

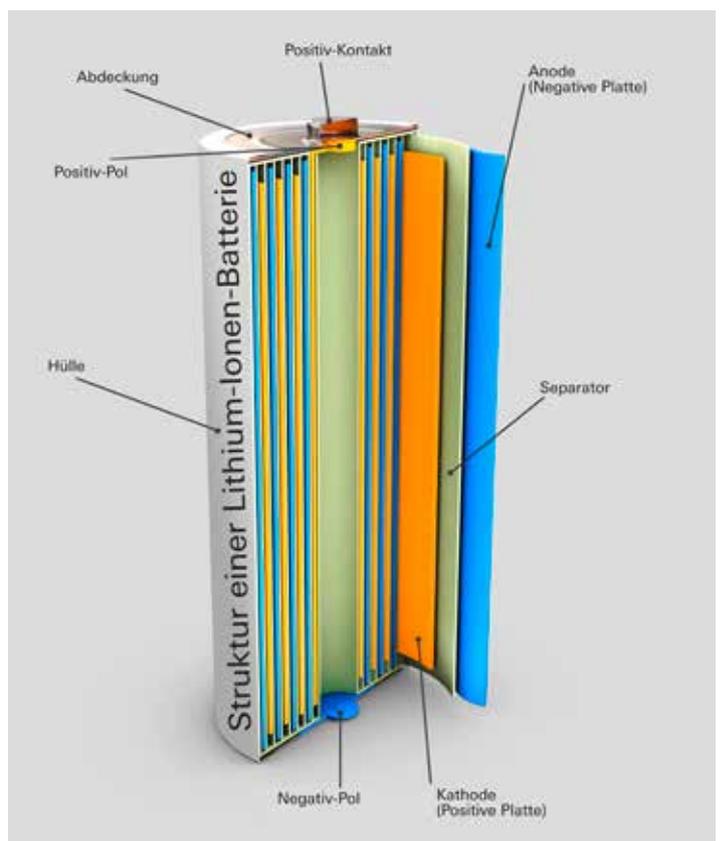


Batterieproduktion

Vakuum- und Lecksuchlösungen für saubere Energie

Batterieproduktion

Vakuum- und Lecksuchlösungen für saubere Energie



Inhalt

Vakuum- und Lecksuchlösungen für saubere Energie	4
Produktionsschritte, die Vakuum erfordern	6
Grundlagenforschung – Elektrodenbeschichtungen.	8
Grundlagenforschung – Materialien für Batteriegehäuse . 10	
Mischen	12
Vakuumtrocknung	14
Elektrolyt-Befüllung	16
Formation / Entgasung.	18
Lecksuche – End-of-Line-Test.	20
Lecksuche – Gehäuse von Batteriezellen	22
Lecksuche – Batteriekühlung	24
Lecksuche – Batteriepack.	26
Recycling	28
Dienstleistungen zur Dichtheitsprüfung	30
Pfeiffer Vacuum Service	32
Komponenten und Ventile	34

Batterieproduktion

Vakuum- und Lecksuchlösungen für saubere Energie

Heute werden mehr denn je umweltfreundliche Technologielösungen benötigt, um die weitere globale Erwärmung zu verhindern. Unsere Erde hat die Schwelle von 400 ppm Kohlendioxid in der Atmosphäre überschritten und die Durchschnittstemperatur ist in knapp hundert Jahren um fast 1°C gestiegen.

Energiespeicherung und Elektromobilität

Der laufende Übergang von fossilen zu erneuerbaren Energien erfordert kurzfristige Speichermedien mit hohem Wirkungsgrad, wie Batterien und Schwungräder. Eine der vielversprechendsten Optionen für zukünftige Energiespeicherung sind netzfähige Elektrofahrzeuge. Neben umweltfreundlicher Mobilität erhöht diese Option die Flexibilität des Stromsystems, indem die Energie immer dann optimal genutzt wird, wenn sie aus einer erneuerbaren Quelle wie einer Photovoltaik-Solarzellenanlage zur Verfügung steht.



Batterieproduktion

Haupttreiber

Allgemein

Batterien, insbesondere Lithium-Ionen-Batterien, sind aus unserem Alltag nicht mehr wegzudenken. Sie werden in mobilen Geräten wie Laptops, Smartphones und anderen Wearables eingesetzt. Batterien treiben sogar unsere Autos an. Doch wie werden diese kompakten Stromspeicher hergestellt und was hat das alles mit Vakuum und Lecksuche zu tun?

Diese Broschüre beantwortet diese Fragen, indem sie einen detaillierten Einblick in produktionsbezogene Vakuumanwendungen bei der Herstellung der heute gefragtesten Technologie gibt: Lithium-Ionen-Batterien.

Elektromobilität

Die Mobilität muss in Zukunft klimafreundlicher werden. Die durch den Verkehr verursachten CO₂-Emissionen stellen rund 24%¹⁾ der weltweiten CO₂-Emissionen dar. Damit hat die Mobilität einen erheblichen Einfluss auf unsere Umwelt. Es wird immer mehr CO₂ in die Atmosphäre abgegeben. Die Folge: Unsere Erde wird immer wärmer. Batterien haben das Potenzial, die mobilitätsbedingten CO₂-Emissionen zu reduzieren. Zusätzlich können sie zur Speicherung von Energie aus erneuerbaren Energiequellen genutzt werden.

Netzstabilität

Batteriespeichersysteme können auch zur Stabilisierung von Stromnetzen eingesetzt werden. Sie sollen die Netzstabilität gewährleisten, indem sie kurzfristige Schwankungen der Netzfrequenz stabilisieren. Um diese Schwankungen auszugleichen, muss je nach Bedarf schnellstmöglich Energie ins Netz eingespeist oder entnommen werden. Batteriespeichersysteme sind perfekt geeignet, um schnell auf diese Netzschwankungen zu reagieren.

Zukünftige Technologien

Neben der Lithium-Ionen-Batteriezelle mit flüssigem Elektrolyt wird bereits an einer neuen Generation von Lithium-Ionen-Batterien geforscht: der sogenannten „Solid State Battery“, die sich durch einen festen Elektrolyten auszeichnet. Dann werden andere Vakuumanwendungen als bei den heutigen Produktionsverfahren von Lithium-Ionen-Batterien relevant werden. Bis zur Marktreife der neuen Batterie-Generation wird es jedoch noch einige Zeit dauern.

¹⁾ <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/167957/umfrage/verteilung-der-co-emissionen-weltweit-nach-bereich/>

Batterieproduktion

Produktionsschritte, die Vakuum erfordern

Grundlagenforschung

Batteriekomponenten spielen bei der Batterieproduktion eine große Rolle. Insbesondere die Zusammensetzung und Struktur der Elektroden, die einen erheblichen Einfluss auf die Leistung und die Lebensdauer einer Batteriezelle haben. Darüber hinaus sind Beschichtungsprozesse unter Vakuum entscheidend, um die Batterie vor Korrosion oder negativen Auswirkungen auf die Grenzschichten zwischen den Elektroden zu schützen. Auch das Gehäuse einer Batterie darf nicht vernachlässigt werden. Eine hohe Dichtigkeit ist zwingend erforderlich, um das Eindringen von Feuchtigkeit in die Batterie zu verhindern, was eine nicht akzeptable Leistungsver schlechterung zur Folge hätte. Daher ist die Grundlagenforschung von großer Bedeutung.

Mischen

Beim Mischen der „Slurry“ für die Elektroden der Zelle ist es notwendig, das Eintreten von Gasblasen zu vermeiden. Mit Hilfe von Vakuum können Luft einschüsse in der „Slurry“ verhindert und diese somit homogen hergestellt werden.

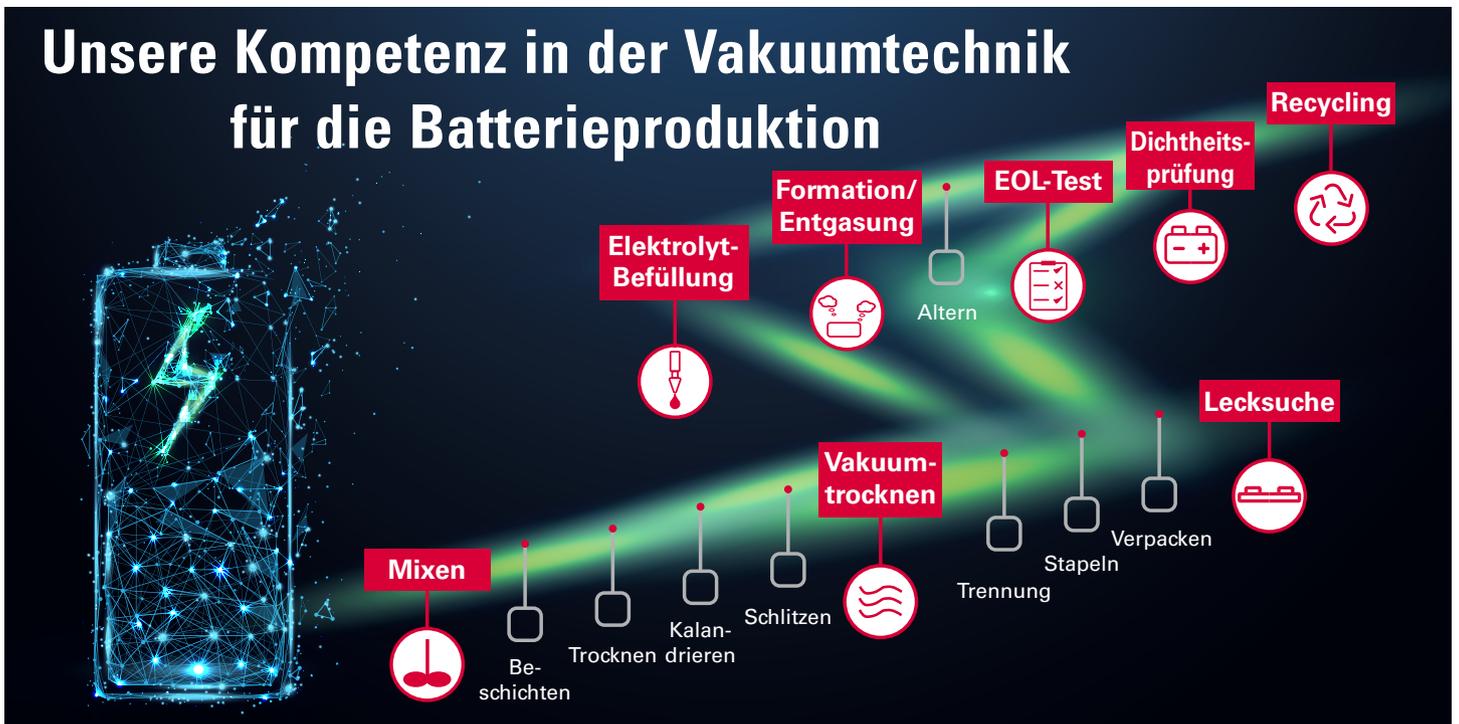
Vakuumtrocknung

Ein wichtiger Schritt in der Batterieproduktion ist die gründliche Trocknung der Materialien. Restfeuchte in den Zellen führt zu schnellem Leistungsverlust und vorzeitiger Alterung. Die Trocknung der beschichteten Elektroden der Zelle unter Vakuum garantiert minimale Restfeuchte und bereitet die Elektroden für die nächsten Produktionsschritte im Trockenraum vor.

Elektrolyt-Befüllung

Beim Befüllen der Zelle wird der Elektrolyt über eine hochpräzise Dosierlanze unter Vakuum eingebracht. Durch ein definiertes Druckprofil, durch abwechselndes Evakuieren und Inertgasspülen der Zelle, wird der Kapillareffekt aktiviert. Dies führt zu einer homogenen Verteilung des Elektrolyten. Durch diesen optimierten Benetzungsprozess wird die Qualität und Lebensdauer der Zelle erhöht.

Unsere Kompetenz in der Vakuumtechnik für die Batterieproduktion



Formation/Entgasung

Bei der Formation von Batteriezellen kommt es beim ersten Ladevorgang der Zelle zu einer starken Gasentwicklung. Unter einer Schutzatmosphäre im Vakuum werden die austretenden Gase abgesaugt. Da diese Gase toxisch und teilweise explosionsgefährlich sind, müssen kundenspezifische Anforderungen an die Vakuumtechnik berücksichtigt werden.

End-of-Line-Test

Am Ende der Produktion muss eine Batteriezelle das Qualitätsniveau des Herstellers erfüllen. Elektrische Sicherheit, Dichtheit, aber auch die festgelegten Spezifikationen des Endkunden sind die Hauptgründe für die Durchführung von End-of-Line-Tests. Hohe Taktzeiten müssen eingehalten werden, da der aktuelle und zukünftige Bedarf in Bezug auf Quantität und Qualität eine 100%ige Prüfung erfordert.

Lecksuche

Um die langfristige Leistung und den sicheren Betrieb einer Batterie zu gewährleisten, ist die Lecksuche ein wesentlicher Schritt in der Qualitätskontrolle. Dies gilt für Batteriekomponenten, Kühlung, Batteriemodule und Batteriepacks. Die Zelle muss vor dem Eindringen von Feuchtigkeit geschützt werden, um die Sicherheit des Systems zu gewährleisten.

Batterie-Recycling

Um den Wechsel von konventioneller zu elektrischer Mobilität zu ermöglichen, muss die Verfügbarkeit von Ressourcen gesichert werden. Wie bei jedem anderen Produkt, ist Recycling ein kosteneffizienter und nachhaltiger Weg, um den Bedarf an neu geförderten Ressourcen zu reduzieren. Neue, vielversprechende Recyclingmethoden können bei der Nutzung von Prozessen unter Vakuum eine Recyclingrate von bis zu 91 % erreichen.

Batterieproduktion

Grundlagenforschung – Elektrodenbeschichtungen

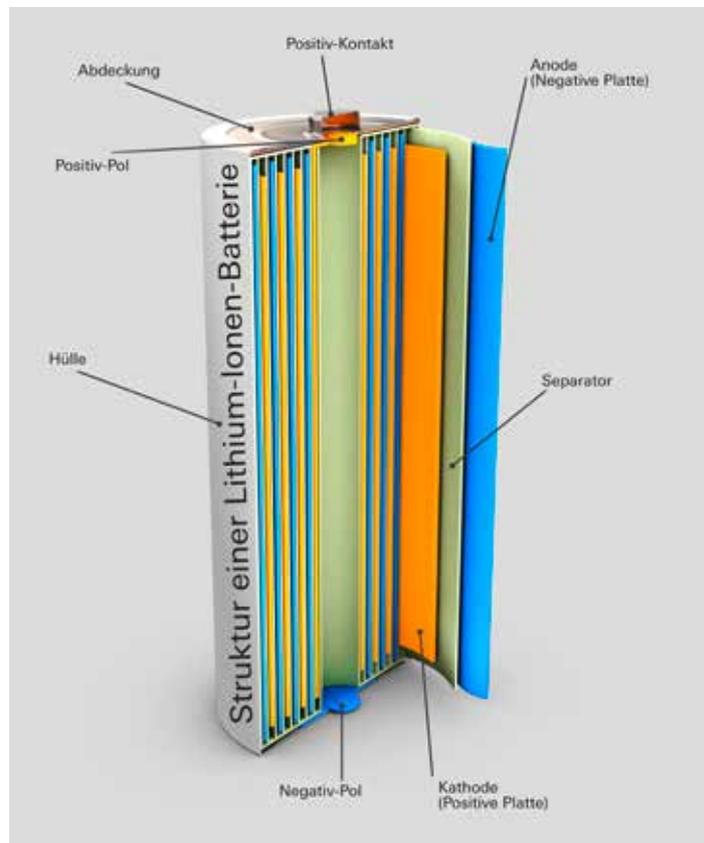
Grundlagen

Im Prinzip besteht jede Batterie aus einer positiven und einer negativen Elektrode, einem Separator und einem dazwischen liegenden Elektrolyten. Für jede der Komponenten gibt es zahlreiche Materialien und noch mehr Kombinationen dieser. Allen gemeinsam ist, dass die Leitfähigkeit der Elektroden entscheidend für die Gesamtleistung der Batterie ist. Dies gilt nicht nur für die Leitfähigkeit des Bulkmaterials, sondern auch für Oberflächen- und Grenzflächenphänomene an den Elektroden.

Beschichtungen auf Elektronenkollektoren aus Aluminium oder Kupfer passivieren die jeweilige Oberfläche des leitenden Materials und schützen die Materialien vor Korrosion. Dadurch wird die Lebensdauer der gesamten Batterie verlängert. Außerdem werden negative Auswirkungen auf die Grenzschichten zwischen Elektroden und ihrer Umgebung reduziert. Dies führt zu einer verbesserten Grenzflächenleitfähigkeit und einer erhöhten Batterieleistung.

Anforderungen

Die Technologie, die zur Anwendung dieser Oberflächenmodifikation verwendet wird, ist die physikalische Gasphasenabscheidung (PVD), z. B. die Sputterdepositionstechnologie. Das Material wird von einer Materialquelle, dem „Target“, auf die Elektrode, das „Substrat“, abgeschieden. Die Sputter-Beschichtung wird bei niedrigen Drücken betrieben, um eine Kontamination der abgeschiedenen Schicht mit Partikeln oder unerwünschten Elementen aus der Umgebungsluft zu verhindern. Für ersteres kann die Substratoberfläche, d.h. die Elektrodenoberfläche, durch verschiedene Maßnahmen wie z.B. Plasmaätzen im Vakuum gereinigt werden, um eine reine Oberfläche für beste elektrische Leistung zu schaffen. Um die inerte Oberfläche zu erhalten, bieten niedrige Drücke eine geringe Kontaminationswahrscheinlichkeit.



Zusammensetzung einer zylindrischen Lithium-Ionen-Zelle

Komplettlösung

Das Grobvakuum zur Vorreinigung der zu beschichtenden Oberfläche und das Prozessvakuum werden von Pfeiffer Vacuum Turbopumpen mit perfekt abgestimmten Vorpumpen erzeugt. Das komplette Pfeiffer Vacuum Produktportfolio umfasst auch Vakuorkammern, Messgeräte, Ventile, Armaturen, Anschlussstücke und alles weitere Zubehör, das für den Aufbau einer perfekten Beschichtungslösung benötigt wird.



Forschung zu Elektrodenbeschichtungen

Produktübersicht

Turbopumpe HiPace	Schraubenpumpe HeptaDry L	Wälzkolbenpumpe OktaLine
		
<ul style="list-style-type: none">■ Die HiPace Turbopumpe ist eine robuste und gleichzeitig wirtschaftliche Lösung■ Hohe Sauggeschwindigkeit für leichte und schwere Gase■ Hohe Prozessfähigkeit, robust gegen Partikel■ Maximale Betriebssicherheit durch Überwachung der Betriebsdaten■ Umfangreiches Angebot an Zubehör	<ul style="list-style-type: none">■ Sauggeschwindigkeit bis zu 950 m³/h■ Kompakte Bauweise■ Hohes Saugvermögen bei atmosphärischem Druck -> schnelles Abpumpen, hohe Leistung■ Robusteste und langlebigste Pumpenausführung:■ Niedrige Drehzahl, berührungslose Dichtungen, Standard-Industriemotor■ Niedrige Gesamtkosten: Geringer Energieverbrauch, lange Wartungsintervalle, keine Kosten für Öl oder Filter	<ul style="list-style-type: none">■ Verfügbare Ansauggeschwindigkeiten: 145 – 27.400 m³/h■ Kurze Abpumpzeiten durch hohes Kompressionsverhältnis und Überströmventil■ Geringe Betriebskosten durch Luftkühlung■ Optional: verschleißfreie Magnetlager zur Verlängerung der Wartungsintervalle und keine ungeplanten Stillstandszeiten durch Ölleckagen.

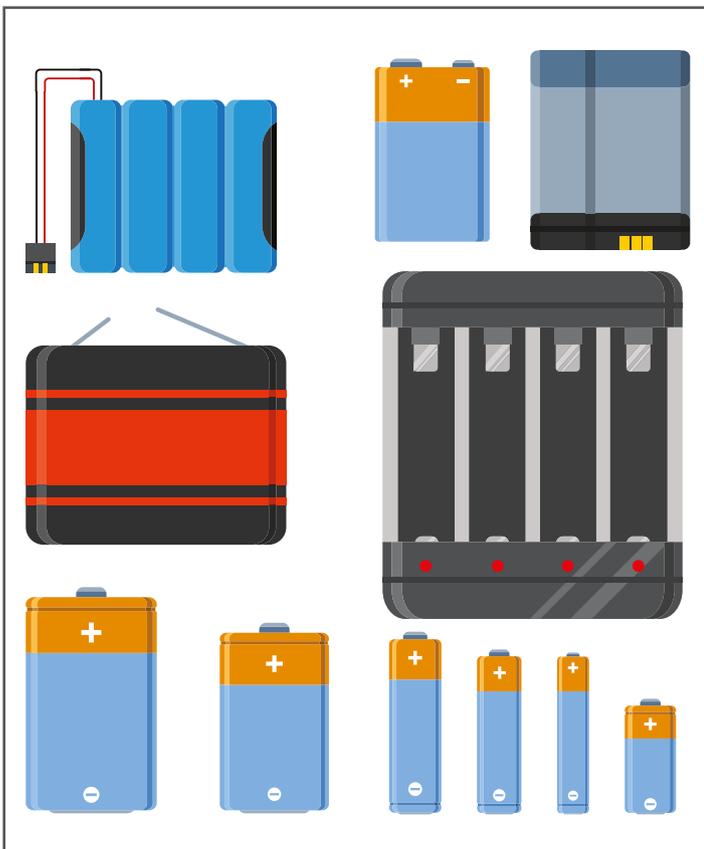
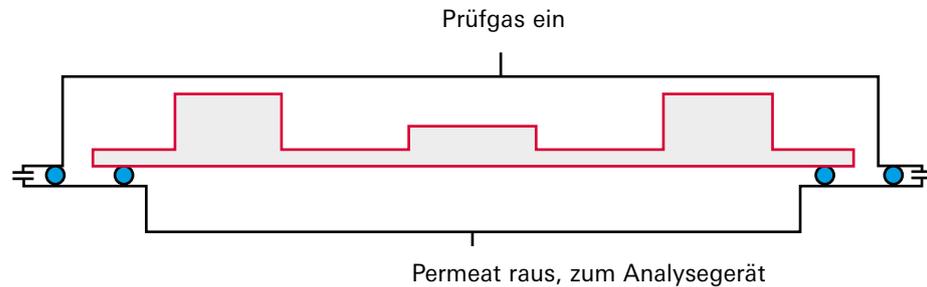
Batterieproduktion

Grundlagenforschung – Materialien für Batteriegehäuse

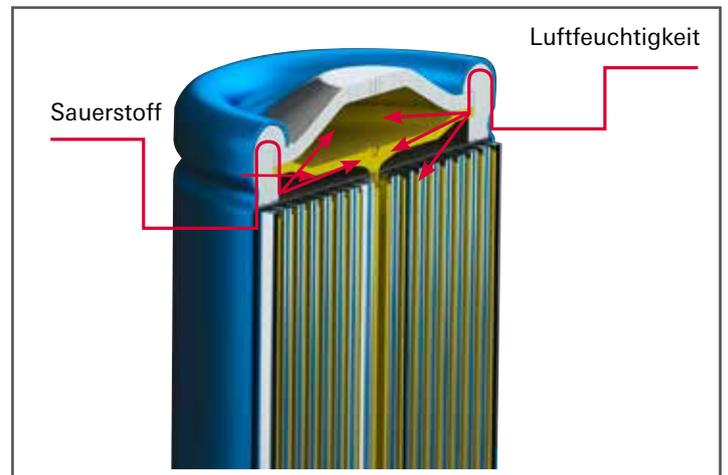
Grundlagen

In die Deckel von prismatischen und zylindrischen Batteriegehäusen sind viele wichtige Funktionen einer Batterie integriert: Elektroden und deren elektrische Isolation gegen das Gehäuse, eine Überdrucksicherheitsfunktion und die Öffnung für die Elektrolytbefüllung. Die Dichtheit jeder einzelnen Funktionskomponente spielt eine entscheidende Rolle für die Gesamtleistung der Batterie. Entspricht der Dichtheitsgrad während der Produktlebensdauer nicht den technischen Anforderungen, kann das Eindringen von Feuchtigkeit und Sauerstoff zu einer nicht akzeptablen, schnellen Verschlechterung der elektrischen Leistung der Batterie führen. Andererseits kann der Elektrolyt, welcher Fluor enthalten könnte, mit den eintretenden Gasen reagieren und gefährliche Chemikalien wie Fluorwasserstoff bilden oder sich entzünden.

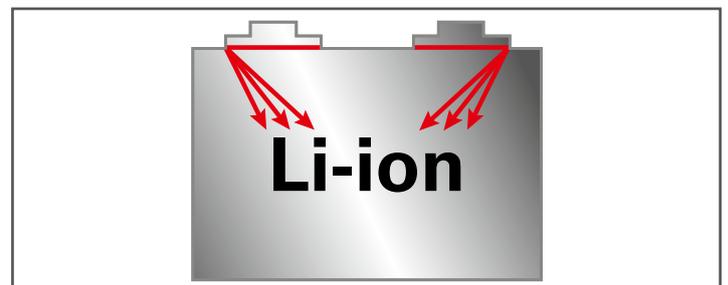
Permeationsprüfung – Schematischer Aufbau



Übersicht über verschiedene Typen von Batteriegehäusen



Eindringen von Feuchtigkeit und Sauerstoff durch das Gehäuse einer zylindrischen Zelle



Eindringen von Feuchtigkeit und Sauerstoff durch das Gehäuse einer prismatischen Zelle

Anforderungen

Dichtheit bedeutet auch geringe Permeation, d.h. Feuchtigkeits- und Sauerstoffdurchtritt durch feste Materialien. Die nichtleitenden Materialien der Batteriezelle spielen eine wichtige Rolle bei der Gesamtanforderung an die Dichtigkeit der Batterie. Die Permeation durch Elastomer- oder Glasmaterialien muss so gering sein, dass die Gasaufnahme über die Lebensdauer der Batterie vernachlässigt werden kann.

Der Lebenszyklus eines Geräts der Unterhaltungselektronik, zum Beispiel eines Smartphones, beträgt etwa zwei Jahre. Die Funktionalität des mobilen Geräts über diesen durchschnittlichen Zeitraum bestimmt dann die Dichtheitsspezifikation für eine Batterie, ein Gehäuse oder die Permeation von Materialien.

Die Funktionalität über diesen Zeitraum ist jedoch für E-Mobility-Anwendungen, bei denen eine Lebensdauer von 15 Jahren gefordert ist, nicht ausreichend. Folglich müssen Materialien, die für Mobilitätsanwendungen eingesetzt werden, strengeren Qualitätsanforderungen genügen.

Vollständige Lösung

Die Quadrupol-Massenspektrometer und GSD-Gasanalyzesysteme von Pfeiffer Vacuum bieten eine perfekte Lösung, um die Gasübertragungseigenschaften der Dichtungsmaterialien mit jedem gewünschten Gas zu messen. In einem zweiten Schritt kann die Korrelation zwischen dem Gastransfer der jeweiligen Materialien und dem in der Serienprüfung verwendeten Tracergas ermittelt werden, um ein industrielles Serienprüfungsrezept zu entwickeln.

Die Robustheit der Analysegeräte und die Vielseitigkeit der mechanischen Schnittstellen ermöglicht eine präzise Integration in bestehende Prüfstände wie Klimakammern zum Test der Temperaturwechselbeständigkeit oder die Prüfung nach Intervalluntersuchungen wie einem Salzsprühtest.

Datenschnittstellen ermöglichen die Übertragung und Speicherung nicht nur von Massenspektrometriedaten, sondern auch anderer Quellen in einer zentralen Datenbank. Der Zugriff auf die Daten und die Datenanalyse wird massiv erleichtert, um eine schnelle Markteinführung des zu entwickelnden Produkts zu ermöglichen.

Industrie 4.0 beginnt bereits auf F&E-Ebene!

Produktübersicht

**Gasanalysator
GSD 350**



- Qualitative und quantitative Gasanalyse
- Niedrige Nachweisgrenze auch für kondensierbare Gase
- Beheizter Kapillareinlass, bis zu 350 °C
- Ausheizbare, ganzmetallisch abgedichtete Hochvakuumkammer für geringe Rückstände
- Kundenspezifische Ausführungen möglich, z. B. druckgeregelter Einlass, spezielle Einlasssysteme, spezielle Gehäuseformen
- Option für weiche Ionisierung (15 – 100 eV)
- Kompakt und tragbar
- Geringer Gasverbrauch
- Schnelle Messzeit

Batterieproduktion

Mischen

Grundlagen

Beim Mischen werden zwei unterschiedliche Ausgangsmaterialien mit Hilfe eines Mischers zu einer sogenannten „Slurry“, einer Aufschlämmung, zusammengeführt. Der Prozess gliedert sich in zwei Schritte. Im ersten Schritt wird der Wirkstoff mit Additiven und Bindemitteln vermischt. Im zweiten Schritt wird das Lösungsmittel zugegeben und die Lösung so lange gemischt, bis eine homogene „Slurry“ entstanden ist. Die Mischtemperatur variiert zwischen 20 °C und 40 °C. Die „Slurry“ wird für jede Elektrode vorbereitet. Dadurch ergibt sich für Anode und Kathode eine unterschiedliche Rezeptur. Um Lufteinschlüsse zu vermeiden, sollte der Mischschritt unter Vakuum durchgeführt werden. Je größer die Slurry-Charge ist, desto schwieriger ist es, Lufteinschlüsse zu vermeiden. Bei großen Chargen wird daher der Einsatz von Vakuum empfohlen. Dies erfordert Drücke oberhalb des Dampfdrucks des Lösungsmittels.

Anforderungen

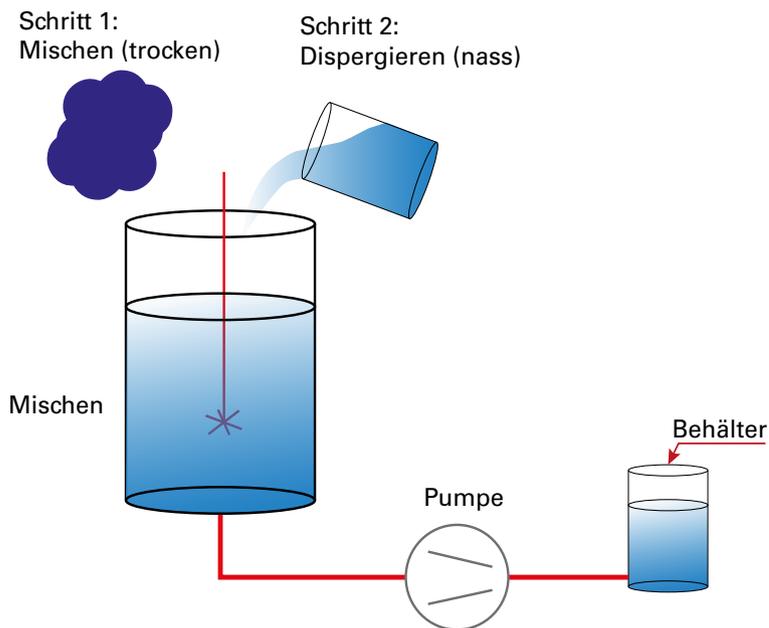
Wenn möglich, sollte das Vakuum durch eine trockene Pumpe erzeugt werden, um den Eintrag von Betriebsmitteln in den Prozess zu vermeiden. Wenn eine ölgeschmierte Pumpe (z. B. Drehschieberpumpe) verwendet werden soll, kann diese mit einem Ölnebelabscheider ausgestattet werden, der mit einzelnen Filterelementen den Eintritt von Öldämpfen in den Prozess verhindert.



Mischen der „Slurry“ unter Vakuum

Komplettlösung

Pfeiffer Vacuum bietet trockene und ölgeschmierte Pumpen zur Vakuumerzeugung an, um Lufteinschlüsse in der Slurry zu vermeiden. Mit unserer Baureihe trockener Schraubenpumpen und unseren neuen trockenen Scrollpumpen kann keine Betriebsflüssigkeit in den Prozess gelangen. Auch unsere ölgeschmierten einstufigen Drehschieberpumpen sind mit einem Ölnebelfilter ausgestattet, um das Eindringen von Öldämpfen in den Prozess zu verhindern.



Mischprozess - Schritte

Produktübersicht

Schraubenpumpe HeptaDry	Drehschieberpumpe HenaLine	Scroll Pumpe HiScroll
 <ul style="list-style-type: none"> ■ Höchstes Saugvermögen ■ Schnelle Evakuierung von großen Kammern ■ Kürzeste Zykluszeit ■ Hervorragende Zuverlässigkeit und Robustheit 	 <ul style="list-style-type: none"> ■ Saubere Abluft durch integrierten Ölnebelabscheider ■ Hohe Energieeffizienz durch intelligentes Design und optionale Energierückgewinnung durch Kühlwasser ■ Maximale Zuverlässigkeit sowie Prozesssicherheit ■ Geringe Wartungskosten durch Direktantrieb und lange Ölwechselintervalle 	 <ul style="list-style-type: none"> ■ Schnelle Evakuierung von kleinen Kammern ■ Einfache Integration ■ Intelligente Überwachung ■ Kurze Zykluszeit ■ Überlegene Lagerlebensdauer ■ Bestes Preis-/Leistungsverhältnis

Batterieproduktion

Vakuumtrocknung

Grundlagen

Die zur Beschichtung der Anoden-/Kathodenelektroden verwendeten Materialien zeigen ein ausgeprägtes hygroskopisches Verhalten. Die Sorptionsgleichgewichtskurven, z. B. für die Anode, zeigen Beladungen von mehreren 1000 ppm in Abhängigkeit von der Umgebungsfeuchte. Durch die Verarbeitung im Trockenraum kann nicht sichergestellt werden, dass die Feuchtebelastung der Beschichtungen unterhalb der tolerierbaren Werte (< 300 ppm) bleibt. Eine zu hohe Feuchtebelastung wirkt sich negativ auf die Anzahl der Ladezyklen, die Ladekapazität und damit auf die Lebensdauer der Zellen aus.

Dies macht eine mehrmalige Trocknung während des Produktionsprozesses notwendig.

Typische Beispiele sind:

- Anoden-/Kathoden-/Separatorschichten werden vor dem Schneiden zu Blechen getrocknet.
- Prismatische Zellen erhalten eine Nachtrocknung vor der eigentlichen Elektrolytbefüllung

Anforderungen

Nicht nur der Restfeuchtegehalt, sondern auch eine schonende Nachtrocknung mit geringen Strukturveränderungen der Schichten auf Mikroebene sind entscheidend für eine gute elektrochemische Performance. Insbesondere die zur Beschichtung der Elektrodenbänder verwendeten Binder (CMC an der Anode und PVDV an der Kathode) zeigen bei zu hohen Trocknungstemperaturen Sprödigkeit und thermisches Kriechen, was zu einer Verschlechterung der Schichtstruktur führt.

Daher ermöglicht der Einsatz von Vakuumtechnologien eine optimale Trocknung bei niedrigen Temperaturen (80 bis 100°C) und bei Basisdrücken unter 1 mbar, um die höchste Qualität der Zellen zu erreichen.

Trocknungsprozesse

Die Elektrodenbänder werden in mehrere kleine Bänder geschnitten und anschließend zu Coils aufgerollt. Diese werden in Tunnelöfen gelagert und getrocknet, die gleichzeitig als Transferkammern zwischen dem Reinraum der Elektrodenbandproduktion und dem Trockenraum der Zellmontage dienen.

Ein typischer Prozess besteht aus dem Wechsel zwischen den folgenden Schritten:

1. Aufheizen der Spulen mit Heißluft
2. Zwischenvakuum-Druckreduzierung
3. Feinvakuumphase mit Infrarotheizung der Spulen, die für die notwendige Verdampfungswärme unter Vakuumbedingungen sorgt.

Die Endtrocknung der prismatischen Zellen vor der Elektrolytbefüllung erfolgt in einer dreistufigen Inline-Trockenkammer: Einschleusungs- und Vorheizkammer, Endtrockenkammer und Abkühlungs- sowie Ausschleusungskammer. Der Trocknungsprozess ist ähnlich dem oben beschriebenen Trocknungsprozess und besteht im Wesentlichen aus dem Aufheizen mit heißem Stickstoff (bis zu 100°C) mit abwechselnder Zwischendruckabsenkung.

Komplettlösung

Pfeiffer Vacuum liefert Vakuumpumpen zum Evakuieren auf mittlere und Feinvakuum-Bereiche, Druckmessgeräte zur Kontrolle des Drucks im Ofen sowie Ventile, Flansche und Komponenten zum Verbinden der verschiedenen Vakuumkomponenten.

Geeignet für diese Prozesse sind zweistufige Vakuumpumpstände, bestehend aus Wälzkolbenpumpe und trockener Schraubpumpe. Die standardisierten mehrstufigen Wälzkolbenpumpstände, die aus diesen Pumpen bestehen, sind die CombiLine-Baureihen WH (OktaLine) und RH (HiLobe) mit einem breiten Saugvermögensbereich und einem Endvakuum bis zu $5 \cdot 10^{-3}$ hPa.

Für den Fall, dass der richtige Pumpstand nicht im Standardportfolio enthalten ist, bietet Pfeiffer Vacuum kundenspezifische Vakuumlösungen, die speziell auf den Produktionsprozess des Kunden abgestimmt sind.

Für die Druckkontrolle bietet das Portfolio von Pfeiffer Vacuum ein breites Spektrum an analogen und digitalen Messgeräten (DigiLine, ActiveLine, CenterLine und ModulLine) mit unterschiedlichen Messprinzipien.

Produktübersicht

Pumpstand CombiLine RH	Pumpstation CombiLine WH	Vakuum-Messgeräte ActiveLine PCR 280 / DigiLine RPT 200
		
<ul style="list-style-type: none">■ Ölfreies Pumpsystem:■ HiLobe Wälzkolbenpumpe und HeptaDry Pumpe■ Schnelle Evakuierung von mittleren und großen Kammern■ Hervorragende Leistung bei starker Beanspruchung■ Hohe Betriebszeit und lange Wartungsintervalle	<ul style="list-style-type: none">■ Ölfreies Pumpsystem:■ OktaLine Wälzkolbenpumpe und HeptaDry Pumpe■ Montiert und verrohrt auf einem robusten gemeinsamen Rahmen■ Optional ist jede Pumpeinheit auch mit Schaltung und SPS erhältlich	<ul style="list-style-type: none">■ Messbereich■ $1 \cdot 10^{-4}$ - 1.200 hPa■ $5 \cdot 10^{-5}$ - 1.500 hPa■ Zwei unterschiedliche Sensoren in einem Gehäuse■ Gasartunabhängig

Batterieproduktion

Elektrolyt-Befüllung

Grundlagen

Der flüssige Elektrolyt ermöglicht den Li-Ionen-Transport zwischen den Elektroden. Der Benetzungsgrad hat einen großen Einfluss auf die Leistungsfähigkeit der Batterie, da nicht benetzte Abschnitte von Elektroden und Separator nicht zu elektrochemischen Reaktionen beitragen. Außerdem können sich an unbenetzten Abschnitten nadelförmige Strukturen auf den Elektroden bilden, die in die Isoliermaterialien eindringen und durch Kurzschlüsse benachbarter Elektroden Sicherheitsprobleme auslösen können.

Anforderungen

In der Produktion wird durch den Elektrolytbefüllungsprozess eine definierte Menge Elektrolyt innerhalb einer durch den Gesamtprozess bestimmten Taktzeit in die Batterie dosiert. Beim Dispensieren des Elektrolyten werden die Hohlräume der gestapelten oder gewickelten Zelle nicht vollständig gefüllt. Die optimale Verteilung des Elektrolyten während des Füllvorgangs hat einen großen Einfluss auf den nachfolgenden Schritt der „Benetzung“ und erfordert ein schnelles effektives Eindringen des Elektrolyten in das poröse Medium der Batterie, da dies einen sehr kostspieligen Engpass in der Zellproduktion darstellt.

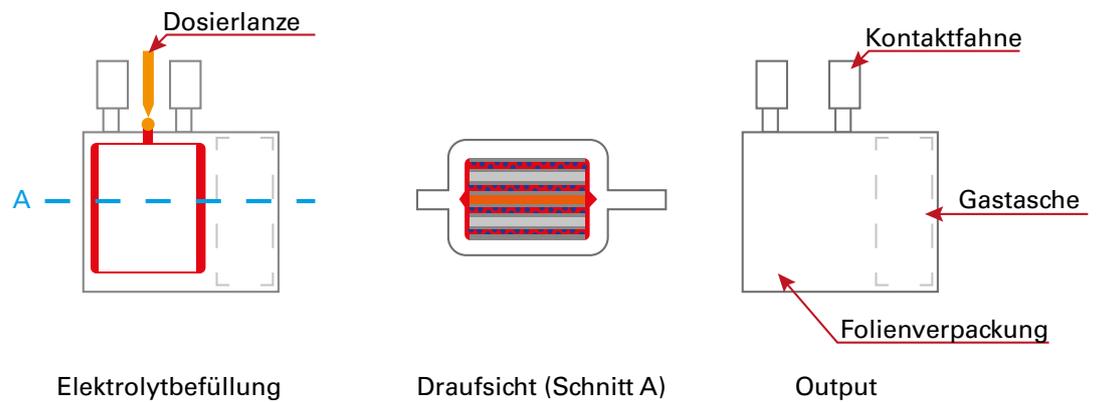
Die Dauer des Benetzungsvorgangs kann durch den Schritt der Elektrolytbefüllung beeinflusst werden. In vielen Fällen wird die Gasmenge in der Zelle durch Evakuierung vor dem Befüllen reduziert. Der Evakuierungsprozess kann durch aufeinanderfolgende Evakuierungs-/Entlüftungssequenzen (Druckwechsel) optimiert werden und das Entlüftungsgas kann zur Anpassung der Restfeuchte in der Zelle verwendet werden. Somit hat ein optimierter Füllprozess das Potenzial, die Produktqualität deutlich zu verbessern und gleichzeitig die Energiekosten und die Gesamtprozesszeit zu reduzieren.

Es gibt keine allgemeingültige Best Practice für einen Elektrolytbefüllungsprozess, d.h. es existiert ein breites Spektrum an Prozessanforderungen und Gerätespezifikationen. Für die Evakuierungs- und Nachfüllschritte können entweder präzise Zeitrezepte oder druckabhängige Prozesse gefahren werden. Die Geometrie der Füllöffnungen in den jeweiligen Zellen und Zellentypen definiert eine Leitwertbegrenzung für den Evakuierungsprozess. Dies beeinflusst das verfügbare Basisdruckregime und damit die Auswahl der Pumplösung.

Es ist üblich, Pouchzellen innerhalb der Füllvorrichtung bei niedrigem Druck zu verschließen. Im Gegensatz dazu werden prismatische und zylindrische Zellen nach dem Befeuchtungsvorgang meist bei Umgebungsdruck versiegelt.

Komplettlösung

Pfeiffer Vacuum kann einzelne Vakuumpumpen oder Pumpstände liefern, die beide in der Lage sind, das gewünschte Druckniveau in der erforderlichen Zeit zu erreichen. Alle Produktreihen sind als trockene Lösungen erhältlich, um das Eindringen von unerwünschten Kohlenwasserstoffen in das Batteriegehäuse zu verhindern. Saugfähigkeit, Basisdruck, zeitliche Anforderungen, Medientoleranz und die Fähigkeit, den Druck auf hohem Niveau zu wechseln, bestimmen die Auswahl der geeigneten Produktfamilie.



Elektrolyt-Befüllung einer Pouchzelle unter Vakuum

Produktübersicht

Mehrstufige Wälzkolbenpumpen ACP / A 200 L	Scroll Pumpe HiScroll	Schraubenpumpe HeptaDry
		
<ul style="list-style-type: none"> ■ Schnelles Evakuieren von kleinen und mittleren Kammern ■ Hervorragende Leistung bei schweren Zyklen ■ Mehrere Gasballastoptionen ■ Hohe Betriebszeit und lange Wartungsintervalle 	<ul style="list-style-type: none"> ■ Schnelle Evakuierung von kleinen Kammern ■ Einfache Integration ■ Intelligente Überwachung ■ Kurze Zykluszeit ■ Überlegene Lagerlebensdauer ■ Bestes Kosten-/Leistungsverhältnis 	<ul style="list-style-type: none"> ■ Höchstes Saugvermögen ■ Schnelle Evakuierung von großen Kammern ■ Kürzeste Zykluszeit ■ Überlegene Zuverlässigkeit und Robustheit

Batterieproduktion

Formation / Entgasung

Formation

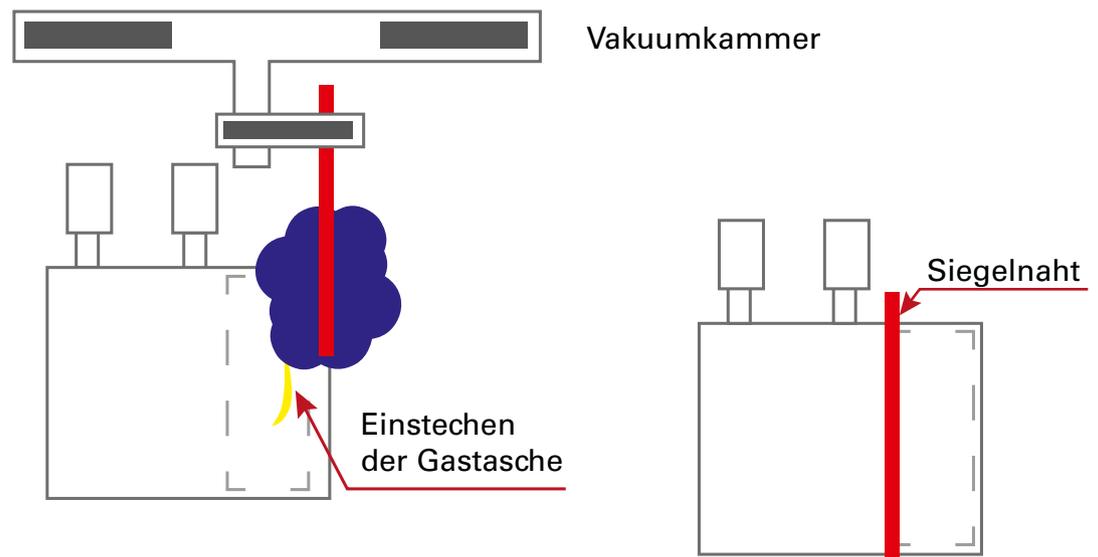
Bei der Formation findet zum ersten Mal der Lade- und Entladevorgang statt. Dazu werden die Zellen in Geräte eingespannt und mittels Federkontaktstiften kontaktiert. Nach erfolgter Kontaktierung wird die Zelle nach genau definierten Strom- und Spannungskurven geladen und entladen. Dieser Prozessschritt stellt das Kernwissen der Batteriehersteller dar. Die individuellen Parameter für den Lade- und Entladevorgang bestimmen maßgeblich die spätere Leistungsfähigkeit der Zelle.

Entgasung

Die Entgasung wird vor allem bei Pouchzellen eingesetzt, da beim ersten Ladevorgang oft eine starke Gasentwicklung auftritt. Diese Gase werden von Produktträgern in die dafür vorgesehene sogenannte „Gastasche“ gepresst. Anschließend wird die Gastasche unter Vakuum durchstochen und die austretenden Gase werden bei einem Druck von ca. 100 mbar abgesaugt. Die Gastasche wird anschließend durch Abdichten des Bereichs zwischen Zelle und Tasche getrennt und als Sondermüll entsorgt. Bevor die abgesaugten Gase einem Abluftsystem zugeführt werden können, müssen sie entsprechend den Arbeitsschutz- und Umweltvorschriften behandelt werden.

Anforderungen

Zur Erzeugung des Vakuums können insbesondere trockene Schraubenpumpen, aber auch trockene Wälzkolbenpumpen oder Drehschieberpumpen eingesetzt werden. Die Pumpen sollten nur gegen giftige Dämpfe beständig sein.



Entgasung einer Pouchzelle unter Vakuum

Komplette Lösung

Pfeiffer Vacuum kann einzelne Vakuumpumpen oder Pumpstände liefern, die in der Lage sind, das gewünschte Druckniveau zu erreichen, um die Entgasung zu gewährleisten. Für den Fall, dass der richtige Pumpstand nicht im Standardportfolio enthalten ist, bietet Pfeiffer Vacuum kundenspezifische Vakuumlösungen, die speziell auf den Produktionsprozess des Kunden abgestimmt sind.



Smartphone-Akku

Produktübersicht

Pumpstand CombiLine RH	Pumpstand CombiLine WH	Schraubpumpe HeptaDry	Drehschieberpumpe HenaLine
			
<ul style="list-style-type: none"> ■ Ölfreies Pumpsystem: ■ HiLobe Wälzkolbenpumpe und HeptaDry Pumpe ■ Schnelle Evakuierung von mittleren und großen Kammern ■ Hervorragende Leistung bei starker Beanspruchung ■ Hohe Betriebszeit und lange Wartungsintervalle 	<ul style="list-style-type: none"> ■ Ölfreies Pumpsystem: ■ OktaLine Wälzkolbenpumpe und HeptaDry Pumpe ■ Montiert und verrohrt auf einem robusten gemeinsamen Rahmen ■ Optional ist jede Pumpe auch mit Schaltschrank und SPS erhältlich 	<ul style="list-style-type: none"> ■ Höchstes Saugvermögen ■ Schnelle Evakuierung von großen Kammern ■ Kürzeste Zykluszeit ■ Überlegene Zuverlässigkeit und Robustheit 	<ul style="list-style-type: none"> ■ Saubere Abluft durch integrierten Ölnebelabscheider ■ Hohe Energieeffizienz durch intelligentes Design und optionale Energierückgewinnung durch Kühlwasser ■ Maximale Zuverlässigkeit sowie Prozesssicherheit ■ Geringe Wartungskosten durch Direktantrieb und lange Ölwechselintervalle

Batterieproduktion

Lecksuche – End-of-Line-Test

Grundlagen

Nach der Endmontage aller einzeln gefertigten, montierten und geprüften Teile muss das entstehende Produkt eine Reihe von abschließenden Tests bestehen - die End-of-Line-Tests. Exemplarisch bedeutet dies für den Automobilhersteller zu prüfen, ob das Auto funktioniert und keine potentiellen Sicherheitsprobleme bestehen sowie zu kontrollieren, dass alle Kundenmerkmale entsprechend der Auftragsannahme eingebaut sind.

In der Batterieproduktion kann die End-of-Line-Prüfung an verschiedenen Endpunkten der Produktionslinie, wie z.B. der Batteriezelle oder dem Batteriegehäuse, oder an der endgültigen Fertigungslinie der Batteriemodule erfolgen. Bei Batteriezellen finden die End-of-Line-Tests nach dem letzten Produktionsschritt, der Alterung der Zelle, statt. Danach werden diese klassifiziert und müssen den End-of-Line-Tests standhalten, die für die Qualitätssicherung obligatorisch sind, da alle Funktionalitäten auf Herz und Nieren geprüft werden, einschließlich elektrischer Tests und Lecksuchverfahren.

Anforderungen

Ziel des End-of-Line-Tests ist es, ein eindeutiges Qualitätsniveau für die getesteten Produkte zu sichern, um eine nominelle Lebensdauer des Batteriepacks in seinem endgültigen Betriebssystem, z.B. einem Elektrofahrzeug oder einem stationären Stromspeicher, zu garantieren. Das noch wichtigere Ziel ist jedoch, tödliche Unfälle zu verhindern, um das Leben der Produktnutzer zu schützen.

Die beim Prototyping entwickelten Testprozesse sind auf sehr kurze Zykluszeiten optimiert. Außerdem ist es (oft) nicht mehr möglich, das Produkt zu verändern, z. B. durch das Anschließen von Prüfgasein- und -auslässen oder das Anlegen von erhöhten Differenzdrücken, da das Produkt im Endzustand getestet werden muss, ohne dass es Schaden nimmt.

Die Zeit ist der Schlüsselparameter in der Serienproduktion, um Kosten zu sparen und auch um den Durchsatz der produzierten Teile zu erhöhen. Folglich muss die kumulierte Dauer aller Tests so kurz wie möglich und so lang wie nötig sein, damit das Produkt das richtige Kosten-Nutzen-Verhältnis erreicht. Eine Möglichkeit, nicht nur Zeit zu sparen, sondern auch die Wahrscheinlichkeit des Auftretens von Bedienfehlern zu reduzieren, sind automatisierbare Prüfsysteme.

Komplette Lösung

Die GSD-Gasanalyseysteme von Pfeiffer Vacuum bieten eine perfekte Lösung, um die Gasübertragungseigenschaften, z.B. von einem auslaufenden Elektrolyten, aus dem Inneren des fertigen Produktes zu messen. In einem zweiten Schritt kann die Korrelation zwischen dem Gastransfer der jeweiligen Materialien und dem im Serientest verwendeten Prüfgas ermittelt werden, um den maximal tolerierbaren Gastransfer zu definieren.

Die Fähigkeit, vom Atmosphärendruck bis in den einstelligen mbar-Bereich zu messen, erlaubt es, verschiedene Differenzdrücke zu messen und somit eine End-of-Line-Prüfstation für verschiedene zu prüfende Produkte zu nutzen.

Datenschnittstellen ermöglichen die Übertragung und Speicherung nicht nur von Massenspektrometriedaten, sondern auch von anderen Quellen in eine zentrale Datenbank. Dies ermöglicht die Nachverfolgung der Ergebnisse von eindeutig identifizierbaren Teilen und der gewonnenen Ergebnisse, was später für Garantiefragen und im Falle einer Fehlfunktion des Endprodukts zwingend erforderlich ist.



Vollautomatischer End-of-Line-Test

Produktübersicht

Gasanalysator GSD 350



- Qualitative und quantitative Gasanalyse
- Niedrige Nachweisgrenze auch für kondensierbare Gase
- Beheizter Kapillareinlass, bis zu 350 °C
- Ausheizbare, ganzmetallisch abgedichtete Hochvakuumkammer für geringe Rückstände
- Kundenspezifische Ausführungen möglich, z. B. druckgeregelter Einlass, spezielle Einlasssysteme, spezielle Gehäuseformen
- Option für weiche Ionisierung (15 – 100 eV)
- Kompakt und tragbar
- Geringer Gasverbrauch
- Schnelle Messzeit

Batterieproduktion

Lecksuche – Gehäuse von Batteriezellen

Grundlagen

Alle Arten von Batteriezellen erfordern eine Dichtigkeit auf einem Niveau, das einen sicheren und zuverlässigen Betrieb über die prognostizierte Lebensdauer des Produkts ermöglicht. Batteriegehäuse sind die Baugruppen in der Batterie, die die meisten Verbindungen haben, die dicht sein müssen.

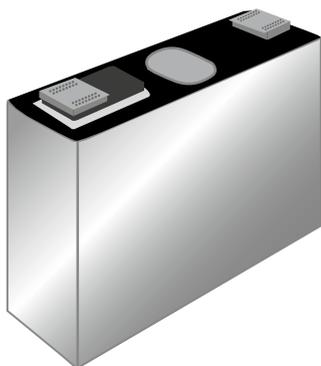
Je nach Gehäusedesign und -material, z.B. starre Zelle oder flexible Pouchzelle, variieren die verfügbaren Prozessparameter für eine gründliche Lecksuche. Beispielhaft kann eine prismatische Zelle vor der endgültigen Befüllung unter Druckbeaufschlagung mit einem Prüfgas, beispielsweise Helium, geprüft werden. Andererseits wird eine Pouchzelle versiegelt, sobald die Batteriezelle hergestellt ist und keine Einlässe für die Befüllung mit Prüfgas verbleiben. Manchmal enthält die umgebende Atmosphäre beim Versiegeln der Pouchzelle ein stark verdünntes Prüfgas, das anschließend nachgewiesen werden kann. Diese unnötige Zutat hat jedoch unerwünschte Einflüsse auf die Zellchemie und wird daher bei der Zellherstellung immer mehr vermieden.

Anforderungen

Bei den Anforderungen an das Equipment (und den Prozess) muss daher zwischen starren Zellen und Pouchzellen unterschieden werden. Während erstere bei der Messung höhere Differenzdrücke zulassen, reagieren letztere sehr empfindlich auf Druckunterschiede, blähen sich auf und werden schließlich irreversibel beschädigt.

Die Helium-Lecksuche ist die Technologie der Wahl für die quantitative Integralprüfung von Deckeln jeglicher Art. Dies gilt sowohl für kleine Batterien des Verbrauchertyps als auch für große Batterien, die die halbe Breite eines Batteriepacks in einem Elektrofahrzeug ausfüllen. Die Testausrüstung ermöglicht schnelle Zykluszeiten und hohe Empfindlichkeit.

Allerdings kann sich Prüfgas in den Isoliermaterialien der Batterieabdeckungen ansammeln, was bei der Dichtheitsprüfung zu einem inakzeptabel hohen Signalhintergrund führen kann. Die Dichtheitsprüfung mit Luft kann in solchen Anwendungen mit Kompromissen in Bezug auf die Empfindlichkeit eingesetzt werden, erlaubt aber eine höhere Flexibilität des Prozesses.



Prismatische Zelle



Zylindrische Zelle



Pouchzelle (Kaffeebeutel)

Die Detektion von austretendem Material aus einer Pouchzelle kann integral mittels Micro-Flow-Durchflussmessung oder Quadrupol-Massenspektrometrie erreicht werden. Bei beiden Konzepten muss das Material zunächst aus dem Prüfling austreten, was durch Anlegen einer externen Antriebskraft, wie z.B. einer Druckdifferenz, beschleunigt werden kann. Einerseits unterscheiden die Durchflussmessungen nicht zwischen den Teilchen, z.B. hat ein Feuchtigkeitsatom den gleichen Einfluss wie ein Lösungsmittelatom, und erfordern daher weniger Wissen über die Situation des gesamten Systems.

Andererseits erfordert die Massenspektrometrie tiefere Kenntnisse über die Zusammensetzung des austretenden Materials und über die Systemparameter während der Detektion, da sich das gewonnene Massenspektrum bei wechselnder Atmosphäre schnell ändert. Beide Techniken bieten unterschiedliche Vorteile und gleichzeitig Herausforderungen.

Komplettlösung

Die Produktpalette von Pfeiffer Vacuum bietet die gesamte Bandbreite der beschriebenen Detektortechnologien. Der modulare Lecksucher ASI 35 bietet eine optimale Integration in industrielle Lecksuchsysteme, ebenso wie das Micro-Flow basierte Leckprüfgerät mit Luft E-PDQ. Schnelle Ansprechzeiten ermöglichen kurze Taktzeiten und einen hohen Durchsatz. Die Genauigkeit und Reproduzierbarkeit der Prüfergebnisse sichert eine hohe Produktionsqualität.

Mit dem Quadrupol-Massenspektrometer Prisma Pro ist nicht nur eine detaillierte Analyse der austretenden Spezies möglich, sondern in Kombination mit einem kalibrierten Leck auch die Prüfung, ob die vorgegebene Leckrate eingehalten wird oder nicht.

Produktübersicht

Integraler Lecksucher E-PDQ	Helium-Lecksucher ASI 35	Massenspektrometer PrismaPro
 <ul style="list-style-type: none"> ■ Quantitative Messung ■ Kein spezifisches Prüfgas erforderlich 	 <ul style="list-style-type: none"> ■ Modularer Lecksucher für Vakuum- und Schnüffelprüfungen. ■ Prüfgas: Helium oder Wasserstoff ■ Hohe Empfindlichkeit, Zuverlässigkeit und Reproduzierbarkeit ■ Kleine und kompakte Abmessungen 	 <ul style="list-style-type: none"> ■ Quadrupol-Massenspektrometer ■ Hohe Geschwindigkeit, Stabilität und Auflösung ■ Großer Massenbereich (1-300 amu)

Batterieproduktion

Lecksuche – Batteriekühlung

Grundlagen

Die Kühlung ist entscheidend für die Funktionalität und den Langzeitbetrieb von Hochleistungselektronik, Batteriemodulen und Batteriepacks. In Batterieanwendungen werden sowohl Luftkühlung als auch Flüssigkeitskühlsysteme eingesetzt. Die Dichtigkeit des Flüssigkeitskühlsystems verhindert Kurzschlüsse und stellt den Umweltschutz sicher, falls ein Kältemittel als Kühlmedium in Kombination mit dem AC-System des Fahrzeugs verwendet wird.

Anforderungen

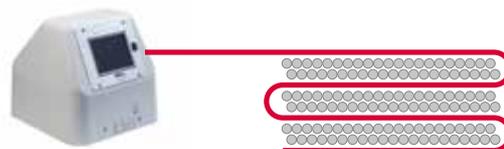
Die Kühlmethode, die in der jeweiligen Komponente der Batterie verwendet wird, bestimmt die verwendete Technologie zur Lecksuche. Im Falle einer Wasser-Glykol-Kühlung wird hauptsächlich die Dichtheitsprüfung mit Luft eingesetzt. Diese quantitative integrale Methode kann durch eine Lokalisierungstechnik mit Prüfgas ergänzt werden, wenn das Leck für eine Korrekturmaßnahme gefunden werden soll.

Für die Wasserkühlung können Vorgaben aus ausgereiften und praxiserprobten Testrezepten aus der Wasserkühlung in anderen Automobilanwendungen übernommen werden. Häufig liegt das Gut/Schlecht-Kriterium im Bereich von 0,1 ... 1 sccm.

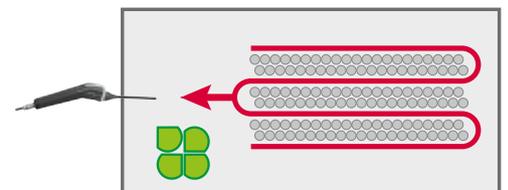
Die Spezifikationen für Kältemittel als Kühlmittel werden durch Umweltvorschriften bestimmt. Die geforderte Empfindlichkeit macht es notwendig, eine Methode mit einer niedrigeren Nachweisgrenze als die Dichtheitsprüfung mit Luft zu verwenden. Es muss eine Prüfgasmethode angewendet werden. Das Prüfgas kann Wasserstoff (verdünnt auf 5% als „Formiergas“) oder Helium sein. Methoden zur quantitativen Messung sind z.B. Akkumulation unter atmosphärischen Bedingungen oder integrale Messung im Vakuum, je nach geforderter Empfindlichkeit und Taktzeit. Auch hier kann die quantitative Messung durch eine lokalisierende Sniffing-Technik ergänzt werden.

Kältemittel werden in Bezug auf ihr Treibhauspotenzial klassifiziert. Eine zulässige Massenverlustrate nach Vorschrift wird in eine pV-Verlustrate umgerechnet und liegt oft im Bereich von $5 \cdot 10^{-6}$... $5 \cdot 10^{-5}$ mbarl/s. Die genaue Ausschussgrenze hängt auch von der Prozessrezeptur einschließlich Art des Prüfgesetzes, Konzentration des Prüfgesetzes und Prüfdruck ab.

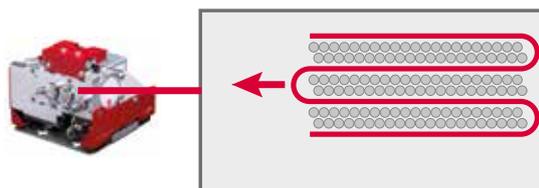
Kühlsysteme – Prüfverfahren



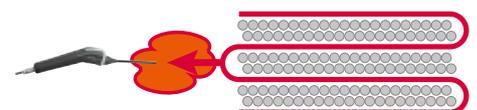
Micro-Flow-Lecksuche



Akkumulierung



Hochvakuum



Prüfgas-Schnüffellecksuche

Komplettlösung

Pfeiffer Vacuum ist der einzige Anbieter weltweit, der Prüfgeräte sowohl für die Dichtheitsprüfung mit Luft als auch mit spezifischen Prüfgasen herstellt. Was auch immer die Anwendung ist, unser Anwendungsteam wählt die optimale Prüfmethode aus, sei es Micro-Flow, Prüfgasdichtheitsprüfung oder eine Kombination aus beidem.



Akkupack mit Kühlsystem

Produktübersicht

Integraler Lecksucher E-PDQ	Helium-Lecksucher ASM 340	Helium-Lecksuchgerät ASM 306 S
		
<ul style="list-style-type: none">■ Quantitative Messung■ Kein spezifisches Prüfgas erforderlich	<ul style="list-style-type: none">■ Universeller Lecksucher für Vakuum- und Schnüffelbetrieb■ Leckortung und Messung■ Prüfgase Helium und Wasserstoff	<ul style="list-style-type: none">■ Lecksuchgerät für Schnüffel- und Akkumulationsprüfung■ Leckortung und -messung■ Prüfgase Helium und Wasserstoff■ Hoher Durchfluss ermöglicht schnelle Erkennung von Leckagen

Batterieproduktion

Lecksuche – Batteriepack

Grundlagen

Das Batteriepack besteht aus mehreren Komponenten, die im vorangegangenen Montageprozess einer Dichtheitsprüfung unterzogen wurden. Dies gilt sowohl für die Batteriezellen und Module als auch für die Kühlkanäle. Bei der abschließenden Prüfung des Akkupacks werden häufig auch die Kühlkanäle nochmals geprüft, um eventuelle Beschädigungen während des Montageprozesses zu erkennen.

Zusätzlich wird das Gehäuse des Akkupacks getestet. Die Spezifikation für dieses Bauteil leitet sich oft aus einer phänomenologischen Schutzklasse ab, die vom zeitweiligen Eintauchen unter Wasser, das ein defektes Auto in einem mit Wasser gefüllten Tunnel simuliert, bis hin zur Beaufschlagung mit einem Hochdruckwasserstrahl, der einen Reinigungsprozess simuliert, reicht. Aber nicht nur Batteriezellen, die für Automobilanwendungen bestimmt sind, werden hinsichtlich der Schutzart geprüft. Exemplarisch sind Batterien auch Bestandteil von Smart Wearables, die teilweise mehrere Minuten unter Wasser aushalten sollen, um Schwimmen, Regenwetter oder den einfachen Sturz in ein Waschbecken zu überstehen.

Anforderungen

In experimentellen Arbeiten wurde eine Korrelation zwischen der jeweiligen Schutzart (häufig IP X7 bis IPX9K) und einer Leckrate in einem definierten Testrezept ermittelt. Das zur Ermittlung des Zusammenhangs verwendete Modell muss die reale Geometrie eines angenommenen Leckszenarios abbilden. Die Geometrie eines definierten Lecks muss repräsentativ für das wahrscheinlichste Szenario eines realen Defekts sein. Das bedeutet, dass Materialkombination, Eindringrichtung und die wahrscheinlichste Leckgeometrie im Idealfall im Modell berücksichtigt werden sollten. Leider können viele kalibrierte Lecks den realen Defekt nicht simulieren, da sie nicht in der realen Materialkombination vorliegen. Aus diesem Grund sind Glaskapillaren für kanalförmige Geometrien der beste verfügbare Kompromiss. Für mündungsförmige Geometrien gibt es sogenannte „äquivalente Durchmesser“-Lecks.

Komplette Lösung

Eine Komplettlösung ist oft ein Kompromiss zwischen technischen und wirtschaftlichen Parametern. Jede Dichtheitsprüfung sollte mit einem Druckgradienten durchgeführt werden, der den realen Betrieb des zu prüfenden Teils simuliert. Für den Akkupack bedeutet dies eine Outside-In-Testmethode.

Die Dichtheitsprüfung mit Luft bietet den Druckgradienten wie im realen Einsatz eines Akkupacks. Dies ist jedoch oft ein Kompromiss in Bezug auf die Nachweisgrenze.

Methode	Schnüffeln	Akkumulation	Vakuumtest außen-innen	Vakuumtest innen-außen	Micro-Flow Test außen-innen
Testrichtung	innen → außen	innen → außen	außen → innen	innen → außen	außen → innen
Nachweisgrenze von $1 \cdot 10^{-6}$ mbar/s	Anspruchsvoll bei Umgebungsdruck, benötigt Prüfgas-Disziplin	Generell ja In gegebener Zykluszeit nicht realisierbar	Ja	Ja	Nein
Zykluszeit	Abhängig von Nachweisgrenze, Geschwindigkeit und Entfernung	Lang	OK, je nach Pumpentechnik	OK, je nach Pumpentechnik	Abhängig von Probe und Umgebungseinflüssen
Quantitativ	Nein; benötigt Kalibrierung und Korrelation	Ja	Ja	Ja	Ja
Integral	Benötigt Validierung	Ja	Ja	Ja	Ja
Lecklokalisierung	Ja	Nein	Nein	Nein	Nein
Temperatur-Einfluss	Nein	Nein	Nein	Nein	Ja
Volumen-Einfluss	Nein	Nein	Nein	Nein	Ja
Kosten					
■ Investieren	Mittel	Mittel	Hoch	Hoch	Mittel
■ Prüfgas	Mittel	Mittel	Hoch	Mittel	Niedrig
■ Lebensdauer	Mittel	Mittel	Mittel	Mittel	Mittel

Quantitative Methoden im Vakuum mit kurzen Zykluszeiten sind aufgrund von Akkubestandteilen wie einem Druckausgleichselement oft nicht anwendbar.

Mit dem Schnüffeln von Prüfgas wird daher eine per Definition qualitative Methode auf eine quantitativ messende Anwendung übertragen. Dabei ist große Sorgfalt auf die Prüfgasbeaufschlagung und auf die Korrelation des gemessenen Signals mit der realen Prüfgasausströmung aus dem Defekt zu legen. Außerdem muss die Prüfgasverteilung im Inneren des Akkupacks sorgfältig durchgeführt werden. Schnüffelmethode können mit der Akkumulationstechnik quantifiziert werden. Diese Methode entspricht jedoch oft nicht den Taktzeitanforderungen in der Produktion.

Ein Vergleich zwischen den möglichen Methoden ist in der obigen Tabelle dargestellt. Wie auch immer die Anwendung aussieht, Pfeiffer Vacuum berät bei der Auswahl der optimalen Methode für das jeweilige Akkupack.

Produktübersicht

Integraler Lecksucher VE2	Helium-Lecksucher ASM 340	Helium-Lecksucher ASM 306 S
		
<ul style="list-style-type: none"> ■ Quantitative Messung ■ Kein spezifisches Prüfgas erforderlich 	<ul style="list-style-type: none"> ■ Universeller Lecksucher für Vakuum- und Schnüffelbetrieb ■ Leckortung und Messung ■ Prüfgase Helium und Wasserstoff 	<ul style="list-style-type: none"> ■ Lecksucher für Schnüffel- und Akkumulationsprüfung ■ Leckortung und -messung ■ Prüfgase Helium und Wasserstoff ■ Hoher Durchfluss ermöglicht schnelle Erkennung von Leckagen

Batterieproduktion

Recycling

Grundlagen

Um den Wechsel von der heutigen Mobilität zum elektrischen Antrieb zu ermöglichen und die Marktanforderungen im Jahr 2035 zu bedienen, müssen Ressourcen wie Lithium, Nickel und Kobalt durch Recycling zurückgewonnen werden. Mit einem effizienten Recyclingkonzept für die Kreislaufwirtschaft kann der Großteil des Materialbedarfs durch recycelte Ressourcen gedeckt werden. Das konventionelle Li-Ionen-Batterie-Recycling basiert heute hauptsächlich auf pyrometallurgischen Prozessen. Aber auch mechanische, hydrometallurgische oder Kombinationen mit pyrometallurgischen Verfahren gewinnen an Bedeutung und technologischem Reifegrad.

Anforderungen

Pyrometallurgische Prozesse verbrauchen zum einen viel Energie, z.B. Ofenbetrieb bei 1500°C, was zu einem ungesunden CO₂-Fußabdruck führt. Andererseits können nicht alle Elemente zurückgewonnen werden, z.B. mit einem Wirkungsgrad von 80% für Kobalt, Nickel und Kupfer.

Die Hochtemperaturbehandlung von Batterieabfällen führt zu irreversiblen Veränderungen der organischen Bestandteile des Elektrolyten. Giftige gasförmige fluorierte Chemikalien und Fluorwasserstoff sind Nebenprodukte der Hochtemperatur-Abfallbehandlung. Diese Bestandteile müssen durch aufwendige Methoden wie Verbrennung oder Absorption aus den Abgasen entfernt werden.

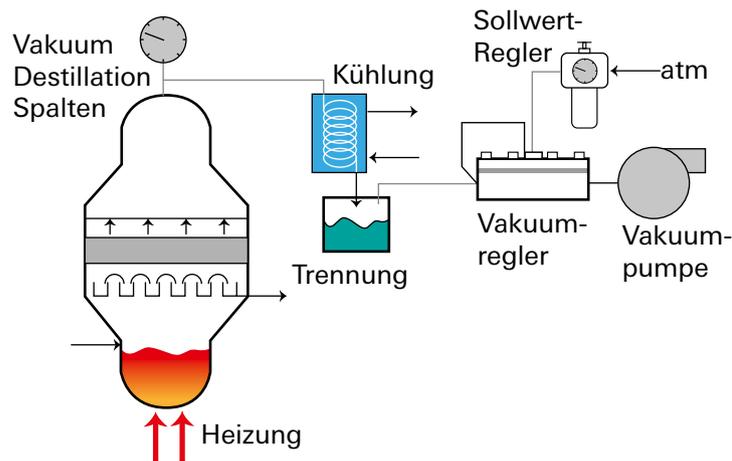
Das hydrometallurgische Verfahren kombiniert die mechanische Trennung der Batteriekomponenten nach der Zerkleinerung mit der Auflösung der Metalle in Säuren und Laugen und deren Ausfällung in Form von Salzen. Die Rückgewinnungsrate der eingesetzten Rohstoffe liegt bei ca. 30%.

Für eine erfolgreiche Kreislaufwirtschaft sind Recyclingraten von > 90% notwendig. Die ersten vielversprechenden Entwicklungen basieren auf Vakuumtechnologien. Bei einem Ansatz werden die Batterien unter einer Schutzgasatmosphäre zerkleinert. Die dabei entstehenden Elektrolyte werden in eine Vakuumdestillationsanlage geleitet und zurückgewonnen. Die verbleibenden Feststoffe werden durch mechanische Verfahren (Magnete, Siebe, etc.) abgetrennt und aufbereitet. Die Recyclingquote liegt bei 91%.

Der Transport von Batterieabfällen ist unter Umständen nicht erwünscht, da besondere Sicherheitsvorkehrungen während des Transports erforderlich sind. Mobile Recyclingstationen, die zu Batteriesammelstellen transportiert werden, sind eine sichere und effektive Alternative. Voraussetzung für solche mobilen Recyclingstationen sind Pumpstationen, die kompakt sind und wenig Energie benötigen.

Komplette Lösung

Mit den Wälzkolbenpumpen der HiLobe- und Okta-Serie bietet Pfeiffer Vacuum eine konkurrenzlos kompakte Lösung für Anwendungen, die ein hohes Saugvermögen und eine hohe Prozesstoleranz erfordern. Mit 50% Platzersparnis im Vergleich zu herkömmlichen Okta Wälzkolbenpumpen, flexibler Installation, geringem Gewicht und energieeffizienten Motoren sind die HiLobe Wälzkolbenpumpen die ideale Wahl für eine auf umweltfreundliche Anwendungen ausgerichtete Pumpentechnik.



Schema Vakuumdestillation mit Wälzkolbenpumpe

Produktübersicht

Wälzkolbenpumpe HiLobe	Wälzkolbenpumpe OktaLine	Drehschieberpumpe HenaLine
 <ul style="list-style-type: none"> ■ Einstellbares Saugvermögen ermöglicht eine optimale Anpassung an den Prozess ■ Ultra-kompakte Bauweise, vertikal und horizontal montierbar ■ -> optimale Integration ■ Intelligente Zustandsüberwachung - höchste Betriebssicherheit und Energiekosteneinsparung ■ Leckagerate <math> < 1 \cdot 10^{-6} \text{ Pa m}^3/\text{s} </math> - höchste Sicherheit ■ Luftkühlung - keine Wasserversorgung und Kühlkosten ■ Verlängerter Wartungsintervall von 4 Jahren - niedrigste Betriebskosten 	 <ul style="list-style-type: none"> ■ Ansauggeschwindigkeiten verfügbar 145 – 27.400 m³/h ■ Kurze Stillstandszeit der Pumpe durch hohes Kompressionsverhältnis und Überströmventil ■ Geringe Betriebskosten durch Luftkühlung ■ Optional: verschleißfreies Magnetlager, dadurch längere Wartungsintervalle und keine ungeplanten Stillstandszeiten durch Ölleckagen. ■ Optional: ATEX-Ausführung 	 <ul style="list-style-type: none"> ■ Saubere Abluft durch integrierten Ölnebelabscheider ■ Hohe Energieeffizienz durch intelligente Konstruktion und optionale Energierückgewinnung durch Kühlwasser ■ Maximale Zuverlässigkeit sowie Prozesssicherheit ■ Geringe Wartungskosten durch Direktantrieb und lange Ölwechselintervalle ■ Optional: ATEX-Ausführung

Dienstleistungen zur Dichtheitsprüfung

Individuelle Dienstleistungen in der Dichtheitsprüftechnik für Ihre Anwendungen

Wir bieten Ihnen die folgenden Lösungen

Pfeiffer Vacuum liefert komplette Vakuumlösungen. Wir bieten Produkte und technische Unterstützung über den gesamten Prozess hinweg. Darüber hinaus bieten wir die Entwicklung von Testverfahren und die Durchführung von Tests an. In enger Zusammenarbeit mit unseren Kunden erstellen wir maßgeschneiderte Lösungen für Ihr Produkt. Wenn Sie Komponenten oder Endprodukte haben, die auf Dichtheit geprüft werden sollen, können wir Ihnen Machbarkeitsstudien oder Zykluszeitstudien als All-in-One-Service in unserem Anwendungslabor anbieten.

- Unterstützung bei der Ermittlung Ihrer Leckratenanforderungen und Umsetzung in ein Prüfrezept
- Technische Unterstützung bei der Auswahl der optimalen und sichersten Lecksuchlösung für Ihre Anwendung
- Breite Palette an Lösungen: Lecksuche mit Prüfgas oder Luft mit speziellen Lösungen für hermetisch geschlossene Produkte
- Integrierte Komplettlösungen inklusive Beratung und einem Netzwerk von Partnern für automatisierte Systeme

Machbarkeits-/Taktzeitstudien

Im Rahmen einer Machbarkeitsstudie gewinnen wir ein Verständnis für die technischen Anforderungen Ihres Produktes. Dies ermöglicht uns die Entwicklung und Anwendung eines Dichtheitsprüfverfahrens in der industriellen Dichtheitskontrolle. Dies gilt sowohl für neue Produkte vor der Markteinführung als auch für bestehende Produkte mit dem Bedarf an Taktzeitoptimierung. Wir erarbeiten für Sie eine individuell optimale Lösung, um die Dichtheitsanforderungen und die entsprechenden Vorschriften im Detail zu erfüllen.

Machbarkeitsstudie für Container Closure Integrity Testing (CCIT)

Die Qualität und Wirksamkeit von Arzneimitteln hängt maßgeblich von der richtigen Verpackung ab, um die Sterilität über die gesamte Lebensdauer zu erhalten. Mit einer Machbarkeitsstudie verschaffen wir uns ein Verständnis für Ihre Verpackung und die Möglichkeiten des CCIT. Mit unseren drei CCIT-Technologien bestätigen wir die erreichbare Nachweisgrenze und Zykluszeit an Ihrer Verpackung.

Vertrags-Dichtheitsprüfung

Wenn die Investition in Dichtheitsprüfgeräte keine wirtschaftlich sinnvolle Ausgabe ist, sind wir Ihre Wahl, indem wir die Vertragsdichtheitsprüfung als Dienstleistung anbieten.

Restgas-Analyse

Restgasanalyse in Vakuumsystemen und Dichtheitskontrolle mit einer breiten Palette von Prüfgasen wie Luftkomponenten oder Elektrolyten. Die Ergebnisse werden Ihnen in einem ausführlichen Bericht übermittelt.



Wir decken **15 verschiedene Prüfverfahren** nach DIN EN 1779 / DIN EN ISO 20485 ab und erfüllen die Anforderungen innerhalb der USP 1207 mit unseren 4 Technologien.

Dichtheitsprüfung mit Luft	Prüfgas-Dichtheitsprüfung	Multigasanalyse/Optische Emissionsspektroskopie	Quadrupol-Massenspektrometrie
Schnelle und zuverlässige Dichtheitsprüfung mit Luft für Verpackung und Elektronik sowie für industrielle und medizinische Anwendungen	Höchste Empfindlichkeit und schnelle Dichtheitsprüfung für High-End-Anwendungen wie Automobil-, Medizin- und Halbleiterindustrie	Integritätstests für hochanspruchsvolle pharmazeutische Verpackungen und hochentwickelte versiegelte Geräte	Restgasanalyse in Vakuumsystemen und Dichtheitsprüfung mit einer breiten Palette von Prüfgasen wie Luftkomponenten oder Elektrolyten

Pfeiffer Vacuum Produkte



E-PDQ



ASM 340



AMI 1000



PrismaPro

Prüfverfahren pro Technologie

<p>D1: Druckabfallprüfung, manuell über Manometer</p> <p>D2 : Druckanstiegsprüfung, manuell über Manometer</p> <p>D3 : Druckänderungsprüfung, Glockendruckänderung, mit Überdruck, manuell über Manometer</p> <p>D3 : Druckänderungsprüfung, Glockendruckänderung, mit Unterdruck, manuell über Manometer</p> <p>D4: Durchflussmessung, außen/innen; von höherem Druck zu Vakuum; Massenextraktion/innen/außen; von höherem Druck zu atmosphärisch; Micro-Flow</p>	<p>A1-A3: Helium-Dichtheitsprüfung, A1 totale Vakuumtechnik, A2 Teilvakuumtechnik, A3 lokale Vakuumtechnik,</p> <p>B2 : Vakuum-Box</p> <p>B3 : Drucktechnik durch Akkumulation</p> <p>B4 : Schnüffelprüfung</p> <p>B5 : Druckbeaufschlagung - Evakuierungstest, "Bombingtest"</p> <p>B6 : Verschlussene Objekte durch externe Vakuumtechnik, integraler Vakuumtest</p> <p>B7 : Trägergas-Technik</p>	<p>B6: Versiegelte Objekte mit externer Vakuumtechnik, integraler Vakuumtest</p> <p>Detektion von z. B. Luft, Stickstoff, Argon, Helium und vielen anderen Gasen</p>	<p>B6: Versiegelte Objekte durch externe Vakuumtechnik, integraler Vakuumtest</p> <p>Nachweis von beliebigen Gasen (1-200 u)</p>
--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

Beispiele für Prüfverfahren



Integrale Prüfung von Teilen unter Vakuum in Helium



Integrale Prüfung von heliumgefüllten Teilen im Vakuum



Schnüffeltest



Micro-Flow (Überdruckprüfung)

Hinweis: **A1, B2, C3, D4...** = Abkürzung für Prüfverfahren nach DIN EN 1779 / DIN EN ISO 20485

Pfeiffer Vacuum Service

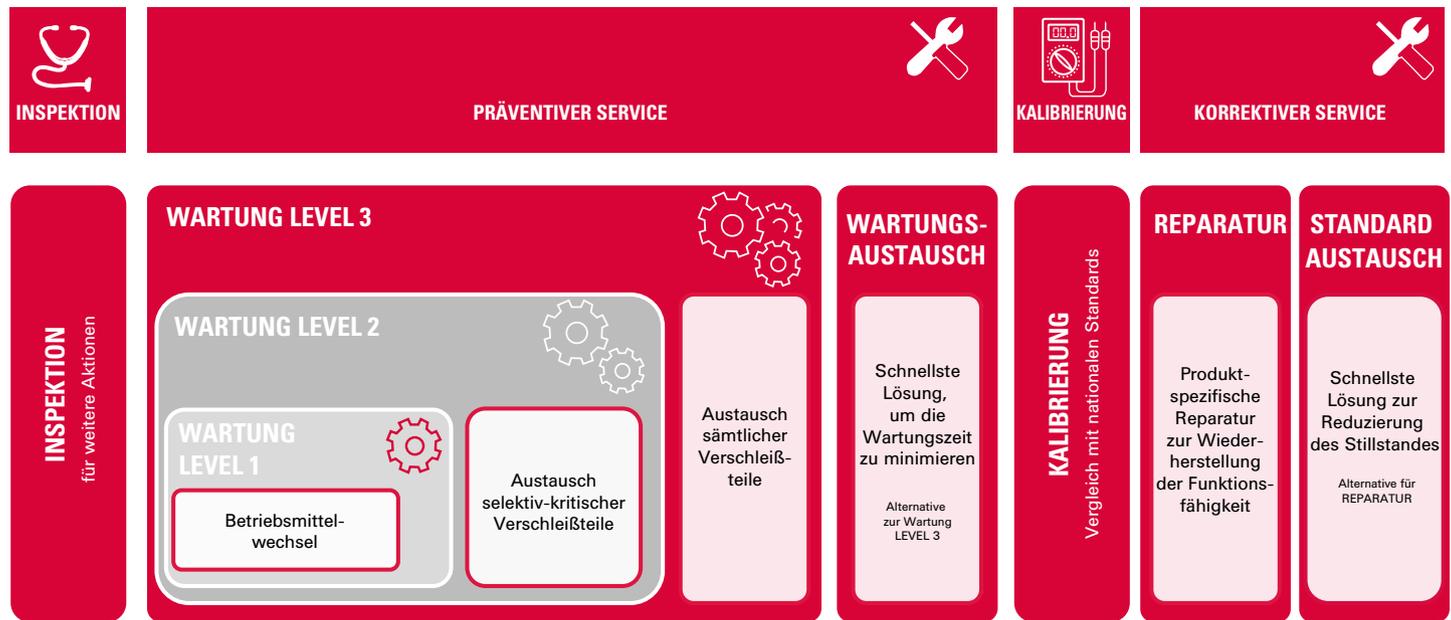
Unsere Serviceleistungen – Ihre Vorteile

Jeder Kunde stellt individuelle Anforderungen an seine Produkte, die auch durch applikationsspezifische Parameter beeinflusst werden können. Unser flexibles Servicekonzept, mit Fokus auf präventiven Serviceleistungen, bietet die für Sie passende Lösung.

Präventiver Service – Anlagenstillstände vermeiden

Mit unserem Konzept zum präventiven Service können wir für jedes Produkt zugeschnittene Serviceintervalle empfehlen. Ziel ist es Ausfälle zu vermeiden und einen geplanten, kalkulierbaren Service durchzuführen.

Wartung-Level 1 beinhaltet den Wechsel des Betriebsmittels und trägt wesentlich zu der Funktionstüchtigkeit des Produktes bei. **Wartung-Level 2** beinhaltet darüber hinaus einen Austausch aller beanspruchten Verschleißteile. Im Rahmen der **Wartung-Level 3** werden alle Verschleißteile des Produktes ausgetauscht und das Produkt generalüberholt. Um Stillstandzeiten so gering wie möglich zu halten bieten wir zu vielen unserer Produkte einen Wartungsaustausch an. Dabei stellen wir ein gleichwertiges **Austauschprodukt** zur Verfügung, dass unsere Kunden sofort einsetzen können.



Leistungen auf einen Blick

- Anwenderschulungen und Produktraining
- Pfeiffer Vacuum Originalersatzteile und -werkzeuge
- Troubleshooting und Beratung durch unseren Technischen Support
- Umfangreicher Vor-Ort-Service durch unsere Servicetechniker
- Wartung und Reparatur in unseren Servicecentern weltweit
- Individuelle Servicevereinbarungen
- Austauschprodukte
- Kalibrierservice für Messgeräte und Helium-Testlecks

**Ersatzteile – Originalteile
erhöhen Lebenserwartung**

Bereits bei der Produktentwicklung werden die Ersatzteile und Werkzeuge von Pfeiffer Vacuum definiert. Damit werden deren Passgenauigkeit und Qualität sichergestellt.

Jede Verbesserung an unseren Serienprodukten übertragen wir auch auf die Ersatzteile, sodass die Produkte nach einer Wartung Level 3 oder einer Reparatur wieder auf dem neuesten Stand unserer Entwicklung sind.



**Beratung – um Ihnen bei
Fragen zur Seite zu stehen**

Neben unseren individuellen Konzepten und der Qualität unserer Ersatzteile sind es auch die Mitarbeiter und der persönliche Kontakt, die unserem Service seine besondere Note geben.

**Technischer Support –
kompetente Beratung von
Spezialisten**

Da nicht alles an unseren Produkten selbsterklärend ist und sowohl vor als auch nach dem Kauf Fragen auftauchen können, steht unseren Kunden der Technical Support von Pfeiffer Vacuum zur Verfügung.

Jeder Mitarbeiter aus dem Team ist auf einen bestimmten Bereich aus unserem Portfolio spezialisiert, um unseren Kunden bei technischen Fragen rund um unsere Produkte kompetent zur Seite zu stehen. Das Team arbeitet dabei auch eng mit unseren Entwicklern und Applikationsexperten zusammen.

**Fieldservice-Techniker
vor Ort**

Von der Inbetriebnahme neuer Vakuumkomponenten und Systeme über Troubleshooting oder Wartung bis hin zur Reparatur, bieten wir unseren Kunden umfassende Serviceleistungen vor Ort. Unsere Servicestandorte ermöglichen kurze Anfahrtswege und kurzfristige Hilfeleistung in Notfällen.

**Servicevereinbarungen –
individuell zugeschnitten
auf Ihr Projekt**

Damit unsere Kunden Wartungen oder Serviceeinsätze langfristig einplanen können, bieten wir projektspezifische Servicevereinbarungen. Diese können nachträglich oder auch schon während der Projektplanung getroffen werden. Um der Individualität unserer Kunden Rechnung zu tragen, können alle oder nur einzelne Leistungen Gegenstand einer Vereinbarung sein.

Komponenten und Ventile

Die Verbindung in Ihrer Vakuumanlage



Eine Vakuumanlage verfügt über eine Vielzahl an Einzelbauteilen, die zu einer Einheit zusammengefügt werden müssen. Zudem bietet Pfeiffer Vacuum mehr als die Standard-Lösung. Ihrer Aufgabenstellung entsprechend können Komponenten modifiziert oder Bauteile als kundenspezifische Lösung perfekt passend angefertigt werden.

Ihre Vorteile und Nutzen

- Einen direkten Ansprechpartner für Sie und Ihre Projekte
- Pro-aktive Unterstützung und kompetente Beratung
- Steigern Sie Ihren Komfort bei Bestellablauf

- Kurze Lieferzeiten
- Hohe Liefertermintreue
- Hohe Versorgungssicherheit

- Mehr als eine halbe Millionen Teile am Lager
- Hohe Verfügbarkeit
- Kostenersparnis – keine eigene Lagerhaltung notwendig

- Vakuum-Komponenten im Onlineshop verfügbar
- Bequem zu jeder Zeit online bestellen
- Informationen zu Ihren Preisen, Lieferzeiten und Konditionen

www.vacuum-shop.com



Komponenten



Ventile



Durchführungen



Manipulatoren

Kundenspezifische Vakuumkammern

Individuell gestaltete Kammern für Ihre Vakuumanwendungen

Durch unsere langjährige Erfahrung sind wir mit nahezu allen Aufgabenstellungen vertraut und beraten Sie ausführlich in Bezug auf System-Spezifikation, Design und Engineering.

Unsere Physiker, Konstrukteure, Projektmanager und Fertigungsspezialisten verfügen über weitreichende Erfahrungen mit vielfältigen Anwendungsgebieten aus allen Marktsegmenten. Die Aufgabenstellung richtet sich an Ihrem Bedarf aus: sowohl die Idee in Skizzenform als auch ein kompletter Zeichnungssatz sind unser Startpunkt auf dem Weg zum fertigen Produkt.

Hochvakuumkammern	Vorteil	Nutzen
	<ul style="list-style-type: none"> ■ Vorkonfiguriertes Design 	<ul style="list-style-type: none"> ■ Kosten- und Zeiteinsparung durch geringen Konstruktionsaufwand
	<ul style="list-style-type: none"> ■ Bewährte, robuste Ausführung 	<ul style="list-style-type: none"> ■ Zuverlässig und sicher
	<ul style="list-style-type: none"> ■ Frei wählbare Abgänge 	<ul style="list-style-type: none"> ■ Individuelle Anpassung an Ihre Anwendung
Feinvakuumkammern	Vorteil	Nutzen
	<ul style="list-style-type: none"> ■ Vorkonfiguriertes Design 	<ul style="list-style-type: none"> ■ Kosten- und Zeiteinsparung durch geringen Konstruktionsaufwand
	<ul style="list-style-type: none"> ■ Bewährte, robuste Ausführung 	<ul style="list-style-type: none"> ■ Zuverlässig und sicher
	<ul style="list-style-type: none"> ■ Frei wählbare Abgänge 	<ul style="list-style-type: none"> ■ Individuelle Anpassung an Ihre Anwendung
Modularvakuumkammern	Vorteil	Nutzen
	<ul style="list-style-type: none"> ■ Vorkonfiguriertes Design 	<ul style="list-style-type: none"> ■ Kosten- und Zeiteinsparung durch geringen Konstruktionsaufwand
	<ul style="list-style-type: none"> ■ Modular erweiterbar 	<ul style="list-style-type: none"> ■ Maximale Flexibilität zu jedem Zeitpunkt
	<ul style="list-style-type: none"> ■ Frei wählbare Abgänge 	<ul style="list-style-type: none"> ■ Individuell an Ihre Anwendung anpassbar
Kundenspezifische Vakuumkammern	Vorteil	Nutzen
	<ul style="list-style-type: none"> ■ Individuelles Design 	<ul style="list-style-type: none"> ■ Optimal auf Ihren Prozess anpassbar
	<ul style="list-style-type: none"> ■ Hochwertige Werkstoffe 	<ul style="list-style-type: none"> ■ Beste Qualität und hohe Lebensdauer
	<ul style="list-style-type: none"> ■ Robuste Ausführung 	<ul style="list-style-type: none"> ■ Zuverlässig und sicher
	<ul style="list-style-type: none"> ■ Projekt-Engineering und Konstruktion durch qualifizierte und erfahrene Projektmanager 	<ul style="list-style-type: none"> ■ Zeitersparnis

VAKUMLÖSUNGEN AUS EINER HAND

Pfeiffer Vacuum steht weltweit für innovative und individuelle Vakuumlösungen, für technologische Perfektion, kompetente Beratung und zuverlässigen Service.

KOMPLETTES PRODUKTSORTIMENT

Vom einzelnen Bauteil bis hin zum komplexen System:

Wir verfügen als einziger Anbieter von Vakuumtechnik über ein komplettes Produktsortiment.

KOMPETENZ IN THEORIE UND PRAXIS

Nutzen Sie unser Know-how und unsere Schulungsangebote!

Wir unterstützen Sie bei der Anlagenplanung und bieten erstklassigen Vor-Ort-Service weltweit.

Sie suchen eine perfekte
Vakuumlösung?
Sprechen Sie uns an:

Pfeiffer Vacuum GmbH
Germany
T +49 6441 802-0

www.pfeiffer-vacuum.com



Folgen Sie uns auf Social Media
#pfeiffervacuum

PFEIFFER  **VACUUM**