zu verhindern; anschließend erfolgte ein Hochgeschwindigkeitsrühren bei 3000 U/min in 5-sekündigen Richtungswechselzyklen über 20 Sekunden, um Schaum zu erzeugen.

Ergebnisse und Diskussion

Sparging-Verfahren

Das *Sparging*-Verfahren erzeugte bei allen Proben gleichmäßig hohe Schaumvolumina (~100 mL) mit minimalen Unterschieden in Schaumhöhe oder -struktur. Die intensive Luftzufuhr führte zur Bildung grober Blasen und zu ähnlichen Größenverteilungen, wodurch die Eigenschaften über alle Formulierungen hinweg homogenisiert wurden. Während diese Methode alle Shampoos als *high-foamers* bestätigte und große Schaumvolumina erzeugte, schränkte ihre hohe Gasretention die Aussagekraft hinsichtlich formulierungsspezifischer Unterschiede ein, da bei allen getesteten Shampoos durchweg hohe Messwerte beobachtet wurden.

Um die Schaumeigenschaften besser zu verstehen, wurden Schlüsselparameter analysiert. Die Schaumhöhe (h_{foam}) stellt die Höhe der während des Experiments erzeugten Schaumschicht dar und ist ein entscheidender Indikator für die Schaumstabilität im Zeitverlauf. Ein höherer Wert für h_{foam} deutet auf eine bessere Schaumbeständigkeit hin, was bei Anwendungen wünschenswert ist, bei denen lang anhaltender Schaum von Vorteil ist. Die Flüssigkeitshöhe (h_{liquid}) entspricht der verbleibenden Flüssigkeitsphase unterhalb des Schaums. Diese Messung ist besonders wichtig, da sie das Abflussverhalten des Schaums widerspiegelt; ein rascher Rückgang von h_{liquid} kann auf eine schlechte Schaumstabilität aufgrund übermäßiger Drainage hindeuten. Die Gesamthöhe (h_{total}) ist die Summe aus Schaum- und Flüssigkeitshöhe und liefert ein Gesamtmaß für die Schaumstruktur innerhalb des Versuchsaufbaus. Zusammen helfen diese Höhenparameter dabei, die Effizienz verschiedener Schaumbildungsmethoden bei der Unterscheidung zwischen Shampoo-Formulierungen zu bewerten.

Zusätzlich zu den Schaumhöhenmessungen wurde die Blasenstruktur anhand der Blasenanzahl (BC) und der mittleren Blasenfläche (MBA) charakterisiert. Die BC stellt die Anzahl der Blasen pro Flächeneinheit dar und dient als Maß für die Schaumdichte. Eine höhere BC deutet auf einen feineren, stabileren Schaum mit zahlreichen kleinen Blasen hin, während eine niedrigere BC auf einen gröberen Schaum mit weniger, aber größeren Blasen hindeutet. Die MBA quantifiziert die durchschnittliche Größe der Blasen im Schaum und liefert Aufschluss über die Blasenkoaleszenz und den Flüssigkeitsabfluss im Zeitverlauf.

Ein stetiger Anstieg der MBA deutet im Allgemeinen auf eine Instabilität des Schaums hin, da sich durch das Zusammenwachsen kleinerer Blasen größere Blasen bilden, was zu einem schnelleren Zusammenfallen des Schaums führt. Durch die Analyse dieser Parameter lassen sich Unterschiede in der Schaumstruktur und -haltbarkeit zwischen verschiedenen Shampoo-Formulierungen effektiv bewerten.

Foam Flash Methode

Das zyklische Rühren mit der *Foam Flash* Methode erzeugte bei allen Proben nahezu identische

Schaumhöhen und Abklingverläufe, wobei sich die maximalen Schaumhöhen in einem engen Bereich konzentrierten und nur minimale Abweichungen im Drainageverhalten auftraten. Die wiederholte mechanische Bewegung übte hohe Scherkräfte aus, beschleunigte den Schaumzerfall und verringerte die Stabilität, indem sie ein gleichmäßiges Aufbrechen der Blasen und deren Abfluss bewirkte. Diese intensive Bewegung zerstörte die Schaumstrukturen, homogenisierte die Ergebnisse und überdeckte die inhärenten Unterschiede zwischen den Formulierungen. Die Methode *Foam Flash* ist trotz der zyklischen mechanischen Beanspruchung nach wie vor ein wertvolles Instrument – insbesondere zur Unterscheidung der Schaumbildungsfähigkeit von stark schäumenden Formulierungen; in diesem speziellen Fall führte *Foam Flash* jedoch bei allen Proben zu ähnlichen Profilen, wodurch sie für die Unterscheidung zwischen diesen bestimmten Shampoo-Formulierungen weniger effektiv war.

Die Abbildungen 1 und 2 veranschaulichen diese Trends und zeigen die Entwicklung der Schaumstabilität, der Blasen-Dynamik und des Flüssigkeitsabflusses im Zeitverlauf sowohl für die *Sparging*- als auch für die *Foam Flash* Methode.

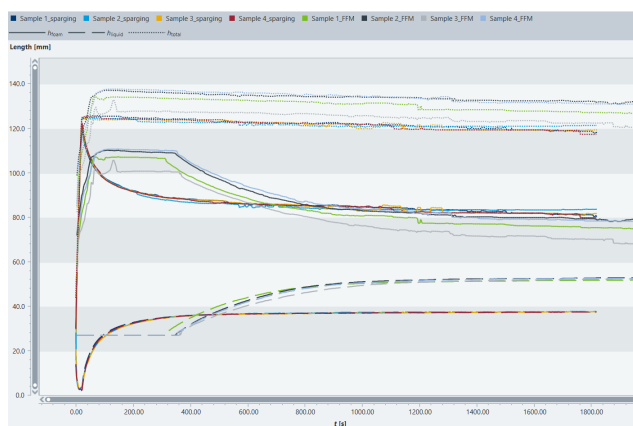


Abbildung 1: Entwicklung der Schaumhöhe bei den Methoden *Sparging* und *Foam Flash*.

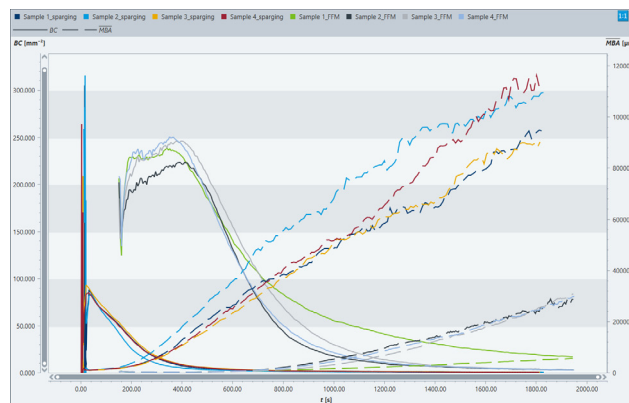


Abbildung 2: Vergleich der Schaumstruktur bei den Methoden *Sparging* und *Foam Flash*.

Methode *Adapted Foam Flash*

Die *Adapted Foam Flash* Methode lieferte die zuverlässigste Unterscheidung zwischen den Shampoo-Formulierungen. Probe 2 erzeugte den höchsten Schaum, während Probe 3 den geringsten Schaum erzeugte. Dieser Unterschied lässt sich auf Unterschiede in der Tensidkonzentration und den Polymerzusätzen innerhalb der Formulierungen zurückführen.

Die Analyse der Blasengrößenverteilung zeigte, dass Probe 3 anfangs die größten Blasen aufwies, was auf eine schnelle anfängliche Schaumausdehnung hindeutet. Die strukturelle Bildgebung nach 200 Sekunden (160 Sekunden nach der Schaumbildung) bestätigte diese Tendenzen: Der Schaum in Probe 2 blieb dicht und gleichmäßig, während bei Probe 3 eine sichtbare Koaleszenz zu beobachten war. Nach 10 Minuten wiesen jedoch die Proben 1 und 4 die stabilste Schaumstruktur auf und behielten eine gleichmäßige Blasengröße bei minimaler Koaleszenz bei. Dieses Verhalten deutet auf eine überlegene Anordnung der Tenside an der Gas-Flüssigkeits-Grenzfläche hin, was die Langlebigkeit des Schaums verstärkt.

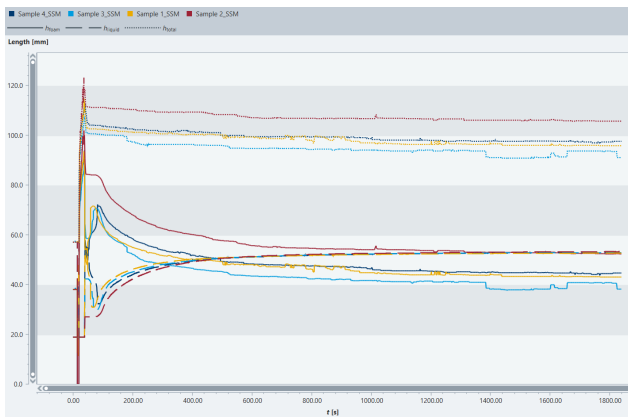


Abbildung 3: Vergleich der Schaumhöhen unter Verwendung der *Adapted Foam Flash Methode*.

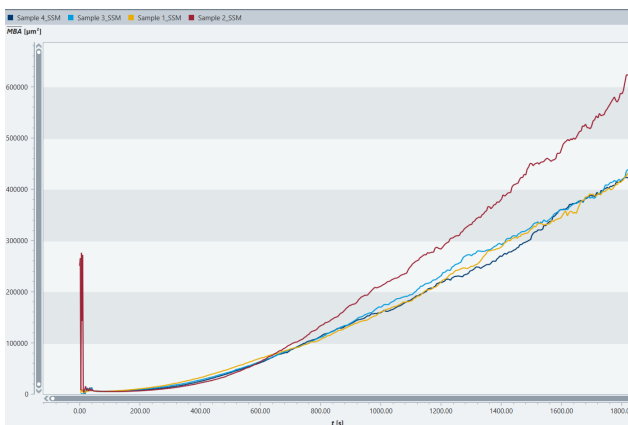


Abbildung 4: Vergleich der MBA (= Mean Bubble Area) in μm^2 unter Verwendung der *Adapted Foam Flash Methode*.

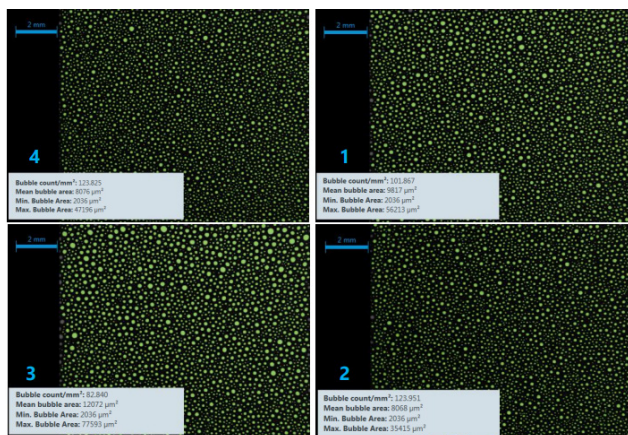


Abbildung 5: Vergleich der Bilder der Blasenstruktur nach genau 200 s (160 s nach Ende der Schaumbildung) unter Verwendung der *Adapted Foam Flash Methode*.

Das *Adapted Foam Flash* Protokoll lieferte eine klare Unterscheidung. Die Schaumstabilität variierte zwischen den Proben erheblich, wie in Abbildung 3 dargestellt. Probe 2 begann mit dem geringsten anfänglichen Flüssigkeitsvolumen und erreichte ihr Plateau, was auf eine schnelle Drainagerate über den gesamten Messzeitraum hindeutet. Bei etwa

300 Sekunden wies Probe 1 jedoch das höchste abfließende Flüssigkeitsvolumen auf, gefolgt von den Proben 3, 4 und dann 2, was darauf hindeutet, dass Probe 2 in der Anfangsphase die meiste Flüssigkeit im Schaum zurückhielt. Die Blasen-Dynamik unterstrich die Unterschiede zusätzlich:

- Anfangsphase (0–5 Minuten): Die mittlere Blasenfläche (MBA) folgte der Reihenfolge Probe 3 > Probe 1 > Probe 4 $\approx$ Probe 2, was auf größere Blasen in Probe 3 hindeutete.
- Spätphase (10 Minuten): Die MBA verschob sich zu Probe 2 > Probe 3 > Probe 4 $\approx$ Probe 1, was ein dynamisches Blasenwachstum in Probe 2 offenbart.
- Blasenzahl: Probe 1 wies die höchste Blasendichte auf, was auf einen feinen, stabilen Schaum hindeutete, während sich der Schaum in Probe 2 in größere, heterogene Blasen auflöste.

Diese Ergebnisse unterstreichen die Bedeutung der Auswahl einer geeigneten Messtechnik für die Schaumcharakterisierung. Die *Adapted Foam Flash Methode* erweist sich in diesem Fall als der effektivste Ansatz, um die Eigenschaften der Formulierungen zu unterscheiden und reproduzierbare Ergebnisse zu gewährleisten.

Schlussfolgerung

Diese Studie liefert eine umfassende Analyse des Schaumverhaltens von Shampoo-Formulierungen und hebt dabei den Einfluss der Messverfahren auf die Dateninterpretation hervor. Das *Sparging*-Verfahren war zwar effektiv bei der Erzeugung hoher Schaumvolumina, wies jedoch eine mangelnde Unterscheidungsfähigkeit auf. Das *Foam Flash* Verfahren führte in dieser Studie zu einem starken, Differenzierungen überdeckenden Schaumzerfall, bietet jedoch wertvolle Einblicke in die Schaumstabilität unter zyklischer Durchmischung und kann für Anwendungen nützlich sein, bei denen wiederholtes Rühren eine Rolle spielt. Die *Adapted Foam Flash Methode* erwies sich als die am besten geeignete Technik, da sie klare Unterscheidungen zwischen den Proben hinsichtlich Schaumhöhe, Stabilität und Struktur ermöglichte. Die Fähigkeit der *Adapted Foam Flash Methode*, Proben anhand von Schaumhöhe, Abflussverhalten und Blasen-Dynamik zu unterscheiden, macht sie ideal für Forschung und

Entwicklung sowie für die Qualitätskontrolle. Diese Methode ermöglichte eine präzise Unterscheidung der Schaumeigenschaften.

Probe 2 wies das größte Schaumvolumen auf, war jedoch aufgrund einer schnellen Blasenkoaleszenz instabil, was wahrscheinlich auf unzureichende polymere Stabilisatoren oder übermäßiges Zusammenwachsen der Blasen zurückzuführen war. Probe 1 zeigte ein Gleichgewicht zwischen Schaumstabilität und Blasenhomogenität – Eigenschaften, die den Erwartungen an Premiumprodukte entsprechen und auf optimale Wechselwirkungen zwischen Tensiden und Polymeren zurückzuführen sind. Probe 3 wies eine geringe Schaumhöhe auf und zeigte im Laufe der Zeit eine deutliche Koaleszenz.

Diese Ergebnisse haben praktische Auswirkungen auf die Rezepturoptimierung, die Qualitätskontrolle und die Verbraucherwahrnehmung. Eine Verbesserung der Stabilität von Probe 2 könnte durch den Einsatz kationischer Polymere, amphoterer Tenside oder Silikone erreicht werden, um die Schaumhaltbarkeit zu verlängern und die Festigkeit des Grenzflächenfilms zu verbessern. Die *Adapted Foam Flash* Methode erweist sich in diesem Fall als wertvolles Instrument für die routinemäßige Qualitätskontrolle, da sie reale Anwendungsbedingungen nachbildet.

Darüber hinaus deutet der Zusammenhang zwischen feinem, stabilem Schaum und einer erstklassigen sensorischen Attraktivität darauf hin, dass Rezepturanpassungen gezielt auf die Erwartungen der Verbraucher zugeschnitten werden können.

Diese Übereinstimmung zwischen Schaumstruktur und Verbraucherpräferenz unterstreicht die Möglichkeiten für gezielte Marketingstrategien und eine Premium-Produktpositionierung. Zukünftige Studien könnten den Einfluss der Tensidzusammensetzung und der Wechselwirkungen zwischen Additiven auf die Schaumeigenschaften untersuchen und dabei visuelle Darstellungen von Schaumhöhenverläufen, Drainagekurven und Blasengrößenverteilungen einbeziehen, um eine verbesserte vergleichende Analyse zu ermöglichen.

Literatur

D'Souza, P. und Rathi, S.K., 2015. Shampoo und Haarspülungen: Was sollte ein Dermatologe wissen? *Indian Journal of Dermatology*, 60(3), S. 248–254.

Viele weitere interessante Anwendungsberichte finden Sie auf unserer Website unter

<https://www.kruss-scientific.com/en/know-how/application-reports>