Deutsches
Patent- und Markenamt

Erfinderaktivitäten 2016 / 2017



Inhalt

Vorwort 3

Traktionsbatterien – Schlüssel für die Elektromobilität
Dr. Dirk Ochs 4

2nd Life – Nachhaltigkeitskonzepte für Batterien im Bereich Elektromobilität
Martina Schué, Dr. Helmut Seitz 13

Miniaturisierte Spulen und ihre Anwendung
Dr. Jana Becherer 20

Ein Alltagsgegenstand – lange bekannt und doch immer wieder im Fokus der Erfinder: Antitranspirantien und Deodorantien
Katrin Lehrack, Dr. Imke Salmon 26

Beseitigung von Weltraummüll
Dr. Wilfried Domainko 34

Systeme zur Absicherung von Gefährdungsbereichen an bewegbaren Cabrioletverdecken
Dr. Andreas Monokroussos 42

Fassungen optischer Elemente in der Photolithographie
Roland Deninger 50

Genome Editing
Dr. Leonhard Riedel 63

Vorwort

Sehr geehrte Leserinnen und Leser,

in dieser neuen Ausgabe der Erfinderaktivitäten nehmen Sie die Patentprüferinnen und Patentprüfer des DPMA mit auf eine abwechslungsreiche Reise durch unterschiedliche Gebiete der Technik von heute und von morgen.

Batterien für die Elektromobilität – welche Batteriearten gibt es und was geschieht eigentlich mit der Batterie, wenn sie ausgedient hat? Zwei Artikel befassen sich eingehend und informativ mit diesem hochaktuellen Thema und der Frage nach dem Typ und dem „zweiten Leben" von Batterien.

Was uns täglich begegnet – auch hier spüren die Autorinnen kurzweilig und praxisnah der jeweiligen Fragestellung nach. Warum ist die Miniaturisierung von elektromagnetischen Spulen so knifflig? Und gibt es Alternativen zu Aluminium in Kosmetika? Auf den folgenden Seiten finden Sie dazu viele Antworten!

Fotografie und Cabrioletverdecke – in zwei anderen Beiträgen werden klassische Gebiete der Technik fundiert und versiert beschrieben. Welche Aspekte bestimmen die Erfinderaktivitäten rund um Lithographieanlagen? Wodurch lassen sich Gefahrenquellen am Cabrioverdeck minimieren? Es gibt jede Menge technischer Details zu entdecken.

„Weltraumschrott" und „Genome Editing" – diese beiden Themen muten vielleicht futuristisch an. Doch die Entdeckung und Entwicklung der Genomchirurgie ist – ebenso wie die Müllbeseitigung im Weltall – ein heute schon präsentes Thema. Lässt sich Satellitenschrott einfangen? Und wie funktioniert die CRISPR-Methode? Sachkundig und anregend berichten die Autoren dieser beiden Artikel über Innovationen auf diesen Forschungsgebieten.

Viel Spaß beim Lesen wünscht Ihnen

Mark Haslinger
(Redaktion)

Traktionsbatterien – Schlüssel für die Elektromobilität

Dr. Dirk Ochs, Patentabteilung 1.36

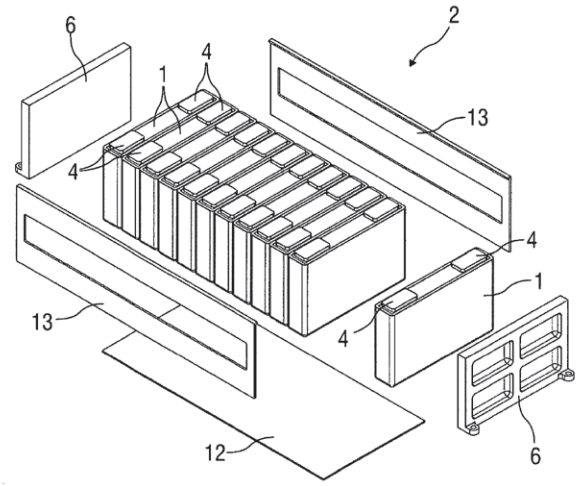
Leistungsfähigere Batterien sind der Schlüssel für die Elektromobilität. Die Batterie ist neben dem Elektromotor das zentrale Bauelement von Elektrofahrzeugen. Größere Reichweiten könnten zu einer besseren Akzeptanz beitragen und die Energiewende nachhaltig voranbringen. Dieser Beitrag stellt den Aufbau der in Hybrid- und Elektrokraftfahrzeugen verwendeten Batteriesysteme aus Modulen und Einzelzellen vor und erläutert die verschiedenen Bauformen sowie den prinzipiellen Aufbau der Einzelzellen. Ferner werden Material und chemische Reaktionen der verschiedenen früher und aktuell verwendeten sowie in Forschung und Entwicklung befindlichen Batterietypen diskutiert. Am Beispiel der Lithium-Ionen-Batterie wird die Notwendigkeit von Zellüberwachungs- und Ladungsausgleichsverfahren sowie Temperaturmanagement- und Sicherheitsmanagementsystemen dargestellt.

1 Einleitung

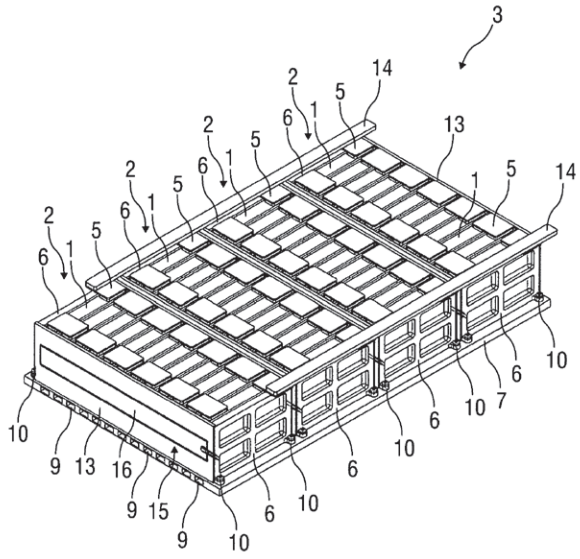
Schon Anfang des 19. Jahrhunderts entdeckte man, dass sich die damals verfügbaren elektrochemischen Stromquellen wieder aufladen lassen. Im Folgenden wird der Begriff Batterie für eine wiederaufladbare Batterie, auch Sekundärbatterie oder Akkumulator genannt, verwendet. Um 1860 entwickelte Gaston Planté den Bleiakkumulator, welcher in optimierter Form noch heute als Starterbatterie weltweit in Kraftfahrzeugen zum Einsatz kommt [1]. Die Bleibatterie wurde früher auch schon als Traktionsbatterie, das heißt zum Antrieb von Fahrzeugen, verwendet. Für diese Anwendung folgten weitere Batterietypen, wie Nickel-Metallhydrid und Natrium-Nickelchlorid Batterien. Aktuell dominiert die Lithium-Ionen-Batterie den Markt der Traktionsbatterien, während weitere Batteriesysteme wie Lithium-Luft, Lithium-Schwefel und die Feststoffbatterie im Forschungs- und Entwicklungsstadium sind. Der Einsatz von Traktionsbatterien in Kraftfahrzeugen reicht von relativ kleinen Batteriesystemen in Hybridfahrzeugen zum Speichern von Bremsenergie mit einer Reichweite der geladenen Batterie von ungefähr 15 km, über Plug-in-Hybrid-Systeme mit Reichweiten von 10 bis 60 km, bis zu den großen Batteriesystemen in reinen Elektrofahrzeugen mit typischen Reichweiten von 200 bis 300 km. Die Batterien in allen drei voran genannten Systemen besitzen einen modularen Aufbau, dessen kleinste Einheit die Einzelzelle ist. Erreichen die Traktionsbatterien bei fortgeschrittener Lebensdauer nicht mehr die vorgegebenen Spezifikationen, muss dies nicht unbedingt das Ende der Batterienutzung bedeuten, sondern sie können noch für weniger anspruchsvolle Verwendungen, wie stationäre Speichersysteme, eingesetzt werden [2].

2 Bauformen

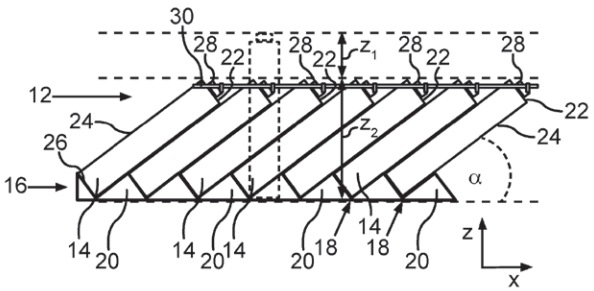
Zur Versorgung des Motors muss die Traktionsbatterie Spannungen von typischerweise 400 V und Leistungen in der Größenordnung von 100 kW sowie Kapazitäten von mindestens 15 bis 25 kWh bereitstellen [3]. Um diese Werte zu erreichen, werden Batterieeinzelzellen zu Batteriemodulen und diese Module ihrerseits wieder zur Fahrzeugbatterie zusammengeschaltet. Figur 1 zeigt ein Batteriemodul 2, bei dem eine Vielzahl von Einzelzellen 1, an deren Oberseite jeweils zwei Zellpole 4 zur elektrischen Kontaktierung angeordnet sind, nebeneinander in einem Gehäuse (Bauteile 6 und 13) platziert sind. Die Einzelzellen können seriell und/oder parallel miteinander verschaltet werden. In Figur 2 sind mehrere Module 2, deren Einzelzellen



Figur 1: Batteriemodul, bestehend aus parallelen Einzelzellen (aus DE 10 2015 010 983 A1).



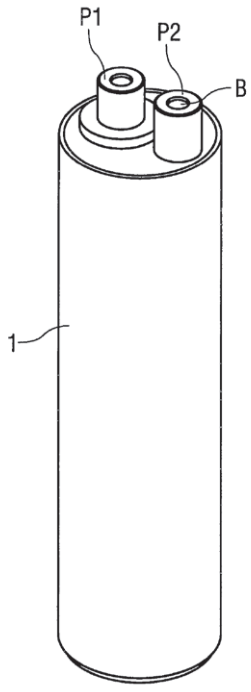
Figur 2: Aus mehreren Modulen zusammengesetzte Batterie (aus DE 10 2015 010 983 A1).



Figur 3: Geneigte Anordnung der Einzelzellen im Batteriegehäuse (aus DE 10 2015 214 181 A1).

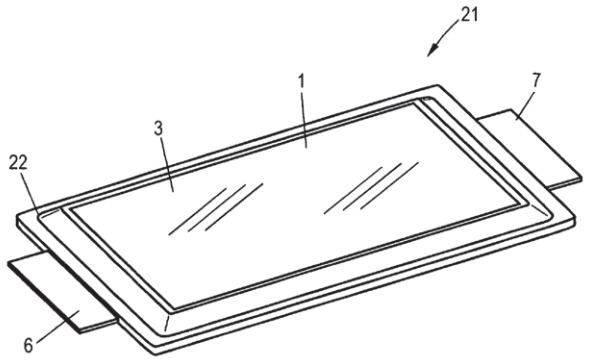
über elektrisch leitfähige Zellverbinder 5 seriell verschaltet sind, auf einer Grundplatte 7 angebracht und mittels einer Stromschiene 14 parallel miteinander zur Batterie verbunden. Die mechanische Fixierung der Batteriemodule ist über Befestigungselemente 10 realisiert. Des Weiteren enthält die Grundplatte 7 mehrere Temperiermediumströmungskanäle 9 zum Kühlen oder Erwärmen der Batterie. Neben der in den Figuren 1 und 2 gezeigten Anordnung der Batterieeinzelzellen, gibt es bei geringem Bauraumbedarf die Möglichkeit, die Einzelzellen wie in Figur 3 schräg zur Grundplatte beziehungsweise zum Batteriegehäuse anzuordnen.

Die in Elektrofahrzeugen eingesetzten Batterien verwenden Einzelzellen mit im Wesentlichen drei verschiedenen Bauformen. Dies sind die sogenannten Rundzellen, prismatischen Zellen und Pouch-Zellen. Rundzellen werden beispielsweise in der Batterie des TESLA Model S verwendet, prismatische Zellen werden bei BMW und Volkswagen eingesetzt und Pouch-Zellen kommen beim Nissan-Leaf zum Einsatz [3]. Die Rundzellen besitzen, wie der Name schon erahnen lässt, eine zylinderartige Form. Figur 4 zeigt eine beispielhafte Bauform einer Rundzelle 1 mit den Polkontakten P1 und P2. Eine prismatische Zelle 1 mit Polkontakten 4 ist in Figur 1 dargestellt. Deren Form

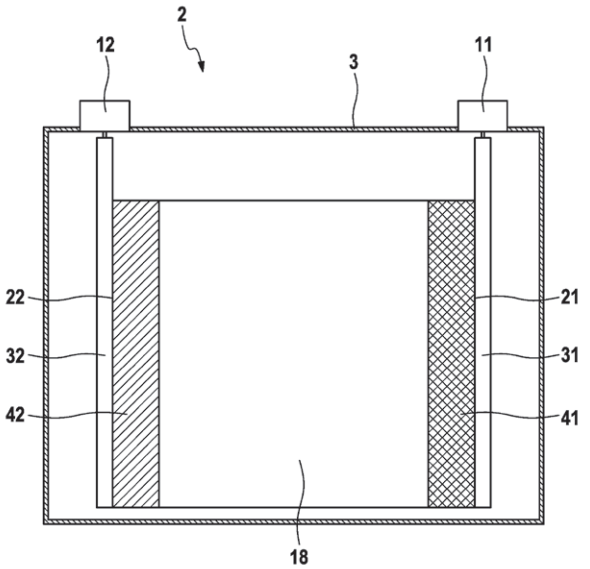


Figur 4: Batteriezelle in der Bauform einer Rundzelle (aus DE 10 2009 035 470 A1).

entspricht einer Flachzelle mit einem im Wesentlichen quaderförmigen stabilen Zellgehäuse. Im Gegensatz hierzu besitzen die Pouch-Zellen kein festes Gehäuse, sondern sind in eine flexible Folie eingepackt. Figur 5 zeigt eine derartige Pouch-Zelle 21. Das galvanische Element, welches aus durch Separatoren getrennten Folienelektroden besteht, sowie der Elektrolyt (in der Abbildung nicht gezeigt) sind von einer folienartigen Ummantelung 3 umgeben. Durch diese Ummantelung sind die beiden als Anode beziehungsweise Kathode fungierenden Kontaktelemente 6 und 7 geführt. Die Pouch-Zelle ist des Weiteren von einem rahmenförmigen Abdichtelement 22 umgeben, welches auch der mechanischen Stabilisierung dient.



Figur 5: Batteriezelle in Pouch-Zellen Bauform (aus DE 10 2015 000 735 A1).



Figur 6: Innerer Aufbau einer Batteriezelle (aus DE 10 2015 208 435 A1).

3 Batterietypen

Den grundsätzlichen inneren Aufbau einer Batterieeinzelzelle zeigt beispielsweise Figur 6. Die Einzelzelle wird von einem Zellengehäuse 3 umgeben, an dem zwei Terminals 11 und 12 zur elektrischen Kontaktierung angebracht sind. Diese Terminals sind mit den jeweiligen Stromableitern 31 der Anode 21 und 32 der Kathode 22 verbunden. Die Anode besitzt ein anodisches Aktivmaterial 41, die Kathode ein kathodisches Aktivmaterial 42. Zwischen Kathode und Anode ist ein Separator 18 angebracht. Im Innenraum des Zellgehäuses befindet sich ein Elektrolyt, der den Transport der Ladungsträger von der Anode zur Kathode und zurück ermöglicht. Beim Entladen der Batterie, das heißt bei der Stromabgabe, werden aus dem Anodenmaterial an der Anode positiv geladene Ionen und Elektronen gebildet. Die Ionen wandern im Elektrolyt durch den Separator zur Kathode, während die Elektronen als elektrischer Strom über den Verbraucher zur Kathode gelangen. Beim Laden der Batterie läuft diese Reaktion, durch Anlegen einer äußeren Spannung an die Batterie, in umgekehrter Richtung ab.

Die Einteilung der eingesetzten Batterien in verschiedene Batterietypen erfolgt in den häufigsten Fällen anhand der jeweils in den Batterieeinzelzellen als Anoden-, Kathoden- und Elektrolytmaterial verwendeten Werkstoffe. In der Entwicklung von Elektrofahrzeugen der letzten Jahrzehnte wurden Zellentypen wie Blei, Nickel-Metallhydrid (NiMH) und Natrium-Nickelchlorid verwendet. Heute dominiert die Lithium-Ionen-Batterie den Markt der Traktionsbatterien eindeutig. Mit den derzeit sich noch in Forschung und Entwicklung befindlichen Lithium-Luft-, Lithium-Schwefel- und Feststoff-Batteriesystemen hofft man, künftig höhere Batteriekapazitäten und somit größere Reichweiten bereitstellen zu können.

3.1 Blei-, Nickel-Metallhydrid- und Natrium-Nickelchlorid-Batterien

Bei der Bleibatterie bestehen sowohl Anode als auch Kathode aus Bleiplatten, die in metallischer beziehungsweise oxidierter Form vorliegen. Die Bleiplatten befinden sich in verdünnter Schwefelsäure als Elektrolyt

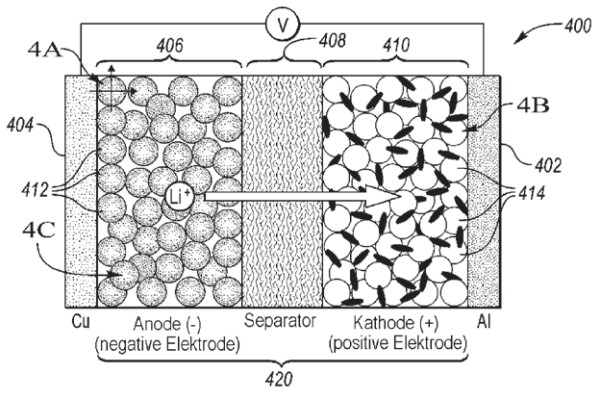
und Separatoren schützen vor direkter gegenseitiger Berührung. Beim Entladen entsteht an beiden Elektroden Bleisulfat, welches bei der Ladereaktion wieder zu metallischem Blei beziehungsweise Bleidioxid umgewandelt wird [1]. Wegen seiner vergleichsweise hohen Masse, geringen Leistungsfähigkeit und kurzen Lebensdauer spielt der Bleiakkumulator auf dem Markt der Traktionsbatterien keine Rolle mehr.

Ein weiteres Batteriesystem, welches als Traktionsbatterie in früheren Kraftfahrzeugen Verwendung fand, ist die Nickel-Metallhydrid (NiMH) Batterie, welche heutzutage speziell im Bereich der Kleinelektroprodukte starke Verbreitung gefunden hat. Die Anode dieser Batterie besteht aus einer wasserstoffspeichernden Seltenerdmetall-Nickellegierung, die Kathode aus Nickeloxidhydrat. Als Elektrolyt wird Kalilauge verwendet.

Nickel-Metallhydrid-Batterien lassen sich zwar im Vergleich zu Lithium-Ionen-Batterien günstiger herstellen, besitzen aber eine deutlich geringere Energiedichte. Außerdem neigen Nickel-Metallhydrid-Batterien zur Selbstentladung [4]. Aus diesem Grund konnten sie sich als Fahrzeugakkus für reine Elektrofahrzeuge nicht durchsetzen. Nur bei den Hybridfahrzeugen finden sie beschränkte Anwendung [3].

Die auch Zebra-Batterie genannte Natrium-Nickelchlorid-Batterie wurde ursprünglich von AEG in Deutschland entwickelt und später ebenfalls als Traktionsbatterie in früheren Elektrofahrzeugen eingesetzt. Als Kathode wird hierbei ein mit einer flüssigen Salzlösung aus Nickelchlorid und Natriumchlorid durchtränktes gesintertes Nickel verwendet. Die Anode besteht aus flüssigem Natrium und wird durch eine nur für Natriumionen durchlässige semipermeable Keramikwand, die auch als Festelektrolyt dient, von der Kathode getrennt. Beim Entladungsvorgang werden Nickelchlorid und Natrium zu Natriumchlorid und Nickel umgewandelt. Beim Laden der Batterie läuft dieser Vorgang in umgekehrter Richtung ab [1].

Die Natrium-Nickelchlorid-Batterie besitzt zwar keine Selbstentladung wie die Nickel-Metallhydrid-Batterie, hat aber den Nachteil, dass sie auf 300 °C aufgeheizt werden muss. Dieser Batterietyp konnte sich ebenfalls auf dem Markt nicht durchsetzen [3].



Figur 7: Lithium-Ionen-Batteriezelle (aus DE 10 2015 111 954 A1).

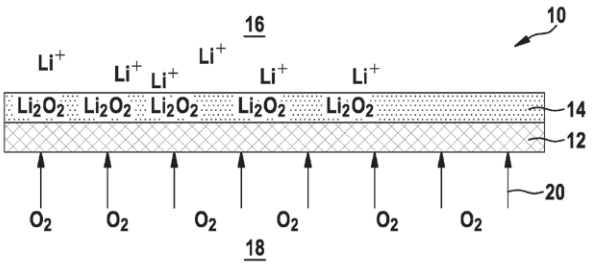
3.2 Lithium-Ionen-Batterie

Die Lithium-Ionen-Batterie wird bei den aktuell auf dem Markt erhältlichen Elektroautos verwendet. Sie besitzt eine hohe Energiedichte sowie eine niedrige Selbstentladungsrate [4]. Die Entwicklung dieser Batterie begann in den 1980er Jahren in Japan bei Asahi Kasei Co., wurde 1991 von Sony Corporation und 1992 von A&T Battery Corporation auf den Markt gebracht [5]. Inzwischen hat die Lithium-Ionen-Batterie alle zuvor als Traktionsbatterie verwendeten Batterietypen verdrängt.

Der schematische Aufbau einer Lithium-Ionen-Batterie ist in Figur 7 dargestellt. Die Lithium-Ionen-Batteriezelle besitzt einen negativen Stromabnehmer 404, welcher häufig aus Kupfer besteht, und einem positiven Stromabnehmer 402, der gewöhnlich aus Aluminium hergestellt wird. Zwischen der negativen Elektrode 406, welche häufig aus Kohlenstoff oder Graphit besteht, und der positiven Elektrode 410, die beispielsweise aus $LiCoO_2$ oder $LiFePO_4$ hergestellt ist, befindet sich der Separator 408. In der Lithium-Ionen-Batteriezelle können positiv geladene Lithiumionen frei im Elektrolyten durch den Separator zwischen den beiden Elektroden hin und her wandern.

Bei einer geladenen Batteriezelle sind die Lithiumionen in Form einer sogenannten Intercalationsverbindung im Anodenmaterial 406 eingelagert. Beim Entladen der Batterie gibt die Intercalationsverbindung Elektronen ab, die über den externen Stromkreis von der Anode über den Verbraucher zur Kathode fließen. Gleichzeitig wandern die Lithiumionen von der Anode 406 durch den Separator 408 zur Kathode 410. Beim Laden bewegen sich die Lithiumionen auf entgegengesetztem Weg von der Kathode durch den Separator zur Anode.

Die Lithium-Ionen-Batterie ist streng genommen ein Oberbegriff für Batterien einer ganzen Materialklasse mit unterschiedlichen Kathodenmaterialien. Als Kathodenmaterialien, in die Lithiumionen eingelagert werden können, werden je nach Zelltyp beispielsweise $LiCoO_2$, $LiMnO_2$, $LiFePO_4$ oder Li_2FePO_4F verwendet. Je nach verwendetem Kathodenmaterial ergeben sich dann unterschiedliche Energiedichten der Batteriezelle zwischen 70 und 190 Wh/kg [5]. Die Lithium-Ionen-Batterietechnik ist derzeit im Mittelpunkt weltweiter intensiver Forschungs- und Entwicklungstätigkeiten. Zum einen werden bei dem komplexen Batteriesystem eine Vielzahl von Einzelkomponenten weiterentwickelt, zum anderen muss aber auch das Gesamtsystem optimiert werden, was eine interdisziplinäre Zusammenarbeit verschiedener wissenschaftlicher und technischer Fachrichtungen, wie Materialwissenschaften, Elektrochemie, Festkörperchemie, Physik und Maschinenbau, notwendig macht [7].



Figur 8: Kathode einer Lithium-Luft-Batteriezelle (aus DE 10 2011 080 936 A1).

3.3 Lithium-Luft-Batterie

Lithium-Luft-Batterien befinden sich noch im Entwicklungsstadium und sind somit ein Kandidat für die nächste Generation von Batteriezellen. Da sie eine sehr hohe theoretische spezifische Energie von über 11 kWh/kg besitzen [8], wären mit ihnen spezifische Energien in einer höheren Größenordnung möglich als mit herkömmlichen Lithium-Ionen-Batterien. Figur 8 zeigt den schematischen Aufbau einer Kathode für eine Lithium-Luft-Batterie. Die Kathode besteht aus einem porösen Trägersubstrat 12 und einem porösen Aktivmaterial 14. Der Sauerstoff aus der Sauerstoffatmosphäre 18 diffundiert durch das Trägersubstrat 12 in das Aktivmaterial 14. Bei der Entladung werden von der nicht dargestellten Lithium-Anode unter Abgabe eines Elektrons Lithiumionen abgegeben. Diese wandern über den Elektrolyten 16 in das poröse Aktivmaterial 14 der Kathode und bilden dort zusammen mit dem Sauerstoff das Reaktionsprodukt Li_2O_2. Bei der Ladung der Lithium-Luft-Batterie kehrt sich der Vorgang um, das heißt an der Kathode wird Sauerstoff abgegeben und an der Anode Lithium abgeschieden. Statt eines Flüssigelektrolyten kann auch ein Feststoffelektrolyt vorteilhaft sein, welcher in Kapitel 3.5 näher beschrieben wird [9]. Die Entwicklung der Lithium-Luft-Batterie stößt derzeit noch auf verschiedene Schwierigkeiten. Viele Studien befassen sich mit dem Materialdesign und der Performance-Charakterisierung der Kathode. Hier führt der Niederschlag des Reaktionsproduktes Li_2O_2 wegen seiner schlechten Löslichkeit im Elektrolyten zu einer Passivierung und einem Absinken der Zellspannung [8].

3.4 Lithium-Schwefel-Batterie

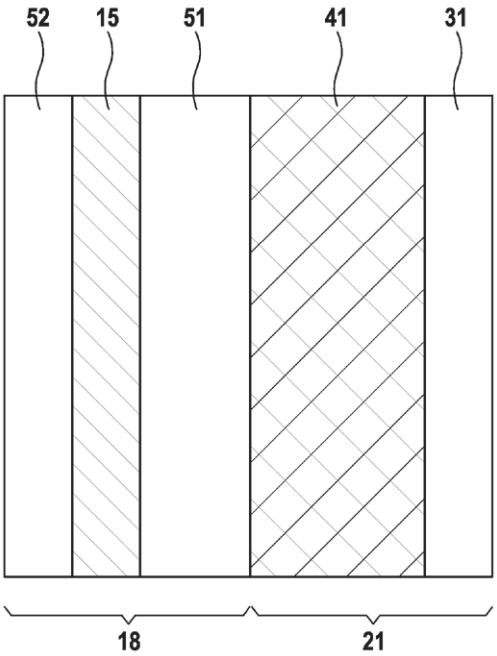
Lithium-Schwefel-Batterien sind ein weiterer Kandidat für die nächste Generation von Batteriezellen. Ihr Vorteil liegt in der hohen erreichbaren Energiedichte, welche theoretisch fünfmal höher ist als bei Lithium-Ionen-Batterien mit $LiCoO_2$/C-System. Auch die praktisch erreichbare Energiedichte ist noch zwei- bis dreimal höher als diejenige von kommerziell erhältlichen Lithium-Ionen-Batterien [10].

Die Lithium-Schwefel-Batterie besteht aus einer Lithium-Anode, einer Schwefel-Kathode und einem sich dazwischen befindlichen Elektrolyt. Als Elektrolyt wird häufig ein Flüssigelektrolyt verwendet, es kann aber auch ein Feststoffelektrolyt, wie im folgenden Abschnitt über die Feststoffbatterie erläutert, eingesetzt werden [9]. Beim Entladen der Batterie reagiert der Schwefel mit Lithium zu Li_2S. Beim Laden der Batterie wird Li_2S wieder in Lithium und Schwefel zerlegt. Bei allen drei Hauptkomponenten der Lithium-Schwefel-Batterie, der Kathode, der Anode und dem Elektrolyt, besteht noch weiterer Forschungs- und Entwicklungsbedarf. Beispielsweise muss beim Kathodenmaterial die Partikelgröße weiter reduziert und ein besserer Kontakt zum Träger hergestellt werden, um die Lithium-Speicherkapazität der Kathode

zu erhöhen. Im Falle der Verwendung eines Flüssigelektrolyten ist die Entwicklung geeigneter Zusatzstoffe wichtig, um die Stabilität der Lithium-Anode zu verbessern [10].

3.5 Feststoff-Batterie

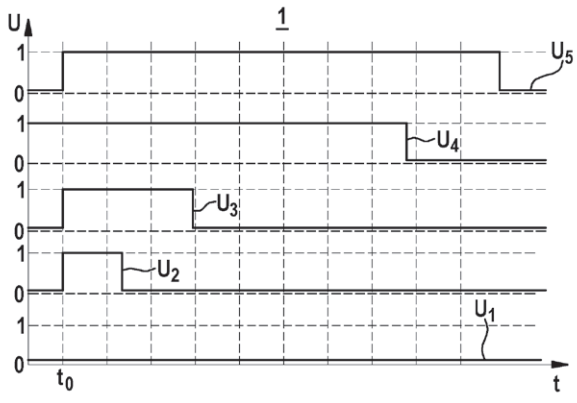
Auch die Feststoff-Batterie (Solid State Battery) wird als möglicher Nachfolger der Lithium-Ionen-Batterie gehandelt. Bei diesem Batterietyp ist das System aus Separator und Elektrolytflüssigkeit durch ein Polymer, eine Keramik oder ein Glas ersetzt. Die Lithiumionen bewegen sich also nicht durch eine Flüssigkeit von der Anode zur Kathode und zurück, sondern hüpfen von einer Leerstelle in der atomaren Kristallgitterstruktur zur nächsten. Besonders häufig werden Polymerelektrolyte eingesetzt, hierbei werden die Ladungsträger als Salz zu dem Polymer gemischt [11]. Feststoff-Batterien haben gegenüber Lithium-Ionen-Batterien den Vorteil, dass sie sich nicht entzünden, keine Probleme mit dem Austritt von Elektrolytflüssigkeit haben und sich gut miniaturisieren lassen. Sie besitzen eine sehr gute Speicherstabilität und eine sehr häufige Wiederaufladbarkeit [9]. Als Beispiel eines derartigen Feststoffelektrolyten sind in Figur 9 die Anode 21 und der Separator 18 einer Feststoff-Batteriezelle dargestellt. Die nicht gezeigte Kathode, welche als Grundstoff ein Metalloxid aufweist, beispielsweise $LiCoO_2$, schließt sich auf der linken Seite des Separators an. Die Anode besteht aus einem Stromableiter 31 und dem anodischen Aktivmaterial 41, welches als Grundstoff Lithium oder eine Lithium enthaltende Legierung aufweist. Der Separator besteht aus einem Feststoffelektrolyt 15, der sich zwischen den Zwischenschichten 51 und 52, welche feste Polymere und Lithium-Leitsalze enthalten, befindet. Ein Problem der meisten momentan verfügbaren Feststoffelektrolyte ist die zu geringe Leitfähigkeit bei Zimmertemperatur. Hier müssen neue Materialien, die eine hohe Leitfähigkeit bei Zimmertemperatur besitzen, entwickelt und an das Schichtsystem der Feststoffbatterie angepasst werden [10].



Figur 9: Separator und Anode einer Feststoff-Elektrolyt-Batteriezelle (aus DE 10 2015 208 435 A1).

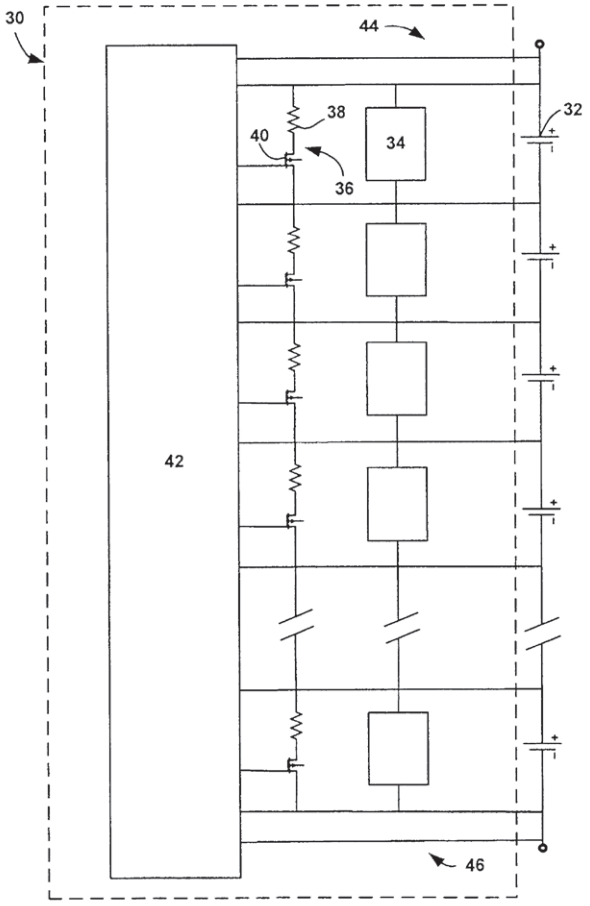
4 Zellüberwachung und Ladungsausgleich

Zellüberwachung und Ladungsausgleich sind vom verwendeten Batterietyp abhängig und werden im Folgenden am Beispiel der Lithium-Ionen-Batterie betrachtet. Der Ladezustand (state of charge, SOC) einer Batterie wird durch den minimalen Ladezustand aller Ladezustände der einzelnen Batteriezellen bestimmt. Durch ein Ausgleichen der Zellen, das sogenannte Cell Balancing, werden die Ladezustände der Batteriezellen trotz unterschiedlicher Selbstentladung aufeinander abgestimmt. Dies geschieht, indem einzelne Zellen gezielt entladen werden. In Figur 10 ist dies schematisch für eine aus fünf Einzelzellen bestehende



Figur 10: Diagramm zum Prinzip des Ladungsausgleiches (Cell Balancing) (aus DE 10 2015 202 939 A1).

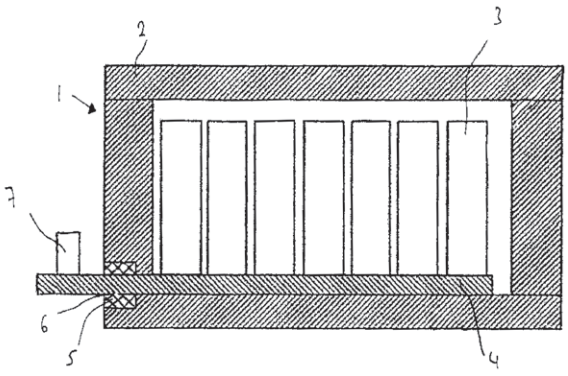
Batterie dargestellt. Im Diagramm sind die Steuerspannungen U1 bis U5 für das Entladen der jeweiligen Batteriezellen 1 bis 5 im zeitlichen Verlauf dargestellt. In dem angegebenen Beispiel soll Batteriezelle 1 den niedrigsten Ladezustand aufweisen. Die Höhe des Ladezustandes der anderen Batteriezellen soll mit der Batteriezellennummer steigen. Da die Batteriezelle 1 den niedrigsten Ladezustand aufweist, wird sie nicht entladen, das heißt der Wert der Steuerspannung bleibt null. Die anderen Batteriezellen werden abhängig von ihrem Ladezustand unterschiedlich lange entladen (Steuerspannung U=1), wobei bei Batteriezelle 5, die den höchsten Ladezustand aufweist, die längste Entladezeit vorgesehen ist. Nach dem Entladen besitzen alle Batteriezellen einen gleichmäßigen Ladezustand. Eine Schaltung zur Realisierung dieses Ladungsausgleichs-Verfahrens zeigt Figur 11. Die Einzelzellen 32 sind in Reihe miteinander verbunden. Jede der Batteriezellen besitzt einen Zellüberwachungsschaltkreis 34, welcher die Zellenspannung misst und eine Zellenschutzschaltung umfasst. Des Weiteren besitzt jede Batteriezelle eine Zellausgleichsschaltung 36 mit einem Widerstand 38 und einem Schalter 40, welche das Entladen der einzelnen Batteriezelle zu Zellausgleichszwecken ermöglicht. Jede der Schaltungen 34 und 36 ist mit dem integrierten Schaltkreis 42 gekoppelt, der die notwendigen elektrischen Schaltelemente aufweist, um mit Hilfe der jeweiligen Zellüberwachungsschaltkreise die Spannungen der Batteriezellen zu messen und in Abhängigkeit davon die einzelnen Zellausgleichsschaltungen anzusteuern und somit die gewünschten Zellentladungen auszuführen.



Figur 11: Elektronische Schaltung zur Durchführung des Ladungsausgleiches (aus DE 10 2013 108 023 A1).

5 Temperaturmanagement

Für eine möglichst lange Lebensdauer und eine optimale Leistungsfähigkeit der Traktionsbatterie, darf diese weder zu warm noch zu kalt betrieben werden. Die optimale Betriebstemperatur der Lithium-Ionen-Batterie, für die das Temperaturmanagement beispielhaft im Folgenden betrachtet werden soll, liegt zwischen 20 °C und 40 °C. Diese Anforderung macht eine Kühlung der Batterie im Betrieb sowie eine Heizung der Batterie, insbesondere für Startphasen bei niedrigen Umgebungstemperaturen, notwendig. In diesem Abschnitt wird nur auf die Kühlung näher eingegangen, da die Erwärmung der Batterie im Wesentlichen analog verläuft. Die Art der Kühlung hängt stark von der Bauform der verwendeten Einzelzellen ab. Die Rundzelle hat gegenüber der prismatischen Zelle und der Pouch-Zelle geometrische Nachteile, weil sie ein für



Figur 12: Batteriekühlung mittels Kühlplatte (aus DE 10 2012 216 916 A1).

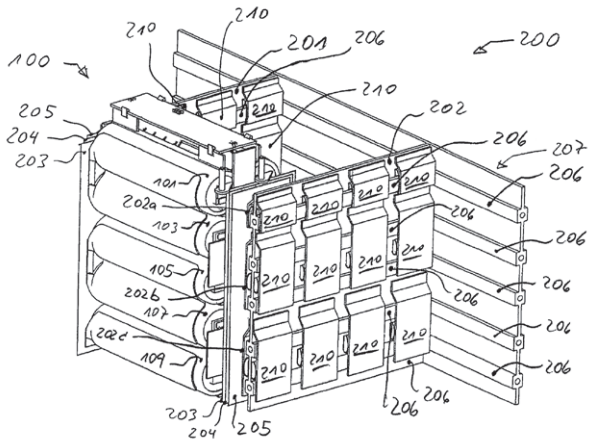
Kühlzwecke schlechtes Verhältnis von Oberfläche zu Volumen besitzt und zudem thermisch schlecht mit Wärmeleitelementen zu kontaktieren ist. Dies spielt zwar bei der Verwendung von Luftkühlung keine Rolle, ist aber bei den effizienteren Kühlsystemen über fluidführende Kühlbleche oder Ableiterkühlung, bei der das Zellinnere direkt über die Elektroden gekühlt wird, schwieriger zu realisieren [12]. Die Kühlung der Batteriezellen mittels einer Kühlplatte ist in Figur 12 dargestellt. Die Abbildung zeigt einen Schnitt durch eine Hochvoltbatterie für den Einsatz in einem Kraftfahrzeug. In dem Batteriegehäuse 2 sind die Batteriezellen 3 auf einer Kühlplatte 4 angeordnet. Die Kühlplatte befindet sich in wesentlichen Teilen im Batteriegehäuse und wird mittels der Dichtung 5 durch die Öffnung 6 aus dem Batteriegehäuse herausgeführt. Der Zulaufanschluss 7 ist außerhalb des Gehäuses angeordnet. Die Kühlung von Rundzellen über Stromableiter und Anschlussklemme zeigt Figur 13. Die beidseitig über die Anschlussklemmen von der Speicherzelle 101 abgeführte Wärme wird über elektrisch isolierende Wärmeleitfolien 203, 204 und 205 den Kühlplatten 201 und 202 zugeführt. Zur Herstellung eines zuverlässigen thermischen Kontakts zwischen den Polen beziehungsweise Anschlussklemmen und den Kühlplatten, sind diese mit Federelementen 210 versehen.

Der Kühlaufwand künftiger Batteriesysteme hängt von der Entwicklung der Zellchemie ab. Eine Verringerung der Innenwiderstände und eine Erhöhung der erlaubten Zell-Maximaltemperaturen werden einen geringeren Kühlaufwand zur Folge haben. Auf der anderen Seite wird durch die angestrebte Erhöhung der Leistungs- und Energiedichte der Kühlaufwand wieder erhöht [12].

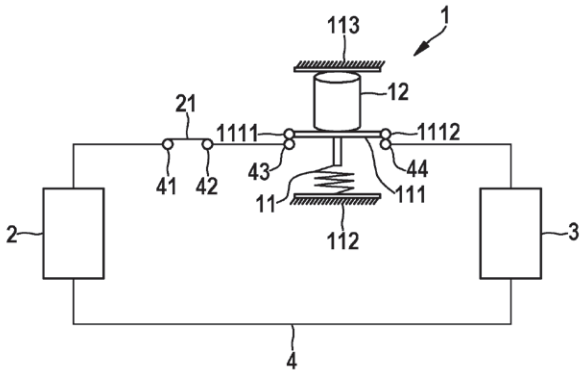
6 Sicherheitsmanagement

Wegen der hohen verwendeten Spannungen und des großen Energieinhalts sowie wegen der eingesetzten Materialien, wie hochreaktivem Lithium oder brennbarem Graphit, benötigen die Lithium-Ionen-Traktionsbatterien ein Sicherheitsmanagement. Hier ist schon die Transportsicherheit der Batterien im noch nicht eingebauten Zustand zu gewährleisten, aber natürlich auch die Sicherheit der eingebauten Batterien während des Betriebs im Kraftfahrzeug sicherzustellen.

Bei einem Unfall muss die Verbindung der Hauptbatterie zu den entsprechenden elektronischen Verbrauchern unterbrochen werden. Dies ist notwendig, um Personen vor den hohen Spannungen zu schützen und ein eventuell auftretendes kurzschlussartiges Entladen der Batterie mit der Gefahr eines Brandes oder einer Explosion zu verhindern. In Figur 14 ist eine hierfür verwendete Schaltungsvorrichtung dargestellt. Die Batterie 3 ist über einen elektrisch zu betätigenden Leistungsschalter 21 mit dem Elektromotor verbunden. Der Leistungsschalter wird mittels einer 12 V-Batterie des Fahrzeugs mit Strom versorgt und wird bei einem Unfall geöffnet, um den Stromfluss zu unterbrechen. Des Weiteren ist noch eine von der Bordnetzspannung unabhängige Schaltvorrichtung eingebaut. Diese besteht aus einem durch ein Federele-



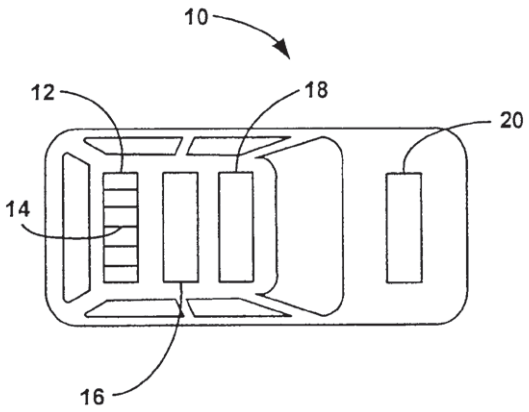
Figur 13: Batteriekühlung über die Anschlussklemmen der Einzelzellen (aus DE 10 2008 053 311 A1).



Figur 14: Schaltvorrichtung zum Trennen der Batterie bei einem Unfall (aus DE 10 2014 202 932 A1).

ment 11 vorgespannten, zerbrechlichen Hohlkörper 12, der durch Schallresonanz im Falle eines Unfalls zerstört wird. Dadurch wird der Schalter 111 geöffnet und somit der Stromkreis unterbrochen.

Zudem kann im Fall eines Unfalls eine sofortige Entladung der Hochvoltbatterie von Vorteil sein, wie dies in der DE 10 2013 108 023 A1 beschrieben ist. In der zugehörigen Figur 15 ist ein Fahrzeug mit einer Hochvoltbatterie 12, bestehend aus einer Vielzahl von Batteriezellen 14, dargestellt. Im Falle eines Crashs sendet der Crashdetektor 20 ein Signal an ein elektronisches Steuergerät 18, um automatisch ein Verfahren zum Entladen aller Batteriezellen zu initiieren.



Figur 15: Fahrzeug mit Komponenten zum Entladen der Batteriezellen bei einem Unfall (aus DE 10 2013 108 023 A1).

7 Ausblick

Um die Elektromobilität deutlich voranzubringen, ist eine Weiterentwicklung der Traktionsbatterie hinsichtlich der Senkung der Herstellungskosten, der Steigerung der Energiedichte und der Erhöhung der Lebensdauer, das heißt der Anzahl der möglichen Ladezyklen, dringend notwendig. Mit welchem Batterietyp dies am besten erreicht werden kann, mit der momentan weit verbreiteten Lithium-Ionen-Batterie oder den sich in Forschung und Entwicklung befindlichen Lithium-Luft-Batterien, Lithium-Schwefel-Batterien und Feststoff-Batterien, ist derzeit schwer absehbar. Egal welches System sich durchsetzen wird, es wird noch eine Vielzahl von Innovationen erfordern, um zu einem Batteriesystem zu gelangen, welches auf dem Markt gegenüber dem Verbrennungsmotor konkurrenzfähig ist.

Nicht-Patentliteratur

[1] TRUEB, Lucien F, RÜETSCHI, Paul: Batterien und Akkumulatoren – Mobile Energiequellen für heute und morgen. Springer 1998. ISBN 978-3-540-62997-9

[2] SEITZ, Helmut, SCHUÈ, Martina: Second Life – Nachhaltigkeitskonzepte für Batterien im Bereich Elektromobilität, Erfinderaktivitäten 2017, Deutsches Patent- und Markenamt 2017, Seite 13

[3] KARLE, A.: Elektromobilität – Grundlagen und Praxis. Hanser Verlag, München 2017, ISBN 978-3-446-45099-8

[4] RAHN, Christopher D. et al.: Battery Systems Engineering. Wiley 2013. ISBN: 9781119979500

[5] YOSHIO, Masaki et al.: Lithium-Ion Batteries – Science and Technologies. Springer 2009. ISBN 978-0-387-34444-7

[6] VEZZINI, Andrea: Mobilität und erneuerbare Energie – Elektrofahrzeuge. Phys. Unserer Zeit 41, 2010, Seite 36–42

[7] ETACHERI, Vinodkumar et al.: Challenges in the development of advanvced Li-ion batteries: a review. Energy Environ. Sci. 4, 2011, Seite 3243

[8] WANG, Yun: Modeling discharge deposit formation and its effect on lithium-air battery performance. Electrochimica Acta 75 (2012), Seite 239–246

[9] TAKADA, Kazunori: Progress and prospective of solid-state lithium batteries. Acta Materialia 61 (2013), Seite 759–770

[10] YIN, Ya-Xia et al.: Lithium-Sulfur Batteries: Electrochemistry, Materials, and Prospects. Angew. Chem. Int. Ed. 52, 2013, Seite 13186–13200

[11] HARTNIG, C. et al.: Elektrolyte und Leitsalze, in: Korthauer, Reiner (Hrsg.): Handbuch Lithium-Ionen-Batterien. Springer Vieweg, 2013, Seite 177–187. ISBN 978-3-642-30652-5

[12] ZEYEN, Michael Günther et al.: Thermisches Management der Batterie, in: Korthauer, Reiner (Hrsg.): Handbuch Lithium-Ionen-Batterien. Springer Vieweg, 2013, Seite 165–175. ISBN 978-3-642-30652-5

Second Life – Nachhaltigkeitskonzepte für Batterien im Bereich Elektromobilität

Martina Schué, Dr. Helmut Seitz, Patentabteilung 1.37

Dieser Artikel soll die Möglichkeiten beleuchten, wie der Batteriekreislauf im Bereich von Elektrofahrzeugen nachhaltig aufgebaut sein könnte. Mit der wachsenden Anzahl von elektrischen Fahrzeugen wird zukünftig die Frage wichtiger, wie die zunehmende Anzahl von gebrauchten Batterien sinnvoll wiederverwertet werden können. Zudem verfügen die gebrauchten Batterien im Allgemeinen noch über eine nutzbare Restkapazität. Der Artikel soll aufzeigen, ob oder gegebenenfalls wie es für diese Batterien eine sinnvolle Weiterverwendung geben kann.

1 Einleitung

Mit voranschreitender Elektrifizierung des automobilen Antriebs steht eine Energiespeicherkapazität zur Verfügung, über deren nachhaltige Verwendung es nachzudenken gilt.

Im Jahr 2016 lag der weltweite Bestand an Elektrofahrzeugen bei rund 2 Millionen, davon 50 000 in Deutschland [1]. Würde in Deutschland das Ziel von einer Million Elektrofahrzeugen im Jahr 2020 erreicht werden, stände 5 Jahre später eine Speicherkapazität von bis zu 40 Gigawattstunden (GWh) zur Verfügung [1]. Hierbei wurde eine durchschnittliche Speicherkapazität von 40 Kilowattstunden (kWh) pro Fahrzeug und ein Austausch bei 80 % Restkapazität zugrunde gelegt. Heutzutage befinden sich schon Fahrzeuge in Serienproduktion, die eine Speicherkapazität von 100 kWh aufweisen.

Zurzeit geht man von einer Batterienutzung im Elektrofahrzeug von 5 bis 10 Jahren aus. Da der Sicherheitskomfort eines Automobils mit an oberster Stelle steht, sollte die Nutzung des Fahrzeugs unabhängig von den Alterungseffekten der Batterie sein. Die Batterie müsste somit nach einem Kapazitätsverlust von 20 bis 30 % bereits ausgetauscht werden. Setzt man diesen Wert in Relation zur derzeitigen eingesetzten Energiedichte (100 Wh/kg), würde bei einer 20 kWh Traktionsbatterie um die 60 Kilogramm ungenutzt befördert und nur noch 80 % der ursprünglichen Reichweite erzielt werden.

Ferner ist davon auszugehen, dass die propagierten Rückspeisungskonzepte, wie Vehicle-to-Grid (V2G), Vehicle-to-House (V2H) oder auch Vehicle-to-Vehicle (V2V), für Elektrofahrzeuge im Zuge einer Energiearbitrage die Lebensdauer der ursprünglichen Traktionsbatterie schmälern. Dies beträfe also die zusätzlichen Lade-/Entladezyklen sowie die spezifischen Lade- und Entladebedingungen bei elektrischen Fahrzeugen (zum Beispiel Schnellladen, klimatische Bedingungen).

2 Verwendungsmöglichkeiten der Batterien in ihrem „zweiten Leben“

Nachdem davon auszugehen ist, dass nach einem Kapazitätsverlust von 20 bis 30 % der ursprünglichen Kapazität die Batterie in der bisherigen Form zum Antrieb nicht weiter eingesetzt werden kann, stellt sich die Frage, welchen Verwendungen der Energiespeicher dann noch zugeführt werden kann.

Der optimale Batteriekreislauf würde nach der Demontage aus dem Fahrzeug über einen weiteren Einsatzort zu einem Zerlegen beziehungsweise Recyceln der Batterieausgangsmaterialienführen, um dann wieder als Bestandteil eines neuen Batteriepacks in einem Elektrofahrzeug zum Einsatz zu kommen.

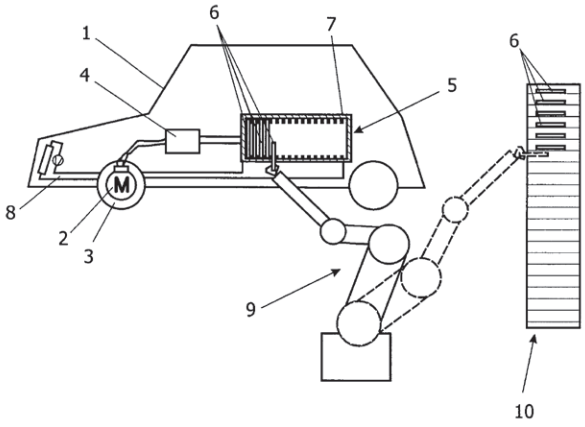
Neuer Einsatzort

Die gebrauchten Batterien beziehungsweise Batteriepacks werden für einen neuen Zweck entsprechend umgerüstet.

2.1 Wiederverwendung im Elektrofahrzeugbereich

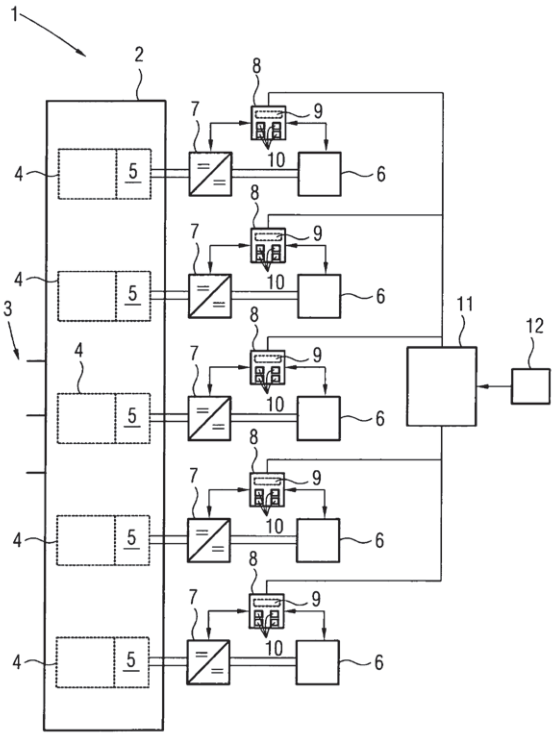
Weitgehend bekannt sind bereits die Vorschläge, komplette Batteriepacks in den Fahrzeugen zu ersetzen, beispielsweise im Rahmen von Mietbatterien [2].

Interessant ist zudem der Austausch einzelner Batteriemodule oder -zellen aus dem Batteriepack.
Im Betrieb werden üblicherweise defekte Batteriezellen in einem Batteriestapel durch ein Batteriemanagementsystem erkannt, um anschließend überbrückt oder herausgeschaltet zu werden. Vereinzelt bieten Automobilhersteller dann auch den gezielten Austausch defekter Module an. Dennoch ist weiter das Bestreben da, ein Ersetzen auf Zellebene im Rahmen einer Wartung gezielt durchzuführen.



Figur 1: Austausch einer einzelnen Batteriezelle aus dem Batteriepack eines Elektrofahrzeugs mittels eines Roboterarms (aus der DE 10 2013 016 796)

Dem Batteriemanagementsystem kommt nun die Aufgabe zu, die neuen Batteriezellen zu erkennen und entsprechend ihrer Kapazität, Nominalspannung, Zellchemie, Herstellervorgaben oder weiteren Kriterien in einen vorhandenen Block einzubinden (siehe Figur 1).



Figur 2: Vorrichtung eines Batteriemanagementsystems zur Implementierung gebrauchter Batteriezellen (aus der DE 10 2011 017 597 A1)

Gezielt wird hier, wie beispielsweise in Figur 2, eine Mischung aus unterschiedlichen Speichermodultypen eingesetzt, wobei die Unterschiede in ihrem elektrochemischen Aufbau liegen, wie Lithium-Ionen, Lithium-Polymer, Blei, Nickel-Kadmium, Metall-Luft oder Superkondensatoren.

Ebenso gibt es Bestrebungen, einen Batterieblock aus gebrauchten Zellen neu aufzubauen. Dabei muss abhängig von der Zellchemie der Ladezustand (englisch: *State of Charge – SOC*) möglichst exakt bestimmt werden, um ein Balancingverfahren zielgerichtet anwenden zu können [3].

2.2 Einsatz gebrauchter Batteriepacks als Zwischenspeicher

Für den Einsatz der Batterien im Elektrofahrzeug sind die masse- und volumenbezogene Energiedichte entscheidend, hingegen sind diese Parameter in einem stationären Anwendungsgebiet zunächst weniger von Bedeutung.

Eine Rekonfiguration der Batterie kann somit in erster Linie nach ihrer zukünftigen Nutzung erfolgen. Sei es als privater Stromspeicher im Haus- und Ladestationsbereich, für Notstrom- und Inselsysteme, in der Ausgestaltung von Versorgungsnetzen zur Spitzenlastregulierung (englisch: *Peak Leveling/Shaving*), zum Ausgleich von Stromschwankungen durch erneuerbare Energiequellen oder zur Netzstabilisierung. Diese Anwendungen bedienen sich dann sowohl zentraler als auch verteilter Stromspeicher.

2.3 Wiederverwendung in Batteriespeicherkraftwerken

Im kW und MW Bereich sind Batteriespeicherkraftwerke (englisch: *Battery storage power station*) oder im GW-Bereich Batteriespeichersysteme (englisch: *Battery Energie storage system – BESS*) angedacht und auch realisiert [4]. Mitte Mai 2017 waren in Deutschland 40 Batteriespeicherkraftwerke in Betrieb, die hauptsächlich auf Lithium-Ionen Technologie basieren [5].

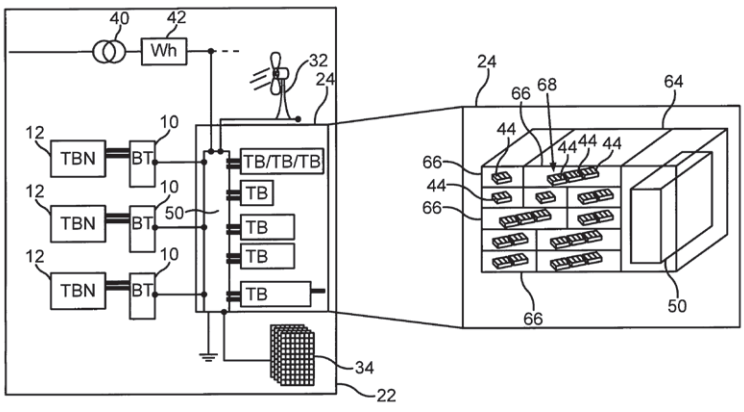
Wie bei der Rekonfiguration einzelner Zellen oder Module in einem Batteriepack ist es auch beim Zusammenschluss kompletter Traktionsbatterien entscheidend, diese einer Eingangsprüfung zu unterziehen. Ohne einen Test der gebrauchten Akkumulatoren lassen sich nur bedingt Aussagen über den *State of Health* und die Restlebensdauer treffen. Vorteilhaft wäre es zudem, die Betriebsdaten einzelner Batteriezellen zu kennen. Wenngleich die Anforderungen an die Batterie im stationären Bereich nicht mehr so dynamisch wie während der Verwendung in einem Elektrofahrzeug sind, bleibt doch der Anspruch, beispielsweise durch ein Batteriemanagementsystem für eine Sicherheitsüberwachung zu sorgen. Hierzu werden in der DE 10 2013 019 373 A1 die Batterien in einem abgeschlossenen Gehäuse untergebracht, das Vorrichtungen bietet, einen Batteriebrand zu löschen (siehe Figur 3).

Natürlich bedingt ein Batteriemanagementsystem über mehrere Traktionsbatterien, dass entsprechende Kommunikationsschnittstellen vorgesehen sind. Die DE 10 2013 019 373 A1 beschränkt sich nicht nur auf eine Kompatibilität der elektronischen Schnittstellen, sondern sieht auch einen Zusammenschluss des Kühlsystems vor.

Ein weiteres mögliches Anwendungsgebiet sind Batteriespeicherkraftwerke auf dem Gelände von den Fahrzeugherstellern. Der Vorteil liegt zum einen in einer möglichen Kombination mit bestehenden Blockheizkraftwerken sowie in dem Transportweg der Batterien, da dieser im Allgemeinen lokal gekoppelt ist mit dem Herstellungsprozess der Fahrzeuge. Zudem können bestehende Probleme in der kommerziellen Anwendung wie zum Beispiel unterschiedliche Kommunikationsprotokolle (siehe Abschnitt 5.1) oder Garantieanforderungen (siehe Abschnitt 5.2) reduziert werden, da die Batterien nur intern und mit bekannten Kommunikationsprotokollen verwendet werden.

2.4 Hausanwendungen/Ladestationen für Elektrofahrzeuge

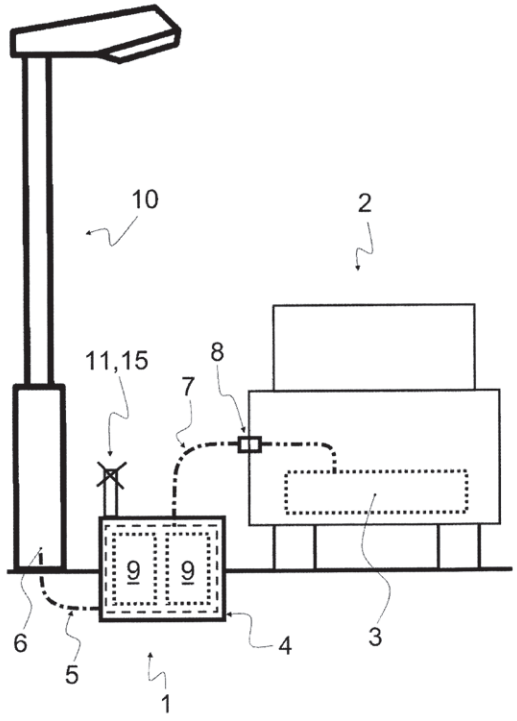
Bereits seit einigen Jahren wird im kW-Bereich die Verwendung von genutzten Energiespeichern für stationäre Systeme zur Erhöhung des Autarkiegrades vom Stromnetz vorgeschlagen. Energiespeichersysteme können als Backup-Systeme bei einem Stromausfall sicherstellen, dass die Stromversorgung nicht zusammenbricht (UPS – USV). Ein anderer Einsatz ist die stationäre Anwendung, die abgelegen von jeglichem Stromnetz betrieben wird, zum Beispiel Verbraucher



Figur 3: Unterbringung der Batterien in einem abgeschlossenen Gehäuse (DE 10 2013 019 373 A1)

in den Bergen, auf dem Meer oder an Fernstraßen. Hier können regenerative Energiequellen vorgesehen sein, um den Energiespeicher wieder aufzuladen; typisches Beispiel ist das Ein- oder Mehrfamilienhaus mit Photovoltaikanlage.

Aus dem gleichen Grund wird auch im Bereich von Ladestationen wie in der DE 10 2010 024 278 A1 immer wieder der Einsatz von gebrauchten Batterien vorgeschlagen (siehe Figur 4). Dabei gilt es, neben der Absicherung der Versorgung auch die Möglichkeit einer Schnellladung (Ladung mit Gleichstrom) zu schaffen.



Figur 4: Ladestation an einer Straßenlaterne mit gebrauchten Batterien als Zwischenspeicher (aus der DE 10 2010 024 278 A1)

Ferner werden auch mobile Energiespeichersysteme mit gebrauchten Batterien ausgestattet. Der Fokus in mobilen Systemen liegt ebenfalls auf Inselsystemen, das heißt auf Anwendungen, denen kein Stromnetz zur Verfügung steht, um den Standby-Strom zu gewährleisten. Beispiele sind Fahrzeuge im Transportwesen beziehungsweise der Einsatz als Range-Extender-Trailer, wie Figur 5 zeigt, sowie Nutz- und Campingfahrzeuge.

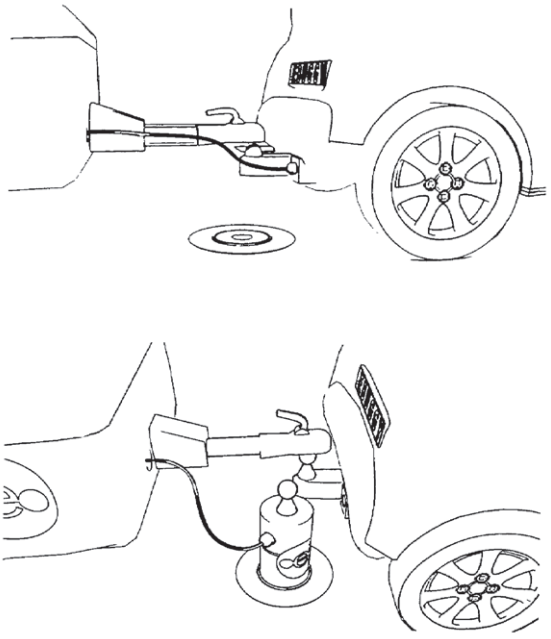
Bisher versorgen meistens Generatoren, betrieben aus fossilen Energieträgern, diese Stromlasten. Batteriespeichersysteme, die zum Beispiel aus regenerativen Energiequellen geladen werden, können diese Energie umweltschonender bereitstellen.

3 Demontage/Aufbereitung versus Recycling der Ausgangsmaterialen

Wenn gealterte Batterien anfallen, bieten sich zwei unterschiedliche Verfahren an: zum einen das vollständige Zerlegen der Batteriezellen mit anschließender Wiedergewinnung von Ausgangsmaterialen und zum anderen die vorherige Zuführung in die Second-Life-Verwendung mit Demontage beziehungsweise Aufbereitung der Batterien mit anschließendem Recycling.

3.1 Recycling der Ausgangsmaterialen

Beim Recycling werden die Batterien geschreddert und getrennt nach wertvollen Materialen. Dabei hat sich herausgestellt, dass die Wiedergewinnung von Lithium mit den aktuellen Preisen von neu gewonnenem Lithium nicht rentabel ist, sondern nur die Wiedergewinnung der Metalle [1].



Figur 5: Ankopplung eines Range-Extender-Anhängers an ein Fahrzeug sowie die Verbindung an eine ausziehbare Ladesäule (aus der DE 10 2012 015 099 A1)

3.2 Demontage/Aufbereitung der Module

Zuerst müssen die gebrauchten Batterien eingesammelt und sicher transportiert werden [6]. Aus Sicherheitsgründen werden Batterien von Unfallwagen vorher schon aussortiert. Sodann erfolgen in der Wiederaufbereitung eine visuelle Inspektion und nachfolgend das Auslesen der Batteriedaten.
Bei der Wiederaufbereitung wird zwischen zwei verschiedenen Prozessen unterschieden: Die gebrauchten Batterien werden entweder direkt in dem Batteriepack wieder verwendet (englisch: *direct reuse*) oder aber das Batteriepack wird geöffnet und die einzelnen Batteriezellen ausgebaut (englisch: *module reconfiguration*).
Der zweite Prozess ist der Batterietest, der pro Batteriepack ungefähr 24 Stunden dauert. Daran anschließend werden die getesteten Batterien sortiert und wieder versendet.

4 Kostenüberblick

Die Herstellungskosten für Lithium-Ionen-Batterien sinken aus unterschiedlichen Gründen: einer davon ist der Skaleneffekt (englisch: *Economies of Scale*), da weltweit immer größere Fertigungskapazitäten für die Batterien entstehen. Ein anderer Grund sind die Verbesserungen im Herstellungsprozess, und schließlich wird auch der Konkurrenzdruck der unterschiedlichen Firmen zu diesem Trend beitragen. Während aktuell die Preise bei ungefähr 300 €/kWh liegen, ist davon auszugehen, dass sich die Kosten in 2020 auf circa 100 bis 150 €/kWh reduziert haben werden [1]. Damit zukünftig gebrauchte Batterien im 2nd-Life eine Anwendung finden können, müssen die Kosten für diese gebrauchten Batterien signifikant unter den Herstellungskosten neuer Batterien liegen.

Der wesentliche Vorteil der direkten Wiederverwendung liegt darin, dass es einfacher und damit billiger ist. Der wesentliche Nachteil besteht darin, dass durch die vom Batteriepack vorgegebenen Größen und Anschlüsse die möglichen Anwendungsbereiche im 2nd-Life begrenzt sind. Die Verwendung von einzelnen Batteriezellen hingegen erlaubt die Anpassung des Batteriemanagementsystems, der Kühlung und auch der Größe an unterschiedliche Anwendungen. Deshalb ist dieser Prozess auch deutlich aufwändiger und teurer.

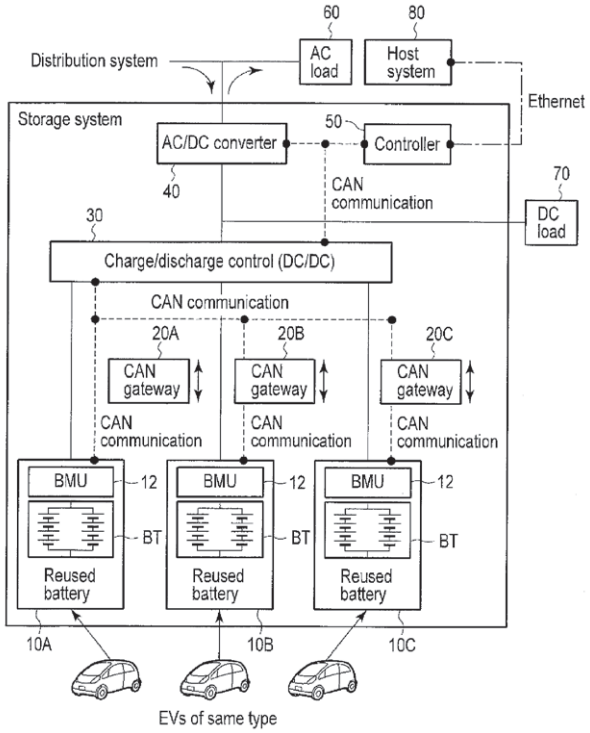
Aktuell werden im ersten Fall Batterietestkosten in Höhe von circa 100 €/kWh beziehungsweise circa 200 €/kWh angesetzt, wobei zukünftig eine Reduktion alleine schon durch den Skaleneffekt zu erwarten ist [7].

Aus dem Vergleich der Kosten von neuen und gebrauchten Batterien lässt sich prognostizieren, dass die Verwendung von gebrauchten Batterien nach *direct reuse* einen ökonomischen Vorteil haben wird, während die Verwendung von gebrauchten Batterien nach *module reconfiguration* vermutlich keinen signifikanten Kostenvorteil aufweisen wird. Denn trotz der Kosteneinsparung müssen die Probleme und Nachteile (siehe unten) von gebrauchten Batterien selbstverständlich mitberücksichtigt werden, die den Kostenvorteil eventuell wieder beseitigen könnten.

5 Herausforderungen bei der Weiterverwendung

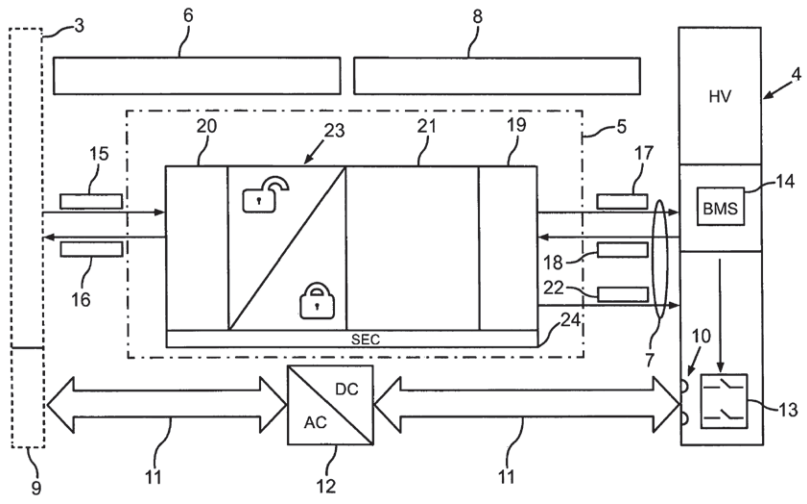
5.1 Kommunikation – Protokolle

Die Fahrzeugbatterien sind über einen Kommunikationsbus mit der Fahrzeugelektronik verbunden, damit die Fahrzeugelektronik über den Ladezustand (englisch: *state of charge – SOC*) und den „Gesundheitszustand" (englisch: *state of health – SOH*) der Batterien informiert ist. Dieser Kommunikationsbus ist im Fahrzeug üblicherweise ein serielles Bussystem (englisch: *Controller Area Network-Bus – CAN-Bus*). Außerhalb von Fahrzeugen werden in Batteriespeichersystemen im Allgemeinen andere Kommunikations-Busse verwendet (zum Beispiel Ethernet oder USB). Solange bei den 2nd-Life-Batterien die Batteriezellen ausgebaut werden, kann das Kommunikationsprotokoll auf die Anwendungen angepasst werden. Wenn hingegen das Batteriepack unverändert weiterverwendet wird, muss die Anwendung in der Lage sein, unterschiedliche Kommunikationsprotokolle abhängig von dem jeweiligen Batteriepack zu unterstützen (siehe DE 10 2015 006 429 A1, US 2013/0 026 979 A1).



Figur 6: Verwendung eines CAN-Bus für die Kommunikation mit gebrauchten Fahrzeugbatterien in einem stationären Energiespeicher (aus der US2013/0 026 979 A1)

IP: Immer mehr Batteriehersteller verwenden verschlüsselte Kommunikation. Damit erfüllen sie zum einen erhöhte Datensicherheit, zum anderen schützen sie ihre Produkte vor Nachahmern. Generell wird in einem Batteriepack mehr und mehr proprietäre Technologie eingesetzt, auf den die Hersteller von 2nd-Life-Batterien nicht unbedingt zurückgreifen können. Dieser Trend führt dazu, dass die direkte Wiederverwendung von Batteriepacks im 2nd-Life-Betrieb erschwert wird (siehe beispielsweise US 2010/0 188 039 A1, DE 10 2015 006 429 A1, US 2016/0 001 748 A1).



Figur 7: Protokoll-Konversion zwischen einem IP-basierten Protokoll und einem CAN-Protokoll für die Verwendung von gebrauchten Fahrzeugbatterien in einem stationären Energiespeicher (aus der DE 10 2015 006 429 A1)

5.2 Garantie, Sicherheitsanforderung

Wenn Batterien kommerziell zum Beispiel in einem Batteriespeichersystem eingesetzt werden sollen, erwartet der Kunde eine entsprechende Garantie über die Qualität der eingesetzten Produkte. Für gebrauchte Batterien im 2nd-Life lassen sich jedoch Garantien über die Qualität und über die zukünftigen Eigenschaften nur schwerlich zusagen: Da sich die Batterien im 2nd-Life befinden, hat schon eine deutliche Degradation, das heißt eine chemische Veränderung an den Elektroden beziehungsweise im Elektrolyt, stattgefunden. Der weitere Verlauf der Degradation hängt von einer Vielzahl von Parametern ab, wie der detaillierten Historie, die dem Hersteller der 2n-Life-Batterien oft nicht vollständig zugänglich sind. Alleine aus den Batterietests lassen sich Aussagen über die zukünftige Degradation nur unzureichend treffen. Für den Kunden sind hingegen Sicherheitsanforderungen essentiell, um zum Beispiel einen Brand der Batterien bei fortschreitender Degradation vollständig ausschließen zu können (siehe Figur 3: Brandschutzraum). Immerhin könnte theoretisch bei einer direkten Wiederverwendung auf die Historiendaten zurückgegriffen werden, wenn diese vollständig in einem Speicher im Batteriemanagementsystem abgelegt sind und auch dem Hersteller der 2nd-Life-Batterien zugänglich gemacht werden. Bei einem *module reconfiguration* hingegen kann diese Information verloren gehen. Zudem muss auch gewährleistet werden, dass jedes Batteriepack die vollständige Historie aufnimmt. In diese Richtung gehen auch Forderungen nach einer Standardisierung, um den Markt für 2nd-Life-Batterien zu unterstützen.

Hinzu kommt, dass Fahrzeugbatterien im Allgemeinen einer erhöhten Degradation unterworfen sind, durch nicht-optimale Lade- und Entladebedingungen wie Temperatur, Ladestrom und Entladestrom. Batterien in Energie-Speichersystemen hingegen können durch ein angepasstes Batteriemanagementsystem, das Einflussparameter auf die Degradation wie Temperatur, Lade- und Entladestrom optimiert, eine geringere Degradation und somit längere Lebenszeit aufweisen.

5.3 Unterschiede in den Batterien

Durch die Anforderungen nach erhöhter Kapazität pro Volumen und Kapazität pro Gewicht auf der einen Seite und billiger Herstellung durch erhöhten Konkurrenzdruck auf der anderen Seite werden permanent Veränderungen in der Herstellung von Batteriezellen vorgenommen. Diese Veränderungen betreffen unterschiedlichste Gebiete, wie Größe und Form der Batteriezelle, Anoden- und Kathodenmaterial oder Separatoren. Sämtliche Veränderungen werden Einfluss haben auf die Degradation und somit den „Gesundheitszustand" SOH. Der Hersteller von 2nd-Life-Batterien wird zukünftig als Eingang eine fast unüberschaubare Mischung von unterschiedlichsten Batterien erhalten. Bei der Zusammenstellung von Batteriepacks zu Energiespeicher-Systemen wird die zukünftige Performance nicht nur von der Historie der einzelnen Batterien, sondern auch von der Art abhängen, die in dem System verbaut werden. Der Einbau von unterschiedlichen Batterien in ein gemeinsames Batteriespeichersystem wird allerdings neue Herausforderungen bedeuten.

6 Ausblick

Der zukünftige Markt für 2nd-Life-Batterien wird vermutlich hauptsächlich durch den Preisunterschied im Vergleich zu neuen Batterien festgelegt werden: Nur wenn die 2nd-Life-Batterien am Ende deutlich günstiger als neue Batterien sind, wird der Kunde bereit sein, die Qualitätseinbußen von gebrauchten Batterien in Kauf zu nehmen. Seriöse Vorhersagen über zukünftige Kosten- und Preisentwicklungen über einen Zeitrahmen von mehreren Jahren lassen sich kaum durchführen, da die Einflussvariablen, zum Beispiel die zukünftige Anzahl von elektrischen Fahrzeugen, und damit später die Verfügbarkeit von gebrauchten Batterien auf der einen Seite sowie auch alle Prozess- und Technologieverbesserungen auf der anderen Seite jegliche Vorhersage massiv erschweren. Aus ökologischen Gründen wäre eine weitere Verwendung der gebrauchten Batterien natürlich wünschenswert, da diese im Allgemeinen noch eine Kapazität von über 70 % im Vergleich zum ursprünglichen Herstellungszustand haben.

Nicht-Patentliteratur

[1] REID,G.; JULVE,J.: "Second Life-Batteries as Flexible Storage for Renewable Energies", Bundesverband Erneuerbare Energie e.V. (BEE) und Hannover Messe, 2016; URL: **http://www.bee-ev.de/fileadmin/Publikationen/Studien/201604_Second_Life-Batterien_als_flexible_Speicher.pdf**, [abgerufen am 12.07.2017]

[2] Renault ZOE – Batteriemiete, URL: **https://www.renault.de/modellpalette/renault-modelluebersicht/zoe/Batteriemiete.html**, [abgerufen am 12.07.2017]

[3] LI, Y.; HAN, Y.: "Used-battery management with integrated battery building block system", 2015 IEEE Applied Power Electronics Conference and Exposition (APEC), 2015, pp. 3177–3182, 2015

[4] Wikipedia: Batterie-Speicherkraftwerk; URL: **https://de.wikipedia.org/wiki/Batterie-Speicherkraftwerk** [abgerufen am 13.07.2017]

[5] Wikipedia: Liste von Batterie-Speicherkraftwerken; URL: **https://de.wikipedia.org/wiki/Liste_von_Batterie-Speicherkraftwerken** [abgerufen am 13.07.2017]

[6] WEINSTOCK, I. B.: "Second use of electric vehicle batteries in Stationary Applications", DOE Energy Storage Systems Research, Annual Peer Review, 2002; URL: **www.sandia.gov/ess/docs/pr_conferences/2002/WEINSTOCK%20-%20SecondUseEVBatts.pdf**. [abgerufen am 12.07.2017]

[7] CASALS L.C.; GARCIA, B. A.; BENITEZ, M. M. G.: "A cost analysis of electric vehicle batteries second life business", ResearchGate, DOI: 10.13140/2.1.2046.8485, 2014

Miniaturisierte Spulen und ihre Anwendung

Dr. Jana Becherer, Patentabteilung 1.36

Elektromagnetische Bauelemente haben ein großes Problem. Sie lassen sich, im Gegensatz zu ihren Kollegen aus der Halbleiterbranche, nicht in einen flachen zweidimensionalen Aufbau pressen.
Da Elektromagnete per se dreidimensionale Objekte sind, weil die Magnetkraft senkrecht zum Magnetfeld wirkt, müssen sowohl die Anwender, als auch die Entwickler neue kreative Wege beschreiten, um dennoch in eine miniaturisierte Spulenwelt zu gelangen. Einige dieser ideenreichen Wege werden im folgenden Artikel beschrieben. Es wird gezeigt, wie es möglich wird, Elektromagnete flach aufzubauen und für welche Anwendungen man diese anschließend einsetzen kann. Dabei werden alle Ausführungen mit zahlreichen Beispielen aus der Patentliteratur unterstützt.

1 Einleitung

„Ich parke meinen Wagen: Beinahe lautlos gleitet der Kombi in Position. Seelenruhig nehme ich mein Mobiltelefon von der im Armaturenbrett eingelassenen Ladefläche, öffne meine Tür und steige aus. Mit einem Knopfdruck schließe ich mein Auto. Dabei fühle ich einen kurzen Stoß an meinem Daumen, der mir bestätigt: Die Türen sind geschlossen. Gemächlich entferne ich mich von meinem Fahrzeug, während gigantische Spulen unter meinem Auto anfangen zu arbeiten."

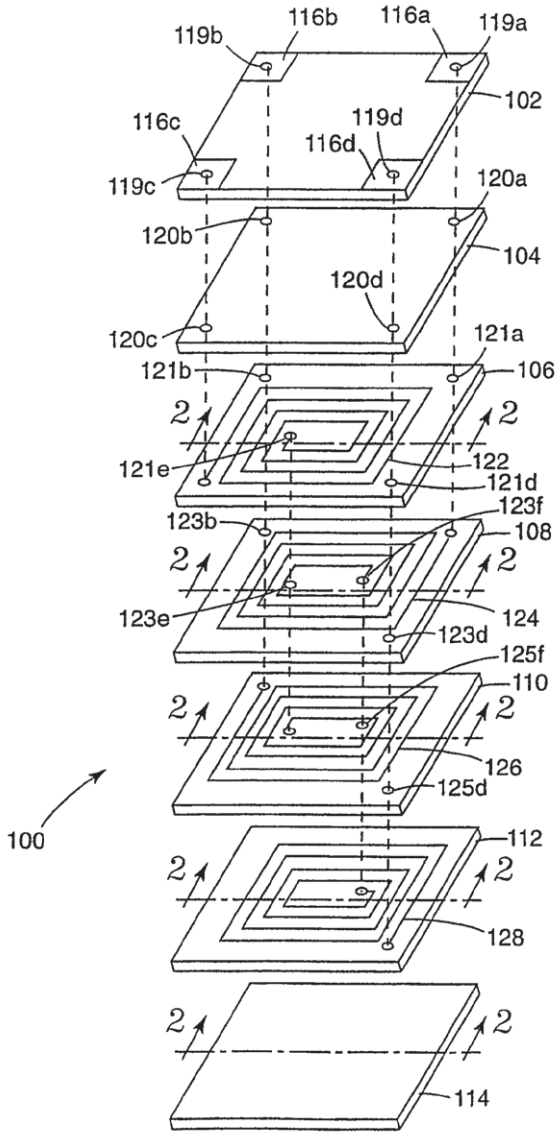
Das induktive Laden von Fahrzeugen ist eine mittlerweile gut beherrschte Technologie. Ganz anders sieht es hingegen am anderen Ende der Größenskala aus. Während die Halbleitertechnologie unaufhaltsam in immer kleinere Dimensionen vorstößt, steckt die Miniaturisierung von Spulen noch immer in den Kinderschuhen. Woran liegt es, dass die Induktivitäten hinter der Entwicklung zurückbleiben, obwohl sie extrem essentielle Bauelemente sind?
Magnetische Bauelemente haben ein Problem: Sie sind per se dreidimensional. Sie lassen sich somit nicht in die flache Zweidimensionalität pressen, die für eine Miniaturisierung nach planarem Vorbild erforderlich ist.
Weil das Magnetfeld immer senkrecht zum elektrischen Strom verläuft, können Elektromagnete nicht so ohne Weiteres flach aufgebaut werden, wie sonst in der Mikroelektronik üblich. Hinzu kommt, dass dünne, magnetisch leitfähige Schichten nur sehr aufwändig herstellbar sind und es, mit der Ausnahme von Supraleitern, keine einsetzbaren magnetischen Isolationsschichten gibt.
Bedeutet dies, dass es völlig unmöglich ist, Spulen zu miniaturisieren? Glücklicherweise nicht, denn es gibt immer wieder findige Fachleute im Bereich der Wissenschaften und des Ingenieurswesens, die auch das beinahe Unmögliche Realität werden lassen. Wie sie es geschafft haben, ein dreidimensionales System allen Widrigkeiten zum Trotz zu miniaturisieren, also es in einen planaren, zweidimensionalen Aufbau zu verwandeln, soll dieser Artikel an einigen ausgewählten Beispielen aus dem Patentbereich demonstrieren. Die Beispielsammlung erhebt dabei keinen Anspruch auf Vollständigkeit, da bekanntlich viele Wege nach Rom führen.

2 Gedruckt nicht gewickelt – Aufbau miniaturisierter Spulen

Ein klassischer Elektromagnet besteht aus einem zu einer Spule gewickelten elektrischen Leiter und einem magnetischen Material, das sich als Kern in der Spule befindet. Es gibt zwei prinzipielle Möglichkeiten, um einen Elektromagneten in dem begehrten zweidimensionalen Aufbau zu erhalten.
Die erste Möglichkeit verwendet eine flache Spule um einen magnetischen Leiter. Die zweite Möglichkeit gebraucht hingegen einen Eisenkreis um einen elek-

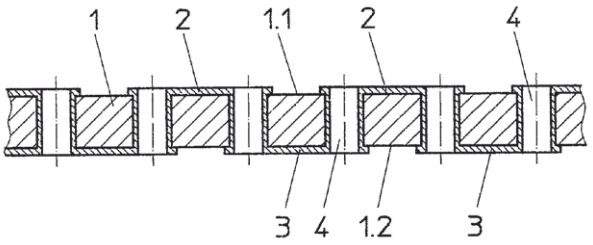
trischen Leiter. Die zweite Variante hat jedoch den Nachteil, dass sie den magnetischen Widerstand erhöht. Sie wird daher kaum ausgeführt. Dieser Artikel konzentriert sich deswegen im Folgenden ausschließlich auf die erste Lösung.

Ein Beispiel für die erste Möglichkeit zeigt Figur 1. Aus Leitpaste geformte Wicklungen 122 bilden eine Flachspule. Aufgebracht ist diese auf einem Band 106 aus gegossenem Ferrit, das den magnetischen Kern bildet. Das Band wird zusätzlich mit durchgängigen Löchern 121 versehen. Viele dieser ferritischen Bänder 106, 108, 110, 112 werden übereinandergestapelt und in einem Ofen verklebt. Durch die Löcher werden die einzelnen Flachspulen 122, 124, 126, 128 kontaktiert und zu einer großen Spule verbunden. Diese ist durch die flachen Wicklungen auf einem dünnen Band sehr kompakt. Die Windungen 122 der Spule bilden Spiralen, weswegen man solche Spulen spiralförmig nennt (auch wenn die Spiralen in Figur 1 eher eckig sind; eine klassisch runde Spirale zeigt Figur 6 mit dem Bezugszeichen 46).



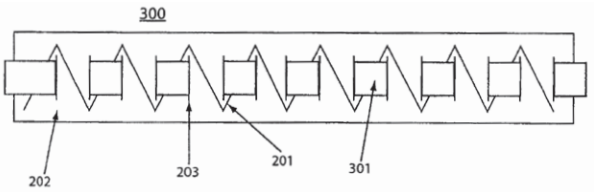
Figur 1: Planarer Mehrschichttransformator aus spiralförmigen Spulen mit Primärspule und Sekundärspule (aus DE 600 04 812 T2).

Im Gegensatz zu Figur 1 zeigt Figur 2 eine mäanderförmige Spule. Die Spule besteht aus aufgedruckten Leiterbahnen 2 auf der Oberseite und Leiterbahnen 3 auf der Unterseite einer Leiterplatte 1. Die beiden Leitungen 2 und 3 sind wiederum durch Löcher 4 elektrisch verbunden, sodass sich die Spulenwindungen zwischen der Ober- und der Unterseite der Leiterplatte hin- und herschlingen, wie ein mäandernder Wildbach. Daher ergibt sich auch die Bezeichnung mäanderförmige Spule. Durch einen in Figur 2 nicht dargestellten Schlitz in der Leiterplatte kann zusätzlich ein Magnetkern eingefügt werden.



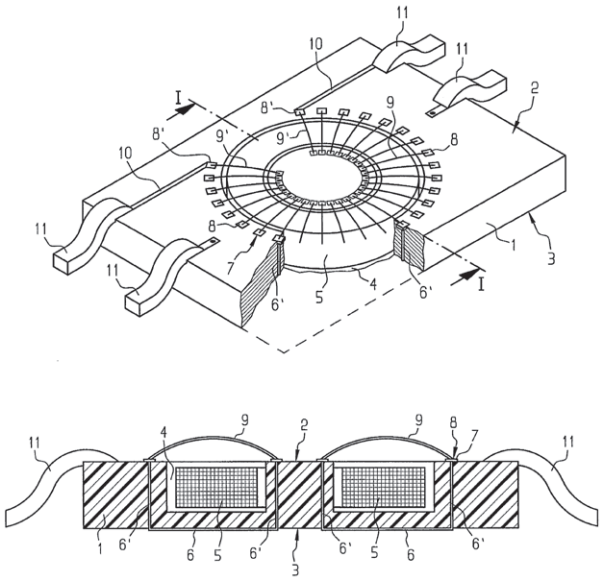
Figur 2: Schematische seitliche Ansicht einer mäanderförmigen Spule mit Vias, Leiterbahnen und Leiterplatte (aus DE 43 06 416 A1).

Ein Beispiel für solch einen eingeschobenen Magnetkern zeigt Figur 3. Auch hier ist wieder eine mäanderförmige Spule 201 aufgebracht. Dieses Mal allerdings nicht auf einer starren Leiterplatte, sondern auf einer flexiblen Folie 202. Durch Schlitze 203 in der Folie 202 ist ein ebenfalls flexibler Magnetkern 301 eingeschoben. Genauer betrachtet ist der Kern nicht einfach nur eingeschoben, sondern zwischen Vorder- und Rückseite



Figur 3: Mäanderförmige Spule mit eingeschobenen Magnetkern, Spule, Folie und Schlitzen (aus GB 2 409 584 A).

der Folie eingewebt. Dadurch ist es möglich, einen flexiblen und trotzdem stabilen flachen Spulenaufbau zu erhalten.
Neben der Spiralspule und der mäanderförmigen Spule gibt es noch eine dritte weitverbreitete Spulenform (siehe Figur 4). Die Spule wird hierbei aus Leiterbahnen 6, Durchkontaktierungen 6‘ und Bonddrähten 9 gebildet. Gemeinsam formen sie eine Helixspule. Wer jetzt an DNA denkt, liegt gar nicht so verkehrt, denn die Spule windet sich, ähnlich wie die berühmte Helixspirale unseres Erbgutes, um einen zylindrischen Magnetkern 5. Die gesamte Anordnung aus Magnetkern 5 und Leitungen 6,6‘ und 9 ist in Figur 4 außerdem in die Aussparung einer Leiterplatte 1 eingebettet.



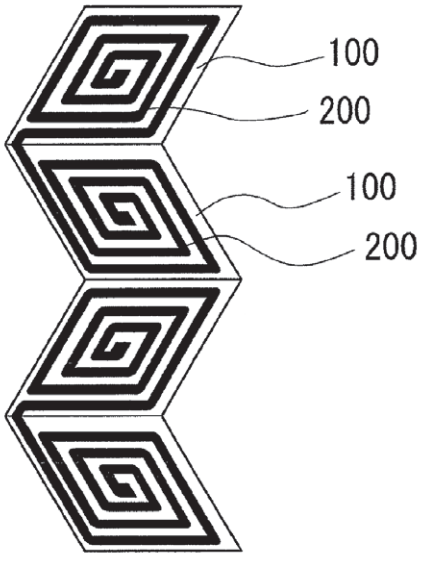
Figur 4: Helixförmige Spule, in der oberen Abbildung von oben, in der unteren Abbildung von der Seite aus gesehen, mit Leiterbahnen, Durchkontaktierungen, Bonddrähten und Magnetkern (aus DE 197 23 068 C1).

Die zuerst vorgestellte Spiralspule der Figur 1 hat bereits gezeigt, wie Spulen geschickt gestapelt werden können, um die Windungszahl zu erhöhen. Eine weitere zukunftsträchtige Stapelmethode zeigt Figur 5. Es ist wiederum eine flache Spiralspule 200 auf einem dünnen Substrat 100 aufgebracht. Das Substrat ist dabei so flexibel, dass es gefaltet werden kann. Ein geschickter Origami-Falter kann so auf einfache Art eine mehrlagige Induktivität aufbauen.
Drei verschiedene Formen von Flachspulen wurden in den Beispielen gezeigt: spiralförmige, mäanderförmige und helixförmige Spulen. Außerdem zeigten die Beispiele verschiedene Möglichkeiten, die Kerne in den Spulen zu platzieren sowie einige Herstellungsmöglichkeiten und Substrate für die Spulen, wie Leiterplatten und Folien. Wie solche miniaturisierten Spulen im technischen Alltag wirklich eingesetzt werden, beschreibt der nächste Abschnitt. Darin wird es zuallererst um Energie gehen und wie man sie von Ort A zu Ort B bekommt.

3 Anwendungen – Mehr als nur Wissen

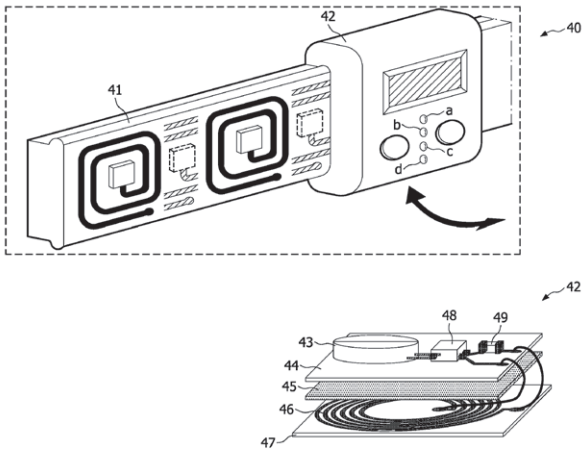
3.1 Transformatoren und die drahtlose Energieübertragung

Es gibt kein zweites technisches Gerät auf der Welt, das so einen immensen Größenbereich umschließt wie der Transformator. Es gibt ihn in maschinenhallenartigen Ausmaßen mit einem Gewicht von mehreren 100 Tonnen für die Kopplung nationaler Stromnetze, bis hin zu mikrometerkleinen Ausführungen in Mikrophonen.
Transformatoren bestehen in der Regel aus zwei Spulen, die auf einem gemeinsamen Kern gewickelt sind. Sie vergrößern oder verkleinern, je nach Verhältnis der Spulenwicklungen, eine Wechselspannung.
Figur 1 zeigt nicht nur einfach eine mehrlagige Spule, sondern einen ganzen Transformator aus zwei ge-



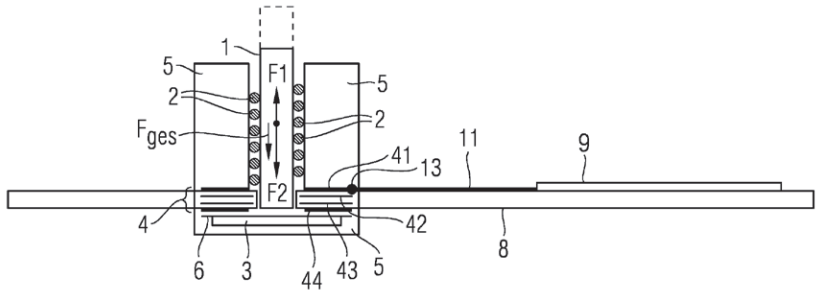
Figur 5: Gefaltete Spule mit Spiralspule und Substrat (aus US 2010 / 0 079 232 A1).

stapelten Spulen. Die Wicklungen 106 und 110 bilden die Primärspule, also die erste Spule des Transformators und die Wicklungen 108 und 112 die zweite Spule, die Sekundärspule des Transformators. Die beiden Spulen sind dabei verschachtelt übereinander gestapelt.



Figur 6: Induktiver Energieübertrager mit spiralförmiger Empfangsspule auf Leiterplatte, Batterie, Magnetkern und Sendespule auf Schiene (aus WO 2008 / 035 248 A2).

Ähnlich wie ein Transformator arbeitet auch die induktive Energieübertragung mit zwei gekoppelten Spulen. Durch das Transformatorprinzip wird Energie von der einen Spule auf die andere Spule übertragen, ohne dass sich die Spulen berühren müssten. Induktive Energieübertragung ist allerdings nicht nur ein Fall für große Elektroautos, sondern auch im kleineren Maßstab überaus beliebt, wie Zahnbürsten und drahtlose Handyladestationen beweisen. Figur 6 zeigt ein Beispiel für eine Übertragung von Energie auf ein Elektrogerät mithilfe miniaturisierter Spulen. Das Elektrogerät kann beispielsweise eine Spielzeuglokomotive sein, die auf einer Schiene 41 hin- und herfährt. Für das Aufladen der Spielzeuglok werden plane Spulen in Spiralform verwendet. Die Batterie 43 der Lokomotive wird über Sendespulen in der Schiene 41 und einer Empfangsspule 46 im Spielzeug induktiv geladen. Die Empfangsspule 46 befindet sich auf einer Leiterplatte 47. Zwischen dem Spulenleiter 46 und einer weiteren Leiterplatte 44 ist der magnetische Kern 45 angeordnet. Der Kern besteht aus einer weichmagnetischen Platte. Auf der Leiterplatte 44 befindet sich zusätzliche Elektronik, wie ein Kondensator und ein Verstärker.
Nach diesen Beispielen der Anwendung von Flachspulen zur Umformung und Übertragung von Energie wird es im nächsten Abschnitt etwas bewegter. Denn im Folgenden soll es um die Anwendung miniaturisierter Spulen in Stellvorrichtungen gehen.



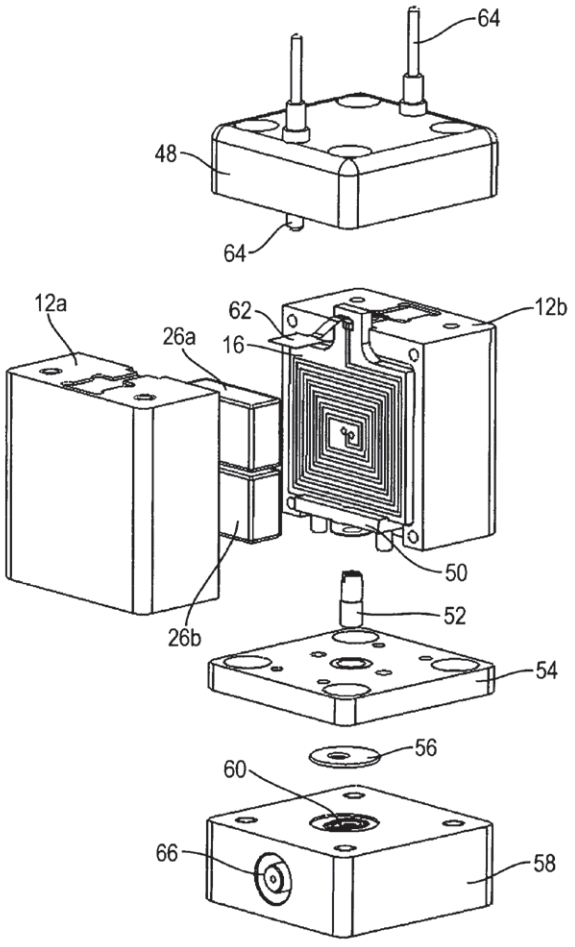
Figur 7: Seitliche Ansicht eines Mikroaktors mit Anker, Permanentmagnet, Spule aus Windungslagen und Feder (aus WO 2013 092 067 A1).

3.2 Elektromagnete als Mikroaktoren – Und es bewegt sich doch

Aktoren sind quasi das Gegenteil von Drucksensoren, sie wandeln elektrische Signale in eine mechanische Bewegung um. So benötigt beispielsweise ein Roboter zum Ergreifen eines Gegenstandes einen Aktor. Aber auch zur Ventilsteuerung, für optische Schalter, Relais, Pumpen, für MEMS oder Schrittmotoren werden Aktoren benötigt. Im folgenden Abschnitt werden ausschließlich Aktoren auf Grundlage eines Elektromagneten behandelt. Nur am Rande sei hier erwähnt, dass es noch eine Vielfalt weiterer Aktorentypen gibt, wie zum Beispiel die weitverbreiteten Piezoaktoren.
Ein elektromagnetischer Aktor benötigt eine Spule und ein bewegliches Teil. Die Spule erzeugt ein auf das bewegliche Teil wirkendes Magnetfeld. Das bewegliche Teil eines Aktors wird in Anlehnung an Elektromotoren als Anker bezeichnet. Der Anker besteht typischerweise aus einem magnetischen Material und wird so durch das Magnetfeld der Spule bewegt.
Einen ganzen Aktor zu miniaturisieren, also platzsparend zu konstruieren und dabei mit geringer Spannung immer noch genügend Magnetkraft zur Verfügung zu

stellen, ist extrem schwierig. Mit der Folge, dass der Markt an elektromagnetischen Mikroaktoren immer noch recht überschaubar ist, obwohl sie einige Vorteile gegenüber anderen Aktorentypen aufweisen.

Einen vorteilhaften elektromagnetischen Mikroaktor haben die Herren Feil, Maier und Pfitzner 2011 erfunden. Sie verwenden ihren in Figur 7 gezeigten Aktor als Stromunterbrecher. Der Anker 1 wechselt zwischen einer ausgefahrenen und einer eingefahrenen Stellung. In der eingefahrenen Stellung wird der Anker 1 von einem Permanentmagneten 3 festgehalten. Sie erreichen damit, dass die eingefahrene Stellung stabil ist, ohne dass Strom durch die Spulen 4 fließen müsste. Wenn sie die Leiterplattenspule 4 bestromen, springt der Anker 1 in die ausgefahrene Position, die in der Figur 7 gestrichelt dargestellt ist. Durch eine vorgespannte Feder 2 unterstützen sie diese Bewegung noch und erhöhen so die Stellkraft weiter. Außerdem sorgt



Figur 8: Perspektivische Ansicht eines weiteren Mikroaktors mit Spiralspule auf der Leiterplatte, die gleichzeitig als Anker dient, und Permanentmagneten (aus WO 2010 / 066 459 A1).

der Einsatz der Feder dafür, dass der Aktor auch in der ausgefahrenen Position stromlos stabil ist. Als Spule wird eine kompakte Leiterplattenspule, bestehend aus vier Windungslagen 41 bis 44, verwendet. Somit kann auf einen Spulenkörper und zusätzliche Spulenanschlüsse verzichtet werden, wodurch der Aktor noch kleiner wird.

Ein zweites Beispiel in Figur 8 zeigt einen elektromagnetischen Aktor für eine Mikropumpe. Der Aktor besteht aus einer spiralförmigen Flachspule auf einer Leiterplatte 16. Eleganterweise dient die Leiterplatte mit der Spule hier auch gleichzeitig als Anker. Werden die Leiterbahnen der Leiterplatte von einem Strom durchflossen, so bewegt sich die gesamte Leiterplatte gerade nach unten, denn durch die Permanentmagnete 24 und 26 (in Figur 8 ist nur der Magnet 26 sichtbar, der zweite Magnet 24 ist durch die Leiterplatte 16 verdeckt) auf beiden Seiten der Leiterplatte wirkt eine Lorentzkraft auf die stromdurchflossene Leiterplatte. Auf der Leiterplatte befindet sich eine rechteckige, spiralförmige, aufgedruckte Leiterbahn als Spule. Ein Führungselement 52 an der Leiterplatte drückt die Fluidmembran 56 im unbestromten Zustand der Leiterplatte auf den Ventilsitz 60. Der Ventilsitz wird durch Bestromen der Leiterbahn in entgegengesetzte Richtung freigegeben. Auf ein Rückstellelement kann hier verzichtet werden, weil die Umkehr der Stromflussrichtung die Rückstellbewegung bewirkt. Die Mikropumpe kann folglich mit sehr kleinen Spannungen betrieben werden und mehrere Ventile können auf engsten Raum angeordnet werden. Nachteilig kann sich eventuell die Führung einer ganzen Leiterplatte erweisen. Das Mikroventil erreicht Gesamtabmessungen von 10 mm x 10 mm x 17 mm. Damit ist man der miniaturisierten Spulenwelt ein ganzes Stück näher gekommen. Dennoch liegt noch ein weiter Weg vor den Aktoren, bis die Bezeichnung „Mikro“ tatsächlich gilt.

3 Fazit

Flachspulen in Spiralform, Mäanderform und Helixform wurden in diesem Artikel vorgestellt. Ihnen allen ist gemein, dass sie als Flachspule um einen magnetischen Kern ausgeführt sind, da die umgekehrte Variante eines Kerns um die Spule eher unpraktisch

ist. Anwendungsbeispiele von Flachspulen in Transformatoren, induktiven Energieübertragern und Mikroaktoren wurden gezeigt.
Der Weg der Spulenminiaturisierung wird mittlerweile von vielen Firmen und Forschenden zielsicher beschritten, wie zahlreiche Beispiele aus dem Patentbereich zeigten. Gerade bei den Mikroaktoren ist dieser Weg allerdings noch immer ein steiniger und das Ziel, die echte Mikrowelt, bisher mehr ein Schemen am Horizont, der sich aber, was zu hoffen ist, bald als Land in Sicht erweist.

Nicht-Patentliteratur

[1] KALLENBACH, E.; EICK, R.; QUENDT, P.; StTRÖHLA, T.; FEINDT, K.; KALLENBACH, M.; RADLER, O.: Elektromagnete – Grundlagen, Berechnung, Entwurf und Anwendung. Wiesbaden: Vieweg+Teubner Verlag, 2012, Seite 323–350. ISBN 978-3-8348-0968-1

Ein Alltagsgegenstand – lange bekannt und doch immer wieder im Fokus der Erfinder: Antitranspirantien und Deodorantien

Katrin Lehrack, Dr. Imke Salmon, Patentabteilung 1.44

Wohl jedem sind aus dem Einzelhandel die Regale mit den „Deos“ bekannt. Die Antitranspirantien und Deodorantien („Deos“) sind aus dem Repertoire unserer Körperpflegeprodukte nicht mehr wegzudenken. Auch in der Patentprüfung spielen diese Produkte bezogen auf Anzahl der Anmeldungen und Publikationen schon seit vielen Jahren eine gleichbleibend wichtige Rolle. Dies zeigt, dass ein allgemein bekannter Konsumartikel über Generationen hinweg technisch auf verschiedene Weise weiterentwickelt und verbessert werden kann – auch wenn das zu lösende Problem seit Jahrtausenden bekannt ist.

1 Einleitung

Sportliche Aktivitäten sind oft schweißtreibende Angelegenheiten, aber gegenwärtig eine der beliebtesten Freizeitbeschäftigungen. Zur Körperpflege danach gehören heute selbstverständlich eine Dusche mit wohlriechendem Duschbad und ein Deo, so dass der Schweiß von der Haut abgespült wird und unangenehme Gerüche gar nicht erst entstehen.

Gerüche sind intensive Sinneseindrücke und erzeugen nachhaltige Erinnerungen. Der Wunsch nach einem angenehmen Körpergeruch ist daher nachvollziehbar, denn angenehme Düfte erzeugen angenehme Erinnerungen.

Während fließendes Wasser und ein Badezimmer in jeder Wohnung erst im letzten Jahrhundert zum Standard wurden, sind die ersten Versuche, unangenehmen Körpergeruch zu vermeiden, viel älter. Schon in der Antike wurden Parfümöle zum Überdecken von Körpergeruch eingesetzt. Auch der empirisch gefundene positive Effekt von Alaun und anderen Aluminiumverbindungen wird schon lange zur Schweißhemmung genutzt [1], [2].

Körpergeruch entsteht durch verschiedene Prozesse. Ein wichtiger Aspekt ist dabei der Schweiß, der einerseits unterschiedlichste Zusammensetzungen haben kann, andererseits in unterschiedlichen Mengen vom Körper produziert wird. Das Schwitzen an sich und die Menge an Schweiß regelt der Körper selbst, es kann lediglich indirekt durch mit der Nahrung aufgenommene Stoffe, körperliche Betätigung oder erhöhte Außentemperaturen beeinflusst werden.

Die Abgabe von Schweiß auf die Oberfläche der Haut bei hohen Außentemperaturen oder Anstrengungen wie körperlicher Arbeit oder Sport, hat eine lebenswichtige Funktion für den menschlichen Organismus. Der beim Schwitzen durch die Schweißdrüsen erzeugte Schweiß dient insbesondere der Regulation der Körpertemperatur.

Frisch auf die Hautoberfläche abgegebener Schweiß ist nahezu geruchlos. Die Gerüche entstehen hauptsächlich durch den Abbau oder die Zersetzung von Schweiß durch unterschiedliche Bakterien auf der Haut [3].

Prinzipiell reicht zur Bekämpfung eines unangenehmen Körpergeruches Wasser und Seife in der täglichen Anwendung für Haut und Kleidung und obwohl lange Zeit auch Dermatologen diesen Standpunkt vertraten, hat sich doch im täglichen Gebrauch die Verwendung von Deodorantien und Antitranspirantien durchgesetzt [4].

Im allgemeinen Sprachgebrauch werden die Begriffe Deodorant und Antitranspirant nicht immer einheitlich verwendet. Auch ist eine klare Trennung oft erschwert, wenn ein Produkt unterschiedliche Wirkprinzipien in sich vereint.

Der Begriff Deodorant (auch *Desodorant* oder *Deo*) stammt aus dem Lateinischen und bedeutet: „Entriecher". Allgemein wird darunter ein Mittel verstanden, welches in den Achselhöhlen aufgebracht wird, um unangenehmem Körpergeruch entgegenzuwirken. Deodorantien sind Körperpflegemittel und keine Arzneimittel, da sie keine medizinische Anwendung oder Behandlung darstellen. Ihrer Wirkung können verschiedene Prinzipien zu Grunde liegen. Neben der Geruchsüberdeckung durch Duftstoffe und ätherische Öle, spielen die Absorption der geruchsbildenden Substanzen sowie die Beeinflussung der an der Geruchsbildung beteiligten Enzyme und Bakterien eine Rolle.

Bekannte frühe Anwendungen sind hier duftende Seifen, die sowohl der Reinigung als auch Geruchsüberdeckung dienen können, oder Geruchsstoffe absorbierende Puder. 1888 wurde in Philadelphia ein Deodorant auf Basis einer Zinkoxid-haltigen Creme entwickelt [1]. Seitdem sind Deodorantien auch Gegenstand von Patentanmeldungen. Beispielsweise kombiniert die Patentschrift CH 69562 A aus dem Jahre 1914 absorbierende und desinfizierende Mittel in einem Puder. Heutzutage werden Deodorantien überwiegend als Spray, Lotion (Roll-on) oder Stick angeboten.

Antitranspirantien oder Antitranspirants (Schweißhemmer; englisch *antiperspirants*) enthalten Substanzen, welche die Aktivität der Schweißdrüsen reduzieren beziehungsweise verhindern, dass der Schweiß abgegeben wird. Gelangt weniger Schweiß auf die Hautoberfläche, wird den Bakterien die Nahrung entzogen, was den Körpergeruch vermindert.

Antitranspirantien wurden entwickelt, um das Krankheitsbild des übermäßigen Schwitzens zu lindern, da hier vor allem die viele abgesonderte Flüssigkeit (Schweiß) als unangenehm betrachtet wird (Schweißfüße, schwitzende Hände, Achselnässe). In dieser Anwendung sind sie als Arzneimittel zu betrachten (vgl. Infobox *Hyperhidrose*).

Hyperhidrose

Schwitzen ist wesentlicher Bestandteil des Temperaturregulierungssystems unseres Körpers und damit natürlich und wichtig. Übermäßiges Schwitzen kann jedoch zum Problem werden. Der Begriff der Primären Hyperhidrose bezeichnet übermäßiges Schwitzen als Krankheitsbild, in diesem Fall hängt das Schwitzen also weder mit externen Ursachen (zum Beispiel Außentemperatur, Anstrengung) noch internistischen Erkrankungen (wie Infektionserkrankungen, Diabetes) zusammen.

Neben der Behandlung mit topischen (also auf die Haut aufzutragenden) Antitranspirantien kommen bei der Behandlung der Hyperhidrose auch andere, teilweise chirurgische Verfahren zum Einsatz.

Auch oder gerade bei der Hyperhidrose führt kaum ein Weg an topisch anzuwendenden **aluminiumhaltigen Antitranspirantien** vorbei, jedoch werden diese in diesem Fall in deutlich höheren Konzentrationen eingesetzt als in den üblichen Drogerieartikeln.

Daneben hat sich auch die Behandlung mit **Botulinumtoxin A** etabliert. Dieses Nervengift blockiert die Nervenfasern der Schweißdrüsen, die Wirkung lässt jedoch nach etwa sechs Monaten wieder nach. Eine insbesondere bei starkem Schwitzen an Händen und Füßen geeignete Maßnahme ist die **Leitungswasser-Iontophorese**. Hierbei werden zum Beispiel die Füße in zwei mit Elektroden versehene Wannen mit Leitungswasser als elektrisch leitendes Medium gestellt und anschließend ein Gleichstrom angelegt. Der Stromkreis wird sozusagen durch den Patienten geschlossen, wodurch der Ionentransport in den Schweißdrüsen gestört wird.

Auch orale Medikamente stehen zur Verfügung, neben Tabletten mit **Salbeiextrakt** sind verschiedene **anticholinerge Substanzen** zugelassen (Methantheliniumbromid oder Bornaprin).

Als letzte Möglichkeit der Behandlung lassen sich die Schweißdrüsen auch chirurgisch entfernen, hierbei gibt es verschiedene mehr oder weniger invasive Verfahren. Zum einen kann bei der axillären Hyperhidrose in einer recht radikalen Operation das gesamte schweißdrüsentragende Hautareal entfernt werden, zum anderen können durch mikroinvasive **Kürretage** unter der Haut die Schweißdrüsenknäuel entfernt werden. Als Letztes bleibt noch die sogenannte **Sympathektomie** zu erwähnen, bei der die relevanten Nervenstränge durchtrennt oder abgeklemmt werden [5].

Als eines der ersten Antitranspirante gelten Produkte, die Aluminiumchlorid enthielten, deren Wirkung zunächst rein empirisch festgestellt wurde [1]. Sie werden auch heute noch in Apotheken nach Rezeptur und ärztlicher Anweisung gefertigt.
Daneben sind Antitranspirantien wie die Deodorantien als reine Körperpflegemittel zur Anwendung in den Achselhöhlen im Einzelhandel frei verkäuflich.
Die Patentschrift US 1 371 822 A aus dem Jahr 1921 beansprucht eine Mischung aus Wasser, Aluminiumchlorid und Borax gegen unerwünschtes oder übermäßiges Schwitzen. Diese Produkte besaßen oft eine hohe Reizwirkung auf die Haut und konnten die Textilien beschädigen. Daher befasste sich zum Beispiel die Patentschrift DE 811 014 B aus dem Jahre 1949 (Priorität 1947) nicht nur mit der Herstellung eines schweißhemmenden kommerziell vertreibbaren Massenproduktes, welches einfach herstellbar und lagerstabil war, sondern testete auch die Wirkung auf die Haut und Textilien.

Ein großes Augenmerk sowohl der Hersteller als auch der Anwender liegt auch gegenwärtig auf der Hautverträglichkeit der Zubereitungen. Dem Verbraucher steht ein großes Angebot an Deodorantien und Antitranspirantien in unterschiedlichen Darreichungsformen zur Verfügung. Dabei ist nicht immer leicht zu erkennen, auf welchem Wirkprinzip das Produkt beruht. Im konkreten Fall hilft nur ein Blick auf die Zutatenliste, die sich unter dem Stichwort *Ingredients* auf der Verpackung befinden muss.
Um eine einheitliche Bezeichnung zu gewährleisten, werden die Inhaltsstoffe mit einem Namen gemäß der „International Nomenclature of Cosmetic Ingredients“ (kurz INCI-Namen) versehen. Diese Namen entsprechen teilweise den chemischen Namen („Ethanol“ oder „Glycerine“), sind abgeleitet von botanischen Namen für pflanzliche Rohstoffe („Eucalyptus Citriodora Oil“), teilweise aber auch Kunstnamen (wie beispielsweise „Polyquaternium-6“ oder „Steareth-10“), die die Struktur der zugrunde liegenden Verbindung jedoch eindeutig beschreiben.
Die Reihenfolge der Auflistung auf einer Verpackung gibt dem Verbraucher einen Hinweis über die enthaltene Menge dieser Verbindung, jedoch nicht mit Prozentangaben. Je weiter vorne in der Auflistung der Inhaltsstoff erscheint, desto mehr ist enthalten.
Über verschiedene kommerzielle Internetseiten,aber auch über die Europäische Kommission (**http://ec.europa.eu/growth/tools-databases/cosing/**) oder das jährlich aktualisierte „International Cosmetic Ingredient Dictionary and Handbook“ lassen sich Inhaltsstoffe hinsichtlich Struktur, Eigenschaften, Wirkung und Einsatzgebiet suchen.

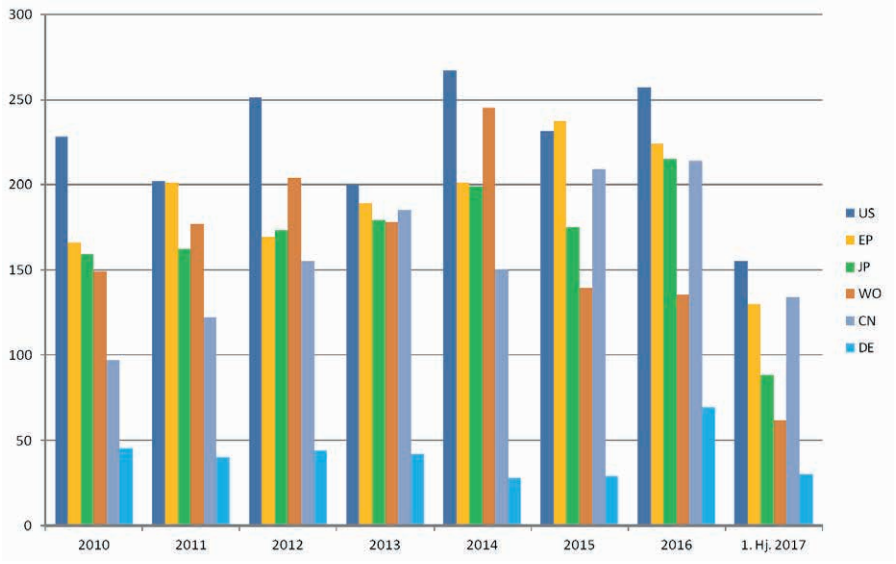


Figur 1: Beschriftung einer Kosmetikverpackung mit allen gesetzlich vorgeschriebenen Grafiken und Informationen [7]

2 Entwicklungen bei Deodorantien und Antitranspirantien

In der Internationalen Patentklassifikation wird den Antitranspirantien und Deodorantien eine eigene Klasse zugeordnet (A61Q 15/00 „Schweißhemmende Mittel und Desodorants“). Die Anmeldezahlen und damit die Anzahl an Patentpublikationen sind über die vergangenen Jahre relativ stabil, was die Bedeutung der zugehörigen Produkte widerspiegelt.
Der Ländervergleich seit 2010 (Figur 2) zeigt die zunehmende Anzahl der chinesischen Publikationen, die sicher auch die steigende Wichtigkeit des asiatischen Marktes dokumentieren. Dieser Artikel beschränkt sich auf einen Überblick über die deutschen Patentpublikationen der vergangenen Jahre ohne Anspruch auf Vollständigkeit.

Die in kosmetischen Zubereitungen zugelassenen Substanzen sind aufgrund gesetzlicher Vorschriften begrenzt, somit spielt die Bereitstellung gänzlich neuer Wirkstoffe in der Patentliteratur eine eher untergeordnete Rolle. Die Verwendung bekannter Stoffe jedoch, die bereits eine Zulassung für die Verwendung in Kosmetika haben, und ihre Kombination gehören neben der Optimierung von Zubereitungen zu den Schwerpunkten. Zu den Optimierungsaspekten zählen unter anderem die Verbesserung der Hautfreundlichkeit, die Vermeidung des „Weißelns“ von Antitranspirantien oder die Verbesserung der Applikation und des Hautgefühls – letztlich also viele Aspekte, die sich direkt an den Wünschen der Konsumierenden orientieren.
Aufgrund der anhaltenden Diskussion über Aluminium in Nahrungsmitteln und Konsumprodukten ist in den aktuellen Anmeldungen ein deutlicher Trend hin zu aluminiumfreien Antitranspirantien festzustellen. Trotz allem sind die aluminiumhaltigen Antitranspirantien auch aus der Patentliteratur nicht wegzudenken, denn es handelt sich dabei um eine der ältesten Wirkstoffklassen in diesem Anwendungsgebiet, deren Wirksamkeit lange bekannt und gut untersucht ist.
In kosmetischen Zubereitungen wird Aluminium meist in Form seiner Verbindungen wie Aluminiumchloro-hydrat (ACH) und der Aluminium-Zirkoniumtetrachloro-Glycin-Komplex (ZAG) eingesetzt. Diese Verbindungen können zu Hautreizungen führen und durch die Haut aufgenommen werden. Nach derzeitigem Kenntnisstand kann nicht völlig ausgeschlossen werden, dass die regelmäßige Benutzung über Jahrzehnte hinweg zu gesundheitlichen Beeinträchtigungen beiträgt [6].
Daher beschäftigen sich die aktuellen Anmeldungen zu aluminiumhaltigen Antitranspirantien insbesondere mit der Entwicklung von Zubereitungen, die durch geeignete Kombination mit anderen Inhaltsstoffen die Hautfreundlichkeit verbessern. So schlägt beispielsweise die DE 10 2015 213 345 A1 die Verwendung von Phosphatverbindungen in Kombination mit Aluminiumchlorhydrat vor, um die Einsatzmenge an Aluminiumverbindungen zu verringern, die schweißhemmende Wirkung zu verbessern und die Hautverträglichkeit zu steigern.
Die DE 10 2015 221 058 A1 lehrt, dass der Zusatz vernetzter Silicone nicht nur die Wirksamkeit aluminiumhaltiger Antitranspirantien steigert, sondern auch die Fleckenbildung auf Kleidung vermindert.
Hochmolekulare Kieselsäurepartikel (INCI: Hydrated Silica) können ebenfalls in aluminiumhaltigen Anti-

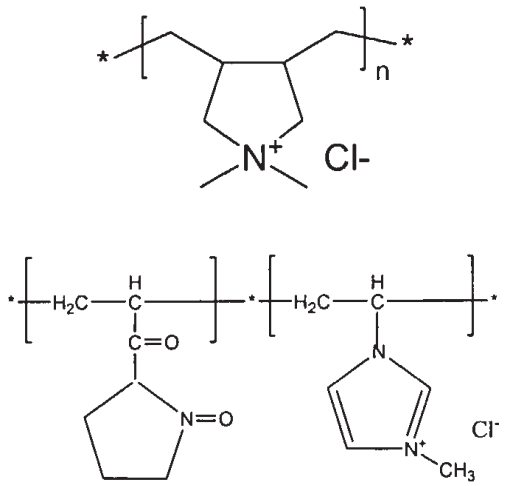


Figur 2: Anzahl der Publikationen mit Nebenklasse A61Q 15/00 nach Ländercodes ab 2010

transpirantien eingesetzt werden und dort Textilverfärbungen und -flecken verhindern. Hierzu schlägt die DE 10 2016 205 698 A1 vor, diese Partikel mit speziellen Emulgatoren zu beladen.
Eine Alternative zeigt die DE 10 2016 120 103 A1 auf, indem aluminiumhaltigen Antitranspirantien ein schweißabsorbierender Komplex zugesetzt wird, der ein dreidimensionales in Wasser quellbares Polymernetzwerk aufweist. Nach dem Auftragen der Emulsion trocknet diese zu einem dünnen Film und quillt beim Schwitzen unter Absorption der Flüssigkeit auf. Derartige Komplexe lassen sich nicht nur in Antitranspirantien einarbeiten, sondern sind auch für Windeln oder Handtücher verwendbar.

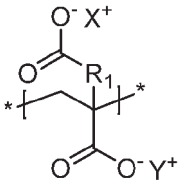
Bei der Entwicklung von Alternativen zu aluminiumhaltigen Antitranspirantien werden verschiedene Wege beschritten. Dabei werden aluminiumhaltige Verbindungen durch andere Schweißhemmer ersetzt oder es wird auf Wirkprinzipien der Deodorantien zurückgegriffen. Eine Entwicklung der vergangenen Jahre ist die verstärkte Nutzung von pflanzlichen und tierischen Rohstoffen in Bioqualität. Unter den pflanzlichen Wirkstoffen, die auch dem Trend zu veganen Produkten folgen, werden beispielsweise Deodorantien mit Kokosöl und Natron vorgeschlagen (DE 20 2016 100 816 U1).
Ebenfalls pflanzlichen Ursprungs sind die von der DE 20 2015 100 862 U1 beschriebenen Tannine als schweißhemmende Wirkstoffe. Tannine sind allgemein dafür bekannt, adstringierend zu wirken, das heißt Hautporen und Gefäße werden zusammengezogen. Dies kann auch einen Einfluss auf die Schweißproduktion haben und damit eine schweißhemmende Wirkung zeigen.
Eine ähnliche Wirkung zeigen auch verschiedene natürlich vorkommende Hydroxycarbonsäuren, die in der DE 10 2014 222 270 A1 als Alternativen zu Aluminiumverbindungen genannt werden. Insbesondere Weinsäure, die in Weintrauben vorkommt (Weinstein – Salze der Weinsäure), wird hier als Wirkstoff beschrieben.

Auch polymere Verbindungen können als Wirkstoffe eingesetzt werden. Filmbildende Polymere, die bislang aus dem Bereich der Haar- und Körperpflege bekannt waren, weisen desodorierende Eigenschaften auf. So werden quartäre Ammonium-Polymerverbindungen, die unter dem INCI-Namen Polyquaternium-6 oder Polyquaternium-16 bekannt sind, als Wirkstoff in Deodorantien der DE 10 2014 214 463 A1 oder DE 10 2016 000 190 A1 gelehrt.



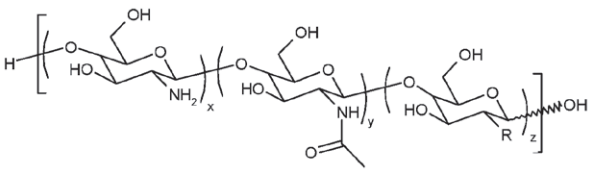
Figur 3: Polyquaternium-6 und Polyquaternium-16 (aus der WO 2006/ 031 946 A1)

Die DE 10 2016 209 760 A1 verwendet anionische Polymere (sogenannte „Polysäuren“) als schweißhemmende und/oder geruchsverhindernde Wirkstoffe.



Figur 4: Polysäure (aus der DE 10 2016 209 760 A1)

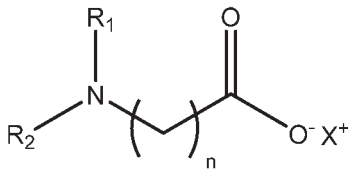
Auch Chitosan, ein Biopolymer, das bei der Verarbeitung von Krustentieren anfällt, weist gemäß DE 10 2014 221 673 A1 schweißhemmende Wirkung auf.



Figur 5: Chitosan (aus der DE 10 2014 221 673 A1)

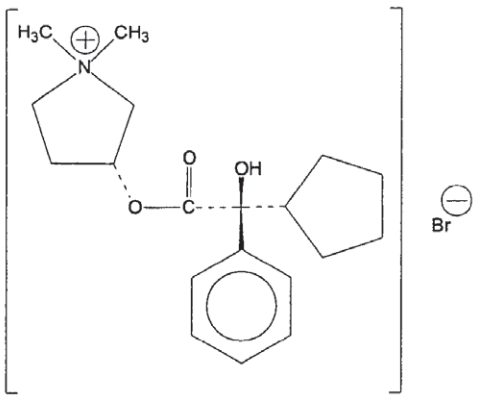
Eine weitere Alternative zu Aluminiumverbindungen stellen niedermolekulare Polykieselsäuren (NPKs) dar, die in Kombination mit einem Stabilisator vergleichbare schweißhemmende Wirkung zeigen wie die Aluminiumchlorhydrate. Die DE 10 2015 214 144 A1 verwendet Zweikammersysteme, die eine Kieselsäurelösung und eine basische Lösung enthalten. Die beiden Lösungen werden erst kurz vor oder beim Aufbringen auf die Haut gemischt, dabei ändert sich der pH-Wert und die NPKs werden somit *in situ* hergestellt.

Nicht nur Polymere, sondern auch „kleine" Moleküle können schweißhemmend wirken. Aminosäurederivate wie beispielsweise γ-Aminobuttersäure (kurz: GABA) haben schweißhemmende Wirkung und werden in Kombination mit verschiedensten Proteinen (aus Eiern, Malven- oder Kreuzblütlergewächsen) als Wirkstoffe für Antitranspirantien vorgeschlagen (vergleiche zum Beispiel DE 10 2014 221 910 A1, DE 10 2014 221 912 A1, DE 10 2014 221 913 A1).



Figur 6: Aminosäurederivate mit schweißhemmender Wirkung (aus der DE 102014 221 910 A1)

Unter den Anticholinergika stellt Glycopyrroniumbromid eine Alternative zu Aluminiumverbindungen in Antitranspirantien dar. Die Substanz und ihre

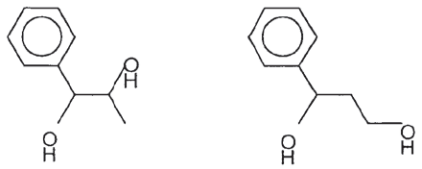


Figur 7: Glycopyrroniumbromid (aus der DE 10 2005 029 386 A1)

schweißhemmende Wirkung sind bereits seit den 1960er Jahren bekannt, Anmeldungen wie die DE 10 2005 029 386 A1 kombinieren Glycopyrroniumbromid mit anderen Wirk- oder Zusatzstoffen, um die Verträglichkeit und Applikation weiter zu verbessern.

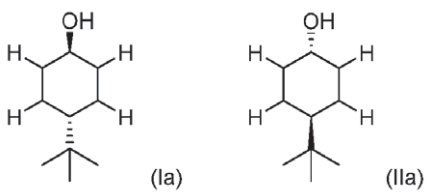
Gänzlich trennen lassen sich die Schweißhemmung und die Geruchsverhinderung bei den genannten Wirkstoffen nicht. So sind die Aluminiumchlorhydrate zwar klassische antitranspirant wirkende Verbindungen, sie weisen jedoch durch ihre Acidität auch einen bakteriostatischen Effekt auf, so dass sie gleichzeitig auch die Zersetzung des Schweißes durch Bakterien und damit die Geruchsbildung verhindern können.

Ähnlich ist es beispielsweise mit einigen zweiwertigen Alkoholen (Diolen). Diole werden in der Literatur schon lange als antimikrobiell wirksam, also desodorierend, beschrieben. Bereits für Ethylen-, Propylenglykol und Butylenglykol, die auch als Lösungsmittel verwendet werden, beschreibt die DE 10 2007 032 642 B4 eine schweißhemmende Wirkung. Die DE 10 2009 004 269 A1 lehrt, dass auch verschiedene aromatische Diole darüber hinaus antitranspirant wirken und somit beide Wirkprinzipien in sich vereinen.



Figur 8: Diole (aus der DE 10 2009 004 269 A1)

Auch die DE 10 2015 223 846 A1 schlägt als Alternative beziehungsweise als Zusatz zu Aluminiumverbindungen Alkohole vor, welche sowohl schweißhemmend wie auch geruchsmindernd wirken sollen.



Figur 9: Schweißhemmende und geruchsmindernde Alkohole (aus der DE 10 2015 223 846 A1)

Ausblick

Nicht alle der hier erwähnten Alternativen werden den Weg von der Patentanmeldung in die Regale der Geschäfte schaffen, manche haben diesen Schritt bereits gemacht.

Es erscheint unwahrscheinlich, dass auf Aluminiumverbindungen in Antitranspirantien mittelfristig komplett verzichtet wird, aber der Blick in die aktuelle Patentliteratur konnte zeigen, dass die Forschung auf verschiedenen Wegen versucht, Alternativen bereitzustellen. Die Produktentwicklung ist auf dem Gebiet dieser Konsumprodukte sehr nah an den aktuellen Verbraucherwünschen nach hautverträglichen und wirksamen Produkten.

Nicht-Patentliteratur

[1] HECKMANN, M.: „Im Schweiße Deines Angesichts: Entwicklungen in der Behandlung des übermässigen Schwitzens“ in: Fortschritte der Dermatologie, 2013, Seite 61–74.

[2] Lexikon der kosmetischen Praxis, Stichworte „Alaun“, „Schweißabsonderung“, Springer-Verlag, 1936, Wien

[3] MEYER-ROHN, J: „Desodorierende Wirkstoffe aus der Sicht des Dermatologen.“ in: European Journal of Lipid Science and Technology 1974, Bd. 76, Issue 1, Seite 37–40.

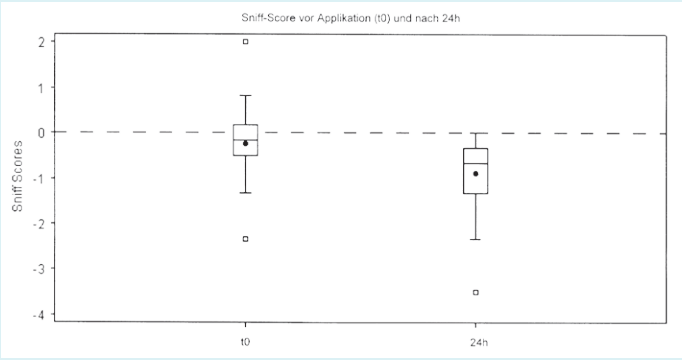
[4] DORSTEWITZ, H. „Hautnah: Die Mikrobiota als ‚zweite Haut‘ auf der Haut.“ Erfahrungsheilkunde 65.05 (2016): Seite 240–246.

[5] AWMF online – Das Portal der wissenschaftlichen Medizin: „Definition und Therapie der primären Hyperhidrose“ 2012, recherchiert am 06.09.2017 unter **http://www.awmf.org**

Wie kann man die Wirksamkeit eines Deodorants oder eines Antitranspirants eigentlich messen?

Um die Wirksamkeit eines Deodorants zu bewerten, wird beispielsweise auf den sogenannten „Sniff-Test“ zurückgegriffen. Hierbei werden Testpersonen nur unter einer Achsel mit dem deodorierenden Produkt behandelt und nach 24 und 48 Stunden (h) der Geruch durch ein Sniffer-Panel (also freiwillige Testriecher) beurteilt. Nimmt der Schweißgeruch im Laufe des Tests in der behandelten Achsel weniger stark zu als in der unbehandelten, sinkt der Sniff-Score – der Geruch wird durch das Deo verbessert und zwar je negativer der Zahlenwert desto stärker die Verbesserung.

Zum Nachweis der Wirksamkeit eines Antitranspirants kann gravimetrisch (also durch Wiegen) die Schweißmenge mit und ohne beziehungsweise im Vergleich mit einem anderen Antitranspirant bestimmt werden. Bei einem Sauna-Testdesign werden zum Beispiel nach Applikation von Testprodukten Baumwollpads in den Achseln platziert und die Schweißsekretion über einen Zeitraum von 15 Minuten in der Sauna stimuliert. Die dort ausgeschwitzte Menge Schweiß wird ins Verhältnis zum „Schwitz-Grundniveau“ (identische Versuchsbedingungen ohne Produktapplikation) gesetzt, man erhält daraus einen Wert für die Schweißreduktion (nach DE 10 2015 214 144 A1).



Sniff-Score aus DE 10 2016 000 190 A1 für eine Zubereitung mit Polyquaternium-16

[6] Bundesinstitut für Risikobewertung: „Fragen und Antworten zu Aluminium in Lebensmitteln und verbrauchernahen Produkten“, aktualisierte FAQ des BfR vom 20. Februar 2015, recherchiert am 06.09.2017 unter **http://www.bfr.bund.de**

[7] Bundesamt für Verbraucherschutz und Lebensmittelsicherheit: „Kennzeichnung von Kosmetik“, recherchiert am 06.09.2017 unter **http://www.bvl.bund.de/DE/03_Verbraucherprodukte/02_Verbraucher/03_Kosmetik/02_KennzeichnungKosmetik/bgs_kosmetik_kennzeichnung_node.html**

Beseitigung von Weltraummüll

Dr. Wilfried Domainko, Patentabteilung 1.56

Weltraumschrott stellt mittlerweile eine ernsthafte Bedrohung für viele Weltraummissionen dar. Es ist sogar zu erwarten, dass die Anzahl der potentiell gefährlichen Bruchstücke durch weitere Kollisionen mit bereits vorhandenen Weltraummüllteilen stark ansteigt. In diesem Beitrag werden Vorrichtungen und Verfahren vorgestellt, um Satellitenbruchstücke aus für die Raumfahrt wichtigen Orbitbereichen zu entfernen. Dabei werden für die Beseitigung von Objekten unterschiedlicher Größe und Eigenschaften entsprechende Räumungsverfahren vorgeschlagen.

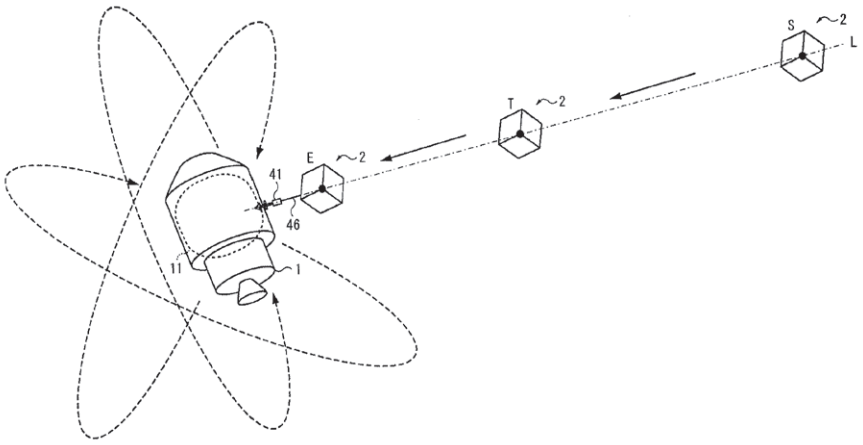
1 Einleitung

In den 60 Jahren nach dem Start des ersten Satelliten Sputnik 1 wurden mehrere tausend Objekte in eine Erdumlaufbahn gebracht [1]. Viele dieser Apparaturen verbleiben nach ihrem regulären Betrieb weiterhin in einem Erdorbit. Satelliten nach Ende ihrer Funktionsfähigkeit, ausgebrannte Raketenstufen und missionsbedingte Objekte wie Bolzen und Abdeckungen bilden den Weltraumschrott.

Aus den größeren Objekten entstanden und entstehen durch gezielte militärische Explosionen [2] und durch zufällige Kollisionen [3] eine Vielzahl kleinerer Bruchstücke. Durch die zunehmende Zahl an Objekten werden wiederum auch Kollisionen häufiger. Dies kann zu einem Kaskaden- oder Lawineneffekt führen, wodurch unkontrolliert eine sehr große Anzahl an Weltraumschrottteilchen entstehen kann. Mittlerweile geht man von bis zu 100 Millionen Teilchen mit Größen von über einem Millimeter aus [4]. Es gibt weitaus weniger große als kleine Objekte, wobei die Anzahl der Objekte exponentiell mit ihrer Größe abnimmt.

Objekte in einem Erdorbit bewegen sich typischerweise mit Geschwindigkeiten von einigen Kilometern pro Sekunde. Dadurch kann es bei Kollisionen zu sehr großen Relativgeschwindigkeiten zwischen den Stoßpartnern kommen [3]. Bei diesen Kollisionen besitzen dann selbst kleinste Schrottteilchen enorme kinetische Energien und können dadurch entsprechend zerstörerisch wirken. Die Beseitigung von Weltraumschrott ist daher von großer Bedeutung für die Raumfahrt.

Nicht alle Umlaufbahnen um die Erde sind im gleichen Maße vom Weltraumschrott betroffen. Regionen mit einer höheren Satellitendichte weisen typischerweise auch mehr Weltraumschrott auf. Besonders betroffen sind erdnahe Orbits sowie der geostationäre Orbit. Diese Orbits sind jedoch von großer Bedeutung für bestimmte Typen von Satelliten wie Kommunikations-, Navigations- und Wettersatelliten sowie für die bemannte Raumfahrt.



Figur 1: Harpune zum Einfang eines Satelliten (aus der EP 2 774 855 A1)

Verschiedene Lösungen zum Problem des Weltraumschrotts wurden in der Patentliteratur vorgeschlagen. In den folgenden Beispielen werden Vorrichtungen und Verfahren zum Beseitigen von Objekten verschiedener Größe und Eigenschaft vorgestellt.

2 Große Objekte mit bekannten Trajektorien

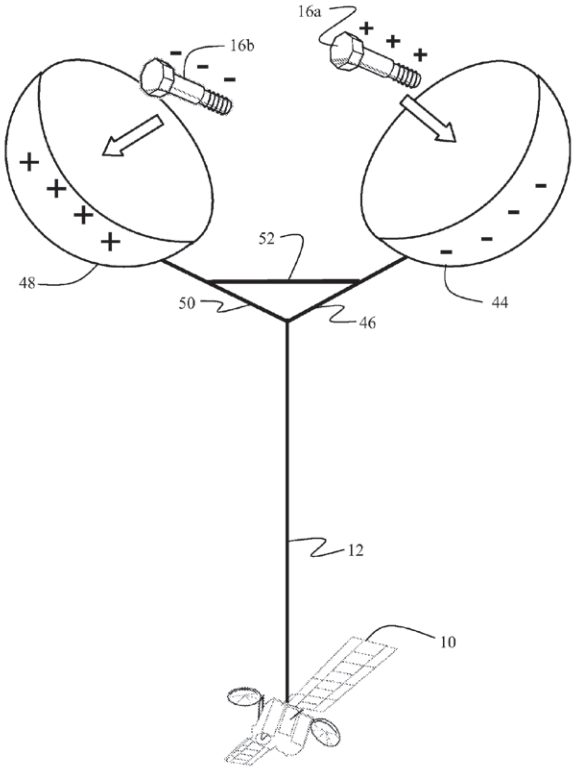
Größere Objekte, deren Positionen oder Bahndaten gut bekannt sind, können von speziellen Einfang- oder Entsorgungssatelliten eingefangen oder kontrolliert abgelenkt werden, um sie aus einem bestimmten Raumbereich zu entfernen. Einfangmanöver erfordern in der Regel aufwändige Antriebssteuerungs- und Navigationseinrichtungen. Zusätzlich müssen entsprechende Satelliten mit Fixier- oder Haftvorrichtungen ausgestattet sein. Im Folgenden werden verschiedene Vorrichtungen zum Einfangen und zur Weiterbeförderung von größeren Objekten dargestellt.

2.1 Einfang durch Harpunen und Greifarme

Zur Fixierung von Weltraumschrott verwenden die EP 2 774 855 A1 und die EP 3 156 336 A1 Harpunen, die in das Zielobjekt eindringen und sich dort verkeilen. In der EP 2 774 855 A1 ist die Harpune an einem Verbindungskabel befestigt und wird in das zu entfernende Raumfahrzeug beziehungsweise Objekt geschossen. Die EP 3 156 336 A1 schlägt dagegen vor, mit einem Roboterarm zuerst am Zielobjekt aufzusetzen und dann im Aufsetzbereich die Harpune aus dem Roboterarm heraus im Zielobjekt zu versenken.

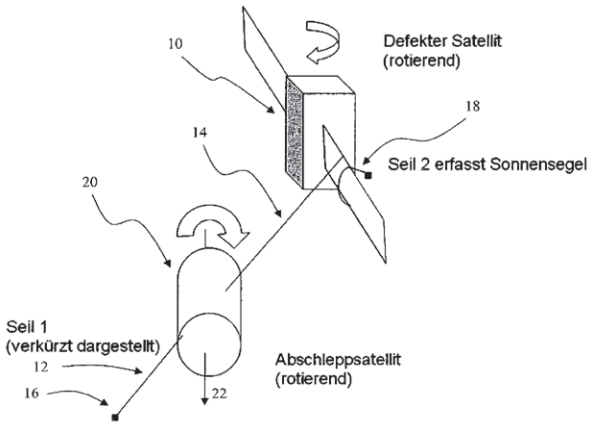
Weitere Vorrichtungen zum Einfangen von Satellitenbruchstücken werden in der US 2010/0 193 640 A1 beschrieben. In einer ersten Ausgestaltung der Erfindung wird Weltraummüll mittels eines Greifarms eingefangen. Alternativ wird vorgeschlagen, elektrisch geladenen Satellitenschrott mit geladenen konkaven Fangeinrichtungen zu sammeln.

Seile, an deren Enden sich Gewichte befinden, bieten konstruktiv sehr einfache Fangvorrichtungen. Sie können sich um Teile von Satellitenbruchstücken wickeln



Figur 2: Einfang von Satellitenschrott mit Hilfe von geladenen Hohlkugeln (aus der US 2010/0 193 640 A1)

und sich so selbsttätig an dem Zielobjekt fixieren. Die DE 10 2011 100 971 A1 offenbart die Anwendung eines Seils, das sich durch die Rotation des Abschleppsatelliten und/oder des einzufangenden Objekts um einen Teil des Zielobjekts wickelt und durch Reibung ein Schleppen des Weltraummülls ermöglicht. In ähnlicher Funktionsweise adaptiert die US 5 279 482 A das schon sehr alte Konzept einer sogenannten Bola [5] zum Einfangen von funktionsunfähigen Satelliten: Dabei sind mehrere



Figur 3: Einfang mittels verschlungenem Seil (aus der DE 10 2011 100 971 A1)

mit Gewichten und/oder Haken versehene Seilenden ausgebildet, die sich in unterschiedlichen Richtungen um das Zielobjekt wickeln und dadurch das Seil an dem einzufangenden Objekt verknoten.

Eine der Natur nachempfundene Fixiereinrichtung wird von der DE 10 2015 211 480 A1 zum Einfangen von Raumfahrzeugen und deren Bruchstücken vorgeschlagen. Eine Vielzahl feinster Härchen analog zu den Hafthärchen [6], mit denen Geckos an glatten Oberflächen haften, dient dort zur Fixierung des Weltraummülls.

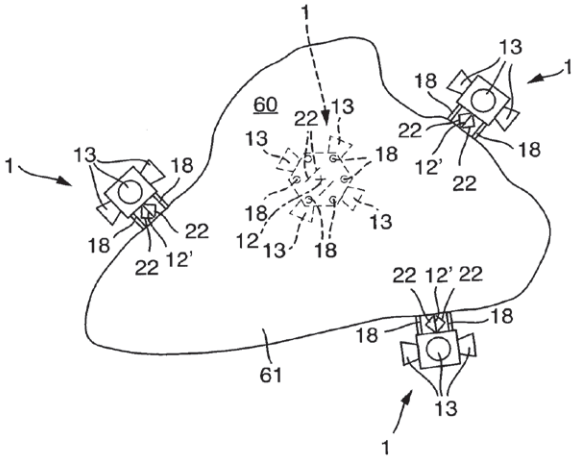
2.2 Änderungen des Orbits

Beseitigung von Weltraumschrott aus Bereichen raumfahrttechnisch wichtiger Orbits ist eine zentrale Maßnahme zum Schutz aktiver Satelliten. So gibt es für den geostationären Orbit sogenannte Friedhoforbits, wohin Satelliten nach Ende ihrer Funktionsperiode verschoben werden sollten. Friedhofsorbits werden so gewählt, dass Objekte dort stabile Umlaufbahnen haben und Kollisionen mit noch aktiven Satelliten verhindert werden. Objekte aus erdnahen Orbits können effizient entfernt werden, indem sie abgebremst werden, dabei an Höhe über dem Erdboden verlieren und schließlich in der Atmosphäre verglühen. Im Folgenden werden verschiedene Vorrichtungen zum Verschieben von Weltraumschrott auf ungefährliche Umlaufbahnen vorgestellt.

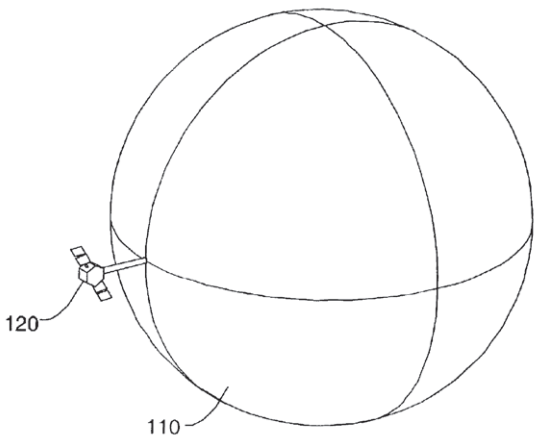
Die EP 2 860 115 A1 und die US 2017/0 015 444 A1 beschreiben Entsorgungssatelliten in Form von Mikrosatelliten, die an einem Zielobjekt andocken oder anhaften können. Der Verbund aus Mikrosatellit und Weltraumschrott kann dann durch den Entsorgungssatelliten mit Hilfe einer gezielten Antriebsleistung auf eine neue gewünschte Umlaufbahn befördert werden. In der EP 2 860 115 A1 wird des Weiteren die Möglichkeit beschrieben, mit einer Vielzahl von Entsorgungssatelliten an einem Stück Weltraummüll anzudocken, um es dann in die gewünschte Richtung zu bewegen.

Für die Beseitigung von Satellitenschrott aus erdnahen Orbits schlagen die US 6 655 637 B1 und die US 6 830 222 B1 vor, die in diesen Umlaufbahnen noch vorhandene Restatmosphäre zur Abbremsung der Objekte zu benutzen. In beiden Schriften werden aufblasbare Ballons beschrieben, die durch ihre große Oberfläche eine entsprechende Luftreibung erfahren und damit das zu entfernende Schrottteil abbremsen, bis es in der Erdatmosphäre verglüht. Die US 6 655 637 B1 sieht zudem vor, dass Mikrosatelliten den Ballon an einem Stück Weltraummüll befestigen, und dieser sich dann für das vorgeschlagene Bremsmanöver entfaltet.

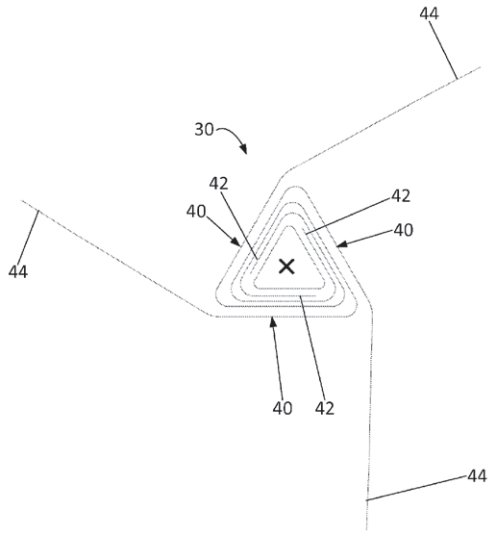
Eine von der Natur inspirierte Apparatur, um Bremsmanöver in der Hochatmosphäre durchzuführen, wird in der US 2014/0 042 275 A1 vorgestellt. Eine einem Spinnennetz nachempfundene Vorrichtung wird dort von einem Raumfahrzeug aufgespannt und kann gemäß ihrer großen Oberfläche mittels Luftreibung das zu entsorgende Objekt entsprechend verlangsamen.



Figur 4: Angedockte Mikrosatelliten (aus der EP 2 860 115 A1)

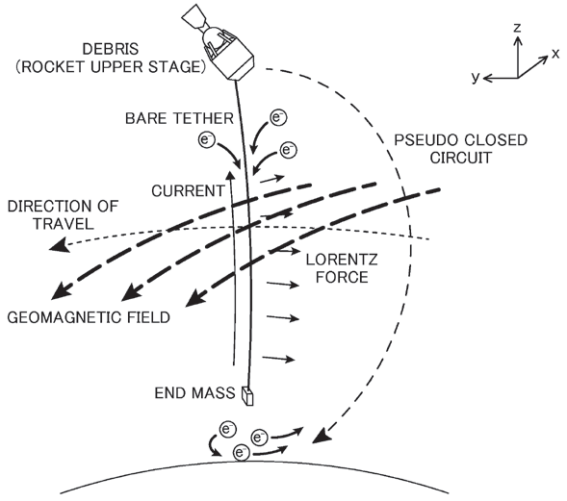


Figur 5: Aufblasbarer Ballon (aus der US 6 830 222 B1)



Figur 6: Sich entfaltende Spinnfäden (aus der US 2014/0 042 275 A1)

Eine alternative Vorgehensweise beinhalten sowohl die US 5 082 211 A als auch die EP 3 156 335 A1. Bei den vorgeschlagenen Apparaten wird der Satellitenschrott mittels einer langen Leine mit einem Entsorgungssatelliten verbunden und dadurch gebremst. In der US 5 082 211 A erfolgt die Abbremsung durch die himmelsmechanischen Bewegungen der beiden Körper. In der EP 3 156 335 A1 besteht die Verbindungsleine aus einem elektrischen Leiter. Über diesen Leiter kann, gespeist durch Elektronen aus dem umgebenden Plasma, Strom fließen. Wenn sich eine derartige Konfiguration durch das Erdmagnetfeld bewegt, dann wird sie durch die Lorentzkraft gebremst.

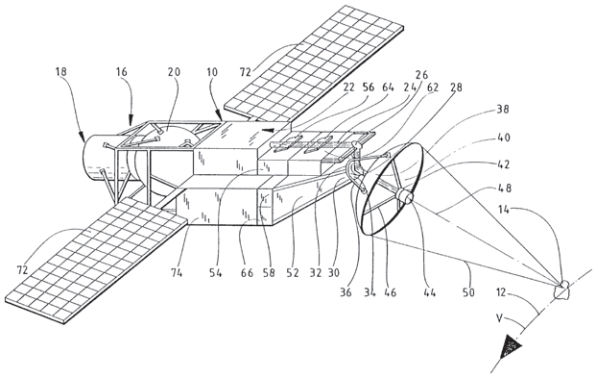


Figur 7: Abbremsung durch die Lorentzkraft (aus der EP 3 156 335 A)

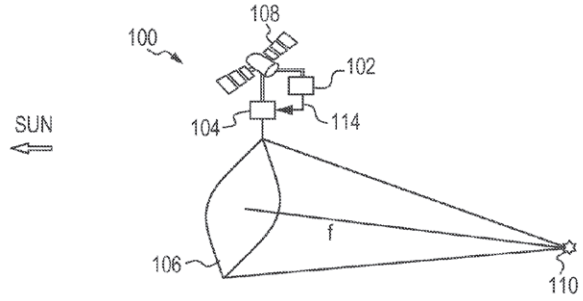
Schließlich schlägt die US 5 421 540 A vor, wertvolle Satellitenbruchstücke einzufangen und mittels einer Wiedereintrittskapsel unzerstört zur Erdoberfläche zu bringen, um sie einer Wiederverwertung zuzuführen.

2.3 Zerstörung der Zielobjekte

Eine Alternative zur Entfernung von Satellitenbruchstücken durch Orbitänderung wäre ihre gezielte Zerstörung. Die US 5 120 008 A verwendet zum Beispiel fokussiertes Sonnenlicht zur Verdampfung von Weltraumschrott. Für den Fall, dass nach der Zerstörung noch kleinere Bruchstücke des Objekts zurückblieben, könnten diese durch den Beseitigungssatelliten aufgenommen werden. Die DE 39 43 374 A1 beschreibt ebenfalls ein Verfahren zur Bestrahlung von Weltraumschrott mit „trümmermaterialverdampfender Strahlung“. Dabei könnte bei größeren Objekten der durch die Materialverdampfung am zu entfernenden Schrottteil entstehende Rückstoß auch noch genutzt



Figur 8: Bestrahlung von Weltraummüll mit „trümmermaterialverdampfender Strahlung“ (aus der DE 39 43 374 A1)



Figur 9: Entfaltbare Optik zur Fokussierung des Sonnenlichts (aus der US 8 873 168 B2)

werden, um den Überrest des Weltraummülls aus seiner Umlaufbahn zu befördern. Die US 8 873 168 B2 offenbart ebenfalls eine gezielte Verdampfung von Weltraumschrott mittels fokussierter Sonnenstrahlung. Die benötigte Intensität des Sonnenlichts wird dabei durch große, entfaltbare Optiken erreicht.

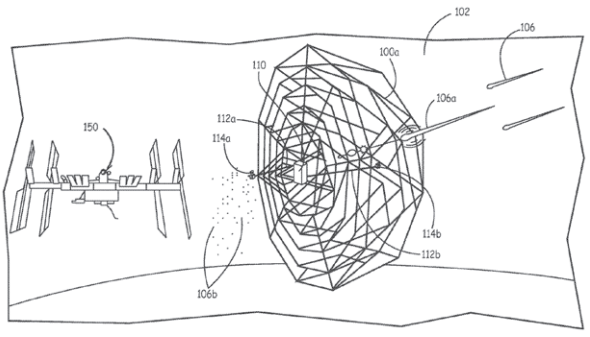
3 Kleine Objekte

Im vorhergehenden Abschnitt wurden Vorrichtungen besprochen, die sich auf die Beseitigung von Einzelobjekten mit bekannter Position konzentrieren. Durch die sehr große Zahl an Satellitenbruchstücken sind aber auch Satelliten relevant, die bestimmte Orbits säubern können, ohne dabei die genaue Position jedes Schrottteilchens zu kennen. Entsprechende Vorrichtungen und Verfahren werden in diesem Abschnitt dargestellt.

3.1 Große Oberflächen

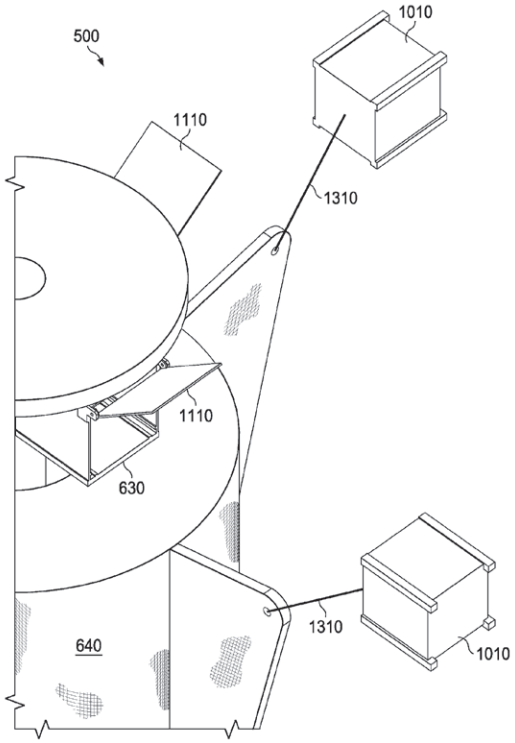
Eine vielversprechende Strategie zur Beseitigung von vielen kleinen Bruchstücken sind Entsorgungssatelliten mit sehr großen Einfangoberflächen.

Die US 4 991 799 A setzt hierzu eine aus mehreren großflächigen rotierenden Platten bestehende Weltraumkehrmaschine ein. Die DE 10 2008 005 600 B3 offenbart den Einsatz von statischen Auffangplatten zum Einfang von Objekten mit unterschiedlicher Geschwindigkeit. Die US 2012/0 097 799 A1 und die US 2013/0 075 534 A1 beschreiben hingegen netzartige Strukturen, die Weltraumobjekte einfangen.



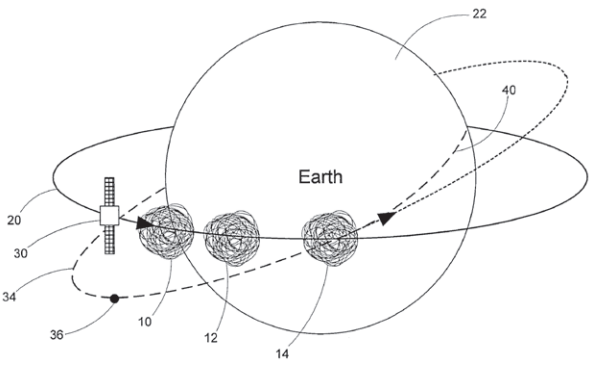
Figur 10: Netzartige Struktur als Auffangnetz und Schutz (aus der US 2012/0 097 799 A1)

Die US 2011/0 139 936 A1 offenbart ebenfalls eine ausgedehnte Netzstruktur zum Objekteinfang. Diese Struktur wird durch Ausstoß von Mikrovehikeln in radialer Richtung aufgespannt.



Figur 11: Aufspannen einer netzartigen Struktur durch würfelförmige Mikrosatelliten, die mit den Ecken dieser entfaltbaren Vorrichtung verbunden sind (aus der US 2011/0 139 936 A1)

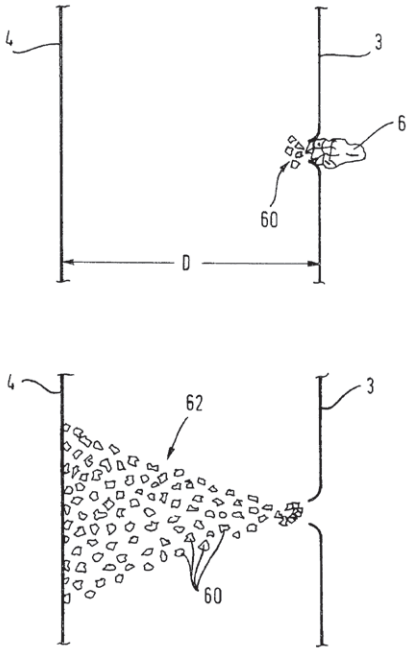
Die US 2012/0 068 018 A1 wiederum schlägt den Einsatz einer großvolumigen Einfangvorrichtung in Form eines Faserknäuels vor. Die Fasern können dabei im Weltraum vor Ort durch Ausgießen und Aushärten eines entsprechenden Materials erzeugt werden.



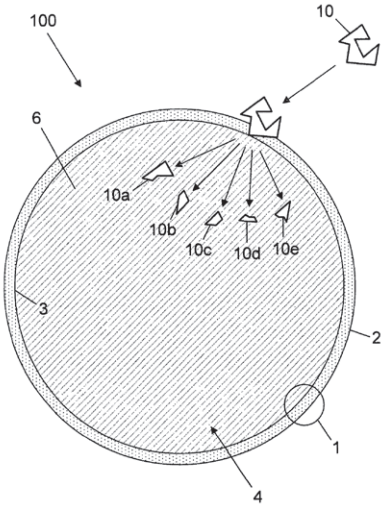
Figur 12: Faserknäuelvorrichtung (aus der US 2012/0 068 018 A1)

3.2 Einfang von Hochgeschwindigkeitsobjekten

Neben der Bereitstellung von großen Sammeloberflächen ist es beim Einfang häufig notwendig, die beträchtliche Relativgeschwindigkeit des Weltraumschrotts zu bremsen. Eine Verlangsamung von Hochgeschwindigkeitsteilchen erreicht die US 4 936 528 A durch Kollisionen mit Flüssigkeitstropfen. Die DE 10 2010 024 644 A1 verwendet für den Bremsvorgang eine doppelwandige Struktur. Der Weltraumschrott durchstößt die äußere Fangfläche am Aufprallort und fragmentiert dabei. Die Fragmente treffen dann auf einer wesentlich größeren Fläche auf der inneren Fangfläche auf und können dort abgebremst werden. Die DE 10 2010 008 376 A1 hingegen offenbart eine mit Schaumstoff gefüllte und mit einem verformbaren Gewebe umhüllte Kugel. Hier fragmentiert der Weltraumschrott ebenfalls an der Kugeloberfläche und wird dann im Inneren der Kugel aufgenommen und gebunden.



Figur 13: Doppelwandige Vorrichtung (aus der DE 10 2010 024 644 A1)

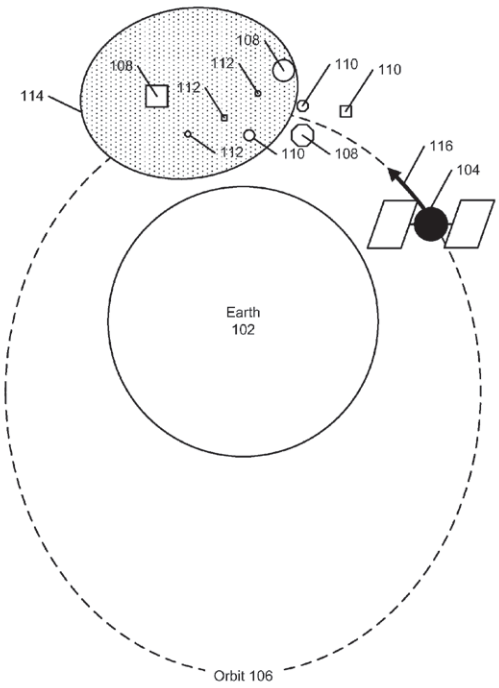


Figur 14: Schaumstoffkugel (aus der DE 10 2010 008 376 A1)

Die DE 10 2010 047 735 A1 schließlich beschreibt eine Schutzschicht, die ebenfalls für ein Fragmentieren und Abbremsen von impaktierenden Partikeln sorgt. Die vorgeschlagene Folienanordnung enthält dabei zusätzlich einen nach dem Prinzip des Rückfederns und Verbindens zur Selbstheilung fähigen Kunststoff.

4 Entfernung von Weltraumschrott durch Änderung der Umgebungsbedingungen

In den beiden vorangegangenen Abschnitten wurden Vorrichtungen besprochen, die direkt mit dem Weltraumschrott interagieren und dabei andocken oder die Bruchstücke einfangen. In diesem Abschnitt werden Verfahren vorgestellt, die eine Ablenkung oder Ab-



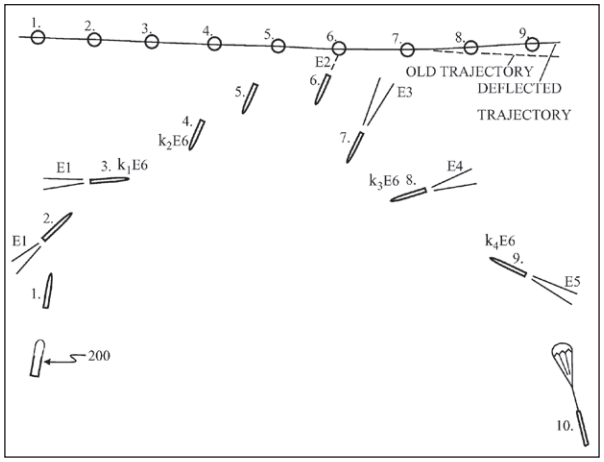
Figur 15: Abbremsung durch eine temporäre Gaswolke (aus der US 2013/0 082 146 A1)

bremsung der Satellitenbruchstücke indirekt über die Ausbringung eines Mediums, wie zum Beispiel einer Gaswolke, bewirken. Der Vorteil dieser Verfahren besteht darin, dass sie eine entsprechende Wirkung in sehr großen Raumbereichen erzeugen.

Die US 2012/0 241 562 A1, US 2013/0 082 146 A1 und die US 2013/0 181 061 A1 beschreiben die Erzeugung einer nicht stationären Gaswolke in einem erdnahen Orbit. Das entsprechende Medium wird von einem Verteilungsraumschiff am Einsatzort ausgebracht. Weltraumschrott, der diese Wolke durchquert, wird dabei abgebremst und auf eine Wiedereintrittstrajektorie in die Erdatmosphäre gelenkt, wo er verglüht. In ähnlicher Weise wird in der US 2011/0 210 208 A1 eine Abbremsung mittels Staubwolke erreicht.

Die US 2013/0 001 365 A1 beschreibt ein Verfahren zur lokalen Konzentration eines im Bereich einer Erdumlaufbahn vorhandenen Plasmas. Die vorgestellten Satelliten enthalten Elektroden, die mit gepulster elektrischer Energie versorgt werden. Das dadurch entstehende elektrische Feld führt zu einer Konzentration des den Satelliten umgebenden Plasmas. Weltraumschrott, der sich dann durch dieses konzentrierte Plasma bewegt, wird entsprechend gebremst.

Dem gegenüber sieht die US 2007/0 285 304 A1 vor, Satellitenbruchstücke durch gerichtete Rückstoßgase einer Raketendüse abzulenken. Dabei kann der Weltraumschrott zusätzlichen Impuls gewinnen und aus



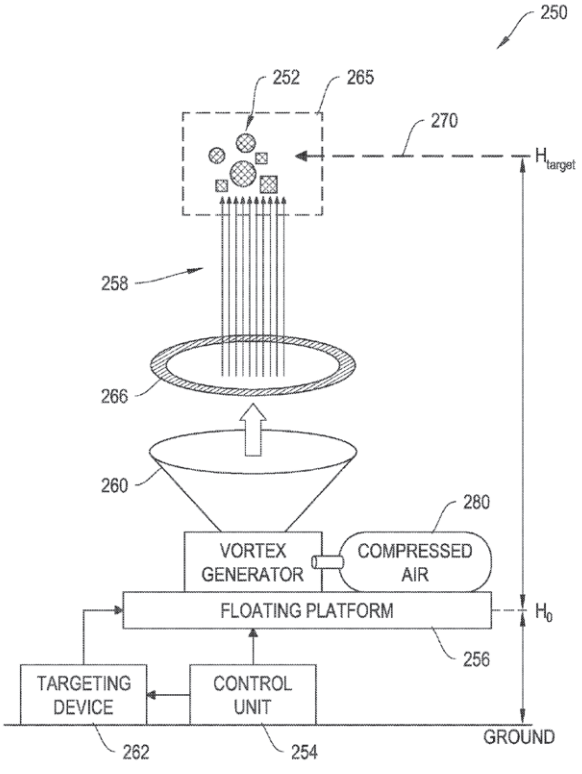
Figur 16: Impulstransfer mittels Raketendüse (aus der US 2007/0 285 304 A1)

seinem ursprünglichen Orbit abgelenkt werden. In ähnlicher Weise beschreibt die US 5 405 108 A einen Impulstransfer auf die zu beseitigenden Objekte durch eine im zu räumenden Bereich ausgelöste Explosion.



Figur 17: Explosion im Orbit (aus der US 5 405 108 A)

Die US 2013/0 306 799 A1 verfolgt wiederum einen alternativen Ansatz. Darin wird vorgeschlagen, eine Fahne aus atmosphärischen Gasen in der Hochatmo-



Figur 18: Erzeugung einer senkrechten Gasfahne (aus der US 2013/0 306 799 A1)

sphäre zu erzeugen und diesen Gasausfluss senkrecht aus der Hochatmosphäre heraus in Richtung erdnahe Umlaufbahnen zu richten. Weltraumobjekte, die diese Gaszone durchqueren, werden dabei wieder abgebremst. Hochfliegende Ballone könnten als Basis für die Erzeugung entsprechender Gasfahnen dienen.

5 Ausblick

Durch die steigende Zahl an Satelliten wird die Problematik des Weltraumschrotts in Zukunft an Dringlichkeit zunehmen. Somit sind effiziente und idealerweise großflächig anwendbare Verfahren gefragt, um einen weiteren Anstieg der Anzahl an Bruchstücke zu vermeiden. Eine einfache Herstellung und ein robuster Betrieb der entsprechenden Räumungssatelliten sind ebenfalls wünschenswert.

Idealerweise sollten bei der Räumung von Weltraumschrott keine zusätzlichen Bruchstücke erzeugt werden. Eine Kombination von zwei oder mehreren der vorgeschlagenen Vorrichtungen und Verfahren ist ebenfalls denkbar.

Weltraummissionen sind zumeist sehr kostenintensive Unternehmungen. Daher werden mehrfach verwendbare Vorrichtungen zur Entfernung von Weltraumschrott bevorzugt.

Generell werden in Zukunft wohl auch Verfahren zur Vermeidung von Weltraumschrott an Bedeutung gewinnen.

6 Danksagung

Den Kollegen Herrn Dipl. Ing. Stefan Innerkofler und Herrn Dr. Peter Christ wird für ihre Hilfestellung gedankt.

Nicht-Patentliteratur

[1] Wikipedia: Weltraummüll; URL: **https://de.wikipedia.org/wiki/Weltraumm%C3%BCll** [abgerufen am 12.06.2017]

[2] Wikipedia: Fenyung-1C; URL: **https://de.wikipedia.org/wiki/Fengyun-1C** [abgerufen am 12.06.2017]

[3] Wkipedia: Satellitenkollision am 10. Februar 2009; URL: **https://de.wikipedia.org/wiki/Satellitenkollision_am_10._Februar_2009** [abgerufen am 12.06.2017]

[4] LIOU, J.-C. /NASA/: „Orbital Debris and Future Environment Remediation"; OCT Technical Seminar, NASA HQ, Washington DC, 21 July 2011; URL: **https://www.nasa.gov/pdf/582393main_OCT-Orbital_Debris_TAGGED.pdf** [abgerufen am 12.06.2017]

[5] Wikipedia: Bola; URL: **https://de.wikipedia.org/wiki/Bola** [abgerufen am 12.06.2017]

[6] Wikipedia: Spatula; URL: **https://de.wikipedia.org/wiki/Spatula** [abgerufen am 12.06.2017]

Systeme zur Absicherung von Gefährdungsbereichen an bewegbaren Cabrioletverdecken

Dr. Andreas Monokroussos, Patentabteilung 1.24

Als Cabriolet oder Cabrio wird im Fahrzeugbau vorherrschend jeder Personenkraftwagen bezeichnet, dessen Dach durch Zurückklappen geöffnet werden kann. Ein flexibles Verdecksystem bildet hierbei das sogenannte faltbare Stoffverdeck.
Die Menschen, die sich im Innenraum eines Fahrzeugs befinden, sollen nicht nur ein angenehmes Gefühl während einer Fahrt bei geöffnetem Verdeck haben, sondern sie müssen auch davor geschützt werden, in unachtsamen Situationen durch dieses Verdeck Verletzungen davonzutragen.
In diesem Artikel sollen wichtige Wechselwirkungen zwischen einem bewegbaren Verdeck und dem Menschen betrachtet werden. Insbesondere sollen die Einflüsse, die auf die Verdeckbewegung als Störung einwirken, im Vordergrund stehen. Vorgestellt werden anhand von ausgewählten Patentanmeldungen exemplarische Lösungsmöglichkeiten, die einen Einfluss auf die Steuerung des Verdecks haben. Auf die Sensorik als Messapparaturen selbst wird an dieser Stelle nicht näher eingegangen. Zum Abschluss folgt ein Ausblick auf bevorzugte mögliche Lösungen, um Gefährdungen beim bewegten Verdeck zu verhindern.

1 Einführung

In heutigen Fahrzeugen werden Elektromotoren und ihre Elektronik in vielfältigen Anwendungen eingesetzt. So werden Fenster fast immer elektrisch bewegt und Fahrer- und Beifahrertüren mit Hilfe von Zuziehhilfen, aber auch Schiebetüren und Heckklappen immer häufiger elektrisch betätigt. Insbesondere gilt das sowohl für die Schiebe- oder Sonnendächer als auch für die noch größeren Baugruppen der Faltverdecke von Cabrioletfahrzeugen. Bei all diesen elektrisch bewegbaren Elementen ist eine Kontrolle der automatischen Bewegung unumgänglich geworden, um unabsichtliches menschliches Verhalten beziehungsweise Gefahrensituationen, die dem Menschen schaden könnten, zu vermeiden. Es ist für eine intelligente Steuerung eines Schiebedachs oder eines Faltverdecks nicht einfach, aufgrund von Parametern zu unterscheiden, ob beispielsweise der gemessene größere Kraftaufwand für die Bewegung infolge der Schwergängigkeit des Verdecks, zum Beispiel durch Wetterbedingungen wie Wind, oder tatsächliche Hindernisse verursacht wird.

Der wichtigste Aspekt hierbei ist der Einklemmschutz von zumeist menschlichen Körperteilen, wie Armen, Händen, Fingern oder sogar dem Kopf. Auch wenn allgemein die Meinung herrscht, dass die Kräfte eines Elektromotors nicht zu ernsthaften Verletzungen führen könnten, kann es aufgrund einer entsprechenden Kraftübersetzung doch zu Schäden kommen. Beispielsweise können hier Kinderhände ernsthafte Verletzungen davontragen. Vorgeschrieben ist ein Einklemmschutz nur, wenn die Funktion nach Antippen des betreffenden Schalters selbsttätig abläuft. Aber es gibt auch Ablauflogiken, die eine Abschaltung der Verdeckbewegung durch ein einfaches Antippen des Schalters nicht vorsehen, da man den Schalter während der ganzen Bewegung gedrückt halten muss. Die Steuerung übernimmt in solchen Fällen der Mensch selbst. Sicherlich haben nicht alle zu bewegenden Bauteile am Fahrzeug die gleichen Auswirkungen auf Verletzungen. Die Faltverdecke von Cabrioletfahrzeugen gehören aber zu den schweren Bauteilen, bei denen erhebliche Kräfte wirken, die im Kollisionsfall bei fehlendem Einklemmschutz sehr wahrscheinlich zu Verletzungen führen können [2].

Betrachtet man die Bewegung an sich, lässt sich diese in zwei Bewegungsabschnitte unterteilen – die zu öffnende und die zu schließende. Dabei ist die schließende Bewegung die in den meisten Fällen „gefährlichere". Neben verschiedenen Methoden, mit denen ein Elektromotor beziehungsweise seine Elektronik eventuelle Hindernisse bemerkt, ist die Unterbringung von Messapparaturen an geeigneten Stellen im Fahrzeug notwendig, um diese Informationen aufzunehmen und an die Steuerung weiter zu geben [2].

Ein weiterer besonderer Gefahrenbereich entsteht bei einem Unfall und dem Überschlag des Cabrioletfahrzeugs. In solchen Momenten sind die Passagiere besonders stark gefährdet [3]. Die hierbei verwendeten Überroll-Schutzeinrichtungen werden hier im Weiteren jedoch nicht betrachtet.

In Kapitel 4 werden spezielle Lösungsansätze im Hinblick auf die Vermeidung von Personenschäden in Gefährdungsbereichen bei bewegbaren Stoffverdecken von Cabrioletfahrzeugen vorgestellt. Die Lösungsansätze gelten auch für Cabrioletfahrzeuge mit bewegbaren Metallverdecken (englisch: *retractable hardtop – RHT*).

2 Bedeutung einer Schutzeinrichtung beim Faltverdeck

Das Faltverdeck eines Cabrioletfahrzeugs besteht typischerweise aus einer komplexen Baugruppe, die aus einer äußeren, sichtbaren Hülle sowie einem beweglichen Satz an Gestängen, gebildet aus Spriegeln, Latten und Gelenken, besteht.
Solche Verdecke werden durch eine Tasterbetätigung automatisch von einer geöffneten in eine geschlossene Position oder umgekehrt bewegt. Die Verdeckbewegung erfolgt dabei üblicherweise durch einen hydraulischen Antrieb, welcher einen Verdeckmechanismus in Bewegung setzt und somit das Verdeckgestänge mit der Textilhülle oder bei einem Metall-Klappdach die starren Dachelemente und gegebenenfalls auch einen Deckel für einen Verdeckaufnahmeraum umfasst.
Dabei darf die Kraft, welche von einem Elektromotor ausgeht, nicht unterschätzt werden, denn sie muss schnell und sicher ein verhältnismäßig schweres Dachgebilde auf Knopfdruck bewegen. Schaltungstechnisch unterscheidet sich das Aufstellen und Abstellen des Verdecks nur durch Umpolung. Um Passagiere bei unachtsamen Bewegungen in unterschiedlichen Situationen zu schützen, kommt einer Schutzeinrichtung eine ganz besondere Bedeutung zu. Grundsätzlich bewegt sich ein Faltverdeck nur so lange, bis sich ein Hindernis in seinen Weg stellt. Ein vorhandenes Steuergerät des Motors merkt dann entweder eine in der Bewegung erforderliche höhere Kraft oder, dass die Bewegung langsamer wird. Das Verdeck bleibt dann stehen. Etwas aufwändiger gestaltete Regelungen fahren dann sogar das Verdeck zurück, um das mutmaßlich Eingeklemmte (Körperteil oder Sache) wieder freizugeben. Minimale Abweichungen, die im Betrieb des Verdecks über die Zeit beispielsweise als Verschleiß oder als Alterung auftreten, müssen hierbei von einer intelligenten Steuerung erkannt und herausgefiltert werden.
Mit Hilfe einer Schutzeinrichtung kann eine entdeckte Störung mittels einer Messapparatur (Sensor) das Verstellen eines Falt- oder Klappverdecks stoppen und damit ein Einklemmen eines Objekts verhindern. Ein Einklemmen kann entweder zwischen zwei beweglichen Teilen des Falt- oder Klappverdecks oder zwischen einem beweglichen Teil des Verdecks und einem ortsfesten Bauteil des Fahrzeugs, wie beispielsweise dem oberen Rahmenabschnitt eines Windschutzscheibenrahmens, entstehen. Üblicherweise wird durch eine Messeinrichtung, die einen bestimmten Raum überwacht, im Behinderungsfall eine Abschalteinrichtung gestartet, um die motorische Verstelleinrichtung abzuschalten. Mit Hilfe von Messeinrichtungen werden beispielsweise der Fahrgastraum, die äußeren Seitenbereiche, der Heckbereich des Fahrzeugs und/oder der Bereich über dem oberen Windlauf an der vorderen Windschutzscheibe überwacht.

3 Die Messapparaturen (Sensorik)

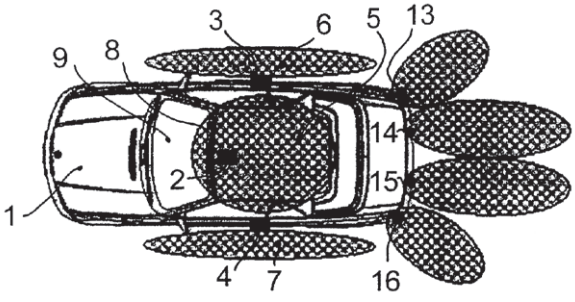
Eine allgemeine Definition, was unter „Messaufnehmer, Messwertaufnehmer, Messwertgeber oder Geber" zu verstehen ist, besagt, dass es ein „erstes Glied eines Messgeräts oder einer Messeinrichtung ist, welches dazu dient, die Messgröße aufzunehmen und ein entsprechendes Messsignal abzugeben. Oft wird dieses

dabei gleichzeitig in ein Signal anderer Art umgeformt (Messgrößenumformer). Insbesondere bei der Erfassung nichtelektrischer Größen und deren Umwandlung in elektrische Größen spricht man von Sensoren“ [1].

Um die Bewegung und den Zustand eines Faltverdecks zu kontrollieren und um auf unvorhergesehene Situationen sicher und schnell zu reagieren, muss dieses während der gesamten Bewegung unter Beobachtung stehen. Dabei werden Sensoren an entsprechenden Stellen am Cabrioletfahrzeug angebracht, um die Bewegung des ablegbaren Daches sowohl bei seiner Ablagebewegung als auch bei seiner Aufspannbewegung zu erfassen und die Messergebnisse für die Bewegungssteuerung des Faltdachs auszuwerten.

4 Überwachung von Schutzbereichen zur Verhinderung von kritischen Situationen bei Faltverdecken

Schutzeinrichtungen zur Verhinderung eines Einklemmens von beweglichen Objekten werden im Wesentlichen aus einer Messeinrichtung, einer Steuerungseinrichtung und einer Abschalteinrichtung gebildet. Wie in Figur 1 dargestellt, besteht das motorisch verstellbare Fahrzeugteil aus einem Falt- oder Klappverdeck eines Cabriolets. Die wesentlichen Unterbringungsmöglichkeiten der Messelemente (Sensoren) sind beispielsweise im Fahrgastraum 2 und/oder den äußeren Seitenbereichen 3 und 4, insbesondere am oberen Windlauf 8 an der vorderen Windschutzscheibe 9 und/oder zusätzlich am Heckbereich des Fahrzeugs vorgesehen. Im voll ausgestatteten Fall ist der Bereich des Fahrgastraumes 5, die äußeren Seitenbereiche 6 und 7 und der Heckraum hinter dem Fahrzeug mittels



Figur 1: Überwachungsbereiche eines Cabrioletfahrzeugs (aus der EP 1 354 740 A1)

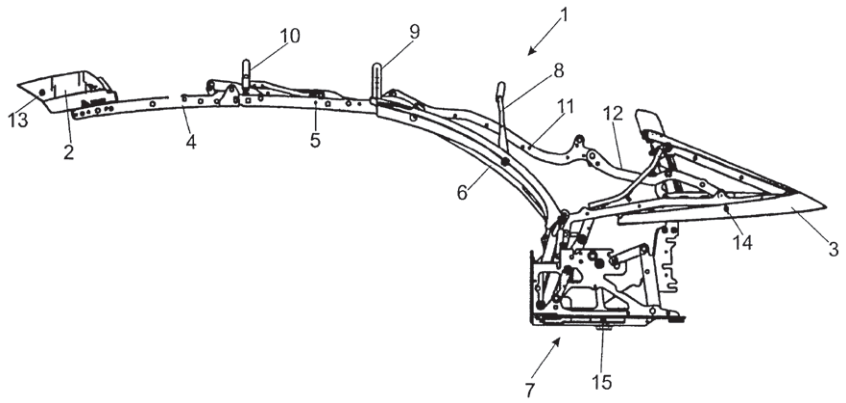
Überwachungssensoren 13 bis 16 abgedeckt. Hierbei werden bevorzugt Ultraschallsensoren verwendet, die keulenförmig die Bereiche des Hecks und der Seiten auf bewegliche Objekte kontrollieren. Dringt ein bewegliches Objekt in wenigstens einen Abschnitt dieser Überwachungsbereiche ein, bewirkt der jeweils betroffene Überwachungssensor 13, 14, 15 oder 16 und 2, 3 oder 4 über die Steuerungseinrichtung ein Abschalten der motorischen Verstelleinrichtung und damit ein Anhalten des Verdecks, wodurch der Einklemmschutz realisiert ist.

Hierbei können die verschiedenen Messeinrichtungen einzeln oder in Gruppen vorgesehen sein und als Ultraschallsensoren, Infrarotsensoren, Mikrowellensensoren oder als Kameras ausgebildet sein.

4.1 Anbindung von Beschleunigungssensoren an Verdeckspriegeln

Behinderungen im Bewegungsablauf wirken einer Beschleunigungsbewegung des Faltverdecks und damit der eigentlich vorgesehenen Bewegungsrichtung entgegen. Messgrößenaufnehmer erfassen die tatsächlich an einem Verdeckteil wirkende Beschleunigung mittelbar oder unmittelbar, beziehungsweise unter Zwischenschaltung einer Rechenelektronik. Dabei wird im Störungsfall die erfasste Beschleunigung, insbesondere die Abweichung der erfassten Beschleunigung von Sollwerten einer störungsfreien Bewegung erfasst. Anhand der Messwerte kann man Rückschlüsse auf die Art der Störung erhalten. Ein Anstoßen eines Verdeckteils an einen festen Gegenstand, beispielsweise einer Hand, liefert eine andere Abweichung der Beschleunigung als ein allmähliches Einklemmen eines flexiblen Verdeckstoffteils bei der Bewegung des Daches. Als Konsequenz daraus wird der Antrieb des Verdecks entweder sofort angehalten oder sogar teilweise umgekehrt, um den Gegenstand wieder freizugeben. Bei der Umsetzung solcher Konzepte werden vorzugsweise Sensoren vorgesehen, die auf dem thermodynamischen Prinzip basieren beziehungsweise nach dem Prinzip der bewegten Masse arbeiten. Eine übliche Anordnung von Sensoren an einem Faltverdeck 1 zeigt die Figur 1. Es würde schon ausreichen die Beschleu-

nigungsbewegung mittels eines Sensors zu erfassen. Mit Hilfe mehrerer Sensoren ist es jedoch zusätzlich möglich, die Lage einzelner Dachteile zu erhalten. Wie in Figur 2 gezeigt, ist ein erster Beschleunigungssensor 13 an dem vorderen Frontspiegel 2 angeordnet. Ein zweiter Beschleunigungssensor 14 ist an dem Stoffspannbügel 3 und ein dritter 15 an dem Hauptlager 7 karosseriefest angebracht.



Figur 2: Kinematik eines Faltverdecks mit Stoffbezug für ein Cabriolet (aus der DE 103 35 535 A1)

Zusätzliche Sensoren können das Ende einer Bewegung des Faltdachs durch einen Anschlag im Kofferraum beim Einfahren oder einen Anschlag an der Windschutzscheibe beim Ausfahren erkennen. Hierbei wird das Ende der Dachbewegung aufgrund einer negativen Beschleunigung erkannt. Die Auswertung der erfassten Daten zur Beschleunigung wird immer als ein Vergleich mit Sollwerten durchgeführt. Erfasste Abweichungen der tatsächlichen Beschleunigungen von den Sollwerten zeigen dann Störungen im Ablauf der Bewegung des Daches an.

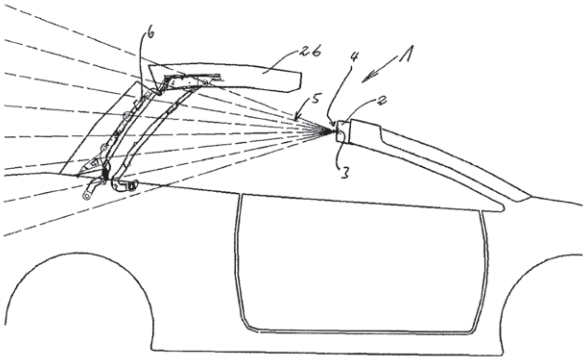
Im Fall einer erkannten Störung kann das Steuersystem zusätzlich durch ein akustisches und/oder ein optisches Warnsignal vor einer möglichen Gefahr warnen oder allgemein auf das Vorliegen einer Störung hinweisen. Alternativ oder ergänzend hierzu bewirkt das Steuersignal, dass der Antrieb des Daches angehalten und/oder das Dach kurzzeitig in die umgekehrte Richtung bewegt wird, um ein mögliches Einklemmen eines Körperteils freizugeben und die Störung aufzuheben.

4.2 Verwendung von Kamera-Systemen zur Überwachung des Faltverdecks

Eine optische Möglichkeit, die Faltdachbewegung zu beobachten und kritische Situationen bei bewegten Verdeck-/Dachteilen zu erfassen, kann mittels eines Tracking-Verfahrens (deutsch: verfolgen) ermöglicht werden. Hierbei kommen vor allem optische Verfolgungsverfahren in Frage. Infrarotempfindliche Sensorsysteme, sogenannte Thermopiles (temperaturempfindliche Sensorsysteme) oder CCD-Kamera-Systeme können hier Verwendung finden. Passive oder aktive Infrarotmarker an Dach- beziehungsweise Gestängeteilen werden gezielt erhitzt oder gekühlt. Die passiven Marker werden von einer Lichtquelle (einer Kamera oder eines Sensors) angestrahlt und erscheinen durch Reflektion als helle Stellen von Dachteilen vor einem dunklen Hintergrund. Die Lichtquelle kann eine Infrarotlichtquelle aber auch jede andere Lichtquelle sein. Die Sensorik muss nur auf die entsprechende Wellenlänge abgestimmt sein. Alternativ oder ergänzend können die passiven Marker als ein Muster, wie Kreise, die schwarz-weiß geviertelt sind, beziehungsweise als eine geometrische Information mit hohem Kontrast zur Umgebung bei benachbarten Dachteilen, dargestellt sein.

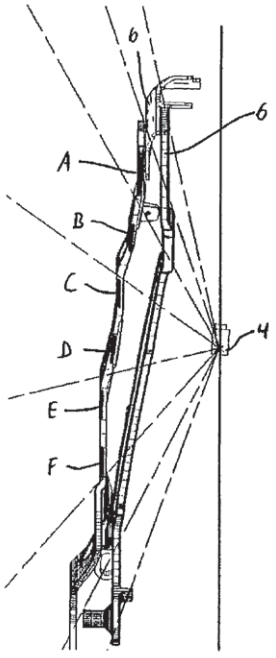
Figur 3 zeigt eine Lösung, bei der an einem ortsfesten Teil des Fahrzeugdachs 2 (oberer Windschutzscheibenrahmen) ein Empfänger 3 angebracht ist. Dieser ist als eine Kamera für den Empfang sichtbaren Lichts ausgebildet. Entsprechend ist für nicht sichtbares Licht, zum Beispiel Infrarotlicht, Ultraviolett- oder Mikrowellenstrahlung, ein anderer Empfänger erforderlich. Zusätzlich kann ein Strahler 4 vorhanden sein, welcher ein Strahlenbündel 5 in Form eines Fächers aussendet. Das Strahlenbündel 5 wird dann an einer Mehrzahl von Markern A bis F, die am Gestänge 6 des Daches 2 angeordnet sind, reflektiert und zum Empfänger 3 zurückgeworfen. Die Marker A bis F können beispielsweise als retroreflektierende Flächen oder solche,

die als aktive Marker, wie zum Beispiel Infrarotdioden, Laserdioden, Mikrowellenstrahler oder andere dienen, ausgeführt sein.



Figur 3: Fahrzeugdach mit Kamera- und Empfängersystem (aus der DE 10 2006 051 487 B3)

Je nach der Dachbewegung und der damit verbundenen Gestängeneigung ergibt sich hierbei ein unterschiedliches Bild, insbesondere wenn sich nach dem Anheben eines derartigen Verdecks aus der geschlossenen Position die Marker quasi überdecken. Werden die Marker A bis F von einer Strahlungsquelle 4 bestrahlt, ergibt die reflektierte Strahlung in etwa ein Bild gemäß Figur 4. Die Marker heben sich vom Untergrund deutlich ab, wenn beispielsweise Infrarotstrahlung reflektiert wird.



Figur 4: Fahrzeugdach mit Kamera- und Empfängersystem (aus der DE 10 2006 051 487 B3)

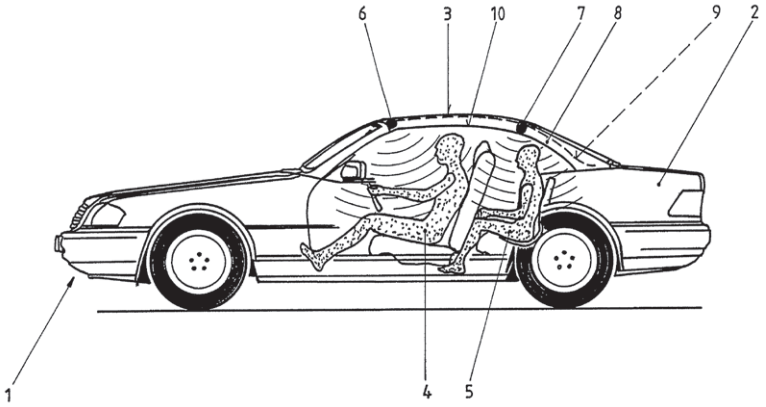
Werden derartige Muster verwendet, kann der Bewegungsablauf des markierten Dachteils oder Gestänges mit einem Stereoverfahren in Stereoskopie erfasst und entsprechend ausgewertet werden.

Die Anordnung von Mustern auf einem Gestänge ermöglicht es, die Gestängebewegung zu verfolgen, wobei nach Art eines Kennfeldes für jeden Bewegungszustand des Gestänges eine Musterzusammensetzung der Marker im Steuersystem hinterlegt ist.

Tritt eine mögliche Störsituation ein, zeigt sich das, indem ein oder mehrere Marker verdeckt sind. Die Steuerungselektronik kann in diesem Fall dann einen sofortigen Halt der Bewegung und/oder eine rücklaufende Bewegung des Verdecks veranlassen.

4.3 Verwendung von optischen Systemen zur Überwachung des Fahrzeuginnenraums

Neben der vorgestellten Überwachung des Faltverdecks und seiner Bewegung ist es möglich, dass auch der Innenraum des Fahrzeugs, das heißt die Fahrzeuginsassen, überwacht werden. Dabei wird ein Sicherheitsbereich zwischen den Fahrzeuginsassen und dem Verdeck ausgebildet. Dieser Sicherheitsbereich wird mit Sensoren beobachtet und bei Vorliegen eines Störsignals wird der Verdeckantrieb über seine Steuerung sofort stillgesetzt. Der Fahrer oder die Fahrerin öffnet durch Betätigen das Verdeck, ohne dabei auf die übrigen Fahrzeuginsassen achtgeben zu müssen, um erforderlichenfalls die Verdeckbewegung zu unterbrechen. Vorteilhafterweise kann der Sicherheitsbereich durch eine Kamera, einen Infrarotsensor und/oder einen Ultraschallsensor überwacht werden. Zur Aufnahme eines dreidimensionalen Bildes werden Sensoren verwendet und diese mit einem Mikroprozessor zur Bildauswertung verbunden. Um der Gefahr zu begegnen, dass eventuell der Fahrgastinnenraum nicht immer vollständig beobachtet werden kann (möglicherweise durch gegenseitiges Überdecken) kann jeweils ein Sensor zur Überwachung der Fahrzeuginsassen über den Vordersitzen und ein Sensor zur Überwachung der Fahrzeuginsassen über den Rücksitzen Verwendung finden. In Figur 5 wird ein Kraftfahrzeug 1 mit einem



Figur 5: Kraftfahrzeug mit zwei Sensoren zur Insassenüberwachung und einem Sicherheitsbereich (aus der DE 198 11 232 A1)

in den Kofferraum 2 zu bewegenden Verdeck 3, zwei Fahrzeuginsassen 4 und 5 und zwei insbesondere als Kameras ausgebildete Sensoren 6 und 7 oberhalb der Fahrzeuginsassen vorgestellt. Die beiden Sensoren überwachen die Position der Fahrzeuginsassen und verhindern oder unterbrechen über die Steuerung die Bewegung des Verdecks, wenn ein Fahrzeuginsasse den Sicherheitsbereich 8 verletzt. Dieser Sicherheitsbereich wird nach oben hin von einer gestrichelt dargestellten Hüllkurve 9 begrenzt, unter die das Verdeck beim Bewegen niemals gelangen soll. Unterhalb dieser Hüllkurve ist eine Linie 10 dargestellt, welche nach oben hin den erlaubten Aufenthaltsbereich der Fahrzeuginsassen beschränkt.

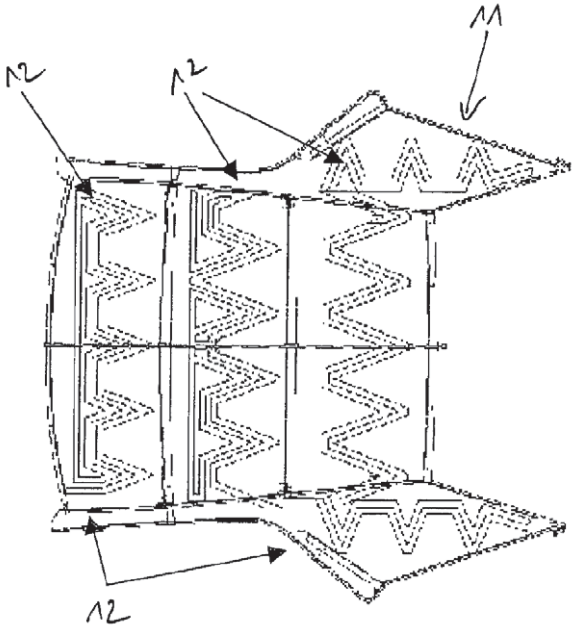
Bei dieser Ausführungsform wird es den Fahrzeuginsassen ermöglicht, schon in der Öffnungsbewegung des Verdecks durch die entstehende Dachöffnung zu greifen, noch bevor das Verdeck vollständig geöffnet oder geschlossen ist.

4.4 Ausbildung des Faltverdecks als Feldquelle

Wie im Kapitel 3 beschrieben, werden Messnehmer in Form von Sensoren sowohl zur Beobachtung der Verdeckbewegung selbst als auch der Schutzbereiche um das Fahrzeug herum verwendet. Diese sind in der Regel als unabhängige Bauteile am Cabrioletverdeck ausgebildet. Das Verdeck dient dabei im Wesentlichen nur als Träger für die Sensorsysteme, an dem diese befestigt sind und von dem diese auch geführt werden. Als eigenständige Bauteile können die Sensorsysteme aber auch immer beschädigt werden.

Eine Lösung, die Beschädigung zu verhindern, besteht darin, das Cabrioletverdeck selbst als Elektrode zu nutzen und somit auf zusätzliche Bauelemente zu verzichten. Eine zweite Elektrode, die als Gegenelektrode für das Verdeck dient, wird außerhalb des Verdecks angebracht. Die Ausbildung des Verdeckbereichs als Feldquelle eines Bereichs zwischen dem Verdeck und der Karosserie zur Erfassung einer Störung im Schwenkbereich des Verdecks bietet die Möglichkeit einer berührungslosen Erfassung des Gegenstandes in Echtzeit.

In Figur 6 wird ein Cabrioletverdeck 11, an dem elektrische Leiterbahnen 12 in Form eines Fischgrätenmusters aufgebracht sind, dargestellt. Die elektrischen Leiterbahnen 12 werden von einer nicht dargestellten Spannungsquelle beaufschlagt. Wird der Stoffbezug des Verdecks 11 bewegt, bewirkt der entlang der Leiterbahnen 12 geschlossene Strom ein Magnetfeld, so dass der Stoffbezug selbst als Feldquelle ausgebildet ist.

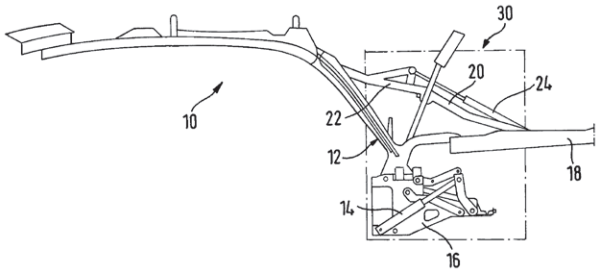


Figur 6: Verdeckbezug eines Cabrioletverdecks mit Leiterbahnen (aus der DE 10 2006 004 278 A1)

Das in den Schwenkbereich des Cabrioletverdecks gelangte Objekt, beispielsweise die Hand einer Person, bewirkt eine Änderung des Feldes. Die Feldänderung erlaubt damit eine berührungslose, unauffällige und leicht auszuführende Erfassung des Störgegenstandes. Als gängige Messgrößen zur Erfassung der Feldeigenschaften kommen Gleich- oder Wechsel-Spannungsamplituden oder Gleich- oder Wechsel-Widerstände (Ohm'scher Widerstand, Kapazität, Induktivität) in Frage, die durch eine entsprechende Steuerungselektronik ausgewertet werden.

4.5 Überwachung des Bewegungsablaufs durch Positionserkennung

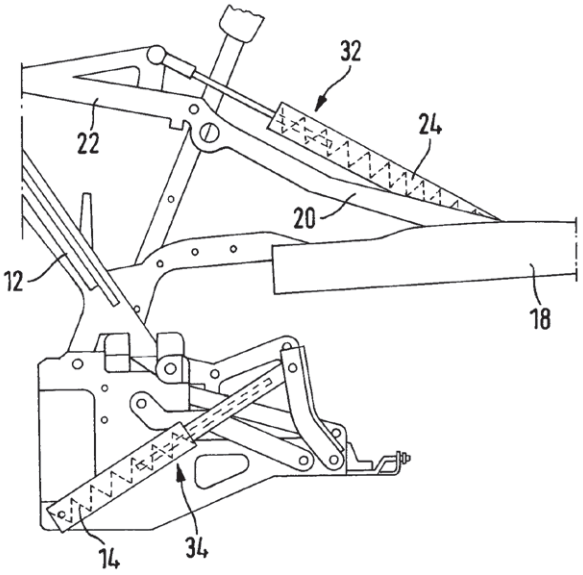
Ein weiterer Lösungsansatz zur Überwachung und Steuerung des Bewegungsablaufs eines Faltverdecks sieht vor, dass die Position zweier beweglicher Elemente des Faltverdecks zueinander oder die Position eines beweglichen Elements des Faltverdecks zu einem festen Bezugspunkt an einem nicht beweglichen Fahrzeugelement (zum Beispiel der Karosserie) erfassbar ist. In diesem Fall werden Positionssensoren als Linearsensoren verwendet. Dies ermöglicht, den Positionssensor nicht nur im Bereich eines Scharniers an einem Gestängeelement des Faltverdecks, sondern in besonderer Weise in der Nähe des Verdeckantriebs anzuordnen. Der Positionssensor kann dann mit dem Antriebsmittel gekoppelt sein, insbesondere in diesen integriert werden. Diese Ausführungsform erweist sich speziell dann als vorteilhaft, wenn das Antriebsmittel ebenfalls beim Öffnen und Schließen des Faltverdecks eine Linearbewegung ausführt, beispielsweise wenn das Antriebsmittel eine Kolben-Zylinder-Anordnung (zum Beispiel Hydraulikzylinder) umfasst, welche sich beim Betrieb des Faltverdecks oder beweglichen Fahrzeugdachs hin- und herbewegt. Der Linearsensor kann unter anderem als magnetoresistiver Sensor gestaltet sein und speziell einen magnetisierten Ferritstab umfassen. Der Ferritstab kann dabei spiralförmig magnetisiert sein und bei seiner Bewegung an einem Magnetfeldsensor vorbeigeführt werden. Auf relativ einfache und kostengünstige Art kann der Linearsensor nach dem Prinzip der variablen Induktivität arbeiten. Dabei kann ein Ring auf einer Stange angeordnet sein, wobei der Ring bei Bewegung der Stange an einer Spule vorbeigeführt wird. Damit lässt sich die Lage der Stange ermitteln und Rückschlüsse auf die Position ziehen. Als weitere einfache Umsetzungsalternative könnte auch innerhalb einer Spule ein leitfähiger Kolben derartige Rückwirkungen auf die Spule auslösen, dass so aus der sich ändernden Signalspannung ebenfalls auf die Position des Kolbens geschlossen werden kann. Figur 7 zeigt ein aufgespanntes Faltverdeck mit einem Gestänge 10 und zwei Kolben-Zylinder-Antriebe 14 und 24, von denen einer 14 die Hauptsäule 12 und der andere 24 den Spannbügel 18 bewegt.



Figur 7: Faltverdeck mit Gestängeteilen und Verdeckantrieben (aus der DE 102 01 871 A1)

Um nun eine Fehlfunktion beim Öffnen und Schließen detektieren zu können, sind die beiden Hydraulikzylinder 14 und 24 mit einem Linearsensor integriert ausgebildet. Die Linearsensoren 32 und 34 sind in der Figur 8 lediglich schematisch dargestellt, und zwar durch Andeutung einer Spule (Zickzacklinie) sowie einer dicken Linie, die einen magnetisierten Stab symbolisieren soll. Der Stab wird beim Bewegen der jeweiligen Hydraulikzylinder 14 und 24 in der Spule verschoben. Durch die Verschiebung des magnetisierten Ferritstabes innerhalb der Spule kann für jeden Hydraulikzylinder dessen Länge festgestellt werden. Insgesamt kann damit genau der Abstand zwischen den beiden Anlenkpunkten des Hydraulikzylinders ermittelt und somit die Positionen der einzelnen Verdeckelemente zueinander bestimmt werden. Bezüglich des Hydraulikzylinders 24 ist es somit möglich, die Position des Spannbügels 18 im Verhältnis zur oberen Spannstange zu ermitteln. In Bezug auf den Hydraulikzylinder 14 ist es weiterhin möglich, die Stellung der Hauptsäule 12 hinsichtlich eines fahrzeugfesten Elements zu bestimmen. Die beiden Linearsensoren

geben jeweils ein entsprechendes Signal an eine in Figur 8 nicht dargestellte Steuerung ab. Diese Steuerung schließt aufgrund der verschiedenen Signalinformationen sowie der Betriebssituation des Faltverdecks auf eine Funktionsstörung oder bestätigt eine ordnungsgemäße Funktionsweise. Sollte eine Fehlfunktion festgestellt werden, so kann der Bewegungsablauf gestoppt und der Fahrer oder die Fahrerin informiert, beziehungsweise vom Steuergerät eine Korrektur des Ablaufs vorgenommen werden.



Figur 8: Teildarstellung der Hydraulikzylinder mit integrierten Linearsensoren (aus der DE 102 01 871 A1)

5 Fazit und Ausblick

Die verwendeten Systeme zur Beobachtung der Verdeckbewegung und zur Verhinderung einer Verletzung einer Person im Falle einer Störung, nämlich des Einklemmschutzes, erfahren eine Entwicklung durch die weitere Bereitstellung und schnelle Verarbeitung von Informationen. Die fortschreitende Miniaturisierung von Elektronik führt dazu, dass immer mehr Sensoren zur Generierung unterschiedlichster Informationen dazu genutzt werden, den Fahrer beziehungsweise die Fahrerin zu warnen und zu unterstützen. Aufgrund von weiteren im Fahrzeug befindlichen Schutzsystemen, wie Insassen-Erkennungssystemen, Aufprallschutz, Spurhaltesystemen und Ähnliches, können die einzelnen Steuersysteme in Zukunft miteinander gekoppelt und Informationen ausgetauscht werden [3]. So kann beispielweise der Einklemmschutz für das Verdeck mit einem Regen- oder Temperatursensor zusätzlich verbunden sein und bei einsetzendem Regen oder starker Sonneneinstrahlung das Verdeck entsprechend öffnen oder schließen. Bei Sonnendächern sind solche Lösungen schon umgesetzt.

Die Unterbringungsmöglichkeiten von Messapparaturen mit kapazitiven Sensoren zur Erkennung eines Eingriffs in den Bewegungsraum eines Cabrioletverdecks sind inzwischen weitgehend ausgereizt. Die heutige Tendenz geht in Richtung der elektronischen Feldüberwachung, was auch den Anforderungen der Fahrzeuginsassen an die Ergonomie und den Komfort entgegenkommt. Ohne Abstriche an die Sicherheitsfunktion werden Messapparaturen und Steuerungen miteinander gekoppelt und zentral gesteuert, was einen direkten Einfluss auf eine schnellere und präzisere Ansteuerung der verfügbaren Hilfssysteme im Fahrzeug hat.

Nicht-Patentliteratur

[1] Universal-Lexikon: Messgrößenaufnehmer
URL: **http://universal_lexikon.deacademic.com/272517/Messgr%C3%B6%C3%9Fenaufnehmer** [recherchiert am 14.07.2017]

[2] kfz-tech.de, Einklemmschutz, 1. Fensterheber, 2. Klappdach
URL: **http://www.kfz-tech.de/Biblio/Komfort/Einklemmschutz.htm** [recherchiert am 03.07.2017]

[3] Sensorik zur Unfalldetektierung, Seite 243–285, Springer Link
URL: **https://rd.springer.com/content/pdf/10.1007%2F978-3-8348-9042-9_5.pdf** [recherchiert am 03.07.2017]

Fassungen optischer Elemente in der Photolithographie

Roland Deninger, Patentabteilung 1.51

Die Herstellung integrierter Schaltkreise mit einer inzwischen bis in den einstelligen Nanometerbereich immer weiter gesteigerten Auflösung der Strukturen bietet ein weites Feld für Erfinderaktivitäten. Eine wichtige Methode beim Herstellungsprozess ist die Photolithographie und ein wichtiges Detail einer Lithographieanlage sind Projektionsobjektive, in denen optische Elemente gefasst beziehungsweise optische Elemente zu einem Objektivgehäuse verbunden sind. Die Größen- und Gewichtsverhältnisse der optischen Elemente sowie die herrschenden Betriebstemperaturen in einem Projektionsobjektiv sind dabei zu berücksichtigen. Die Lagerung und Kühlung der optischen Elemente sowie die Wärmeausdehnung und Wärmeleitung der Fassung sind im Hinblick auf konstante Abbildungsverhältnisse besonders in Betracht zu ziehen.

1 Einleitung

Integrierte Schaltkreise sind heute unverzichtbarer Bestandteil elektrischer Geräte. Der Trend geht in Richtung wachsender Integration und Miniaturisierung. Die Herstellung integrierter Schaltkreise erfolgt in der Regel auf der Basis einer homogen dotierten Siliziumscheibe (Wafer) mittels Lithographie. Damit lässt sich eine Struktur, das heißt eine Entwurfsebene der integrierten Schaltung, wie folgt erzeugen: Auf der Siliziumscheibe wird zuerst eine Metall- oder eine Oxidschicht erzeugt und darüber ein lichtempfindlicher Lack aufgetragen. Der Fotolack wird anschließend mit einem Muster belichtet, das der Struktur der Entwurfsebene der integrierten Schaltung entspricht. Abhängig von der verwendeten Technik wird danach entweder der belichtete Teil des Fotolacks (Positivtechnik) oder der unbelichtete Teil des Fotolacks (Negativtechnik) durch eine Entwicklersubstanz und die darunter liegende Schicht durch einen Ätzprozess entfernt. Zum Abschluss wird dann der restliche Fotolack entfernt. Über die verbliebene Struktur lassen sich auf ähnliche Weise neue Schichten beziehungsweise Strukturen aufbringen.

2 Projektionsbelichtung

Zur Belichtung des Fotolacks auf dem Wafer verwendet man heute in der Regel eine Projektionsbelichtungsanlage. Dabei wird das Muster aus Strukturen der Entwurfsebene der integrierten Schaltung, das auf einer Maske oder einem Retikel erzeugt ist, ähnlich einem Dia in der Fotografie beleuchtet und mit einem Projektionsobjektiv auf eine Projektionsfläche in Form des Wafers abgebildet. Wesentlicher Unterschied zu einem Diaprojektor ist, dass das Projektionsobjektiv die harte Schwarz-Weiß-Struktur des Retikels verkleinernd abbildet. Der Verkleinerungsfaktor liegt zwischen 4:1 und 10:1 [1]. Die Auflösung des Projektionsbelichtungsverfahrens wird durch die Wellenlänge des Lichts, den Kohärenzgrad des Lichts und die numerische Apertur des Projektionsobjektivs bestimmt. Die Auflösung und die Tiefenschärfe der Abbildung sind beide proportional zur Wellenlänge des Lichts sowie indirekt proportional zur numerischen Apertur beziehungsweise zum Quadrat der numerischen Apertur und setzen dem Bestreben nach immer kleineren Strukturen und höherer Integration Grenzen.

Übliche Lithographieanlagen arbeiten bei einer Wellenlänge zwischen 248 nm und 193 nm. Um höhere Auflösungen zu erzielen, wird Strahlung bis hin zur Röntgenstrahlung verwendet. Für Licht der Wellenlänge 13,5 nm oder 6 nm lassen sich zum Beispiel Strahlungsquellen und Optiken für lithographische Zwecke herstellen (DE 10 2015 220 147 A1). Die Auflösung beträgt bei einer verwendeten Wellenlänge des Lichts von λ = 248 nm circa 250 nm bei einer Tiefenschärfe von ±1 µm [1]. Mit einem speziellen Design der Optik zur Korrektur von Linsenfehlern lässt sich die Auflösung bis 180 nm (DE 198 55 108 A1) und mit einer Immersionsoptik bis 67 nm (DE 10 2005 024 682 A1) weiter steigern. Die Firma Zeiss gibt auf ihrer Internetseite aktuell (Dezember 2016) Auflösungen für ein bei 248 nm Wellenlänge arbeitendes Lithographiesystem zwischen 110 nm und 90 nm (Starlith 860) beziehungsweise 80 nm (Starlith 1000) an [2]. Liegt die Wellenlänge des Lichts im Bereich der 6nm, sind Auflösungen bis unter 9 nm erreichbar [3]. Aufgrund der Lichtabsorptionseigenschaften der verwendeten Materialien werden unter Vakuumbedingungen mit sinkender Wellenlänge zunehmend Spiegel statt (Quarz-) Linsen eingesetzt (siehe zum Beispiel DE 10 2015 220 147 A1 und DE 10 2012 212 503 A1).

Ein übliches Projektionsobjektiv hat beispielsweise zwanzig Linsen (DE 10 2008 026 979 B3). Die Masse einer Linse liegt zwischen 1 und 10 kg (DE 10 2004 014 641 A1), so dass sich die Masse eines Projektionsobjektivs in der Größenordnung von einigen Hundert kg (DE 10 2008 026 979 B3) und eine axiale Länge von 1 m (DE 10 2008 026 979 B3) ergibt. Spiegelprojektionsobjektive liegen in ihren Dimensionen darüber, wobei beispielsweise ein Spiegel teilweise größer als 2 m im Durchmesser ist (DE 10 2015 209 173 A1).

Die Auflösung kleinster Strukturen bis unter 9 nm [3], die im Vergleich dazu sehr großen und schweren Projektionsobjektive (DE 10 2008 026 979 B3, DE 10 2004 014 641 A1, DE 10 2015 209 173 A1) sowie der Energieeintrag durch Absorption von Licht der eingestrahlten Betriebswellenlänge ergeben allein schon für die Projektionsobjektive Herausforderungen und Probleme. Seit vielen Jahren experimentieren Erfinder an den Halterungen und Fassungen der optischen Elemente. Im Folgenden werden hauptsächlich nur die beim Deutschen Patent- und Markenamt angemeldeten und in den Jahren 2013 bis 2016 veröffentlichten Anmeldungen betrachtet.

2.1 Aufbau beziehungsweise Zusammenbau eines Projektionsobjektivs

Eine Lithographieanlage wird beim Hersteller aufgebaut. Die optischen Elemente werden positioniert, zueinander ausgerichtet, wenn notwendig nachbearbeitet und fixiert. Wird eine Lithographieanlage ausgeliefert, muss sie aufgrund ihrer Abmessungen und Masse in ihre Einzelteile zerlegt und am Einsatzort wieder aufgebaut werden. Die Positionierung und Ausrichtung der optischen Elemente muss dann wiederholt werden.

Die DE 10 2015 209 173 A1 greift die aus dem Stand der Technik gemäß JP 2004-128307 A1 und US 2011/0001945 A1 bekannte Idee auf, mehrere optische Elemente zu transportierbaren Teilobjektiven zusammenzufassen, in denen die optischen Elemente zueinander positioniert, ausgerichtet und fixiert sind. Jedes dieser Teilobjektive wird für sich vermessen, indem Licht, das durch das Teilobjektiv gestrahlt wird, und mit Hilfe eines von drei möglichen Verfahren die optischen Elemente entsprechend den Messwerten positioniert und ausgerichtet werden. Anwendbar sind ein deflektometrisches Messverfahren, ein Verfahren zur Wellenfrontmessung oder ein Verfahren zur Wellenfrontmessung unter Zuhilfenahme eines computergenerierten Hologramms. Die einzelnen vermessenen Teilobjektive werden zur Herstellung des Projektionsobjektivs zusammengefügt. Der Vorteil:Die Schnittstelle zwischen zwei Teilobjektiven kann ausschließlich nach praktischen oder geometrischen Gesichtspunkten festgelegt werden.

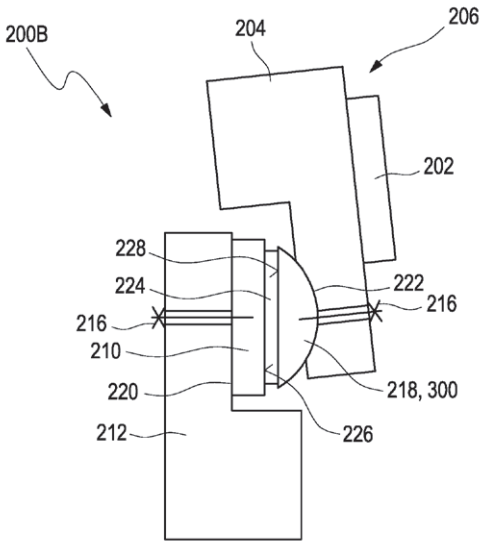
Beim deflektometrischen Messverfahren fällt ein schmalbandiges Lichtbündel auf eine Maske, die vor der Eingangsseite des Teilobjektivs angeordnet ist. Auf der Ausgangsseite des Teilobjektivs befindet sich eine Mattscheibe, auf die das Bild der Maske – in der Regel ein Punktmuster – durch das Teilobjektiv abgebildet wird. Die Istpositionen der Lichtpunkte auf der Matt-

scheibe werden mit einem ortsauflösenden Sensor einer Mess- und Auswerteeinrichtung ermittelt und mit der Sollposition eines Referenzlichtpunkts verglichen. Aus den Abweichungen ergibt sich, welche optischen Elemente wie justiert werden müssen.

Bei der Wellenfrontmessung befindet sich im Unterschied zum deflektometrischen Messverfahren hinter dem Ausgang des Teilobjektivs ein Mikrolinsenarray. Jede Linse erzeugt ein Bild des Punktmusters, das entsprechend der Neigung der Wellenfront des einfallenden Lichts von seiner nominellen Position verschoben ist. Daraus ergibt sich wiederum, welche optischen Elemente wie justiert werden müssen. In einem Ausführungsbeispiel der DE 10 2015 209 173 A1 ist angegeben, dass das Mikrolinsenarray die Wirkung des zweiten Teilobjektivs nachbildet. Bei sehr kurzwelligem Licht wird das Mikrolinsenarray durch ein Lochblendenraster ersetzt und vom Ausgang des Teilobjektivs gesehen vor dem Lochblendenraster ein computergeneriertes Hologramm angeordnet, das die Lichtstrahlen parallelisiert. Die Mess- und Auswerteeinrichtung ermittelt aus den Abweichungen der Lichtpunkte von Lichtpunkten eines Referenzlichtpunktmusters den Justagebedarf der optischen Elemente des Teilobjektivs.

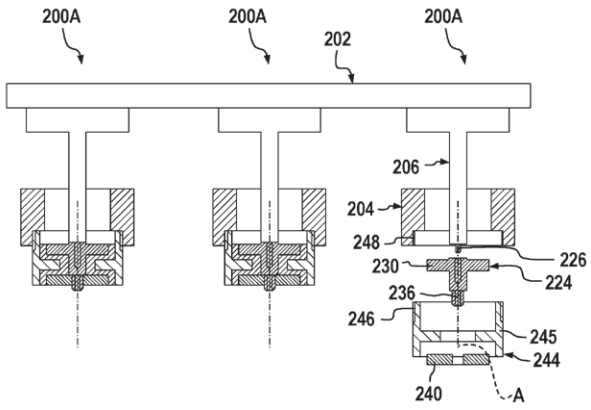
Der Gedanke, zur Verbindung von Teilen eines Projektionsobjektivs entsprechende Schnittstellen vorzusehen, findet sich auch in den Schriften DE 10 2014 225 199 A1 und DE 10 2015 220 147 A1. Vor dem Hintergrund optische Elemente in einem Projektionsobjektiv spannungs- und deformationsfrei lösbar zu befestigen, schlägt die DE 10 2014 225 199 A1 (siehe Figur 1) vor, an der Halterung 204 des optischen Elementes 202 und an der Tragstruktur 212 – das ist das Gehäuse des Projektionsobjektivs – jeweils ein Schnittstellenelement lösbar zu befestigen (siehe Bezugszeichen 216). Diese lassen sich vor dem Befestigen ausrichten, so dass die Schnittstellenelemente 210 und 218 mit zwei zueinander parallelen Fügeflächen zur gegenseitigen stoffschlüssigen Verbindung einander gegenüberstehen.

Die DE 10 2015 220 147 A1 sieht ebenfalls vor, an jedem der beiden zu verbindenden Teile jeweils ein Adapterelement lösbar zu befestigen, und im Anschluss daran,



Figur 1: Mechanische Schnittstellenelemente mit zueinander ausgerichteten Fügeflächen aus DE 10 2014 225 199 A1

die beiden Adapterelemente stoffschlüssig miteinander zu verbinden. Entscheidend ist hier, dass man die Verbindung zwischen einem optischen Element und einem Aktor lösen kann, um den betreffenden Aktor auszutauschen, ohne dabei Verbindungen des optischen Elements zu anderen Aktoren antasten zu müssen.



Figur 2: Verbindung eines Aktors an einem optischen Element über Adapter (aus DE 10 2015 220 147 A1)

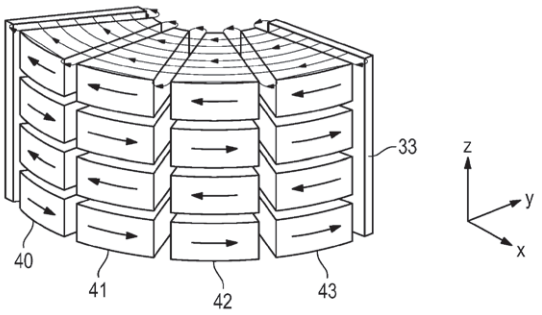
2.2 Lagerung optischer Elemente im Objektiv

Beim Einbau eines optischen Elements oder Moduls in ein Projektionsobjektiv besteht die Gefahr, dass durch die Verbindung zwischen dem optischen Element und der Stützstruktur (Objektivgehäuse) ungewollt Spannungen und Deformationen in das optische Element

eingetragen werden. Um die eingeleiteten Kräfte und damit die Abweichung des optischen Elements von der Sollgeometrie zu begrenzen, wird in der DE 10 2012 206 545 A1 das optische Element über mehrere langgestreckte, in Richtung der Schwerkraft verlaufende Verbindungselemente verbunden. Die Verbindungselemente haben einen elastischen Abschnitt, wobei sich durch die gewählte Länge der Verbindungselemente und die Elastizität im elastischen Abschnitt die auf das optische Element wirkenden, resultierenden Deformationskräfte minimieren lassen.

In der DE 10 2012 201 029 A1 wird ein optisches Element durch eine magnetorheologische oder elektrorheologische Flüssigkeit hydraulisch in eine Sollposition verschoben. Legt man bei einer magnetorheologischen Flüssigkeit ein magnetisches Feld oder bei einer elektrorheologischen Flüssigkeit ein elektrisches Feld an, ändert sich dadurch die Viskosität der magneto- oder elektrorheologischen Flüssigkeit, wodurch das optische Element in der aktuellen Position fixiert wird.

Optische Elemente werden weich gelagert, das heißt sie haben eine gewisse Beweglichkeit, um beispielsweise der Übertragung von Schwingungen einen Widerstand entgegenzusetzen. Resonante Schwingungen oder andere unerwartete externe Einflüsse erfordern jedoch die Notwendigkeit, die Beweglichkeit zu begrenzen, um Kollisionen des optischen Elements mit der Tragstruktur (Gehäuse) zu vermeiden. Die DE 10 2015 201 249 A1 löst dieses Problem durch einen „weichen" Anschlag in der Form, dass am optischen Element und an der Tragstruktur jeweils ein Permanentmagnet zur gegenseitigen Abstoßung angeordnet ist. Die Abstoßungskraft der Magnete ist indirekt proportional zum Quadrat ihres Abstands. Die Magnete können wiederum federnd beziehungsweise elastisch befestigt sein. Ein zusätzlicher elastischer, mechanischer Anschlag an der Tragstruktur kann ebenfalls vorgesehen sein.



Figur 3: Wirbelstrombremse (aus DE 10 2012 202 553 A1)

Die Dämpfung unerwünschter Schwingungen gibt immer wieder Anlass zu Erfinderaktivitäten, die anhand der folgenden vier Beispiele dargestellt werden:

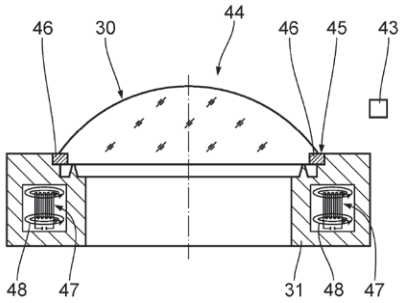
Beispiel 1:

Ausgangspunkt der DE 10 2012 202 553 A1 ist eine Wirbelstrombremse als Dämpfungseinrichtung. Eine Wirbelstrombremse beruht auf dem Prinzip, dass sich in einem Leiter, der entlang eines inhomogenen Magnetfeldes bewegt wird, Wirbelströme ausbilden. Die Magnetfelder dieser Ströme sind dem äußeren Feld entgegengesetzt, was zu einer Abbremsung des Leiters führt. Hierbei sind, wie in Figur 3 gezeigt, die Magnetstapel 40-43 bogen- oder kreisförmig angeordnet. Mit der in der Abbildung eingezeichneten magnetischen Polarisation der Permanentmagnete der Magnetstapel 40-43 in Verbindung mit den Weicheisenplatten 33 an den Seiten, die der Magnetfeldführung dienen, wird erreicht, dass sich entlang der drei Raumkoordinaten x, y, z, jeweils aufgrund der wechselnden magnetischen Polarisation und der Abstände der Stapel zueinander, ein inhomogenes Magnetfeld ausbildet. Ordnet man zwischen benachbarten Magnetstapeln sowie auch zwischen einem Magnetstapel und einer Weicheisenplatte elektrische Leiter an, die mit einem optischen Element verbunden sind, so ergibt sich eine Wirbelstrombremse, die in Richtung der x-, y- und z-Koordinate wirkt.

Beispiel 2:

Wie in Figur 4 dargestellt sind mehrere Schwingungsdämpfer 46 zwischen einer optischen Komponente 30 und ihrer Halterung 31 angeordnet. Die Schwingungsdämpfer bestehen aus einem magnetorheologischen Elastomer oder Fluid 45, dessen Elastizität (Federstärke) sich über den Stromfluss eines Elektromagneten 47 einstellen lässt. Somit lässt sich die Dämpfungswirkung

gezielt auf die Eigenfrequenzen der optischen Komponente abstimmen.



Figur 4: Aufbau einer Dämfungseinrichtung (aus DE 10 2015 223 980 A1)

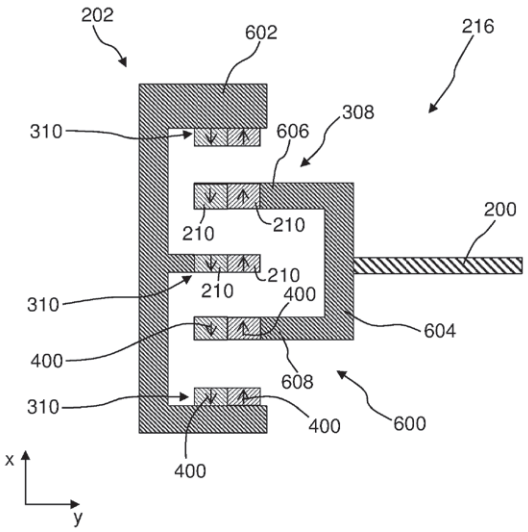
Beispiel 3:

Bei einem Spiegel, dessen Lage durch Aktoren geregelt wird, ist ein Schwingungsdämpfer zur Dämpfung von Eigenschwingungen des Spiegels erforderlich. In einem Ausführungsbeispiel der DE 10 2014 225 682 A1 besteht der Schwingungsdämpfer aus einer Schicht aus viskoelastischem Material, das auf der Rückseite des Spiegels angebracht und mit einer steifen Platte abgedeckt ist. Beim Schwingen des Spiegels erzwingt die steife Platte eine Scherung des viskoelastischen Materials und erzielt dadurch eine Dämpfung der Biege- und Torsionsmoden des Spiegels. In einem anderen Ausführungsbeispiel wird ein ähnlicher Aufbau aus viskoelastischem Material verwendet, jedoch ist die schwingbare Masse mit der viskoelastischen Schicht nur mit der Außenumfangsfläche einer Buchse fest verbunden. Die Buchse ist am Betätigungselement des Aktors und mit einer ihrer Stirnflächen am Spiegel befestigt und somit ist der Schwingungsdämpfer an der Verbindung von Aktor und Spiegel angeordnet.

Beispiel 4:

In der DE 10 2015 224 743 A1 wird eine Linse an ihrem Linsenrand durch Aufnahmefüßchen oder an einem Außenflansch durch ein Fixierelement gehalten. Zwischen den Aufnahmefüßchen und dem Linsenrand beziehungsweise zwischen Außenflansch und Fixierelement befinden sich Dämpfungselemente aus einer Formgedächtnislegierung. Formgedächtnislegierungen sind beispielsweise NiTi-, NiTiCu- oder NiTiPd-Legierungen und zeigen ein pseudoelastisches Verhalten. Bei Belastung ändert sich das Kristallgefüge der Formgedächtnislegierung, ausgehend von einem austhenitischen, kubisch-flächenzentrierten Gefüge in ein martensitisches, tetragonal verzerrtes Gefüge. Die Änderung ist reversibel und pseudo-elastisch, das heißt die Energie, die das Material durch die mechanische Belastung aufgenommen hat, wird mit der Überführung in die ursprüngliche, austhenitische Kristallstruktur wieder frei. Durch die Wahl der Zusammensetzung der Formgedächtnislegierung können abhängig von den Umgebungsbedingungen die Dämpfungseigenschaften des Dämpfungselements eingestellt werden.

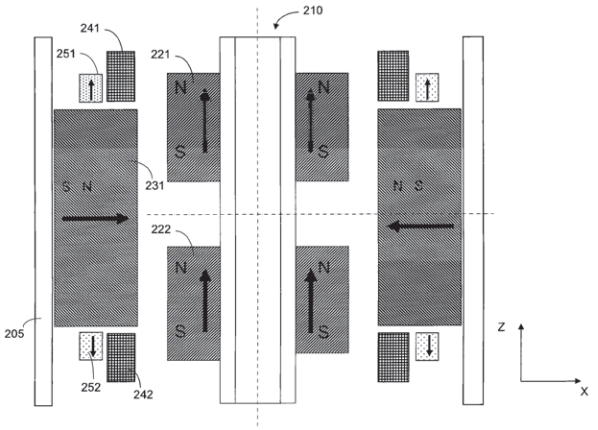
Die Lagerung optischer Elemente in einem Projektionsobjektiv kann auch unter Beteiligung magnetischer Kräfte erfolgen. So beschreibt beispielsweise die DE 10 2015 220 498 A1 die berührungslose, magnetische Lagerung einer Blende 200 (siehe Figur 5). Die an den Enden 606 und 608 der gabelförmigen Halterung 604 der Blende 200 angebrachten Permanentmagnete 210 und die auf dem Gehäuse 602 angeordneten Permanentmagneten 310 ziehen sich aufgrund der in der Figur 5 durch Pfeile gekennzeichnete magnetische Polarisation gegenseitig an. Zur Stabilisierung eines labilen Gleichgewichts wird das Magnetfeld eines stromgeregelten Elektromagneten dem Magnetfeld der Permanentmagnete überlagert, wobei sich im la-



Figur 5: Magnetische Lagerung (aus DE 10 2015 220 498 A1)

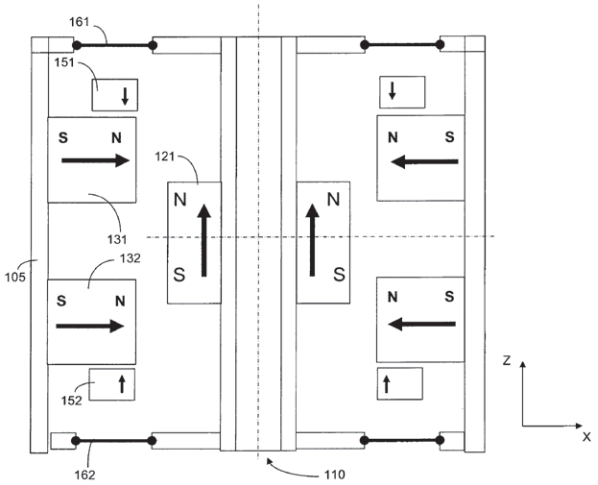
bilen Gleichgewicht die Stromstärke null im Elektromagnet ergibt. Die in radialer Richtung (in Richtung Blende 200) wechselnde magnetische Polarisation der Permanentmagnete erfolgt aus Gründen der radialen Steifigkeit der Anordnung.

Magnetlager dienen in Lithographieanlagen dazu, die Gewichtskraft einer optischen Komponente an das Außengehäuse der Anlage abzuleiten, und werden als Gewichtskraftkompensator bezeichnet. Ein Problem ergibt sich aus der Wärmeproduktion einer Lithographieanlage, da unter Wärmebelastung Permanentmagnete altern und in ihrer Wirkung nachlassen. Bei einem auf Research Disclosure 557018 und DE 10 2008 054 550 A1 zurückgehenden Gewichtskraftkompensator löst die DE 10 2013 204 317 A1 dieses Problem dadurch, dass für die in Figur 6 zu sehenden Permanentmagnete 221, 222 und 231 des aus Research Disclosure 557018 und DE 10 2008 054 550 A1 bekannten Gewichtskraftkompensators $Sm_{22}Co_{17}$ als Material verwendet und die Anordnung durch die Permanentmagnete 251 und 252 aus $Nd_2F_{14}B$ ergänzt wird. Die Magnete 251 und 252 setzen die Tragfähigkeit des Trageteils 210 des Gewichtskraftkompensators herab. Die den Gewichtskraftkompensator bildenden Permanentmagnete 221, 222 und 231 und die Tragfähigkeit herabsetzenden Permanentmagnete 251 und 252 altern unterschiedlich schnell, so dass sich der Gesamtalterungseffekt, das heißt die unter Wärmebelastung erfolgende Änderung der resultierenden Tragekraft, minimieren lässt.

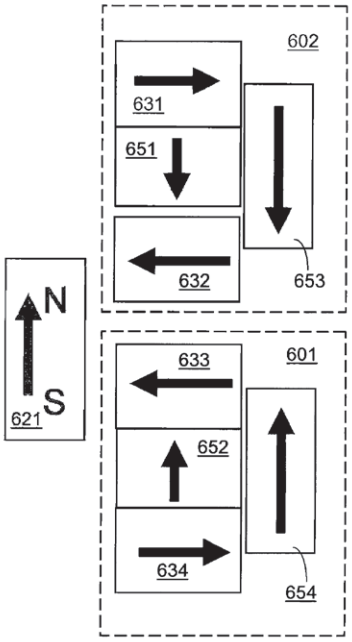


Figur 6: Gewichtskraftkompensator (aus DE 10 2013 204 317 A1)

Darüber hinaus optimiert die DE 10 2013 209 028 A1 den in Figur 6 durch die Magnete 221, 222 und 231 gebildeten Gewichtskraftkompensator hinsichtlich der zu tragenden Last, indem wie in Figur 7 am Gehäuseteil zwei Permanentmagnete 131 und 132 und am zu tragenden Teil nur ein Magnet 121 mit der aus Figur 7 ersichtlichen Anordnung vorgesehen ist. Die beiden, an der Tragestruktur vorgesehenen Magnete 151 und 152 dienen hierbei im Gegensatz zu DE 10 2013 204 317 A1 zu einer Verstärkung der Tragekraft.



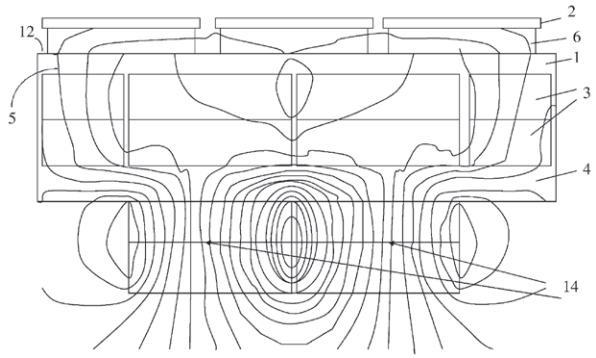
Figur 7: Gewichtskraftkompensator (aus DE 10 2013 209 028 A1)



Figur 8: Gewichtskraftkompensator (aus DE 10 2013 209 028 A1)

Die Abhängigkeit der Tragekraft von Auslenkungen in Richtung des zu tragenden Teils 110 lässt sich durch die in Figur 8 gezeigte Anordnung für geringe Auslenkungen (Größenordnung 2 mm) nahezu konstant halten. Hierbei entspricht der Permanentmagnet 621 dem Permanentmagnet 121 aus Figur 7 und die magnetische Anordnung 602 bestehend aus den Permanentmagneten 631, 651 632 und 653 dem Permanentmagnet 131 aus Figur 7. Entsprechendes gilt für die magnetische Anordnung 601 und den Permanentmagneten 132.

Ein Spiegel lässt sich auch mittels magnetischer Kräfte an einem stationären Grundkörper fixieren. Dabei ist, wie in Figur 9 zu sehen, ein Spiegel 2 mit einer ferromagnetischen Schicht 6 versehen, die zur Fixierung des Spiegels 2 von einem Magneten 3 in der Halterung 1 angezogen wird. Wird das Magnetfeld durch einen Hilfsmagneten 14 hinreichend geschwächt, lässt sich der Spiegel zum Austausch aus der Halterung 1 entfernen.



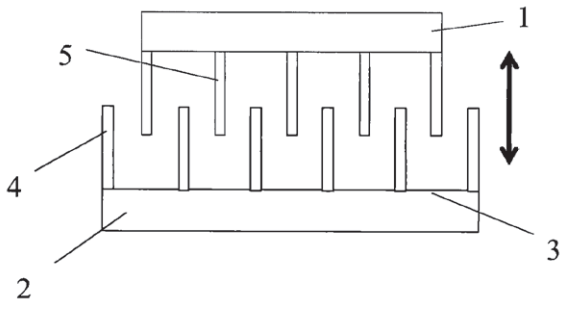
Figur 9: Halterung mittels magnetischer Kräfte (aus DE 10 2013 215 203 A1)

2.3 Kühlung

Die mit fallender Wellenlänge der Belichtungsstrahlung zunehmende Lichtabsorption der in einem Projektionsobjektiv verwendeten Materialien sowie auch die Abwärme von Aktoren führen zu einer Wärmeausdehnung optischer Elemente beziehungsweise deren Halterungen. Um die sich daraus ergebenden Änderungen der Abbildungseigenschaften des Projektionsobjektivs möglichst klein zu halten, ist in der DE 10 2013 215 203 A1 die magnetische Halterung des Spiegels gekühlt. Halterung und Spiegel sind in Bereiche direkter Wärmeleitung mit Wärmeleitschichten an der Montagefläche des Spiegels und der Halterung sowie in Bereiche zur magnetischen Halterung unterteilt. Die ferromagnetische Schicht auf der Rückseite des Spiegels und die ferromagnetischen Teile der Halterung bestehen aus Fe-Ni oder Fe-Ni-Co Legierungen, deren geringe Temperaturausdehnungskoeffizienten in der Größenordnung 10^{-6} K^{-1} liegen.

In der DE 10 2014 224 735 A1 ist die Wärmeableitung einer Linse zu deren gekühlter Fassung realisiert. Hierzu ist im optisch nicht genutzten Bereich der Linse eine 100 bis 500 µm dicke Schicht aus mono- oder polykristallinem Diamant mit einer Wärmeleitfähigkeit in der Größenordnung von 1000 $Wm^{-1}K^{-1}$ aufgebracht, die gegebenenfalls wiederum mit einer Wärmestrahlung absorbierenden Schicht bedeckt ist.

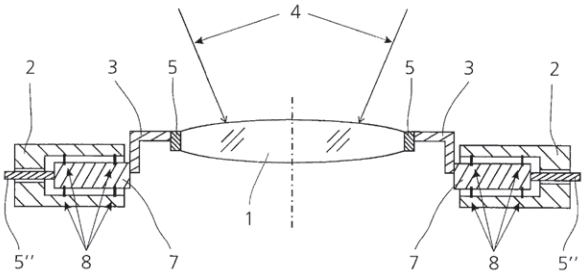
Eine berührungslose und daher die Lagerung und Justage eines optischen Elementes mechanisch nicht beeinflussende Lösung geht aus der DE 10 2013 201 803 A1 hervor. Wie in Figur 10 zu sehen ist, stehen sich Spiegel 1 und eine Kühleinheit 2 mit veränderbarem Abstand gegenüber. Die Kühlung erfolgt über Wärmestrahlung. Die Kühlrippen 4 und 5 dienen zur Vergrößerung der Oberfläche, die am Wärmeaustausch beteiligt ist. In der DE 10 2013 201 805 A1 wird eine solche Kühleinheit in den Belichtungspausen der Lithographieanlage zur effizienten Kühlung bis auf Abstand Null verfahren, so dass sich die einander zugewandten und aneinander angepassten Oberflächen berühren. Eine wärmeleitende Beschichtung auf der gekühlten Rückseite des Spiegels (DE 10 2013 201 805 A1) oder der Heizelemente (DE 10 2013 201 803 A1) bewirken eine gleichmäßige Temperaturverteilung auf dem Spiegel.



Figur 10: Kühlung eines berührungslos gelagerten Spiegels (aus DE 10 2013 201 803 A1)

Optische Elemente in einem Projektionsobjektiv sind zur Optimierung der Abbildung verstellbar. Die Wärmeleitung und die Wärmeausdehnung der an der Verstellung des optischen Elementes beteiligten Teile der Fassung wirken sich in besonderem Maße auf die Abbildungseigenschaften des Projektionsobjektivs aus. Materialien, die sich aufgrund ihres Temperaturausdehnungskoeffizienten besonders gut für Fassungen optischer Elemente eignen würden, sind hinsichtlich ihrer Wärmeleitfähigkeit im Hinblick auf die abzuleitende Wärme nicht geeignet die Anforderungen zu erfüllen und umgekehrt.

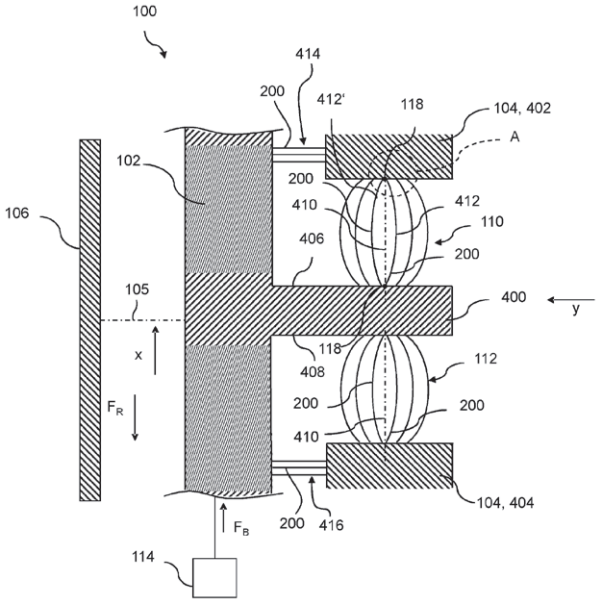
Die DE 10 2013 203 032 A1 löst – wie in Figur 11 zu sehen – dieses Dilemma beispielsweise dadurch, dass eine Linse 1 über ein Wärmeleitelement oder Wärmeleitpaste und einem hinreichend gut wärmeleitenden Befestigungselement 3 aus Cu, Al, Ag oder Au mit einem Zwischenring 7 verbunden ist, über den die Wärme zu einem Wärmeleitstab abgeleitet wird. Der Zwischenring 7 ist mit der Fassung über eine Entkopplung 8 verbunden, die die unterschiedliche Wärmeausdehnung auffängt.



Figur 11: Wärmeableitung über Wärmeleitelemente (aus DE 10 2013 203 032 A1)

Die DE 10 2013 224 292 A1 und die DE 10 2013 215 169 A1 gehen beide von dem Ansatz aus, relativ zueinander verstellbare Teile durch Festkörpergelenke zu verbinden, die aus einer Vielzahl gut wärmeleitender, folienartiger Federelemente aus Stahl, Silizium, Kupfer, Silber oder Gold gebildet sind. Trotz des geringen Querschnitts eines solchen Folienelements ergibt sich aufgrund der Vielzahl solcher Folienelemente eine hinreichend gute Wärmeleitung über die mechanische Verbindung der relativ zueinander verstellbaren Teile.

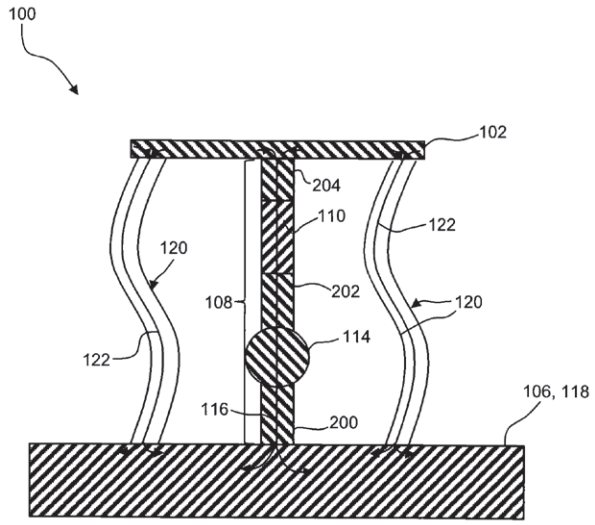
Wie in Figur 12 zu sehen ist, heben sich zwei solche aus folienartigen Federelementen gebildete Festkörpergelenke 110 und 112 in ihrer Federwirkung in Richtung x der Verstellrichtung des optischen Elementes (nahezu) auf und begrenzen dadurch den zur Verstellung beziehungsweise Justage erforderlichen Kraftaufwand.



Figur 12: Verstellbare Verbindung mit Wärmeableitung (aus DE 10 2013 224 292 A1)

In der DE 10 2013 215 169 A1 ist die Verbindung zwischen bewegbaren und festen Teilen der Fassung aufgeteilt in eine hauptsächlich thermische, biegeweiche Verbindung, die aus oben genannten folienartigen Federelementen besteht und eine hauptsächlich mechanische Verbindung für die Halterungs- beziehungsweise Tragefunktion der Fassung. In Figur 13 sind die thermische Verbindung 120 bildenden Federgelenke 122 und die mechanische Verbindung bildenden Tragabschnitte 200, 202 und 204 dargestellt. Die Wärmeleitung der Verbindung ist begrenzt, indem sich zwischen dem Justagegelenk 114 und optischem Element 102 ein thermisches Isolationselement 110 befindet.

Die DE 10 2014 202 737 A1 schlägt ebenfalls den Weg ein, für die Wärmeleitung und die Stützfunktion getrennte Pfade vorzusehen. Das Verbindungs- oder Lagerelement zwischen optischem Element und festem Gehäuseteil ist eine Kombination aus einem Wärmeleitelement und einem Stützelement. Das Wärmeleitelement be-



Figur 13: Aufteilung einer verstellbaren Verbindung in einen mechanischen Teil und in einen wärmeleitenden Teil (aus DE 10 2013 215 169 A1)

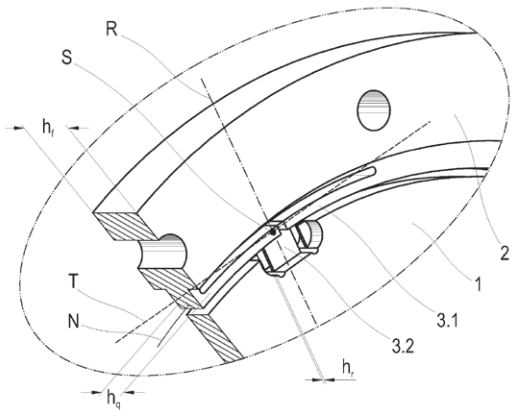
steht aus einer FeNi- oder FeNiCo-Legierung, längs dessen ein Stützelement aus einer Keramik mit einem möglichst geringen Temperaturausdehnungskoeffizienten als mechanische Verstärkung in Form einer u-förmigen Klammer angeordnet ist. Das Wärmeleitelement hat Biegestellen, um aufgrund seines im Vergleich zum Stützelement großen Temperaturausdehnungskoeffizienten bei Wärmebelastung aus dem Verbund seitlich ausweichen zu können.

2.4 Temperaturkompensation

Um einen unerwünschten Einfluss der Temperatur auf die Abbildungseigenschaften eines Projektionsobjektivs möglichst gering zu halten, gibt es verschiedene Ansätze, die durch unterschiedliche Temperaturausdehungskoeffizienten des Materials der Fassung und des optischen Elementes hervorgerufenen thermischen Spannungen im optischen Element abzubauen.

In der DE 10 2014 102 715 B3 wird eine spannungsarme Fassung vorgestellt, bei der eine Linse durch zwei verschiedene Arten von Haltearmen gehalten wird. Die erste Art Haltearme stützt das optische Element auf einer Stirnfläche ab und hält es in axialer Richtung, die zweite Art Haltearme sind mit der Umfangsfläche des optischen Elementes verbunden. Durch die Länge, Geometrie und Materialauswahl der Haltearme ergibt sich eine radial elastische und eine axial sowie gegen Verdrehung steife Fassung.

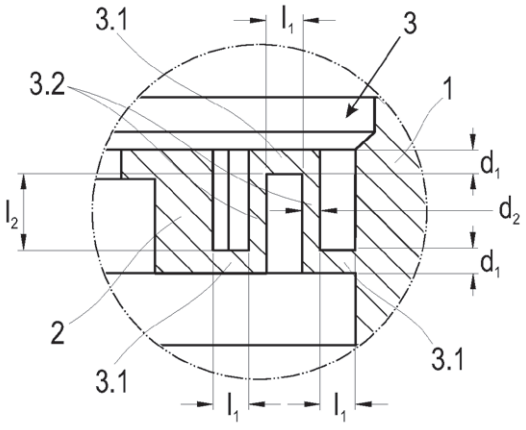
Die DE 10 2015 115 931 B3 beschreibt eine spannungsentkoppelte, aus einem Innenring und einem Außenring bestehende, monolithische (einstückige) Linsenfassung. In der Figur 14 ist eine der drei um 120 Grad entlang des Umfangs vorhandenen Verbindungen zwischen Innenring 2 und Außenring 1 zu sehen. Die Verbindung besteht aus einem Radialsteg 3.2 und bezüglich des auf der Achse R liegenden Symmetriepunktes S symmetrischen Querstegen 3.1. R ist die Längsachse des Radialstegs. Die Querstege sind entlang von R geschlitzt. Die Länge des Querstegschlitzes, die Steghöhe des Radialstegs und gegebenenfalls noch ein Längsschlitz des Radialstegs bestimmen die Dehnungssteifigkeit der Verbindungsstruktur.



Figur 14: Spannungsentkoppelte, monolithische Linsenfassung (aus DE 10 2015 115 931 B3)

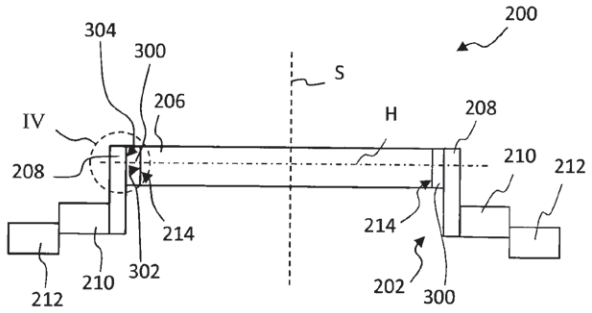
Eine geringe radiale Steifigkeit erlaubt zwar die thermischen Spannungen durch Materialdeformation aufzunehmen, jedoch können die Reaktionskräfte sowie Kräfte von Justageeinrichtungen oder andere Kräfte vom Außenring über den Innenring einer monolithischen Fassung Auswirkungen, speziell Radialkräfte, auf eine Linse haben. Abhilfe schaffen gemäß der DE 10 2015 115 930 B3 ein oder mehrere koaxial angeordnete, an einer oder beiden Stirnflächen des Innenrings befestigte Versteifungsringe, deren radiale Ausdehnung größer als die des Innenringes ist und gegebenenfalls in den optisch nicht genutzten Bereich der Linse ragen kann.

Bei der DE 10 2015 115 929 B3 lassen sich Radial-, Axial- und Torsionssteifigkeit einer Linsenfassung festlegen. Die monolithische Fassung besteht entsprechend der Figur 15 aus einem Außenring 1 und einem Innenring 2, die durch drei um 120 Grad versetzt zueinander angeordnete Verbindungsstrukturen 3 verbunden sind. Jede der Verbindungsstrukturen besteht aus einer Kette von beispielsweise fünf ineinander übergehenden Verbindungsstegen 3.1, 3.2, die nacheinander abwechselnd in axialer (3.2) und in radialer (3.1) Richtung verlaufen. Über das Längenverhältnis der radialen Verbindungsstege l_1 zu den axialen Verbindungsstegen l_2 lässt sich das Verhältnis der radialen zur axialen Biegesteifigkeit gestalten. Die radiale und axiale Biegesteifigkeit wird über die Dicken d_1, d_2 der Verbindungsstege bestimmt. Mit den Bedingungen $l_2 > l_1$ und $d_2 < d_1$ erhält man eine Linsenfassung, deren radiale Steifigkeit klein im Vergleich zur axialen Steifigkeit ist.



Figur 15: Gestaltung der Radial-, Axial- und Torsionssteifigkeit (aus DE 10 2015 115 929 B3)

Die unterschiedlichen Temperaturausdehnungskoeffizienten von optischem Element und dem Teil der Fassung, an dem das optische Element durch eine Klebung fixiert ist, können zu einer Belastung der Klebeverbindung führen. Wie aus der Figur 16 ersichtlich, ergibt sich beispielsweise eine solche Belastung der Klebeverbindung, wenn sich bei thermischer Belastung aufgrund der unterschiedlichen Temperaturausdehnungskoeffizienten von optischem Element 206 und Zwischenring 210 die als Federelemente ausgebildeten, zahlreichen Halteelemente 208 verbiegen. Die daraus resultierende Belastung der Klebeverbindung lässt sich durch ein zusätzliches, zwischen optischem Element 206 und Halteelement 208 angeordnetem Verbindungselement 300 reduzieren. Das Verbindungselement 300 besteht aus mehreren Schichten einer Mischung aus einer bindefähigen Metallmatrix (Fe, Ni, Cr, Mn, Si, C, Ti) sowie einem inerten Kornmaterial (Si, Si_3). Ein Metallgehalt, der den Temperaturausdehnungskoeffizienten maßgeblich beeinflusst, ändert sich entlang des Verbindungselements 300 von Schicht zu Schicht, so dass sich der Temperaturausdehnungskoeffizient vom optischen Element 206 entlang des Verbindungselements 300 zum Halteelement 208 hin ändert.



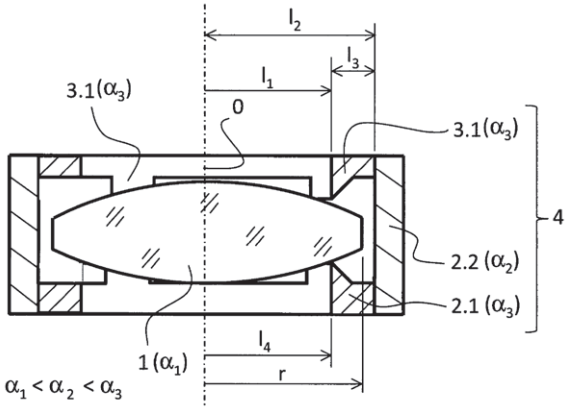
Figur 16: Entlastung der Klebeverbindung (aus DE 10 2014 224 418 A1)

In weiten Teilen der Optik findet man zur Temperaturkompensation den Ansatz zwei Elemente mit unterschiedlichem Temperaturausdehnungskoeffizienten so miteinander zu verbinden, dass der Verbund eine thermische Ausdehnung wie das zu haltende optische Element hat. Diesem Ansatz folgen beispielsweise die DE 10 2013 104 159 A1 und die DE 10 2014 103 068 B3.

In der DE 10 2013 104 159 A1 ergibt sich gemäß Figur 17, dass bei einer Temperaturänderung die Ringschneiden 2.1 und 3.1 auf dem optischen Element 1 nicht wandern, das heißt l_4 konstant bleibt, wenn die Bedingungen

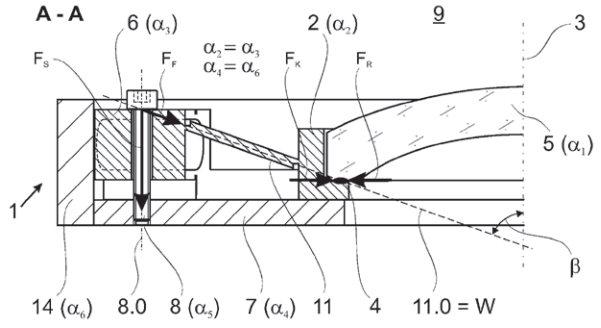
$$\alpha_1 * l_4 = \alpha_2 * l_2 - \alpha_3 * l_3 \text{ und } \alpha_1 < \alpha_2 < \alpha_3$$

erfüllt sind; mit α_1, α_2, α_3 Temperaturausdehnungskoeffizient von optischem Element 1, Ring 2 und Ringschneidesegment 3 mit den in der Figur 17 angegebenen Längen l.



Figur 17: Temperaturkompensation (aus DE 10 2013 104 159 A1)

Mehr Gestaltungsmöglichkeiten einer Temperaturkompensation ergeben sich aus der DE 10 2014 103 068 B3. Wie aus der Figur 18 zu entnehmen ist, besteht die Anordnung aus dem optischen Element 5 mit dem Temperaturausdehnungskoeffizient α_1, dem Fassungsring 2, der über die Koppeln 11 mit gleichmäßig in Umfangsrichtung verteilten ersten Segmentkörpern 6 verbunden ist und eine Einheit mit dem Temperaturausdehnungskoeffizient α_3 bildet, einem ringförmigen Tubus 14 mit α_6 und zweiten Segmentkörpern 7 mit dem Temperaturausdehnungskoeffizient α_4. Erste Segmentkörper 6 sind in axialer Richtung über Dehnungskörper 8 mit dem Temperaturausdehnungskoeffizient α_5 verspannt. Der ringförmige Tubus 14 bildet ein radiales Widerlager, die Segmentkörper 7 ein axiales Widerlager. Bei entsprechender Wahl der Temperaturausdehnungskoeffizienten α_3 bis α_6 und entsprechender Dimensionierung bleibt der Ort der stoffschlüssigen Verbindungsstellen 4 zwischen optischem Element 5 und Fassungsring 2 konstant. Temperaturabhängig axial wirkende Spannkräfte F_S werden mit der Komponente F_F auf den Innenring 2



Figur 18: Temperaturkompensation (aus DE 10 2014 103 068 B3)

übertragen, wovon die axiale Komponente die Axiallagerung des Fassungsringes bewirkt und die radiale Komponente die zur Temperaturkompensation erforderliche Kompensationskraft F_K der Kraft F_R ist, die durch Dehnungsunterschiede zwischen Fassungsring 2 und optischem Element 5 hervorgerufen wird.

Bei einer monolithischen Fassung, die aus einem Fassungsring und einer Vielzahl elastischer Verbindungsarme besteht, die über jeweils ein Festkörpergelenk in den Fassungsring übergehen und mit ihrem freien Ende mit dem optischen Element verbunden sind, kann man gemäß DE 10 2013 114 709 B3 zur Temperaturkompensation einen Kompensationsring vorsehen, wobei folgende Bedingungen erfüllt sein müssen:

$\alpha_{\text{Fassungsring}} > \alpha_{\text{Kompensationsring}} \geq \alpha_{\text{optisches Element}}$
der Kompensationsring umgreift die Verbindungsarme

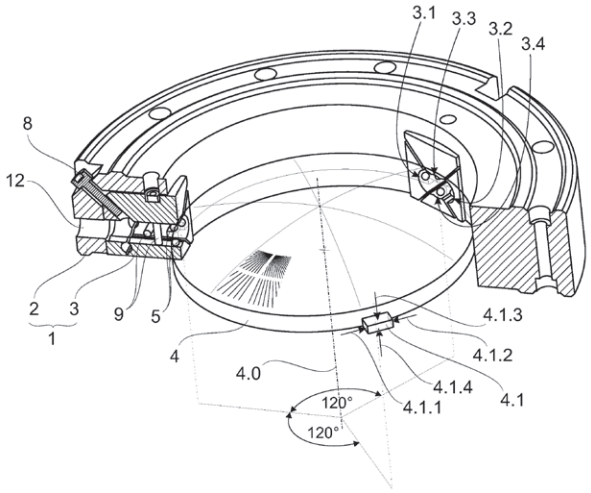
oder

$\alpha_{\text{Fassungsring}} < \alpha_{\text{Kompensationsring}} \leq \alpha_{\text{optisches Element}}$
der Kompensationsring liegt von innen an den Verbindungsarmen

Die Kompensationswirkung ist umso besser je näher der Temperaturausdehnungskoeffizient des Kompensationringes dem der Fassung ist. Die unterschiedliche Ausdehnung von optischem Element und Fassung wird durch eine Deformation der elastischen Verbindungsarme abgefangen.

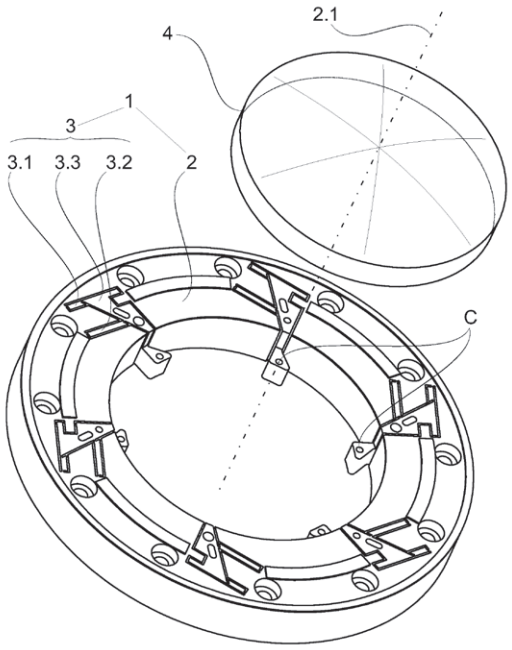
In der DE 10 2013 109 274 B3 wird eine Linse spannungsarm und thermisch stabil gehalten, indem die Linse in einem Fassungsring zentrisch mit ungehinderter radialer Ausdehnungsmöglichkeit ist. Wie in Figur 19 zu sehen ist, befinden sich an drei gleichmäßig verteilten an der Umfangsfläche der Linse befindlichen Stellen Anlageelemente 4.1, die durch Kugellager in jeweils einem Halteblock 3 (3.1 bis 3.4) im Fassungsring 2 gelagert sind. An den vier Seiten 4.1.1 bis 4.1.4, durch Pfeile in der Figur gekennzeichneten Stellen liegt jeweils eine Kugel des jeweiligen Kugellagers am Anlageelement 4.1 an, so dass eine Bewegung der Anlageelemente 4.1 jeweils in radialer Richtung möglich ist, eine Drehbewegung der Linse 4

und eine Bewegung in Richtung der optischen Achse sind dadurch gesperrt ebenso wie eine Bewegung der Linse als Ganzes relativ zum Fassungsring aufgrund der Anordnung von drei Lagerstellen.



Figur 19: Linsenhalterung mit radialer Ausdehnungsmöglichkeit (aus DE 10 2013 109 274 B3)

Eine Temperaturkompensation in Form einer radial nachgiebigen Fassung sind in der DE 10 2013 109 185 B3 und in Weiterentwicklung in der DE 10 2013 110 750 B3 patentiert worden. Durch den aus Figur 20 ersichtlichen Aufbau wird der Dehnungsunterschied zwischen optischem Element 4 (in der Regel Linse) und monolithischer Fassung 1 durch Materialdeformationen innerhalb der mindestens drei um den Umfang des optischen Elementes verteilten, identischen Verbindungseinheiten der Fassung kompensiert.



Figur 20: Nachgiebige Fassung (aus DE 10 2013 109 185 B3)

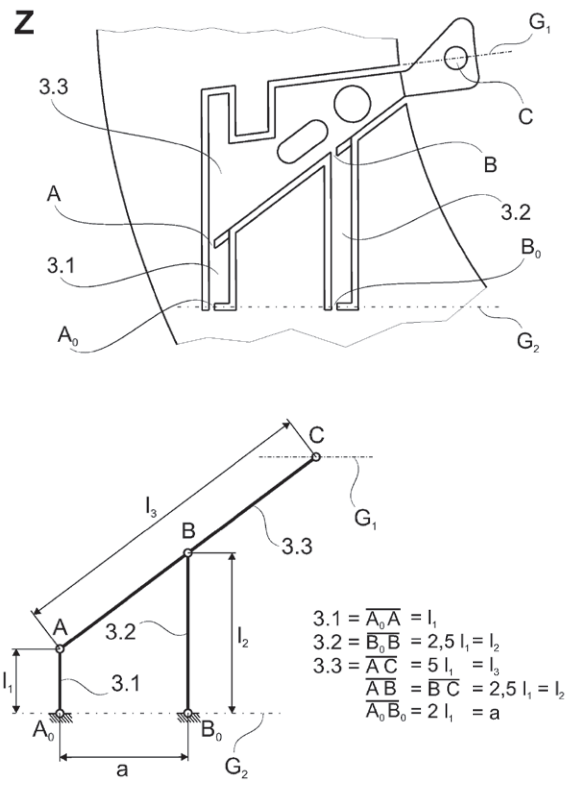
In der Figur 21 ist unten das Getriebeschema einer der mindestens drei in der oben dargestellten identischen Verbindungseinheiten zu sehen. Die Verbindungseinheit 3 ist durch Materialschnitte gebildet. Die Gelenke A, B, A_0, B_0 sind durch Verengungen der Stege 3.1, 3.2 und 3.3 gebildet, die jeweils hinreichend steife Koppeln sind. Soll sich die Lagerungsstelle C des optischen Elementes bei einer Temperaturänderung nur in radialer Richtung bewegen, so dass die Ausgleichskräfte der Verbindungseinheiten sich gegenseitig aufheben und das optische Element kein Drehmoment erfährt, müssen folgende Bedingungen erfüllt sein:

B ist die Mitte zwischen A und C

$l_3 = 5 * l_1$

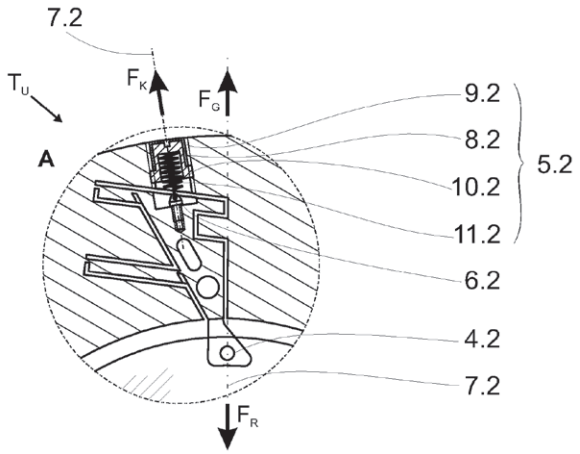
$l_2 = 2{,}5 * l_1$

$a = 2 * l_1$



Figur 21: Verbindungseinheit links mit zugehörigem Getriebeschema rechts der nachgiebigen Fassung (aus DE 10 2013 109 185 B3)

Die auf das optische Element bei Temperaturbelastung wirkenden Reaktionskräfte lassen sich durch das aus einem Detail der Figur 22 ersichtlichen Kompensationselement 5.2 reduzieren. Ein Kompensationselement besteht aus einem Dehnungskörper 8.2 und einem in Richtung seiner Längsachse wirkenden Federelement 11.2. Der Dehnungskörper ist mit dem Fassungsring 1 (siehe Figur 20), die Feder mit der Verbindungseinheit verbunden. Dehnungskörper und Federelement sind so dimensioniert und bezüglich ihres Temperaturausdehnungskoeffizienten so ausgelegt, dass sie eine temperaturabhängige Kompensationskraft erzeugen, die der von der Verbindungseinheit verursachten Reaktionskraft entgegen gerichtet ist.



Figur 22 Nachgiebige Fassung mit Kompensationselement (aus DE 10 2013 110 750 B3)

3 Ausblick

Die Lagerung optischer Elemente in einem Projektionsobjektiv spielt eine tragende Rolle, um die Abbildungsverhältnisse in einem Projektionsobjektiv einer Lithographieanlage stabil zu halten. Will man eine Abbildung gezielt ändern, sind noch Justiermöglichkeiten einer Fassung, Justiermöglichkeiten eines optischen Elementes innerhalb einer Fassung sowie eine gezielte lokale Deformation optischer Elemente in Betracht zu ziehen, was jedoch angesichts der Fülle von Erfinderaktivitäten den Rahmen dieser Abhandlung sprengen würde.

Nicht-Patentliteratur

[1] Hilleringmann, U.: Silizium-Halbleitertechnologie. 5. Auflage, Vieweg+Teubner Verlag, 2008

[2] **http://www.zeiss.de/semiconductor-manufacturing-technology/produkte-loesungen/halbleiterfertigungs-optiken/lithographie-bei-248-nanometern-krf-.html** (abgerufen am 18.10.2017)

[3] Neumann,J.T. [et al.]: Imaging performance of EUV lithography optics configuration for sub 9nm resolution. In: Proceedings of Spie, Vol. 9422, 2015

Genome Editing

Dr. Leonhard Riedel, Patentabteilung 1.44

Das Genome Editing (deutsch: Genom-Editierung oder Genomchirurgie) hat als Teil der synthetischen, mit einer Gentechnik befassten Biologie besonderes Interesse geweckt: es verwendet molekularbiologische Genscheren, insbesondere die durch Medienberichte bekannt gewordene CRISPR/Cas-Methode. Noch nie war es einfacher, gezielt Veränderungen im Genom von Organismen vorzunehmen. Für Probleme kausaler Therapien von Erbkrankheiten, für die es vor wenigen Jahren noch keine praktikablen Ansätze gab, scheinen Lösungen nun in greifbare Nähe gerückt zu sein. Mit diesem Artikel sollen wesentliche Aspekte des Genome Editing mit Schwerpunkt auf Entdeckung und Entwicklung der CRISPR/Cas-Methode aufgezeigt werden. Anhand der Chancen und Risiken, die das mächtige gentechnologische Werkzeug mit sich bringt, werden gesellschafts- und wirtschaftspolitische Auffassungen über den Umfang möglicher Genmanipulationen diskutiert. CRISPR/Cas zeigt, welche Auswirkungen eine nobelpreiswürdige Methode auf die Gesellschaft haben kann, insbesondere wenn angenommen wird, dass sie den Menschen und die Welt nachhaltig verändern könnte.

1 Einleitung

Der Begriff Genome Editing fasst mehrere unterschiedliche molekularbiologische Verfahren zusammen, die eine ortsspezifische, gezielte Veränderung (Mutagenese) insbesondere in Genen eines Genoms ermöglichen – von Mikroorganismen bis hin zu komplexen Organismen, einschließlich Tieren, Pflanzen und Menschen. Bisher wird das Genome Editing zum gezielten Zerstören eines Gens (Gen-Knockout), zum Einführen eines Gens an einer spezifischen Stelle im Genom (Gen-Knockin), zur Regulation eines Gens oder zur Korrektur einer Punktmutation verwendet [1].
Umfangreiche Genomänderungen werden vor allem mit künstlichen, „designten“ Sequenz-spezifischen DNA-Schneideenzymen (DNA Nukleasen) durchgeführt, die neben der DNA-spaltenden Aktivität eine „programmierbare“ DNA-bindende Funktion aufweisen. Damit können Genscheren die DNA zielgerichtet an einer zuvor ausgewählten Stelle im Genom spalten und werden daher auch als „Sequence specific nuclease“ (SSN) bezeichnet. Zu den Schneideenzymen zählen die sogenannten Meganukleasen (veränderbare Endonukleasen), Zinkfinger-Nukleasen (ZFN) und TALEN („Transcription activator-like effector nuclease“) sowie die CRISPR-Systeme, die durch das sogenannte CRISPR-assoziierte Protein (Cas; im Folgenden CRISPR/Cas) ebenfalls eine Nukleaseaktivität entfalten. Bei Meganukleasen, ZFN und TALEN wird die spezifische DNA-Bindung über eine Proteindomäne vermittelt, während bei CRISPR/Cas die Erkennung der DNA über eine austauschbare RNA-Komponente, der sogenannten „guide RNA“ (gRNA) oder auch „single guide RNA“ (sgRNA), erfolgt. CRISPR/Cas fällt damit unter die RNA-dirigierten Endonukleasen („RNA-guided Endonucleases“ RGEN, siehe Abschnitte 5 und 6).

ZFN gelten als eine der ersten künstlich hergestellten Restriktionsenzyme (DNA-Schneideenzyme), die DNA spezifisch an bestimmten Positionen erkennen und schneiden können und die zur zielgerichteten Veränderung von Genomen eingesetzt wurden und werden. Als Fusionsprotein wird oft eine dimere, die DNA unspezifisch spaltende Nukleasedomäne „FokI“ verwendet, die ursprünglich aus einem Bakteriophagenabwehrsystem isoliert wurde. Zudem enthalten ZFN die namengebende „Zinkfinger“-Domäne, die eine variable Proteinstruktur aufweist, welche spezifisch an eine DNA-Erkennungssequenz bindet. Für jedes unterschiedliche Ziel auf der DNA muss hier die gesamte Einheit neu konstruiert werden, sodass ein Einsatz auf wenige spezialisierte Institutionen

beschränkt ist. Genom-Manipulationen mittels ZFN wurden in verschiedenen Organismen durchgeführt, etwa in Pflanzen (WO 2014165612 A2) und bei Tieren – Ratte (EP 2563918 B1, EP 2352369 B1), Zebrafisch (WO 2009042186 A2) – sowie in verschiedenen humanen Zelltypen [2].

Bei der ebenfalls aus einem Fusionsprotein bestehenden TALEN stammt die DNA-bindende, sogenannte „Tal effector"-Domäne, ursprünglich aus dem pflanzenpathogenen Xanthomonas-Bakterium. Als Nuklease-Anteil fungiert hier meistens ebenfalls die Endonuklease „FokI" (siehe beispielsweise WO 2012093833 A2 oder EP 2510096 B1). Auch mit TALEN werden Genom-Manipulationen vorgenommen, etwa in Pflanzen (WO 2014096972 A2), beziehungsweise für einen gentherapeutischen Einsatz vorbereitet, zum Beispiel zur Korrektur genetischer Mutationen in humanen Zellen (WO 2014134412 A1) oder zur HIV-Therapie (DE102014106327 A1).

Auf dem Gebiet der ertragsorientierten Pflanzenzüchtung haben sich die Nuklease-basierten Genom-Editierungen als eine der neuen Züchtungstechniken etabliert, wobei hierunter auch Methoden gezählt werden, die keine Nukleaseaktivität benötigen [3]. Zu nennen sind hier vor allem die RNA-induzierte DNA-Methylierung (RdDM, DE 10 2014 016667 A1) und die Oligonukleotid-gerichtete Mutagenese (ODM):

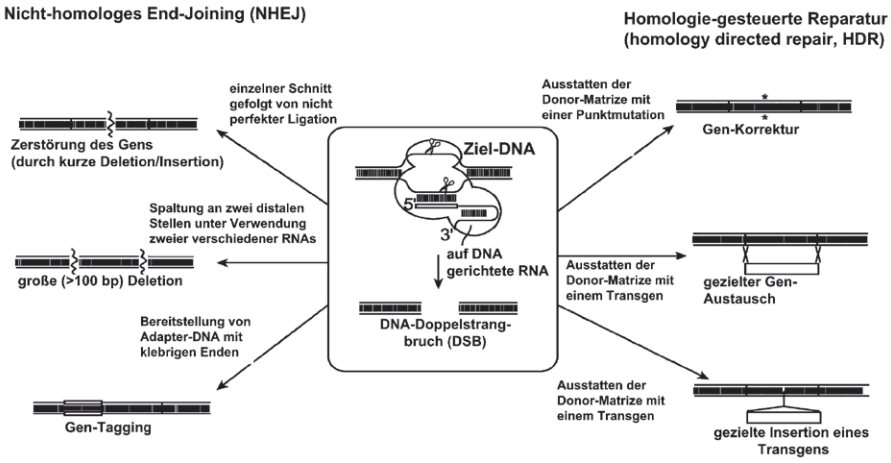
- RdDM ruft eine strukturelle Änderung an einem der Bausteine der DNA (Cytosin) hervor, die einer naturanalogen, natürlich vorkommenden, epigenetischen Veränderung entspricht [4]. Ohne die DNA-Sequenz (Basenabfolge) zu verändern, werden mit Hilfe eines RNA-Interferenz- (kurz RNAi oder auch RNA-Silencing [5]) gesteuerten Mechanismus Methylgruppen an bestimmte Positionen in die DNA eingebaut. Dies führt dazu, dass die entsprechenden Gene für einige Generationen abgeschaltet werden können. Da das notwendige RNAi-Konstrukt nur vorübergehend in den Pflanzen vorhanden ist, gleicht sie genotypisch einer Pflanze, die auf natürlichem Weg hätte entstehen können.

- Bei der ODM werden Sequenz-spezifische Punktmutationen mittels eines modifizierten kurzen Nukleinsäureabschnitts (Oligonukleotid) induziert. Das Oligonukleotid dient dabei als Vorlage für das zelleigene DNA-Reparatursystem (siehe Abschnitt 2), wie es bei dem sogenannten „Cibus-Raps" erfolgreich angewendet wurde (WO 2014144951 A1). Die hierbei benutzten „Genreparatur"-Oligonukleotide (GRONs) werden in die Pflanzenzelle eingeführt, rufen gezielt Punktmutationen hervor und werden nicht in das Genom der Pflanze eingebaut, sondern wieder abgebaut. Damit gleichen sie im Ergebnis herkömmlich gezüchteten Pflanzen, wie sie durch Mutageneseverfahren (Strahlung oder chemische Stoffe) hergestellt werden, oder solchen, die spontane Mutationen erworben haben und natürlicherweise entstanden sind (siehe hierzu den folgenden Abschnitt).

2 Reparaturmechanismen als Voraussetzung des Genome Editing

Bei den meisten der hier vorgestellten Genome-Editing-Methoden beruhen die eingeführten Veränderungen auf einer Aktivierung zelleigener (endogener) DNA-Reparaturmechanismen. In allen Organismen gibt es für die unterschiedlichen Arten von DNA-Schäden spezialisierte Reparaturmechanismen, wobei einige auf die Reparatur von Schäden im DNA-Einzelstrang („Nick" oder DNA-Lücke) spezialisiert sind und andere auf die der DNA-Doppelstrangbrüche (DSB), wie sie üblicherweise durch die Nukleaseaktivität der Genscheren verursacht werden [6].
Bei einem DSB können zwei in Figur 1 gezeigte DNA-Reparaturprozesse unterschieden werden: das „non-homologous end-joining" (NHEJ) und die auf einer Sequenzhomologie-basierte „homologe Rekombination" (HR), auch „homology directed repair" (HDR) genannt.

Die NHEJ bewirkt die überwiegende DNA-Reparatur-Aktivität einer Zelle, bei der die Reparatur der DNA-Enden am DSB signifikant fehleranfällig ist und in 1 bis 20 % der Fälle zu Veränderungen in der Ursprungssequenz führt. Während der Reparatur bereitet eine Endonuklease die durch den Bruch entstandenen inkompatiblen DNA-Enden für das Wiedervereinigen durch eine DNA-Ligase vor. Bei diesem sogenannten



Figur 1: Veränderung der Ziel-DNA durch Brüche in der doppelsträngigen DNA, die unter Verwendung eines ortsspezifisch modifizierenden Cas-Polypeptids und einer auf DNA gerichteten RNA eingebracht wurden (aus WO 2013176772 A1, EP 2 800 811 B1 und DE 202013012241 U1)

„Trimmen" der DNA-Bruchstellen entstehen durch Auffüllen (Insertion) oder Entfernen (Deletion) der Enden sogenannte INDEL (Insertion/Deletion). Dieser Reparaturfehler wird vor allem auch bei der CRISPR/Cas-Methode zur zielgerichteten Erzeugung genomischer Modifikationen genutzt (siehe Abschnitt 5). INDEL – als Folge der NHEJ-Reparatur – können zu Punktmutationen oder Leserasterverschiebungen führen und damit auch zum Verlust der Funktion eines Protein-codierenden Gens („Loss-of-function"-Mutationen). Die NHEJ kommt in allen Zellzyklus-Phasen vor und benötigt keine Reparaturvorlage beziehungsweise ein so genanntes DNA-Template (oder auch Donor-DNA).

ZFN-basierte Methoden können auch den NHEJ Reparaturweg nutzen: Ziel der meisten ZFN-Anwendungen ist jedoch der „Gen-knock-out" und der „Gen-knock-in", das gezielte Einfügen oder der gezielte Austausch kompletter Gene oder Teile davon. Hierzu ist ein alternativer Reparaturweg notwendig – die homologe Rekombination (HDR), die sehr viel genauer als die NHEJ ist, da sie eine Reparaturvorlage oder Donor-DNA benötigt. Die HDR ist zellzyklusabhängig und kann nur dann in der Zelle verwendet werden, wenn ein homologes DNA-Stück in der Zelle vorhanden ist, etwa während der Verdoppelung der Chromosomen. Auch mittels der CRISPR/Cas-Methode kann ein Gen fehlerfrei in das Genom eingeführt werden, wenn die externe Sequenzvorlage (DNA-Template) mit der Nuklease und der zielsteuernden gRNA zusammen in die Zelle zum DSB eingebracht, also cotransfiziert werden (vergleiche Kapitel 5).

Bei der ohne DNA-Nuklease auskommenden ODM wird ein anderes Reparatursystem verwendet. Zunächst lagert sich das modifizierte Oligonukleotid an die vorbestimmte Stelle im Genom über stabilisierte DNA-Basenpaarungen an. Da das Oligonukleotid einige Basenaustausche beziehungsweise Fehlpaarungen zur genomischen DNA aufweist, werden mit Hilfe der sogenannten „mismatch repair" (Fehlpaarungsreparatur) während der DNA-Replikation die einzelnen Nukleinbasen ausgetauscht, so dass punktuell Genfehler eingebaut oder korrigiert werden können.

3 Rechtssystematik

Nuklease-gestützte Editierungssysteme weisen somit drei gemeinsame Schritte auf:

(i) Erkennen und Binden des zu verändernden DNA-Abschnitts im Genom

(ii) Schneiden des DNA-Stranges an der jeweiligen Zielsequenz

(iii) Wiederzusammenführen der DNA-Stränge mittels Reparaturmechanismen der Zelle

Im Hinblick auf eine unterschiedliche Nutzung der Reparatursysteme werden die Genome-Editing-Techniken, die eine Nukleaseaktivität verwenden, auch in die „site directed nuclease" (SDN)-Kategorien 1 bis 3 eingeteilt [7].
Demnach umfasst die SDN1-Technik den gezielten DSB und den NHEJ-Reparaturweg. Hierbei können auch zwei gezielte DSB gleichzeitig eingeführt werden,

so dass es zu einer größeren Deletion der dazwischenliegenden genomischen DNA kommt.
Zur SDN2-Technik gehört eine Nukleaseaktivität, die zusammen mit einer Reparaturvorlage in Zellen eingebracht wird. Nach einem gezielten DSB führt die HDR eine Reparatur unter Verwendung des Templates zur zielgerichteten Mutation aus.
Die SDN3-Technik ist dadurch gekennzeichnet, dass während der DSB-induzierten Reparaturmechanismen (HDR oder NHEJ) zusätzliche DNA-Sequenzen, beispielsweise auch ganze Gene, eingebracht oder ausgetauscht werden. Stammt die einzuführende Gensequenz oder Teile davon aus der gleichen oder einer nah verwandten Art, handelt es sich um ein sogenanntes „Cisgen“; wenn es aus einer anderen, nicht miteinander kreuzbaren Art stammt, ist es das „Transgen“.

Rechtssystematisch ist in der EU noch unklar, ob Genom-editierte Organismen als gentechnisch veränderte Organismen (GVO) einzustufen sind und dann die für GVO geltenden Richtlinien anzuwenden wären. Der Begriff GVO ist zum Beispiel in der europäischen Freisetzungsrichtlinie 2001/18/EC (Artikel 2 (2)) und im deutschen Gentechnikgesetz (§ 3 GenTG) definiert: ein Organismus, mit Ausnahme des Menschen, dessen genetisches Material in einer Weise verändert worden ist, wie sie unter natürlichen Bedingungen durch Kreuzen oder natürliche Rekombination nicht vorkommt. Sinngemäß wird im Anhang IB der EU-Richtlinie 2001/18/EC als Ausnahmeregelung definiert, dass Verfahren zur genetischen Veränderung nicht für solche Organismen gelten, bei denen eine genetische Veränderung durch den Einsatz von Mutagenese (zum Beispiel durch Chemikalien oder Strahlung erzeugt) oder Zellfusion (einschließlich Protoplastenfusion) herbeigeführt wurde.

Es besteht ein großes Interesse, Genom-Editierungsverfahren vor allem auch zur Verbesserung wirtschaftlich bedeutender Pflanzen einzusetzen: die neuen Züchtungsverfahren sind schneller und präziser als die aufwendige, hohe Kosten verursachende „klassische“ Gentechnik oder die herkömmliche Kreuzungszüchtung [7]. Hierzu soll der EuGH nun den rechtlichen Status klären, ob und welche der Genom-Editierungsverfahren unter die Ausnahmeregelung der EU-Richtlinie fallen. Auf der einen Seite wird die Meinung von Nichtregierungsorganisationen sowie dem Bundesamt für Naturschutz vertreten, dass Pflanzen, die mit ODM und SDN1-3 erzeugt wurden, als GVO eingestuft werden sollten. Dagegen plädieren mehrere europäische und nationale Expertengremien, dass die hergestellten Pflanzen denen gleichzustellen sind, die durch naturanaloge Züchtungsverfahren bereitgestellt werden. Sie argumentieren, dass die durch das Genome Editing zielgerichtet eingeführten Mutationen nicht von solchen genetischen Veränderungen unterschieden werden können, die durch natürliche Prozesse entstanden sind. Daher müssten diese Techniken als Mutagenese-Verfahren angesehen werden, die also unter die Ausnahmeregelung der EU-Richtlinie 2001/18/EC fallen. Übereinstimmend werden Pflanzen, die unter Verwendung von SDN3-Verfahren hergestellt werden, als GVO eingestuft, wenn sie

- eine Neukombination von Genen umfassen, die natürlicherweise nicht entstehen können (cis-, intra-, und transgene Sequenzen), oder
- nachweisbares genetisches Material von nicht miteinander kreuzbaren Organismen enthalten

(siehe [7], Tabelle 1, Vergleich der Genom-Editierungsverfahren in Beziehung zur Rechtsauslegung).

4 Entdeckung des mikrobiellen adaptiven Immunsystems CRISPR/Cas

Erst das Zusammenwirken zufälliger Entdeckungen führte dazu, dass das in 45 % der bislang sequenzierten Bakterien und in 83 % der Archaeen (vormals Archeabakterien) vorkommende CRISPR/Cas-System für die Genom-Editierung nutzbar gemacht werden konnte. Erste wissenschaftliche Dokumentationen zur Entwicklung und zum Einsatz als Methode der Genom-Editierung wurden 2012 durch die Arbeitsgruppen um Emmanuelle Charpentier und Jennifer Doudna veröffentlicht ([8], WO 2013176772 A1 und EP 2800811 B1). Durch die kurz danach veröffentlichten Arbeiten von Feng Zhang [9] wurde bestätigt, dass die RNA-gesteuerte Nuklease nicht nur in Bakterien, son-

dern universell in allen lebenden Zellen – einschließlich der Zellen von Tieren und Pflanzen sowie des Menschen – eingesetzt werden kann (WO 2014093595 A1, US 8697359 B1 und EP 2921557 B1).

Die Entdeckung des CRISPR-Systems geht auf die Sequenzierung des Genoms des Darmbakteriums Escherichia coli (E. coli) zurück (1987), wobei ungewöhnliche Bereiche repetitiver Sequenzen (Repeats) aufgefunden wurden, die sich mit nichtrepetitiven Sequenzen (Spacer) abwechseln [10]. Diesen Abschnitten wurde zunächst keine biologische Signifikanz zuerkannt. Francisco Mojita entdeckte 1993 ähnlich strukturierte Abschnitte, jedoch in halophilen Archaen – und ohne eine Sequenzübereinstimmung zum bekannten E. coli locus. Einen Hinweis auf die Funktion dieser Loci lieferten später Analysen mit DNA-Sequenzdatenbanken, bei denen zwischen den kurzen Spacern einige Sequenzübereinstimmungen mit bekannten Sequenzen aufgefunden wurden, die ausschließlich von mobilen genetischen Elementen, Transposons, Plasmiden oder Bakteriophagen stammten. Aufgrund ihres immer gleichen Aufbaus erhielt dieser Bereich die Bezeichnung „clustered regularly interspaced short palindromic repeats“ (CRISPR, sprich „Krisper“): also Abschnitte, die regelmäßig von palindromischen Sequenzwiederholungen unterbrochen werden [11]. Eine weitere Feststellung/Entdeckung: die CRISPR-Regionen sind meist mit einer Gruppe (Cluster) aus Protein-kodierenden Genen assoziiert. Wie bei CRISPR selbst, war auch die Funktion dieser Gene zunächst unbekannt, so dass sie als CRISPR-assoziierte (Cas-) Gene bezeichnet wurden [11]. In Sequenzvergleichsanalysen mit Phagenresistenten E. coli und aufgrund der Feststellung, dass die Loci aus unterschiedlichen – zu DNA-Stücken verschiedener Virus- und Plasmid-DNAs nahezu identischen – Spacern zusammengesetzt sind, entwickelte sich in verschiedenen Arbeitsgruppen etwa zeitgleich die (nicht unmittelbar anerkannte) Hypothese, dass die CRISPR-Strukturen die Funktion eines adaptierten Immunsystems haben könnten [12], [13], [14]. Wir kennen höhere Immunsysteme als Abwehr und Schutz vor Stoffen, die der Körper als fremd einstuft: In Körperzellen eingedrungene, schädliche Mikroorganismen, wie Bakterien, Viren, Pilze und Parasiten, werden anhand ihrer charakteristischen Strukturen (Proteine, Kohlenhydrate und Lipide) – den sogenannten Antigenen (über englisch: anti[body-]gen[erator]s), durch spezifische Antikörper erkannt. Solch eine Antigen-induzierte Immunreaktion kann nach dem Entwicklungszeitpunkt oder der Spezifität eingestuft werden, wobei die adaptive Immunantwort das immunologische Gedächtnis bildet.

Mit der Bestätigung, dass auch Bakterien eine Art adaptives Immunsystem besitzen, galt es den zugrunde liegenden Mechanismus aufzudecken [15]. Ein erster Meilenstein war die Erkenntnis, dass kurze, prozessierte CRISPR RNA (crRNA)-Sequenzen für die CRISPR-basierte Resistenz verantwortlich sind [16]. Der folgende Schritt war die Entschlüsselung des Zusammenhangs zwischen den crRNAs und der Cas-vermittelten Nukleaseaktivität. Zunächst wurde bekannt, dass die später bezeichnete Cas9-Nuklease aus dem Streptococcus thermophiles-System die DNA genau an der Stelle schneidet, die durch die spezifische crRNA codiert werden, wobei der Schnitt jedes Mal genau drei Nukleotide vor der sogenannten PAM-Sequenz („protospacer adjacent motif“) „NGG“ erfolgt [17], [18]. Cas9 ist ein Multidomänen-Enzymkomplex mit den zwei katalytischen Einheiten „RuvC“ und „HNH“, die jeweils einen der gegenüberliegenden Stränge eines DNA-Doppelstranges schneiden.

Alle natürlich vorkommenden CRISPR-Systeme verwenden – wie wir heute wissen – Cas-Proteine als DNA-Scheren, jedoch in unterschiedlicher Nukleasezusammensetzung und wirken über unterschiedliche Mechanismen. Das im Fokus stehende CRISPR-System wird gemäß einer anerkannten Klassifikation zum „Typ II“ gezählt (siehe [19], Tabelle 1), der dadurch gekennzeichnet ist, dass er nur eine katalytisch aktive Nuklease als Effektorprotein benötigt, hier Cas9. CRISPR/Cas9 benötigt die crRNA und eine weitere, postulierte zelluläre RNA, die die Verarbeitung der längeren Vorläufer- oder pre-CRISPR-RNAs in crRNAs vermittelt (Prozessierung). Eine der essentiellen Beiträge zur Aufdeckung des Mechanismus war nun die Entdeckung dieser „transactivating crRNA“ oder tracrRNA durch Emmanuelle Charpentier. Sie fand heraus, dass die tracrRNA unmittelbar in der Nähe des CRISPR-Locus transkribiert wird und eine 25 Basen-lange, nahezu perfekte Sequenzkomplementarität zu den CRISPR-Sequenzwiederholungen beziehungs-

weise den crRNAs aufweist [20]. Diese Komplementarität gab den Hinweis für die Wechselwirkung der beiden RNAs, so dass die tracrRNA die Prozessierung der crRNA vermittelt, unter Mitwirkung der endogenen RNase III [20]. Später wurde eine weitere Funktion der tracrRNA bekannt: sie vermittelt die Bildung des Komplexes mit der crRNA und dem Cas9 Protein, welcher an die Ziel-DNA bindet, sodass die DNA an der Stelle gespalten werden kann, die der Sequenz der crRNA entspricht ([8], WO 2013141680 A1). Damit waren alle Komponenten des CRISPR/Cas9-Systems bekannt und der Mechanismus der adaptiven Immunisierung in Bakterien im Wesentlichen aufgeklärt.

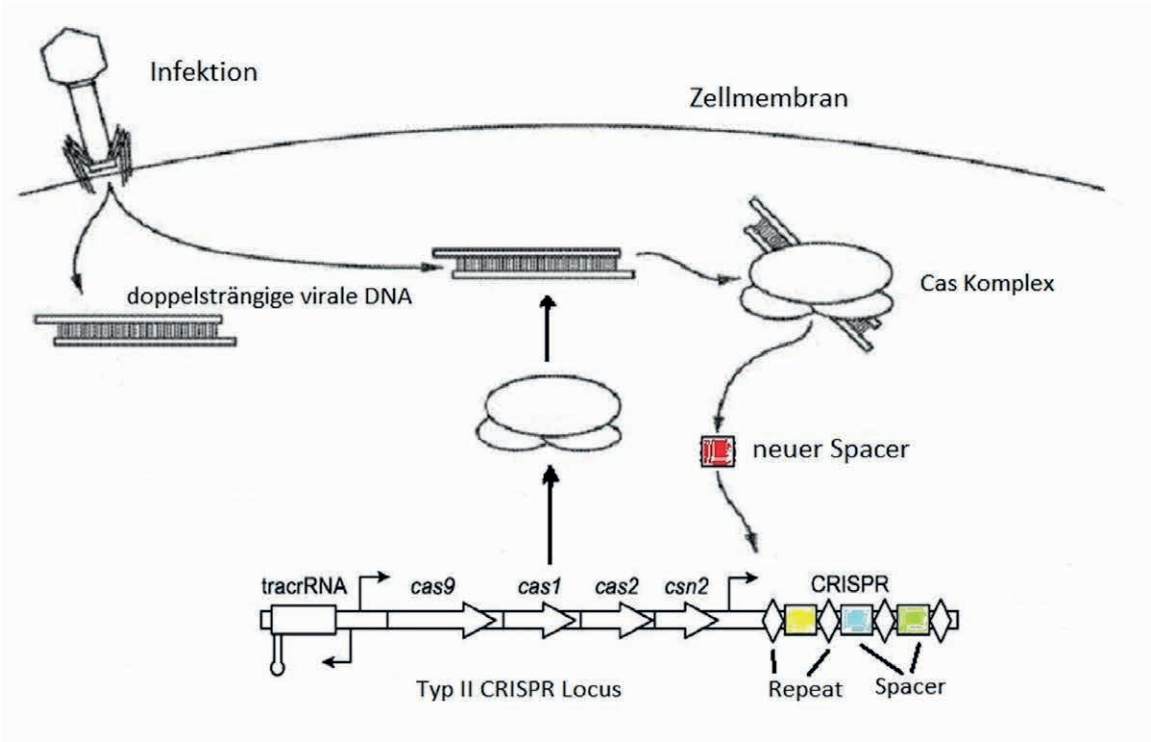
Zusammenfassend kann festgestellt werden, dass beim CRISPR/Cas-Prozess vom Typ II zwei Phasen unterschieden werden können (siehe Figur 2a und 2b):

Phase 1 – Immunisierung durch Akquisition eines virulenten DNA-Stücks (Spacer) sowie

Phase 2 – Immunität durch Bereitstellung von funktionellen RNAs und Abbau der viralen DNA.

Phase 1 dient die Immunisierung: Nachdem ein Phage eine Bakterienzelle infiziert, werden Protospacer-Sequenzen aus der viralen DNA vom endogenen Cas-Komplex herausgeschnitten und in einen bereits bestehenden CRISPR-Locus eingebaut. Durch Akquisition des kurzen DNA-Stücks (Spacer) merkt sich das Bakterium, mit welcher virulenten DNA es schon einmal infiziert wurde. Hierzu werden in der Regel die Nukleasen Cas1 und Cas2 benötigt. Die Auswahl der Protospacer-Sequenz durch Cas1/Cas2 ist nicht zufällig, sie muss sich in direkter Nachbarschaft zu dem „protospacer adjacent motif“ (PAM) befinden. Da die PAM selbst nicht in den CRISPR-Array des Bakteriums übernommen wird, schneidet der Cas1/Cas2-Komplex auch nicht die bakteriellen CRISPR-Arrays (Figur 2a).

In Phase 2, der Immunabwehr, werden CRISPR-Arrays in den Bakterien ständig zu einer langen Vorläufer- oder pre-CRISPR RNA transkribiert. Nach der Prozessierung durch die zelluläre RNase III entsteht der reife crRNA/tracrRNA-Cas9-Komplex. Dieser bindet spezifisch Virus-DNA mit der Erkennungssequenz PAM, indem die crRNA (Spacer) Basenpaarungen mit der Ziel-DNA ein-



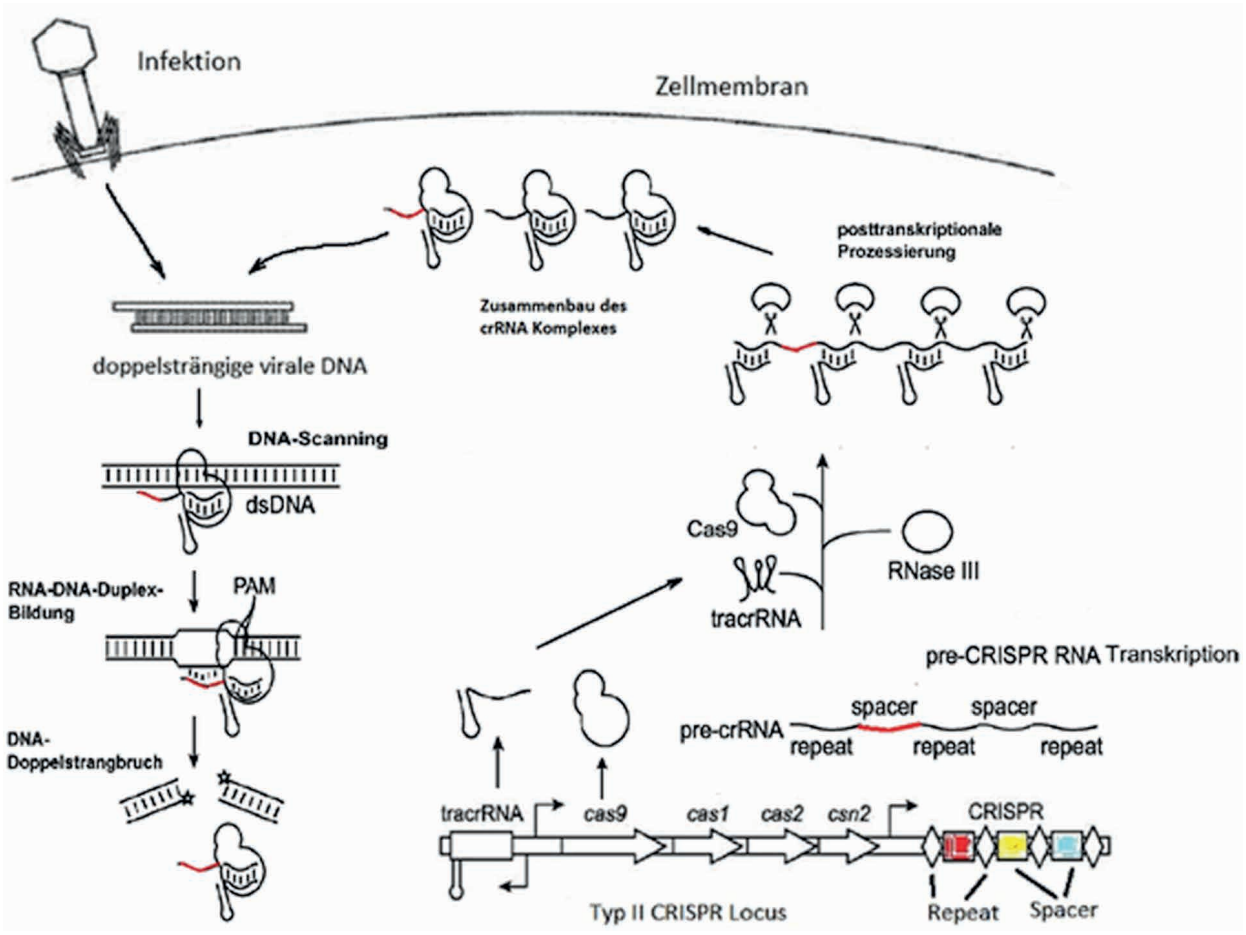
Figur 2a: Phase 1 der RNA-vermittelten CRISPR/Cas-Immunität (Immunisierung) – Erzeugung des immunologischen Gedächtnisses (geändert, nach WO 2016 161 446 A1)

geht. Daraufhin wird durch die Endonukleasefunktion nahe der Bindungsstelle ein Doppelstrangbruch in der Ziel-DNA erzeugt (Figur 2b).

5 Die CRISPR/Cas9-Methode

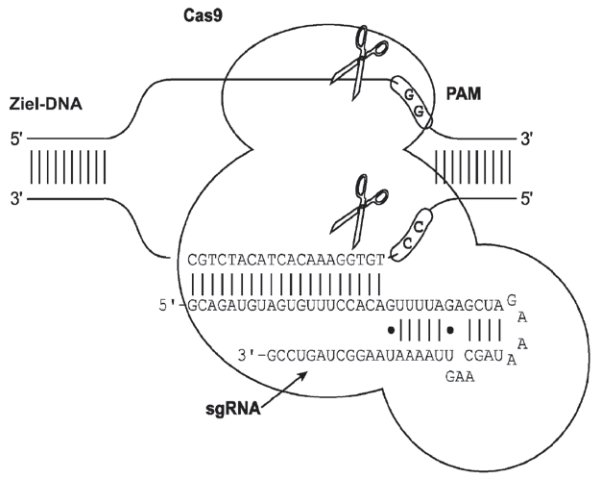
Die Erfolgsgeschichte zur Nutzung von CRISPR/Cas als Werkzeug für das Genome Editing benötigte zunächst auch den experimentellen Nachweis, dass die drei Komponenten Cas9, crRNA und tracrRNA ausreichen, eine beliebige Ziel-DNA zu schneiden, und dass ein solches System auf andere Organismen übertragbar ist. Charpentier und Doudna konnten zusammen als erste Wissenschaftlerinnen zeigen, dass in E. coli exprimiertes Cas9 durch in vitro hergestellte – aus crRNA und tracrRNA fusionierte – sgRNA (gRNA) programmiert werden kann, um DNA in vitro zu schneiden ([8], WO2013176772 A1 und EP 2800811 B1).

Nachdem das Potential als biotechnologisches Werkzeug verdeutlicht war, passten andere das System für die in-vivo-Verwendung in eukaryotischen beziehungsweise humanen Zellen an (siehe zum Beispiel WO 002014099744 A1), allen voran Feng Zhang [9]. Im Folgenden optimierte er Cas9 (aus S. pyogenes und thermophilus) und erhöhte die Stabilität der tracrRNA für die Verwendung in humanen Zellen. Er stellte fest, dass crRNA auch ohne mikrobielle RNase III in humanen Zellen prozessiert werden kann (WO 2014093595 A1, US 8945839 B2, EP 2921557 B1 und WO 2016205759 A1). Ebenso zeigte Zhang die Möglichkeit auf, Gene mit hoher Effizienz und Genauigkeit unter Verwendung der HDR als NHEJ zu mutieren oder neue Sequenzen einzufügen [9]. Schließlich verwendete er das von Charpentier und Doudna entwickelte Zweikomponenten-System, wobei auch die gRNA für den in-vivo-Einsatz angepasst werden musste. Die aus crRNA- und tracrRNA-Sequenzen zusammengesetzte



Figur 2b: Phase 2 der RNA-vermittelten CRISPR/Cas-Immunität (Immunabwehr) (geändert, nach DE 202013012241 U1)

und sequenzspezifisch designte chimäre RNA (gRNA) ist teilweise selbsthybridisierend und kann nach Ausbildung der Sekundärstruktur an die Endonuklease Cas9 als Ribonukleoprotein-Komplex binden. Dadurch kommt es in Cas9 zu einer Proteinfaltung, die eine Bindung des Spacer-spezifischen Teils der gRNA an die Zielsequenz durch komplementäre Basenpaarung ermöglicht. Als Komplex dirigiert die gRNA somit die Genschere Cas9 an die Stelle der DNA, wo der Schnitt erfolgen soll.



Figur 3: Schematische Darstellung von RNA-programmierten Cas9 (aus DE202013012241 U1)

Figur 3 zeigt, wie die gRNA als Einzelstrang (hier sgRNA) mit einer Ziel-DNA assoziiert ist. Um Cas9 zu programmieren, wurde im vorliegenden Fall eine sgRNA als eine 5'-terminale, 20 Nukleotide umfassende Sequenz exprimiert, die einerseits komplementär zur Sequenz der Ziel-DNA ist und darüber hinaus eine 3'-terminale Haarnadelschleifen-Struktur ausbildet, welche für die Cas9-Bindung erforderlich ist.

Das Vorhandensein einer PAM-Sequenz (5'-NGG-3') in der Ziel-DNA, welches unmittelbar hinter der 20 Nukleotide langen Spacer-Sequenz der gRNA liegen muss, ist für die Aktivierung der Nuklease notwendig. Für praktische Anwendungen des CRISPR/Cas9-Systems müssen nur die ersten 20 Basen der gRNA im Sequenzteil 5'-N20-NGG-3' neu gestaltet werden, während der tracrRNA-Teil der gRNA gleich bleibt. Zum Design von gRNAs für ein beliebiges genomisches Ziel gibt es mittlerweile kostenlose Online-Tools, wie zum Beispiel CRISPR Design [22]. Im Folgenden wurden CRISPR/Cas-Typ II-Systeme gefunden, deren Effektorprotein (hier die Cpf1-Nuklease) auch ohne tracrRNA auskommt ([23], WO 2016205711 A1 und EP 3009511 B1).

6 Anwendungsbeispiele und Nebeneffekte

Mit dem flexiblen CRISPR/Cas-System können praktisch alle Organismen untersucht und manipuliert werden. Anwendungsmöglichkeiten betreffen beispielsweise die genetische Korrektur von Mutationen in autosomal-dominanten Erbkrankheiten, wie Myotone Dystrophie Typ 1 (WO 2015173436 A1), oder die Immuntherapie durch Genom-Editierung von B-Zellen (WO 2016161446 A1). Mit dem CRISPR-System ist auch der Einsatz mehrerer gRNAs und damit das gleichzeitige Adressieren und Ändern mehrerer DNA-Zielsequenzen möglich („Multiplex Genome Editing") [9]. Ein Aspekt betrifft die Bereitstellung von genetisch modifizierten Zellen, um Tiere, beispielsweise Schweine, für die Xenotransplantation zu optimieren (WO 2017062723 A1). Ebenso kann ein mutagenisiertes Cas9-Protein ohne Nukleasefunktion zur Modulation der Expression von Genen eingesetzt werden (WO 2014089290 A1).

Durch gleichzeitige Verwendung vieler gRNAs (gRNA-Bibliothek) ist eine Untersuchung der Zelldifferenzierung oder Karzinogenese möglich, etwa durch Analyse des Transkriptoms einzelner Zellen [24].

Das CRISPR/Cas9-System zählt im Rahmen der „Neuen Pflanzenzüchtungstechniken", zu den Nuklease-gestützten SDN-Techniken (SDN, vergleiche Kapitel 3). Die Anwendungsmöglichkeiten liegen hier vor allem darin, Sorten von Nutzpflanzen auf eine leichtere, effizientere und flexiblere Art zu verbessern [25]. Im Rahmen der SDN1-Technik betrifft das die Eliminierung unerwünschter Inhaltsstoffe, die Steigerung erwünschter Inhaltsstoffe (zum Beispiel Öle und Proteine durch gezieltes Modifizieren des Metabolismus), die Entwicklung von Resistenzen gegen Pathogene (Bakterien, Viren) und Toleranzen gegenüber Stressbedingungen (siehe beispielsweise WO 2014194190 A1 oder WO 2015026883 A1).

Trotz zahl- und erfolgreicher Anwendungen wird beobachtet, dass RNA-dirigierte Endonukleasen („RNA-guided endonucleases“, RGENs) wie CRISPR/Cas, nicht nur an den vorgesehenen Stellen im Genom tätig sind, sondern unerwünschte Nebeneffekte – sogenannte Off-target-Effekte – an anderer (falscher) Stelle im Genom hervorrufen [26], [27]. Im Bereich der Pflanzenzüchtung können RGEN-induzierte, sichtbare negative Effekte im Laufe des Züchtungsprogramms durch Rückkreuzungen beseitigt werden. Jedoch ist das CRISPR-System gegenüber den durch konventionelle Mutationszüchtung erzeugten Nebeneffekten deutlich präziser. Spätestens aber bei einer klinischen oder gentherapeutischen Anwendung des CRISPR-Systems ist fraglich, in welchem Umfang Off-target-Effekte toleriert werden können [28]. Gerade die stabile Expression und hohe Aktivität des CRISPR/Cas9-Systems erhöhen das Risiko von Off-target-Effekten, die im Wesentlichen dann entstehen, wenn die gRNAs Basenfehlpaarungen mit der Ziel-Sequenz eingehen. Jedenfalls kann offenbar nicht ausgeschlossen werden, dass RGEN-Systeme an unvorhergesehenen Stellen im Genom INDEL und Einzelnukleotid-Variationen („single nucleotide variants“) hervorrufen [28].

Zur Minimierung einer unspezifischen Mutagenese durch RGEN beziehungsweise CRISPR/Cas werden, wie zum Beispiel in WO 2016205613 A1, Ansätze zur Erhöhung der Spezifität erforscht. Eine Strategie zur Vermeidung von Off-Target-Effekten beruht auf der Kenntnis, dass Cas9 zwei unterschiedliche katalytische Zentren besitzt, von denen jedes nur einen DNA-Strang schneidet. Die „HNH“-Endonuklease-Domäne wirkt auf den Strang der Ziel-DNA ein, der zum Spacer komplementär ist, während die „RuvC“-ähnliche Domäne den nicht-komplementären DNA-Strang spaltet. Mittels geeigneter Punktmutationen in den katalytischen Zentren der Endonuklease-Domänen kann die DSB-spaltende Nuklease Cas9 inaktiviert werden. Das Protein wird dann zu einer sogenannten „Nickase“ (nCas9), die unter Erhalt der RNA-DNA-Bindungsfunktion nur noch (nicht-mutagene) Einzelstrangbrüche (ESB) in die DNA einführt (WO 2014204725 A1). Man geht davon aus, dass die bei einem theoretischen Off-Target-Effekt der Nickase erzeugten Einzelstrangbrüche durch die Basen-Exzisions-Reparatur der Zelle wieder behoben werden [29]. Mit einem Nickase-System auf Basis zweier geringfügig verschiedener nCas9-sgRNA-Komplexe mit unterschiedlicher Spezifität („paired nickases“) kann nicht nur die Spezifität gegenüber dem natürlichen Cas9-Protein erreicht werden [30]. Zusammen mit zwei geeigneten gRNAs in Sense- und Antisense-Orientierung wird ein „versetzter“ Doppelstrang-Bruch in der Zielsequenz verursacht, wenn die gRNAs sich in geeigneter Nähe zueinander an den gegenüberliegenden DNA-Strängen binden. Die Nickasen verursachen dann Einzelschnitte, die zu einem Strangbruch mit überhängenden Enden („sticky ends“) führen; der Strangbruch ermöglicht anschließend die Insertion einer DNA mit komplementären Enden [31] (vergleiche auch Figur 1). Ein anderer Ansatz zur Reduzierung von Off-target-Effekten betrifft den Austausch des Effektorproteins, wie zum Beispiel die Verwendung der Cpf1-Nuklease in WO2017064546A1.

Zu diesem Thema muss konzediert werden, dass weitere Optimierungen des CRISPR/Cas-Systems notwendig sind – mindestens dann, wenn es den Einsatz in gentherapeutischen Anwendungen beim Menschen betrifft. Ebenso ist es offenbar notwendig, regelmäßige Untersuchungen über Off-target-Effekte durchzuführen, wobei auch die Methoden zur Aufdeckung echter Nebeneffekte optimiert werden dürften [27], [28].

7 Ausblick

Insgesamt sind die Anzahl an Publikationen und Patentanmeldungen mit Einsatz der aufkommenden Methoden zur Genom-Editierung seit 2012 rasant gestiegen und haben sich jährlich nahezu verdoppelt [32]. Den wesentlichen Anteil an diesem Wachstumsmarkt hat dabei die CRISPR/Cas-Technik, von der behauptet wird, dass sie die bedeutsamste Revolution der Gentechnologie seit Einführung der Polymerase-Kettenreaktion (PCR) im Jahr 1983 ist [33]. Die vornehmlichen Erfinder von CRISPR/Cas, die US-amerikanische Biochemikerin Jennifer Doudna und die französische Mikrobiologin Emmanuelle Charpentier, sind dafür vielfach ausgezeichnet worden und gelten seit 2015 als Kandidatinnen für den Nobelpreis für Chemie [34]. Patentstreitigkeiten und wissenschaftliche Auseinan-

dersetzungen zwischen Doudna/Charpentier und dem potentiellen Mitentdecker Zhang begleiten zur Zeit die weitere Entwicklung der CRISPR/Cas9-Methode, die von der wissenschaftlichen Fachzeitschrift Science zum „Breakthrough of the Year 2015“ gewählt wurde [35].

Aufgrund der Breite der Anwendungsmöglichkeiten des Genome Editing, insbesondere in der Humanmedizin, regte insbesondere Jennifer Doudna eine gründliche Diskussion ethischer Fragen in Bezug auf eine Verwendung in menschlichen Embryonen an.

Eine internationale Konferenz, der „International Summit on Human Gene Editing“, hatte im Dezember 2015 in Washington, D.C. die öffentliche Debatte angestoßen. Dort war festgestellt worden, dass die Anwendung auf die menschliche Keimbahn unverantwortlich sei, solange die möglichen Risiken nicht besser verstanden würden und solange kein gesellschaftlicher Konsens erarbeitet würde [36]. In der Zwischenzeit haben sich zahlreiche Wissenschaftsinstitutionen in Form von Stellungnahmen und Reports zu Bewertung, Entwicklung und Einsatz des humanen Genome Editing geäußert. Auch die Deutsche Forschungsgemeinschaft und die deutschen Wissenschaftsakademien haben bereits 2015 mit einer Stellungnahme zu „Chancen und Grenzen des genome editing“ darüber informiert und Empfehlungen zum Umgang mit diesen Methoden ausgesprochen [37], dem weitere Stellungnahmen zur Beurteilung der Forschung an humanen Zellen folgten [38].

Nicht-Patentliteratur

[1] GUHA Tuhin Kumar [et al.]: Programmable genome editing tools and their regulation for efficient genome engineering. In: Comput Struct Biotechnol J., 2017, Vol. 15, Seite 146–160

[2] CARROLL Dana: Progress and prospects: zinc-finger nucleases as gene therapy agents, 2008, Gene Therapy Vol. 15, Seite 1463–1468

[3] Bundesamt für Verbraucherschutz und Lebensmittelsicherheit: Neue Züchtungstechniken (FAQ, Flyer, Bericht). URL: **http://www.bvl.bund.de/DE/06_Gentechnik/02_Verbraucher/08_FAQ/01_FAQ_Neue_Zuechtungstechniken/FAQ_Neue%20Zuechtungstechniken_node.html** [abgerufen am 31. August 2017].

[4] RIEDEL, Leonhard: Epigenetik. In: DPMA-Erfinderaktivitäten 2009, Seite 25–33.

[5] REITINGER, Thomas: RNA-Interferenz – Stummschaltung von Genen. In: DPMA-Erfinderaktivitäten 2006/2007, Seite 43–51.

[6] HAKEM, Razqallah: DNA-damage repair; the good, the bad, and the ugly, In: The EMBO Journal, 2008, Vol. 27, Seite 589–605

(7) SPRING, Thorben [et al.]: Regulatory hurdles for genome editing: process- vs. product-based approaches in different regulatory contexts, In: Plant Cell Rep, 2016, Vol. 35, Seite 1493–1506

[8] JINEK, Martin [et al.]: A programmable Dual-RNA-Guided DNA endonuclease in adaptive bacterial immunity. In: Science, 2012, Vol. 337, Seite 816–821

[9] CONG, Le [et al.]: Multiplex Genome Engineering Using CRISPR/Cas Systems. In: Science, 2013, Vol. 339, Seite 819–823.

[10] ISHINO, Yoshizumi [et al.]: Nucleotide sequence of the iap gene, responsible for alkaline phosphatase isozyme conversion in Escherichia coli, and identification of the gene product, In: J. Bacteriology, 1987, Vol. 169, Band 12, Seite 5429–5433.

[11] JANSEN, Ruud [et al.]: Identification of genes that are associated with DNA repeats in prokaryotes, In: Mol. Microbiology, 2002, Vol. 43, Seite 1565–1575

[12] BOLOTIN, Alexander [et al.]: Clustered regularly interspaced short palindrome repeats (CRISPRs) have spacers of extrachromosomal origin, In: Microbiology, 2005, Vol. 151, Seite 2551–2561

[13] MAKAROVA, Kira S. [et al.]: A putative RNA-interference-based immune system in prokaryotes: computational analysis of the predicted enzymatic machinery, functional analogies with eukaryotic RNAi, and hypothetical mechanisms of action, In: Biology Direct, 2006, Vol. 1:7, Seite 1–23

[14] MOJICA, Francisco J.M. [et al.]: Intervening sequences of regularly spaced prokaryotic repeats derive from foreign genetic elements, In: J Mol Evol, 2005, Vol. 60, Band 2, Seite 174–182.

[15] BARRANGOU, Rodolphe [et al.]: CRISPR provides acquired resistance against viruses in prokaryotes, In: Science, 2007, Vol. 315, Seite 1709–1712

[16] SOREK, Rotem [et al.]: CRISPR--a widespread system that provides acquired resistance against phages in bacteria and archaea, In: Nat Rev Microbiol, 2008, Vol. 6 Band 3, Seite 181–186

[17] DEVEAU, Helene [et al.]: Phage Response to CRISPR-Encoded Resistance in Streptococcus thermophilus, In: J Bacteriol, 2008, Vol. 190, Band 4, Seite 1390–1400

[18] GARNEAU, Josiane E. [et al.]: The CRISPR/Cas bacterial immune system cleaves bacteriophage and plasmid DNA, In: Nature, 2010, Vol. 468, Seite 67–71

[19] LANDER, Eric S.: The heroes of CRISPR, In: Cell, 2016, Vol. 164, Seite 18–28

[20] DELTCHEVA, Elitza [et al.]: CRISPR RNA maturation by trans-encoded small RNA and host factor RNase III, In: Nature, 2011, Vol. 471, Seite 602–607

[21] MALI, Prashant [et al.]: Cas9 as a versatile tool for engineering biology, In: Nat Methods, 2013, Vol. 10, Band 10, Seite 957–963

[22] Zhang Lab: CRISPR Design, MIT 2015, URL: **http://crispr.mit.edu:8079/**

[23] ZETSCHE Bernd [et al.]: Cpf1 is a single RNA-guided endonuclease of a class 2 CRISPR-Cas system, In: Cell, 2015, Vol. 163, Band 3, Seite 759–771

[24] DATLINGER Paul [et al.]: Pooled CRISPR screening with single-cell transcriptome readout, In: Nature Methods, 2017, Vol. 14, Seite 297–301

[25] CAO, Hieu X. [et al.]: The power of CRISPR-Cas9-induced genome editing to speed up plant breeding, In: International Journal of Genomics, 2016, Vol. 2016, Seite 1–10

[26] ZHANG, Xiao-Hui [et al.]: Off-target Effects in CRISPR/Cas9-mediated Genome Engineering, In: Mol Ther Nucleic Acids, 2015, Vol. 4, Online publiziert, e264

[27] ZISCHNEWSKI, Julia [et al.]: Detection of on-target and off-target mutations generated by CRISPR/Cas9 and other sequence-specific nucleases. In: Biotechnology Advances, 2017, Vol. 35, Band 1, Seite 95–104

[28] SCHAEFER, Kellie A. [et al.]: Unexpected mutations after CRISPR-Cas9 editing in vivo, In: Nat Methods, 2017, Vol. 14, Seite 547–548

[29] DIANOV Grigory [et al.]: Mammalian base excision repair: the forgotten archangel, In: Nucleic Acids Res., 2013, Vol. 6, Seite 3483–3490

[30] RAN, Ann F. [et al.]: Double nicking by RNA-guided CRISPR Cas9 for enhanced genome editing specificity, In: Cell, 2013, Vol. 154, Band 6, Seite 1380–1389.

[31] CHIANG, Ting-Wei [et al.]: CRISPR-Cas9D10A nickase-based genotypic and phenotypic screening to enhance genome editing, In: Scientific Reports, 2016, Seite 1–17, Online publiziert, 6:24356

[32] The world of gene editing patents. In: Life Sciences Intellectual Property Review, URL: **http://www.lifesciencesipreview.com/article/the-world-of-gene-editing-patents** [abgerufen am 31. August 2017]

[33] SPIEKER Reiner: Polymerase-Kettenreaktion, PCR. In: DPMA-Erfinderaktivitäten, 2001

[34] Spiegel Online: Erbgut-Bastlerinnen gelten als Favoriten, 2015, URL: **http://www.spiegel.de/wissenschaft/mensch/nobelpreis-prognosen-2015-genexpertin-charpentier-ist-favoritin-a-1054716.html** [abgerufen am 31. August 2017]

[35] TRAVIS, John: Making the cut, In: Science, 2015, Vol. 350, Seite 1456–1457.

[36] COMMITTEE ON SCIENCE, TECHNOLOGY, AND LAW POLICY AND GLOBAL AFFAIRS: International summit on human gene editing, a global discussion, In: The national Academies of Sciences, Engineering, Medicine, 1. – 3. Dezember 2015

[37] Nationale Akademie der Wissenschaften Leopoldina, Deutsche Forschungsgemeinschaft, acatech – Deutsche Akademie der Technikwissenschaften, Union der deutschen Akademien der Wissenschaften: Chancen und Grenzen des genome editing / The opportunities and limits of genome editing, September 2015, 30 Seiten

[38] Nationale Akademie der Wissenschaften Leopoldina: Ethische und rechtliche Beurteilung des genome editing in der Forschung an humanen Zellen / Ethical and legal assessment of genome editing in research on human cells, März 2017, 32 Seiten

Notizen

Impressum

Herausgeber
Deutsches Patent- und Markenamt
Zweibrückenstraße 12
80331 München

Telefon +49 89 2195-1000
www.dpma.de

Stand
Dezember 2017

Bildnachweis
iStock.com/HYWARDS

www.dpma.de

ISSN 2193-8180