



(10) **DE 10 2013 109 621 B4** 2021.02.11

(12)

Patentschrift

(21) Aktenzeichen: **10 2013 109 621.2**
(22) Anmeldetag: **04.09.2013**
(43) Offenlegungstag: **05.06.2014**
(45) Veröffentlichungstag
der Patenterteilung: **11.02.2021**

(51) Int Cl.: **B29C 59/02 (2006.01)**
B29C 59/00 (2006.01)
B29C 59/04 (2006.01)
B32B 33/00 (2006.01)
B32B 37/10 (2006.01)

Innerhalb von neun Monaten nach Veröffentlichung der Patenterteilung kann nach § 59 Patentgesetz gegen das Patent Einspruch erhoben werden. Der Einspruch ist schriftlich zu erklären und zu begründen. Innerhalb der Einspruchsfrist ist eine Einspruchsgebühr in Höhe von 200 Euro zu entrichten (§ 6 Patentkostengesetz in Verbindung mit der Anlage zu § 2 Abs. 1 Patentkostengesetz).

(66) Innere Priorität:
10 2012 111 089.1 19.11.2012

(73) Patentinhaber:
**Karlsruher Institut für Technologie, 76131
Karlsruhe, DE**

(72) Erfinder:
**Hopf, Andreas, 76131 Karlsruhe, DE; Hölscher,
Hendrik, Dr., 76356 Weingarten, DE; Röhrig,
Michael, 76669 Bad Schönborn, DE; Schneider,
Marc, 76356 Weingarten, DE; Worgull, Matthias,
Dr., 76297 Stutensee, DE**

(56) Ermittelter Stand der Technik:

DE	10 2006 007 800	B3
DE	10 2008 053 619	A1
US	6 605 332	B2

**U. Fischer et al.: Tabellenbuch Metall. 41
Auflage. Haan-Gruiten : Verlag Europa-Lehrmittel,
2002. - ISBN -**

**W. Beitz, K.-H. Grote: Dubbel Taschenbuch für
den Maschinenbau. 19. Auflage. Berlin : Springer-
Verlag, 1997. - ISBN -**

(54) Bezeichnung: **Verfahren zur Herstellung eines Formkörpers mit superhydrophober Oberfläche und
Formkörper erhältlich mit diesem Verfahren und dessen Verwendung**

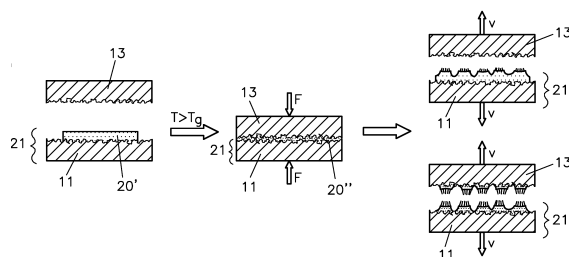
(57) Hauptanspruch: Verfahren zur Herstellung eines
Formkörpers mit den Verfahrensschritten

a) Bereitstellen eines Verbunds (21) aus einer ersten Platte (11) mit einer in eine Oberfläche der ersten Platte (11) eingepressten Polymerfolie (20'),

b) Bereitstellen einer dritten Platte (13), die zumindest teilweise auf einer ihrer Oberflächen Rauheiten aufweist, die eine mittlere Rauheit R_a von 1 μm bis 30 μm und eine gemittelten Rautiefe R_z von 20 μm bis 100 μm besitzen,

c) Platzieren der dritten Platte (13) gegenüber der eingepressten Polymerfolie (20'), ohne dass die dritte Platte (13) den Verbund (21) berührt, anschließendes Erwärmen der dritten Platte (13) auf eine Temperatur oberhalb der Glasübergangstemperatur T_g des in der Polymerfolie (20') enthaltenen Polymers, ohne dass der Verbund (21) erwärmt wird, und Inkontaktbringen der erwärmten dritten Platte (13) mit der der ersten Platte abgewandten Oberfläche der Polymerfolie (20'), wodurch das Polymer aus der Polymerfolie (20') zumindest teilweise in die Rauheiten der dritten Platte (13) eindringt,

d) Strukturieren der der dritten Platte (13) zugewandten Oberfläche der eingepressten Polymerfolie (20') durch eine Relativbewegung, die die dritte Platte (13) von der ersten Platte (11) entfernt, solange die eingepresste Polymerfolie (20') erweicht bleibt und sich hierdurch in die Länge ziehen lässt, wodurch sich ein modifizierter Verbund (21'), der den gewünschten Formkörper umfasst, ausbildet.



Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Herstellung eines Formkörpers und einen Formkörper, der durch dieses Verfahren erhältlich ist, sowie eine Verwendung des Formkörpers zur Trennung einer nicht-polaren Flüssigkeit von einer polaren Flüssigkeit.

[0002] Die Frage der Benetzbarkeit einer Oberfläche mit Wasser bildet die Basis für viele technische Lösungen in den Bereichen Dichtungen, selbstreinigende Oberflächen oder Trinkwassergewinnung. Hierfür hat die Natur bereits vielfältige Lösungen entwickelt, die oftmals aus einer Strukturierung bzw. einer ausgewählten chemischen Zusammensetzung der natürlichen Oberfläche resultieren.

[0003] Eines der bekanntesten Beispiele hierfür ist die Lotuspflanze, deren Blätter mit mikrometergroßen Papillen besetzt sind, auf denen sich eine epicuticulare Wachsschicht befindet. Durch eine geeignete Kombination aus Strukturierung und Oberflächenchemie ergibt sich eine geringe Benetzbarkeit der Blätter der Lotuspflanze mit Wasser, worauf die berühmte Fähigkeit der Lotuspflanze zur Selbstreinigung basiert.

[0004] Der Namibische Wüstenkäfer macht sich die Benetzbarkeit durch Wasser in besonderem Maße zu Nutzen. Um in der heißen Wüste genügend Wasser aufnehmen zu können, streckt er bei aufkommendem Nebel seine Flügel, die mit mikrometergroßen hydrophilen Erhebungen und hydrophoben Mulden bedeckt sind, in die feuchte Umgebung, woraufhin der Nebel an den Flügeln kondensiert und Tropfen formt, die, nachdem sie eine gewisse Größe erreicht haben, direkt in den Mund des Käfers laufen.

[0005] Die DE 10 2008 053 619 A1 offenbart ein Verfahren zur Herstellung eines technischen Formkörpers. Hierzu werden eine Schicht eines aushärtbaren Kunststoffes zwischen zwei parallele, wärmeleitfähige Platten eingebracht, ein Pressdruck zwischen die beiden Platten angelegt und die beiden Platten aufgeheizt, so dass die Schicht auf eine Temperatur oberhalb des Glaspunkts des Kunststoffes erwärmt wird. Die beiden Platten unterscheiden sich dadurch, dass sie auf ihrer Oberfläche eine unterschiedliche Adhäsionskraft oder Rauheit aufweisen oder sie auf zwei verschiedene Temperaturen erhitzt werden. Anschließend werden die beiden Platten unter Beibehaltung der Temperatur auseinander gezogen, wodurch die Schicht an einer der beiden Platten haften bleibt, während sich an der anderen Platte eine Vielzahl von ersten Fäden ausbildet. Nach Aushärten des Kunststoffes wird ein Substrat, auf das eine Vielzahl von ersten Fäden aufgebracht ist, erhalten und zwischen zwei parallele, wärmeleitfähige Platten eingebracht. Nach Anlegen eines Pressdrucks und Aufhei-

zen der beiden Platten auf eine Temperatur oberhalb des Glaspunkts werden die beiden Platten unter Beibehaltung der Temperatur auseinander gezogen, wodurch das Substrat an einer der beiden Platten haften bleibt, während sich an der anderen der beiden Platten eine Vielzahl von zweiten Fäden, deren Unterseiten jeweils fest mit der Oberfläche jedes ersten Fadens verbunden ist, ausbildet.

[0006] Ähnlich wird auch in DE 10 2006 007 800 B3 eine Oberfläche strukturiert, die eine Vielzahl von fadenförmigen Vorsprüngen aufweist, indem zwei sich gegenseitig berührende Flächen getrennt werden.

[0007] In der US 6 605 332 B2 wird ein Polymersubstrat bereitgestellt, das eine Vielzahl von Mikrofasern mit einer an seiner Oberfläche aufweist. Am ausgefransten Ende der Mikrofasern befindet sich zusätzlich eine Vielzahl von Fäserchen.

[0008] Der Begriff der Rauheit bezeichnet gemäß U. Fischer et al., Tabellenbuch Metall, 41. neubearbeitete und erweiterte Auflage, Verlag Europa-Lehrmittel, Haan-Gruiten (2002) eine Form der Gestaltabweichung, hervorgerufen durch Abweichungen der Ist-Oberfläche (messtechnisch erfassbare Oberfläche) von der geometrisch idealen Oberfläche, deren Nennform durch eine Zeichnung definiert ist. Eine solche Unebenheit einer Oberflächenhöhe wird messtechnisch erfasst und mittels der Parameter der mittleren Rauheit R_a und der gemittelten Rautiefe R_z zahlenmäßig charakterisiert. Diese Rauheitskenngrößen werden nach W. Beitz und K.-H. Grote, Dubbel Taschenbuch für den Maschinenbau, 19. Auflage, Springer-Verlag Berlin (1997) ausgehend von der Bezugsoberfläche erfasst, die im Regelfall die Form der geometrischen Oberfläche hat und in ihrer Lage im Raum mit der Hauptrichtung der wirklichen Oberfläche übereinstimmt.

[0009] Der Parameter der mittleren Rauheit R_a entspricht dem arithmetischen Mittel der Abweichung eines Messpunktes auf der Oberfläche von der Mittellinie. Der Parameter der gemittelten Rautiefe R_z wird ermittelt, indem eine definierte Messstrecke auf der Oberfläche des Werkstücks in sieben gleich große Einzelmessstrecken eingeteilt wird, wobei die Auswertung nur über fünf dieser Strecken erfolgt. Von jeder der Einzelmessstrecken wird die Differenz aus maximalem und minimalem Wert ermittelt und hieraus abschließend der Mittelwert gebildet.

[0010] Die Separation von Öl-Wasser Emulsionen stellt eine große technische Herausforderung dar. Insbesondere durch Umweltkatastrophen auf offener See rückt die Beseitigung von Ölteppichen immer wieder in den Fokus.

[0011] Zur Beseitigung eines Ölteppichs auf hoher See stehen grundsätzlich drei Möglichkeiten zur Verfügung:

- das Abschöpfen des Öls,
- die Beschleunigung der natürlichen Zersetzung des Öls durch Zugabe von Dispergiermitteln,
- sowie die Verbrennung des Ölfilms auf dem offenen Meer. Unter Durchführung der beiden letztgenannten Möglichkeiten ist keine fachgerechte Entsorgung des Öls möglich, darum wird die Abschöpfung des Öls priorisiert. Um die aufwändige Aufbereitung des abgeschöpften Öl-Wasser-Gemischs zu vermeiden, müssen selektive Sorbenzien eingesetzt werden. Üblicherweise werden hierzu natürliche Absorbenzien herangezogen. Als natürliche Absorbenzien dienen beispielsweise Sägespäne, Reisstroh oder Baumwolle. Diese saugen zwar, wenn auch in recht geringem Maße, Öl auf, jedoch wird ihre Einsatzfähigkeit durch eine schlechte Schwimmfähigkeit und vor allem aufgrund ihrer ausgeprägten Neigung zur Wasseraufnahme stark eingeschränkt.

[0012] Daneben werden auch Sorbenzien auf mineralischer Basis wie Zeolith oder Silica-Schäume eingesetzt. Weitere auf dem Markt und in der Forschung verfügbare Sorbenzien sind synthetische organische Absorbenzien wie kommerziell erhältliche Polypropylen- oder Polyurethan-Matten, die diese Lücke zu schließen scheinen. Sie zeichnen sich zunächst durch eine rasche und hohe Ölaufnahme aus. Die Wasseraufnahme ist gering, aber dennoch vorhanden. Bei der Entnahme dieser Matten aus dem Wasser wird jedoch eine Schwachstelle sichtbar: die Rückhaltung des Öls ist stark beschränkt. Dies hat zur Folge, dass bei der Entnahme der Matten ca. 50% des aufgefangenen Öls in das Meer zurückfließt. Das Gros der erhältlichen Absorbenzien nicht die erforderliche Hydrophobizität. Neben Öl wird zusätzlich Wasser, teils in sehr hohem Ausmaß, aufgenommen. Die selektive Aufnahme von Öl ist sowohl bei natürlichen als auch mineralischen Absorbenzien nicht ausreichend gewährleistet.

[0013] Ausgehend hiervon ist es die Aufgabe der vorliegenden Erfindung, ein Verfahren zur Herstellung eines Formkörpers und einen damit erhältlichen Formkörper vorzuschlagen, welche die vorher genannten Nachteile und Einschränkungen nicht aufweisen.

[0014] Insbesondere soll ein Verfahren bereitgestellt werden, mit dem sich auf möglichst einfache Weise superhydrophobe Oberflächen für eine Vielzahl von technischen Anwendungen herstellen lassen, wobei sich Art und Grad der Haftung der Oberfläche zu Wasser mittels ausgewählter Verfahrensparameter einstellen lassen. Die Aufgabe besteht insbe-

sondere darin, einen Formkörper mit superhydrophoben Oberflächen bereitzustellen, die einen weitgehend vollständig wasserabweisenden Charakter aufweisen und/oder Wassertropfen festhalten können.

[0015] Weiterhin besteht die Aufgabe der vorliegenden Erfindung darin, den Formkörper mit superhydrophoben Eigenschaften als Trennungsmittel einer nicht-polaren Lösung von einer polaren Flüssigkeit zu verwenden und insbesondere dabei eine ungewollte Rückvermischung der bereits getrennten Flüssigkeiten zu vermeiden.

[0016] Diese Aufgabe wird in Bezug auf das Verfahren durch die Verfahrensschritte des Anspruchs 1, in Bezug auf den damit erhältlichen Formkörper durch die Merkmale des Anspruchs 9 und hinsichtlich der Verwendung des Formkörpers durch den Anspruch 11 gelöst. Die abhängigen Ansprüche beschreiben vorteilhafte Ausgestaltungen der Erfindung.

[0017] Erfindungsgemäß wird ein Formkörper hergestellt, der eine superhydrophobe Oberfläche aus einem Polymer aufweist, die mittels eines besonders ausgestalteten Umformverfahrens erhältlich ist. Das eingesetzte Polymer selbst kann hydrophilen oder hydrophoben Ursprungscharakter aufweisen. Die Oberfläche des erfindungsgemäßen Formkörpers weist eine Kraterstruktur mit Kratern mit einem mittleren Durchmesser von 2 µm bis 250 µm und einer Höhe von 1 µm bis 500 µm auf, auf deren Oberkanten Polymerhärrchen mit einer Länge von 0,5 µm bis 200 µm ausgebildet sind.

[0018] In einer ersten Ausgestaltung entspricht die Länge der Polymerhärrchen dem 0,5-fachen bis 10-fachen der mittleren Durchmesser der Krater (siehe **Fig. 2a** und **b**). Wie sich aus damit durchgeführten Versuchen ergab, weisen diese Strukturen einen weitgehend vollständig wasserabweisenden Charakter auf und ahmen durch ihre geometrische Ausprägung den Lotuseffekt nach.

[0019] In einer zweiten Ausgestaltung entspricht die Länge der Polymerhärrchen dem 0,01-fachen bis 0,5-fachen der mittleren Durchmesser der Krater (siehe **Fig. 2c**). Wie sich aus durchgeführten Versuchen ergab, ermöglichen diese Strukturen als Funktion der Dichte der Krater zusammen mit der Dichte der sich auf der Oberkante der Krater befindlichen Polymerhärrchen keine oder eine hohe Haftung der Oberfläche des Formkörpers insbesondere zu Wasser. Bei geeigneter Wahl dieser Funktion lassen sich damit auf der Oberfläche des Formkörpers Strukturen ausbilden, die in der Lage sind, Wassertropfen festzuhalten.

[0020] Der Formkörper ist erhältlich durch ein erfindungsgemäßes Verfahren, das die Verfahrensschritte a) bis d) umfasst.

[0021] In einem ersten Verfahrensschritt a) wird zunächst ein Verbund zwischen einer ersten Platte und einer Polymerfolie bereitgestellt. Unter einer Polymerfolie wird hier ein ebenes und ausgedehntes Gebilde aus einem Polymer, insbesondere ein thermoplastisches Polymer (Thermoplast), verstanden, das eine Dicke von 1 μm bis 10 cm, bevorzugt von 250 μm bis 2mm, aufweist.

[0022] Die Herstellung des Verbunds aus der ersten Platte und der Polymerfolie erfolgt vorzugsweise, indem hierzu zunächst die Polymerfolie zwischen die erste Platte und eine zweite Platte eingelegt wird. In der Praxis besitzt stets eine der beiden Platten (erste Platte) eine höhere Haftung zum Polymer, während die andere der beiden Platten (zweite Platte) eine geringere Haftung zum Polymer aufweist, insbesondere dann, wenn sie bereits eine polierte oder geschliffene Oberfläche besitzt, oder indem eine Trennschicht zwischen ihr und der Polymerfolie eingelegt wird. Um den Verbund aus der Polymerfolie mit der ersten, gut haftenden Platte zu erzeugen, werden anschließend vorzugsweise beide Platten auf eine Temperatur oberhalb der Glasübergangstemperatur T_g des in der Polymerfolie enthaltenen Polymers erhitzt, wobei das erweichte Polymer durch ein Aufbringen einer Prägekraft derart an die erste Platte gepresst wird, dass dadurch der Verbund aus der Polymerfolie mit der ersten Platte gebildet und abschließend Polymerverbund und Gegenplatte voneinander getrennt wird.

[0023] In einem zweiten Verfahrensschritt b) wird eine dritte Platte bereitgestellt, die Rauheiten besitzt, die über eine mittlere Rauheit R_a von 1 μm bis 20 μm , bevorzugt von 8 μm bis 15 μm , und über eine gemittelte Rautiefe R_z von 30 μm bis 100 μm , bevorzugt von 40 μm bis 50 μm , verfügen. Das Erzeugen der erforderlichen Rauheiten erfolgt vorzugsweise durch eine Einwirkung von Partikeln, bevorzugt Sandstrahlen, auf mindestens einer Seite der dritten Platte.

[0024] In einem dritten Verfahrensschritt c), der den eigentlichen Umformschritt darstellt, werden an der Oberfläche der Polymerfolie die oben beschriebenen gewünschten Strukturen erzeugt. Die dritte Platte dient im Umformverfahren als Formeinsatzplatte und wird demgemäß gegenüber dem in Verfahrensschritt a) erzeugten Verbund aus der ersten Platte und der Polymerfolie platziert, ohne bereits jetzt den Verbund zu berühren. Hieran anschließend wird die dritte Platte über die Glasübergangstemperatur T_g des in der Polymerfolie enthaltenen Polymers erwärmt, wobei der Verbund aus der ersten Platte und der Polymerfolie selbst nicht erwärmt wird. Tritt daraufhin die nun heiße dritte Platte in ihrer Eigenschaft als Formeinsatzplatte unter Krafteinwirkung mit der Polymerfolie in Kontakt, wird das Polymer aus der Polymerfolie teilweise in die bestehenden Rauheiten der dritten Platte eingepresst.

[0025] In einem vierten Verfahrensschritt d), der den Entformvorgang darstellt, wird die der dritten Platte zugewandte andere Oberfläche der Polymerfolie durch eine Relativbewegung zwischen der ersten Platte aus dem Verbund und der als Formeinsatzplatte dienenden dritten Platte strukturiert, solange die Polymerfolie, -die sich im Verbund mit der ersten Platte befindet und daher durch die Relativbewegung mit erfasst wird, während des Entformvorgangs weiterhin erweicht bleibt, d.h. solange ihre Temperatur ungefähr der Glasübergangstemperatur entspricht, und sich hierdurch in die Länge ziehen lässt. Die Richtung der Relativbewegung ist hierbei im Wesentlichen antiparallel zur Richtung der Krafteinwirkung und senkrecht oder schräg bzgl. der mittleren Oberfläche der ersten Platte, einschließlich der damit im Verbund stehenden Polymerfolie, und der dritten Platte.

[0026] Die genaue geometrische Ausprägung der Strukturen wird hierbei durch eine fachmännisch geläufige Wahl eines Parametersatzes, der die folgenden Parameter

- Temperatur, auf die die dritte Platte während des Verfahrensschritts b) erwärmt wird,
- Rauheit der dritten Platte,
- Höhe der Kraft, mit der die heiße dritte Platte während des Verfahrensschritts b) in ihrer Eigenschaft als Formeinsatzplatte mit der Polymerfolie in Kontakt tritt,
- Haltezeit, während der die Kraft auf Polymerfolie einwirkt, und
- Entformgeschwindigkeit, mit der die Relativbewegung zwischen der ersten Platte aus dem Verbund und der als Formeinsatzplatte dienenden dritten Platte erfolgt,

umfasst, eingestellt.

[0027] Abhängig vom gewählten Parametersatz, insbesondere bei einer Temperatur unterhalb des Schmelzbereichs des Polymers, erfolgt ein vorzugsweise rückstandsfreies Entformen (Ziehen) der eingepressten Polymerfolie von der noch erwärmten dritten Platte, wodurch dichte, feine Polymerhärrchen gezogen werden (siehe **Fig. 2a**), die in Form einer Kraterstruktur angeordnet sind (siehe **Fig. 2b**). Durch ihre Art der geometrischen Ausprägung ahmen diese Strukturen den Lotuseffekt nach.

[0028] Bei einem anders gewählten Parametersatz, insbesondere bei einer Temperatur im Schmelzbereich des Polymers, führt ein Entformen der eingepressten Polymerfolie von der noch erwärmten dritten Platte zu einem Auseinanderreißen der Polymerschicht, wodurch feine Krater erzeugt werden, an deren Oberkante sich kleinste Polymerhärrchen befinden (siehe **Fig. 2c**). Diese Strukturen ermöglichen als Funktion der Dichte der Krater zusammen mit der

Dichte der sich auf der Oberkante der Krater befindlichen Polymerhärchen eine hohe Haftung der geformten Polymerschicht insbesondere zu Wasser.

[0029] Bei einem weiteren Parametersatz, insbesondere bei einer Temperatur, die zwischen den bisher beschriebenen Ausgestaltungen liegt, werden beim Entformen Krater erzeugt, an deren Oberkante sich längere Polymerhärchen befinden (siehe **Fig. 2d**), die im Vergleich zu einem mittleren Grad an Haftung der geformten Polymerschicht insbesondere zu Wasser führen.

[0030] In einer alternativen Ausgestaltung sind die im vorliegenden Verfahren eingesetzte erste Platte und/oder zweite Platte und/oder dritte Platte in Form einer Walze ausgestaltet. Eine derartige Ausgestaltung ermöglicht einen erheblich höheren Durchsatz bei der praktischen Durchführung des vorliegenden Verfahrens.

[0031] Ein erfindungsgemäß ausgestalteter Formkörper lässt sich überall dort verwenden, wo Oberflächen gewollt oder ungewollt mit Wasser oder Feuchtigkeit bzw. wasser- oder feuchtigkeitsbasierten Stoffen oder Ölen oder ölhaltigen Flüssigkeiten in Kontakt kommen.

[0032] Ein erster Einsatzbereich sind selbstreinigende Oberflächen, die sich für eine Vielzahl von Produkten eignen, insbesondere für sterile Medizingeräten, im Laborbedarf, in der Lebensmittelindustrie, bei Plastikgeschirr, Vorratsdosen, Backformen und -papier, für schmutzabweisende Kleidung, bei selbstreinigenden Dachziegeln oder für vollständig entleerbare Klebeflaschen. Zu diesem Bereich gehören auch wasserabweisende Oberflächen, vorzugsweise in Dichtungen, als Anti-Beschlag, bevorzugt für Brillengläser, als Korrosionsschutz, indem ein Kontakt des Wassers mit der Oberfläche verhindert wird, als wasserabweisende Kleidung oder als innenstrukturierte Schläuche zur Verringerung der Reibung bzw. der Veränderung der Strömungseigenschaften.

[0033] Ein zweiter Einsatzbereich ist die Lufthaltung, insbesondere als Korrosionsschutz unter Wasser, als Beschichtung für Schiffsrümpfe zur Verringerung der Reibung in Wasser, zur Reibungsminimierung im Wasser durch Lufthaltung der Strukturen mit dem Zweck der Treibstoffersparnis in der Schifffahrt.

[0034] Ein weiterer Einsatzbereich ist die Wasserhaltung, insbesondere zum Zurückhalten von Kondenswasser, bevorzugt in Räumen oder Flugzeugen, um einen Niederschlag des Kondenswassers in Passagierbereichen zu verhindern, als Wasserauffangbehälter, in Kinder-Lätzchen oder Windeln. Zu diesem Bereich gehört auch die Trinkwassergewinnung, insbesondere ein sog. Water-Harvesting nach dem Vorbild des eingangs genannten namibischen

Wüstenkäfers, Zelte, die auch in trockenen Regionen Wasser der feuchten Umgebungsluft entziehen, oder die Bewässerungslandwirtschaft.

[0035] Ein weiterer Einsatzbereich sind die kanalfreie Mikrofluidik und Lab-on-a-chip Systeme, bei denen Tröpfchen mittels hydrophiler und/oder hydrophober Bereiche in einem Kanal bzw. über eine Oberfläche geführt werden.

[0036] Der erfindungsgemäß ausgestaltete Formkörper findet weiterhin Verwendung als Trennungsmittel mindestens einer unpolaren Flüssigkeit und mindestens einer polaren Flüssigkeit. Zur Durchführung der Trennung wird zunächst ein Formkörper bereitgestellt, der zumindest teilweise eine gleichzeitig superhydrophobe und superlipophile nanostrukturierte Oberfläche aufweist. Durch die Nanostrukturierung ist die Oberfläche fähig mehr Öl aufzunehmen. Anschließend wird der Formkörper mit der zumindest teilweise superhydrophoben nanostrukturierten Oberfläche mit einer Mischung in Kontakt gebracht, umfassend mindestens eine unpolare Flüssigkeit und mindestens eine polare Flüssigkeit, die zu trennen sind. Dabei wird die unpolare Flüssigkeit auf der superhydrophoben nanostrukturierten Oberfläche des Formkörpers aufgenommen. Zum Schluss wird der Formkörper mit der superhydrophoben nanostrukturierten Oberfläche, auf die zumindest teilweise die unpolare Flüssigkeit aufgenommen wurde, entnommen.

[0037] Um die Benetzbarkeit einer Flüssigkeit bei Kontakt mit einer Oberfläche einzuschätzen wird der sogenannte Spreitparameter S ermittelt, der die Differenz zwischen der Oberflächenspannung des Substrats γ_{SV} , der Oberflächenspannung der Flüssigkeit γ_{LV} und der Grenzflächenspannung zwischen Substrat und Flüssigkeit γ_{SL} beschreibt:

$$S = \gamma_{SV} - (\gamma_{LV} + \gamma_{SL})$$

Im Falle eines positiven Spreitparameters $S > 0$, benetzt die Flüssigkeit das Substrat vollständig und bildet einen dünnen Film an dessen Oberfläche. Ist der Spreitparameter negativ benetzt die Flüssigkeit das Substrat nur partiell. Je kleiner der Spreitparameter, desto grösser die Benetzbarkeit der Oberfläche. Kontaktwinkel θ der entstehenden Tropfen unter 90° bedeuten benetzbare Oberflächen, während Kontaktwinkel über 90° unbenetzbaren Oberflächen entsprechen. Benutzt man $\theta=90^\circ$ als Randbedingung, ergibt die Youngsche Gleichung, $\gamma_{SL} = \gamma_{SV}$ und der Spreitparameter S_b , der die Grenze zwischen Benetzbarkeit und Unbenetzbarkeit darstellt, ist gleich $-\gamma_{LV}$. Wenn die Grenzflächenspannungen für die Grenzflächen zwischen Substrat/Gas und zwischen Flüssigkeit/Gas bekannt sind, lässt sich nach D. K. Owens and R. C. Wendt, Estimation of the surface free ener-

gy of polymers, Journal of Applied Polymer Science, 13(8):1741-1747, 1969, die entsprechende Grenzflächenspannung für die Grenzfläche zwischen Substrat/Flüssigkeit herausfinden, wobei d und p für die disperse bzw. die polare stehen. Demnach reicht es aus, die Oberflächenspannung vom Substrat und die Oberflächenspannung von der Flüssigkeit zu kennen, um den Spreitparameter S zu bestimmen und die Benetzbarkeit vorherzusagen.

[0038] Daraus wird als superhydrophob eine äußerst hydrophobe Oberfläche definiert, die sehr schwer benetzbar ist, d.h. bei der die entsprechenden Kontaktwinkel eines Wassertropfens grösser als 150° sind.

[0039] Als superhydrophil wird eine Oberfläche bezeichnet, die vollständig mit Wasser benetzbar ist, wobei der Spreitparameter $S > 0$ ist. Analog dazu ist ein superlipophiles Material so lipophil oder öläffin, dass sich das Öl komplett auf der Oberfläche verteilt bis zur vollständigen Benetzung mit mindestens einer Monolage.

[0040] In einer besonderen Ausgestaltung ist der Formkörper eine Folie. Bereits bekannte Adsorbenzien sind entweder Granulate, Aerogel, Schäume oder filzartige Matten. Öl wird nach erfolgreicher Trennung von Wasser durch das erfindungsgemäße Verfahren deutlich leichter von der Folie getrennt und anschließend entsorgt als dies bei den bekannten Absorbenzien der Fall ist.

[0041] In einer besonderen Ausgestaltung weist die zumindest teilweise superhydrophobe nanostrukturierte Oberfläche eine Kraterstruktur auf, wobei auf der Oberkante der Krater Härchen ausgebildet sind.

[0042] Vorzugsweise nimmt die superhydrophobe nanostrukturierte Oberfläche des Formkörpers die unpolare Flüssigkeit auf, indem letztere an der nanostrukturierten Oberfläche adsorbiert wird. Daher unterscheidet sich die Aufnahme der Flüssigkeit von einer Absorption, bei der diese in das Innere des Formkörpers eindringt. Die selektive Aufnahme der unpolaren Flüssigkeit erfolgt durch die Härchen. Die aufgesammelte Flüssigkeit besteht aufgrund der hohen Hydrophobizität des Formkörpers meist aus der reinen unpolaren Flüssigkeit. Überraschenderweise, ist der erfindungsgemäße Formkörper gleichzeitig superlipophil. Die Härchen auf der Oberkante der Krater nehmen also die unpolare Flüssigkeit selektiv auf und halten sie fest.

[0043] Zwar sind hydrophobe Substanzen oft gleichzeitig lipophil. Überraschenderweise besitzt der Formkörper aber eine äußerst ungewöhnlich hohe Hydrophobizität, und gleichzeitig auch eine äußerst ungewöhnlich hohe Lipophilität. Die Benetzbarkeit des Formkörpers durch unpolare Flüssigkeiten wie Öle und polares Wasser könnte kaum höher sein.

Kontaktwinkel von deutlich unterhalb 10° für n-Hexadecan und oberhalb von 170° für Wasser, wie es **Fig. 3** zeigt, sind nahe am physikalisch größtmöglichen Unterschied. Öl, welches an dem Formkörper bzw. an der nanostrukturierten Folie adsorbiert, wird restlos festgehalten. Auch mehrmaliges wiederholtes Eintauchen einer mit Öl benetzten Fläche führt nicht zum Abspülen des Öls. Aufgrund der enormen Hydrophobizität sollte auch enormer Wellengang nicht zu einem Eindringen von Wasser oder Abspülen des Öls führen.

[0044] In einer weiteren Ausgestaltung erfolgt das Inkontaktbringen des Formkörpers mit der zu trennenden Mischung durch Eintauchen des Formkörpers in die zu trennende Mischung oder letztere wird direkt auf den Formkörper aufgebracht.

[0045] In einer besonderen Ausgestaltung ist die zu trennende Mischung eine sichtbare heterogene Mischung aus einer unpolaren Flüssigkeit und einer polaren Flüssigkeit oder eine Emulsion einer unpolaren Flüssigkeit in einer polaren Flüssigkeit. Unter einer Emulsion wird ein fein verteiltes Gemisch zweier normalerweise nicht mischbarer Flüssigkeiten ohne sichtbare Entmischung definiert.

[0046] Die vorliegende Erfindung betrifft weiterhin eine Verwendung des Verfahrens zur Trennung einer unpolaren Flüssigkeit von einer polaren Flüssigkeit als Aufnahmeverfahren von Ölschichten auf Wasseroberflächen, wo das Entfernen des Öls aus dem verschmutzten Gewässer sei es Süß- oder Salzwasser auch bei Wellen durch intelligente Ölsperren oder Ölabsauger sogenannte Ölskimmer erfolgen kann. Aufgrund der enormen Hydrophobizität und der völligen Ölrückhaltung sollte auch enormer Wellengang nicht zu einem Eindringen von Wasser oder Abspülen des Öls führen. Weiterhin ist das Verfahren zur Reinhaltung von Gewässern oder zum Entfernen von Öl aus Abwässern oder zur Wiederaufbereitung in Kläranlagen geeignet. Zudem kann das Verfahren zur Aufbereitung von Kühlwasser nach längeren Standzeiten durch Entfernen von Öl aus Kühlmittel eingesetzt werden. Das Verfahren dient auch in der Filtertechnik für Filteranwendungen, wo Emulsionen auf den Formkörper direkt aufgebracht werden und die unpolare Flüssigkeit an der nanostrukturierten Oberfläche adsorbiert wird.

[0047] Die Erfindung weist insbesondere die im Folgenden genannten Vorteile auf. Der Verzicht auf Formeinsätze mit einer geometrisch vorbestimmten Struktur erfordert nur einen geringen technischen Aufwand. Das erfindungsgemäße Verfahren ist aufgrund seiner Einfachheit gut skalierbar und damit massentauglich.

[0048] Die erfindungsgemäßen Verfahrensprodukte weisen eine Oberflächenstrukturierung auf, die bis-

her nur mittels des vorliegenden Verfahrens erzielbar sind. Insbesondere konnte in Versuchen nachgewiesen werden, dass damit eine Steigerung des Kontaktwinkels um bis zu 100° möglich ist.

[0049] Ein besonderer Vorteil bei der Verwendung ist, dass sie wenig aufwändig ist. Durch das Eintauchen des Formkörpers wird an dessen nanostrukturierter Oberfläche die unpolare Flüssigkeit selektiv adsorbiert.

[0050] Die unpolare Flüssigkeit ist deutlich leichter von dem Formkörper zu trennen, um anschließend entsorgt zu werden, als es mit den aus dem Stand der Technik bekannten Absorbenzien der Fall ist.

[0051] Ein weiterer Vorteil der vorliegenden Erfindung ist der hohe Unterschied in der Benetzbarkeit des Formkörpers durch unpolare Flüssigkeiten und polare Flüssigkeiten. Parallel zu der hohen Abweisung der polaren Flüssigkeit, welche es ermöglicht keine polare Flüssigkeit aufzunehmen, wird nämlich die unpolare Flüssigkeit adsorbiert und restlos festgehalten. Auch mehrmaliges Eintauchen einer mit unpolarer Flüssigkeit benetzten Oberfläche führt nicht zu einem Abspülen der unpolaren Flüssigkeit.

[0052] Die Erfindung wird im Folgenden anhand von Ausführungsbeispielen und den Figuren näher erläutert.

[0053] Es zeigen:

Fig. 1 Schematische Darstellung einer bevorzugten Ausführung der erfindungsgemäßen Verfahrensschritte a) bis d);

Fig. 2 a) bis Fig. d) Mit dem erfindungsgemäßen Verfahren hergestellte Formkörper mit superhydrophoben Oberflächen;

Fig. 3 a) Erfindungsgemäß mögliche Umwandlung eines hydrophilen Ausgangsmaterials in ein b) Material, das superhydrophobe Kontaktwinkel aufweist, ohne dass dabei eine chemische Modifizierung der Oberfläche stattfindet.

Fig. 4 Aufnahmen der nanostrukturierten Folie vor, während und nach deren Eintauchen in ein mit einer Öl-Wasser-Mischung gefülltes Becherglas.

Fig. 5 Untersuchungen des Benetzungsverhaltens von Wasser und n-Hexadecan.

Fig. 6 Spreitparameter als Funktion der polaren Komponenten der Oberflächenspannung.

Fig. 7 Oberflächenspannung von erprobten Flüssigkeiten und deren dispersiven und polaren Komponenten.

[0054] In **Fig. 1** ist das erfindungsgemäße Verfahren schematisch dargestellt. Gemäß **Fig. 1 a)** wird

in einer besonders bevorzugten Ausgestaltung des ersten Verfahrensschritts a) eine Polymerfolie **20** aus Polycarbonat (PC) zwischen eine erste Platte **11** und eine zweite Platte **12** platziert. Hierbei besitzt die erste Platte **11** aufgrund ihrer rauen Oberfläche eine höhere Haftung gegenüber der Polymerfolie **20**, während die zweite Platte **12** aufgrund ihrer geschliffenen Oberfläche eine geringere Haftung zur Polymerfolie **20** aufweist. Hieran anschließend werden beide Platten **11**, **12** auf eine Temperatur oberhalb T_g erhitzt, so dass ein Aufbringen einer Prägekraft F das erweichte Polymer derart in die Rauheit der ersten Platte **11** hineinpresst, dass sich ein Verbund **21** aus der ersten Platte **11** mit der darin hineingepressten Polymerfolie **20'** ausbildet, der anschließend entformt wird.

[0055] Gemäß **Fig. 1b)** wird in einer besonders bevorzugten Ausgestaltung des zweiten Verfahrensschritts b) eine dritte Platte **13** mit einer mittleren Rauheit R_a' von 1 μm bis 20 μm und einer gemittelten Rautiefe R_z' von 30 μm bis 100 μm durch eine Einwirkung von Sandstrahlen **30** auf eine Seite einer bereitgestellten Platte **10** hergestellt.

[0056] In **Fig. 1c)** ist Verfahrensschritt c) und damit der eigentliche Umformschritt im erfindungsgemäßen Verfahren dargestellt. Hierzu wird die dritte Platte **13** als Formeinsatzplatte gegenüber dem in Verfahrensschritt a) erzeugten Verbund **21** aus der ersten Platte **11** und der darin hineingepressten Polymerfolie **20'** platziert, ohne dass die dritte Platte **13** bereits jetzt den Verbund **21** berührt. Hieran anschließend wird die dritte Platte **13** derart auf eine Temperatur oberhalb von T_g erwärmt, dass der Verbund **21** selbst nicht erwärmt wird. Sobald nun die heiße dritte Platte **13** als Formeinsatzplatte unter Einwirkung einer Kraft F mit der gepressten Polymerfolie **20'** aus dem Verbund **21** in Kontakt, dringt das Polymer aus der gepressten Polymerfolie **20'** teilweise in die bestehenden Rauheiten der dritten Platte **13** ein.

[0057] Gemäß **Fig. 1 d)** wird in einem vierten Verfahrensschritt d) durch eine Relativbewegung v zwischen der ersten Platte **11** aus dem Verbund **21** und der als Formeinsatzplatte dienenden dritten Platte **13** die der dritten Platte zugewandte andere Oberfläche der in die erste Platte **11** hineingepresste Polymerfolie **20'** strukturiert. Entscheidend ist hierbei, dass die hineingepresste Polymerfolie **20'**, die sich im Verbund **21** mit der ersten Platte **11** befindet und daher durch die Relativbewegung mit erfasst wird, während des Entformvorgangs weiterhin erweicht bleibt und sich hierdurch in die Länge ziehen lässt. Auf diese Weise bildet sich ein modifizierter Verbund **21'** aus, der den gewünschten Formkörper enthält. Aufgrund des gewählten Parametersatzes (s. o.) führt der Entformvorgang hier zu einem im Wesentlichen rückstandsfreien Entformen (Ziehen), wodurch dichte, feine Polymerhärchen gezogen werden, die in **Fig. 2a)** zu erkennen sind. Durch ihre geometrische Ausprä-

gung ahmen diese Strukturen den Lotuseffekt nach, wobei auch hierbei gemäß **Fig. 2b**) die charakteristische Kraterstruktur zu erkennen ist.

[0058] In **Fig. 1e**) ist eine Variante des vierten Verfahrensschritts d) dargestellt, bei der ein anderer Parametersatz gewählt wurde, der zu einem Auseinanderreißen der Polymerschicht führt. **Fig. 2c**) zeigt, dass so feine Krater erzeugt werden, an deren Oberkante sich kleinste Polymerhärrchen befinden. Diese Strukturen ermöglichen als Funktion der Dichte der Krater zusammen mit der Dichte der sich auf der Oberkante der Krater befindlichen Polymerhärrchen eine hohe Haftung der geformten Polymerschicht insbesondere zu Wasser.

[0059] **Fig. 2d**) zeigt eine weitere superhydrophobe Oberfläche mit einem weiteren Parametersatz, der zu Kratern führt, an deren Oberkante sich längere Polymerhärrchen befinden, die zu einem mittleren Grad an Haftung der geformten Polymerschicht insbesondere zu Wasser führen.

[0060] **Fig. 3** belegt, dass mit dem vorliegenden Verfahren selbst für hydrophile Ausgangsmaterialien, wie hier Polycarbonat (PC), superhydrophobe Kontaktwinkel erhalten werden, ohne dass hierzu eine chemische Modifizierung der Oberfläche erforderlich ist. **Fig. 3a**) zeigt, wie ein Tropfen auf einer hydrophilen Oberfläche aus Polycarbonat einen Kontaktwinkel von ca. 72° ausbildet.

[0061] Mit einer mit dem erfindungsgemäßen Verfahren durchgeführten Strukturierung wurde ein Formkörper erhalten, der an seiner nun strukturierten Oberfläche, ohne dass hierzu eine Behandlung mit chemischen Substanzen erfolgte, superhydrophobe Eigenschaften aufweist. Diese zeigen sich, wie in **Fig. 3b**) dargestellt, insbesondere im beobachteten Kontaktwinkel von ca. 172°.

[0062] **Fig. 4** zeigt Aufnahmen der nanostrukturierten Folie vor, während und nach deren Eintauchen in ein mit einer Öl-Wasser-Mischung gefülltes Becherglas. Das Wasser wird abgewiesen, während das Öl auf der Folie selektiv adsorbiert wird.

[0063] **Fig. 5** zeigt die Untersuchung des Benetzungsverhaltens von Wasser und n-Hexadecan. Durch Anwendung des Strukturgebungsverfahrens wird die strukturierte Polymerfolie wasserabweisend. Aufgegebenes n-Hexadecan spreitet jedoch an der strukturierten Polymerfolie und benetzt sie völlig. Es wurden Kontaktwinkel von deutlich unterhalb 10° für n-Hexadecan und oberhalb von 170° für Wasser gemessen, welche nahe am physikalisch größtmöglichen Unterschied sind.

[0064] **Fig. 6** stellt den Spreitparameter als Funktion der polaren Komponenten der Oberflächenspannung

dar. Die theoretischen Spreitparameter (Linien) sind aufgezeigt für 4 verschiedene Oberflächenspannungen. Gemessene Daten für die unstrukturierte Polycarbonatfolie: ausgefüllte Zeichen (Diiodmethan: ■, Thiodiglycol: ▼ und Wasser: ▲), für die nanostrukturierte Polycarbonatfolie: die entsprechenden leeren Zeichen außer für Diiodmethan: ○. Der theoretische Wert des Spreitparameters für n-Hexadecan auf die unstrukturierte Polycarbonatfolie ist als Raute markiert. ♦

Ausführungsbeispiel 1:

[0065] Zur Trennung mittels der superhydrophoben Folie wurde mit Ölfarbe gefärbtes Öl in einen Glasbecher mit Wasser gegeben. Anschließend wurde eine Folie in die Öl-Wasser Mischung eingetaucht und wieder herausgezogen. Das Experiment wurde mit verschiedenen unpolaren Flüssigkeiten durchgeführt (n-Hexadecan und Hydrauliköl „Total Azolla ZS 10“). Wie aus **Fig. 4** zu entnehmen ist, wird das Öl durch die nanostrukturierte Folie adsorbiert. Das gefärbte Öl steigt über den Wasserpegel auf. Beim Entnehmen der Folie wird das Öl an der strukturierten Folie durch die Härrchen festgehalten und wird somit vom Wasser getrennt. Das Wasser wird fast ausschließlich abgewiesen. Eine Öl-Aufnahme von bis zu 150 mL/m² wurde gemessen und zwar mit „Total Azolla ZS 10“.

Ausführungsbeispiel 2:

[0066] In diesem Ausführungsbeispiel wurde einen Emulsion von orangegefärbtem Öl in blauem Farbwasser auf eine geneigte nanostrukturierte Folie und auf die unstrukturierte Folie aufgebracht. Die aufgebrachte Emulsion entmischt sich nicht auf der unstrukturierten Oberfläche in der Zeit, wo diese auf der Folie hinunterläuft. Das Öl benetzt die unstrukturierte Oberfläche und der Rest der Emulsion gleitet auf der Folie ohne Entmischung weiter. Anders verläuft es bei der nanostrukturierten Folie, auf der sich die Emulsion entmischt, da das Öl adsorbiert wird und von den Nanohärrchen eingesperrt wird, während das Wasser abperlt. Das Wasser wird dadurch gereinigt.

[0067] Für die Oberflächenspannung von dem unstrukturierten Polycarbonat wurde ein Wert $\gamma_{SV} = 46, 78$ mN/m gemessen mit klarer Oberhand von den dispersiven Interaktionen (46,76 mN/m und 0,02 mN/m).

[0068] **Fig. 6** zeigt den Spreitparameter von der unstrukturierten Polycarbonatfolie abhängig von der polaren Komponente für verschiedene Oberflächenspannungen. Die ausgewählten Oberflächenspannungen entsprechen den Flüssigkeiten, die in **Fig. 7** aufgelistet. Der Spreitparameter und demnach auch die Benetzbarkeit gehen mit steigender Oberflächenspannung der Flüssigkeit zurück. Interessanterweise beeinflusst der Polaritätsanteil den Spreitparameter

ter noch deutlicher. Mit steigenden polaren Interaktionen im Gegenzug zu dispersive Interaktionen sinkt der Spreitparameter exponentiell. Die Verteilung der dispersiven und polaren Komponenten haben einen starken Einfluss auf das unstrukturierte Polycarbonat. Die Spreitparameter für Diiodmethan, Thiodiglycol und Wasser wurden errechnet durch Einsetzen der gemessenen statischen Kontaktwinkel in die Youngsche Gleichung. Die Lösung der Gleichung ergab den Wert für γ_{SL} . Gemäß der Gleichung zur Bestimmung der Spreitparameter wurden diese errechnet und in **Fig. 6** hinzugefügt. Interessanterweise gleichen sich die errechneten Daten den theoretischen Werten (Linien) sehr gut an. Des Weiteren wird der theoretische Spreitparameter für n-hexadecan durch eine braune Raute angezeigt. Die Tatsache, dass alle Datenpunkte sich weit über den Spreitparametern bei Randbedingung S_b befinden, zeigt dass alle erprobten Flüssigkeiten die unstrukturierte Polycarbonatfolie benetzen.

[0069] Für das nanostrukturierte Substrat ($\gamma_{SV} = 122,65 \text{ mN/m}$; $63,73 \text{ mN/m}$ und $58,92 \text{ mN/m}$) wurden die Spreitparameter der getesteten Flüssigkeiten analog gemessen (Kreise). Interessanterweise entsprachen die Veränderungen im Streitparameter der polaren Komponente der Oberflächenspannung. Der Spreitparameter des quasi unpolaren Diiodmethans ist leicht angestiegen, wobei der Spreitparameter für die Flüssigkeiten mit höherer Polarität sprich Thiodiglycol und Wasser im Vergleich zu den Werten hinsichtlich der unstrukturierten Polycarbonatfolie abnahm. Mit steigender polarem Beitrag, wurde die Änderung bezüglich des Spreitparameters grösser. Die Spreitparameter für Thiodiglycol und Wasser sind sogar unter dem entsprechenden Spreitparameter bei Randbedingung S_b und somit ist die unstrukturierte Folie deutlich in einem unbenetzbaren Zustand. Folglich benetzen die quasi unpolaren Flüssigkeiten die nanostrukturierte Folie sogar mehr als die polaren Flüssigkeiten abgewiesen werden. Demzufolge neigt das unpolare Öl dazu, die nanostrukturierte Folie zu benetzen, wohingegen polare Flüssigkeiten wie Wasser abgewiesen werden. Dies ermöglicht die Öl-Wasser Trennung durch die nanostrukturierte Folie.

Patentansprüche

1. Verfahren zur Herstellung eines Formkörpers mit den Verfahrensschritten

- Bereitstellen eines Verbunds (21) aus einer ersten Platte (11) mit einer in eine Oberfläche der ersten Platte (11) eingepressten Polymerfolie (20'),
- Bereitstellen einer dritten Platte (13), die zumindest teilweise auf einer ihrer Oberflächen Rauheiten aufweist, die eine mittlere Rauheit R_a von $1 \mu\text{m}$ bis $30 \mu\text{m}$ und eine gemittelten Rautiefe R_z von $20 \mu\text{m}$ bis $100 \mu\text{m}$ besitzen,
- Platzieren der dritten Platte (13) gegenüber der eingepressten Polymerfolie (20'), ohne dass die drit-

te Platte (13) den Verbund (21) berührt, anschließendes Erwärmen der dritten Platte (13) auf eine Temperatur oberhalb der Glasübergangstemperatur T_g des in der Polymerfolie (20') enthaltenen Polymers, ohne dass der Verbund (21) erwärmt wird, und Inkontaktbringen der erwärmten dritten Platte (13) mit der der ersten Platte abgewandten Oberfläche der Polymerfolie (20'), wodurch das Polymer aus der Polymerfolie (20') zumindest teilweise in die Rauheiten der dritten Platte (13) eindringt,

d) Strukturieren der der dritten Platte (13) zugewandten Oberfläche der eingepressten Polymerfolie (20') durch eine Relativbewegung, die die dritte Platte (13) von der ersten Platte (11) entfernt, solange die eingepresste Polymerfolie (20') erweicht bleibt und sich hierdurch in die Länge ziehen lässt, wodurch sich ein modifizierter Verbund (21'), der den gewünschten Formkörper umfasst, ausbildet.

2. Verfahren nach Anspruch 1, wobei der Verbund (21) aus der ersten Platte (11) mit der in eine Oberfläche der ersten Platte (11) eingepressten Polymerfolie (20') erzeugt wird durch Einbringen einer Polymerfolie (20) zwischen die erste Platte (11) und eine zweite Platte (12), die derart ausgestaltet sind, dass die erste Platte (11) eine höhere Haftung gegenüber der Polymerfolie (20) im Vergleich zur zweiten Platte (12) aufweist, und anschließendes Erwärmen der beiden Platten (11, 12) auf eine Temperatur oberhalb der Glasübergangstemperatur T_g , wodurch das erweichte Polymer unter Aufbringen einer Prägekraft derart an die erste Platte (11) gepresst wird, dass sich der Verbund (21) aus der ersten Platte (11) mit der darin eingepressten Polymerfolie (20') ausbildet.

3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, wobei die Rauheiten der dritten Platte (13) durch Behandlung mindestens einer Oberfläche einer unbehandelten dritten Platte (10) mittels Beaufschlagung durch Partikel erzeugt werden.

4. Verfahren nach Anspruch 3, wobei die Rauheiten der dritten Platte (13) mittels Beaufschlagung mindestens eines Teils einer Oberfläche der unbehandelten dritten Platte (10) durch Sandstrahlen erzeugt werden.

5. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 4, wobei auf der dritten Platte (13) zumindest teilweise auf einer ihrer Oberflächen Rauheiten erzeugt werden, die eine mittlere Rauheit R_a von $1 \mu\text{m}$ bis $20 \mu\text{m}$ und eine gemittelten Rautiefe R_z von $30 \mu\text{m}$ bis $100 \mu\text{m}$ aufweisen.

6. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 5, wobei das Strukturieren der der dritten Platte (13) zugewandten Oberfläche der eingepressten Polymerfolie (20') durch ein vollständiges Abziehen der eingepressten Polymerfolie (20') von der noch erwärmten dritten Platte (13) erfolgt.

7. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 5, wobei das Strukturieren der dritten Platte (13) zugewandten Oberfläche der eingepressten Polymerfolie (20') erfolgt, indem durch ein Abreißen der eingepressten Polymerfolie (20') von der noch erwärmten dritten Platte (13) Teile der Polymerfolie (20') an der dritten Platte (13) haften bleiben, die nicht Bestandteil des modifizierten Verbunds (21'), der den gewünschten Formkörper umfasst, sind.

8. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 7, wobei die erste Platte (11) und/oder die zweite Platte (12) und/oder die dritte Platte (13) in Form einer Walze ausgestaltet sind.

9. Formkörper, hergestellt durch ein Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 8, der zumindest teilweise eine superhydrophobe Oberfläche besitzt, die eine Kraterstruktur aufweist, wobei auf den Oberkanten der Krater Polymerhärrchen ausgebildet sind.

10. Formkörper nach Anspruch 9, wobei die Krater einen mittleren Durchmesser von 2 μm bis 250 μm und eine Höhe von 1 μm bis 500 μm aufweisen, auf deren Oberkanten Polymerhärrchen mit einer Länge von 0,5 μm bis 200 μm ausgebildet sind.

11. Verwendung des Formkörpers nach Anspruch 9 oder 10 zur Trennung mindestens einer unpolaren Flüssigkeit von mindestens einer polaren Flüssigkeit.

12. Verwendung des Formkörpers nach Anspruch 11, wobei mit Inkontaktbringen des Formkörpers mit einer zu trennenden Mischung, umfassend mindestens eine unpolare Flüssigkeit und mindestens eine polare Flüssigkeit, nur die unpolare Flüssigkeit an der mindestens teilweise superhydrophoben nanostrukturierten Oberfläche des Formkörpers angebunden wird.

13. Verwendung des Formkörpers nach Anspruch 11 oder 12 zur Trennung von Ölschichten auf Wasseroberflächen, zur Reinhaltung von Gewässern, zur Entfernung von Öl aus Abwässern oder in der Filtertechnik.

Es folgen 7 Seiten Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

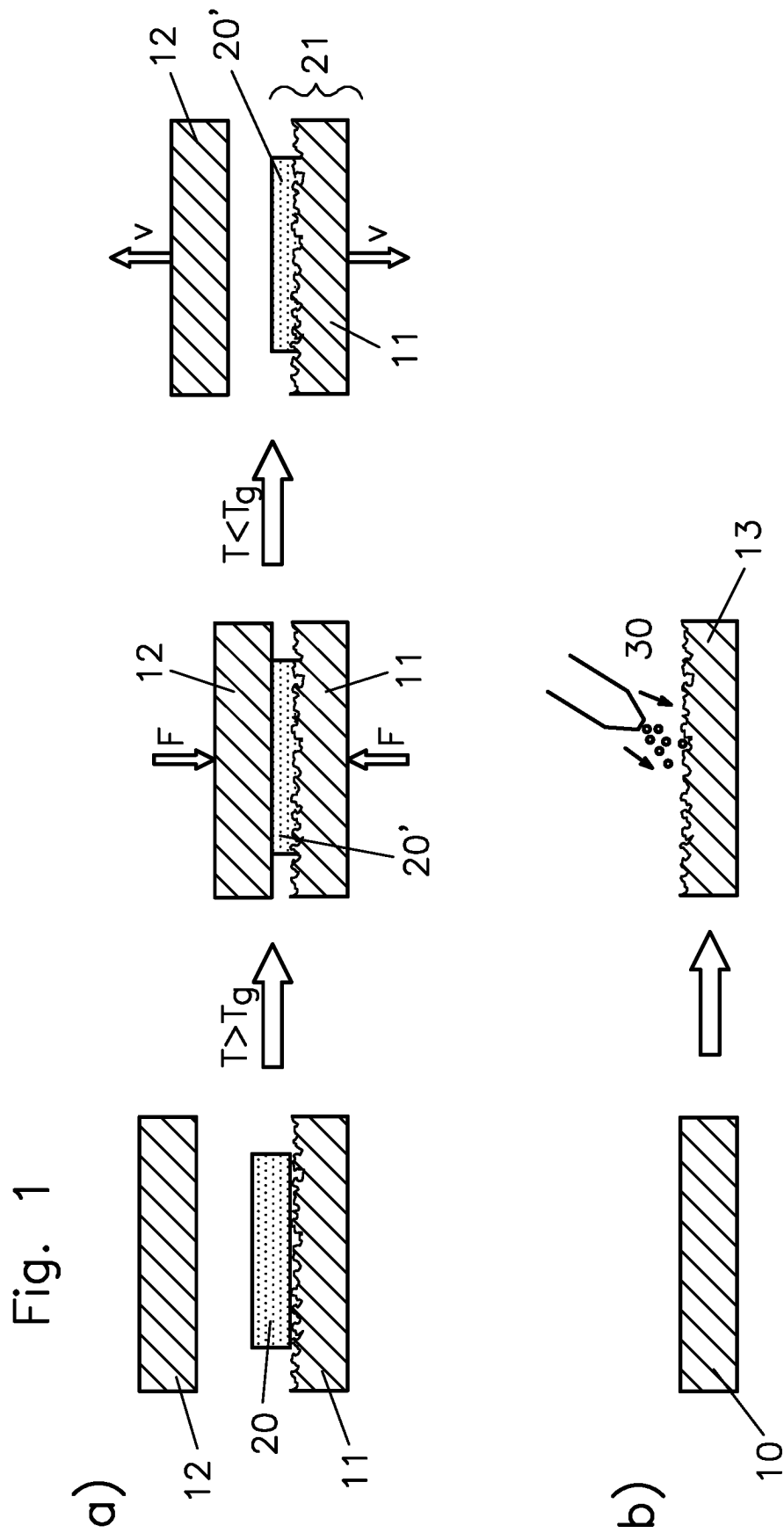


Fig. 1

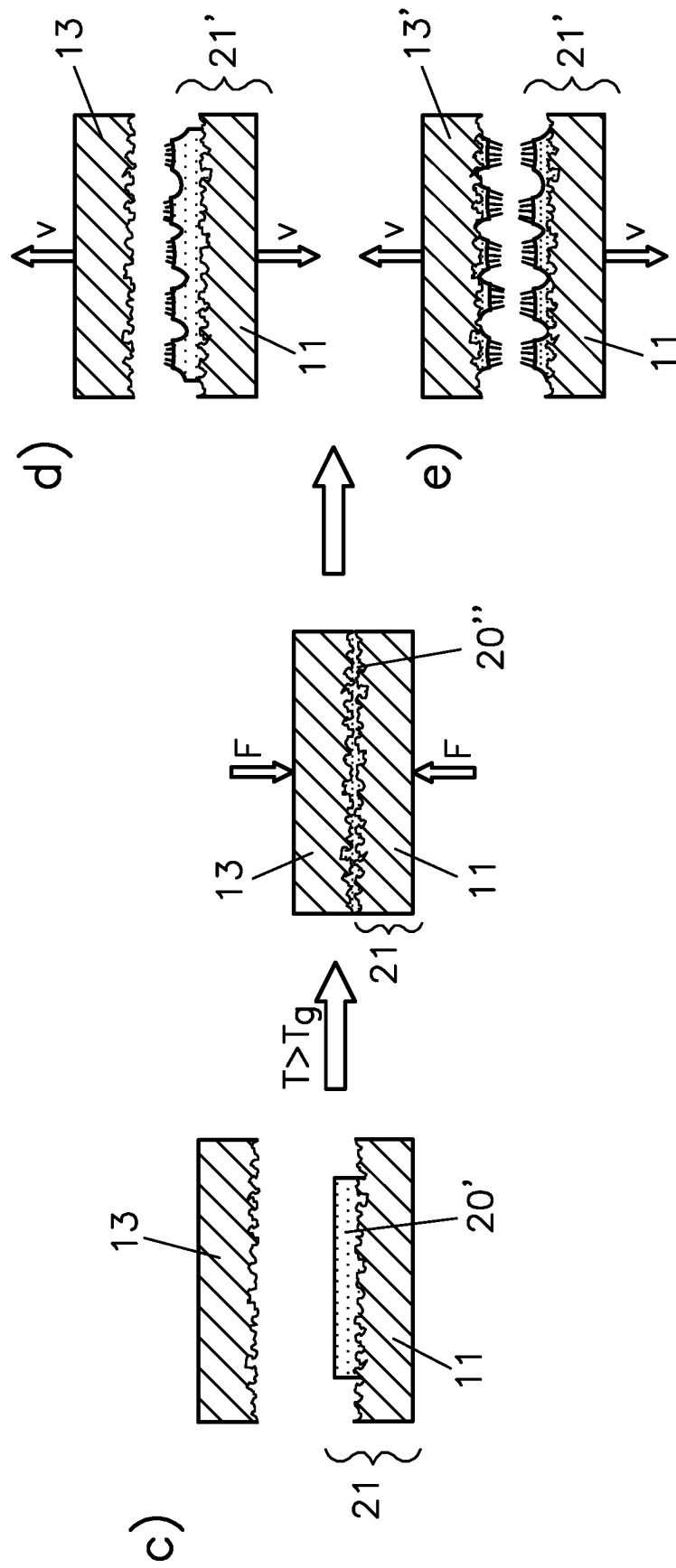
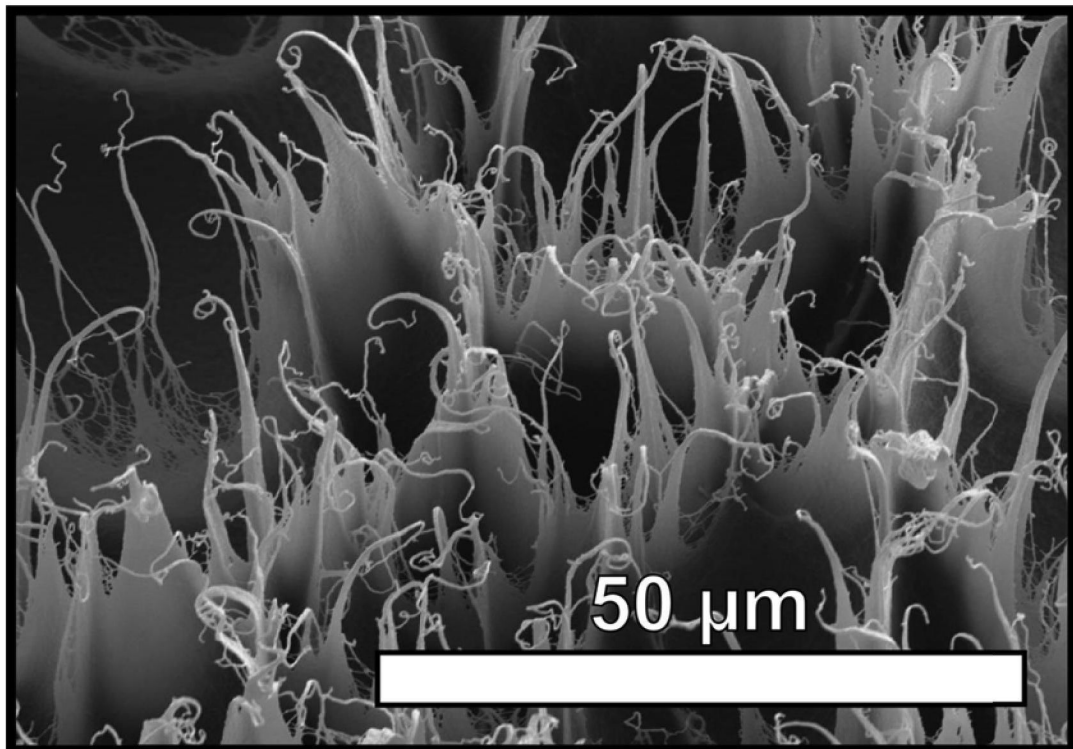


Fig. 2

a)



b)

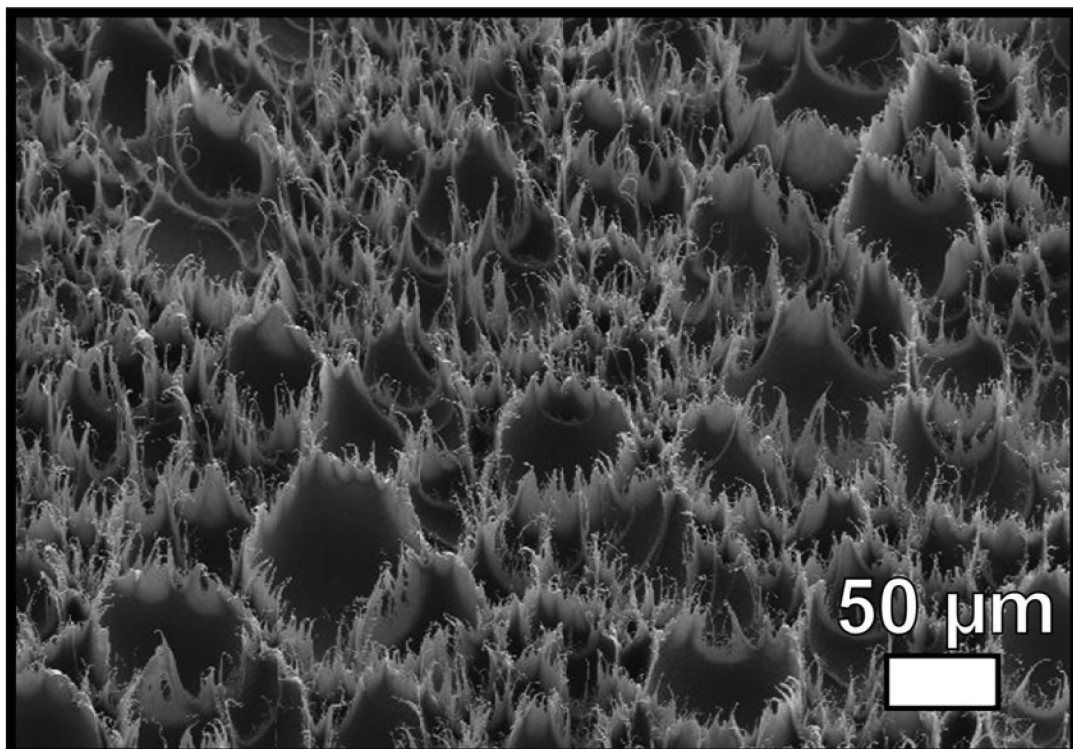
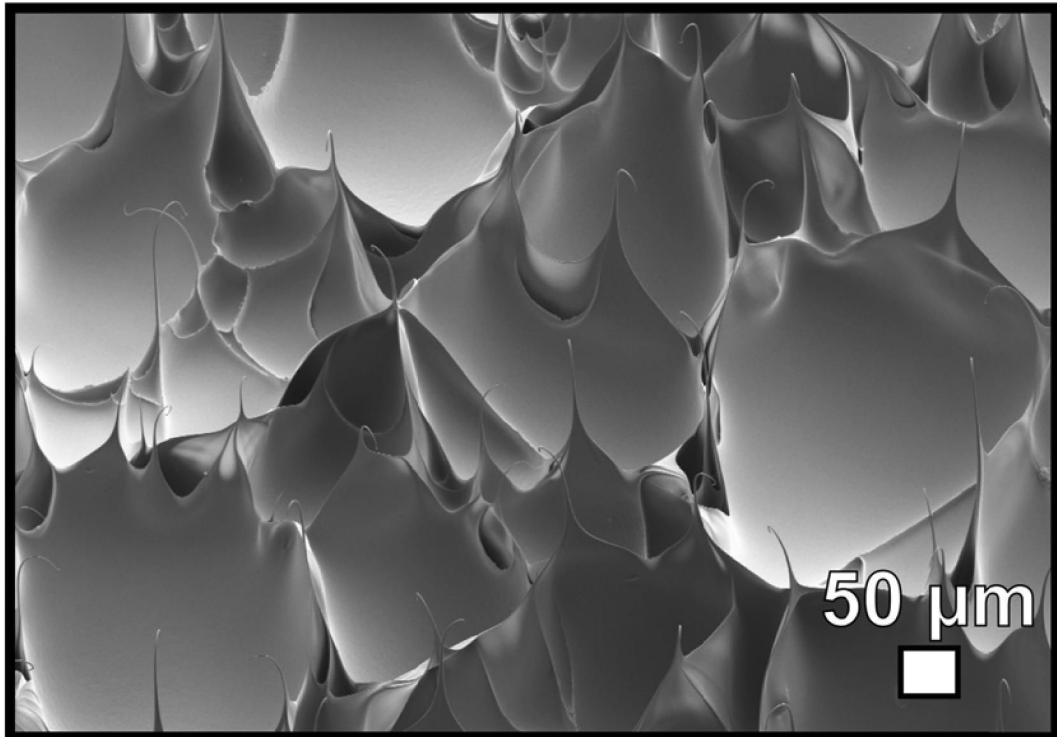


Fig. 2

c)



d)

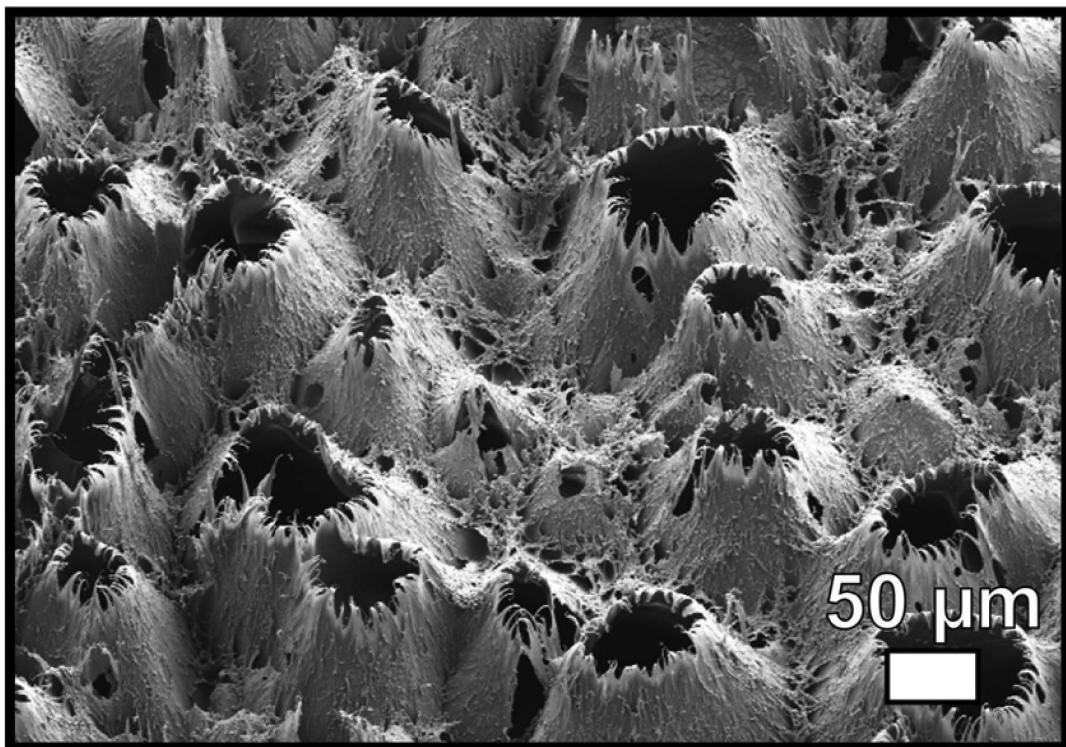


Fig. 3

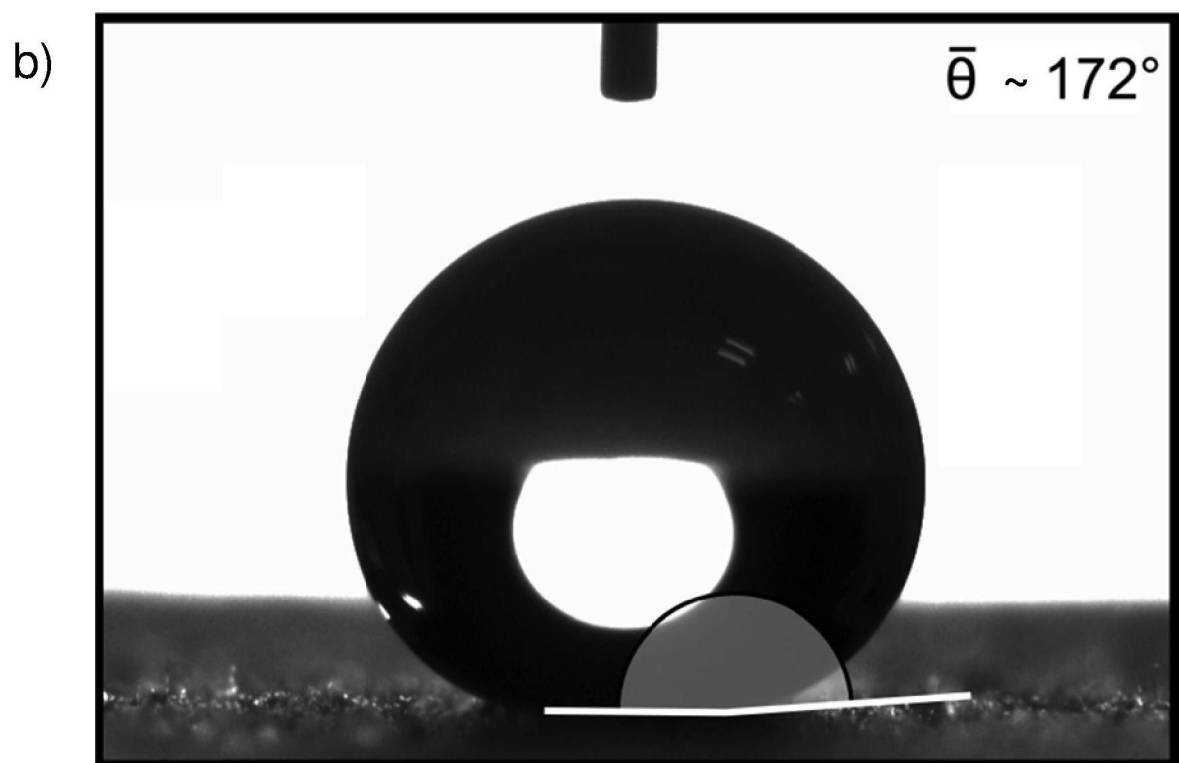
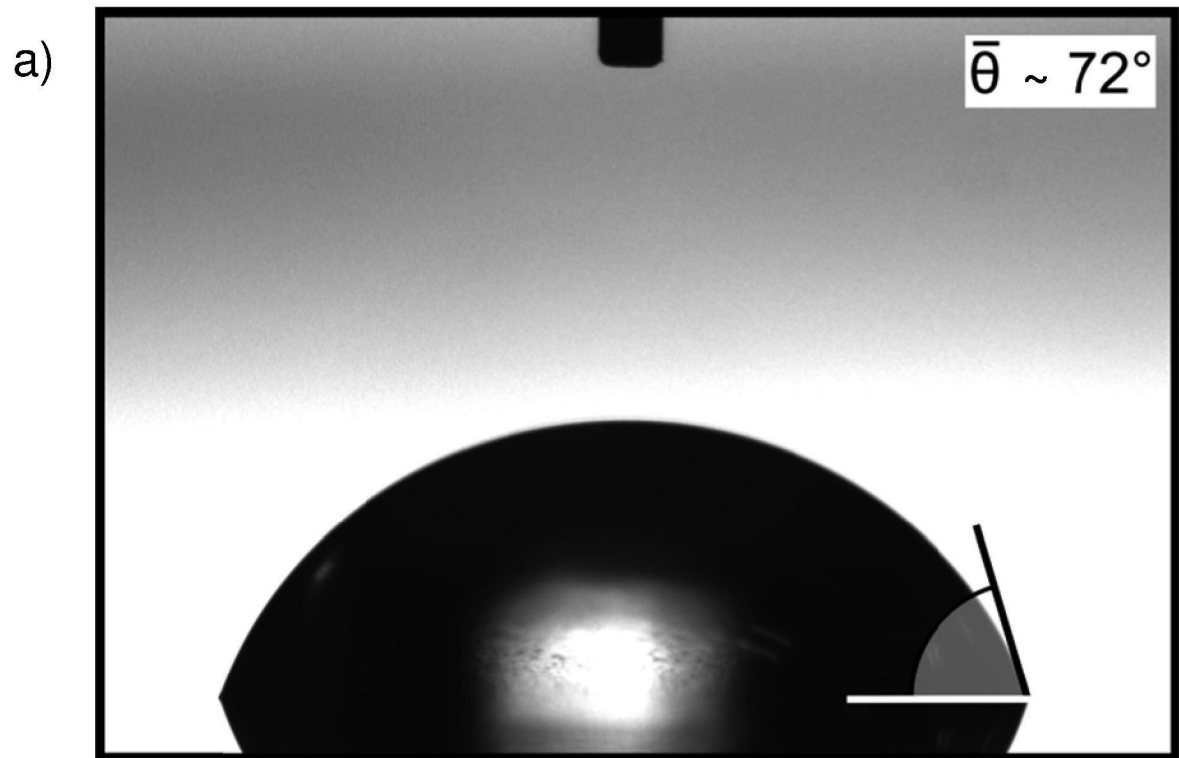


Fig. 4

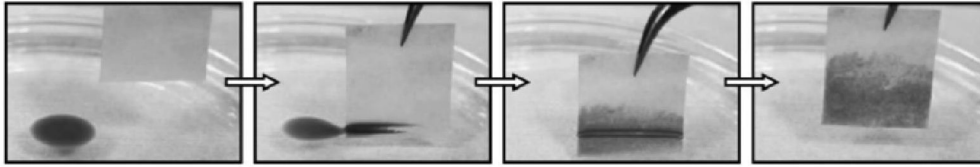


Fig. 5

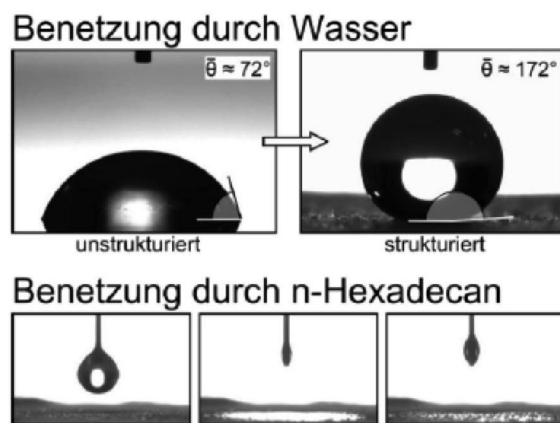


Fig. 6

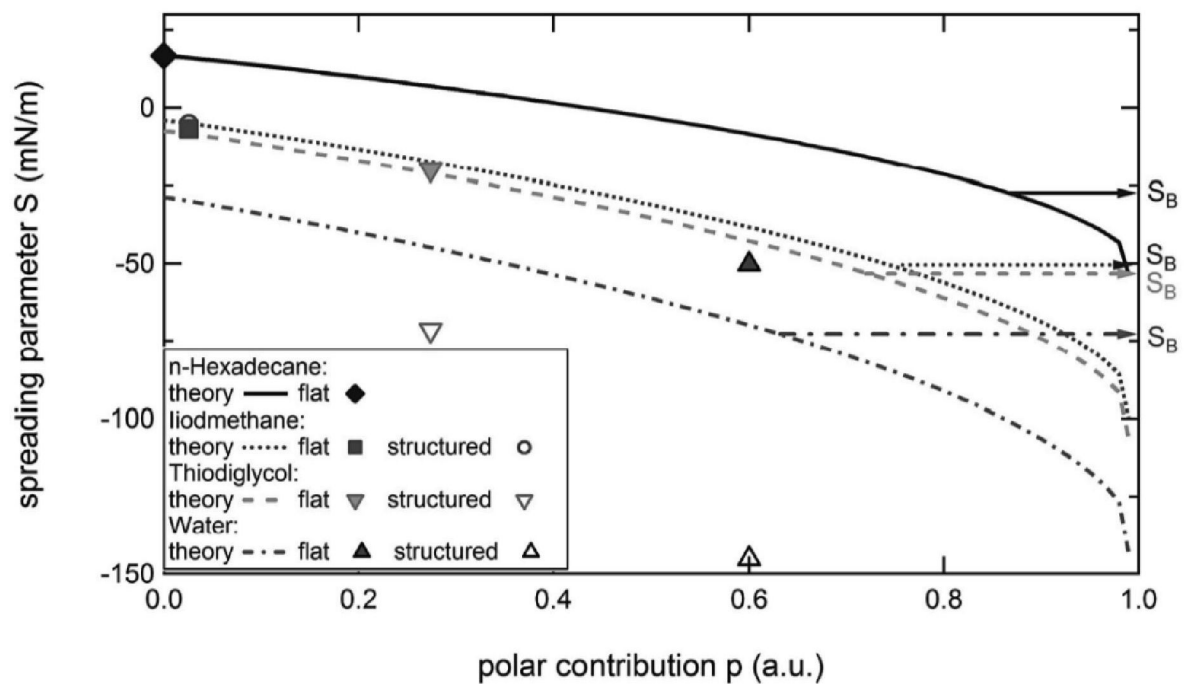


Fig. 7

liquid	γ_{lv} (mN/m)	γ_{LV}^d (mN/m)	γ_{LV}^p (mN/m)	p
n-Hexadecane (Jasper, 1972)	27,5	27,5	0,0	0,00
Diiodmethane (Owens, 1969)	50,8	49,5	1,3	0,03
Thiodiglycol (Jie-Rong, 1997)	54,0	39,2	14,8	0,27
Water (Jie-Rong, 1997)	72,8	29,1	43,7	0,6