

sofw journal

Home & Personal Care Ingredients & Formulations

powered by **SOFW**



Formulierungs-Leitfaden: Maximierter UV-Schutz – Anleitung zur Optimierung von Sonnenschutzmitteln

M. Sohn, S. Kruś



Formulierungs-Leitfaden: Maximierter UV-Schutz – Anleitung zur Optimierung von Sonnenschutzmitteln

M. Sohn, S. Kruś

Während die Nachfrage nach Produkten mit höherem Lichtschutzfaktor (LSF) und verbessertem UVA-Schutz weiter steigt, werden die gesetzlichen Anforderungen an die Sicherheit und Umweltverträglichkeit von UV-Filtern immer strenger. Da der Einsatz einiger UV-Filter aufgrund regulatorischer Vorgaben sowie potenzieller gesundheitlicher oder umweltrelevanter Auswirkungen in Zukunft verboten werden könnte, arbeiten Hersteller von Sonnenschutzmitteln aktiv an neuen Lösungen, die einen ebenso wirksamen oder sogar verbesserten UV-Schutz bieten. Dieser Trend ist in allen Regionen zu beobachten. Im Mittelpunkt stehen dabei zwei Strategien: die Maximierung der Wirksamkeit des UV-Absorptionssystems durch Kombination unterschiedlicher UV-Filtertechnologien sowie die gezielte Nutzung spezifischer Hilfsstoffe und Formulierungseigenschaften. Ein praxisorientierter und wirksamer Ansatz für das UV-Filtersystem beruht dabei auf drei Kernprinzipien: der Sicherstellung eines Mindestniveaus an UVA-Schutz, der Priorisierung der Photostabilität und der Nutzung synergistischer Kombinationen, z. B. die Kombination aus wasser- und öldispersierten UV-Filtern und/oder die Zugabe von partikulären Filtern. Die gezielte Nutzung von Hilfsstoffen und Formulierungseigenschaften bietet zusätzliche Vorteile. Streupartikel verlängern die optische Weglänge und steigern somit die Wirksamkeit des Filters, während Filmbildner die Homogenität und damit die Effektivität des aufgetragenen Sonnenschutzes verbessern. In diesem Artikel wird ein synergistischer Ansatz zur Verbesserung der Wirksamkeit von Sonnenschutzmitteln vorgestellt, der diese beiden komplementären Strategien kombiniert. Dadurch wird es möglich, hochwirksame Sonnenschutzformulierungen mit reduzierter UV-Filterkonzentration zu entwickeln und künftigen Bedürfnissen von Verbraucherinnen und Verbrauchern gerecht werden.

Einleitung

Sonnenschutzmittel leisten einen entscheidenden Beitrag zum Schutz der Haut vor den schädlichen Auswirkungen der UV-Strahlung. Weltweit steigt die Nachfrage nach Produkten mit höherem Lichtschutzfaktor (LSF) und verbessertem UVA-Schutz (UVA-PF). Auf dem europäischen Markt wiesen bis 2025 76 % aller Sonnenschutzprodukte einen LSF von 50 oder höher auf. 2010 lag dieser Anteil noch bei 50 % [1]. Die Empfehlung der Europäischen Kommission aus dem Jahr 2006 sieht einen Mindestwert für den UVA-PF von einem Drittel des angegebenen LSF vor [2]. Parallel dazu versuchen Hersteller, die Konzentration von UV-Filtern aus sensorischen, regulatorischen, ökologischen und sicherheitsrelevanten Gründen möglichst gering zu halten. Hierbei ist auch zu beachten, dass die Anzahl der zugelassenen UV-Filter je nach Region stark variiert [3].

Dieses Paradoxon stellt eine wesentliche Herausforderung bei der Formulierung dar. Strategien für eine verbesserte Wirksamkeit zielen darauf ab, das Verhältnis zwischen UV-Schutzleistung und UV-Filterbelastung zu optimieren. In diesem Artikel erläutern wir, wie sich Ansätze für eine maximierte Wirksamkeit des UV-Filtersystems sowie für optimierte Hilfsstoffe und Formulierungsarchitekturen miteinander kombinieren lassen, um die bestmögliche Sonnenschutzleistung zu erzielen. Dabei wird aufgezeigt, dass diese beiden Ansätze am wirksamsten sind, wenn sie miteinander kombiniert werden.

Optimierung der UV-Filtersysteme für einen zuverlässigen und sicheren Schutz

1.1 Abdeckung der UV-Spektralbereiche

Um eine komplementäre spektrale Abdeckung und eine hohe Gesamtwirksamkeit des Sonnenschutzprodukts zu erreichen, ist die Kombination von UVB- und UVA-Filtern unerlässlich. Der wichtigste Parameter für die Wirksamkeit von Sonnenschutzmitteln ist der LSF, der den Schutz vor primär UVB-bedingten Hautrötungen bemisst. Der UVA-Schutz trägt jedoch gleichermaßen zu einem hohen Lichtschutzfaktor bei. Sayre und Kollegen konnten zeigen, dass der LSF bei alleiniger Verwendung von

UVB-Filtern höchstens im Bereich von 10 bis 15 liegt. Dies liegt daran, dass die ungefilterte UVA-Strahlung weiterhin zu etwa 20 % zur Ausbildung von Hautrötungen beiträgt [4]. Die Empfehlung der Europäischen Kommission sieht einen Mindestwert für den UVA-PF von einem Drittel des LSF vor, um einen Mindestschutz vor UVA zu gewährleisten. UVA-Strahlung steht nachweislich mit einer langfristigen Hautschädigung in Verbindung, darunter indirekte DNA-Schäden, die beispielsweise mit Hautkrebs, vorzeitiger lichtbedingter Hautalterung und Pigmentstörungen wie anhaltender Hyperpigmentierung, insbesondere bei melaninreicher Haut, assoziiert werden. Dementsprechend bemisst sich der UVA-Schutz an der UVA-induzierten persistierenden Pigmentverdunkelung (PPD – Persistent Pigment Darkening), die mit der maximalen biologischen Reaktion im UVA-Bereich korreliert (**Abbildung 1**).

In **Abbildung 1** sind die Wirksamkeitsspektren für Erythem und PPD dargestellt, die durch Gewichtung der UV-Spektralstrahlung mit den jeweiligen Wirkungsspektren ermittelt wurden und die die biologische Reaktion in Abhängigkeit von der Wellenlänge repräsentieren.

Darüber hinaus wird die Empfehlung der Europäischen Kommission von 2006 derzeit überarbeitet (5). In diesem Zuge wird vorgeschlagen, die Mindestanforderungen an den UV-PF gegebenenfalls zu erhöhen, um ein besseres spektrales Gleichgewicht zu erzielen [6].

1.2 Photostabilität und -kompatibilität

Ein weiterer wichtiger Faktor für einen zuverlässigen Schutz ist die Photostabilität. Photoinstabile UV-Filter können bei Strahlungseinwirkung Nebenprodukte und/oder freie Radikale bilden. Bei Sonnenschutzmitteln mit photolabilen UV-Filtern ist somit eine höhere Filterkonzentration erforderlich, um eine gleichwertige Schutzwirkung wie bei photostabilen Produkten zu erzielen.

Ein typisches Beispiel für einen photoinstabilen UV-Filter ist Butyl Methoxydibenzoylmethane (BMDDBM). Die Abbaumechanismen von BMDDBM wurden bereits umfassend untersucht [7]. Kurz zusammengefasst durchläuft BMDDBM zwei Arten von Photoreaktionen: einerseits eine reversible Enol-Keto-Isomerisierung und andererseits die problematischere und irreversible Norrish-Typ-1-Reaktion, bei der die Ketoform in Benzoyl- und Phenacylradikale aufgespalten wird, die anschließend Folgereaktionen eingehen können. Auch verschiedene weitere Photofragmente wurden identifiziert [8]. Zudem kommt es beim Quenching des Keto-Triplettzustands durch Sauerstoff zur Bildung von Singulett-Sauerstoff, was zu weiteren Folgereaktionen führen kann.

BMDDBM kann teilweise durch Quencher-Moleküle photostabilisiert werden. Für eine hohe Effektivität muss die Differenz zwischen der Deaktivierungsenergie von BMDDBM und der für den entsprechenden Übergang des jeweiligen Quenchers gering sein. Dies erklärt, warum geeignete Quencher oftmals andere UV-Filter sind, darunter Octocrylen (OCR) und Bis-ethylhexyl-

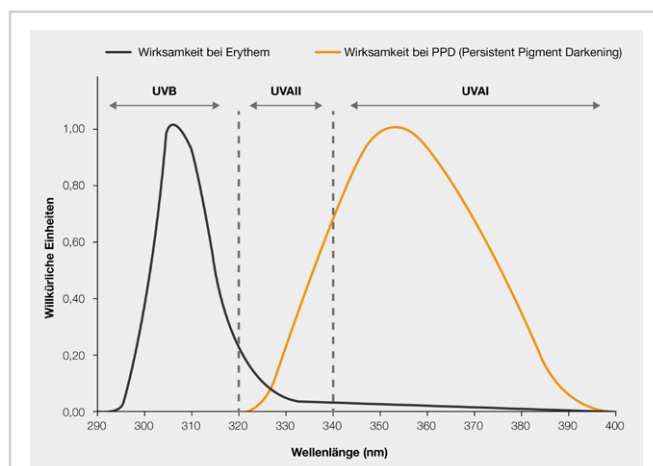


Abb. 1 Wirksamkeitsspektren von Erythem (schwarz) und PPD (orange).

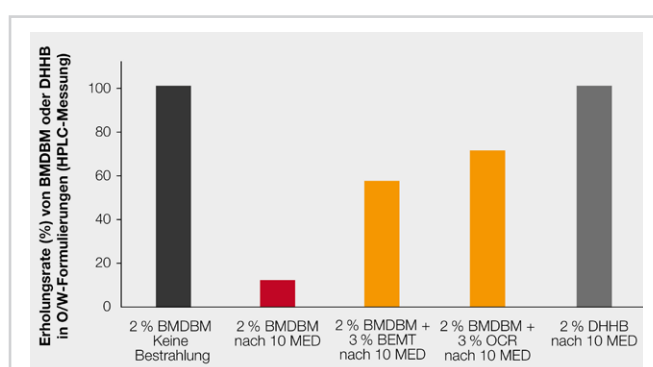


Abb. 2 Rückgewinnung von BMDDBM allein bzw. in Kombination mit BEMT oder OCR und von DHHB nach 10 MED UV-Strahlung.

oxyphenol methoxyphenyl triazine (BEMT). **Abbildung 2** zeigt die Rückgewinnungsrate nach UV-Bestrahlung von BMDDBM allein sowie in Kombination entweder mit OCR oder BEMT im Vergleich zu dem photostabilen UV-Filter Diethylamino Hydroxybenzoyl Hexyl Benzoate (DHHB) in einer Öl-in-Wasser-Formulierung, die im Rahmen von HPLC-Messungen ermittelt wurde.

Wie in **Abbildung 2** zu sehen ist, ist BMDDBM hochgradig photoinstabil und weist einen Verlust von mehr als 80 % auf. BMDDBM kann durch OCR und BEMT teilweise photostabilisiert werden, jedoch ist diese Stabilisierung nicht vollständig – die Verlustrate liegt weiterhin zwischen 30 und 40 % und es kann es zur Bildung freier Radikale kommen. Diese Ergebnisse stimmen mit früheren Studien von Herzog et al. und Sohn et al. überein, die die Photokinetik von BMDDBM mit OCR und BEMT als Quencher mittels HPLC-Messungen und quantenchemischen Berechnungen untersucht haben [9,10]. Darüber hinaus geht der Einsatz von OCR in Sonnenschutzmitteln aus unterschiedlichen Gründen immer weiter zurück [11]. Da BEMT gelöst werden muss, ist ein technisch gleichwertiger Ersatz von OCR bei denselben Konzentrationen nicht möglich. Dies unterstreicht die Tatsache, dass ein erheblicher Teil von BMDDBM unweigerlich photochemisch abgebaut wird. Auch bei weiteren Molekülen wurde nachgewiesen, dass sie BMDDBM im an-

geregten Zustand quenchen. Obwohl einige dieser Moleküle zwar dieselbe chemische Struktur wie zugelassene UV-Filter aufweisen, liegt keine offizielle Zulassung oder Sicherheitsbewertung vor. Typische Beispiele sind Butyloctyl salicylate (nicht zugelassenes UV-absorbierendes Molekül) und Ethylhexyl Salicylate (zugelassener UV-Filter), die beide denselben Salicylsäure-Chromophor enthalten. Diese werden auch als „versteckte“ UV-Filter bezeichnet [12,13], sind jedoch keine gangbare Option für eine zuverlässige Formulierung.

Angesichts dieser Einschränkungen besteht der effektivste Ansatz darin, inhärent photostabile UV-Filter wie Ethylhexyl Triazone (EHT), DHHB und BEMT einzusetzen, um unerwünschte Nebenwirkungen und Folgereaktionen vollständig zu vermeiden.

1.3 Synergieeffekte der Phasenverteilung von Öl-Wasser-Systemen zur Leistungssteigerung

Die kombinierte Verwendung hydrophiler und lipophiler UV-Filter bietet eine weitere Möglichkeit für einen verbesserten UV-Schutz. Wenn nur lipophile Filter eingesetzt werden [14], kann es bei Öl-in-Wasser-Emulsionen nach dem Auftragen zu ungeschützten Bereichen mit Wasseransammlungen kommen. Für eine optimale Abdeckung und einen verbesserten LSF/UVA-Schutz ist daher eine Kombination aus hydrophilen und lipophilen UV-Filtern unerlässlich. **Abbildung 3** zeigt dieses Grundprinzip anhand der farbdifferenzierten Lichtmikroskopie.

Wenn nur lipophile UV-Filter verwendet werden, verbleiben Teile der Haut aufgrund der nach dem Auftrag verbleibenden Bereiche der Wasserphase (in blau) ohne UV-Schutz. Das führt zu einer generellen Beeinträchtigung der Schutzwirkung von Sonnenschutzmitteln. Die effektivste Lösung hierfür ist die Zugabe eines wasserlöslichen UV-Filters, der nicht nur den LSF, sondern gleichermaßen den UVA-Schutzfaktor erhöht, sowohl im UVB- als auch im UVA-Bereich. Möglich ist dies mit dem wasserlöslichen Terephthalylidene Dicapthor Sulfonic Acid (TDSA) [14], der primär als UVA-Filter (maximale Absorption bei 345 nm) klassifiziert ist, dessen Absorptionsspektrum jedoch auch bis in den UVB-Bereich reicht. Somit wirkt er sich sowohl auf den UVA-Schutz als auch den LSF positiv aus (**Tabelle 1**).

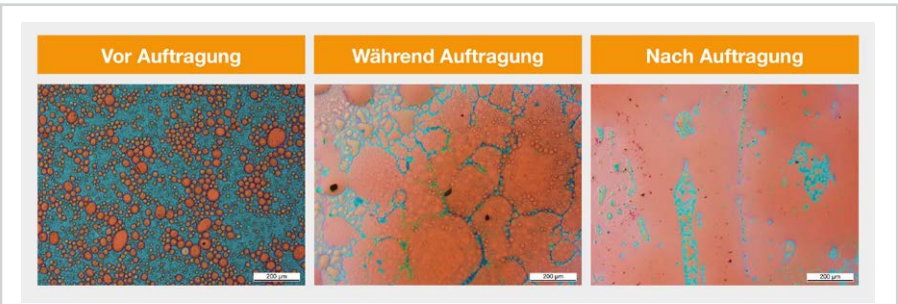


Abb. 3 Lichtmikroskopische Aufnahmen einer Öl-in-Wasser-Emulsion mit in Öl dispergiertem rotem Pigment Sudan III (C. I. 26100) und in Wasser dispergiertem blauem Pigment (C. I. 42090) vor, während und nach dem manuellen Auftrag auf einer Glasplatte.

Phase	Handelsname	INCI	Gew.-%		
			Referenz	Referenz + TDSA	
A	Eumulgin Prisma	Disodium Cetearyl Sulfosuccinate	1,00	1,00	
	Emulgade® PL 68/50	Cetearyl Glucoside (and) Cetearyl Alcohol	3,00	3,00	
	Lanette® O	Cetearyl Alcohol	0,80	0,80	
	Cetiol® ABV	C12-15 Alkyl Benzoate	7,00	7,00	
	Cetiol® B	Dibutyl Adipate	15,00	15,00	
	Cetiol® Sensoft	Propylheptyl Caprylate	5,00	5,00	
		Preservative	q.s.	q.s.	
	Uvinul® T 150	Ethylhexyl Triazone	3,00	3,00	
	Tinosorb® S	Bis-Ethylhexyloxyphenol Methoxyphenyl Triazine	3,50	3,50	
	Uvinul® A Plus	Diethylamino Hydroxybenzoyl Hexyl Benzoate	4,50	4,50	
B	Water	Aqua	q.s.p. 100 %	q.s.p. 100 %	
	Glycerin	Glycerin	5,00	5,00	
	Verdessence® Xanthan	Xanthan gum	0,30	0,30	
C	Uvinul® TS Hydro *	Aqua (and) Terephthalylidene Dicapthor Sulfonic Acid	–	3,00	
	L-Arginine	Arginine	–	0,60	
D	Cetiol® Ultimate	Undecane (and) Tridecane	3,00	3,00	
Leistung			LPF in vivo	28	33
			UVA-PF in vitro	12,7	14,7

* Uvinul® TS Hydro ist eine 30 %ige Wirkstofflösung; 3 % Uvinul® TS Hydro entspricht einem Wirkstoffgehalt von 1 %

Tabelle 1: Öl-in-Wasser-Formulierung mit und ohne 1 % TDSA sowie dem entsprechenden LSF und UVA-PF.

In dieser Formulierung sorgt die Zugabe von TDSA für einen Anstieg des LSF um ca. 20 %, wobei der Gesamtgehalt an Filterstoffen um weniger als 10 % steigt.

1.4 Streueigenschaften von partikulären UV-Filtern
Partikuläre UV-Filter absorbieren nicht nur UV-Strahlung, sondern streuen auch Licht. Dadurch verlängern sie die optische Weglänge durch die Sonnenschutzschicht und erhöhen die Wahrscheinlichkeit, dass das gestreute Licht von den umgebenden löslichen UV-Filtermolekülen absorbiert wird. Dieser Kombieffekt steigert die Gesamtleistung des UV-Filtersystems [15]. Der doppelte Wirkmechanismus aus Absorption und

Streuung funktioniert sowohl bei anorganischen als auch organischen partikulären UV-Filtern, wobei die Absorption nach wie vor der Hauptmechanismus bleibt und die Streuung etwa 10–20 % der Gesamtwirkung ausmacht. In **Abbildung 4** werden diese Prozesse zur UV-Abschwächung veranschaulicht.

Im Vergleich zu anorganischen partikulären Filtern bieten organische Varianten eine höhere Absorptionsfähigkeit und eignen sich somit für geringere Konzentrationen. Die beiden derzeit in Europa zugelassenen und kommerziell verfügbaren Optionen sind der UVB-Filter Tris-biphenyl Triazine (TBPT) (Tinosorb® A2B) sowie der Breitspektrumfilter Methylene Bis-Benzotriazolyl Tetramethylbutylphenol (MBBT) (Tinosorb® M), die beide als wässrige Dispersionen erhältlich sind.

In **Abbildung 5** ist das Streuvermögen bei steigender Konzentration des partikulären Filters TBPT im UVB-, UVAII- und UVAI-Bereich dargestellt.

Das Streuvermögen hängt sowohl von der Wellenlänge als auch von der Filterkonzentration ab: Es ist höher in Bereichen mit geringer Absorption und nimmt bei niedrigen Partikelkonzentrationen zu. Wenn die Partikel weiter voneinander entfernt sind, ist die Wahrscheinlichkeit geringer, dass gestreutes Licht erneut absorbiert wird. Bei höheren Konzentrationen wird die Absorption zum vorherrschenden Abschwächungsmechanismus [16].

1.5 Beispiele von UV-Filtersystemen als ideale Lösung

Eine Filtermatrix mit unterschiedlichen Filtern für die oben beschriebenen Aspekte ist die ideale Lösung, um deren spezifische Vorteile zu nutzen. In **Tabelle 2** sind beispielhafte UV-Filterkombinationen für Formulierungen mit LSF 30 dargestellt: für ein typisches UVA-PF/LSF-Verhältnis von 1/3 sowie ein erhöhtes Verhältnis von 1/2. Für die letztere Kombination werden zwei Versionen aufgeführt, mit und ohne den partikulären MBBT-Filter sowie eine Alternative auf Basis von TDSA als UVA-Filter. Anstatt die Anzahl der Filter zu minimieren, sollte die optimale Filtermatrix mehrere Filter enthalten, um die jeweiligen Vorteile zu nutzen.

2. Leistungssteigerung durch Optimierung der Hilfsstoffe sowie der Formulierungsstruktur

Die Wirksamkeit von Sonnenschutzmitteln hängt unmittelbar von der aufgetragenen Sonnenschutzschicht ab und lässt sich sowohl durch Hilfsstoffe (lichtstreuende Mittel und Filmbildner) als auch durch die Formulierungsstruktur (Art und Viskosität) beeinflussen.

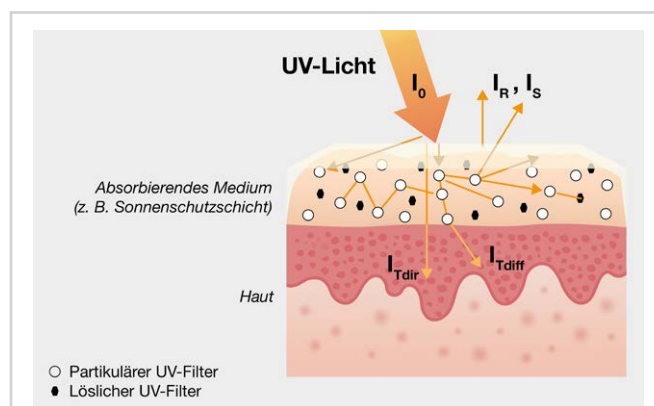


Abb. 4 UV-Abschwächung von partikulären UV-Filtern; wobei: I_0 = Intensität des einfallenden Lichts; I_{Tdir} = Intensität des direkt durchgelassenen Lichts; I_{Tdiff} = Intensität des diffusen durchgelassenen Lichts; I_S und I_R = Intensität des reflektierten bzw. gestreuten Lichts.

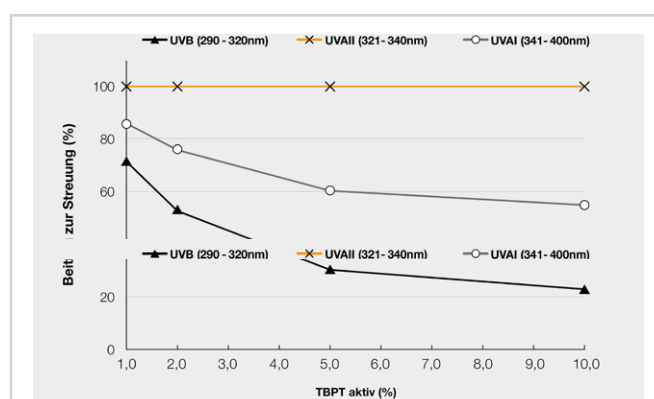


Abb. 5 Streuvermögen bei unterschiedlichen Konzentrationen des partikulären TBPT-Filters im UVB-, UVAII- und UVAI-Bereich.

UV-Filterart	UV-Filter *	Formulierungsphase	UVA-PF/LSF-Verhältnis von 1/3	UVA-PF/LSF-Verhältnis von 1/2	UVA-PF/LSF-Verhältnis von 1/2
UVB	EHT	Öllöslich	3,5	2,5	3,5
	TBPT	In Wasser dispergiert	1,0	1,0	-
Breitspektrum	BEMT	Öllöslich	2,0	2,0	3,0
	MBBT	In Wasser dispergiert	-	1,0	-
UVA	DHHB	Öllöslich	4,0	4,0	4,0
	TDSA	Wasserlöslich	-	-	2,0

* EHT, Ethylhexyl Triazone; TBPT, Tris-Biphenyl Triazone; BEMT, Bis-Ethylhexyloxyphenol Methoxyphenyl Triazine; MBBT, Methylene Bis-Benzotriazolyl Tetramethylbutylphenol; DHHB, Diethylamino Hydroxybenzoyl Hexyl Benzoate; TDSA, Terephthalylidene Dicamphor Sulfonic Acid

Tabelle 2: UV-Filterkombinationen mit LSF 30 für ein typisches UVA-PF/SPF-Verhältnis von $\frac{1}{3}$ und einem erhöhten UVA-PF/LSF-Verhältnis von $\frac{1}{2}$.

2.1 Lichtstreuende Mittel

Lichtstreuende Mittel wirken wie partikuläre UV-Filter, indem sie die optische Weglänge durch die Sonnenschutzschicht verlängern. Sie enthalten jedoch keine Chromophore und besitzen damit keine UV-absorbierende Wirkung. Ein Beispiel hierfür ist

Tinomax™ CC (INCI: Calcium Carbonate, Hydroxyapatite), ein funktionalisiertes und auf natürlicher Basis hergestelltes Partikelmaterial aus Calciumcarbonat und Hydroxyapatit (NATRUE- und COSMOS-zertifiziert). Erhältlich als hochporöses Pulver mit einem D50 von 3–4 µm lässt es sich mittels Hochgeschwindigkeitshomogenisierung leicht in der Öl- oder Wasserphase dispergieren. Für maximale Stabilität sollte der pH-Wert der Endformulierung bei mindestens 7 liegen. Die Wirkung dieses funktionellen Partikels wurde durch Messung der Absorptionsänderungen des Farbstoffs Patent Blue V untersucht, der ein Absorptionsmaximum bei 636 nm aufweist. Analog zum Studiendesign von Herzog [15] wurde die Konzentration von Tinomax™ CC schrittweise von Messung zu Messung erhöht. Bei diesem Versuchsaufbau wurde die Farbstoffkonzentration auf einem konstanten Niveau gehalten, während die Konzentration des funktionellen Partikels von 0 bis 5 % (0,1,2,3,4 und 5 %) variiert wurde. Die Absorption des Farbstoffs wurde mithilfe eines UV/ VIS- Spektrometers mit einer Ulbricht-Kugel gemessen. Die Ergebnisse sind in **Abbildung 6** dargestellt.

Die Ergebnisse in **Abbildung 6** zeigen eine klare Abhängigkeit zwischen Dosis und Wirkung. Dieser Effekt gilt gleichermaßen auch für den Einfluss von Tinomax™ CC auf lösliche UV-Filter: Durch die Lichtstreuung wird die Absorption der umgebenden löslichen UV-Filtermoleküle verstärkt. Um den Streueffekt partikulärer Filter nicht zu beeinträchtigen, entfaltet es seine beste Wirkung in Systemen mit löslichen Filtern, in denen eine Leistungssteigerung von 20 bis 30 % zu erwarten ist. So ließ sich beispielsweise in einem Filtersystem bestehend aus 2 % EHT, 5 % EHS, 3 % BEMT und 5 % DHHB durch Zugabe von 3 % Tinomax™ CC *in vivo* eine Erhöhung des LSF von 44 auf 54 erreichen.

2.2 Filmbildner

Schwankungen in der Schichtdicke können selbst bei identischen UV-Filterkonzentrationen zu unterschiedlichen LSF-Werten führen [17]. Um eine gleichmäßige Schicht zu erzielen und den LSF sowie die Wasserfestigkeit zu verbessern, werden daher Filmbildner, in der Regel Wachse, eingesetzt. Einige Wachse kristallisieren jedoch ungleichmäßig, was sich nachträglich auf die Stabilität der Formulierung auswirkt. In diesem Zusammenhang erwies sich das filmbildende Wachs Dicocoyl Pentaerythrityl Distearyl

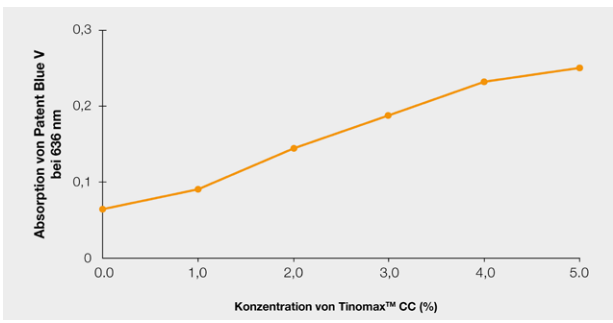


Abb. 6 Zusammenhang zwischen der Farbstoffabsorption bei 636 nm und der Konzentration von Tinomax™ CC.

Handelsname	INCI	Gew.-%		
		Placebo	Synthetischer Filmbildner	Cutina® Shine Filmbildner
Teil A – Ölphase				
Eumulgin® Prisma	Disodium Cetearyl Sulfosuccinate	0,20	0,20	0,20
Cutina® GMS-SE	Glyceryl Stearate SE	2,00	2,00	2,00
Lanette® O	Cetearyl Alcohol	1,50	1,50	1,50
	Triaccontanyl PVP	–	3,00	–
Cutina® Shine	Dicocoyl Pentaerythrityl Distearyl Citrate	–	–	3.00
Cetiol® B	Dibutyl Adipate	12,00	12,00	12,00
Cetiol® CC	Dicaprylyl Carbonate	5,00	5,00	5,00
Eutanol® G	Octyldodecanol	3,00	3,00	3,00
Cetiol® Sensoft	Propylheptyl Caprylate	2,00	2,00	2,00
Cetiol® OE	Dicaprylyl Ether	2,00	2,00	2,00
Verdessence® Xanthan	Xanthan Gum	0,50	0,50	0,50
	Preservative	q.s.	q.s.	q.s.
Uvinul® T 150	Ethylhexyl Triazone	3,00	3,00	3,00
Tinosorb® S	Bis-Ethylhexyloxyphenol Methoxyphenyl Triazine	2,00	2,00	2,00
Uvinul® A Plus	Diethylamino Hydroxybenzoyl Hexyl Benzoate	6,00	6,00	6,00
Teil B – Wasserphase				
Water	Aqua	q.s.p. 100 %	q.s.p. 100 %	q.s.p. 100 %
Glycerin	Glycerin	3,00	3,00	3,00
Teil C – Nach der Emulgierung				
Wasser	Water	10,00	10,00	10,00
	Phenylbenzimidazole Sulfonic Acid	0,70	0,70	0,70
	Tromethamine	q.s.	q.s.	q.s.
Teil D – Nach der Emulgierung				
Tinosorb® A2B	Tris-Biphenyl Triazine (nano), Aqua, Decyl Glucoside, Disodium Phosphate, Butylene Glycol, Xanthan Gum	4,00	4,00	4,00
Leistung		37	44	60
Wasserfestigkeit <i>in vivo</i> (%)		27%	61%	57%

Tabelle 3: Zusammensetzung von Sonnenschutzmitteln mit und ohne Filmbildner und deren LSF und Wasserfestigkeit *in vivo*.

Citrate (Cutina® Shine) als wirksame Lösung [18]. Im Gegensatz zu konventionellem, synthetisch hergestelltem Triaccontanyl-PVP

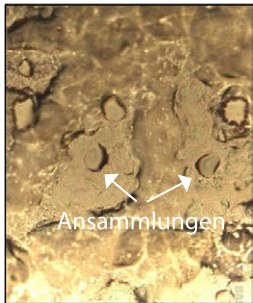
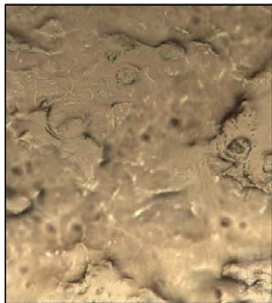
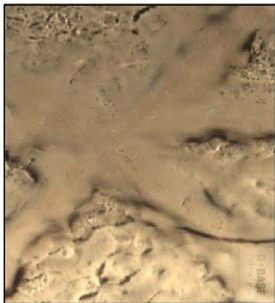
AQUARICH®-MAX	Lotion (ref. 14123-7-1)	Lotion (ref. 14123-1-2)	Lotion (ref. 14123-1-1)
Emulgator 1	Sucrose Palmitate (and) Glyceryl Stearate (and) Glyceryl Stearate Citrate (and) Sucrose (and) Mannan (and) Xanthan Gum	Lauryl Glucoside (and) Polyglyceryl-2 Dipolyhydroxystearate (and) Glycerin	Lauryl Glucoside (and) Polyglyceryl-2 Dipolyhydroxystearate (and) Glycerin
Emulgator 2	–	Glyceryl Stearate (and) Peg-100 Stearate	Glyceryl Stearate (and) Peg-100 Stearate
Verdickungsmittel	Polymeric thickener	–	Polymeric thickener
Mikroskopische Aufnahme X200			
filmbeschaffenheit	Filmsammlung	Keine Ansammlung	Keine Ansammlung
LSF <i>in vitro</i>	14	31	43

Tabelle 4: Mikroskopische Aufnahme der Filmschicht und *in vitro* bestimmter LSF von Formulierungen mit unterschiedlichen Emulgatoren/Verdickungsmitteln und variierender Viskosität bei konstantem UV-Filtersystem.

wird Cutina® Shine aus RSPO-zertifiziertem, nachhaltig gewonnenem Palmkernöl hergestellt. Es enthält 75 % erneuerbaren Kohlenstoff. Der Schmelzbereich von 45–50°C ermöglicht während der Emulsionsherstellung eine einfache Integration durch Einschmelzen in die Ölphase.

Tabelle 3 zeigt die *in vivo* ermittelten Werte für den LSF und die Wasserfestigkeit (ISO 24444; ISO 16217) im Vergleich zu Formulierungen mit den wachsbasierten Filmbildnern Triacetyl PVP bzw. Dicocoyl Pentaerythrityl Distearyl Citrate und einem Placebo.

Die Zugabe von Cutina® Shine hat zu einer deutlichen Erhöhung des LSF und der Wasserfestigkeit geführt. Diese Ergebnisse wurden *in vivo* über mehrere Formulierungsplattformen hinweg bestätigt.

2.3 Auswirkungen der Formulierungsart und der Viskosität

Neben den einzelnen Hilfsstoffen trägt auch das Trägersystem – inklusive Formulierungsart und Viskosität – nachweislich zur Filmverteilung und damit zum erzielten Lichtschutz bei. Wir haben eine schnelle und einfache qualitative Methode zur Bewertung der Filmhomogenität mittels optischer Lichtmikroskopie entwickelt, die auf einer Kombination aus Schweinehaut und PMMA aufgetragen wurden. Das verwendete Substrat besteht aus im Spritzgussverfahren hergestellten PMMA-Platten (SPF Master PA01 – Shiseido Irica Technology), die mit Hornschicht eines Schweineohrs überzogen wurden. Dieses kombinierte Substrat bildet die Oberflächenstruktur und Rauheit der menschlichen Haut nach (SPF Master PA01), während die mit Trypsin behandelte Hornschicht ähnliche Oberflächeneigenschaften aufweist wie die menschliche Haut [19]. Eine Testmenge von 2 mg/cm² der Testformulierung wurde auf das Substrat

aus Schweinehaut und PMMA aufgetragen und anschließend wurden optische Lichtmikroskopaufnahmen angefertigt. Der LSF *in vitro* wurde anhand von Messungen der UV-Durchlässigkeit ermittelt, die an der Substratplatte aus Schweinehaut und PMMA durchgeführt wurden.

Dabei wurden Formulierungen mit verschiedenen Emulgator-Arten und unterschiedlicher Viskosität untersucht. Das UV-Filtersystem – EHMC, DHHB und BEMT – sowie die Emollientkonzentration wurden dabei auf einem konstanten Wert gehalten (**Tabelle 4**).

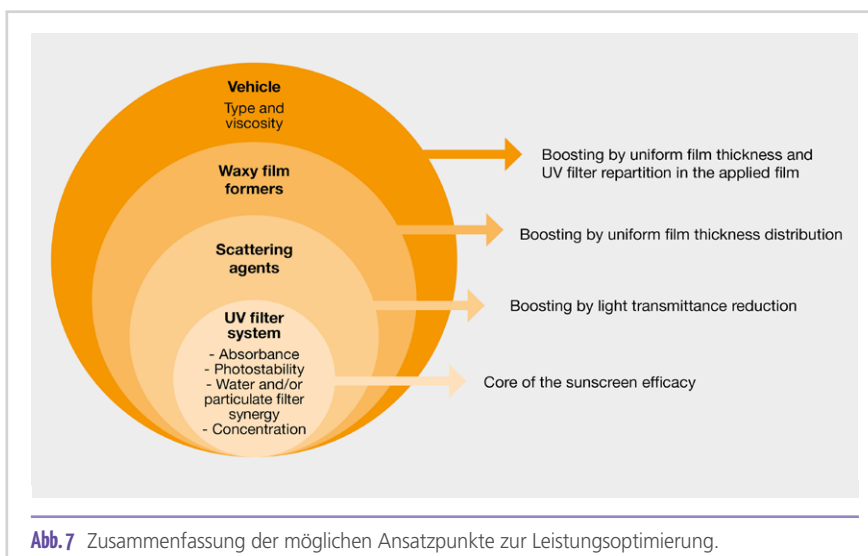
Die Filmverteilung auf dem Substrat aus Schweinehaut/PMMA war unzureichend, da nach dem Auftragen lokale Ansammlungen der Formulierung in Form von voneinander abgegrenzten, tropfenartigen Perlen zurückblieben.

Die Ergebnisse zeigen, dass die Formulierung mit mikroskopisch sichtbar diskret verteiltem Sonnenschutz einen deutlich niedrigeren LSF von 14 aufwies als die beiden anderen Formulierungen mit über 31. Zudem ergab die Studie, dass die Kombination aus Emulgator/Verdickungsmittel einen großen Einfluss auf den *in vitro* bestimmten LSF-Wert hat.

Im Rahmen einer früheren Studie wurden fünf Formulierungen untersucht – O/W-Creme, O/W-Fluid, Gel, W/O und ein klares lipoalkoholisches Spray (CAS). Dabei wurde gezeigt, dass die beiden Trägersysteme mit der niedrigsten Viskosität (O/W-Fluid und CAS) die dünnsten Filme und den niedrigsten LSF erzeugten. Dabei blieben große Bereiche nahezu ohne Schutz, während sich das Produkt in Hautfalten ansammelte. Die LSF-Werte waren in diesem Fall geringer als bei den Formulierungen mit Verdickungsmittel, die im Rahmen derselben Studie ebenfalls untersucht wurden. Das lässt darauf schließen,

dass die Zugabe von Verdickungsmitteln eine wesentliche Voraussetzung für einen ausreichenden Sonnenschutz ist [17].

Wie die vorherige Analyse gezeigt hat, hängt der UV-Schutz in erster Linie von den eingesetzten UV-Filtern ab, also von den Wirkstoffen in Sonnenschutzmitteln. Die Gesamtleistung lässt sich jedoch durch die gezielte Auswahl von Hilfsstoffen und Trägersystemen maximieren, wie in **Abbildung 7** zusammengefasst.



Zusammenfassung

In diesem Artikel wurde aufgezeigt, dass ein optimal formuliertes Sonnenschutzmittel auf einem maximierten UV-Filterssystem, sorgfältig ausgewählten Hilfsstoffen sowie einer durchdachten Formulierungsstruktur basiert. Die Daten bestätigen, dass dieser holistische Ansatz deutliche Verbesserungen des LSF und des UVA-PF bietet und die heutigen Anforderungen an Sicherheit, sensorische Eigenschaften und Umweltschutz auch ohne den Einsatz nicht zugelassener, „versteckter“ UV-Filter erfüllt. Angesichts anhaltender Bedenken hinsichtlich der Ökotoxizität und im Zuge europäischer Regulierungsvorhaben müssen künftige Innovationen bei Sonnenschutzmitteln zunehmend auf intelligenten Formulierungsstrategien beruhen als auf immer höheren Filterkonzentrationen.

Referenzen:

- [1] Mintel 2026, search criteria: Europe, Sun protection, SPF 50 and 50+ for specific timeframe
- [2] EC recommendation 2006: EUR-Lex - 32006H0647 - EN - EUR-Lex
- [3] M. Sohn Balancing human and environmental safety. *Cosma* 1-2 (2023), 22-25
- [4] R.M. Sayre, J.C. Dowdy, D.L. Lott, E. Marlowe Commentary on 'UVB-SPF': the SPF labels of sunscreen products convey more than just UVB protection. *Photodermatol Photoimmunol Photomed* 24(4) (2008), 218–220
- [5] R. Mokry 17th Sun protection Conference 2025. Revision of the European Commission's 2006 recommendation on sunscreen products
- [6] Dudley et al. Spectral homeostasis – the fundamental requirement for an ideal sunscreen in Challenges in Sun Protection. *Curr Probl Dermatol*. Basel, Karger, 2021, vol 55
- [7] W. Schwack, T. Rudolph Photochemistry of dibenzoyl methane UVA filters Part 1. *J. Photochem. Photobiol. B: Biology* 28 (1995), 229 – 234
- [8] P. Dutta, B. Wang Understanding Avobenzone Part I: Characterization. *Cosmetics & Toiletries* 132 (2017), 19-35
- [9] B. Herzog et al. Photostability of UV absorber systems in sunscreens. *Photochem Photobiol* 85 (2009), 869-78

- [10] M. Sohn et al. Photokinetics of oil soluble 1,3,5-Triazine UV filters in combination with Butyl Methoxydibenzoylmethane or with Diethylamino Hydroxybenzoyl Hexyl Benzoate. *J Photochem Photobiol*. 8(2021), 100073
- [11] Mintel 2026, search criteria: Europe, Sun protection, presence of Octocrylene for specific timeframe
- [12] L. Gavey. Hidden UV Filters: An Analysis of the 150 Most Popular Sunscreens. *J Am Acad Dermatol* 6 (2025), 1594-96
- [13] <https://labmuffin.com/100-mineral-sunscreens-using-unregulated-chemical-filters/>
- [14] M. Sohn, S. Krus Terephthalylidene Dicamphor Sulfonic Acid: Tackling Contemporary Challenges in Suncare Solutions. *SOFW* 151 (7+8) (2025), 22-28
- [15] B. Herzog, F. Sengün Scattering particles increase absorbance of dyes – a model study with relevance for sunscreens. *Photochem Photobiol Sci*. (14) (2015), 2054-63
- [16] M. Sohn et al. Scattering as part of the protection afforded by nanoparticulate filters – An example with tris-biphenyltriazine. *Int J Cosmet Sci* 47(6) (2025), 1043-55
- [17] M. Sohn Film thickness frequency distribution of different vehicles determines sunscreen efficacy. *J Biomed Opt* 19(11) (2014)
- [18] S. Krus Sunscreen Solutions: Film-forming Wax Increases Protection and Water Resistance *SOFW* 151 (03) (2025), 34-37
- [19] M. Sohn et al. Porcine Ear Skin as a Biological Substrate for *in vitro* Testing of Sunscreen Performance. *Skin pharmacol physiol* 28 (2015), 31-41

Autoren



Dr. Myriam Sohn

Dr. Myriam Sohn,
Principal Scientist,
Global Technical Center Sun Care

Stanislaw Krus,
Head of Global Technical Center Sun Care

BASF Grenzach GmbH
Koechlinstrasse 1,
79639 Grenzach-Wyhlen | Deutschland
www.personal-care.basf.com