

**DBU Projekt:
Neue Pinselreiniger auf Basis von Mikroemulsionen**

**Abschlussbericht
[01.06.2009 - 30.05.2012]**

Projektleitung	Forschungszentrum Jülich GmbH 52425 Jülich	Projektkoordinator: Dr. Jürgen Allgaier Dr. Renate Beisser
Projektpartner	Bernd Schwegmann GmbH & Co. KG Wernher-v-Braun-Str. 14 53501 Grafschaft- Gelsdorf	Dr. Jens Hillerich
	Aktenzeichen	AZ 26660
1. Zusammenfassung der Arbeiten 2. Arbeitsergebnisse 3. Reinigungsversuche	Erstelldatum:	30.05.2012
	Ersteller:	Dr. Renate Beisser Dr. Jürgen Allgaier

06/02

Projektkennblatt

der
Deutschen Bundesstiftung Umwelt



Az	26660	Referat	31	Fördersumme	202.720,00 €
Antragstitel		Neue Pinselreiniger auf der Basis von Mikroemulsionen			
Stichworte		Emission, Produkt, Verfahren chemisches Verfahren, Gesundheit, nachwachsende Rohstoffe			
Laufzeit	Projektbeginn	Projektende	Projektphase(n)		
3 Jahre	01.06.2009	31.05.2012	2		
Zwischenberichte	1				
Bewilligungsempfänger	Forschungszentrum Jülich GmbH Institut für Festkörperforschung			Tel	0 24 61/61 25 41
	Postfach			Fax	0 24 61/61-2 610
	52425 Jülich			Projektleitung	Dr. Jürgen Allgaier
Kooperationspartner		Bernd Schwegmann GmbH & Co. KG			
<p><i>Zielsetzung und Anlaß des Vorhabens</i> Pinselreiniger sind Spezialflüssigkeiten zum Reinigen von Pinseln, Bürsten oder Walzen, die weitgehend aus Lösungsmitteln wie z.B. aromatischen bzw. aliphatischen Kohlenwasserstoffen bestehen. Sie besitzen ein großes Gefährdungspotential hinsichtlich Arbeits- und Umweltschutz. Deshalb war es das Ziel des Projekts neuartige Pinselreiniger zu entwickeln, die sich auszeichnen durch einen drastisch reduzierten Lösemittelgehalt sowie der Verwendung von Lösemitteln mit geringem Gefahrstoffpotential wie Esteröle. Dieses Ziel soll durch die Entwicklung neuartiger Mikroemulsionsreiniger erreicht werden.</p> <p><i>Darstellung der Arbeitsschritte und der angewandten Methoden</i> Die Entwicklungsarbeit bestand aus zwei Teilprojekten. Zuerst sollte ein neuartiger Reiniger mit hochsiedenden aliphatischen Kohlenwasserstoffen als Ölkomponente entwickelt werden. Im zweiten Arbeitspaket sollten die Kohlenwasserstofföle durch Pflanzenöle oder Gemische aus Pflanzenölen und synthetischen, leicht abbaubaren Estern ersetzt werden. Die Reinigerentwicklung bestand aus der Formulierung von Mikroemulsionen mit einem möglichst breiten Temperaturstabilitätsfenster sowie Tests der Reinigungsleistung. Aus Sicht des Arbeitsschutzes und der Ökologie war es sinnvoll sowohl den Tensidanteil als auch die Ölkomponente möglichst zu minimieren.</p>					
Deutsche Bundesstiftung Umwelt • An der Bornau 2 • 49090 Osnabrück • Tel 0541/9633-0 • Fax 0541/9633-190 • http://www.dbu.de					

Ergebnisse und Diskussion

Im ersten Projektabschnitt sollte ein Reiniger auf Basis von hochsiedenden, aliphatischen Kohlenwasserstoffölen formuliert werden. Dabei wurde erkannt, dass der Anteil Kohlenwasserstofföl, der benötigt wird um eine zufriedenstellende Reinigungsleistung zu erreichen, für kennzeichnungsfreie Formulierungen zu hoch liegt. Deshalb wurde frühzeitig der Schwerpunkt der Arbeiten auf den zweiten Projektabschnitt verlagert, mit dem Ziel die Kohlenwasserstofföle durch Esteröle zu ersetzen. Hochsiedende Esteröle sind in der Regel kennzeichnungsfrei, was die Formulierung eines kennzeichnungsfreien Reinigers erleichtert. Zudem sind diese Öle erheblich besser biologisch abbaubar als Kohlenwasserstofföle. Allerdings stellt die Formulierung von Mikroemulsionen mit Esterölen eine große Herausforderung dar. Dies gilt besonders, wenn Stabilität in einem großen Temperaturfenster bei einem möglichst geringen Tensidanteil erreicht werden soll. Es ist jedoch im Rahmen der durchgeführten Entwicklungsarbeiten gelungen, Tensidgemische zu finden, die sich hervorragend zur Formulierung hocheffizienter Esteröl-Mikroemulsionen eignen. Der Tensidanteil konnte auf bis zu 4% reduziert werden, unter Gewährleistung einer Temperaturstabilität zwischen $<10^{\circ}\text{C}$ und $>40^{\circ}\text{C}$. Dieses Temperaturfenster ist insbesondere für Lagerung und Transport notwendig, um Entmischung der Mikroemulsion zu vermeiden. Bei Verwendung geeigneter Tenside lassen sich somit vollständig kennzeichnungsfreie Formulierungen herstellen. Insbesondere aufgrund des geringen Tensidgehalts müssen die neuen Formulierungen nur in Wassergefährdungsklasse 1, schwach wassergefährdend, eingestuft werden. Weiterhin sind die neuen Formulierungen nahezu geruchsneutral, ganz im Gegenteil zu den konventionellen Reinigern. Obwohl sie zu nahezu 2/3 aus Wasser bestehen, sind die Reinigungsleistungen mit denen von konventionellen Reinigern vergleichbar. Frische und auch eingetrocknete Farbreste lassen sich problemlos entfernen. Im Gegensatz zu den konventionellen Reinigern eignen sich die Mikroemulsionen auch zur Entfernung von eingetrockneten wasserlöslichen Lacken. Allerdings weisen die neuen Reiniger auch Nachteile auf. Aufgrund der Schwerflüchtigkeit müssen die Pinsel mit Wasser ausgewaschen werden, um Reinigerreste zu entfernen. Außerdem ist der Reinigungsvorgang bei frischen Farben etwas langsamer als mit konventionellen Reinigern. Dies liegt an der erhöhten Viskosität der neuen Reiniger.

Öffentlichkeitsarbeit und Präsentation

Im Herbst 2009 fand am Forschungszentrum Jülich der „Tag der Neugier“ statt. Im Rahmen dieser Veranstaltung wurde das Projekt vorgestellt. Die Projektergebnisse wurden 2012 im Rahmen eines Vortrags auf dem wissenschaftlichen Symposium „Softcomp“ präsentiert. Außerdem ist 2012 ein weiterer Vortrag auf der Fachtagung „Surfactants in Solution“ vorgesehen. Weiterhin sollen die Ergebnisse in einer Fachzeitschrift veröffentlicht werden.

Fazit

Die Herstellungskosten des neuen Reinigers sind mit denen von konventionellen Pinselreinigern vergleichbar. Obwohl heutzutage zu einem großen Teil Farben und Lacke auf Wasserbasis eingesetzt werden, für die prinzipiell keine Pinselreiniger mehr notwendig sind, werden diese Reiniger noch in großen Mengen eingesetzt. Eine für das Forschungszentrum Jülich durchgeführte Marktstudie ergab, dass alleine in deutschen Baumärkten pro Jahr ca. 1 Mio. Liter Pinselreiniger verkauft werden. Im Rahmen des Projekts wurde auch das Potential der neuen Reiniger für andere Anwendungen untersucht. Im privaten und gewerblichen Bereich werden insbesondere im Bausektor Reinigungsmittel zum Entfernen von Klebstoffresten, Dichtmassen oder fettartigen Verunreinigungen verwendet. Deshalb wurden mit dem neuen Reiniger exploratorische Tests in diesen Bereichen durchgeführt. Die Ergebnisse zeigten, dass die neuen Reiniger auch für diese Anwendungen verwendet werden können. Es ist deshalb zu erwarten, dass durch gezielte Weiterentwicklung Reiniger für diese Spezialanwendungen formuliert werden können.

GLIEDERUNG

1. Glossar	6
1.1. Abbildungs- und Tabellenverzeichnis	6
1.2. Abkürzungsliste sowie Definitionen der Massenbrüche	14
1.3. Stoffliste	14
2. Zusammenfassung	16
3. Einleitung	19
3.1. Stand der Technik im Bereich Pinselreiniger	19
3.2. Stand der Technik im Bereich Mikroemulsionen	19
3.3. Gefahrenstoffe im Alltag	21
3.4. Zielsetzung	26
4. Methoden und Ergebnisse	28
4.1. Systeme mit Kohlenwasserstoffölen	28
4.1.1. Systeme mit n-Dodekan	28
4.1.2. Systeme mit Ketrul D 85	29
4.1.2.1 Polymer-Variation	31
4.1.2.2. Systeme mit Ketrul D85 und DiBasicEster	38
4.1.2.3. Reinigungstests und Rheologiemessungen	41
4.1.3. Zusammenfassung	45
4.2. Systeme mit Esterölen	47
4.2.1. Systeme mit Methyllaurat	47
4.2.2. Systeme mit Ölsäure-Ethylester	50
4.2.3. Systeme mit Isopropylmyristat	51
4.2.4. Systeme mit Oktyloktanoat	53
4.2.4.1. Variation des ionischen Tensids	55
4.2.4.2. Variation des Salzes und der Salzkonzentration	56
4.2.4.3. Variation des Co-Tensids	59
4.2.4.4. Variation des Polymers	62
4.2.4.5. Systeme mit Oktyloktanoat und Dibasicester	65

4.2.5. Systeme mit RME	66
4.2.5.1. AOT / Cotensid 7	67
4.2.5.2. AOT / Cotensid 1	70
4.2.5.3. AOT / Cotensid 6	71
4.2.5.4. Reinigungstests	74
4.3. Zusammenfassung der Ergebnisse	82
5. Vergleich des neuen Mikroemulsionsreinigers mit herkömmlichen Pinselreinigern	83
6. Vermarktung und weitere Anwendungsgebiete für den neuen Reiniger	86
7. Öffentlichkeitsarbeit	88
8. Bibliographie	90

1. Glossar

1.1. Abbildungs- und Tabellenverzeichnis

Abbildungen

Abb. 3.1: Links: Bildausschnitt einer Geschirrspül-Tabs Verpackung. S. 22
Das Reinigungsmittel ist reizend und es wird unter anderem das Tragen von Gesichtsschutz / Schutzbrille empfohlen. Rechts: Bild einer Zapfsäule. Ottokraftstoff ist giftig, hochentzündlich und umweltgefährlich.

Abb. 3.2: Etikett eines kommerziell erhältlichen Reinigers. Aufgrund der geschickten Ausnutzung des Gefahrenstoffrechts, müssen keine Gefahrensymbole an der Dose angebracht werden, obwohl das Stoffgemisch als Umweltgefährlich (N) und Gesundheitsschädlich (R65) eingestuft ist. S. 25

Abb. 4.1: Die Temperatur aufgetragen als Funktion der Tensidzusammensetzung Δ der Mikroemulsion $\text{H}_2\text{O} - n\text{-Dodekan} - \text{Span 20} / \text{Plantacare 2000}$, bei $\gamma = 0.15$ und $\alpha = 0.40$. Grau markiert sind die Zweiphasengebiete, gelb die lamellaren Phasen und grün die Einphasengebiete. Bei $\Delta = 0.55$ sieht man ein großes Einphasengebiet beginnend vom unteren Ende des Messfensters bis $76\text{ }^\circ\text{C}$. Bei $\Delta = 0.60$ erscheint eine ausgeprägte lamellare Phase, erst ab einer Temperatur von $67\text{ }^\circ\text{C}$ wird die Mikroemulsion einphasig. Bei $\Delta = 0.65$ ist die Mikroemulsion zwischen $18\text{ }^\circ\text{C}$ und $34\text{ }^\circ\text{C}$ einphasig. S. 30

Abb. 4.2: Die Temperatur aufgetragen als Funktion der Tensidzusammensetzung Δ der Mikroemulsion $\text{H}_2\text{O} - \text{Ketrul D85} - \text{Span 20} / \text{Plantacare 2000}$, bei $\gamma = 0.15$ und $\alpha = 0.40$. Grau markiert sind die Zweiphasengebiete, gelb die lamellaren Phasen und grün die Einphasengebiete. Bei $\Delta = 0.50$ sieht man ein großes Einphasengebiet von $13\text{ }^\circ\text{C}$ bis zum Ende des Messfensters. Bei $\Delta = 0.50$ erscheint eine ausgeprägte lamellare Phase, erst ab einer Temperatur von $78\text{ }^\circ\text{C}$ wird die Mikroemulsion einphasig. Bei $\Delta = 0.57$ wird die Mikroemulsion bereits ab $59\text{ }^\circ\text{C}$ einphasig. S. 31

Abb. 4.3: Die Temperatur aufgetragen als Funktion der Tensidzusammensetzung Δ der Mikroemulsion $\text{H}_2\text{O} - \text{Ketrul D85} -$ S. 35

Span 20 / Plantacare 2000 / Booster 1, bei $\gamma = 0.14$ (links oben), $\gamma = 0.11$ (recht oben), $\gamma = 0.09$ (links unten), $\gamma = 0.08$ (rechts unten) und $\alpha = 0.40$. Grau markiert sind die Zweiphasengebiete, gelb die lamellaren Phasen und grün die Einphasengebiete.

Abb. 4.4: Die Temperatur aufgetragen als Funktion der Tensidzusammensetzung Δ der Mikroemulsion H₂O – Ketrul D85 – Span 20 / Plantacare 2000 / Booster 3, bei $\gamma = 0.13$ (links oben), $\gamma = 0.11$ (recht oben), $\gamma = 0.09$ (links unten) und $\alpha = 0.40$. Grau markiert sind die Zweiphasengebiete, gelb die lamellaren Phasen und grün die Einphasengebiete. Mit steigender Verdünnung verschiebt sich das Einphasengebiet bzw. Die lamellare Phase zu höheren Δ , bei kleinen Tensidkonzentrationen verschwindet die lamellare Phase komplett. S. 36

Abb. 4.5: Die Temperatur aufgetragen als Funktion der Tensidzusammensetzung Δ der Mikroemulsion H₂O – Ketrul D85 – Span 20 / Plantacare 2000 / Booster 2, bei $\gamma = 0.13$ (links oben), $\gamma = 0.11$ (recht oben), $\gamma = 0.09$ (links unten), $\gamma = 0.08$ (rechts unten), und $\alpha = 0.40$. Grau markiert sind die Zweiphasengebiete, gelb die lamellaren Phasen und grün die Einphasengebiete. Mit steigender Verdünnung verschiebt sich das Einphasengebiet bzw. die lamellare Phase zu höheren Δ , bei kleinen Tensidkonzentrationen verschwindet die lamellare Phase komplett. S. 37

Abb. 4.6: Die Temperatur aufgetragen als Funktion der Tensidzusammensetzung Δ der Mikroemulsion H₂O – Ketrul D85 / DiBasicEster – Imwitor 928 / Plantacare 2000 / Emuldac AS 80, bei $\alpha = 0.40$, $\beta = 0.25$, $\gamma = 0.15$ und $\delta = 0.1$. Grau markiert sind die Zweiphasengebiete und grün die Einphasengebiete. Bei $\Delta = 0.50$ sieht man ein großes Einphasengebiet beginnend vom unteren Ende des Messfensters bis über 55°C. Mit zunehmenden Imwitor-Gehalt nimmt die Stabilität der Mikroemulsion ab, das Einphasengebiet wird kleiner. S. 40

Abb. 4.7: Die Temperatur aufgetragen als Funktion der Tensidzusammensetzung Δ der Mikroemulsion H₂O – Ketrul D85 / DiBasicEster – Span 20 / Plantacare 2000 / Booster 3, bei $\alpha = 0.40$, $\beta = 0.25$, $\gamma = 0.15$ und $\delta = 0.1$. Grau markiert sind die Zweiphasengebiete und grün die Einphasengebiete. Bei $\Delta = 0.54$ und 0.64 sieht man ein großes Einphasengebiet beginnend vom unteren Ende des Messfensters bis über 42°C. Mit zunehmendem Span20-Gehalt nimmt die Stabilität der Mikroemulsion ab, das Einphasengebiet wird kleiner. S. 41

Abb. 4.8: Mit zunehmender Verdünnung (von $\gamma_1 = 0.13$, über $\gamma_2 = 0.11$ zu $\gamma_3 = 0.09$) des Systems H₂O – Ketrul D85 – Span 20 / Plantacare 2000 mit $\alpha = 0.40$, $\Delta \cong 0.6$ und $\delta = 0.10$ nimmt die Reinigungsleistung S. 42

zu. Ein Grund hierfür könnte sein, dass mit zunehmender Verdünnung die Viskosität abnimmt. Der Pinsel ganz links stellt die Referenz dar und wurde mit einem auf leichtflüchtigen Lösemitteln basierendem Pinselreiniger von der Firma Rufus gereinigt.

Abb. 4.9: Mit zunehmender Verdünnung (von $\gamma_1 = 0.09$, über $\gamma_2 = 0.08$, $\gamma_3 = 0.07$ zu $\gamma_4 = 0.06$) des Systems H_2O – Ketrul D85 – Imwitor 928 / Plantacare 2000 / Booster 3 mit $\alpha = 0.40$, $\Delta = 0.6$ und $\delta = 0.10$ nimmt die Reinigungsleistung ab. Es ist möglich, dass bei zu geringem Tensidgehalt, auch die Reinigungsleistung abnimmt. Der Pinsel ganz links stellt die Referenz dar und wurde mit einem auf leichtflüchtigen Lösemitteln basierendem Pinselreiniger von der Firma Rufus gereinigt. S. 43

Abb. 4.10: Der Vergleich der Reinigungsleistung des Systems H_2O – Ketrul D85 – Span 20 / Plantacare 2000 mit H_2O – Ketrul D85 – Imwitor 928 / Plantacare 2000 bei gleichen $\alpha = 0.40$, $\Delta = 0.6$, $\delta = 0.10$ und $\gamma = 0.09$ zeigt, dass Imwitor 928 etwas besser reinigt als Span 20. Der Pinsel ganz links stellt die Referenz dar und wurde mit einem auf leichtflüchtigen Lösemitteln basierendem Pinselreiniger von der Firma Rufus gereinigt. S. 44

Abb. 4.11: Vergleicht man die Reinigungsleistung abhängig vom Öl-Gehalt des Systems H_2O – Ketrul D85 – Span 20 / Plantacare 2000 (linke Abbildung), wobei bei Probe 8 $\alpha=0.3$ und Probe 9 $\alpha=0.4$ ist, kann man trotz der insgesamt schlechten Reinigungsleistung sehen, dass ein höherer Ölgehalt die Reinigungsleistung steigert. Im Vergleich zu dem System mit Span 20 sieht man auf der rechten Abbildung die Reinigungsergebnisse des Systems Ketrul D85 – Imwitor 928 / Plantacare 2000, wobei bei Probe 10 $\alpha=0.3$ und Probe 11 $\alpha=0.4$ ist. Das Reinigungsergebnis ist analog zu dem System mit Span 20, allerdings ist die Reinigungsleistung insgesamt besser. Der Pinsel ganz links stellt die Referenz dar und wurde mit einem auf leichtflüchtigen Lösemitteln basierendem Pinselreiniger von der Firma Rufus gereinigt. S. 45

Abb. 4.12: Die Temperatur aufgetragen als Funktion der Tensidzusammensetzung Δ der Mikroemulsion Leitungswasser – Methyllaurat – AOT / Cotensid 8 / Booster 1, bei $\alpha=0,30$, $\gamma=0,09$, $\delta=0,12$, $\epsilon=0,018$. Grau markiert sind die Zwephasengebiete und grün die Einphasengebiete. Bei $\Delta = 0.44$ und 0.50 sieht man ein großes Einphasengebiet beginnend vom unteren Ende des Messfensters bis über $55^\circ C$. Bei $\Delta=0,50$ wird zusätzlich bei niedrigen Temperaturen die lamellare Phase stabilisiert. Mit abnehmendem Cotensid 8-Gehalt nimmt die Stabilität der Mikroemulsion ab, das Einphasengebiet wird kleiner. S. 48

Abb. 4.13: Die Temperatur aufgetragen als Funktion der Tensidzusammensetzung Δ der Mikroemulsion Leitungswasser – Methyllaurat – AOT / Cotensid 3 / Booster 1, bei $\gamma=0,12$ und $\delta=0,1$. Die Salzkonzentration nimmt von oben nach unten ab und der Ölgehalt nimmt von links nach rechts zu. Grau markiert sind die Zweiphasengebiete, grün die Einphasengebiete und gelb die lamellaren Phasen. S. 49

Abb. 4.14: Die Temperatur aufgetragen als Funktion der Tensidzusammensetzung Δ der Mikroemulsion Leitungswasser / Salz 6 – Ethyloleat – AOT / Cotensid 7 / Booster 1, bei $\alpha=0,3$, $\gamma=0,13$ und $\delta=0,1$ und $\varepsilon=0,0165$. Grau markiert sind die Zweiphasengebiete, grün die Einphasengebiete und gelb die lamellaren Phasen. S. 51

Abb. 4.15.: Die Temperatur aufgetragen als Funktion der Tensidzusammensetzung Δ der Mikroemulsion Leitungswasser / Salz 6–Isopropylmyristat – AOT / Cotensid 2 / Booster 1, bei $\alpha=0,25$, $\delta=0,1$, $\varepsilon=0,022$ $\gamma=0,12$ (oben), $\gamma=0,10$ (mitte) und $\gamma=0,096$ (unten). Grau markiert sind die Zweiphasengebiete, grün die Einphasengebiete und gelb die lamellaren Phasen. Mit zunehmenden AOT-Gehalt und abnehmender Tensidkonzentration verkleinert sich das Temperaturfenster. S. 52

Abb. 4.16: Die Temperatur aufgetragen als Funktion der Tensidzusammensetzung Δ der Mikroemulsion Leitungswasser / Salz 6– Ethyloleat – AOT / Cotensid 3 / Booster 1, bei $\alpha=0,25$, $\gamma=0,12$ und $\delta=0,1$ und $\varepsilon=0,018$. Grau markiert sind die Zweiphasengebiete, grün die Einphasengebiete und gelb die lamellaren Phasen. Mit zunehmenden AOT-Gehalt verschiebt sich das Einphasengebiet zu höheren Temperaturen und das Temperaturfenster wird größer. S. 53

Abb. 4.17: Die Temperatur aufgetragen als Funktion der Tensidzusammensetzung Δ der Mikroemulsion H_2O / Salz 3 – Oktyloktanoat – AOT / Cotensid 7, bei $\alpha = 0.30$, $\gamma = 0.09$ und $\varepsilon = 0.02$ (links) und $\varepsilon = 0.025$ (rechts). Grau markiert sind die Zweiphasengebiete und grün die Einphasengebiete. S. 54

Abb. 4.18: Die Temperatur aufgetragen als Funktion der Tensidzusammensetzung Δ der Mikroemulsion H_2O / Salz 3 – Oktyloktanoat – AOT-Analoga / Cotensid 7: S. 55

- oben links: Setacin IS3010
- oben rechts: Setacin 103
- mitte links: Rewopol SBDO 75
- mitte rechts: Rewopol SBF FA 30B

- unten: Hoesch DIO 60 PG

Grau markiert sind die Zweiphasengebiete, grün die Einphasengebiete und gelb lamellare Phasen.

Abb. 4.19: Die Temperatur aufgetragen als Funktion der Tensidzusammensetzung Δ der Mikroemulsion H₂O / Salz 3 – Oktyloktanoat – AOT / Cotensid 7 / Booster 1, bei $\alpha = 0.3$, $\gamma = 0.09$, $\delta = 0.1$ und $\varepsilon = 0.002$ (links) und $\varepsilon = 0.024$ (rechts). Grau markiert sind die Zweiphasengebiete, gelb die lamellaren Phasen und grün die Einphasengebiete. S. 56

Abb. 4.20: Die Temperatur aufgetragen als Funktion der Tensidzusammensetzung Δ der Mikroemulsion H₂O / Salz 2 – Oktyloktanoat – AOT / Cotensid 7 / Booster 1, bei $\alpha = 0.3$, $\gamma = 0.09$, $\delta = 0.1$ und $\varepsilon = 0.005$ (oben links), $\varepsilon = 0.009$ (oben rechts), $\varepsilon = 0.017$ (unten links), $\varepsilon = 0.021$ (unten rechts). Grau markiert sind die Zweiphasengebiete, gelb die lamellaren Phasen und grün die Einphasengebiete. S. 57

Abb. 4.21: Die Temperatur aufgetragen als Funktion der Tensidzusammensetzung Δ der Mikro-emulsion H₂O / Salz 5 – Oktyloktanoat – AOT / Cotensid 7 / Booster 1, bei $\alpha = 0.3$, $\gamma = 0.09$, $\delta = 0.1$ und $\varepsilon = 0.009$ (oben links), $\varepsilon = 0.014$ (oben rechts), $\varepsilon = 0.024$ (unten). Grau markiert sind die Zweiphasengebiete, gelb die lamellaren Phasen und grün die Einphasengebiete. S. 58

Abb. 4.22: Die Temperatur aufgetragen als Funktion der Tensidzusammensetzung Δ der Mikro-emulsion H₂O / Salz 6 – Oktyloktanoat – AOT / Cotensid 7 / Booster 1, bei $\alpha = 0.3$, $\gamma = 0.09$, $\delta = 0.1$ und $\varepsilon = 0.006$ (oben links), $\varepsilon = 0.01$ (oben rechts), $\varepsilon = 0.079$ (unten). Grau markiert sind die Zweiphasengebiete, gelb die lamellaren Phasen und grün die Einphasengebiete. S. 59

Abb. 4.23: Die Temperatur aufgetragen als Funktion der Tensidzusammensetzung Δ der Mikroemulsion H₂O / Salz 6 – Oktyloktanoat – AOT / Cotensid 8 / Booster 1, bei $\alpha = 0.13$, $\gamma = 0.12$ und $\varepsilon = 0.014$. Grau markiert sind die Zweiphasengebiete und grün die Einphasengebiete. S. 60

Abb. 4.24: Die Temperatur aufgetragen als Funktion der Tensidzusammensetzung Δ der Mikroemulsion H₂O / Salz 6 – Oktyloktanoat – AOT / Cotensid 3 / Booster 1, bei $\alpha = 0.13$, $\gamma = 0.12$ und $\varepsilon = 0.047$. Grau markiert sind die Zweiphasengebiete, gelb die lamellaren Phasen und grün die Einphasengebiete. S. 61

Abb. 4.25 Die Temperatur aufgetragen als Funktion der S. 61

Tensidzusammensetzung Δ der Mikroemulsion H_2O / Salz 6 – Oktyloktanoat – AOT / Cotensid 5 / Booster 1, bei $\alpha = 0.13$, $\gamma = 0.12$ und $\varepsilon=0,047$. Grau markiert sind die Zweiphasengebiete, gelb die lamellaren Phasen und grün die Einphasengebiete.

Abb. 4.26: Die Temperatur aufgetragen als Funktion der Tensidzusammensetzung Δ der Mikro-emulsion H_2O / Salz 6 – Oktyloktanoat – AOT / Cotensid 2 / Booster 3, bei $\alpha = 0.25$, $\gamma = 0.12$, $\varepsilon=0,021$, $\delta=0,05$ (oben links), $\delta=0,06$ (oben rechts), $\delta=0,07$ (mitte links), $\delta=0,08$ (mitte rechts) und $\delta=0,15$ (unten). Grau markiert sind die Zweiphasengebiete, gelb die lamellaren Phasen und grün die Einphasengebiete. S. 63

Abb. 4.27: Die Temperatur aufgetragen als Funktion der Tensidzusammensetzung Δ der Mikroemulsion H_2O / Salz 6 – Oktyloktanoat – AOT / Cotensid 2 / Booster 4, bei $\alpha = 0.25$, $\gamma = 0.12$, $\varepsilon=0,021$, $\delta=0,07$ (oben links), $\delta=0,08$ (oben rechts), $\delta=0,09$ (unten links) und $\delta=0,15$ (unten rechts). Grau markiert sind die Zweiphasengebiete, gelb die lamellaren Phasen und grün die Einphasengebiete. S. 64

Abb. 4.28: Die Temperatur aufgetragen als Funktion der Tensidzusammensetzung Δ der Mikroemulsion H_2O / Salz 6 – Oktyloktanoat – AOT / Cotensid 2 / Booster 2, bei $\alpha = 0.25$, $\gamma = 0.12$, $\varepsilon=0,022$, $\delta=0,05$ (oben links), $\delta=0,06$ (oben rechts), $\delta=0,07$ (mitte links) und $\delta=0,08$ (mitte rechts), $\delta=0,09$ (unten links) und $\delta=0,15$ (unten rechts). Grau markiert sind die Zweiphasengebiete, gelb die lamellaren Phasen und grün die Einphasengebiete. S. 65

Abb. 4.29: Die Temperatur aufgetragen als Funktion der Tensidzusammensetzung Δ der Mikroemulsion H_2O / Salz 6 – Oktyloktanoat / DiBasicEster – AOT / Cotensid 2 / Booster 1, bei $\alpha = 0.25$, $\gamma = 0.11$, $\varepsilon=0,022$, $\delta=0,01$ und $\beta=0,15$ (oben links), $\beta=0,20$ (oben rechts), $\beta=0,30$ (unten links) und $\beta=0,40$ (unten rechts). Grau markiert sind die Zweiphasengebiete, gelb die lamellaren Phasen und grün die Einphasengebiete. S. 66

Abb. 4.30: Die Temperatur aufgetragen als Funktion der Tensidzusammensetzung Δ der Mikroemulsion H_2O / Salt 1 – RME – AOT / Cotensid 7, bei $\alpha = 0.40$, $\varepsilon = 0.003$ und $\gamma = 0.10$ (oben links), $\gamma = 0.11$ (oben rechts), $\gamma = 0.12$ (Mitte links), $\gamma = 0.13$ (Mitte rechts) und $\gamma = 0.14$ (unten). Grau markiert sind die Zweiphasengebiete und grün die Einphasengebiete. S. 67

Abb. 4.31: Die Temperatur aufgetragen als Funktion der Tensidzusammensetzung Δ der Mikroemulsion H_2O / Salz – RME – AOT / Cotensid 7, bei $\alpha = 0.40$, $\varepsilon = 0.003$ und $\gamma = 0.15$. Salz 1 (oben S. 68

links), Salz 5 (oben rechts), Salz 2 (mitte links), Salz 6 (mitte rechts) und , Kaliumnatriumcumolsulfonat (unten). Grau markiert sind die Zweiphasengebiete, grün die Einphasengebiete und gelb die lamellaren Phasen.

Abb. 4.32: Die Temperatur aufgetragen als Funktion der Tensidzusammensetzung Δ der Mikroemulsion H₂O / Salz 2 – RME – AOT / Cotensid 1, bei $\alpha = 0.20$, $\varepsilon = 0.01$ und $\gamma = 0.08$ (oben links), $\gamma = 0.07$ (oben rechts), $\gamma = 0.06$ (unten). Grau markiert sind die Zweiphasengebiete und grün die Einphasengebiete. S. 70

Abb. 4.33: Die Temperatur aufgetragen als Funktion der Tensidzusammensetzung Δ der Mikroemulsion H₂O / Salz 2 – RME – AOT / Cotensid 6, bei $\alpha = 0.30$, $\varepsilon = 0.01$ und $\gamma = 0.08$ (oben links), $\gamma = 0.07$ (oben rechts), $\gamma = 0.06$ (unten). Grau markiert sind die Zweiphasengebiete und grün die Einphasengebiete. S. 72

Abb. 4.34: Die Temperatur aufgetragen als Funktion der Tensidzusammensetzung Δ der Mikroemulsion H₂O / Salz 2 – RME – AOT / Cotensid 6, bei $\alpha = 0.30$, $\gamma = 0.08$ und $\varepsilon = 0.01$ (oben links), $\varepsilon = 0.007$ (oben rechts), $\varepsilon = 0.005$ (unten). Grau markiert sind die Zweiphasengebiete und grün die Einphasengebiete. S. 73

Abb. 4.35: Zeigt einen Reinigungstest mit einer wasserbasierten Farbe. Variiert wurde hier die Tensidkonzentration des Systems Wasser / Salz 2 – RME – AOT / Cotensid 6. Nach der Reinigung unter fließendem Wasser zeigen alle Mikroemulsionen gleich gute Ergebnisse. S. 75

Abb. 4.36: Zeigt einen Reinigungstest mit einer ölbasierten Farbe. Variiert wurde hier die Tensidkonzentration des Systems Wasser / Salz 2 – RME – AOT / Cotensid 6. Nach der Reinigung unter fließendem Wasser zeigen alle Mikroemulsionen in etwa gleich gute Ergebnisse. S. 76

Abb. 4.37: Zeigt einen Reinigungstest mit einer ölbasierten Farbe. Variiert wurde hier die Tensidkonzentration des Systems Wasser / Salz 2 – RME – AOT / Co-Tensid. Nach der Reinigung unter fließendem Wasser zeigen alle Mikroemulsionen in etwa gleich gute Ergebnisse. S. 77

Abb. 4.38: Darstellung der Reinigung eines Pinsels mit eingetrockneter Farbe. S. 80

Abb. 7.1: Projektposter bei dem „Tag der Neugier“ 2009. S. 88

Tabellen:

- Tab. 4.1:** Tabelle mit verschiedenen Tensidmischungen als polare Komponente wurde Wasser gewählt, die unpolare Komponente stellte *n*-Dodekan dar. S. 29
- Tab.4.2:** Verwendet Polymere, die die Effizienz der Mikroemulsion steigern sollen. S. 32
- Tab. 4.3:** H₂O – Ketrul D85 – Span 20 / Plantacare 2000 / Booster 1 ($\alpha = 0.4, \delta = 0.1$). Mit dem Tensidmassenbruch in der Gesamtmischung γ , dem Co-Tensidmassenbruch Δ und der Anzahl der Phasen Φ bei einer Temperatur T=20°C. S. 32
- Tab.4.4:** H₂O – Ketrul D85 – Span 20 / Plantacare 2000 / Booster 2 ($\alpha = 0.4, \delta = 0.1$). Mit dem Tensidmassenbruch in der Gesamtmischung γ , dem Co-Tensidmassenbruch Δ und der Anzahl der Phasen Φ bei einer Temperatur T=20°C. S. 33
- Tab.4.5:** H₂O – Ketrul D85 – Span 20 / Plantacare 2000 / Booster 3 ($\alpha = 0.4, \delta = 0.1$). Mit dem Tensidmassenbruch in der Gesamtmischung γ , dem Co-Tensidmassenbruch Δ und der Anzahl der Phasen Φ bei einer Temperatur T=20°C. S. 33
- Tab.4.6:** H₂O – Ketrul D85 – Imwitor 928 / Plantacare 2000 / Booster 3 ($\alpha = 0.4, \delta = 0.1$). Mit dem Tensidmassenbruch in der Gesamtmischung γ , dem Co-Tensidmassenbruch Δ und der Anzahl der Phasen Φ bei einer Temperatur T=20°C. S. 34
- Tab. 4.7:** Verschiedene Tensidmischungen als mögliche Kandidaten, um eine Mikroemulsion mit Ketrul D85 und DiBasicEster als Ölkomponeute zu formulieren. Als Polymeradditive wurden Booster 2 und Booster 3 eingesetzt. S. 39
- Tab. 4.8:** Viskosität und Reinigungswirkung der hier gezeigten Mikroemulsionen. S. 78
- Tab. 5.1:** Vergleich des Mikroemulsionsreinigers auf Esterölbasis mit herkömmlichem Pinselreiniger. S. 85

1.2. Abkürzungsliste sowie Definitionen der Massenbrüche

$$\alpha = \frac{m_{\text{Öl}}}{m_{\text{Öl}} + m_{\text{Wasser}}}$$

$$\beta = \frac{m_{\text{co-Öl}}}{m_{\text{co-Öl}} + m_{\text{Öl}}}$$

$$\gamma = \frac{m_{\text{Tensid}} + m_{\text{co-Tensid}} + m_{\text{Polymer}}}{\sum m_{\text{Gesamt}}}$$

$$\delta = \frac{m_{\text{Polymer}}}{m_{\text{Tensid}} + m_{\text{co-Tensid}} + m_{\text{Polymer}}}$$

$$\Delta = \frac{m_{\text{co-Tensid}}}{m_{\text{Tensid}} + m_{\text{co-Tensid}}}$$

$$\varepsilon = \frac{m_{\text{ionisches Additiv}}}{m_{\text{Tensid}} + m_{\text{ionisches Additiv}}}$$

$$\psi = \frac{m_{\text{polares Additiv}}}{m_{\text{Wasser}} + m_{\text{polares Additiv}}}$$

1.3. Stoffliste

Name / Abkürzung	Struktur	Bezugsquelle
AG 6210	C ₈₋₁₀ G _x	
AOT	Sulfobernsteinsäure 1,4-bis-(2-ethylhexyl)ester	Zschimmer & Schwarz
Brij 700	C ₁₈ E ₁₀₀	Croda
Calciumchlorid		Aldrich
Disponil AP 600	C ₁₂₋₁₄ G _x	Cognis
n-Dodekan		Aldrich
Di Basic Ester	Gemisch aus Dimethylsuccinat, Dimethyladipat und Dimethylglutarat	DuPont
Emuldac AS-80	C ₁₆₋₁₈ E ₈₀	Sasol
Ethyloleat		Aldrich
Imwitor 928	C ₁₄₋₁₈ -Sorbitanester	Sasol
Isopropylmyristat		Aldrich
Kaliumnatriumcumolsulfonat		Reininghaus
Ketrol D85	Aliphatischer	Total

	Kohelwasserstoff mit einem Flammpunkt von ca. 85 °C	
Methylaurat		Aldrich
Oktyloktanoat		Aldrich
Plantacare 2000	C ₈₋₁₆ G _x	Cognis
Plantacare 818	C ₁₆₋₁₈ G _x	Cognis
RME	Rapsmethylester	Hoesch
Span 20	Sorbitan Monolaurat	Aldrich
Stepan Mild L3	Lauryl Lactyl Lactat	Stepan
Tegotens SD 100	Fettsäure Sorbitanester	Evonik
Trinatriumcitrat 2 Hydrat		Aldrich
Tween 21	Polyoxyethylen (4) Sorbitan Monolaurat	Aldrich
Tween 40	Polyoxyethylen (20) Sorbitan Monopalmitat	Aldrich
Tween 80	Polyoxyethylen (20) Sorbitan Monooleat	Aldrich

2. Zusammenfassung

Die meisten Reinigungsprozesse werden heute mittels wässriger Reiniger durchgeführt. Lösemittel finden vor allem in Bereichen Anwendung, wo die Reinigungsleistung wässriger Systeme unzureichend ist. Dies ist besonders im Bausektor der Fall, wo im Handwerk und im privaten Bereich lösemittelbasierte Reiniger noch in großem Umfang eingesetzt werden. Beispiele dafür sind Pinselreiniger, Klebstoffentferner oder Allzweckreiniger. Diese Reiniger bestehen im Wesentlichen aus leichtflüchtigen Lösemitteln, denen Tenside zugesetzt sein können. Eine für das Forschungszentrum Jülich durchgeführte Marktstudie ergab, dass in deutschen Baumärkten pro Jahr ca. 1 Mio. Liter Pinselreiniger verkauft werden. Unter Einbeziehung ähnlicher Reiniger sowie des professionellen Bereichs wird der Absatz ein Vielfaches davon betragen.

Das Ziel des Projekts bestand darin einen Pinselreiniger auf Mikroemulsionsbasis zu entwickeln, der im Vergleich zu lösemittelbasierten Reinigern bei vergleichbarer Reinigungsleistung signifikant weniger umwelt- und gesundheitsschädlich ist. Der Reiniger sollte möglichst kennzeichnungsfrei sein.

Mikroemulsionen sind thermodynamisch stabile Gemische aus Wasser, einer Ölkomponente sowie einem oder mehreren Tenside. Aufgrund der Öl- und Tensidkomponenten eignen sich Mikroemulsionen grundsätzlich auch als Reiniger zur Beseitigung schwer entfernbare Verschmutzungen wie Farbreste. Die Stabilität von Mikroemulsionen beschränkt sich gewöhnlicherweise auf ein enges Temperaturfenster oder es müssen große Tensidgehalte verwendet werden um den Stabilitätsbereich auszuweiten. Deshalb bestanden die Entwicklungsarbeiten zuerst darin geeignete Tensidgemische zu finden, um bei möglichst geringen Tensidgehalten das Temperaturfenster aufzuweiten. Anschließend wurden Reinigungstests durchgeführt, um die Eignung als Pinselreiniger zu überprüfen. Im Verlauf der Arbeiten wurden Gemische mit verschiedenen Kohlenwasserstoff- und Esterölen untersucht.

Im ersten Projektabschnitt sollte ein Reiniger auf Basis von hochsiedenden, aliphatischen Kohlenwasserstoffölen formuliert werden. Dabei wurde erkannt, dass der Anteil Kohlenwasserstofföl, der benötigt wird um eine zufriedenstellende Reinigungsleistung zu erreichen, für kennzeichnungsfreie Formulierungen zu hoch liegt. Zwar sind diese Reiniger den konventionellen Reinigern hinsichtlich Umwelt- und Gesundheitsschädlichkeit stark überlegen, jedoch würde die noch notwendige Kennzeichnung zu Akzeptanzproblemen führen.

Deshalb wurden frühzeitig die Arbeiten auf den zweiten Projektabschnitt verlagert, mit dem Ziel esterölbasierte Reiniger herzustellen. Hochsiedende Esteröle sind in der Regel kennzeichnungsfrei. Zudem sind diese Öle erheblich besser biologisch abbaubar als Kohlenwasserstofföle. Allerdings stellt die Formulierung von Mikroemulsionen mit Esterölen eine große Herausforderung dar. Dies gilt besonders, wenn Stabilität in einem großen Temperaturfenster erreicht werden soll. Typische Tensidanteile von 20% oder mehr führen erneut zur Kennzeichnungspflicht. Es ist jedoch im Rahmen der durchgeführten Arbeiten gelungen, Tensidgemische zu finden, die sich zur Formulierung hocheffizienter Esteröl-Mikroemulsionen eignen. Der Tensidanteil konnte deutlich unter 10% reduziert werden, unter Gewährleistung einer minimalen Temperaturstabilität zwischen 5 °C und 40 °C. Dieses Temperaturfenster ist insbesondere für Lagerung und Transport notwendig. Bei Verwendung geeigneter Tenside lassen sich somit vollständig kennzeichnungsfreie Formulierungen herstellen.

Weiterhin sind die neuen Formulierungen nahezu geruchsneutral. Obwohl sie zu 2/3 aus Wasser bestehen, sind die Reinigungsleistungen mit denen von konventionellen Reinigern vergleichbar. Frische und auch eingetrocknete Farbreste lassen sich problemlos entfernen. Im Gegensatz zu den konventionellen Reinigern eignen sich die Mikroemulsionen auch zur Entfernung von eingetrockneten wasserlöslichen Lacken. Allerdings weisen die neuen Reiniger auch Nachteile auf. Aufgrund der Schwerflüchtigkeit müssen die Pinsel mit Wasser ausgewaschen werden, um Reinigerreste zu entfernen. Außerdem ist

der Reinigungsvorgang bei frischen Farben etwas langsamer als mit konventionellen Reinigern. Dies liegt an der erhöhten Viskosität der neuen Reiniger gegenüber konventionellen Reinigern. Der langsamere Reinigungsvorgang kann aber beispielsweise durch wiederholtes Ausdrücken des Pinsels im weitgehend kompensiert werden.

Ein aus ökologischer Sicht zentraler Punkt betrifft die Entsorgung der gebrauchten Reiniger. Die in den kommunalen Abwassersatzungen festgelegten Grenzwerte lassen in der Regel die Entsorgung von Kleinmengen des neuen Reinigers, wie sie im privaten Bereich anfallen, über das Abwasser zu. Dieser Weg der Entsorgung wird allerdings vom Umweltbundesamt nicht befürwortet. Es wird befürchtet, dass dadurch ein Türöffnereffekt eintritt und Verbraucher auch Schadstoffe über das Abwasser entsorgen, für die dieser Weg nicht zulässig ist. Somit soll gebrauchter Pinselreiniger als Sondermüll entsorgt werden. In diesem Zusammenhang sollte auch erwähnt werden, dass auch flüssige Reste von Dispersionsfarben oder wasserbasierten Lacken, die allesamt mit dem "Blauen Engel" ausgezeichnet sind, auch als Sondermüll entsorgt werden müssen.

Der hohe Wasseranteil des neuen Reinigers hat neben ökologischen auch ökonomische Vorteile. Die Herstellungskosten sind dadurch mit denen von konventionellen Pinselreinigern vergleichbar. Zurzeit laufen Gespräche mit einem Hersteller von Farben und Lacken um den neuen Reiniger als Pinselreiniger zu vermarkten. Abschließend wurde auch das Potential der neuen Reiniger für andere Anwendungen untersucht. Die neuen Mikroemulsionen wurden für exploratorische Tests mit Klebstoffen, auf Oberflächen anhaftende Klebebandrückständen sowie Silikondichtmassen verwendet. Die Ergebnisse zeigten, dass die neuen Reiniger auch für diese Anwendungen gebraucht werden können. Es ist deshalb zu erwarten, dass durch Weiterentwicklung auch Reiniger für diese Anwendungen formuliert werden können.

3. Einleitung

3.1. Stand der Technik im Bereich Pinselreiniger

Pinselreiniger sind Lösemittelgemische, die frische Lacke, Lasuren und auch Ölfarben von Werkzeugen, wie Pinsel, Bürsten, Rollen und Walzen entfernen sollen. Meistens bestehen Pinselreiniger aus leichtflüchtigen aromatischen bzw. aliphatischen Kohlenwasserstoff-Lösemitteln, Lösungsvermittlern (z.B. Ester und Ether) und nichtionischen Emulgatoren (z.B. Fettalkoholethoxylate). Neben den herkömmlichen Pinselreinigern kommen auch sogenannte ökologische Reiniger zum Einsatz, die in der Regel zu einem großen Anteil aus Terpenen statt auf synthetischen Lösemitteln bestehen. Terpene werden aus Zitruschalen gewonnen.

Pinselreiniger weisen meistens Flammpunkte von unter 50°C auf. Dadurch ist der Reinigungsvorgang mit erheblichen Umwelt- und auch Arbeitsplatzbelastungen verbunden. Die in ökologischen Reinigern verwendeten Terpene sind zwar besser biologisch abbaubar als synthetische Rohstoffe. Eine Problematik, die sich bei der Anwendung dieser Reiniger ergibt, ist, dass Terpene allergieauslösend sind, weshalb sie im gewerblichen Bereich bereits verboten sind. Im gewerblichen Bereich geht der Trend wegen der Arbeitsplatzbelastungen weg von leichtflüchtigen oder auch halogenierten Lösemitteln.

3.2. Stand der Technik im Bereich Mikroemulsionen

Mikroemulsionen sind makroskopisch isotrope und nanostrukturierte Mischungen aus mindestens drei Komponenten, einer polaren (z.B. Wasser), einer unpolaren (Öl) und einer amphiphilen (Tensid) Komponente. Was sie von normalen Emulsionen unterscheidet ist, dass sie thermodynamisch stabile Phasen sind, d.h. dass sie sich spontan bilden und sich, wenn sie einmal homogenisiert sind,

nicht mehr entmischen. Die Tensidmoleküle bilden eine ausgedehnte Grenzfläche zwischen der Wasser- und der Ölphase, so dass die normalerweise unmischbaren Bestandteile Öl und Wasser miteinander gemischt werden [Sot05]. Diese Mischungen aus beispielsweise Wasser, Öl und Tensid sind meist stark temperatur- und konzentrationsabhängig. Um das komplizierte Phasenverhalten einer Mikroemulsion untersuchen zu können werden verschiedene Schnitte durch das Phasenprisma gemacht. Während dieses Projekts wurde fast ausschließlich das Phasenverhalten in Abhängigkeit der Tensidmischung Δ untersucht, während die restlichen Zusammensetzungen wie das Wasser-zu-Öl-Verhältnis und Tensidkonzentration in der Gesamtmischung konstant gehalten wurden.

Ein charakteristischer Punkt in dem Phasenprisma ist der \tilde{X} -Punkt an dem die gesamte Menge an Öl und Wasser durch das Tensid solubilisiert ist, d.h. an diesem Punkt kann man die minimale Konzentration an Tensid in der Mikroemulsion ablesen, die nötig ist um eine einphasige Mikroemulsion herzustellen. Für die Herstellung eines Reinigers ist dieser Punkt von größter Wichtigkeit, da das Tensid die teuerste Komponente darstellt und in so geringer Konzentration wie möglich vorhanden sein soll. Eine weitere Herausforderung war die sonst temperaturabhängige Mikroemulsion so temperaturinvariant wie möglich zu formulieren. Hier gibt es in der Literatur mehrere Ansätze. So kann durch die geschickte Wahl des Verhältnisses von ionischen und nichtionischen Tensiden, der sogenannte isobestische Punkt erreicht werden, bei der die Mikroemulsion nicht mehr temperaturabhängig ist. Dies ist durch das komplementäre Phasenverhalten ionischer und nichtionischer Tenside möglich [Kahl88]. Ein weiterer Ansatz ist der Gebrauch von Zuckertensiden, die durch die Zuckerderivatkopfguppen vergleichsweise temperaturinsensitiv sind [Stu01]. Ein letzter Ansatz beruht auf der Löslichkeit der Tenside in der Wasser- bzw. Ölphase. Bei eher wasserlöslichen Tensiden spricht man von hydrophilen Tensiden und bei eher öllöslichen Tensiden spricht man von hydrophoben Tensiden. Wenn man in der Mikroemulsion das Verhältnis von hydrophilen und

hydrophoben Tensiden so wählt, dass die Mischung etwa gleich gut in Öl und in Wasser löslich ist, wird das Temperaturfenster dieser Mischung maximal.

Um die Tensidmenge in der Mischung noch weiter minimieren zu können werden sogenannte „Efficiency Boosters“ eingesetzt, hierbei handelt es sich um Polymere, die am FZ Jülich entwickelt wurden und die den \tilde{X} -Punkt zu niedrigeren Tensidmassenbrüchen verschieben. Zurzeit gibt es grundsätzlich zwei Arten dieser Polymere. Die eine Art sind Block-Copolymere, bei den anderen handelt es sich um Stickerpolymere, die eine relativ kurze unpolare Kette haben und einen großen polaren Rest. Diese sogenannten Stickerpolymere wurden im Rahmen dieses Projekts eingesetzt, da sie biologisch abbaubar sind.

3.3. Gefahrenstoffe im Alltag

In vielen industriellen Anwendungen sind Gefahrenstoffe weitgehend eliminiert. Anders sieht es im privaten und kleingewerblichen Bereich aus. Dort würde man zwar erwarten, dass Gefahrenstoffe überwiegend vermieden werden, dennoch gibt es diverse Produkte, bei denen es sich im eigentlichen Sinn um einen Gefahrstoff handelt. Beispielsweise sind Geschirr-Reinigungs-Tabs für den Geschirrspüler kennzeichnungspflichtig und sogar das Tragen einer Schutzbrille wird empfohlen (Abb. 3.1). Ein weiteres Beispiel sind etherische Öle, wie z. B. Lorbeeröl, Orangenöl oder Zimtöl. Lorbeeröl wird im weiten Umfang als Aromakomponente in der Nahrungsmittelindustrie eingesetzt, findet aber auch Anwendung bei Duftölen. Allerdings wird das Sensibilisierungspotential von Lorbeeröl als mittelstark eingestuft. Außerdem ist es hautreizend und entzündlich. Ein weiteres Beispiel ist ein Aufguss für die Sauna, das unter anderem Campher, Menthol, Eukalyptusöl, und einige weitere etherische Öle und Parfüms beinhaltet. Das gesamte Produkt ist entzündlich (R10), durch Hautkontakt ist Sensibilisierung möglich (R43), es kann bei Verschlucken Lungenschäden verursachen (R65) und ist giftig für Wasserorganismen (R51/53).



Abb. 3.1: Links: Bildausschnitt einer Geschirrspül-Tabs Verpackung. Das Reinigungsmittel ist reizend und es wird unter anderem das Tragen von Gesichtsschutz / Schutzbrille empfohlen. Rechts: Bild einer Zapfsäule. Ottokraftstoff ist giftig, hochentzündlich und umweltgefährlich.

Ein weiteres Beispiel aus dem Alltag ist Alkohol. Beispielsweise bei einer Alkoholkonzentration von 40 % müsste eine Kennzeichnung als „entzündlich“ R10 erfolgen. Allerdings entfällt diese Kennzeichnung für Kosmetika, Lebensmittel und Tabakerzeugnisse, so dass hochprozentige alkoholische Getränke oder Parfüms kennzeichnungsfrei bleiben.

Im Bereich der Wasch- und Reinigungsmittel wie beispielsweise Geschirrspülmittel werden Treuhänder-Gutachter-Modelle für die Einstufung angewendet. Dabei handelt es sich um spezielle Bewertungskonzepte zur Einstufung von Gemischen [IKW12]. Der Kern dieses Modells ist es, dass einem unabhängigen Gutachter Originalrezepturen und die Prüfdaten bezüglich der Haut –und Augenreizung mit den zu begutachtenden Originalrezepturen vorliegen. Der Gutachter empfiehlt daraufhin eine Kennzeichnung als reizend oder stellt fest, dass eine Kennzeichnung als reizend nicht erforderlich ist. Hierbei

handelt es sich immer um Einzelfallbetrachtungen, die gemäß Artikel 6 Absatz 3¹ der Zubereitungsrichtlinie 1999/45/EG angewendet werden können. Wird auf das „Treuhand-Gutachter-Modell“ verzichtet, wird die Einstufung der umwelt- und gesundheitsgefährlichen Eigenschaften gemäß der konventionellen Methode bestimmt. Das Verfahren ist ebenfalls in der Zubereitungsrichtlinie 1999/45/EG beschrieben. Ohne Anwendung des Treuhand-Gutachter-Modells wird die Formulierung eines kennzeichnungsfreien Pinselreinigers erschwert und die Komponenten, die man dann einsetzen kann werden stark eingeschränkt.

Im Fall eines kommerziellen erhältlichen Reinigers zur Entfernung von Klebstoff- und Farbbrechen o. ä. (Abb. 3.2) hat der Hersteller den Reiniger so formuliert, dass bei oberflächlicher Betrachtung der Flasche der Reiniger kennzeichnungsfrei erscheint. Das Produkt basiert auf synthetischen Kohlenwasserstoffen sowie n-Butylacetat, die als Gesundheitsschädlich (Xn, R65) und Umweltgefährlich (N) eingestuft sind. Eine Kennzeichnung mit Gefahrensymbol auf der Verpackung entfällt allerdings, da mit Verdickungsmittel

¹ Zitat Art. 6 Abs. 3 der Zubereitungsrichtlinie 1999/45/EG:
Ferner gilt Folgendes:

- Kann aufgrund epidemiologischer Studien, wissenschaftlich validierter Fallstudien gemäß Anhang VI der Richtlinie 67/ 548/EWG oder durch statistisch gestützte Erfahrungen wie der Auswertung von Daten von Giftinformationszentren oder von Daten über Berufskrankheiten nachgewiesen werden, dass toxische Wirkungen auf den Menschen sich von der Wirkung unterscheiden, die anhand der Methoden nach Absatz 1 ermittelt wurden, wird die Zubereitung aufgrund ihrer Wirkungen auf den Menschen eingestuft.
- Kann nachgewiesen werden, dass bei einer konventionellen Beurteilung die gefährliche Eigenschaft wegen Wirkungen wie Potenzierung unterschätzt würde, so sind diese Wirkungen bei der Einstufung der Zubereitung zu berücksichtigen.
- Kann nachgewiesen werden, dass bei einer konventionellen Beurteilung die gefährliche Eigenschaft wegen Wirkungen wie Antagonismus überschätzt würde, so sind diese Wirkungen bei der Einstufung der Zubereitung zu berücksichtigen

die Viskosität so stark erhöht wurde, dass eine Kennzeichnung als „Gesundheitsschädlich, kann beim Verschlucken Lungenschäden verursachen.“² entfällt. Daraus ergibt sich, dass der Hersteller den Reiniger lediglich mit Gefahren- und Sicherheitshinweisen kennzeichnet.

² Zitat Anh. VI Abschnitt 3.2.3 der Stoffrichtlinie 67/548/EWG:
Stoffe und Zubereitungen, die aliphatische, alizyklische und aromatische Kohlenwasserstoffe in einer Gesamtkonzentration > 10 % enthalten und

- in einem ISO-Gefäß von 3 mm gemäß ISO 2431 (Ausgabe vom April 1996/Juli 1999) über „Farben und Lacke – Bestimmung der Fließzeit unter Verwendung von Fließgefäßen“ eine Fließzeit < 30 sec haben oder
- deren kinematische Viskosität bei kapillarviskosimetrischer Messung gemäß ISO 3104/3105 bei 40 °C < $7 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{sec}$ beträgt (ISO 3104, Ausgabe von 1994 über „Mineralölerzeugnisse – Durchsichtige und undurchsichtige Flüssigkeiten – Bestimmung der kinematischen Viskosität und Berechnung der dynamischen Viskosität“; ISO 3105, Ausgabe von 1994, über „Kapillar-Viskosimeter aus Glas zur Bestimmung der kinematischen Viskosität – Anforderungen und Bedienungsanleitungen“, oder
- deren kinematische Viskosität bei rotationsviskosimetrischer Messung nach ISO 3219 bei 40 °C < $7 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{sec}$ beträgt (ISO 3219, Ausgabe von 1993, über „Kunststoffe – Polymere/Harze in flüssigem, emulgiertem oder dispergiertem Zustand – Bestimmung der Viskosität mit einem Rotationsviskosimeter bei definiertem Geschwindigkeitsgefälle“.

Stoffe und Zubereitungen, die diesen Kriterien entsprechen, müssen nicht entsprechend eingestuft werden, wenn ihre mit Nuoy-Tensiometer oder den in Anhang V Teil A.5 festgelegten Messmethoden gemessene mittlere Oberflächenspannung bei 25 °C > 33 mN/m beträgt.

Gefahrenhinweise:
Entzündlich. Wiederholter Kontakt kann zu spröder oder rissiger Haut führen. Dämpfe können Schläfrigkeit und Benommenheit verursachen.

Sicherheitsratschläge:
Darf nicht in die Hände von Kindern gelangen. Von Zündquellen fernhalten – Nicht rauchen. Dampf nicht einatmen. Berührung mit den Augen und der Haut vermeiden. Geeignete Schutzhandschuhe tragen. Bei Verschlucken sofort ärztlichen Rat einholen und Verpackung oder Etikett vorzeigen. Nur in gut gelüfteten Bereichen verwenden. Nicht in die Kanalisation gelangen lassen.

Enthält: 15 – 30 % aliphatische Kohlenwasserstoffe, < 5 % nichtionisches Tensid

Medizinische Notrufnummer: +49 (0) 551/1 92 40

 Nur restentleerte Gebinde zum Recycling geben. Produktreste der Problemabfallentsorgung zuführen.

Best.-Nr. [redacted] · Made in Germany

[redacted] löst schnell und sicher **1. Bodenbelags-Rückstände**, z. B. Kompaktschaumreste, die beim Herausreißen alter Beläge zurückbleiben **2. Klebstoff-Rückstände** von Dispersions- und Kunstharzklebstoffen – z. B. Bodenbelagskleber, Rückstände von Klebebändern und Selbstklebe-Fliesen **3. eingetrocknete Farbflecken** – z. B. Dispersionsfarben, Kunstharz- und Acryllacke. Hervorragend geeignet zum Reinigen verschmutzter Werkzeuge und harter Naturhaarpinsel.

GEBRAUCHSANWEISUNG:

Bodenbelags- und Klebstoff-Rückstände: [redacted] mit lösungsmittelbeständigem Pinsel oder Walze satt auftragen und je nach Klebstoff 15 – 60 Minuten einwirken lassen. Die gelöste Klebstoffschicht mit einem Spachtel abschieben. Bei Bedarf den Vorgang wiederholen. Die Fläche gründlich mit Wasser und ggf. Spülmittel nachwaschen und vollständig trocknen lassen.

Getrocknete Farb- und Lackflecken: [redacted] ca. 10 – 30 Minuten einwirken lassen und mit einem Lappen den Fleck reibend auflösen. Gründlich mit Wasser nachwaschen.

Reinigen: Harte Naturhaarpinsel in einem Glas oder einem Metallgefäß in [redacted] einweichen und nach ausreichender Einwirkzeit auswaschen. Kleinere Metallteile in [redacted] einlegen, größere Metallteile einstreichen und ebenfalls mit Wasser abspülen.

[redacted] ist verdunstungsverzögert, daher sind ohne wiederholtes Auftragen lange Einwirkzeiten möglich. [redacted] ist ein thixotropes Gel und kann auch an senkrechten Flächen verarbeitet werden.

Achtung: Nicht lösungsmittelbeständige Kunststoffe und Gussasphalt können angegriffen werden. Vor der Anwendung an unauffälliger Stelle auf Oberflächenverträglichkeit prüfen. [redacted] nicht auf saugenden Untergründen (z. B. Zementestrich) verwenden. Größere Flächen in Teilabschnitten von max. 0,5 m² bearbeiten; dabei auf guten Luftdurchzug achten. Vor Folgearbeiten bzw. der Neuverlegung von Bodenbelägen den Untergrund vollständig abtrocknen lassen und den Raum gut lüften.

Gut verschlossen und kühl lagern.

Abb. 3.2: Etikett eines kommerziell erhältlichen Reinigers zur Entfernung von Klebstoff und Lackrückständen. Aufgrund der geschickten Ausnutzung des Gefahrenstoffrechts, müssen keine Gefahrensymbole an der Dose angebracht werden, obwohl das Stoffgemisch als Umweltgefährlich (N) und Gesundheitsschädlich (R65) eingestuft ist.

3.4. Zielsetzung

Das Ziel des Projekts war es einen neuartigen Pinselreiniger auf Mikroemulsionsbasis zu entwickeln. Das Tensid in der Mikroemulsion senkt die Grenzflächenspannung drastisch ab, so dass eine Benetzung der verschmutzten Geräte sehr gut gewährleistet sein sollte. Außerdem ist es möglich Mikroemulsionen zu formulieren, die als Ölkomponente keine leichtflüchtigen Lösemittel beinhalten. Dadurch wird der Arbeits- und Gesundheitsschutz stark verbessert. Nicht nur Emissionen sondern auch die Brandgefahr wird stark herabgesetzt. Durch den Wasseranteil in den Mischungen wird der Effekt noch verstärkt. Ein weiterer Vorteil des Wassergehaltes sind die dadurch gesenkten Kosten. Die Mikroemulsion sollte so formuliert werden, dass der Reiniger möglichst kennzeichnungsfrei ist. Wenn man bedenkt, dass viele gewöhnliche Haushaltsreiniger noch immer aufgrund der hohen Gefahrstoffgehalte kennzeichnungspflichtig sind, stellt diese Aufgabe für einen Pinselreiniger eine große Herausforderung dar.

Das Projekt wurde in zwei Teilprojekte unterteilt. Das Ziel des ersten Teilprojektes war es auf Basis von Mikroemulsionen einen neuartigen Pinselreiniger herzustellen, der ein deutlich geringeres Gefahrenpotential hat, als herkömmliche Reiniger. Dies konnte durch den Einsatz von hochsiedenden Kohlenwasserstoffölen als Ölkomponente und kennzeichnungsfreien sowie gut biologisch abbaubaren Tensiden, wie zum Beispiel Zuckertenside oder Sorbitanester als amphiphile Komponente erreicht werden. Als Ausgangspunkt dienten die schon vorhandenen Formulierungen für Offsetdruck-Reiniger die in Zusammenarbeit mit der Firma Schwegmann hergestellt wurden.

Das zweite Teilprojekt hatte zum Ziel nicht nur das Gefahrenpotential zu verringern, sondern einen Reiniger zu formulieren, der komplett kennzeichnungsfrei ist. Da hochsiedende Kohlenwasserstofföle als reizend (Xn)

eingestuft sind, wurde die Ölkomponente durch kennzeichnungsfreie Esteröle ausgetauscht. Diese Öle haben zudem den Vorteil, dass sie wesentlich besser biologisch abbaubar sind als Kohlenwasserstofföle. Durch den Austausch des Öls wurde es nötig auch die Tensidkomponenten auszutauschen. Die meisten Tenside führen bei Konzentrationen über 5% zur Kennzeichnungspflicht. Deshalb bestand die Hauptaufgabe des 2. Teilprojekts darin, den Tensidanteil der Mikroemulsionen stark zu minimieren bzw. Mischungen mit nicht kennzeichnungspflichtigen Tensiden zu finden.

4. Methoden und Ergebnisse

Bei sämtlichen Entwicklungsarbeiten bestand die Aufgabe zuerst darin praxistaugliche Mikroemulsionsgemische herzustellen. Die Mikroemulsionen bestanden grundsätzlich aus Wasser, einer Ölkomponente, einem Tensidgemisch sowie Additiven wie z. B. Salzen. In Screeningtests wurden verschiedene Tensidgemische geprüft hinsichtlich ihrer Eignung zur Ausbildung eines möglichst großen Temperaturstabilitätsfensters. Mit Hilfe von polymeren Additiven zur Effizienzsteigerung wurde der Tensidgehalt minimiert. Anschließend wurden Reinigungstests durchgeführt um die Eignung als Pinselreiniger zu überprüfen. Im Verlauf der Arbeiten wurden verschiedene Kohlenwasserstofföle und Esteröle verwendet.

4.1. Systeme mit Kohlenwasserstoffölen

4.1.1. Systeme mit *n*-Dodekan

Auf Basis von *n*-Dodekan wurden Vorversuche mit Tensidgemischen mit geringem Gefahrenstoffpotential, wie Sorbitanester oder Zuckertensiden durchgeführt, wobei das Verhältnis der Tenside Δ variiert wurde. Dabei wurde das Tensidpaar jeweils so gewählt, dass ein Tensid hydrophil, d.h. eher wasserlöslich und das andere Tensid hydrophob, d.h. eher öllöslich war. Durch diese Mischung kann das Temperaturfenster, in der die Mikroemulsion einphasig ist, aufgeweitet werden.

Es kristallisierte sich heraus, dass die Tensidkombinationen Span 20 / Plantacare 2000, Imwitor 928 / Plantacare 2000 und Span 20 / Plantacare 818 am vielversprechensten erschienen (Tabelle 4.1, grau unterlegt). Die anderen Tensidkombinationen waren einerseits zu ineffizient, d.h. bei verhältnismäßig hohen Tensidkonzentrationen konnte trotzdem keine einphasige Mikroemulsion hergestellt werden, andererseits war das Temperaturfenster der Mikroemulsion zu klein.

Dies war der Fall für die Tenside Tegotens SD 100 / AG 6210, Stepan Mild L₃ / AG 6210, sowie Span 20 / Disponil AP 600. Für den Pinselreiniger sollte jedoch ein möglichst geringer Tensidgehalt erreicht werden, damit sowohl die Kosten niedrig gehalten werden können als auch die Umwelt weniger belastet wird. Andererseits kamen auch Tensidgemische nicht in Frage deren Temperaturfester zu klein oder bei zu hohen Temperaturen lagen. Dies war der Fall für die Kombinationen Span 20 / AG 6210, Imwitor 928 / AG6210 und Imwitor 928 / Plantacare 818.

Tab. 4.1: Tabelle mit verschiedenen Tensidmischungen als polare Komponente wurde Wasser gewählt, die unpolare Komponente stellte *n*-Dodekan dar.

Hydrophobes Tensid	Hydrophiles Tensid	γ	$T_L / ^\circ\text{C}$	$T_U / ^\circ\text{C}$	ΔT	L_α
Span 20	AG6210	0.12	1-Phasiges Gebiet			
Tegotens SD 100	AG6210	0.19	bereits 3-Phasiges Gebiet			
Stepan Mild L ₃	AG6210	0.15	bereits 3-Phasiges Gebiet			
Imwitor 928	AG6210	0.15	19	29	10	-
Span 20	Plantacare 818	0.15	12	>80	~70	+
Imwitor 928	Plantacare 818	0.15	18	>74	~56	-
Span 20	Plantacare 2000	0.15	<5	76	~71	-
Imwitor 928	Plantacare 2000		9	54	45	-
Span 20	Disponil AP 600	0.15	bereits 3-Phasiges Gebiet			

4.1.2. Systeme mit Ketrul D 85

Nach diesem groben Screening verschiedener Tenside und deren Verhältnis zueinander sollte das reine Öl *n*-Dodekan gegen das technische Öl Ketrul D85 ausgetauscht werden, um weiter Kosten einzusparen. Bei Ketrul D 85 handelt es sich um ein hochsiedendes aliphatischen Kohlenwasserstoffgemisch. Abbildung 4.1 zeigt einen Temperaturscan einer Δ -Variation. Bei einem Δ von 0.55 sieht man ein großes Einphasengebiet beginnend vom unteren Ende des

Messfensters bis 76 °C. Bei $\Delta = 0.60$ erscheint eine ausgeprägte lamellare Phase, erst ab einer Temperatur von 67 °C wird die Mikroemulsion einphasig. Es ist allerdings sehr wahrscheinlich, dass die lamellare Phase bei weiterer Verdünnung kleiner wird und gegebenenfalls vollständig verschwindet. Bei $\Delta = 0.65$ ist die Mikroemulsion zwischen 18 °C und 34 °C einphasig. Das darauf folgende Screening der verschiedenen Tenside beschränkte sich zunächst auf die vielversprechendsten Kombinationen (Tab.4.1, grau markiert).

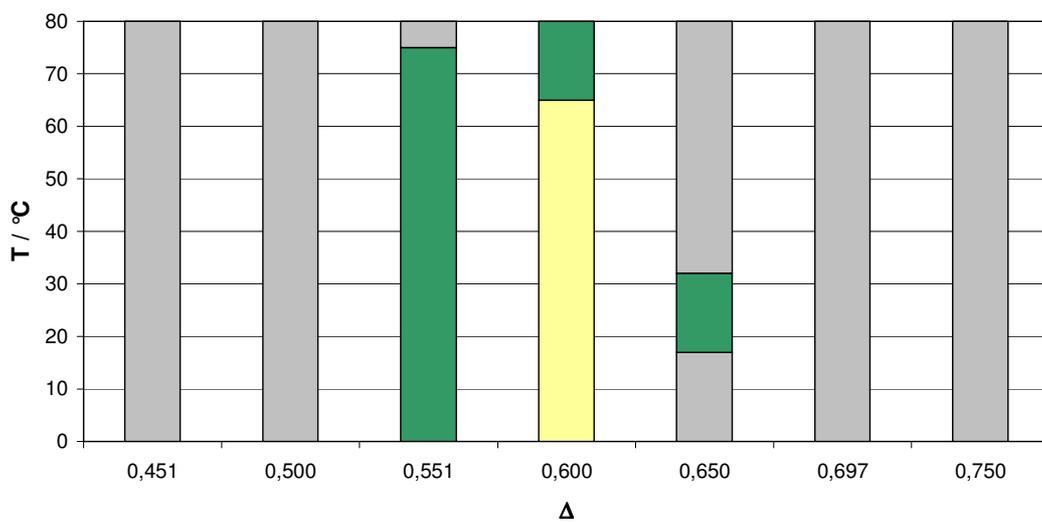


Abb. 4.1: Die Temperatur aufgetragen als Funktion der Tensidzusammensetzung Δ der Mikroemulsion $\text{H}_2\text{O} - n\text{-Dodekan} - \text{Span 20} / \text{Plantacare 2000}$, bei $\gamma = 0.15$ und $\alpha = 0.40$. Grau markiert sind die Zweiphasengebiete, gelb die lamellaren Phasen und grün die Einphasengebiete. Bei $\Delta = 0.55$ sieht man ein großes Einphasengebiet beginnend vom unteren Ende des Messfensters bis 76 °C. Bei $\Delta = 0.60$ erscheint eine ausgeprägte lamellare Phase, erst ab einer Temperatur von 67 °C wird die Mikroemulsion einphasig. Bei $\Delta = 0.65$ ist die Mikroemulsion zwischen 18 °C und 34 °C einphasig.

Der Vergleich des Phasenverhaltens der Mikroemulsionen mit $n\text{-Dodekan}$ (Abb. 4.1) und Ketrul D 85 (Abb. 4.2) zeigt, dass die lamellare Phase bei Ketrul D85 stärker ausgeprägt ist. Außerdem kann man erkennen, dass Tensidmischungen mit $n\text{-Dodekan}$ unempfindlicher sind gegenüber Veränderungen in der

Zusammensetzung als Mikroemulsionen mit dem technischen Öl, d.h. die Mikroemulsion mit dem reinen Öl ist in einem größeren Δ -Bereich stabil.

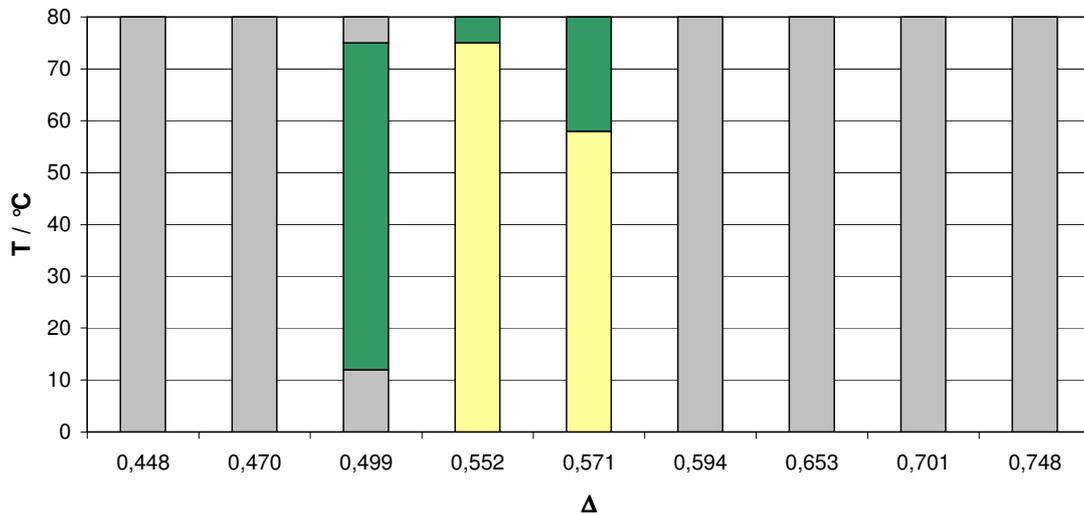


Abb. 4.2: Die Temperatur aufgetragen als Funktion der Tensidzusammensetzung Δ der Mikroemulsion H_2O – Ketrul D85 – Span 20 / Plantacare 2000, bei $\gamma = 0.15$ und $\alpha = 0.40$. Grau markiert sind die Zweiphasengebiete, gelb die lamellaren Phasen und grün die Einphasengebiete. Bei $\Delta = 0.50$ sieht man ein großes Einphasengebiet von 13°C bis zum Ende des Messfensters. Bei $\Delta = 0.50$ erscheint eine ausgeprägte lamellare Phase, erst ab einer Temperatur von 78°C wird die Mikroemulsion einphasig. Bei $\Delta = 0.57$ wird die Mikroemulsion bereits ab 59°C einphasig.

4.1.2.1 Polymer-Variation

Mit den Polymeren, die in Tabelle 4.2 aufgelistet sind wurden wieder Vorversuche gemacht, wobei relativ schnell drei Polymere rauskristallisiert werden konnten, die sich besonders gut auf die Stabilität der Mikroemulsion auswirkten (grau hervorgehoben). Das Polymer Booster 6 wurde nicht weiter berücksichtigt, da es in Deutschland nicht mehr in Reinigungsmitteln erlaubt ist.

Tab.4.2: Verwendet Polymere, die die Effizienz der Mikroemulsion steigern sollen.

Booster	Struktur
Booster 1	C ₁₈ -Alkoholethoxylat
Booster 2	C ₁₆₋₁₈ -Alkoholethoxylat
Booster 3	C ₁₂ -Alkoholethoxylat
Booster 4	C ₂₄₋₂₆ -Alkoholethoxylat
Booster 5	C ₂₄₋₂₆ -Alkoholethoxylat
Booster 6	Nonylphenoethoxylat

Mit den Favoriten Booster 1, Booster 2 und Booster 3 wurde systematisch ein Screening an zwei Tensid-Grundsystemen durchgeführt. Hierbei handelte es sich einerseits um Span 20 / Plantacare 2000 und andererseits um Imwitor 928 / Plantacare 2000. In den Tabellen 4.3 bis 4.5 kann man das Phasenverhalten in Abhängigkeit der Tensidzusammensetzung ablesen.

Tab. 4.3: H₂O – Ketrul D85 – Span 20 / Plantacare 2000 / Booster 1 ($\alpha = 0.4$, $\delta = 0.1$). Mit dem Tensidmassenbruch in der Gesamtmischung γ , dem Co-Tensidmassenbruch Δ und der Anzahl der Phasen Φ bei einer Temperatur T=20 °C.

γ Δ	0.13	0.11	0.09
	Φ	Φ	Φ
0.35	2		
0.40	2		
0.45	2		
0.50	2		
0.55	1	2	2
0.60	L _{α}	L _{α}	1
0.65	2	2	2
0.70			
0.75			

Tab.4.4: H₂O – Ketrul D85 – Span 20 / Plantacare 2000 / Booster 2 ($\alpha = 0.4$, $\delta = 0.1$). Mit dem Tensidmassenbruch in der Gesamtmischung γ , dem Co-Tensidmassenbruch Δ und der Anzahl der Phasen Φ bei einer Temperatur T=20°C.

γ Δ	0.13	0.11	0.09
	Φ	Φ	Φ
0.35			
0.40	2		
0.45	2		
0.50	1	2	
0.55	1	2	2
0.60	2	1	2
0.65	2	1	1
0.70		2	2
0.75			2

Tab.4.5: H₂O – Ketrul D85 – Span 20 / Plantacare 2000 / Booster 3 ($\alpha = 0.4$, $\delta = 0.1$). Mit dem Tensidmassenbruch in der Gesamtmischung γ , dem Co-Tensidmassenbruch Δ und der Anzahl der Phasen Φ bei einer Temperatur T=20°C.

γ Δ	0.13	0.11	0.09
	Φ	Φ	Φ
0.35			
0.40	2		
0.45	2		
0.50	2	2	2
0.55	2	2	2
0.60	1	1	2
0.65	L _{α}	1	1
0.70		1	2
0.75			2

Für das Grundsystem Span 20 / Plantacare 2000 ergibt sich bei der Variation der Polymere, dass Booster 3 die Mikroemulsion am Besten stabilisiert. Sie ist bis zu einem Gesamttensidmassenbruch von $\gamma=0.09$ stabil. Bei der Variation der Tensidmischung Δ ergibt sich bei einem $\gamma=0.11$ im Vergleich zu den anderen Polymeren die größte Stabilität. Erwähnenswert ist auch, dass mit Booster 2 die

lamellare Phase am Besten unterdrückt wird. Allerdings sind diese Unterschiede in der Stabilität bei dem System Span 20 / Plantacare 2000 nicht sehr ausgeprägt.

Bei dem Grundsystem Imwitor 928 / Plantacare 2000 war dies jedoch anders. Hier stellte sich schnell heraus, dass nur Booster 3 für weitere Screening Experimente in Frage kam (Tab. 4.6).

Tab.4.6: H₂O – Ketrul D85 – Imwitor 928 / Plantacare 2000 / Booster 3 ($\alpha = 0.4$, $\delta = 0.1$). Mit dem Tensidmassenbruch in der Gesamtmischung γ , dem Co-Tensidmassenbruch Δ und der Anzahl der Phasen Φ bei einer Temperatur T=20°C.

γ Δ	0.13	0.11	0.09	0.08	0.07	0.06
	Φ	Φ	Φ	Φ	Φ	Φ
0.35						
0.40	2					
0.45	2					
0.50	L _{α}	2	2	2		
0.55	L _{α}	L _{α}	1	1	2	2
0.60	L _{α}	2	L _{α}	L _{α}	1	1
0.65	2	2	2	2	2	2
0.70	2		2	2		
0.75						

Obwohl nur ein Polymer, nämlich Booster 3, die Mikroemulsion nennenswert mehr stabilisieren konnte, zeigt sich, dass diese Kombination bis zu deutlich geringeren Gesamttensidmassenbrüchen stabilisiert werden konnte. Allerdings ist trotz Booster 3 die lamellare Phase sehr ausgeprägt.

Die Abbildungen 4.3 bis 4.5 zeigen das Phasenverhalten in Abhängigkeit der Temperatur und der Tensidzusammensetzung Δ der verschiedenen Mischungen.

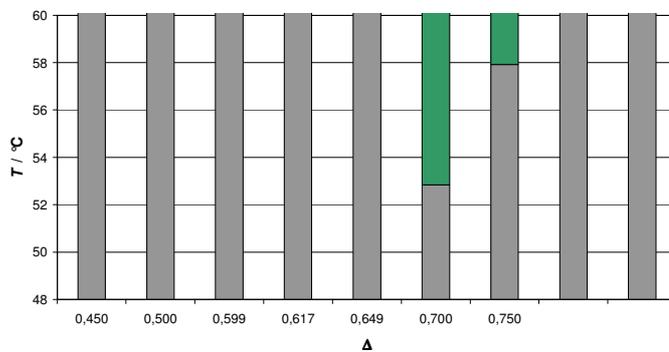
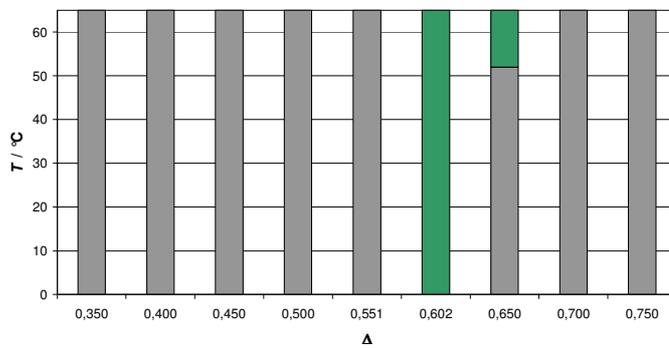
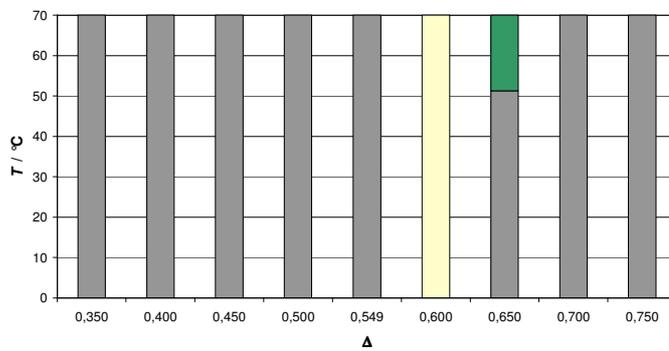
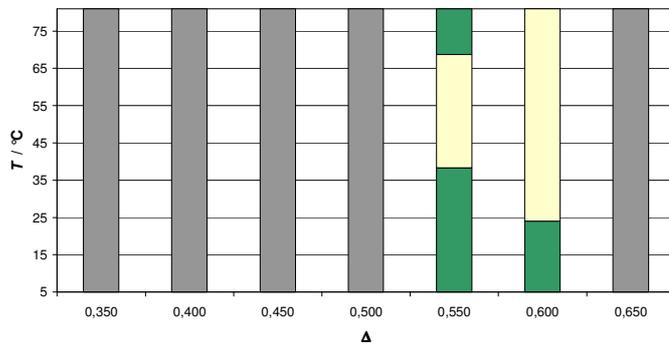


Abb. 4.3: Die Temperatur aufgetragen als Funktion der Tensidzusammensetzung Δ der Mikroemulsion H_2O – Ketrul D85 – Span 20 / Plantacare 2000 / Booster 1, bei $\gamma = 0.14$ (oben), $\gamma = 0.11$ (2. von oben), $\gamma = 0.09$ (3. von oben), $\gamma = 0.08$ (unten) und $\alpha = 0.40$. Grau markiert sind die Zweiphasengebiete, gelb die lamellaren Phasen und grün die Einphasengebiete

Bei dem System H₂O – Ketrul D85 – Span 20 / Plantacare 2000 / Booster 1 verschiebt sich mit Abnahme der Tensidkonzentration in der Gesamtmischung das Einphasengebiet und die lamellare Phase zu höheren Δ , d.h. die Mikroemulsion wird stabiler je hydrophober die Mischung wird. Bei einem Tensidmassenbruch in der Gesamtmischung von $\gamma=0.08$ kann man nur noch bei hohen Temperaturen ein Einphasengebiet beobachten.

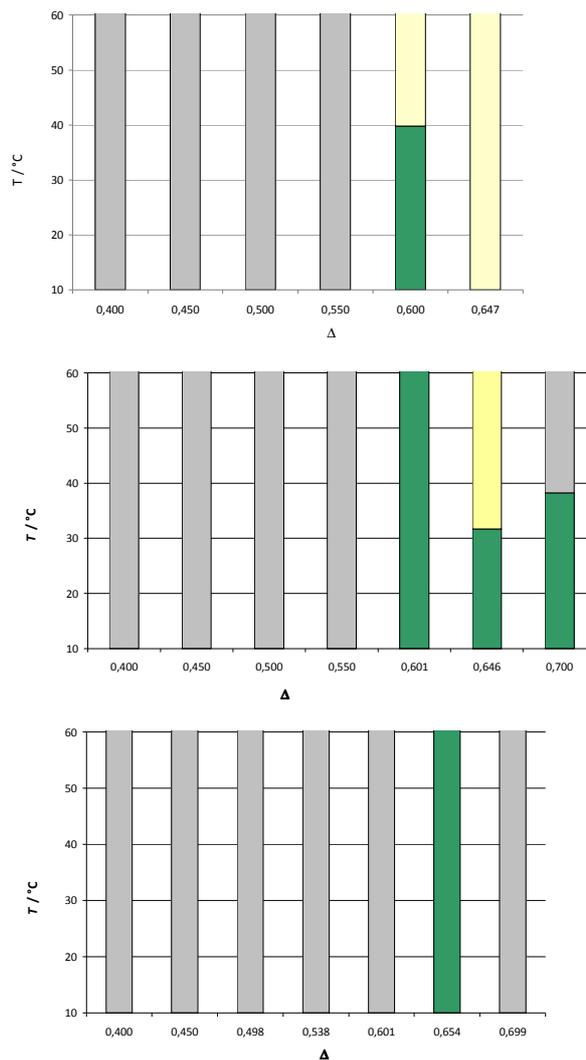


Abb. 4.4: Die Temperatur aufgetragen als Funktion der Tensidzusammensetzung Δ der Mikroemulsion H₂O – Ketrul D85 – Span 20 / Plantacare 2000 / Booster 3, bei $\gamma = 0.13$ (oben), $\gamma = 0.11$ (mitte), $\gamma = 0.09$ (links) und $\alpha = 0.40$. Grau markiert sind die Zweiphasengebiete, gelb die lamellaren Phasen und grün die Einphasengebiete. Mit steigender Verdünnung verschiebt sich das Einphasengebiet bzw. Die lamellare Phase zu höheren Δ , bei kleinen Tensidkonzentrationen verschwindet die lamellare Phase komplett.

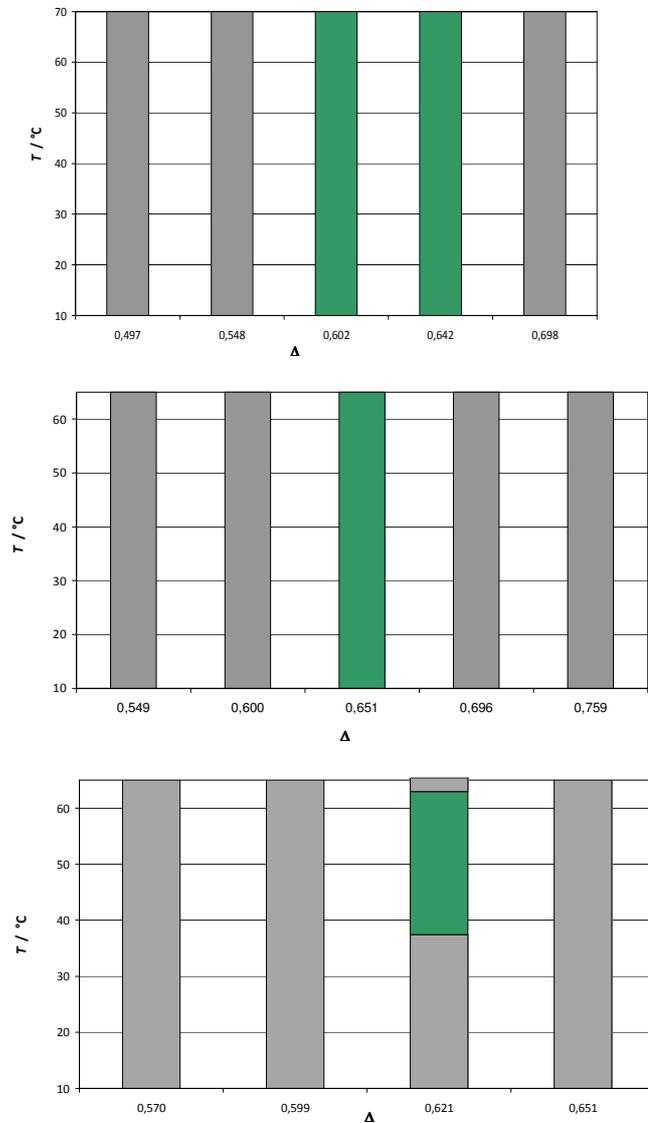


Abb. 4.5: Die Temperatur aufgetragen als Funktion der Tensidzusammensetzung Δ der Mikroemulsion H_2O – Ketrul D85 – Span 20 / Plantacare 2000 / Booster 2, bei $\gamma=0.13$ (oben), $\gamma=0.11$ (2. von oben), $\gamma=0.09$ (3. von oben), $\gamma=0.08$ (unten), und $\alpha = 0.40$. Grau markiert sind die Zweiphasengebiete, gelb die lamellaren Phasen und grün die Einphasengebiete. Mit steigender Verdünnung verschiebt sich das Einphasengebiet bzw. die lamellare Phase zu höheren Δ , bei kleinen Tensidkonzentrationen verschwindet die lamellare Phase komplett.

Bei dem System H₂O – Ketrul D85 – Span 20 / Plantacare 2000 / Booster 3 (Abb. 4.4) verschiebt sich mit Abnahme der Tensidkonzentration in der Gesamtmischung das Einphasengebiet und die lamellare Phase zu höheren Δ , d.h. die Mikroemulsion wird stabiler je hydrophober die Mischung wird. Im Vergleich zu dem System mit Booster 1 ist die lamellare Phase weniger ausgeprägt. Bei einem Tensidmassenbruch in der Gesamtmischung von $\gamma=0.08$ kann man auch bei hohen Temperaturen kein Einphasengebiet mehr beobachten.

Bei dem System H₂O – Ketrul D85 – Span 20 / Plantacare 2000 / Booster 2 (Abb. 4.5) verschiebt sich mit Abnahme der Tensidkonzentration in der Gesamtmischung das Einphasengebiet und die lamellare Phase zu höheren Δ , d.h. die Mikroemulsion wird stabiler je hydrophober die Mischung wird. Im Vergleich zu dem Systemen mit Booster 1 und Booster 3 ist die lamellare Phase mit diesem Polymer am geringsten ausgeprägt. Bei einem Tensidmassenbruch in der Gesamtmischung von $\gamma=0.08$ kann man bei hohen Temperaturen noch ein Einphasengebiet beobachten.

Obwohl die meisten Polymere mit dem System Imwitor 928 / Plantacare 2000 nicht gut wechselwirkten, d.h. es konnte in den meisten Fällen keine einphasige Mikroemulsion formuliert werden, brachte das System mit Booster 3 zur Effizienzsteigerung die beste Leistung.

4.1.2.2. Systeme mit Ketrul D85 und DiBasicEster

Da Ketrul D85 gesundheitsschädlich (Xn) ist, darf der Gesamtgehalt 10% betragen, wenn die Zubereitung kennzeichnungsfrei sein soll. Hierfür wurde im Folgenden das Ketrul schrittweise durch andere Esteröle ersetzt. Als amphiphile Komponente wurden verschiedene Tensidmischungen (Tab. 4.7) auf Basis der vorherigen Ergebnisse mit Ketrul D85 als Ölkomponente gewählt.

Tab. 4.7: Verschiedene Tensidmischungen als mögliche Kandidaten, um eine Mikroemulsion mit Ketrul D85 und DiBasicEster als Ölkomponekte zu formulieren. Als Polymeradditive wurden Booster 2 und Booster 3 eingesetzt.

Hydrophobes Tensid	Hydrophiles Tensid	γ	$T_L / ^\circ\text{C}$	$T_U / ^\circ\text{C}$
Imwitor 928	Plantacare 2000	0.15	12	60
Span 20	Plantacare 2000	0.15		
Span 20	Plantacare 818			

Da es sich bei DiBasicEster um ein relativ polares Öl handelt, wurden zunächst nur kleine Mengen des Ketrul D85 ersetzt, um die Änderung des Phasenverhaltens verfolgen zu können. Abbildung 4.6 zeigt einen Temperaturscan des Systems H_2O – Ketrul D85 / DiBasicEster – Imwitor 928 / Plantacare 2000 / Emuldac AS 80, bei $\alpha = 0.40$, $\beta=0,25$, $\gamma = 0.15$ und $\delta = 0.1$ in Abhängigkeit der Tensidzusammensetzung. Bei $\Delta = 0.501$ sieht man ein großes Einphasengebiet, dass sich von 12°C bis über 60°C erstreckt. Mit zunehmenden Plantacare 2000-Gehalt wird das Einphasengebiet immer kleiner bis es bei $\Delta=0.691$ vollständig verschwunden ist.

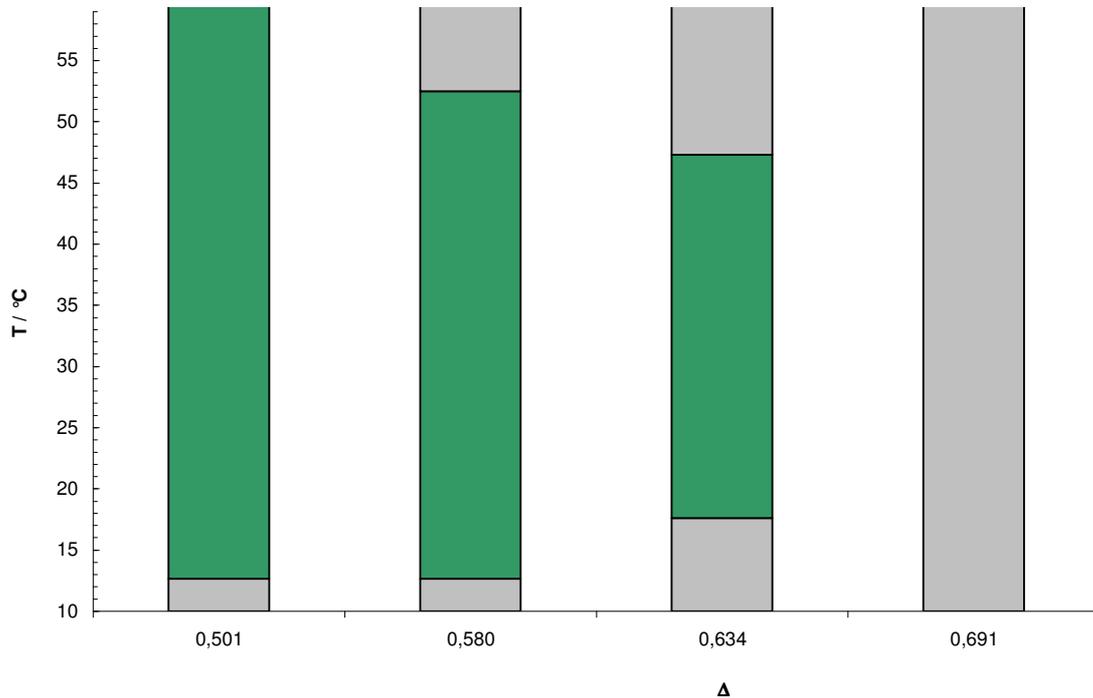


Abb. 4.6: Die Temperatur aufgetragen als Funktion der Tensidzusammensetzung Δ der Mikroemulsion H₂O – Ketrul D85 / DiBasicEster – Imwitor 928 / Plantacare 2000 / Emuldac AS 80, bei $\alpha = 0.40$, $\beta=0,25$, $\gamma = 0.15$ und $\delta = 0.1$. Grau markiert sind die Zweiphasengebiete und grün die Einphasengebiete. Bei $\Delta = 0.50$ sieht man ein großes Einphasengebiet beginnend vom unteren Ende des Messfensters bis über 55°C. Mit zunehmendem Imwitor-Gehalt nimmt die Stabilität der Mikroemulsion ab, das Einphasengebiet wird kleiner.

Abbildung 4.7 zeigt einen Temperaturscan des Systems H₂O – Ketrul D85 / DiBasicEster – Span 20 / Plantacare 2000 / Booster 3, bei $\alpha = 0.40$, $\beta=0,25$, $\gamma = 0.15$ und $\delta = 0.1$ in Abhängigkeit der Tensidzusammensetzung. Bei $\Delta = 0.536$ sieht man ein großes Einphasengebiet, dass sich von 12°C bis über 42°C erstreckt. Mit zunehmenden Plantacare 2000-Gehalt wird das Einphasengebiet immer kleiner bis es bei $\Delta=0.746$ vollständig verschwunden ist.

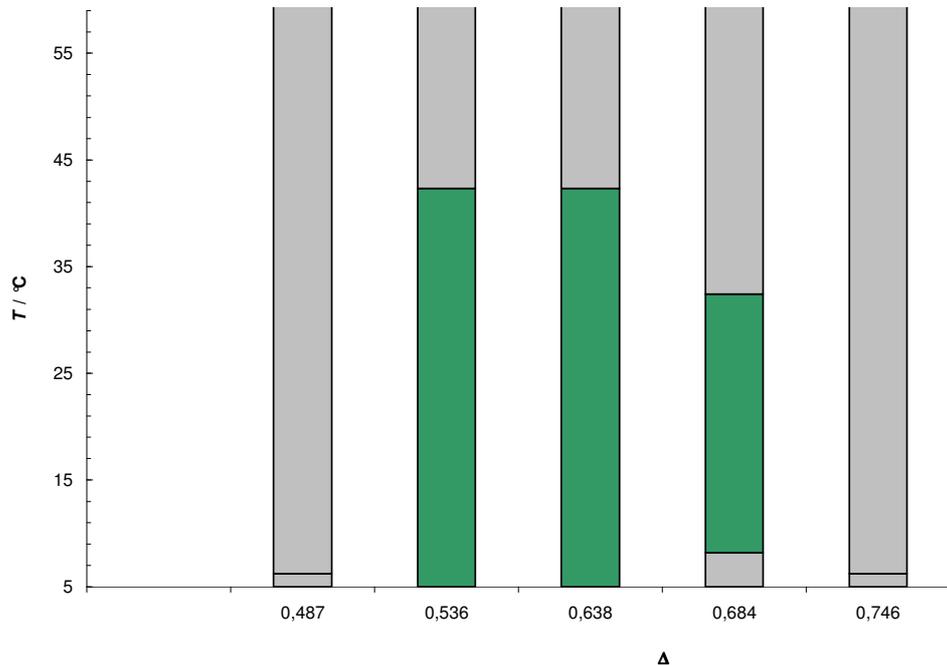


Abb. 4.7: Die Temperatur aufgetragen als Funktion der Tensidzusammensetzung Δ der Mikroemulsion H_2O – Ketrul D85 / DiBasicEster – Span 20 / Plantacare 2000 / Booster 3, bei $\alpha = 0.40$, $\beta = 0.25$, $\gamma = 0.15$ und $\delta = 0.1$. Grau markiert sind die Zweiphasengebiete und grün die Einphasengebiete. Bei $\Delta = 0.54$ und 0.64 sieht man ein großes Einphasengebiet beginnend vom unteren Ende des Messfensters bis über 42°C . Mit zunehmendem Span20-Gehalt nimmt die Stabilität der Mikroemulsion ab, das Einphasengebiet wird kleiner.

Bis jetzt wurden 25% ($\beta = 0.25$) des Ketrul D85 durch DiBasicEster ersetzt. Für eine kennzeichnungsfreie Rezeptur müssen jedoch 60-70% ersetzt werden. Bei einem $\beta = 0.5$ konnte keine stabile Mikroemulsion mehr formuliert werden. Eine Änderung der Tensidmischung, zum Beispiel Span 20 / Plantacare 818 lieferte keine dramatische Verbesserung der Stabilität.

4.1.2.3. Reinigungstests und Rheologiemessungen

Für die Reinigungstests werden definiert mit öllöslicher Farbe verunreinigte Pinsel verwendet. Der Pinsel wird für eine definierte Zeit (5min) in ein mit 50 ml Reiniger gefülltes Becherglas gestellt und anschließend mehrmals auf den

Boden des Glases gedrückt. Das Ergebnis wird begutachtet, der Pinsel anschließend unter fließendem Wasser ausgewaschen und erneut begutachtet.



	Lösemittel-reiniger	Pinsel 1	Pinsel 2	Pinsel 3
Viskosität in mPa s (Schergeschw. 100 1/s)		259.9	136.7	169.6

Abb. 4.8: Mit zunehmender Verdünnung von links nach rechts mit $\gamma_1 = 0.13$ (Pinsel 1), $\gamma_2 = 0.11$ (Pinsel 2) und $\gamma_3 = 0.09$ (Pinsel 3) des Systems H_2O – Ketrul D85 – Span 20 / Plantacare 2000 mit $\alpha = 0.40$, $\Delta \cong 0.6$ und $\delta = 0.10$ nimmt die Reinigungsleistung zu. Ein Grund hierfür könnte sein, dass mit zunehmender Verdünnung die Viskosität abnimmt. Der Pinsel ganz links stellt die Referenz dar und wurde mit einem auf leichtflüchtigen Lösemitteln basierendem Pinselreiniger der Firma Rufus gereinigt.

Abbildung 4.8 zeigt das Ergebnis der Reinigungstests einer Verdünnungsreihe, d.h. die Gesamttensidkonzentration nimmt ab, des Systems H_2O – Ketrul D85 – Span 20 / Plantacare 2000. Der Pinsel auf der linken Seite ohne Nummer stellt die Referenz dar und wurde mit einem auf leichtflüchtigen Lösemitteln basierendem Pinselreiniger von der Firma Rufus gereinigt. Man kann sehen, dass mit abnehmender Tensidkonzentration und mit abnehmender Viskosität die Reinigungsleistung zunimmt. Es scheint, dass die Viskosität einen starken Einfluss auf die Reinigungsleistung hat. Wenn die Mikroemulsion zu viskos ist, kann sie die Borsten des Pinsels nicht mehr ausreichend benetzen, um dann die

Farbe abzulösen. Die Ergebnisse der nächsten Verdünnungsreihe (Abb. 4.9) wurde mit dem System H₂O – Ketrul D85 – Imwitor 928 / Plantacare 2000 / Booster 3 durchgeführt jedoch zu niedrigeren Tensidkonzentrationen und wie man deutlich sehen kann nimmt die Reinigungsleistung trotz abnehmender Viskosität ab. Man kann daraus schließen, dass die Tensidkonzentration nicht zu gering gewählt werden sollte, da sonst eine gute Reinigung nicht gewährleistet ist. Erhöht man jedoch den Tensidgehalt nimmt die Viskosität zu und nimmt negativ Einfluss auf die Reinigungsleistung.



	Lösemittel-reiniger	Pinsel 4	Pinsel 5	Pinsel 6	Pinsel 7
Viskosität in mPa s (Schergeschw. 100 1/s)		81.0	81.3	41.7	28.8

Abb. 4.9: Mit zunehmender Verdünnung von links nach rechts mit $\gamma_4 = 0.09$ (Pinsel 4), über $\gamma_5 = 0.08$ (Pinsel 5), $\gamma_6 = 0.07$ (Pinsel 6) zu $\gamma_7 = 0.06$ (Pinsel 7) des Systems H₂O – Ketrul D85 – Imwitor 928 / Plantacare 2000 / Booster 3 mit $\alpha = 0.40$, $\Delta = 0.6$ und $\delta = 0.10$ nimmt die Reinigungsleistung ab. Es ist möglich, dass bei zu geringem Tensidgehalt, auch die Reinigungsleistung abnimmt. Der Pinsel ganz links stellt die Referenz dar und wurde mit einem auf leichtflüchtigen Lösemitteln basierendem Pinselreiniger der Firma Rufus gereinigt.

Ein weiterer Reinigungstest (Abb. 4.10) zeigt den Vergleich der Reinigungsleistung zwischen den Co-Tensiden Span 20 und Imwitor 928, bei gleicher Zusammensetzung. Man kann erkennen, dass die Mikroemulsion mit Imwitor 928 (Pinsel 4, rechts) etwas besser reinigt, als die Mikroemulsion mit

Span 20 (Pinsel 3, links). Dies kann sowohl am Tensid, als auch an der Viskosität liegen, da das System mit der niedrigeren Viskosität auch die bessere Reinigungsleistung hat.



	Lösemittel- reiniger	Pinsel 3	Pinsel 4
Viskosität in mPa s (Schergeschw. 100 1/s)		169.6	81.0

Abb. 4.10: Der Vergleich der Reinigungsleistung des Systems H₂O – Ketrul D85 – Span 20 / Plantacare 2000 (mitte) mit H₂O – Ketrul D85 – Imwitor 928 / Plantacare 2000 (rechts) bei gleichen $\alpha = 0.40$, $\Delta = 0.6$, $\delta = 0.10$ und $\gamma = 0.09$ zeigt, dass Imwitor 928 etwas besser reinigt als Span 20. Der Pinsel links stellt die Referenz dar und wurde mit einem auf leichtflüchtigen Lösemitteln basierendem Pinselreiniger von der Firma Rufus gereinigt.

Abschließende Reinigungstests in Abhängigkeit vom Ölgehalt (Abb. 4.11) in der Mischung zeigen unabhängig vom System eine bessere Reinigungsleistung je höher der Ölgehalt ist. Der Vergleich zwischen den Co-Tensiden zeigt, dass wieder das System mit Imwitor 928 ein besseres Ergebnis zeigt, was aber wie bei Pinsel 3 und 4 am Unterschied in der Viskosität liegen kann.



	Lösem. reiniger	Pinsel 8	Pinsel 9	Lösemittel- reiniger	Pinsel 10	Pinsel 11
Viskosität in mPa s (Schergesch 100 1/s)		113.4	135.7		76.5	99.1

Abb. 4.11: Vergleicht man die Reinigungsleistung abhängig vom Öl-Gehalt des Systems H₂O – Ketrul D85 – Span 20 / Plantacare 2000 (linke Abbildung), wobei bei Pinsel 8 $\alpha=0.3$ und Pinsel 9 $\alpha=0.4$ ist, kann man trotz der insgesamt schlechten Reinigungsleistung sehen, dass ein höherer Ölgehalt die Reinigungsleistung steigert. Im Vergleich zu dem System mit Span 20 sieht man auf der rechten Abbildung die Reinigungsergebnisse des Systems Ketrul D85 – Imwitor 928 / Plantacare 2000, wobei bei Pinsel 10 $\alpha=0.3$ und Pinsel 11 $\alpha=0.4$ ist. Das Reinigungsergebnis ist analog zu dem System mit Span 20, allerdings ist die Reinigungsleistung insgesamt besser. Der Pinsel ganz links stellt die Referenz dar und wurde mit einem auf leichtflüchtigen Lösemitteln basierendem Pinselreiniger von der Firma Rufus gereinigt.

4.1.3 Zusammenfassung

Die bisherigen Arbeiten umfassen die Formulierung eines mikroemulsionsbasierten Reinigers, der ein geringes Gefahrenpotential hat. Als tensidische Komponente wurden Zuckertenside und Sorbitanester verwendet, die sich durch gute biologische Abbaubarkeit und ein sehr geringes Gefahrstoffpotential auszeichnen. Als Ölkomponente wurde ein aliphatisches Kohlenwasserstofföl mit einem Flammpunkt von 85 °C verwendet, welches jedoch als reizend (Xn) eingestuft ist.

Die Reinigungseigenschaften dieser Gemische waren jedoch noch deutlich geringer als die von konventionellen Pinselreinigern. Reinigungstest mit den formulierten Reinigern auf Mikroemulsionsbasis zeigten, dass mit Abnahme der Viskosität und damit auch die Abnahme der Tensidkonzentration die Reinigungsleistung zunimmt. Ab einem bestimmten Tensidgehalt, etwa 7% nimmt die Reinigungsleistung trotz fallender Viskosität ab. Für die Weiterentwicklung des Reinigers bedeutet dies, dass man einen Kompromiss zwischen möglichst niedriger Viskosität und hohem Tensidgehalt wählen sollte. Mit Augenmerk auf die Herstellungskosten ergaben die Reinigungstests, dass zwar ein hoher Ölgehalt die Reinigungsleistung verbesserte, dies allerdings die Kosten erhöhen würde. Das Gleiche gilt für den Tensidgehalt, der aus Kosten- und auch aus umweltrelevanten Gründen möglichst niedrig gehalten werden sollte.

4.2. Systeme mit Esterölen

In der ersten Phase des Projekts wurden Formulierungen gewählt, die als Ölkomponente aliphatische, hochsiedende Kohlenwasserstoffe enthalten. Allerdings wurde im Verlauf der Entwicklungsarbeiten festgestellt, dass es nicht möglich war kennzeichnungsfreie Reiniger auf Basis von aliphatischen Kohlenwasserstoffölen zu erhalten. Bei der Einführung des Esteröls Dibasicester stellte sich heraus, dass die formulierten Mikroemulsionen nur in einem kleinen Temperaturfenster und sehr hohen Tensidkonzentrationen stabil sind. Ein möglicher Grund für diese Instabilität ist die verhältnismäßig hohe Polarität des DiBasicEsters. Aus diesem Grund wurden weitere kennzeichnungsfreie Esteröle auf ihre Tauglichkeit als Ölkomponente getestet, unter anderem Methyllaurat.

4.2.1. Systeme mit Methyllaurat

Eine erste Versuchreihe mit dem System Leitungswasser – Methyllaurat – AOT / Cotensid 8 / Booster 1 wurde durchgeführt (Abb. 4.12). Cotensid 8 wurde als Co-Tensid gewählt, da hier das Phasenverhalten mit ähnlichen Ölen bekannt ist. Ein grobes Screening zeigte, dass einige Zusammensetzungen, wie bei $\Delta=0,439$ und $\Delta=0,497$ sehr stabile Mikroemulsionen über einen großen Temperaturbereich erzeugen.

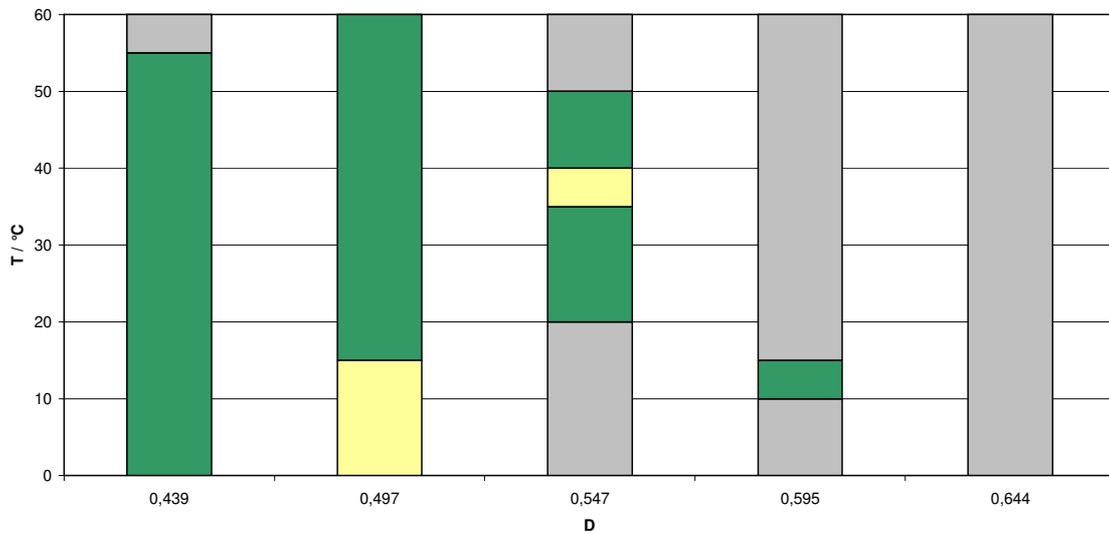


Abb. 4.12.: Die Temperatur aufgetragen als Funktion der Tensidzusammensetzung Δ der Mikroemulsion Leitungswasser – Methyllaurat – AOT / Cotensid 8 / Booster 1, bei $\alpha=0,30$, $\gamma=0,09$, $\delta=0,12$, $\epsilon=0,018$. Grau markiert sind die Zweiphasengebiete und grün die Einphasengebiete. Bei $\Delta = 0,44$ und $0,50$ sieht man ein großes Einphasengebiet beginnend vom unteren Ende des Messfensters bis über 55°C . Bei $\Delta=0,50$ wird zusätzlich bei niedrigen Temperaturen die lamellare Phase stabilisiert. Mit abnehmendem Cotensid 8-Gehalt nimmt die Stabilität der Mikroemulsion ab, das Einphasengebiet wird kleiner.

Daraufhin konnte das Co-Tensid Cotensid 8 durch das kennzeichnungsfreie Cotensid 3 ausgetauscht werden. Abbildung 4.13. zeigt ein Screening der Tensidzusammensetzung Δ , der Salzkonzentration ϵ und des Ölgehaltes α . Man kann sehen, dass die Mikroemulsion mit zunehmendem AOT-Gehalt destabilisiert wird. Die Änderung des Ölgehaltes zeigt, dass die Formulierung bei zunehmendem Öl-Gehalt, d.h. bei größeren α zu höheren AOT-Gehalten hin stabilisiert wird. Ab einer bestimmten Konzentration des Salzes wirkt es sich destabilisierend auf die Mikroemulsion aus. Eine optimale Zusammensetzung lässt sich also bei $\alpha=0,25$ und bei $\epsilon=0,013$ finden.



Abb. 4.13.: Die Temperatur aufgetragen als Funktion der Tensidzusammensetzung Δ der Mikroemulsion Leitungswasser – Methyllaurat – AOT / Cotensid 3 / Booster 1, bei $\gamma=0,12$ und $\delta=0,1$. Die Salzkonzentration nimmt von oben nach unten ab und der Ölgehalt nimmt von links nach rechts zu. Grau markiert sind die Zweiphasengebiete, grün die Einphasengebiete und gelb die lamellaren Phasen.

Abbildung 4.13 zeigt exemplarisch ein typisches Screening, wie es mit allen potentiellen Pinselreinigern durchgeführt wurde. Einerseits wurde die Tensidzusammensetzung Δ , andererseits der Ölgehalt α und die Salzkonzentration ε in Abhängigkeit der Temperatur T variiert. Mit zunehmendem Salzgehalt nimmt die Stabilität der Mikroemulsion ab. Für die Variation des Ölgehalts ist kein ausgeprägter Trend erkennbar.

4.2.2. Systeme mit Ölsäure-Ethylester

Ein weiterer Kandidat für einen vollständig kennzeichnungsfreien Reiniger ist das Esteröl Ölsäure-Ethyethylester (Ethyloleat). Wie man in Abbildung 4.14 sehen kann zeigen erste Versuche nur eine relativ geringe Temperaturstabilität. Das Einphasengebiet erstreckt sich im günstigsten Fall von etwa 15°C bis 55°C und verschiebt sich mit zunehmendem AOT-Gehalt zu noch höheren Temperaturen. Aufgrund dieses Phasenverhaltens wurden die Versuche mit Cotensid 7 eingestellt. Der Austausch des Co-Tensids Cotensid 7 brachte kaum eine Verbesserung der Stabilisierung der Mikroemulsion, weshalb der Fokus auf weitere Kandidaten gelegt wurde.

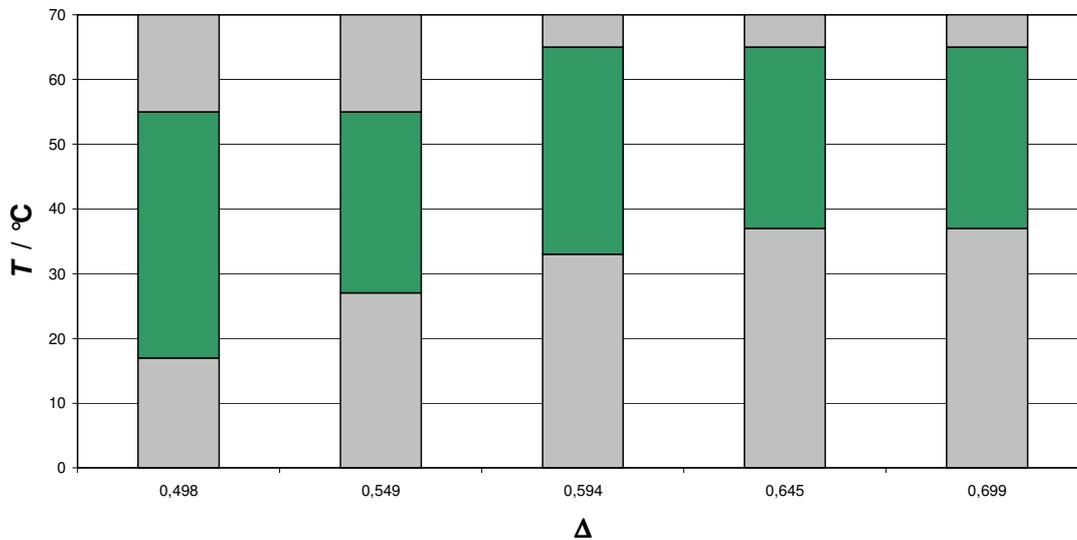


Abb. 4.14.: Die Temperatur aufgetragen als Funktion der Tensidzusammensetzung Δ der Mikroemulsion Leitungswasser / Salz 6 – Ethyloleat – AOT / Cotensid 7 / Booster 1, bei $\alpha=0,3$, $\gamma=0,13$ und $\delta=0,1$ und $\varepsilon=0,0165$. Grau markiert sind die Zweiphasengebiete, grün die Einphasengebiete und gelb die lamellaren Phasen.

4.2.3. Systeme mit Isopropylmyristat

Eine mögliche Alternative zu den ungesättigten Esterölen ist Isopropylmyristat. Es ist ebenfalls ein Esteröl, aber im Gegensatz zu den vorherigen Ölen gesättigt, das heißt ohne Doppelbindungen, so dass dieses Öl nicht oxidationsempfindlich ist. Allerdings verfügen die untersuchten Mischungen mit Isopropylmyristat nicht über eine genügend große Temperaturstabilität. Abbildung 4.15 zeigt eine Variation des Gesamt-Tensidgehaltes. Man kann sehen, dass mit abnehmendem Tensidgehalt auch das Temperaturfenster der Mikroemulsionen kleiner wird.

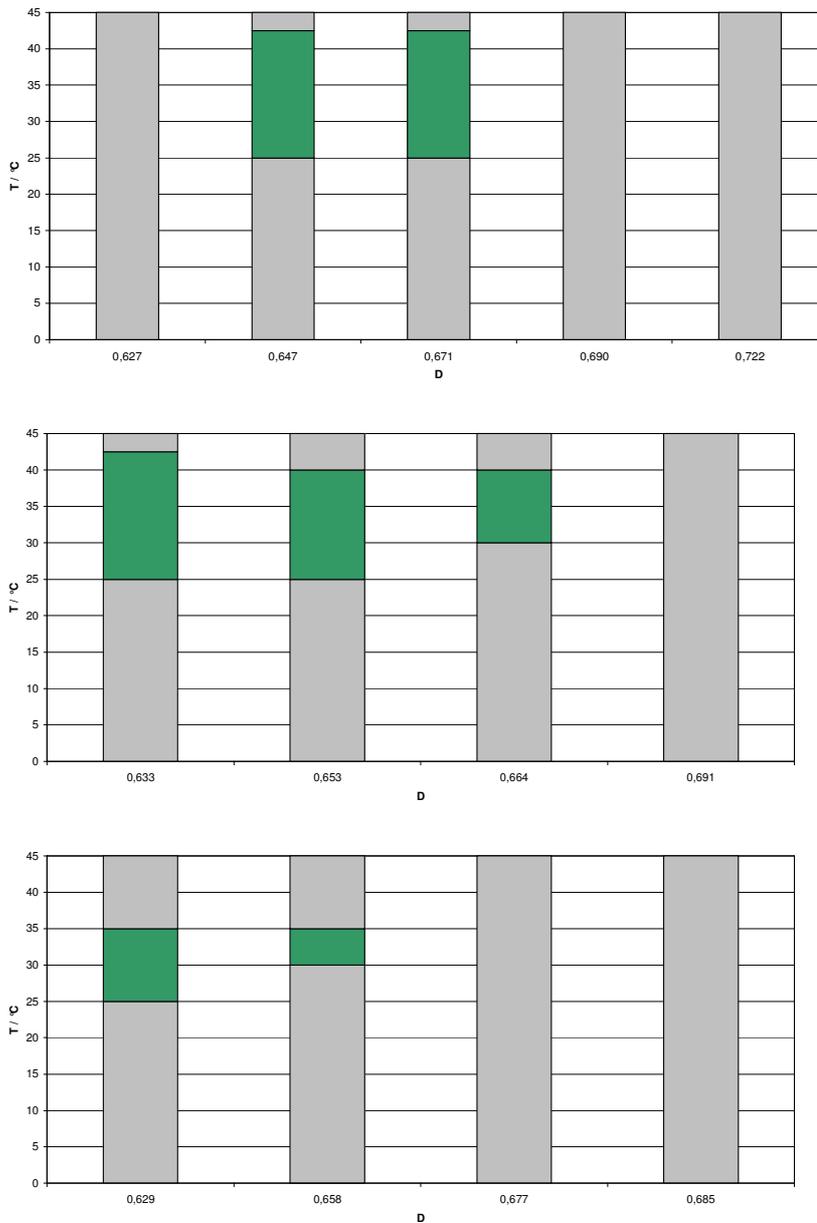


Abb. 4.15.: Die Temperatur aufgetragen als Funktion der Tensidzusammensetzung Δ der Mikroemulsion Leitungswasser / Salz 6-Isopropylmyristat – AOT / Cotensid 2 / Booster 1, bei $\alpha=0,25$, $\delta=0,1$, $\varepsilon=0,022$ $\gamma=0,12$ (oben), $\gamma=0,10$ (mitte) und $\gamma=0,096$ (unten). Grau markiert sind die Zweiphasengebiete, grün die Einphasengebiete und gelb die lamellaren Phasen. Mit zunehmenden AOT-Gehalt und abnehmender Tensidkonzentration verkleinert sich das Temperaturfenster.

4.2.4. Systeme mit Oktyloktanoat

Eine weitere Alternative zu den ungesättigten Esterölen ist Oktyloktanoat, das ebenfalls ein Esteröl ist. Ein Nachteil von Oktyloktanoat ist jedoch der etwas höhere Preis. Es wurde eine Reihe von Mikroemulsionen mit der neuen Ölkomponente formuliert und untersucht. Im Folgenden wurde das Ölverhältnis α und zunächst auch die Tensidkonzentration γ konstant gehalten. Die Salzkonzentration ε wurde dann schrittweise erhöht und das Phasenverhalten in Abhängigkeit des Tensidverhältnisses Δ untersucht.

Als Beispiel wird in Abbildung 4.16 das System H₂O / Salz 3 – Oktyloktanoat – AOT / Cotensid 7 gezeigt. Analoge Messungen wurden ebenfalls für Salz 6, Sulfonat, Salz 2 und Salz 5 durchgeführt. Die Ergebnisse waren sehr unterschiedlich für die verschiedenen Salze. Sehr gute Stabilisierungen der Mikroemulsionen konnten mit Salz 6 und Salz 5 erzielt werden.

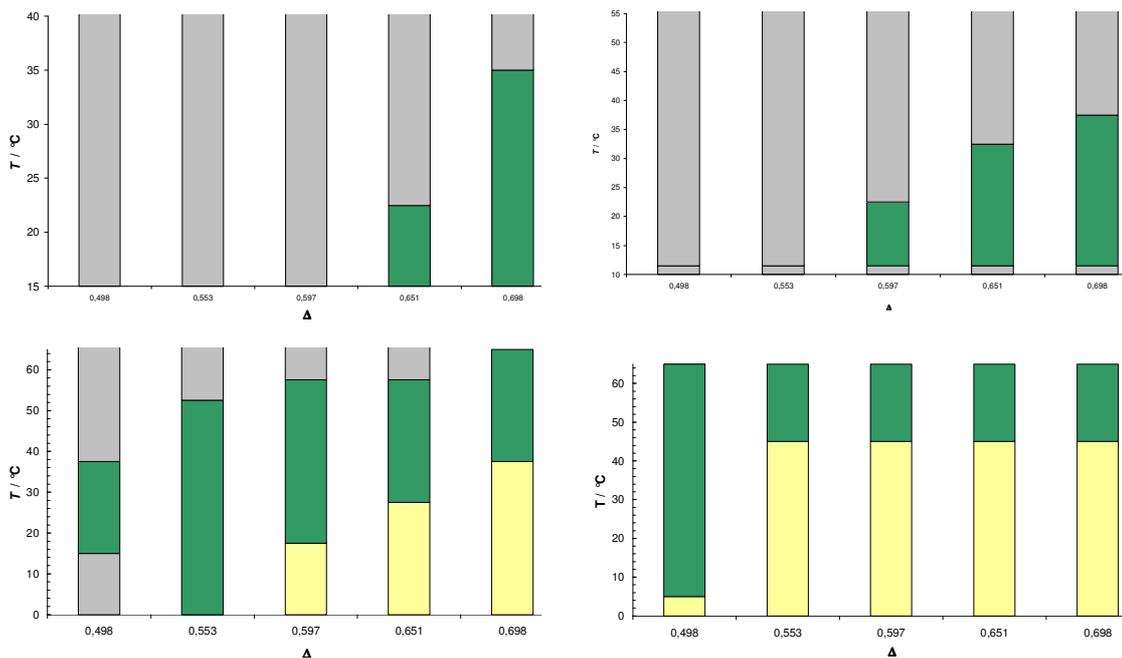


Abb. 4.16: Die Temperatur aufgetragen als Funktion der Tensidzusammensetzung Δ der Mikroemulsion H₂O / Salz 3 – Oktyloktanoat – AOT / Cotensid 7, bei $\alpha = 0.30$, $\gamma = 0.13$ und $\varepsilon = 0.004$ (oben links), $\varepsilon = 0.006$ (oben rechts), $\varepsilon = 0.011$ (unten links) und $\varepsilon = 0.018$ (unten rechts). Grau markiert sind die Zweiphasengebiete und grün die Einphasengebiete.

Abbildung 4.16 zeigt einen Temperaturscan in Abhängigkeit der Tensidzusammensetzung Δ mit steigendem Salzgehalt ε . Mit zunehmenden Salzgehalt (von oben links nach unten rechts) stabilisiert sich die Mikroemulsion immer mehr hin zu kleineren AOT-Gehalten, d.h. zu kleineren Δ -Werten. Allerdings wird auch die lamellare Phase (gelb) stabilisiert, wie man sehr gut bei dem Schritt von $\varepsilon=0.011$ nach $\varepsilon=0.018$ sehen kann. Während sich bei $\Delta=0.533$ und $\varepsilon=0.011$ (Abb. 4.16 unten rechts) das Einphasengebiet über fast den ganzen Messbereich erstreckt, taucht bei gleichem Δ aber $\varepsilon=0,018$ eine ausgeprägte lamellare Phase auf. Bei $\varepsilon=0.018$ erstreckt sich über den gesamten Messbereich entweder ein Einphasengebiet oder eine lamellare Phase.

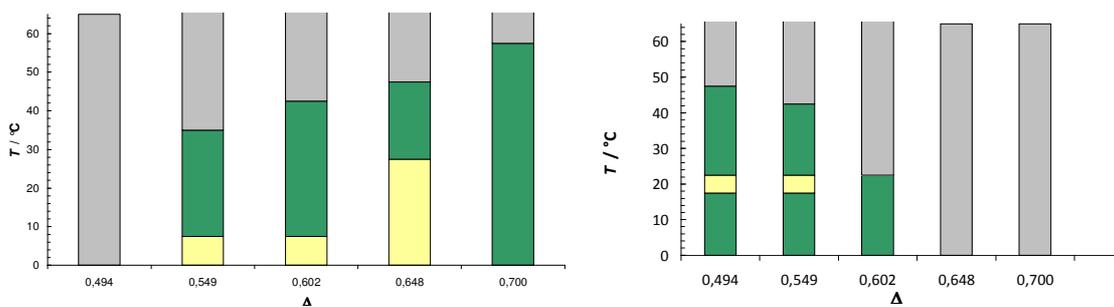


Abb. 4.17: Die Temperatur aufgetragen als Funktion der Tensidzusammensetzung Δ der Mikroemulsion H_2O / Salz 3 – Oktyloktanoat – AOT / Cotensid 7, bei $\alpha = 0.30$, $\gamma = 0.09$ und $\varepsilon = 0.02$ (links) und $\varepsilon = 0.025$ (rechts). Grau markiert sind die Zweiphasengebiete und grün die Einphasengebiete.

Abbildung 4.17 zeigt einen Temperaturscan in Abhängigkeit der Tensidzusammensetzung Δ mit steigendem Salzgehalt ε . Im Unterschied zu Abbildung 4.16 wurde hier die Tensidkonzentration von $\gamma=0.13$ auf $\gamma=0.09$ erniedrigt. Die Einphasengebiete erstrecken sich nicht mehr über einen so großen Temperaturbereich, aber die Mikroemulsion ist immer noch hinreichend stabil. Eine weitere Erhöhung des Salzgehaltes von $\varepsilon=0.02$ auf $\varepsilon=0.025$ ergab keine weitere Stabilisierung, allerdings verschiebt sich das Einphasengebiet zu niedrigeren AOT-Gehalten.

4.2.4.1. Variation des ionischen Tensids

Die Variation des ionischen Tensids mit verschiedenen AOT-Analoga ergab keinen erkennbaren Trend (Abb. 4.18) und auch keine stabilen Mikroemulsions-Formulierungen, so dass weiterhin alle Versuche mit dem technischen AOT Triumphnetzer durchgeführt wurden.

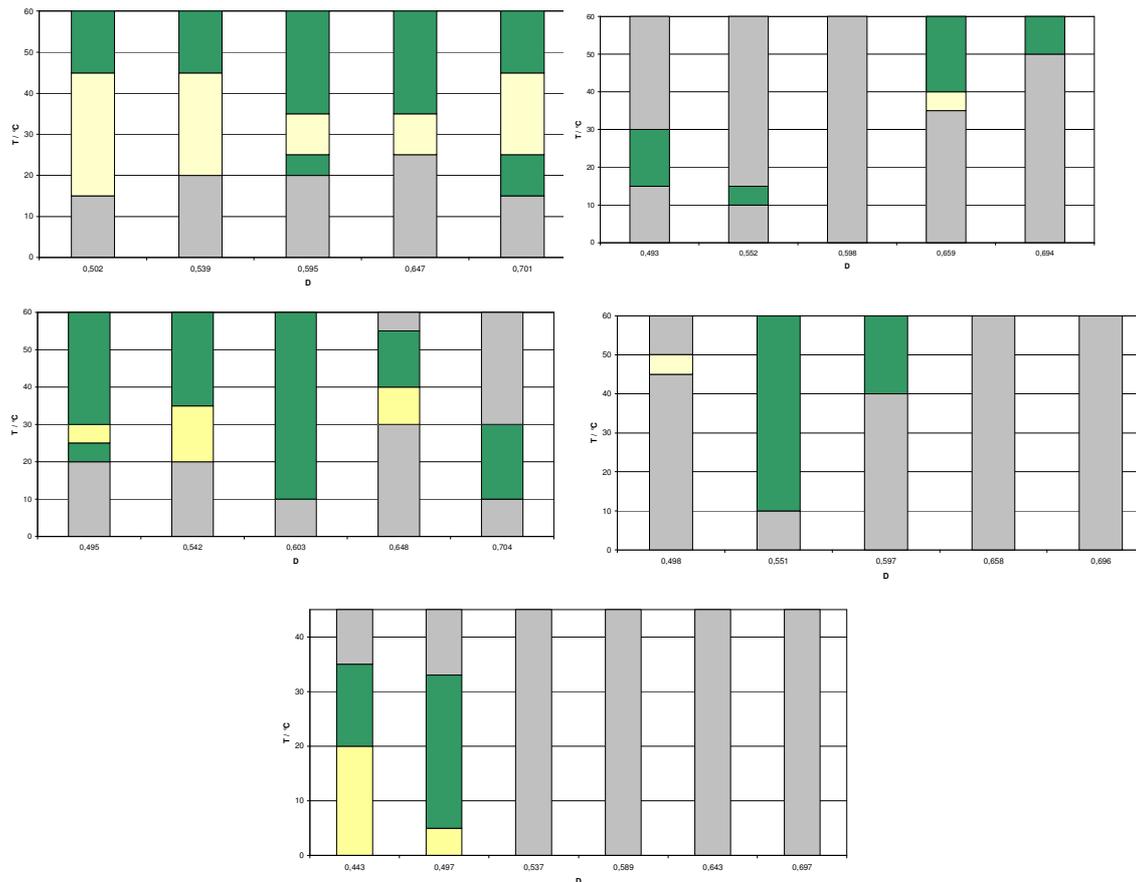


Abb. 4.18: Die Temperatur aufgetragen als Funktion der Tensidzusammensetzung Δ der Mikroemulsion H_2O / Salz 3 – Oktyloktanoat – AOT-Analoga / Cotensid 7:

- oben links: Setacin IS3010
- oben rechts: Setacin 103
- mitte links: Rewopol SBDO 75
- mitte rechts: Rewopol SBF FA 30B
- unten: Hoesch DIO 60 PG

Grau markiert sind die Zweiphasengebiete, grün die Einphasengebiete und gelb lamellare Phasen.

4.2.4.2. Variation des Salzes und der Salzkonzentration

Da die Wahl als auch die Konzentration des Salzes einen großen Einfluss auf die Stabilität der Mikroemulsion hat, wurde im folgenden Kapitel verschiedene Salze auf ihr Verhalten in einer bereits untersuchten Mischung untersucht. Abbildung 4.19 zeigt einen Temperaturscan des Systems H_2O / Salz 3 – Oktyloktanoat – AOT / Cotensid 7 / Booster 1 in Abhängigkeit der Tensidzusammensetzung Δ mit steigendem Salzgehalt von $\epsilon=0.002$ (links) auf $\epsilon=0.024$ (rechts). Man kann sehr deutlich sehen, wie sich mit steigendem Salzgehalt die Stabilität der Mikroemulsionen zu niedrigeren AOT-Gehalten, d.h. zu geringeren Δ -Werten verschiebt.

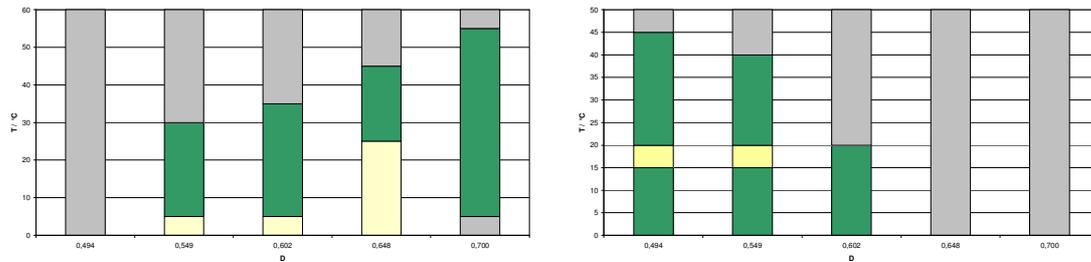


Abb. 4.19: Die Temperatur aufgetragen als Funktion der Tensidzusammensetzung Δ der Mikroemulsion H_2O / Salz 3 – Oktyloktanoat – AOT / Cotensid 7 / Booster 1, bei $\alpha = 0.3$, $\gamma = 0.09$, $\delta=0,1$ und $\epsilon=0,002$ (links) und $\epsilon=0,024$ (rechts). Grau markiert sind die Zweiphasengebiete, gelb die lamellaren Phasen und grün die Einphasengebiete.

Für den gleichen Δ -Bereich, jetzt allerdings für das System H_2O / Salz 2 – Oktyloktanoat – AOT / Cotensid 7 / Booster 1 kann man in Abbildung 4.20 zwei Trends erkennen. Zum Einem verschiebt sich die Stabilität der Mikroemulsion mit steigendem Salzgehalt, von $\epsilon=0.005$ bis $\epsilon=0.021$, wieder zu geringeren Δ -Werten, aber im Gegensatz zu dem System mit Salz 3 stabilisiert sich die Mikroemulsion zusätzlich und hat eine maximale Stabilität in einem weiten Δ -Bereich bei $\epsilon=0.017$.

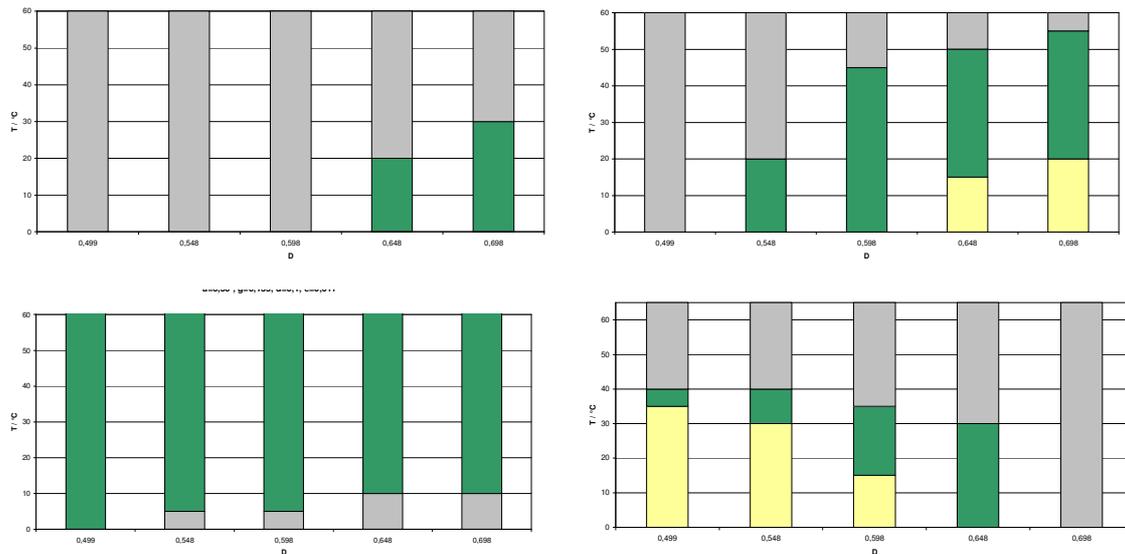


Abb. 4.20: Die Temperatur aufgetragen als Funktion der Tensidzusammensetzung Δ der Mikroemulsion H_2O / Salz 2 – Oktyloktanoat – AOT / Cotensid 7 / Booster 1, bei $\alpha = 0.3$, $\gamma = 0.09$, $\delta = 0.1$ und $\varepsilon = 0.005$ (oben links), $\varepsilon = 0.009$ (oben rechts), $\varepsilon = 0.017$ (unten links), $\varepsilon = 0.021$ (unten rechts). Grau markiert sind die Zweiphasengebiete, gelb die lamellaren Phasen und grün die Einphasengebiete.

Abbildung 4.21 zeigt einen Temperaturscan des Systems H_2O / Salz 5 – Oktyloktanoat – AOT / Cotensid 7 / Booster 1 in Abhängigkeit der Tensidzusammensetzung Δ mit steigendem Salzgehalt von $\varepsilon = 0.009$ (oben links) über $\varepsilon = 0.014$ (oben rechts) auf $\varepsilon = 0.024$ (unten). Auch hier kann man die gleichen Trends wie bei dem System mit Salz 2 erkennen. Wieder verschiebt sich die Stabilität der Mikroemulsion zu niedrigeren Δ -Werten bei steigendem Salzgehalt. Auch bei diesem Salz stabilisiert sich die Mikroemulsion deutlich mit steigendem Salzgehalt, so dass über einen weiten Δ -Bereich die Mikroemulsionen über ein großes Temperaturfenster stabil sind.

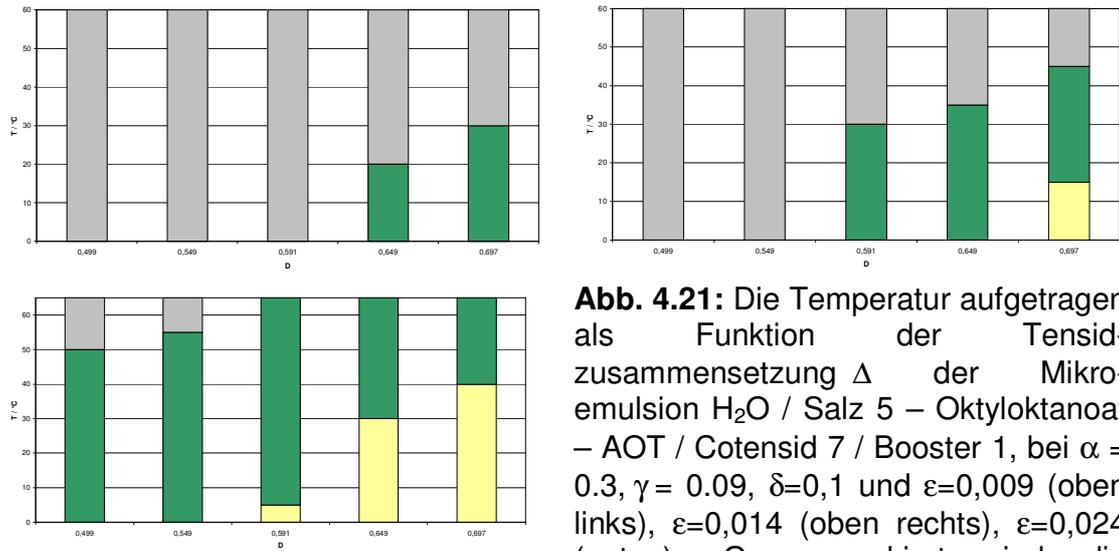


Abb. 4.21: Die Temperatur aufgetragen als Funktion der Tensidzusammensetzung Δ der Mikroemulsion H_2O / Salz 5 – Oktyloktanoat – AOT / Cotensid 7 / Booster 1, bei $\alpha = 0.3$, $\gamma = 0.09$, $\delta = 0.1$ und $\varepsilon = 0.009$ (oben links), $\varepsilon = 0.014$ (oben rechts), $\varepsilon = 0.024$ (unten). Grau markiert sind die Zweiphasengebiete, gelb die lamellaren Phasen und grün die Einphasengebiete.

Abbildung 4.22 zeigt einen Temperaturscan des Systems H_2O / Salz 6 – Oktyloktanoat – AOT / Cotensid 7 / Booster 1 in Abhängigkeit der Tensidzusammensetzung Δ mit steigendem Salzgehalt von $\varepsilon = 0.006$ (oben links) über $\varepsilon = 0.010$ (oben rechts) auf $\varepsilon = 0.079$ (unten). Auch hier kann man die gleichen Trends wie bei den Systemen mit Salz 2 und Salz 5 erkennen. Wieder verschiebt sich die Stabilität der Mikroemulsion zu niedrigeren Δ -Werten bei steigendem Salzgehalt. Auch bei diesem Salz stabilisiert sich die Mikroemulsion deutlich mit steigendem Salzgehalt, so dass über einen weiten Δ -Bereich die Mikroemulsionen über ein großes Temperaturfenster stabil sind.

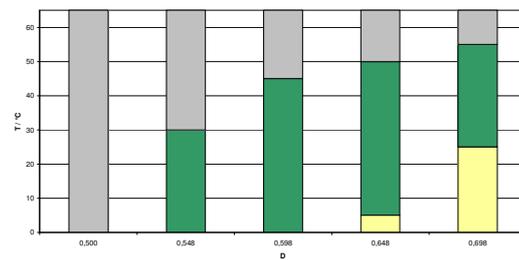
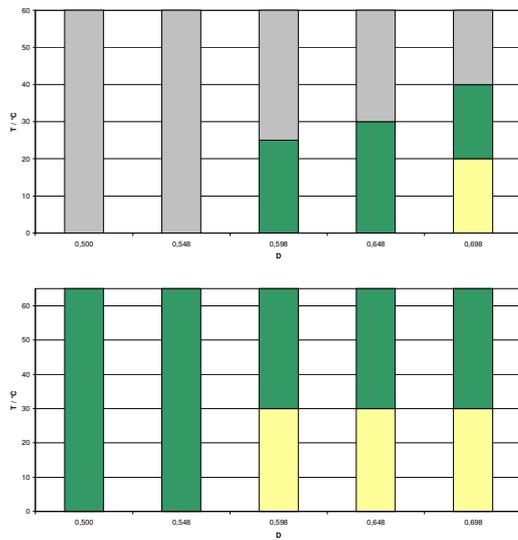


Abb. 4.22: Die Temperatur aufgetragen als Funktion der Tensidzusammensetzung Δ der Mikroemulsion H_2O / Salz 6 – Oktyloktanoat – AOT / Cotensid 7 / Booster 1, bei $\alpha = 0.3$, $\gamma = 0.09$, $\delta = 0.1$ und $\varepsilon = 0.006$ (oben links), $\varepsilon = 0.01$ (oben rechts), $\varepsilon = 0.079$ (unten). Grau markiert sind die Zweiphasengebiete, gelb die lamellaren Phasen und grün die Einphasengebiete.

4.2.4.3. Variation des Co-Tensids

Da die beste Stabilisierung des Systems H_2O - Oktyloktanoat – AOT / Cotensid 7 / Booster 1 mit dem Salz Salz 6 gefunden wurde, wurde die Variation des Co-Tensids, das heißt die Variation des nichtionischen Tensids mit diesem Salz weiter untersucht. Erwartungsgemäß hat die Wahl des nichtionischen Tensids einen großen Einfluss auf die Mikroemulsion. Abbildung 4.23 zeigt einen Temperaturscan des Systems H_2O / Salz 6 – Oktyloktanoat – AOT / Cotensid 8 / Booster 1. Man kann erkennen, dass mit steigendem AOT-Gehalt die Stabilität der Mikroemulsion abnimmt. Weitere Untersuchungen bei niedrigeren Δ -Werten wurden nicht durchgeführt, da Cotensid 8 kennzeichnungspflichtig ist.

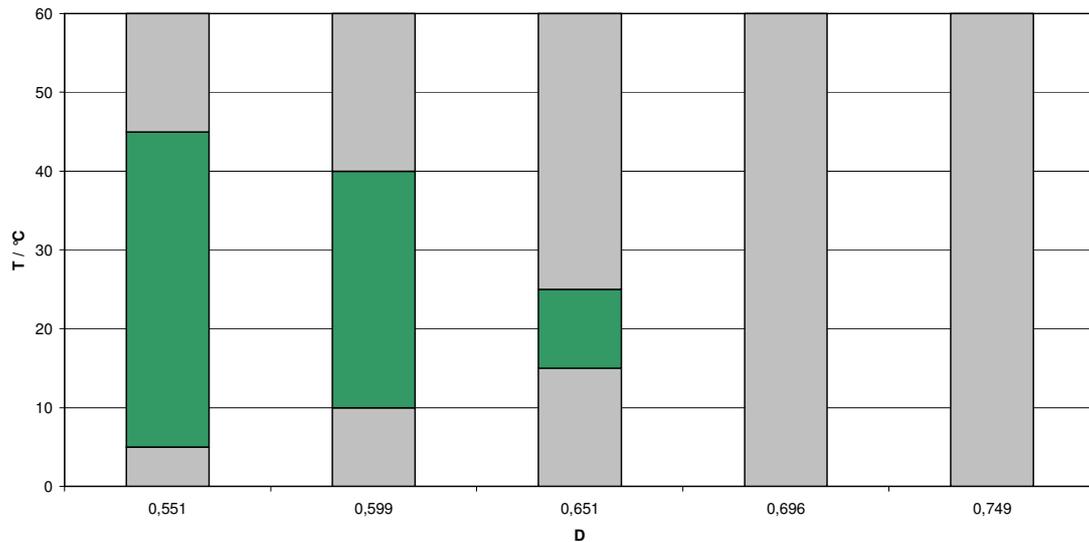


Abb. 4.23: Die Temperatur aufgetragen als Funktion der Tensidzusammensetzung Δ der Mikroemulsion H_2O / Salz 6 – Oktyloktanoat – AOT / Cotensid 8 / Booster 1, bei $\alpha = 0.13$, $\gamma = 0.12$ und $\varepsilon = 0.014$. Grau markiert sind die Zweiphasengebiete und grün die Einphasengebiete.

Der Vergleich mit dem System H_2O / Salz 6 – Oktyloktanoat – AOT / Cotensid 3 / Booster 1 (Abb. 4.24) zeigt außerdem, dass das kennzeichnungsfreie Tensid Cotensid 3 vergleichbare Stabilitäten der Mikroemulsion zeigt, nur zu höheren AOT-Werten verschoben. Zusätzlich sind die entsprechenden Mikroemulsionen über einen weiteren Temperaturbereich stabil.

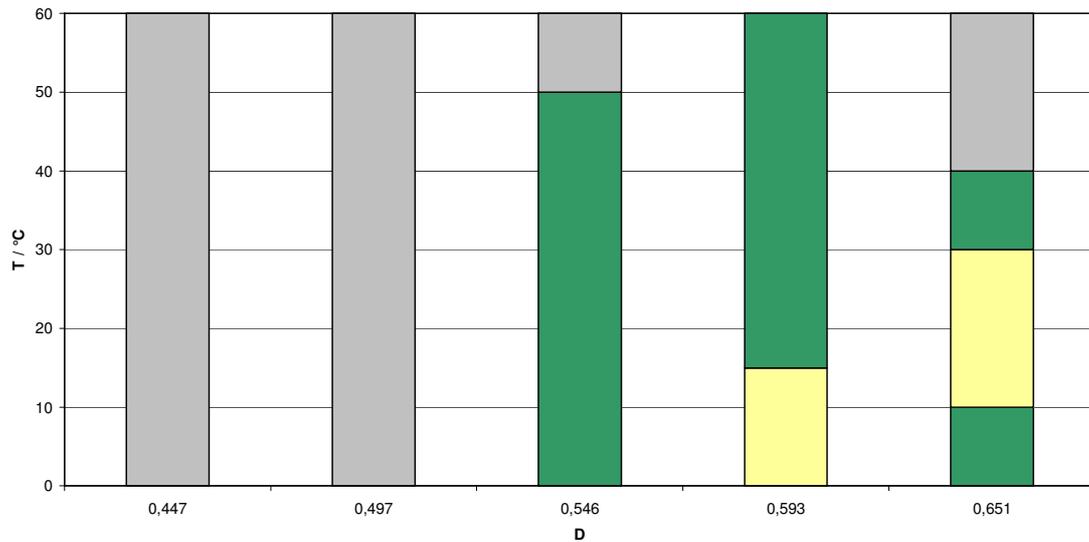


Abb. 4.24: Die Temperatur aufgetragen als Funktion der Tensidzusammensetzung Δ der Mikroemulsion H₂O / Salz 6 – Oktyloktanoat – AOT / Cotensid 3 / Booster 1, bei $\alpha = 0.13$, $\gamma = 0.12$ und $\varepsilon=0,047$. Grau markiert sind die Zweiphasengebiete, gelb die lamellaren Phasen und grün die Einphasengebiete.

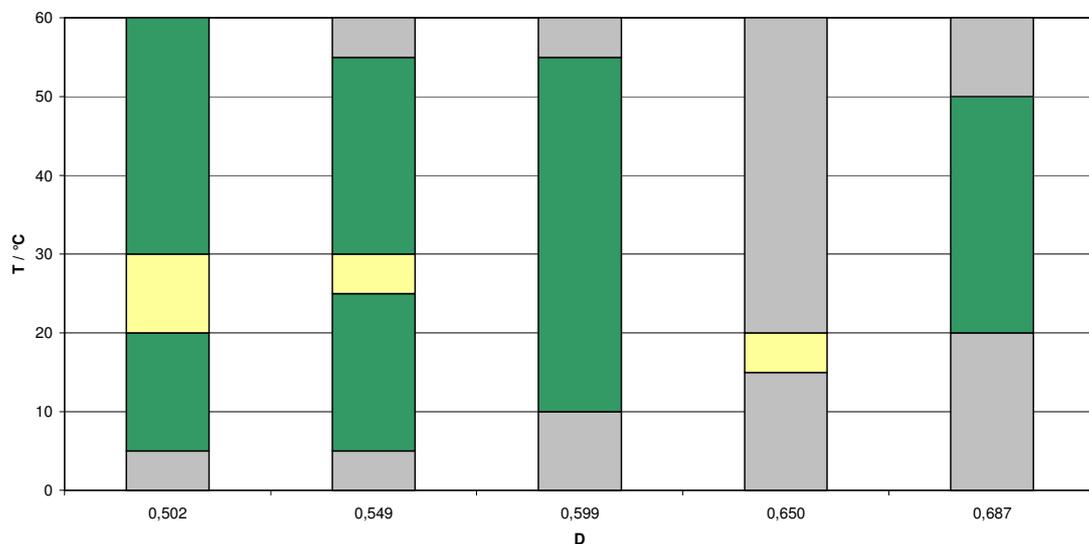


Abb. 4.25: Die Temperatur aufgetragen als Funktion der Tensidzusammensetzung Δ der Mikroemulsion H₂O / Salz 6 – Oktyloktanoat – AOT / Cotensid 5 / Booster 1, bei $\alpha = 0.13$, $\gamma = 0.12$ und $\varepsilon=0,047$. Grau markiert sind die Zweiphasengebiete, gelb die lamellaren Phasen und grün die Einphasengebiete.

Eine weitere Stabilisierung der Mikroemulsionen wurde erreicht, als das Tensid Cotensid 3 durch das Tensid Cotensid 5 ausgetauscht wurde (Abb. 4.25). Die Abbildung zeigt einen Temperaturscan des Systems H₂O / Salz 6 – Oktyloktanoat – AOT / Cotensid 5 / Booster 1.

4.2.4.4. Variation des Polymers

Im folgenden Kapitel wird die Abhängigkeit des Systems H₂O / Salz 6 – Oktyloktanoat – AOT / Cotensid 2 von der Polymerkonzentration, als auch von dem Polymer selbst untersucht. Abbildung 4.26 zeigt das System H₂O / Salz 6 – Oktyloktanoat – AOT / Cotensid 2 / Booster 3. Die Polymerkonzentration δ hat nur wenig Einfluss auf die Stabilität der Mikroemulsion. Eine Erhöhung der Konzentration bewirkt eine Verschiebung des Temperaturfensters der Mikroemulsion zu niedrigeren Temperaturen, wobei auch das Fenster selbst etwas größer wird. Bei $\delta = 0.15$ hat sich das Stabilitätsfenster zu niedrigen Temperaturen verschoben, ohne dass sich der Temperaturbereich noch weiter vergrößert hat. Die optimalste Polymerkonzentration bewegt sich also in einem Bereich von $\delta = 0.005$ bis $\delta = 0.01$.

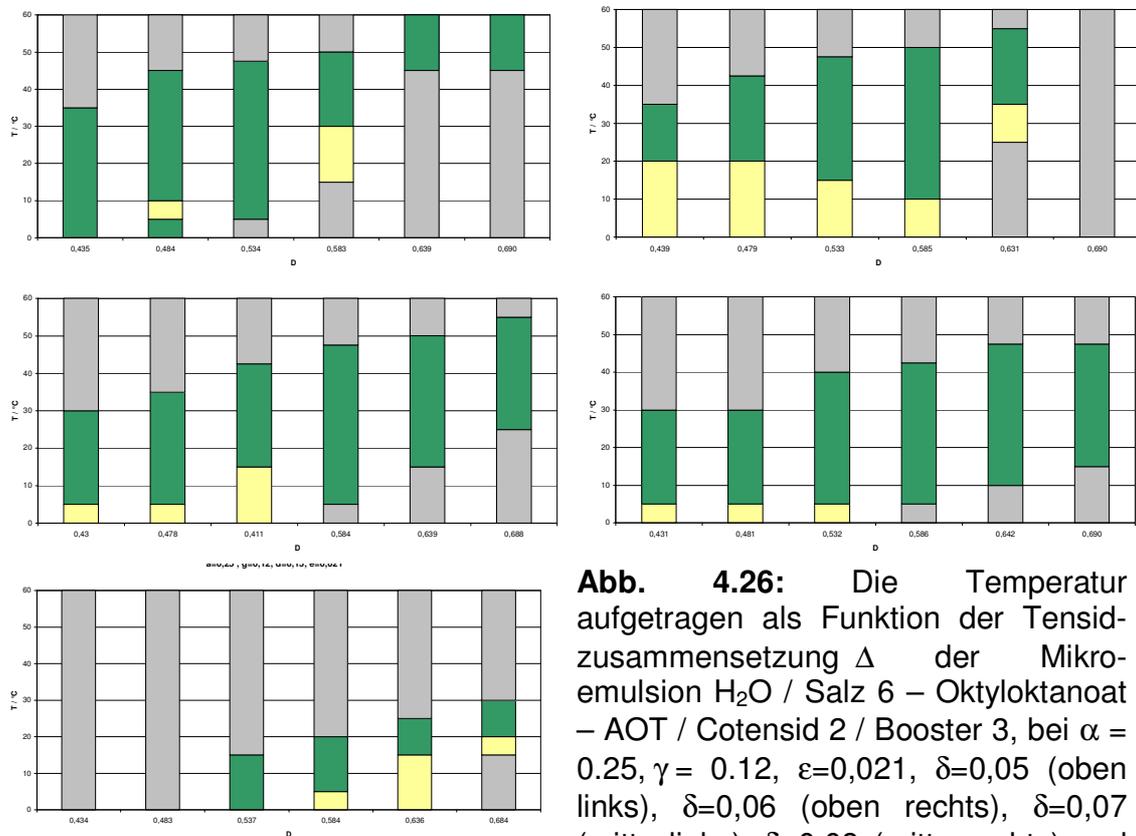


Abb. 4.26: Die Temperatur aufgetragen als Funktion der Tensidzusammensetzung Δ der Mikroemulsion H_2O / Salz 6 – Oktyloktanoat – AOT / Cotensid 2 / Booster 3, bei $\alpha = 0.25$, $\gamma = 0.12$, $\varepsilon = 0.021$, $\delta = 0.05$ (oben links), $\delta = 0.06$ (oben rechts), $\delta = 0.07$ (mitte links), $\delta = 0.08$ (mitte rechts) und $\delta = 0.15$ (unten). Grau markiert sind die Zweiphasengebiete, gelb die lamellaren Phasen und grün die Einphasengebiete.

Abbildung 4.27 zeigt einige Temperaturscans des Systems H_2O / Salz 6 – Oktyloktanoat – AOT / Cotensid 2 / Booster 4, auch wieder bei steigender Polymerkonzentration. Auch hier ist der gleiche Trend erkennbar: mit steigender Polymerkonzentration verschiebt sich das Stabilitätsfenster der Mikroemulsionen zu niedrigeren Temperaturen. Wie auch beim vorherigen System mit Booster 3 ist die optimal Polymerkonzentration zwischen $\delta = 0.07$ und $\delta = 0.1$ angesiedelt, da bei höheren Konzentrationen das Stabilitätsfenster bei zu geringen Temperaturen liegt.

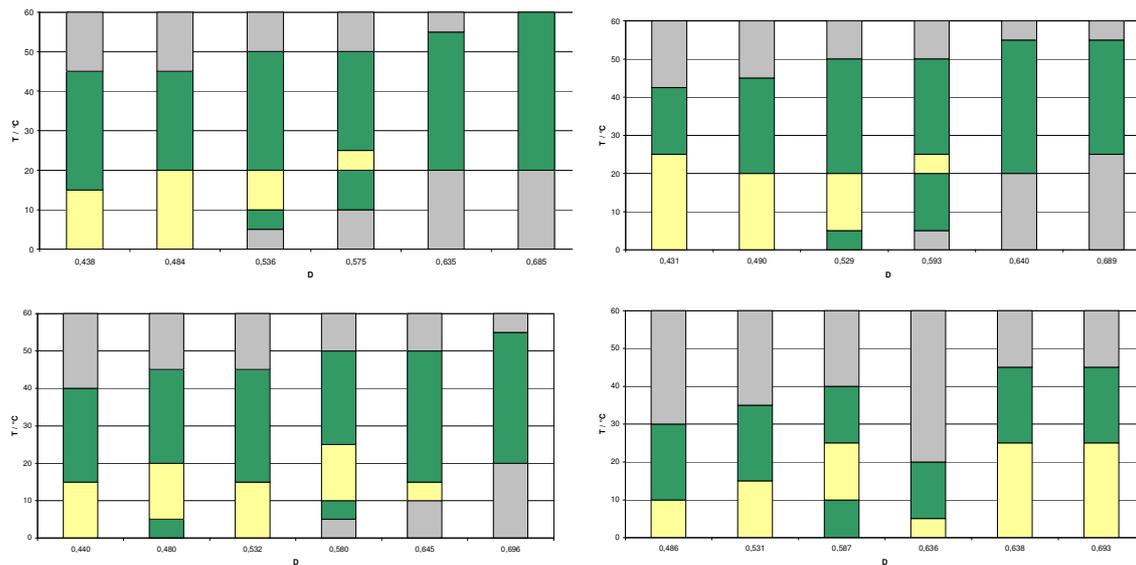


Abb. 4.27: Die Temperatur aufgetragen als Funktion der Tensidzusammensetzung Δ der Mikroemulsion H_2O / Salz 6 – Oktyloktanoat – AOT / Cotensid 2 / Booster 4, bei $\alpha = 0.25, \gamma = 0.12, \epsilon = 0.021, \delta = 0.07$ (oben links), $\delta = 0.08$ (oben rechts), $\delta = 0.09$ (unten links) und $\delta = 0.15$ (unten rechts). Grau markiert sind die Zweiphasengebiete, gelb die lamellaren Phasen und grün die Einphasengebiete.

Abbildung 4.28 zeigt einige Temperaturscans des Systems H_2O / Salz 6 – Oktyloktanoat – AOT / Cotensid 2 / Booster 2, bei steigender Polymerkonzentration. Auch hier ist der gleiche Trend erkennbar: mit steigender Polymerkonzentration verschiebt sich das Stabilitätsfenster der Mikroemulsionen zu niedrigeren Temperaturen. Wie auch beim vorherigen System mit Booster 3 ist die optimal Polymerkonzentration zwischen $\delta = 0.05$ und $\delta = 0.07$ angesiedelt, da bei höheren Konzentrationen das Stabilitätsfenster bei zu geringen Temperaturen liegt.

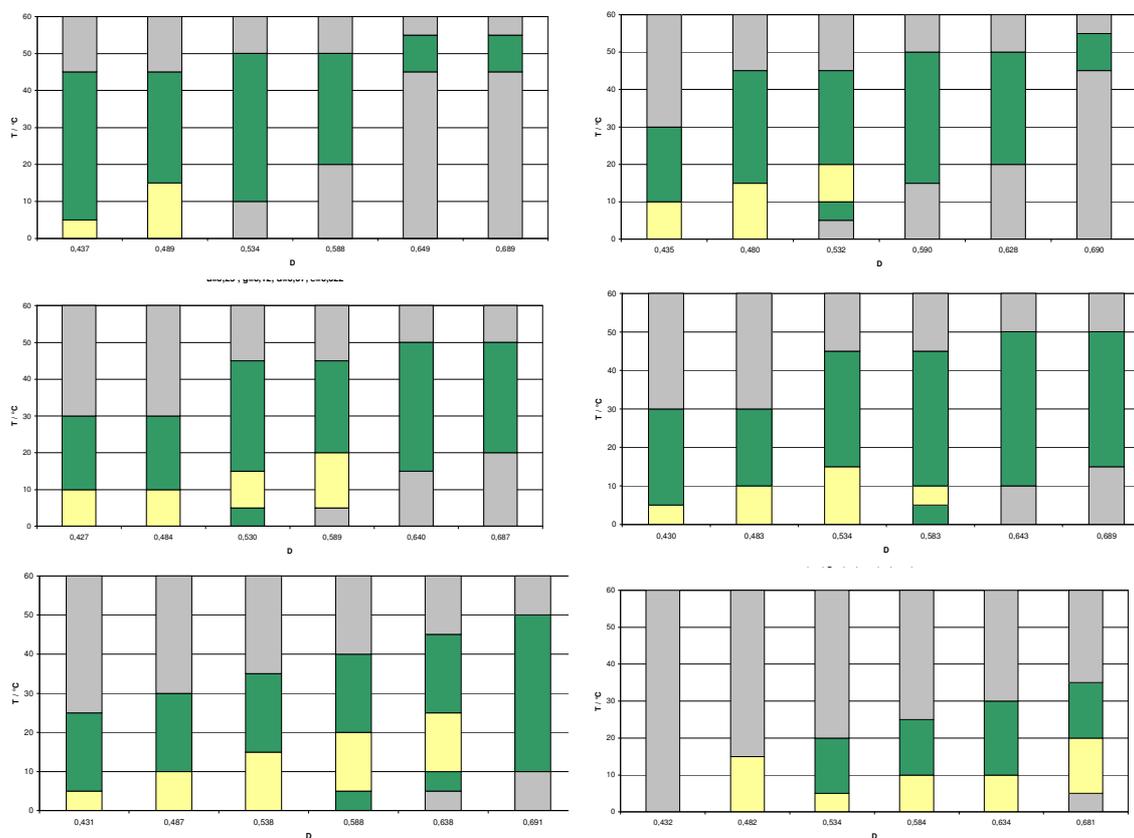


Abb. 4.28: Die Temperatur aufgetragen als Funktion der Tensidzusammensetzung Δ der Mikroemulsion H_2O / Salz 6 – Oktyloktanoat – AOT / Cotensid 2 / Booster 2, bei $\alpha = 0.25, \gamma = 0.12, \epsilon = 0.022, \delta = 0.05$ (oben links), $\delta = 0.06$ (oben rechts), $\delta = 0.07$ (mitte links) und $\delta = 0.08$ (mitte rechts), $\delta = 0.09$ (unten links) und $\delta = 0.15$ (unten rechts). Grau markiert sind die Zweiphasengebiete, gelb die lamellaren Phasen und grün die Einphasengebiete.

4.2.4.5. Systeme mit Oktyloktanoat und DiBasicEster

Im folgenden Kapitel wurde die Stabilität des Systems H_2O / Salz 6– Oktyloktanoat / DiBasicEster – AOT / Cotensid 2 / Booster 1 untersucht. Da DiBasicEster ein sehr gutes Reinigungspotential hat, aber bisher in einer Mikroemulsion mit nur diesem Esteröl nicht stabilisiert werden konnte, wurde jetzt das bekannte System H_2O / Salz 6 – Oktyloktanoat– AOT / Cotensid 2 / Booster

1 als Ausgangspunkt übernommen und die DiBasiEster-Konzentration β systematisch erhöht. Abbildung 4.29 zeigt Temperaturscans in Abhängigkeit der Tensidzusammensetzung Δ . Von oben links nach unten rechts nimmt die DiBasicEsterkonzentration schrittweise von $\beta=0.15$ (15% DiBasicEster in der Ölkomponente) über $\beta=0.20$, $\beta=0.30$ und $\beta=0.40$ zu. Zwar nimmt auch die Stabilität der Mikroemulsion mit steigendem β ab, aber bei $\beta=0.40$ konnte die Mikroemulsion in einem schmalen Δ -Bereich über einen weiten Temperaturbereich stabilisiert werden.

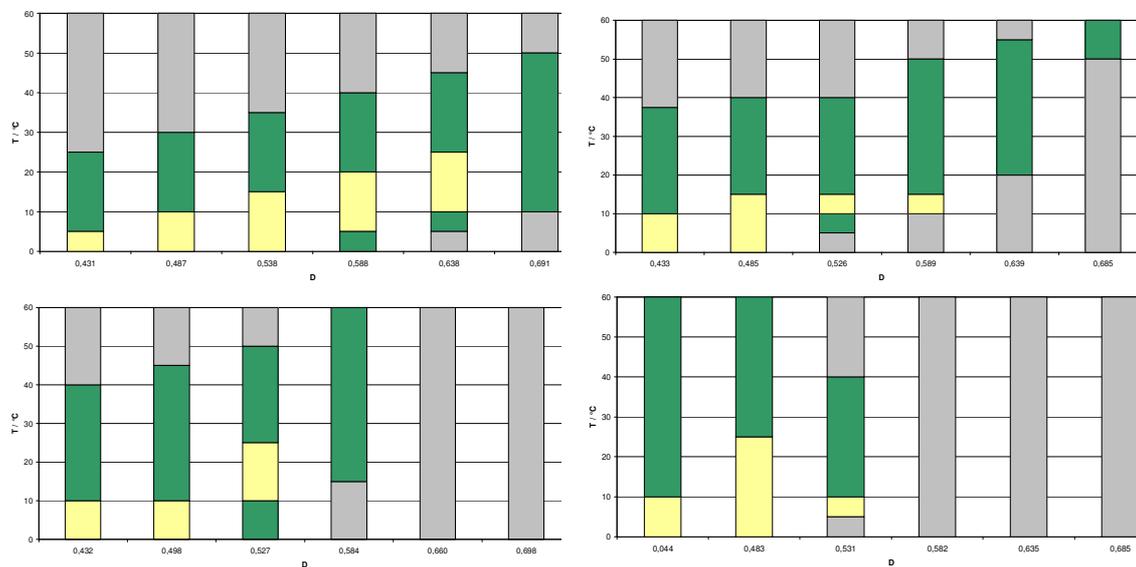


Abb. 4.29: Die Temperatur aufgetragen als Funktion der Tensidzusammensetzung Δ der Mikroemulsion H_2O / Salz 6 – Oktyloktanoat / DiBasicEster – AOT / Cotensid 2 / Booster 1, bei $\alpha = 0.25$, $\gamma = 0.11$, $\varepsilon = 0.022$, $\delta = 0.01$ und $\beta = 0.15$ (oben links), $\beta = 0.20$ (oben rechts), $\beta = 0.30$ (unten links) und $\beta = 0.40$ (unten rechts). Grau markiert sind die Zweiphasengebiete, gelb die lamellaren Phasen und grün die Einphasengebiete.

4.2.5. Systeme mit RME

Die ersten Messungen mit den aus vorherigen Formulierungen bekannten Tensidpaaren ergaben keine stabilen Mikroemulsionen. Basierend auf den Arbeiten von Dierkes et. al. [Haeg98] konnten erfolgversprechende Rezepturen

gefunden werden, deren amphiphile Komponente aus einem ionischem und einem nichtionischem Tensid bestand. Hierfür wurde die Ölkomponente und die Tenside der von Dierkes et. al. Formulierten Mikroemulsion durch technische Komponenten ausgetauscht.

4.2.5.1. AOT / Cotensid 7

Die folgenden Diagramme in Abbildung 4.30 zeigen einen Temperaturscan in Abhängigkeit der Tensidzusammensetzung.

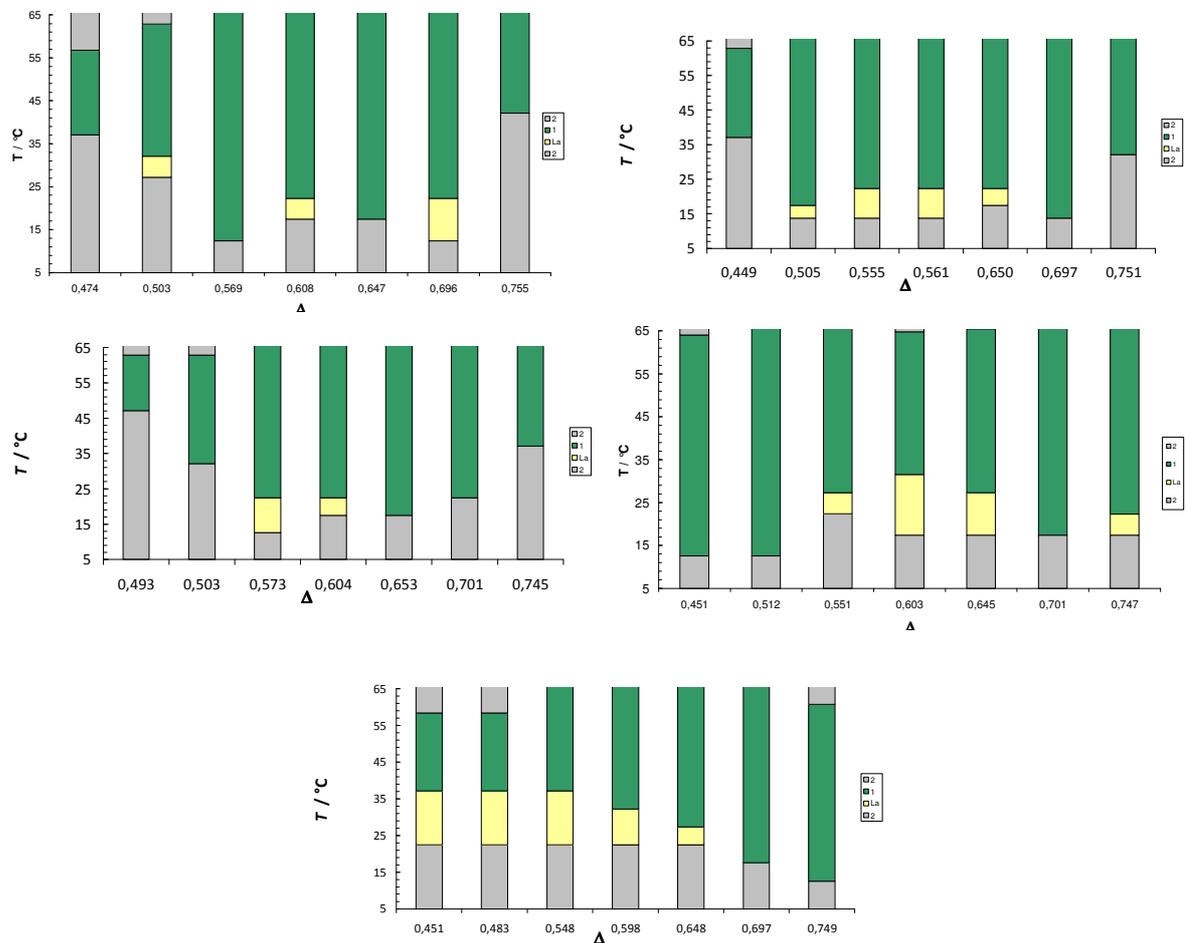


Abb. 4.30: Die Temperatur aufgetragen als Funktion der Tensidzusammensetzung Δ der Mikroemulsion H_2O / Salz 1 – RME – AOT / Cotensid 7, bei $\alpha = 0.40$, $\varepsilon = 0.003$ und $\gamma = 0.10$ (oben links), $\gamma = 0.11$ (oben rechts), $\gamma = 0.12$ (Mitte links), $\gamma = 0.13$ (Mitte rechts) und $\gamma = 0.14$ (unten). Grau markiert sind die Zweiphasengebiete und grün die Einphasengebiete.

Die Tensidkonzentration nimmt von oben nach unten zu. Zunächst sieht man mit zunehmender Tensidkonzentration eine leichte Verschiebung der 1-Phasengebiete zu höheren AOT-Gehalten. Dieser Trend ist jedoch nicht sehr stark ausgeprägt, das Phasenverhalten ändert sich mit der Tensidkonzentration kaum.

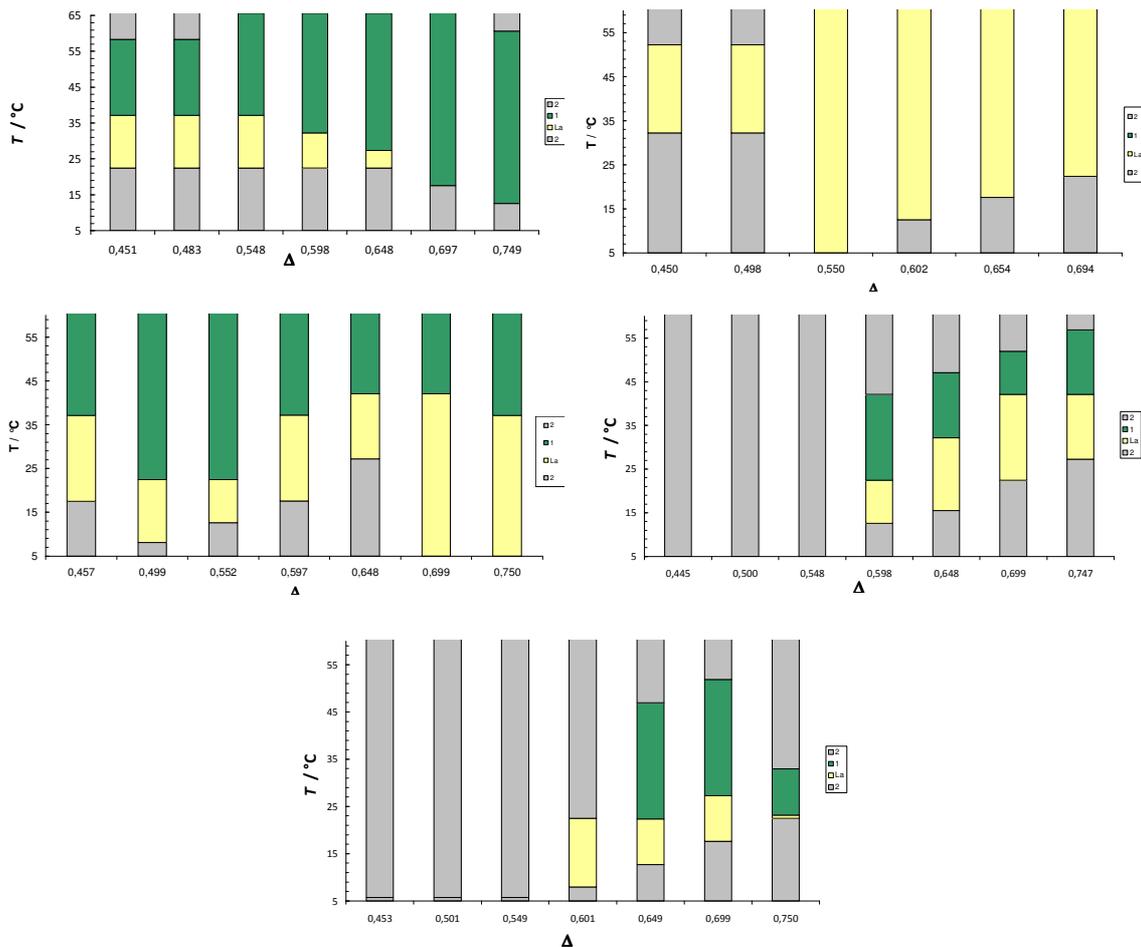


Abb. 4.31: Die Temperatur aufgetragen als Funktion der Tensidzusammensetzung Δ der Mikroemulsion H_2O / Salz – RME – AOT / Cotensid 7, bei $\alpha = 0.40$, $\varepsilon = 0.003$ und $\gamma = 0.15$. Salz 1 (oben links), Salz 5 (oben rechts), Salz 2 (mitte links), Salz 6 (mitte rechts) und Kaliumnatriumcumolsulfonat (unten). Grau markiert sind die Zweiphasengebiete, grün die Einphasengebiete und gelb die lamellaren Phasen.

Um sowohl Rosten in Metallgebänden zu verhindern, als auch eine Steigerung der Reinigungsleistung zu erzielen, wurde das Salz 1 durch andere Salze

ausgetauscht, wobei die übrige Zusammensetzung gleich blieb und das Phasenverhalten in Abhängigkeit der Tensidzusammensetzung untersucht (Abb. 4.31) wurde.

Wie man sehen kann, hat die Salzart einen dramatischen Einfluss auf das Phasenverhalten. Im Diagramm in Abbildung 4.31, oben links sieht man die Temperatur in Abhängigkeit des Tensidzusammensetzung des Ausgangssystems H_2O / Salz 1 – RME – AOT / Cotensid 7. Im Vergleich dazu sieht man oben rechts bei gleicher Zusammensetzung, allerdings mit Salz 5 das Phasenverhalten. Es treten im Messbereich ausschließlich lamellare Phasen auf, während bei dem System mit Salz 1 das Einphasengebiet deutlich ausgeprägter ist. Die Formulierungen mit Salz 2 zeigen im Messbereich ausgeprägte Einphasengebiete. Für die Zubereitungen mit Salz 6 und Kaliumnatriumcumolsulfonat konnte innerhalb des Messfensters bei kleinen AOT-Gehalten kein Einphasengebiet gefunden werden. Im Fall des Systems mit Salz 6 verschiebt sich das Einphasengebiet mit zunehmender AOT-Konzentration zu höheren Temperaturen. Für das System mit Kaliumnatriumcumolsulfonat wird das Einphasengebiet zunächst größer und liegt bei höheren Temperaturen mit steigendem AOT-Gehalt. Allerdings nimmt es bei $\Delta=0,750$ wieder ab.

Obwohl einige Zubereitungen vielversprechende Ergebnisse zeigten, wurde im nächsten Schritt das Co-Tensid ausgetauscht, denn das Ziel des Projektes ist es einen Kennzeichnungsfreien Reiniger herzustellen. Da aber sowohl AOT als auch Cotensid 7 kennzeichnungspflichtig sind, musste eines der Tenside durch ein kennzeichnungsfreies ausgetauscht werden. Aufgrund der größeren Vielfalt entschieden wir uns dafür das nichtionische Tensid auszutauschen.

4.2.5.2. AOT / Cotensid 1

Cotensid 1 ist ein nichtionisches Tensid, das kennzeichnungsfrei ist. Als Salz wurde auf Grundlage obiger Ergebnisse (Abb. 4.32) das Salz Salz 2 eingesetzt. Die folgenden Diagramme zeigen ein Screening, bei dem sowohl der Ölgehalt α , als auch der Tensidgehalt γ variiert wurde. Aufgetragen wurde wieder das Tensidverhältnis Δ als Funktion der Temperatur.

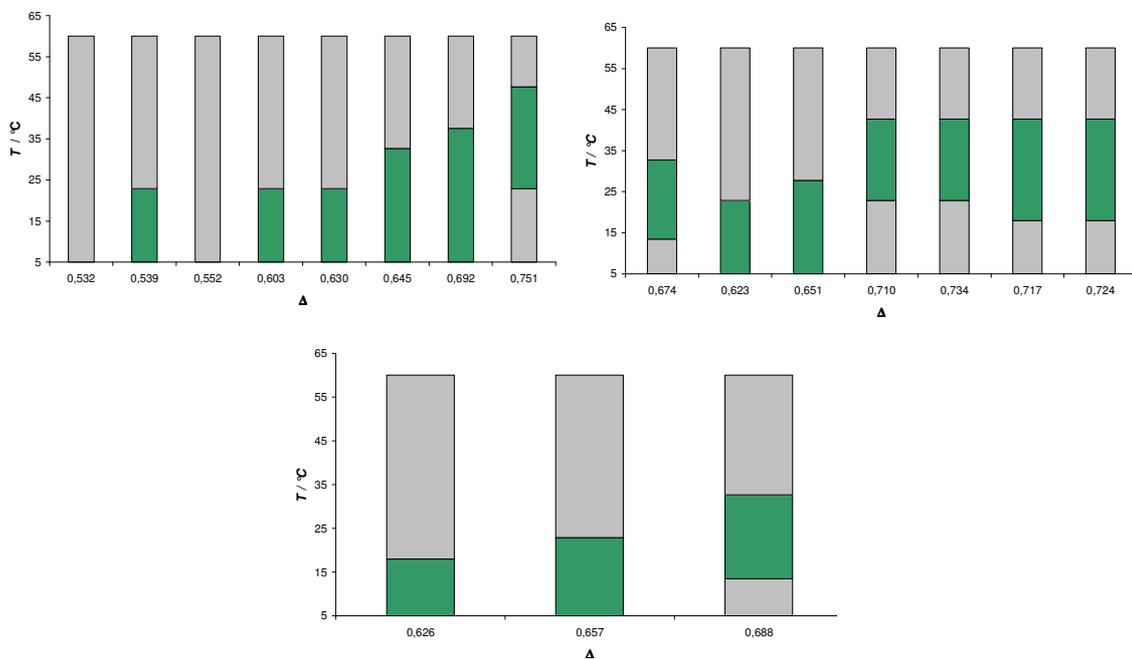


Abb. 4.32: Die Temperatur aufgetragen als Funktion der Tensidzusammensetzung Δ der Mikroemulsion H_2O / Salz 2 – RME – AOT / Cotensid 1, bei $\alpha = 0.20$, $\varepsilon = 0.01$ und $\gamma = 0.08$ (oben links), $\gamma = 0.07$ (oben rechts), $\gamma = 0.06$ (unten). Grau markiert sind die Zweiphasengebiete und grün die Einphasengebiete.

Bei konstantem α und konstantem γ kann man sehen, dass mit zunehmendem AOT-Gehalt in der Mikroemulsion, das Einphasengebiet zu höheren Temperaturen wandert. Mit abnehmender Tensidkonzentration nimmt auch wie erwartet die Größe des Einphasengebietes ab.

4.2.5.3. AOT / Cotensid 6

Cotensid 6 ist ebenfalls ein nichtionisches Tensid, das aber im Vergleich zu Cotensid 1 eine engere Verteilung der Tensid-Homologe hat. Dadurch könnte das Einphasengebiet der Mikroemulsion über einen größeren Temperaturbereich stabil sein.

Abbildung 4.33 zeigt das Phasenverhalten des Systems H_2O / Salz 2 – RME – AOT / Cotensid 6 in Abhängigkeit des Tensidverhältnisses. Von oben nach unten nimmt die Tensidkonzentration ab. Man kann allerdings nicht den erwarteten Trend erkennen, bei dem mit abnehmender Tensidkonzentration auch die Temperaturstabilität der Mikroemulsion abnimmt. Hingegen kann man erkennen, dass mit zunehmendem AOT-Gehalt das Einphasengebiet zu höheren Temperaturen wandert. Was außerdem bemerkenswert ist, ist dass bereits geringe Änderungen in der Tensidzusammensetzung Δ bereits signifikante Änderungen im Phasenverhalten bewirken.

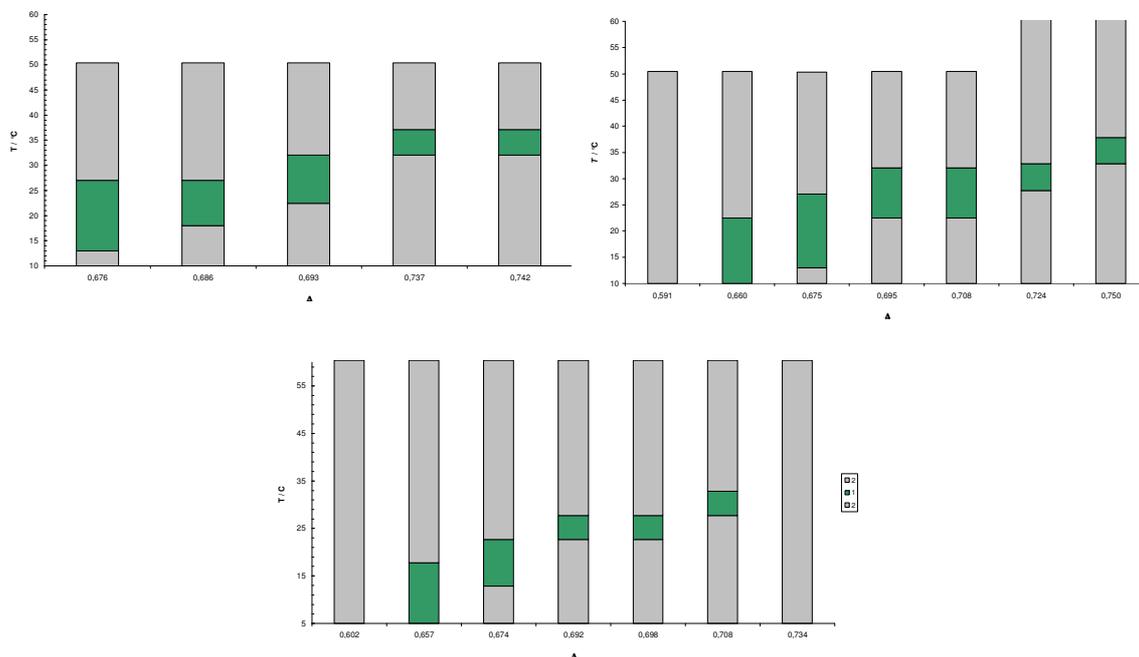


Abb. 4.33: Die Temperatur aufgetragen als Funktion der Tensidzusammensetzung Δ der Mikroemulsion H_2O / Salz 2 – RME – AOT / Cotensid 6, bei $\alpha = 0.30$, $\varepsilon = 0.01$ und $\gamma = 0.08$ (oben links), $\gamma = 0.07$ (oben rechts), $\gamma = 0.06$ (unten). Grau markiert sind die Zweiphasengebiete und grün die Einphasengebiete.

Abbildung 4.34 zeigt wieder das System H_2O / Salz 2 – RME – AOT / Cotensid 6 in Abhängigkeit des Tensidverhältnisses. Allerdings wurde diesmal die Salzkonzentration variiert. Man kann erkennen, dass mit Abnahme des Salzgehaltes das Einphasengebiet zunächst stabilisiert wird ($\varepsilon=0.007$, Abb. 4.34 oben rechts) um dann bei weiterer Abnahme wieder zu destabilisieren. Bei $\varepsilon=0.007$ ist offensichtlich ein Maximum erreicht.

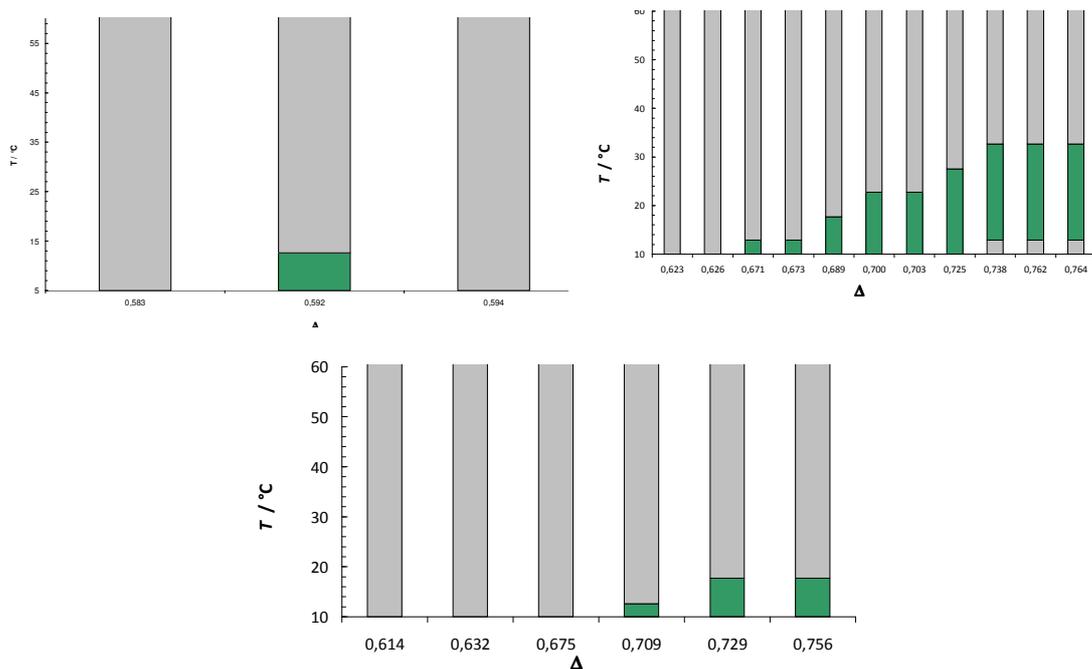


Abb. 4.34: Die Temperatur aufgetragen als Funktion der Tensidzusammensetzung Δ der Mikroemulsion H_2O / Salz 2 – RME – AOT / Cotensid 6, bei $\alpha = 0.30$, $\gamma = 0.08$ und $\varepsilon = 0.01$ (oben links), $\varepsilon = 0.007$ (oben rechts), $\varepsilon = 0.005$ (unten). Grau markiert sind die Zweiphasengebiete und grün die Einphasengebiete.

Auch der Einsatz des neuen Co-Tensids brachte keine signifikante Stabilisierung des Einphasengebietes. Zunächst sollte der Einsatz von weiteren Komponenten in der Mikroemulsion vermieden werden, jedoch würde der Einsatz eines Polymer-Boosters wohl die nötige Stabilisierung der Mikroemulsion liefern.

4.2.5.4. Reinigungstests

4.2.5.4.1. Reinigungstest mit frischer Farbe

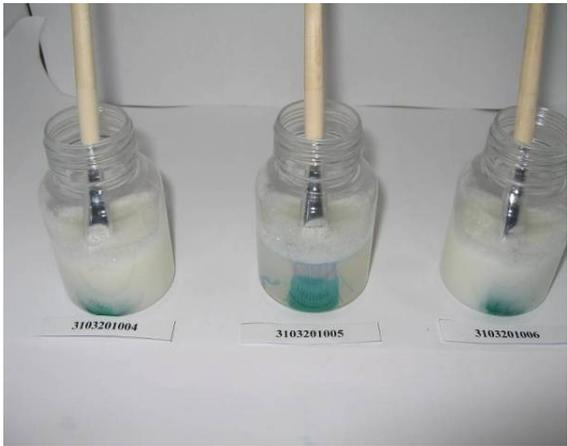
Die Reinigungstests mit den Mikroemulsionen auf RME – Basis wurden nach dem gleichen Verfahren wie bei den Mikroemulsionen auf Mineralölbasis durchgeführt.

Hierzu werden definiert mit 0,3g Farbe verunreinigte Pinsel verwendet. Dies entspricht etwa der Menge Farbe, die nach dem Ausstreichen in den verwendeten Pinseln zurückbleibt. Repräsentativ für die im Haushalts- und Hobbybereich vorkommenden Farben und Lacke wurden für die Reinigungsversuche eine Ölfarbe aus dem Künstlerbedarf und ein wasserverdünnbarer Acryllack herangezogen.

Der Pinsel wird für 5 Minuten in 50 mL des zu untersuchenden Pinselreinigers gestellt. Nach diesen 5 Minuten wird der Pinsel 10 mal auf den Boden des mit 50 ml Reinigen gefüllten 100 ml Schraubdeckelgläschen gedrückt. Das Ergebnis wird begutachtet, der Pinsel anschließend unter fließendem Wasser ausgewaschen und erneut begutachtet.

Reinigungswirkung wird nach dem Schulnotensystem bewertet. 1 sehr gut 6 ungenügend. Hierbei fließt in die Bewertung mit ein, wie die Farbe ohne mechanische Einwirkung angelöst wird, wie sauber der Pinsel nach den einzelnen Schritten ist sowie das Ergebnis nach dem Auswaschen mit Wasser. Nach dem Trocknen werden die Pinsel nochmals auf Verhärtungen untersucht.

Abbildung 4.35 zeigt eine Reinigungsreihe mit wasserbasierter Farbe und dem Mikroemulsionssystem Wasser / Salz 2 – RME – AOT / Cotensid 6. Von links nach rechts nimmt die Tensidkonzentration ab, wobei jede Probe für sich kennzeichnungsfrei wäre. Nach der Reinigung unter fließendem Wasser zeigen alle Mikroemulsionen gleich gute Ergebnisse.



Eintauchen



5 Minuten einweichen



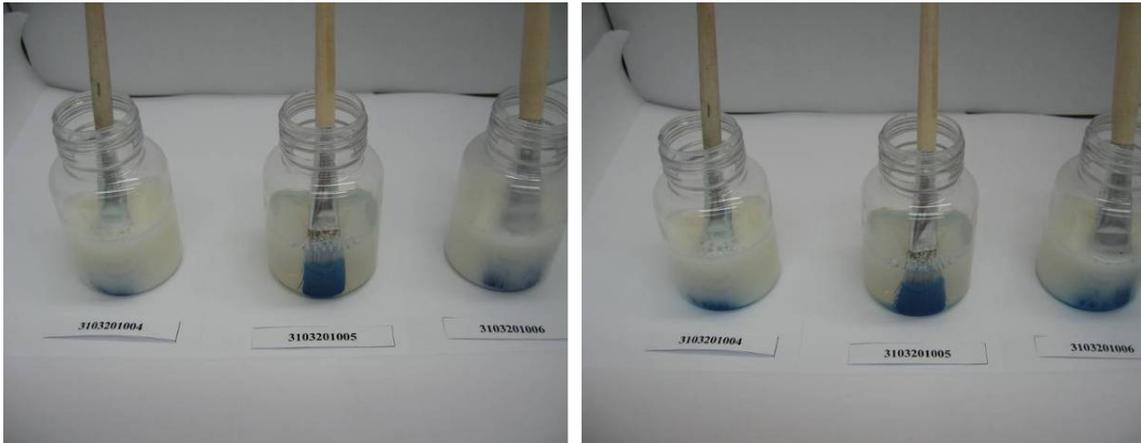
10 Mal auf den Boden drücken



unter fließendem Wasser auswaschen

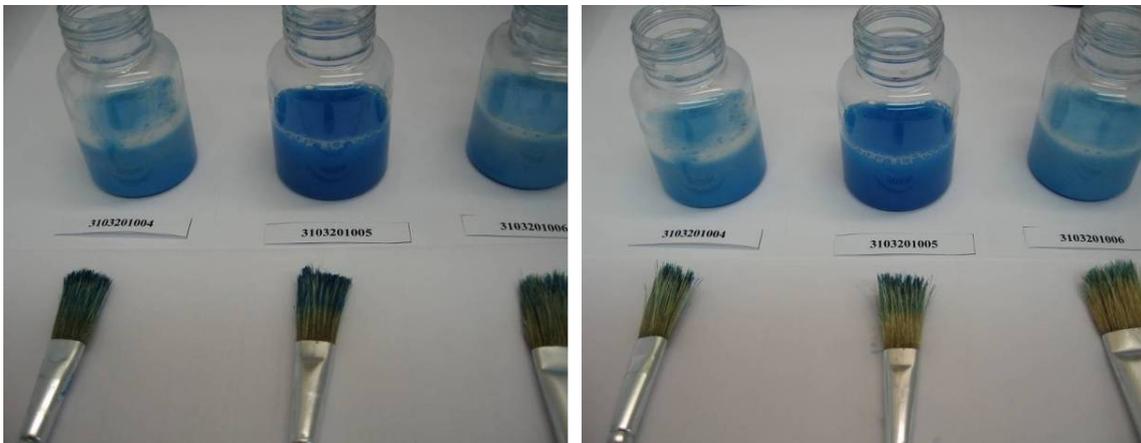
Abb. 4.35: Zeigt einen Reinigungstest mit einer wasserbasierten Farbe. Variiert wurde hier die Tensidkonzentration des Systems Wasser / Salz 2 – RME – AOT / Cotensid 6. Nach der Reinigung unter fließendem Wasser zeigen alle Mikroemulsionen gleich gute Ergebnisse.

Abbildung 4.36 zeigt eine Reinigungsreihe mit ölbasierten Farben mit dem gleichen Mikroemulsionssystem wie oben beschrieben. Auch hier zeigen die Mikroemulsionen in etwa das gleiche Reinigungsergebnis, wobei die rechte Probe, hier ist die geringste Menge an Tensid enthalten, das beste Ergebnis zeigt.



Eintauchen

5 Minuten einweichen



10 Mal auf den Boden drücken

Unter fließendem Wasser auswaschen

Abb. 4.36: Zeigt einen Reinigungstest mit einer ölbasierten Farbe. Variiert wurde hier die Tensidkonzentration des Systems Wasser / Salz 2 – RME – AOT / Cotensid 6. Nach der Reinigung unter fließendem Wasser zeigen alle Mikroemulsionen in etwa gleich gute Ergebnisse.

Die letzte hier gezeigte Reinigungsreihe wird das Co-Tensid des Systems Wasser / Salz 2 – RME – AOT / Co-Tensid variiert (Abbildung 4.37). Auch hier sind die Reinigungsergebnisse in etwa gleich gut.



Eintauchen



5 Minuten einweichen



10 Mal auf den Boden drücken



Unter fließendem Wasser auswaschen

Abb. 4.37: Zeigt einen Reinigungstest mit einer ölbasierten Farbe. Variiert wurde hier die Tensidkonzentration des Systems Wasser / Salz 2 – RME – AOT / Co-Tensid. Nach der Reinigung unter fließendem Wasser zeigen alle Mikroemulsionen in etwa gleich gute Ergebnisse.

Auffällig ist bei den Mikroemulsionen mit RME, dass die Unterschiede der Scherviskositäten der einzelnen Mischungen nicht so drastisch schwanken wie bei den Mikroemulsionen mit Mineralölen, durchschnittlich sogar geringer ausfallen. So bewegte sich die Scherviskosität bei den mineralölbasierten

Mikroemulsionen im Bereich von ca. 28 – 260 mPas, bei den RME-basierten zwischen ca.18 und 65 mPas (Tabelle 4.8).

Tab. 4.8: Viskosität und Reinigungswirkung der hier gezeigten Mikroemulsionen.

Reiniger	Viskosität	Reinigungswirkung	
	Schergeschw. 100 1/s [mPas]	wasserbasiert, grün	Ölfarbe blau
Konventioneller Pinselreiniger	--	6	1
Ketrul D85	--	6	1
RME	--	6	1
Mikroemulsion 1	49,38	3	1-
Mikroemulsion 2	37,31	3	1-
Mikroemulsion 3	64,99	3	2
Mikroemulsion 4	41,46	3	2
Mikroemulsion 5	18,41	3	2-
Mikroemulsion 6	20,23	2-3	2

Entsprechend gering fiel auch der Unterschied in der Reinigungsleistung zwischen den Pinselreinigern auf RME-Basis bei Öl- und Kunstharzfarbe aus: Mit allen getesteten Mikroemulsionen lies sich je nach Farbe ein sehr gutes bis befriedigendes Ergebnis erzielen – besser als mit den zuvor getesteten Mischungen auf Mineralölbasis. Ebenfalls war kaum ein Einfluss des Ölgehalts der Mikroemulsion auf die Reinigungsleistung im untersuchten Konzentrationsbereich feststellbar. Die deutlich bessere Reinigungswirkung mit den RME-haltigen Produkten lässt sich durch die im Vergleich zu aliphatischen Kohlenwasserstoffen erheblich besseren Lösekraft des Esteröls gegenüber Harzen erklären.

Bei der wasserverdünnbaren Farbe zeigen alle Mikroemulsionen auf RME-Basis eine mittelmäßige, aber durchaus brauchbare Reinigungswirkung, vergleichbar mit der Wirkung der mineralölbasierten Mikroemulsion. Alle Mikroemulsionen zeigten sich zum Entfernen dieser Farbe erheblich besser geeignet als der konventionelle Pinselreiniger – der konventionelle Reiniger löste die Farbe praktisch nicht an, die Mikroemulsionen hingegen sorgen durch ihren Öl- und Tensidanteil dafür, dass alle Pigment- und Bindemittelanteile der Farbe leicht durch Nachspülen mit Wasser entfernt werden.

Ein weiterer positiver Effekt der Esteröl-Mikroemulsionen wird nach dem Trocknen des gereinigten Pinsels deutlich: Der Pinsel bleibt weich und geschmeidig, die Borsten verkleben bzw. verhärteten nicht durch Bindemittelreste, was bei der Reinigung mit leicht flüchtigen (Al-) Produkten häufig der Fall ist. So lässt sich gerade bei hochwertigen Pinseln durch die Verwendung der Mikroemulsion zum Reinigen das Brechen einzelner Borsten verhindern, die Standzeit des Pinsels verlängern. Bedenken, dass sich Reste des schwerer flüchtigen Esters und / oder der Tenside bei Verwendung kurz zuvor mit der Mikroemulsion gereinigter Pinsel störend auf die verwendete Farbe auswirken, erwiesen sich als unbegründet. Weder bei Lösemittel- noch bei Wasser basierten Farben war ein solcher Einfluss zu erkennen. Auch wurde bei den Reinigungstests festgestellt, dass die Mikroemulsion bei versehentlichem Hautkontakt die Haut nicht so stark entfettet bzw. „austrocknet“ wie konventionelle Pinselreiniger. Im Gegenteil, ein gewisser „rückfettender“ Effekt war zu beobachten.

4.2.5.1.2. Reinigungstest alte Farbe



Pinsel vor der Reinigung



Pinsel ca. 3min in
Reiniger



Pinsel vor dem
Abwaschen



Pinsel nach Abwaschen



Pinsel während dem
zweitägigen Einweichen



Pinsel nach Reinigung

Abb. 4.38: Darstellung der Reinigung eines Pinsels mit eingetrockneter Farbe.

Abbildung 4.38 zeigt eine Bilderreihe, bei der ein Pinsel mit eingetrockneter Farbe mit dem mikroemulsionsbasiertem Reiniger gesäubert wurde. Hierfür wurde der Pinsel etwa 3 Minuten in den Reiniger gestellt und danach unter fließendem Wasser abgewaschen. Das Resultat wird im unteren Bild auf der

linken Seite dargestellt. Die Borsten des Pinsels weisen noch Farbreste auf, außerdem sind die Borsten durch das Harz noch verklebt. Um die letzten Farb- und Harzreste zu entfernen, wurde der Pinsel zwei Tage im Reiniger eingeweicht. Das Ergebnis zeigt eine deutliche Verbesserung.

4.3. Zusammenfassung der Ergebnisse

Mikroemulsionen auf Esterölbasis eignen sich als Ersatz herkömmlicher Pinselreiniger. Die Mikroemulsionen lassen sich so formulieren, dass sie geringe Tensidgehalte zwischen 4% und deutlich kleiner als 10% aufweisen sowie vollkommen kennzeichnungsfrei sind. Trotz des geringen Tensidgehalts ist die Temperaturstabilität zwischen $<10\text{ °C}$ und $>40\text{ °C}$ gegeben, was aus praktischer Sicht für Anwendung, Transport und Lagerung ausreicht. Obwohl der Wassergehalt bei über 60% liegt, ist die Reinigungsleistung vergleichbar mit der von herkömmlichen Reinigern. Zwar dauert der Reinigungsvorgang aufgrund der erhöhten Viskosität etwas länger, jedoch eignet sich der neue Reiniger besser für schon eingetrocknete Farbe. Außerdem ist er nahezu geruchsneutral, im Gegensatz zu den stark geruchsbelästigenden Lösemittelreinigern.

5. Vergleich des neuen Mikroemulsionsreinigers mit herkömmlichen Pinselreinigern

Obwohl die neuen Mikroemulsionsreiniger zu nahezu 2/3 aus Wasser bestehen, sind die Reinigungsleistungen mit denen von konventionellen Reinigern vergleichbar. Frische und auch eingetrocknete Farbreste lassen sich problemlos entfernen. Im Gegensatz zu den konventionellen Reinigern eignen sich die Mikroemulsionen auch zur Entfernung von eingetrockneten wasserlöslichen Lacken. Um eingetrocknete Farben oder Lacke zu entfernen, müssen die Pinsel mindestens über Nacht eingeweicht werden. Auch hier sind die neuen Reiniger vorteilhaft, da sie im Gegensatz zu den Lösemittelreinigern schwerflüchtig sind. Pinsel oder andere Malerwerkzeuge können in offenen Gefäßen eingeweicht werden, ohne dass der Reiniger verdampft. Allerdings weisen die neuen Reiniger auch Nachteile auf. Aufgrund der Schwerflüchtigkeit müssen die Pinsel mit Wasser ausgewaschen werden, um Reinigerreste zu entfernen. Außerdem ist der Reinigungsvorgang bei frischen Farben etwas langsamer als mit konventionellen Reinigern. Dies liegt an der erhöhten Viskosität der neuen Reiniger. Konventionelle Reiniger bestehen im Wesentlichen aus Lösemitteln, die extrem niederviskose sind und somit ein schnelles Eindringen des Reinigers in den Pinsel und Lösen der Farbe gewährleisten. Dieser Prozess ist beim neuen Reiniger langsamer, kann aber beispielsweise durch wiederholtes Ausdrücken des Pinsels im weitgehend kompensiert werden.

Bei Verwendung von Esterölen und geeigneter Tenside lassen sich die neuen Reiniger vollständig kennzeichnungsfrei herstellen. Insbesondere aufgrund des geringen Tensidgehalts müssen die neuen Formulierungen nur in Wassergefährdungsklasse 1, schwach wassergefährdend, eingestuft werden. Konventionelle Pinselreiniger auf Basis von aromatischen und aliphatischen Kohlenwasserstoffgemischen sind Gefahrstoffe. Sie sind Gesundheitsschädlich, Umweltgefährlich und bei niedrigen Flammpunkten auch Leichtentzündlich. Sie werden in Wassergefährdungsklasse 2, wassergefährdend, eingestuft. Weiterhin

sind die neuen Formulierungen nahezu geruchsneutral, ganz im Gegenteil zu den konventionellen Reinigern.

Ein weiterer, aus ökologischer Sicht zentraler Punkt betrifft die Entsorgung der gebrauchten Reiniger. Die in den kommunalen Abwassersatzungen festgelegten Grenzwerte lassen in der Regel die Entsorgung von Kleinmengen, wie sie im privaten Bereich anfallen, über das Abwasser zu. Dieser Weg der Entsorgung wird allerdings vom Umweltbundesamt nicht befürwortet. Es wird befürchtet, dass dadurch ein Türöffnereffekt eintritt und Verbraucher auch Schadstoffe über das Abwasser entsorgen, für die dieser Weg nicht zulässig ist. Somit soll gebrauchter Pinselreiniger als Sondermüll entsorgt werden. In diesem Zusammenhang sollte auch erwähnt werden, dass flüssige Reste von Dispersionsfarben oder wasserbasierten Lacken, die allesamt mit dem "Blauen Engel" ausgezeichnet sind, auch als Sondermüll entsorgt werden müssen.

Tabelle 5.1 zeigt zusammenfassend den Vergleich zwischen dem esterölbasierten Mikroemulsionsreiniger und herkömmlichen Lösemittelreinigern. Neben den dort aufgeführten Eigenschaften ist außerdem erwähnenswert, dass die Haut nach Kontakt mit dem Reiniger nicht ausgetrocknet wird und ein angenehmes Gefühl auf der Haut zurücklässt. Was die Reinigung von Pinseln angeht, ist es beim neuen Reiniger im Gegensatz zu lösmittelbasierten Reinigern möglich, die Pinsel über Tage im Reiniger einweichen zu lassen, ohne dass der Reiniger verdampft.

Tab. 5.1: Vergleich des Mikroemulsionsreinigers auf Esterölbasis mit herkömmlichem Pinselreiniger.

	Mikroemulsionsreiniger		Herkömmlicher Pinselreiniger	
Abreinigung wasserbasierter Farben	+ zusätzlich Entfernung von Harz-Resten – Pinsel bleibt geschmeidig		-	
Abreinigung ölbasierter Farben	+		+	
Abreinigung eingetrockneter Farben	+		+/-	
Reinigungszeit und Vorgehensweise	Beim mikroemulsionsbasierten Reiniger dauert der Reinigungsvorgang länger. Außerdem muss der Pinsel nach der Reinigung mit Wasser ausgespült werden. Allerdings ist bei den herkömmlichen Pinselreinigern auch ein Auswaschen mit Wasser oder eine zweite Reinigung mit dem Reiniger nötig um die Farbe weitgehend zu entfernen.			
Geruch	nahezu Geruchsneutral		Geruchsintensiv	
Flammpunkt	>100°C		In der Regel kleiner 50°C	
Kennzeichnungspflicht	kennzeichnungsfrei		 	
Wassergefährdungsklasse	1		2	
Biologische Abbaubarkeit	+		-	
Entsorgung	Entsorgung als Sondermüll		Entsorgung als Sondermüll	
Zusammensetzung	>60%	Wasser		
	<10%	Tensid	2.5 bis 25%	Tensid
	<30%	hochsiedende Esteröle	75 bis 97.5%	leichtflüchtige Lösemittel

6. Vermarktung und weitere Anwendungsgebiete für den neuen Mikroemulsionsreiniger

Bedingt durch den hohen Wasseranteil des neuen Reinigers sind die Herstellungskosten mit denen von konventionellen Pinselreinigern vergleichbar. Obwohl heutzutage zu einem großen Teil Farben und Lacke auf Wasserbasis eingesetzt werden, für die prinzipiell keine Pinselreiniger mehr notwendig sind, werden diese Reiniger noch in großen Mengen eingesetzt. Eine für das Forschungszentrum Jülich durchgeführte Marktstudie ergab, dass alleine in deutschen Baumärkten pro Jahr ca. 1 Mio. Liter Pinselreiniger verkauft werden. Unter Einbeziehung ähnlicher Reiniger sowie des professionellen Bereichs wird der Absatz alleine in Deutschland ein Vielfaches davon betragen.

Im Rahmen des Projekts wurde auch das Potential der neuen Reiniger für andere Anwendungen untersucht. Im privaten und gewerblichen Bereich werden insbesondere im Bausektor Reinigungsmittel zum Entfernen von Klebstoffresten, Silikondichtmassen, fettartigen oder verharzten Verunreinigungen bzw. als Allzweckreiniger verwendet. Diese Reiniger sind in ihren chemischen Zusammensetzungen und somit in ihren Gefährdungspotentialen den konventionellen Pinselreinigern ähnlich. Deshalb wurden mit den neuen Mikroemulsionen exploratorische Tests mit Klebstoffen, auf Oberflächen anhaftende Klebebandrückständen sowie Silikondichtmassen durchgeführt. Die Ergebnisse zeigten, dass die neuen Reiniger auch für diese Anwendungen verwendet werden können. Es ist zu erwarten, dass durch gezielte Weiterentwicklung Reiniger für diese Spezialanwendungen formuliert werden können, die den bisherigen Lösemittelreinigern in der Reinigungsleistung ebenbürtig sind.

Die Abteilung Technologietransfer des FZ Jülich verhandelt zurzeit mit einem Hersteller von Farben und Lacken um den neuen Reiniger als Pinselreiniger zu

vermarkten. Außerdem wird versucht auch für andere Anwendungsfelder außerhalb des Bausektors Anwendungsmöglichkeiten zu erschließen.

7. Öffentlichkeitsarbeit

Im Herbst 2009 fand im Forschungszentrum Jülich der „Tag der Neugier“ statt. Im Rahmen dieses Tages stellten die Institute ihre Projekte so vor, dass sie für die Allgemeinheit verständlich waren. Eines der ausgestellten Projekte war das Pinselreiniger-Projekt. In Abbildung 7.1 ist das dazugehörige Poster dargestellt.

Wasser basierter Reiniger macht Lösemittelseinsatz überflüssig

JÜLICH FORSCHUNGSZENTRUM
gefördert durch
DBU
Deutsche Bundesstiftung Umwelt
www.dbu.de

Lösemittel-Reiniger

AUSGANGSPUNKT:
 Die im Baumarkt zu kaufenden Pinselreiniger bestehen zum Großteil aus leicht flüchtigen organischen Lösemitteln, die nicht nur die Umwelt belasten, sondern auch die Gesundheit.

NACHTEILE DES HANDELS-ÜBLICHEN REINIGERS:

- bodennahes Ozon
- Dämpfe der Lösemittel gesundheitsschädlich
- Luftbelastung
- Abwasserbelastung

Beispiel Pinselreiniger

Neuartiger Reiniger

MIKROEMULSION:
 Mikroemulsionen sind Gemische aus Wasser, Öl und Tensid. Es ist viel Tensid nötig

UNSERE TECHNOLOGIE:
 Additive verringern drastisch Tensidmenge

TENSID:
 Oberflächenaktives Molekül, das aus einem hydrophilen (Wasser liebenden) und einem lipophilen (Öl liebenden) Teil besteht.

Wasser liebender Teil

Öl liebender Teil

VORTEILE DES MIKROEMULSIONS-REINIGERS:

- Umweltfreundlich
- Hauptbestandteil Wasser

VORTEILE FÜR DIE UMWELT UND DEN ARBEITSSCHUTZ

LINKS: Mikroemulsions-basierter Pinselreiniger, die Farbe wird besser angelöst und fließt besser die Glasscheibe runter.

RECHTS: Im Vergleich dazu handelsüblicher Pinselreiniger

PROBLEME:

- VISKOSITÄT der Mikroemulsion, hervorgerufen durch flüssigkristalline Strukturen
- TEMPERATURABHÄNGIGKEIT der Mikroemulsion

PINSEL-REINIGUNGS-TEST

Jeweils auf der linken Seite befindet sich die Mikroemulsion, auf der rechten Seite ein herkömmlicher Pinselreiniger.

Mit steigender ADDITIV-KONZENTRATION schwillt die mittlere Phase, die sogenannte Mikroemulsions-Phase, immer weiter an.

Mitglied der Helmholtz-Gemeinschaft

Abb. 7.1: Projektposter bei dem „Tag der Neugier“ 2009.

Die Projektergebnisse wurden 2012 im Rahmen eines Vortrags auf dem wissenschaftlichen Symposium „Softcomp“ präsentiert. Außerdem ist 2012 ein weiterer Vortrag auf der Fachtagung „Surfactants in Solution“ vorgesehen. Weiterhin sollen die Ergebnisse in einer Fachzeitschrift veröffentlicht werden.

8. Bibliographie

- [IKW12] Industrieverband Körperpflege- und Waschmittel e. V. Reizend oder nicht reizend? Das Treuhänder-Gutachter-Modell; <http://www.ikw.org/haushaltspflege/themen/recht/reizend-oder-nicht-reizend-das-treuhaender-gutachter-modell/f3eb5c630aab8944f1bb3489b8511e93/>; 17.12.2012.
- [Sott05] Sottmann, T.; Strey, R. in: Fundamentals of Interface and Colloid Science, Vol. V, Chapter 5, Microemulsions; edited by J. Lyklema, Academic Press, 2005.
- [Stu01] C. Stubenrauch, Sugar surfactants — aggregation, interfacial, and adsorption phenomena. *Curr. Opin. Colloid Interface Sci.* 2001, 6,160-170.
- [WiWo10] S. Kutter, Kraftvolle Blasen. *WirtschaftsWoche* 11. Januar 2010, S. 70-73.
- [Haeg98] F. Dierkes, F.-H. Haegel, M. J. Schwuger, Low-temperature microemulsions for the in situ extraction of contaminants from soil. *Coll. Surf. A*, 1998, 141, 217-225.
- [Kahl88] M. Kahlweit, R. Strey, Phase behavior of quinary mixtures of the type water-oil-nonionic amphiphile-ionic amphiphile-salt. *J. Phys. Chem.*, 1988, 92, 1557-1563.