

Bindemittel vom Acker nebenan



Quelle: Oleh Marchak - stock.adobe.com

PFLANZLICHE ROHSTOFFE // CAMELINA-ÖL BIETET ALS REGIONAL VERFÜGBARER, KAUM MIT DER LEBENSMITTELPRODUKTION KONKURRIERENDER ROHSTOFF NEUE POTENZIALE FÜR DIE HERSTELLUNG NACHHALTIGER BINDEMITTEL UND ADDITIVE. VERGLEICHE MIT ETABLIERTEN BINDEMITTELN BELEGEN SEINE LEISTUNGSFÄHIGKEIT. DURCH CHEMISCHE MODIFIKATIONEN LASSEN SICH DIE EIGENSCHAFTEN DER ÖLE GEZIELT AN SPEZIFISCHE ERFORDERNISSE ANPASSEN. DER ANBAU DER CAMELINA-PFLANZE HAT ZUDEM AGRONOMISCHE UND ÖKOLOGISCHE VORTEILE.

Caroline Matthiesen, Dr. Anke Wiegand und
Lars Ossenschmidt, Worlée Chemie

Die Transformation hin zu nachhaltigeren Materialien stellt die Lack- und Rohstoffindustrie vor große Herausforderungen.

Insbesondere mittelständische Unternehmen sind häufig auf die Rohstoffe größerer Chemiekonzerne angewiesen, was die Möglichkeiten zur Gestaltung nachhaltiger Lieferketten begrenzt. Der Aufbau eigener Rohstoffquellen kann neue Spielräume eröffnen und eine gezielte Anpassung an ökologische und wirtschaftliche Anforderungen ermöglichen. Ein vielversprechender Rohstoff in diesem Kontext ist Camelina-Öl, das aus der Pflanze *Camelina sativa* (Leindotter) gewonnen wird. Aufgrund seiner besonderen Eigenschaften bietet es eine nachhaltige Alternative für die Herstellung von Bindemitteln und Additiven in Farben und Lacken.

Regionale Wertschöpfung, nachhaltige Lieferkette

Ein entscheidender Vorteil von Camelina-Öl ist seine regionale Verfügbarkeit. Der Anbau in heimischen Gebieten verkürzt die Transportwege und reduziert so den ökologischen Fußabdruck im Vergleich zu importierten Pflanzenölen. Durch den lokalen Anbau wird nicht nur die Umwelt geschont, sondern auch die landwirtschaftliche Wertschöpfungskette gestärkt. Eine gezielt aufgebaute Lieferkette stellt eine nachhaltige und effiziente Nutzung sicher. Von der Aussaat über die Ernte bis hin zur Weiterverarbeitung erfolgt jeder Schritt in enger Abstimmung mit regionalen Partnern. Nach der Ernte wird das Saatgut in ortsnahen Ölmühlen gepresst, wobei neben dem Öl ein proteinreicher Presskuchen entsteht, der als hochwertiges Futtermittel eingesetzt wird. Durch diese optimierte Lieferkette ist eine nachhaltige, verlässliche und effiziente Versorgung mit Camelina-Öl gewährleistet (Abb. 1).

Keine Konkurrenz zur Lebensmittelproduktion

Ein zentraler Aspekt nachhaltiger Rohstoffe ist es, eine Konkurrenz zur Lebensmittelproduktion zu vermeiden. Camelina bietet verschiedene Anbaukonzepte, die eine effiziente Nutzung landwirtschaftlicher Flächen ermöglichen. Durch den schnellen Wachstumszyklus von nur etwa zehn Wochen kann Camelina zwischen Hauptfruchtkulturen angebaut werden, ohne wertvolle Ackerflächen zu blockieren. Zudem eignet sich Camelina ideal für den Mischfruchtanbau, beispielsweise mit Erbsen. Diese Kombination bringt zahlreiche agronomische Vorteile: Die Camelina-Pflanze dient als Rankhilfe für die Erbsen, was die Ernte erleichtert und

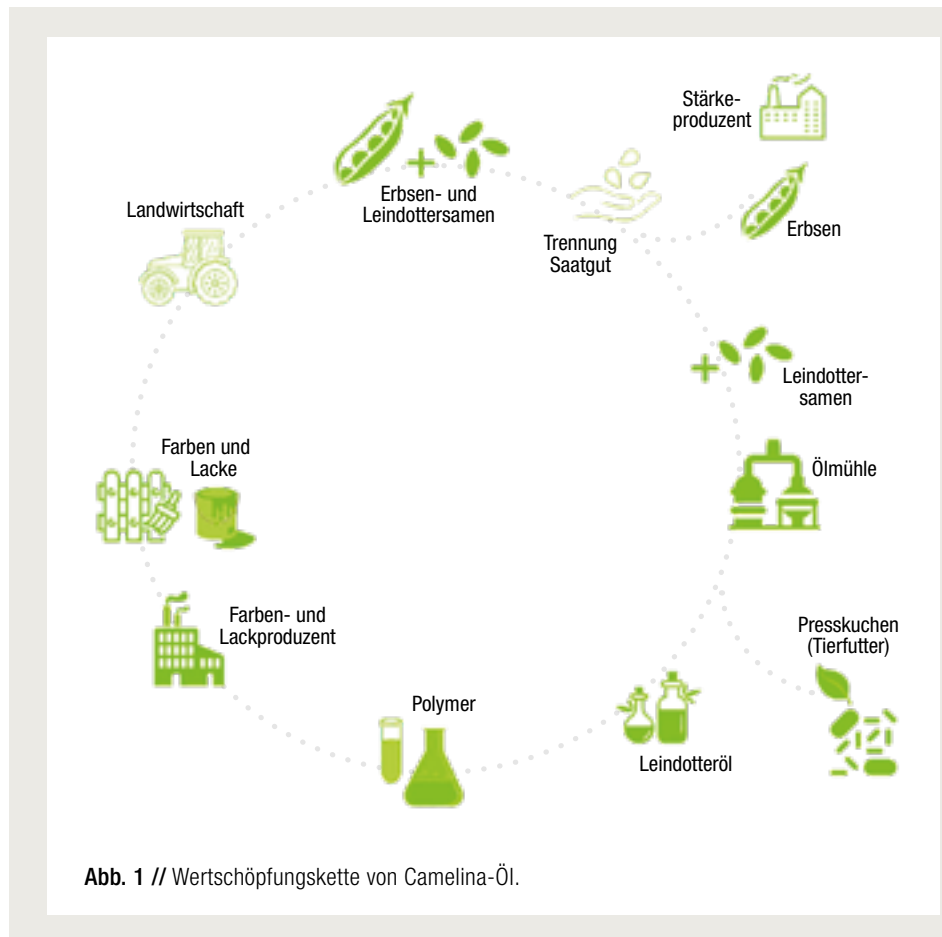


Abb. 1 // Wertschöpfungskette von Camelina-Öl.

Ernteverluste durch Umknicken der Pflanzen reduziert. Ein weiterer Vorteil ist die Möglichkeit des Anbaus auf marginalen Flächen, die für die Lebensmittelproduktion ungeeignet sind. Damit trägt Camelina zur Diversifizierung der landwirtschaftlichen Nutzung bei und verbessert die Effizienz der Flächennutzung. Neben den wirtschaftlichen Aspekten spielt auch der ökologische Nutzen eine wichtige Rolle. Camelina trägt zur Förderung der Biodiversität bei, da seine lange Blühphase im Juni eine

wichtige Nahrungsquelle für Bienen und andere Bestäuberinsekten darstellt. Dies wirkt dem Insektensterben entgegen und stärkt das ökologische Gleichgewicht in Agrarlandschaften. Darüber hinaus hat Camelina eine natürliche Resistenz gegen Blattläuse, wodurch der Einsatz von Insektiziden minimiert werden kann. Auch der Mischfruchtanbau mit Leguminosen wie Erbsen oder Serradella hat positive Effekte: Diese Pflanzen binden Stickstoff im Boden und reduzieren den Bedarf an syntheti-

Ergebnisse auf einen Blick

- Camelina-Öl ist ein regional verfügbarer, nachhaltiger Rohstoff mit positiven ökologischen Effekten, der nicht mit der Lebensmittelproduktion konkurriert.
- Chemische Modifikationen eröffnen vielseitige Einsatzmöglichkeiten in der Lack- und Polymerchemie.
- Camelina-Öl kann sowohl die mechanischen Eigenschaften als auch die Trocknung von Alkyd- und Polyurethan-Formulierungen verbessern.
- Vergleichsstudien zeigen eine bessere Härteentwicklung und vergleichbare Vergilbungsstabilität gegenüber etablierten Ölen.

Tab. 1 // Fettsäureverteilung verschiedener Öle.

Fettsäure	C-Atome	C=C	Kokosfett	Palmkernöl	Palmöl	Ricinusöl	Erdnussöl	Cottonöl	Jatropha	Sojaöl	Sonnenblumenöl	Tallölfettsäure	Camelina Öl	Saffioröl	Tallölestillat	dehydrat. Ricinusöl	Leinöl	Holzöl
Capron	C6	0	1	1														
Capryl	C8	0	5	2														
Caprin	C10	0	7	4														
Laurin	C12	0	45	50														
Myristin	C14	0	18	16	2			1										
Palmitin	C16	0	10	8	42	1	10	27	14	8	10	1	5	6		1	6	4
Stearin	C18	0	4	3	5	1	4	4	7	4	8	1	3	3	1	1	4	1
Arachin	C20	0					1		0,3			1			4			
Behen	C22	0					3											
Lignocerin	C24	0					3											
Palmitolein	C16	1																
Öl	C18	1	8	14	41	3	54	25	47	28	27	32	13	15	18	2	22	8
Linol	C18	2	2	2	10	5	24	43	32	52	54	44	15	75	26	85	16	4
konj.	C18	2										6			15			
Linolen	C18	3					1		0,3	8	1	10	38	1	7		52	3
konj.	C18	3										2			6			
Eläostearin	C18	3																80
	C19	1										1			1			
Eicosen	C20	1											16		3			
Eicosadien	C20	2											2		3			
Eicosatrien	C20	3										2	2		16			
Eruca	C22	1											3					
Ricinol	C18	1				90										11		
Iodzahl (IZ)			08-10	12-18	51-57	81-90	83-103	103-111	102	124-133	127-136	130-138	124-153	138-150	155	150-165	169-196	147-242
OHZ						150-160												
Einteilung nach Jamieson			IZ < 125 nichttrocknend				IZ 125 - 140 halbtrocknend				IZ > 140 trocknend							

schen Düngemitteln. Gleichzeitig unterdrückt die schnellwachsende Camelina-Pflanze unerwünschte Wildkräuter, sodass der Herbizideinsatz verringert werden kann. Insgesamt führt der Anbau zu einer nachhaltigeren und umweltschonenderen Bewirtschaftung der landwirtschaftlichen Flächen.

Nachhaltige Bindemittel-Alternative

Das gewonnene Camelina-Öl besitzt hervorragende chemische Eigenschaften für die Lack- und Farbenproduktion. Es kann als Rohstoff für Alkydharze und andere Polymere eingesetzt werden, die sowohl in wasserbasierten als auch in lösemittelhaltigen Beschichtungsstoffen Anwendung finden. Dank seines hohen Anteils an ungesättigten Fettsäuren sorgt es für eine gute Filmbildung, lange Haltbarkeit und hohe Elastizität der Lacke. Damit bietet es eine nachhaltige Alternative zu herkömmlichen Bindemitteln, die aus fossilen oder importierten pflanzlichen Rohstoffen gewonnen werden.

Die Zusammensetzung der eingesetzten pflanzlichen Öle oder Fettsäuren spielt eine entscheidende Rolle für die Eigenschaften von Alkyd-

harzen (Tab. 1). Da diese Rohstoffe wesentliche Bausteine der Polymere sind, bestimmen sie maßgeblich deren Verhalten in Beschichtungen. Die Fettsäurezusammensetzung eines Öls beeinflusst unter anderem die Trocknungseigenschaften, die Vergilbungsneigung, die Flexibilität, die Haftung sowie die Wetterbeständigkeit der resultierenden Lacke und Farben. Grundsätzlich lassen sich pflanzliche Öle nach ihrem Trocknungsverhalten in nicht-trocknende, halbtrocknende und trocknende Öle einteilen. Diese Klassifizierung beruht auf dem Anteil an mehrfach ungesättigten Fettsäuren, insbesondere der dreifach ungesättigten Linolensäure. Öle mit einem hohen Anteil an Linolensäure, wie Leinöl, weisen eine starke oxidative Trocknung auf, während solche mit einem hohen Anteil an einfach ungesättigten Fettsäuren, wie Sonnenblumenöl, weniger reaktive Filmbildungseigenschaften besitzen.

Camelina-Öl nimmt hier eine besondere Stellung ein, da es ein ausgewogenes Verhältnis zwischen trocknenden und halbtrocknenden Eigenschaften bietet. Im Vergleich zu Leinöl besitzt es einen moderateren Linolensäuregehalt, wodurch die starke Neigung zur Ver-

gilbung verringert wird, während die oxidative Trocknung dennoch gut erhalten bleibt. Gegenüber Soja- oder Sonnenblumenöl zeichnet es sich durch eine bessere Filmbildung aus, da diese Öle aufgrund ihres geringen Anteils an mehrfach ungesättigten Fettsäuren meist als weichere Komponenten agieren.

In vielen Fällen kann die Kombination verschiedener pflanzlicher Öle oder Fettsäuren gezielt eingesetzt werden, um das Eigenschaftsprofil eines Alkydharzes zu optimieren. Durch eine gezielte Auswahl lässt sich ein Gleichgewicht zwischen guter physikalischer und oxidativer Trocknung, mechanischer Beständigkeit, optischen Eigenschaften und Wetterbeständigkeit erreichen.

Funktionalisiertes Camelina-Öl für spezifische Polymere

Durch eine chemische Modifikation lassen sich die Eigenschaften pflanzlicher Öle gezielt für verschiedene Anwendungen in der Polymerchemie anpassen. Eine der einfachsten und naheliegendsten Methoden ist die Herstellung von Alkydharzen, einer zentralen Klasse von Bin-

demitteln für Lacke und Farben. Alkydharze werden durch Polykondensations- und Veresterungsreaktionen aus mehrwertigen Carbonsäuren, Polyalkoholen sowie pflanzlichen Fettsäuren oder Ölen synthetisiert. Weiterhin lassen sich sowohl die Öle selbst als auch darauf basierende Alkydharze mit verschiedenen Vinylmonomeren modifizieren. Diese Reaktionen finden in der Regel an den Doppelbindungen der Fettsäureketten statt, was die oxidative Trocknungsmöglichkeit reduziert. Gleichzeitig können durch diese Modifikation wichtige Eigenschaften, wie die physikalische Trocknung, Härte, Elastizität und Vergilbungsbeständigkeit, gezielt verbessert werden.

Eine weitere Funktionalisierungsoption bietet die Modifikation mit Epoxidharzen. Auf diese Weise lassen sich sog. Epoxidharzester herstellen, die sich für luft- und ofentrocknende Lacke eignen. Diese zeichnen sich insbesondere durch eine ausgezeichnete Haftung und einen guten Korrosionsschutz aus. Alternativ kann eine direkte Epoxidierung der Doppelbindungen der Fettsäuren erfolgen, wodurch epoxidierte Öle entstehen. Diese modifizierten Öle können unter anderem als Bausteine für UV-reaktive Bindemittel oder Polyurethandispersionen weiterverarbeitet werden.

Für den gleichen Einsatzzweck – insbesondere in Polyurethandispersionen und Alkydemulsionen – besteht zudem die Möglichkeit einer Hydroxylierung der Öle. Durch diese Modifikation können gezielt alkydharzähnliche Polyole entwickelt werden, die als Reaktionspartner für isocyanatbasierte Vernetzungen dienen. Dadurch eröffnet sich ein breites Anwendungsspektrum für Camelina-Öl in nachhaltigen Lacksystemen.

Camelina-Öl in wässrigen Alkydemulsionen

Camelina-Öl kann als nachhaltiger Rohstoff z. B. als Alternative zu konventionellem Leinöl in wässrigen Alkydemulsionen genutzt werden. Ein Beispiel ist eine langölige, extern emulgierte Alkydemulsion mit einem hohen Festkörpergehalt von 60% und einem bio-basierten Anteil von 74% bezogen auf den Feststoff. Dieses amin- und colöserfreie Bindemittel zeichnet sich durch eine ausgeprägte Anfeuerung, Elastizität sowie eine hohe Witterungsbeständigkeit aus. Die technischen Daten sind in Tab. 2 dargestellt, während Abb. 2 die Anfeuerung auf verschiedenen Hölzern veranschaulicht. Abb. 3 zeigt das Ergebnis einer 12-monatigen Freibewitterung von Holzlasuren auf Basis verschie-

Tab. 2 // Technische Daten der auf Camelina-Öl basierenden Alkydemulsion.

Eigenschaft	Alkydharzemulsion
Öltyp	Camelina-Öl
Öllänge	74%
Nichtflüchtiger Anteil	60% in Wasser
Viskosität	max. 1.500 mPas
Biobasierter Anteil	74%*
Trocknung	langsam
Wetterbeständigkeit	sehr gut
Einsatz von Sekundärrohstoffen	nein
Langlebigkeit	ja
Konkurrenz zur Nahrungsmittelindustrie	nein
Regionalität	ja

* berechnet auf festes Bindemittel

Tab. 3 // Vergleich technischer Daten der PU-Alkydemulsionen.

Eigenschaft	PU-Alkydemulsion 1	PU-Alkydemulsion 2
Öltyp	Soja	Camelina-Öl / Spezielle Fettsäuren
Nichtflüchtiger Anteil	40% in Wasser	40% in Wasser
Viskosität	max. 1.500 mPas	max. 1.500 mPas
Biobasierter Anteil	38%	38%
pH-Wert	6,8-7,8	6,8-7,8

dener Camelina-Öl-Chargen (Versuche 1 bis 4) im Vergleich zu einer ähnlichen Alkydemulsion auf Leinölbasis (Versuch 5). Die Holzlasurformulierungen wurden in einer Schicht mit dem Pinsel auf Fichtenholz appliziert. Haupteinsatzgebiete für diese spezifische Alkydemulsion auf Basis Camelina Öl als auch die Leinöl Variante sind generell Holzlasuren, Imprägnierungen und Holzpflegeöle, die sich durch eine angenehme Verstreichbarkeit auszeichnen. Zudem eignet sich Camelina-Öl-Variante als auch die Leinöl-Variante als Cobindemittel zur Optimierung der Offenzeit in wässrigen Lacksystemen.



Abb. 2 // Anfeuerung durch auf Camelina-Öl basierende Alkydemulsion auf verschiedenen Hölzern.

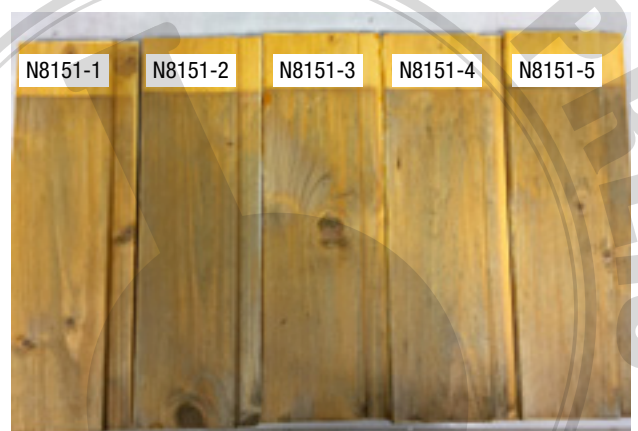


Abb. 3 // 12 Monate Freibewitterung von Holzlasuren auf Basis verschiedener Camelina-Öl-Chargen (Versuche 1 bis 4) im Vergleich zu einer Alkydemulsion auf Leinölbasis (Versuch 5).

Tab. 4 // Malerlackformulierungen auf Basis der PU-Alkydemulsionen.

Rohstoff	PU-Alkydemulsion 1	PU-Alkydemulsion 2
	Standard	Camelina-Öl modifiziert
Wasser	10,95	10,95
Verdicker	1,30	1,30
Entschäumer	0,10	0,10
Dispergierungsmittel	1,25	1,25
Titandioxid	24,00	24,00
PU-Alkydemulsion 1	60,00	
PU-Alkydemulsion 2		60,00
Sikkativ	0,10	0,10
Propylenglykol	2,30	2,30
Gesamt	100,00	100,00

Tab. 5 // Pendelhärte der Malerlacke auf Basis der PU-Alkydemulsionen.

Rohstoff	PU-Alkydemulsion 1	PU-Alkydemulsion 2
	Standard	Camelina-Öl modifiziert
nach 24 Stunden	45	76
nach 48 Stunden	52	87
nach 72 Stunden	63	91
nach 1 Woche	69	105

Tab. 6 // Vergilbung der Malerlacke auf Basis der PU-Alkydemulsionen.

Ammoniak Schnelltest	PU-Alkydemulsion 1	PU-Alkydemulsion 2
	Standard	Camelina-Öl modifiziert
Yellow-Index vorher	+0,45	+0,90
nachher	2,18	2,53
Δ	1,73	1,63
White-Index vorher	79,41	74,62
nachher	73,61	69,39
Δ	5,80	5,23

Interne Emulgierung

PU-modifizierte Alkydemulsionen auf Basis von Camelina-Öl stellen einen technologischen Fortschritt dar, da sie die strukturellen Eigenschaften von Alkydharzen mit denen von Polyurethanen kombinieren. Diese Emulsionen zeichnen sich durch verbesserte mechanische Eigenschaften, eine erhöhte Wasserbeständigkeit sowie eine optimierte Balance zwischen Härte und Flexibilität aus. Ein entscheidender Vorteil ergibt sich aus der internen Emulgierung. Externe Emulgatoren, die die Wasserbeständigkeit und Quellneigung des Films negativ beeinflussen, die Trocknung verzögern und Oberflächenstörungen hervorrufen können, sind nicht notwendig.

Für die Herstellung der intern emulgierten PU-Alkydemulsionen werden zwei unterschiedliche alkydharzähnliche Vorstufen eingesetzt. Eine stärker hydrophile Vorstufe erleichtert die Emulgierung, während eine hydrophobere die Wasserbeständigkeit verbessert. Beide Komponenten werden über Polyurethanchemie miteinander vernetzt, wodurch ein hohes Molekulargewicht bei gleichzeitig geringer Teilchengröße (50–250 nm) erreicht wird (Abb. 4). Zum Vergleich: Extern emulgierte Alkydemulsionen basieren auf hydrophoben Alkydharzen, die durch Emulgatoren wasservertäglich gemacht werden und eine deutlich größere Teilchengröße von 300 bis 1100 nm aufweisen.

Durch die interne Emulgierung entsteht eine stabilere Emulsion mit verbesserten Eigenschaften hinsichtlich Wasserbeständigkeit, mechanischer Belastbarkeit und chemischer Widerstandsfähigkeit.

Zur Bewertung der Auswirkungen einer Camelina-Öl-Modifizierung wird eine mittelölige PU-Alkydemulsion als Standard mit einer Camelina-Öl-modifizierten Variante verglichen. Tab. 3 stellt die technischen Daten beider Emulsionen gegenüber. Um die praxisrelevanten Eigenschaften der Bindemittel direkt miteinander zu vergleichen, wurden sie zudem in einem standardisierten Malerlack (Tab. 4) angewendet. Bei der Rezeptur handelt es sich um eine hochglänzende weiße Malerlackformulierung. Im direkten Vergleich zeigen sich keine signifikanten Unterschiede hinsichtlich Glanz und Wasserbeständigkeit. Die Camelina-Öl-modifizierte Variante trocknet jedoch schneller und zeigt eine deutlich höhere Pendelhärteentwicklung nach König (Tab. 5).

Zur Beurteilung der Vergilbungsneigung dient der Ammoniak-Schnelltest als Indikator. Für diesen Test wird eine 100 µm-Nassfilmschicht auf einer Glasplatte appliziert und eine Woche unter definierten Bedingungen (20 °C, 55 % relative Luftfeuchtigkeit) getrocknet. Anschließend wird eine mit 25 %iger Ammoniaklösung gefüllte Petrischale auf die Platte gestellt und mit einem Becher abgedeckt, um eine ammoniakalische Atmosphäre zu erzeugen. Nach einer zweistündigen Exposition und einer einstündigen Regenerationszeit erfolgt die Bewertung anhand der Veränderung der Yellow- und White-Indizes im Vergleich zu den Ausgangswerten (Tab. 6). Die Vergilbung der Formulierung mit

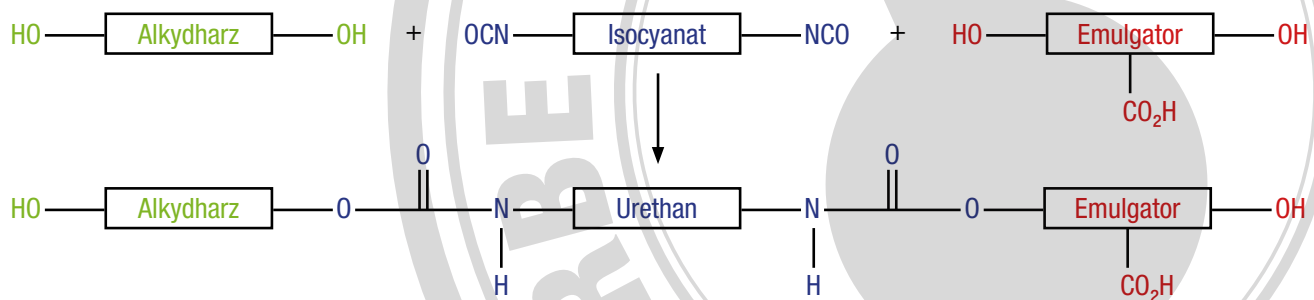


Abb. 4 // Chemische Darstellung PU-modifizierter Alkydemulsionen.

Camelina-Öl lag auf einem der Standard-Formulierung vergleichbaren Niveau. Camelina-Öl bietet damit ein großes Potenzial für die Entwicklung nachhaltiger Bindemittel in der Lackindustrie. Durch gezielte chemische Modifikationen lassen sich vielfältige Einsatzmöglichkeiten erschließen. Darüber hinaus zeigen neueste Erkenntnisse, dass durch sinnvolle Fettsäure-Kombinationen und spezielle Modifikationen neue Einsatzgebiete auch in höherwertigen Beschichtungen möglich sind.

Kontakt // service@worlee.de

Literatur

- [1] Muhammad Arshad, Amar K. Mohanty, Rene Van Acker, Rachel Riddle, Jim Todd, Hamdy Khaliif and Manjusri Misra, Valorization of camelina oil to biobased materials and biofuels for new industrial uses: a review, RSC Adv., 2022, 12, S. 27230
- [2] Jan W. Gooch, Emulsification and Polymerization of Alkyd Resins, 2002, Kluwer Academic Publishers
- [3] Sachstandsbericht - Aufbau eines großflächigen Mischfruchtanbaus von Erbsen und Leindotter zur Stärkung der Artenvielfalt und Ökosystemleistungen und Aufbau einer Wertschöpfungskette basierend auf nachhaltig produzierten, heimischen, nachwachsenden Rohstoffen. 21.11.2021 Dr. Stefanie Göttig
- [4] <https://www.bauernzeitung.de/leindotter-im-praxisversuch/>

CAROLINE MATTHIESEN

absolvierte ihre Ausbildung zur Chemielaborantin bei Worlée-Chemie. Anschließend arbeitete sie vier Jahre im technischen Marketinglabor für wässrige Bindemittel mit Schwerpunkt auf Alkydemulsionen. Von 2017 bis 2024 war sie im Exportmanagement tätig und verantwortete den technischen Vertrieb in verschiedenen Ländern. Seit Oktober 2024 ist sie als Laborleiterin für wässrige Systeme tätig und konzentriert sich auf Alkyde, Polyurethandispersionen und Polyester.



DR. ANKE WIEGAND

Jahrgang 1969, studierte Chemie an der TU Braunschweig und promovierte auf dem Gebiet der Makromolekularen Chemie. Sie ist seit 2006 bei Worlée Chemie in Lauenburg als Laborleiterin im Bereich Forschung & Entwicklung tätig. Ihre Schwerpunkte sind lösemittelbasierte und wässrige Alkydharze inklusive deren Modifikationen, Polyester und Polyurethane.



LARS OSSENSCHMIDT

ist Gesamtleiter für Innovationen, Forschung & Entwicklung sowie Anwendungstechnik bei Worlée Chemie. Nach seiner technischen Ausbildung begann er seine Laufbahn im Bereich Anwendungstechnik und übernahm 2010 die Laborleitung der Anwendungstechnik für lösemittelhaltige Polymere. Seit 2024 verantwortet er den gesamten Bereich F&E und Anwendungstechnik bei der Worlée Chemie. Die aktuellen Schwerpunkte seiner Teams liegen im Bereich PU-basierter Polymere, wässriger Produkte, UHS-Systeme und der breiten Nutzung erneuerbarer Rohstoffe.



Mehr zum Thema!



38 Ergebnisse für Alkyde!
Jetzt testen: www.farbeundlack.de/360

FARBEUNDLACK // BIBLIOTHEK



Silicium- und Nanotechnologie für Lacksysteme

Sepeur // Frenzer // Gross

2. Auflage, erschienen in 2021
308 Seiten, 155 x 225 mm

- erhältlich als
- gedrucktes Hardcover
 - eBook

Jetzt bestellen!



Silicium- und Nanotechnologie für Lacksysteme

VON SEPEUR // FRENZER // GROSS

Die Nanotechnologie hat mittlerweile in vielen Bereichen einen besonderen Stellenwert eingenommen. Erhalten Sie dank zahlreicher Beispiele einen Überblick über alle wichtigen Felder der chemischen Nanotechnologie – vom Rohstoff bis zu nanobasierten Beschichtungen.

Schritt für Schritt werden Ihnen Grundlagen vermittelt sowie die Synthese und Polymerchemie, die Herstellung von Nanomaterialien und Beschichtungssystemen beschrieben und deren Anwendungsfelder ausführlich vorgestellt.

