

Einsatz schwefelfreier Schmiermittel und Verlängerung des Schmierintervalls durch die Verwendung von Vorformlacken (IGF/AiF 16158BG)

G. Bergmann, Ch. Hartwig, R. Löbig

Hüttentechnische Vereinigung der deutschen Glasindustrie, Offenbach; Schrader Glasformenbau GmbH & Co. KG, Porta Westfalica; Ingenieurkammer Thüringen, Erfurt

1. Einleitung

Im Formgebungsprozess von Containerglas spielen Schmiermittel noch immer eine große Rolle. Sie werden vorwiegend im Bereich der Vorformen eingesetzt, finden aber auch als Rinnenschmiermittel und in der Fertigform Anwendung. Die wichtigsten Aufgaben der Schmiermittel in der Vorform sind die Sicherung der Gleiteigenschaften beim Laden der Glasposten in die Form und die Trennung von Glas und Metall. Seit vielen Jahren wird versucht, die Schmierung zu reduzieren bzw. zu eliminieren, da sie einen permanenten Störfaktor für die Produktion, eine Gefährdung für die Maschinenführer und einen nicht unerheblichen Kostenfaktor darstellt. Aufbauend auf den Ergebnissen des AiF/IGF-Forschungsvorhabens „Untersuchung der Wechselwirkungen der bei der Glasformgebung eingesetzten Schmiermittel mit dem Formenmaterial und der Glasoberfläche sowie deren Einfluss auf den Wärmetransport (14850 BG)“ und weiterer damit in Zusammenhang stehender Arbeiten wie AiF12734BR, AiF 13508N, [Sch78] oder [Pen99] sollten weitere Fragestellungen bezüglich der Zusammenhänge zwischen verwendetem Schmiermittel und der Produktionsqualität bearbeitet werden und der Einsatz von Vorformschmiermitteln aufgrund der arbeitshygienischen Bedenklichkeit der Schwefelkomponenten in den üblichen Schmiermitteln reduziert werden. Hierzu wurden Versuche mit:

- schwefelhaltigen Schmiermitteln als Referenz
- schwefelfreien Schmiermitteln, welche als alternativen Gleitstoff Graphit in verschiedenen Mengen enthielten
- sowie Vorformlacken mit verschiedenem Schwefelgehalt und gleichzeitig verschiedenen Anteilen an Al-Pigmenten durchgeführt.

Tabelle 1: eingesetzte Schmiermittel und Lacke

Schmiermittel	Kleenmold 170	Referenzschmiermittel
	Acmos 48-403	Äquivalent zu Kleenmold 170, schwefelhaltig
	Acmos 48-1063-9	Basis 48-403, aber Ersatz des Schwefels durch Graphit
	Acmos 48-1063-10	Basis 48-403, aber Ersatz des Schwefels durch Graphit + zusätzlicher Graphit
Formenlacke	Acmos 43-2414	6 bis 7% metallische Aluminiumpigmente
	Acmos 43-2422	1 bis 2% metallische Aluminiumpigmente, kein Schwefel

Bei fast allen Versuchen wurde die Formentemperatur überwacht, zum Teil wurde auch die Tropfentemperatur mit gemessen, um eine eventuelle Überlagerung von Einflüssen erkennen zu können. In allen Fällen wurden Innendruckfestigkeiten ermittelt, zum Teil wurden auch Wandstärkeverteilungen erfasst.

2. Chemische Analyse der verwendeten Schmiermittel und Lacke

Die Charakterisierung der verwendeten Schmiermittel und Lacke erfolgte mittels Immediatenanalyse, Röntgenfluoreszenzanalyse sowie Elementaranalyse.

Die Ergebnisse der Analyse (Tabelle 2) zeigen durch den im Produkt enthaltenen Binder einen deutlich höheren Ascheanteil der Formenlacke. Die Asche besteht fast ausschließlich aus SiO_2 und Al_2O_3 , während die Ascherückstände der Schmiermittel kein Al_2O_3 , dafür aber zusätzlich Calcium und zum Teil Schwefel aufwiesen. Entsprechend der verschiedenen Aschegehalte von Schmiermitteln und Lacken wurden deutliche Unterschiede im Anteil des flüchtigen Kohlenstoffs gefunden, die Schmiermittel haben einen höheren Anteil flüchtigen Kohlenstoffs als die Lacke. Der gefundene flüchtige Schwefel aller dargestellten Mittel liegt dabei überwiegend in verbrennlicher Form vor.

Tabelle 2: Immediaten- und Elementaranalyse der Schmiermittel und Lacke (analysefeucht)

[Masse-%]	Kleen- mold 170	Acmos 48-403	Acmos 48- 1063-09	Acmos 48- 1063-10	Acmos 43- 2414	Acmos 43- 2422
Wasser	0,22	0,05	0,21	0,04	0,51	0,10
Ascheanteil 815°C	0,83	0,71	0,97	0,92	22,36	15,47
Kohlenstoff	82,61	82,71	86,21	86,58	65,44	73,54
Wasserstoff	11,39	11,90	12,51	12,29	9,86	9,56
Stickstoff	0,09	0,09	0,07	0,08	0,05	0,05
Schwefel gesamt	4,52	3,94	<0,2	0,24	1,71	<0,2
Asche- schwefel	0,13	0,13	0,17	0,16	0,02	0,02
Schwefel verbrennlich	4,39	3,81	0,03	0,08	1,69	0,18
Sauerstoff	0,48	0,74	0,00	0,00	0,10	1,10

3. Einsatz schwefelfreier, graphithaltiger Schmiermittel

Die Untersuchung der Benetzungseigenschaften durch Messung und Darstellung der Randwinkel von Glasproben auf dem mit Schmiermittel oder Lack vorbehandelten Gusseisen bei einer Referenztemperatur von 1000°C zeigte (Bild 1), dass eine Reduzierung des Schwefelanteils im Schmiermittel bei gleichzeitigem Ersatz durch Graphit die Spreitung des Glases zur Folge hat, eine weitere Erhöhung des Graphitanteils die Benetzung jedoch wieder reduziert.

48 – 403

schwefelhaltig

48 -1063 – 9

kein Schwefel, Graphit

48 -1063 – 10

kein Schwefel, mehr Graphit



Bild 1: Erhitzungsmikroskopische Aufnahmen zur Bestimmung des Benetzungsverhaltens auf mit Schmiermitteln behandeltem Grauguss

Auf Basis der Ergebnisse der Randwinkelmessungen wurde das Schmiermittel mit den günstigeren Benetzungseigenschaften (geringste Benetzung), 48-1063-10, in Zusammenhang mit 2 Verfahren (BB und NNPB) und den Glasfarben weiß, grün und braun eingesetzt. Das ungünstiger erscheinende Schmiermittel (höhere Benetzung) 48-1063-9 wurde nur einmal in Verbindung mit braunem Glas beim NNPB-Verfahren eingesetzt. Die Versuchszeiten lagen zwischen einer und acht Stunden, es wurden parallel die Glastemperatur, die Formentemperatur, die Innendruckfestigkeit und teilweise die Wandstärken der Behälter dokumentiert.

Die besten Ergebnisse beim Ersatz eines schwefelhaltigen Schmiermittels durch ein schwefelfreies Schmiermittel (48-1063-10) wurden bei Anwendung an einer im Blas-Blas-Verfahren hergestellten weißen Sektflasche mit neuen Formen erzielt. Das 30-minütige Schmierintervall wurde beibehalten. Die Produktion lief ohne Ausfälle, die mit dem veränderten Schmiermittel in Zusammenhang gebracht werden könnten, weiter. Die Auswertung der Berstdrücke durch eine Weibull-Statistik ließ keinen signifikanten Zusammenhang zwischen der Anwendung des Schmiermittels und den ermittelten Innendruckfestigkeiten erkennen (Bild 2).

Bei der Herstellung von grünen 0,33l-Bierflaschen nach dem NNPB-Verfahren wurde nach der Schmiermittelumstellung zunächst das ursprüngliche Schmierintervall beibehalten. Die Innendruckfestigkeiten blieben konstant. Die im weiteren Verlauf aufgetretenen Produktionsprobleme am Übergang zwischen Mündung und Vorform konnten nicht durch eine Verkürzung der Schmierintervalle behoben werden. Somit mussten dieser Versuch bereits nach wenigen Stunden abgebrochen werden.

Bei der Herstellung einer braunen 0,5l-Bierflasche, ebenfalls im NNPB-Verfahren, kamen beide schwefelfreien Schmiermittel parallel zum Einsatz. Auch hier erfolgte die Schmierung

im produktüblichen Intervall von 20 min. Nach wenigen Stunden musste der Versuch jedoch aufgrund erheblicher Produktionsprobleme in Form von bauchig deformierten Flaschen abgebrochen werden. Nach Umstellung auf das schwefelhaltige hütteninterne Schmiermittel verschwanden die Probleme wieder.

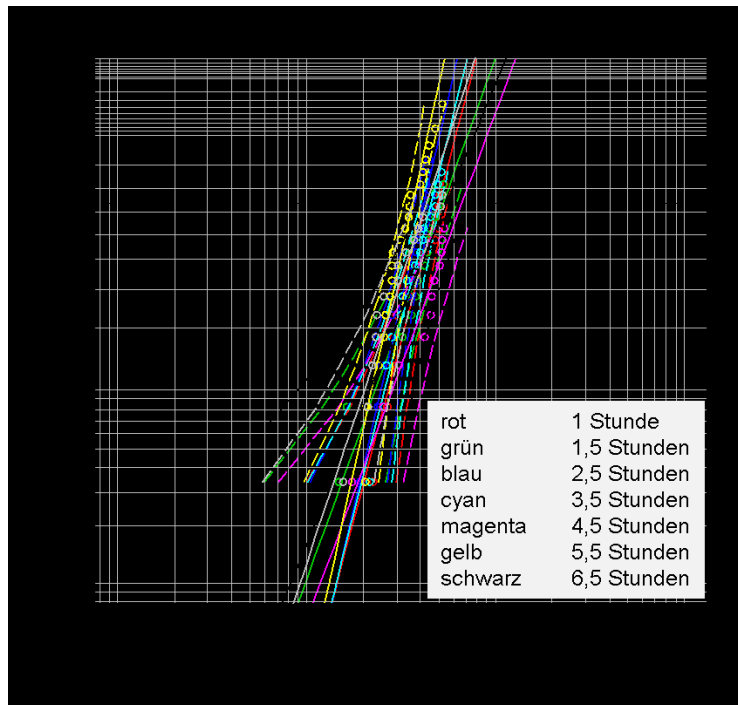


Bild 2: Weibull-Plot der Berstdruckfestigkeiten nach Schmierung mit 48-1063-10

Die Erwartung, dass der Schwefelanteil im Schmiermittel durch Graphit ersetzbar sein könnte, bestätigte sich damit nicht. Insbesondere die Versuche an NNPB-Verfahren scheiterten innerhalb sehr kurzer Zeit durch Risse unterhalb der Mündung oder einseitig ausgebauchte Flaschen. Im zylindrischen Flaschenteil derartig ausgebauchte Flaschen können unter anderem entstehen, wenn die notwendigen Enthauptungskräfte so groß werden, dass plastische Verformungen am Artikel die Folge sind. Da Temperaturprobleme auf der Fertigformseite ebenso ausgeschlossen werden können, wie Synchronisationsprobleme zwischen Ausblaszeit und Formenöffnungszeit und fehlerhaftes Formendesign, bleibt nur, die Ursache in einem vorgelagerten Prozess zu suchen. Ein solcher Vorgang könnte ein Übertrag des Schmiermittels von der Vorformseite auf die Fertigformseite sein, der häufig von Praktikern vermutet wird. So konnte FeS auf der Oberfläche von Fertigformen nachgewiesen werden, wobei die hierfür notwendige Schwefelmenge mit hoher Wahrscheinlichkeit nicht vom Glas abgegeben werden kann.

Möglicherweise kann der Einsatz schwefelfreier Schmiermittel in der Vorform noch bei Blas-Blas-Prozessen realisiert werden, da hier ohnehin geringer ausgeprägte Wechselwirkungsvorgänge zwischen den Glas-, Schmiermittel- und Metalloberflächen in der Vorform stattfinden und sich somit Veränderungen am Schmiermittel weniger drastisch auswirken.

4. Verlängerung des Schmierintervalls durch die Verwendung von Vorformlacken

Der Einsatz von Formenlacken wurde ursprünglich eingeführt, um die Schmierhäufigkeit neu eingebauter Formen zu reduzieren und damit das Anfahrverhalten der Formen zu verbessern. Im Rahmen der hier dargestellten Untersuchungen sollte überprüft werden, inwieweit die schon vorhandenen Lacke über ausreichendes Potential verfügen, den Schmiermitteleinsatz auch längerfristig zu reduzieren.

Die auch hier zunächst durchgeführte Messung der Randwinkel des Glases bei Beschichtung des Gusseisens mit Vorformlacken (Bild 3) zeigte eine geringe Benetzung, wenn der Anteil des Schwefels größer und der Anteil der metallischen Aluminiumpigmente geringer ist. Eine Steigerung des Anteils der Pigmente bei einer Reduzierung der Schwefelmenge schlug sich hier in einer Spreitung des Glases nieder. Der Lack 43-2422 scheint also bezüglich der Benetzung die günstigeren Eigenschaften aufzuweisen.

43 – 2422	43 – 2414
1-2% Al-Pigmente, Schwefel	6-7% Al-Pigmente



Bild 3: Erhitzungsmikroskopische Aufnahmen zur Bestimmung des Benetzungsverhaltens auf mit Vorformlacken behandeltem Grauguss

Ein wesentliches Kriterium für den Einsatz eines Vorformlackes ist seine Haltbarkeit auf dem Formenmaterial. Dies wurde durch optische Begutachtung und Schichtdickenbestimmungen innerhalb der Anfahrphase von einer Stunde überprüft. Für die Messung der Schichtdicke wurden die Innenflächen von Vorformhälften in Segmente eingeteilt und nach jeweils 20, 40 und 60 Minuten die Lackdicke gemessen und gemittelt. Diese Analyse wurde vergleichend mit einem bereits in der Untersuchungshütte etablierten aluminiumfreien Lack 43-2425 als Referenz durchgeführt. Dieser wurde mittels Sprühpistole aufgetragen, während die Lacke 43-2414 und 43-2422 aus Spraydosen verwendet wurden. Das unterschiedliche Handling hatte verschiedene Ausgangsschichtdicken von 9 µm bei den Lacken aus der Spraydose und 10 µm beim Auftrag mit der Sprühpistole zur Folge.

In Bild 4 sind die Änderungen der Dicken der Schichten über einen Zeitraum von 60 Minuten dargestellt. Der hier zusätzlich aufgeführte Lack 43-2425 wurde bereits in der Hütte eingesetzt und dient hier zum Vergleich. Der zeitlich gleichmäßigste Abtrag innerhalb der ersten Stunde wurde auf den mit dem Lack 43-2414 (mehr Al-Pigmente, kein Schwefel) beschichteten Formen ermittelt. Der Lack mit dem geringeren Anteil an Al-Pigmenten (43-2422) zeigte eine zunächst schnellere Abtragung der Schicht, die im Verlauf allerdings zu stagnieren scheint. Dies könnte an der gegenüber dem Lack 43-2414 veränderten Zusammensetzung der Bindermatrix liegen. Am schnellsten reduziert wurde die Schichtdicke des Al-freien La-

ckes mit ähnlicher, stark graphithaltiger Bindermatrix wie 43-2422. Die verbliebenen Schichtdicken nach Ablauf einer Stunde liegen alle im Bereich um 6,5 μm . Dies bedeutet den mengenmäßig größten Abtrag auf der mit dem aluminiumfreien Lack beschichteten Vorform. Die Ursache ist in der Zusammensetzung des Bindersystems zu suchen.

Die optische Begutachtung und auch die messtechnische Bestimmung der Schichtdicken zeigen eine meist einseitige Abnutzung der Lackschichten auf den Formen. Ursache hierfür ist in der Regel ein nicht zentrischer Tropfeneinfall. Dies beeinflusst die Wirkungsdauer dieser Schichten wesentlich.

In einem Vorversuch wurde zuerst der aluminiumreichere Lack 43-2414 bei der Produktion einer weißen Sektflasche im Blas-Blas-Verfahren eingesetzt. Das ursprüngliche Schmierintervall betrug 20 min. Nach dem Einbau der lackierten Form (inkl. Vorformboden) und einem einmaligen Schmieren traten hier nach 30 min Bodenrisse auf, so dass zunächst der Vorformboden einmal geschmiert wurde. Nach weiteren 25 Minuten zeigten sich Risse im Halsbereich. Von diesem Zeitpunkt an, erfolgte jede weitere Schmierung nach je 1 Stunde.

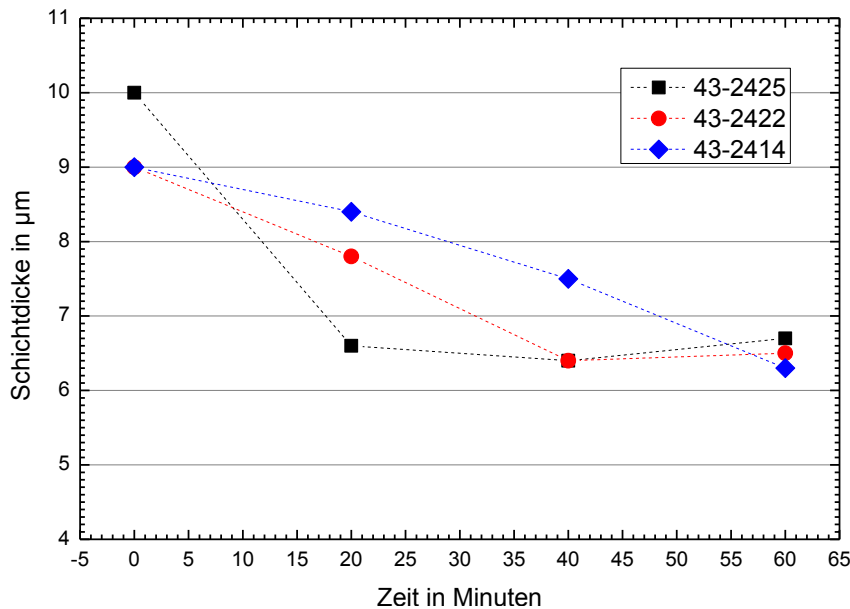


Bild 4: Änderung der Dicken der Schichten über einen Zeitraum von 60 Minuten

Die Auswertung der Innendruckfestigkeiten durch eine Weibull-Analyse zeigt eine deutliche Abnahme der Festigkeit nach dem Wechsel auf die lackierte Form. Die offiziellen Forderungen wurden jedoch eingehalten. Die Interpretation des gezeigten Festigkeitsverhaltens in Bezug auf eine Wirkung der Lackschicht ist nicht möglich, da die Bruchsprünge bis auf wenige Ausnahmen im Bodenbereich lagen und somit die Ursachen überwiegend nach der Vorform zu suchen sind. Die lackierte Form blieb insgesamt 48 h im Einsatz. Dabei wurde ein Schmierzyklus von 1 h ohne Qualitätsverlust beibehalten. Bei der Reinigung traten keine Schwierigkeiten im Vergleich zu den anderen Formen auf.

Beide Lacke wurden mehrere Stunden bis Tage in der Produktion bei reduziertem Schmiermitteleinsatz verwendet. Zu Beginn der Versuchsreihen wurde jeweils die maximale Laufzeit einer lackierten Form ohne Schmiermittel bestimmt. Darauf basierend wurde das neue Schmierintervall durch Multiplikation der schmierungsfreien Laufzeit mit dem Sicherheitsfak-

tor 0,5 festgelegt. Alle lackierten Vorformen und Vorformböden wurden mit dem hütteninternen Schmiermittel geschmiert.

Der Lack 43-2414 (mehr Al-Pigmente, kein Schwefel) wurde bei der Herstellung grüner Bierflaschen mit Gravur im NNPB-Verfahren eingesetzt. Das ursprüngliche Schmierintervall von 15 Minuten wurde auf 60 Minuten erhöht. Die geforderten Berstdruckfestigkeiten wurden während der gesamten Versuchsdauer von 5 Tagen eingehalten.

Für die Herstellung einer grünen Sektflasche im Blas-Blas-Verfahren wurde der Lack 43-2422 (weniger Al-Pigmente, Schwefel) eingesetzt. Das ursprüngliche Schmierintervall betrug für diesen Artikel 15 min. Nach Bestimmung der schmiermittelfreien Laufzeit wurde das neue Schmierintervall mit 30 min festgesetzt. Während dieser Versuchsreihe traten immer wieder Fehler in Form von Querfalten auf. Eine Verkürzung des Schmierintervalls auf 20 Minuten behob das Problem. Dies sparte noch immer einen Schmierzyklus pro Stunde ein. Als Ursache für die Produktionsprobleme wurde zunächst eine zu hohe Temperatur der Vorformen vermutet. Eine Temperaturkontrolle war in diesem Fall leider nicht möglich. Plausibel wäre aber auch ein mit der Schmierung zusammenhängender Ladefehler. Durch eine deutliche Reduzierung des Gleitvermögens des Tropfens im unteren Vorformbereich konnte der besonders lange Tropfen nicht optimal geladen werden und das obere Ende der Kübel ist beim Einfall in die Vorform umgekippt.

Mit beiden Vorformlacken konnte eine Verlängerung der Schmierzyklen erreicht werden. Damit ist es gelungen, die verwendete Schmiermittelmenge deutlich zu reduzieren. In Abhängigkeit vom hergestellten Artikel und dem Alter des Formensatzes konnte maximal eine Vervierfachung und minimal einer Verlängerung um 30 % realisiert werden. Die Höhe der Einsparungen an Kosten für Schmiermittel müssen jedoch dem zusätzlichen Posten für den Lack gegenübergestellt werden. Somit ist eine Einzelfallentscheidung bezüglich des Artikels, dem Formenzustand und der bisherigen Schmierhäufigkeit notwendig. Der unterschiedliche Schwefelgehalt in den Lacken scheint keine entscheidende Rolle zu spielen. Somit kann im Sinne des Gesundheits- und Arbeitsschutzes bevorzugt der quasi schwefelfreie Lack verwendet werden.

5. Zusammenfassung

Im AiF/IGF-Forschungsvorhaben „Einsatz eines alternativen Formgebungswerkstoffes in Verbindung mit einem modifizierten Formenschmiermittel bei der Behälterglasherstellung (16158 BG/1)“ wurden schwefelhaltige und schwefelfreie Schmiermittel eingesetzt, wobei der Schwefelanteil bei den schwefelfreien Mitteln durch Graphit ersetzt wurde. Die Ergebnisse dieser Versuche zeigen, dass die Wirkungen des Schwefels in den Schmiermitteln offenbar für den Prozess in seiner heutigen Form notwendig sind und nicht durch einen Ersatz in Form von Graphit realisiert werden können.

Die Verwendung von Vorformlacken unter Beibehaltung des Schmiermittels bei jedoch deutlich geringerem Schmiermittelbedarf ist jedoch ein möglicher Schritt, den Schmiermitteleinsatz zu reduzieren und somit wirkungsvoll die Umwelt und Gesundheit des Maschinenpersonals zu entlasten.

6. Verweis auf frühere Forschungsvorhaben mit Relevanz zum Thema

- AiF 12734BR Messung und Modellierung des Wärmetransportes bei Formgebungsprozessen unter besonderer Berücksichtigung der Wärmeübergangskoeffizienten und des Wärmetransportes durch Strahlung, TU Bergakademie Freiberg, 2002
- AiF 13508N Untersuchungen zum Klebe- und Abriebverhalten von Formenwerkstoffen für die Glasheißverarbeitung
- [Sch78] Schmeller, L.: Einfluss von Schmiermitteln auf die Wärmeabgabe von Glaspresslingen an die Form; Abschlussarbeit FH Nürnberg, 1978
- [Pen99] Penlington, R.: Workability and Narrow Neck Press and Blow Plunger Wear. Spring Meeting of the Society of Glass Technology, 1999

7. Dank und Förderhinweis

Die Autoren danken der Firma Acmos Chemie KG für die zur Verfügung gestellten Schmiermittel und Lacke.

Besonderer Dank gilt den Versuchspartnern folgender Unternehmen, welche die Arbeiten tatkräftig unterstützt haben:

- Saint-Gobain Oberland (Verallia) in Bad Wurzach, Wirges und Neuburg
- Wiegand Glas GmbH in Steinbach am Wald
- Vetroconsult und Vetropack in Bülach und St. Prex
- Gerresheimer Lohr GmbH in Lohr am Main
- O-I Glasspack in Bernsdorf

Das IGF-Vorhaben 16158 BG der Forschungsvereinigung Hüttentechnische Vereinigung der Deutschen Glasindustrie (HVG) wurde über die AiF im Rahmen des Programms zur Förderung der industriellen Gemeinschaftsforschung und –entwicklung (IGF) vom Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages gefördert.