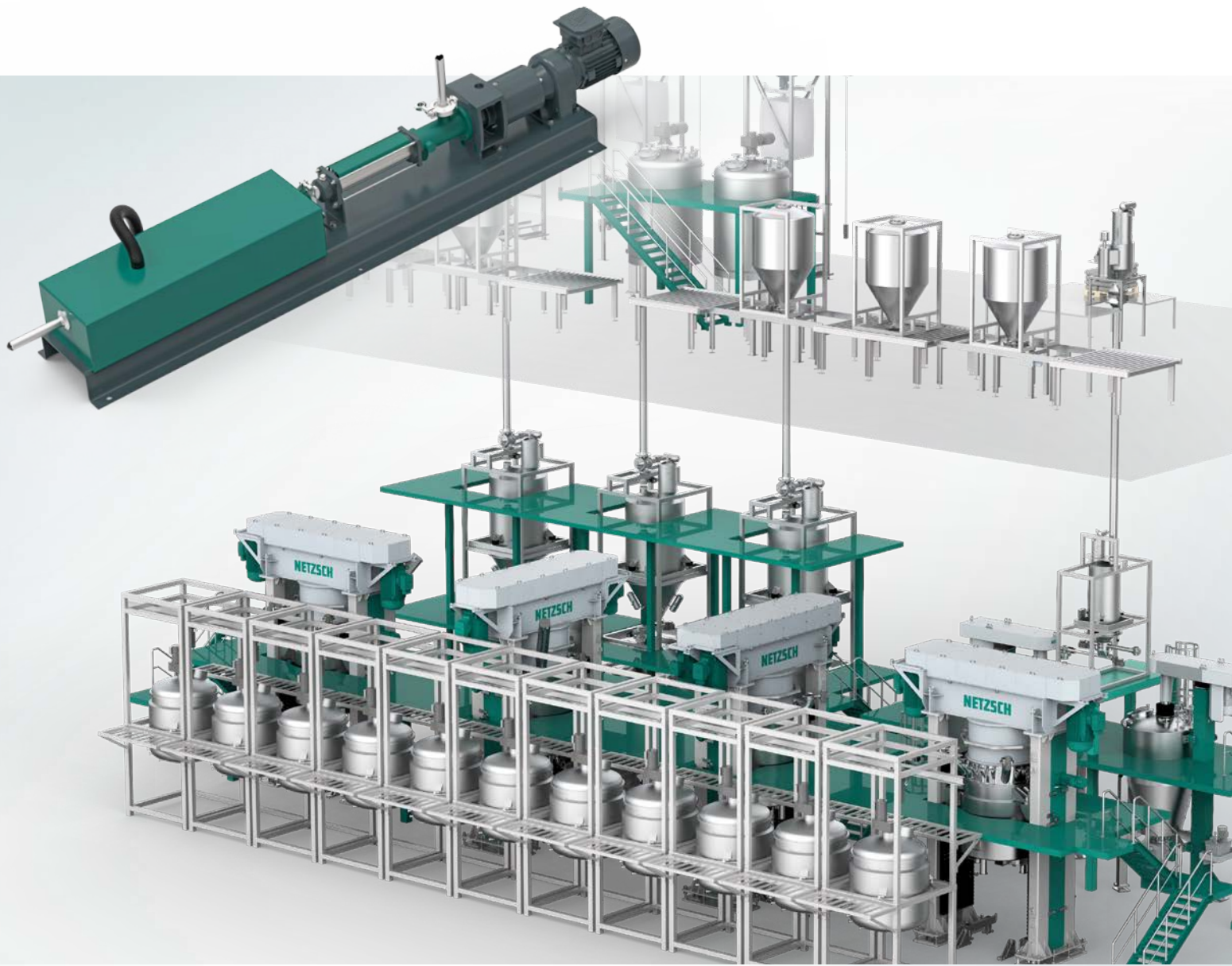




Innovative Echtzeit-Viskositäts- messung zur Überwachung von Batterie-Elektrodensuspensionen

Komplettlösung von NETZSCH von der Pumpe über die Mühle und Mischer bis hin zum Rheometer – für ein präzises Beschichten und eine verbesserte Qualitätskontrolle bei der Herstellung von Batterieelektroden



Qualität als Erfolgsfaktor in der Batterieherstellung

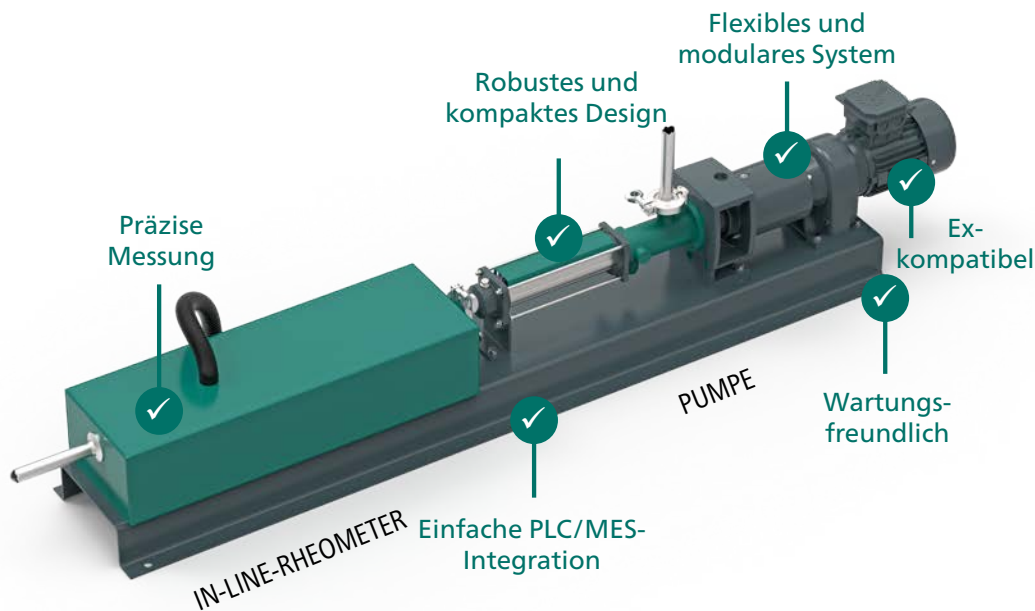
Lithium-Ionen-Batterien spielen eine zentrale Rolle beim Übergang zu sauberer Energie. Sie versorgen eine Vielzahl von Geräten und Systemen mit Strom, darunter Unterhaltungselektronik, Elektrofahrzeuge und groß angelegte Energiespeichersysteme. Angesichts der weltweit stark steigenden Nachfrage stehen die Hersteller unter zunehmendem Druck, ihre Produktionseffizienz zu steigern, Kosten zu senken und höchste Qualitäts- und Sicherheitsstandards einzuhalten.

Dennoch ist die Batterieproduktion ein äußerst komplexer Prozess. Gigafabriken, die monatlich Millionen von Zellen produzieren, sehen sich oft mit Herausforderungen bei der Echtzeit-Qualitätskontrolle konfrontiert. Dies kann selbst Jahre nach Produktionsbeginn zu Ausschussquoten von über 10 % führen. Geringfügige Prozessabweichungen können zu erheblichen Leistungsproblemen führen oder sogar zu kritischen Ausfällen wie einem thermischen Durchgehen führen.

Eine zuverlässige Qualitätssicherung ist daher unerlässlich. Die Inline-Überwachung, insbesondere von Schlüsselparametern wie der Viskosität der Suspension, ermöglicht die frühzeitige Erkennung von Fehlern, reduziert Ausschuss und stellt sicher, dass nur sichere und leistungsstarke Zellen auf den Markt gelangen. In einer wettbewerbsorientierten und qualitätsgetriebenen Branche ist eine solche Prozesskontrolle keine Option mehr, sondern eine Notwendigkeit.

Inline-Viskositätsmessung an Batteriesuspensionen

Das NETZSCH-Inline-Rheometer Novanti ist eine hochmoderne Lösung für die Echtzeit-Viskositätsmessung während des Produktionsprozesses. Es ist speziell auf die hohen Anforderungen der modernen Batterieherstellung zugeschnitten und ermöglicht eine präzise, kontinuierliche Überwachung beim Mischen von Suspensionen sowie bei Beschichtungsvorgängen. So gewährleistet es Prozessstabilität, Produktkonsistenz und eine Minimierung des Ausschusses entlang der gesamten Fertigungslinie.



Optimierung der Batterieherstellung



Reduzierung von Ausschuss: Die frühzeitige Erkennung von Abweichungen minimiert Ausschuss und reduziert Materialverschwendung. Dies führt zu einer nachhaltigeren und kosteneffizienten Produktion.



Betriebseffizienz: Die automatisierte Inline-Viskositätsmessung macht manuelle Probenahmen überflüssig, senkt den Betriebsaufwand und maximiert die Betriebszeit kritischer Anlagen.



Verbesserte Produktqualität: Eine gleichbleibende Qualität der Batterieslicker ist entscheidend für die hochwertige Beschichtung der Elektroden. Dies verbessert die Leistung, Zuverlässigkeit und Zyklenlebensdauer der Batterien.



Prozesssteuerung in Echtzeit: Die Viskositätsüberwachung in Echtzeit verkürzt die Reaktionszeiten bei Abweichungen und gewährleistet so Prozessstabilität und Reproduzierbarkeit über alle Chargen hinweg.

Herausforderungen in der Qualitätssicherung

Die Batterieherstellung ist mit ganz eigenen Herausforderungen konfrontiert, die eine sorgfältige Qualitätssicherung erforderlich machen. Dazu zählen eine Kombination aus chargenweisen und kontinuierlichen Prozessen, strenge Toleranzen, nicht behebbare Fehler sowie eng miteinander verknüpfte Produktionsschritte. Aufgrund ihrer Komplexität ist die herkömmliche, reaktive Qualitätskontrolle, die auf Stichproben, Parameterprüfungen und Offline-Laboranalysen basiert, ineffizient, langsam und schwer skalierbar.

Inline-Prüfsysteme

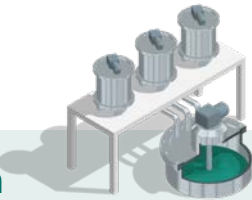
Im Gegensatz dazu ermöglichen Inline-Prüfsysteme eine zerstörungsfreie Überwachung in Echtzeit sowie eine höhere Prozesstransparenz. Sie erkennen Abweichungen frühzeitig und unterstützen eine proaktive Prozesssteuerung. Sie gehen über grundlegende statistische Methoden hinaus, um die Produktion effektiver zu stabilisieren. Dies ist insbesondere bei der Elektrodenherstellung entscheidend, da Parameter wie die Viskosität der Suspensionen und die Gleichmäßigkeit der Beschichtung unmittelbaren Einfluss auf die Leistung und Sicherheit der Zellen haben.

Vorteile der Inline-Prüfung – Prozesssteuerung in Echtzeit

Dies führt zu einer verbesserten Stabilität bei der Herstellung von Batterieelektroden. Die Überwachung wichtiger Parameter wie etwa der Viskosität der Suspension trägt zu einer höheren Beschichtungsgleichmäßigkeit und einer insgesamt besseren Produktqualität bei. Dadurch wird der Einsatz datengestützter Prüfsysteme gefördert.

Elektrodenherstellung: Anforderungen an die Produktqualität

Mischen



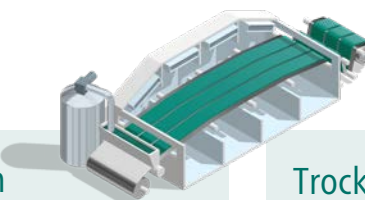
Qualitätsanforderungen

- Präzise Dosierung
- Homogene Suspensionen
- Agglomeratfrei & kontaminationsfrei

Produkteigenschaften

- Viskosität [mPa·s]
- Temperatur der Suspension [°C]
- Scherrate [1/s]
- Partikelgrößenverteilung

Beschichten



Qualitätsanforderungen

- Konstante Nassschichtdicke
- Keine Beschichtungsfehler (Agglomerate, Streifen etc.)

Produkteigenschaften

- Sichtprüfung [Bilder]
- Nassschichtdicke [μm]
- Auftragsgewicht [g/m^2]

Trocknen

Qualitätsanforderungen

- Minimale Restfeuchte
- Gute Untergrundhaftung
- Oberflächenqualität (keine Risse, Wellen usw.)

Produkteigenschaften

- Trockenschichtdicke [μm]
- Auftragsgewicht [g/m^2]
- optische Oberflächenbeschaffenheit (Bildgebung)
- Haftfestigkeit [N]

Komplexität der Elektrodenherstellung – Überwachung der Viskosität

Die Elektrodenherstellung ist ein entscheidender Schritt bei der Fertigung von Batteriezellen, da sie sich direkt auf die Leistung und Qualität auswirkt. Der Prozess beginnt mit der Herstellung einer stabilen, homogenen Elektroden suspension aus aktiven Materialien, Bindemitteln, Additiven und Lösungsmitteln. Eine unzureichende Durchmischung kann zu Problemen wie Partikelagglomeration, Sedimentation und Materialzerfall führen, was sich wiederum auf nachfolgende Prozesse auswirkt. Die Überwachung der Viskosität der Suspensionen ist unerlässlich, um Gleichmäßigkeit und Stabilität zu gewährleisten. Ein präzises Wärmemanagement ist darüber hinaus entscheidend, um den Zerfall wärmeempfindlicher Komponenten zu verhindern.

Präzision beim Auftragen und Trocknen von Elektrodensuspensionen

Nach dem Mischen muss eine gleichmäßige Verteilung der Elektrodenschichten gewährleistet sein, um die Suspension präzise zum Beschichtungswerkzeug zuzuführen. Aufgrund der hohen Scherkräfte, denen die Suspensionen während der Beschichtung ausgesetzt sind, hat dies direkte Auswirkungen auf die Rheologie und somit auf die Qualität des Films und der Kantenschärfe. In der Trocknungsphase ist eine kontrollierte Lösungsmittelverdunstung entscheidend, um Defekte wie Rissbildung oder Bindemittelmigration zu vermeiden. Diese frühen Produktionsschritte erfordern hohe Präzision und unterstreichen die Notwendigkeit einer integrierten Qualitätskontrolle.

Bedeutung der Viskositätsmessung

Viskosität und Fließverhalten von Elektrodensuspensionen unterscheiden sich bei Anoden und Kathoden und spielen eine Schlüsselrolle für einen ordnungsgemäßen Auftragsprozess während der Beschichtung. Bereits eine mangelhaft beschichtete Elektrode kann die Leistung eines gesamten Batteriepacks beeinträchtigen.

Erhalt der Viskosität

Viskosität ist ein wichtiger Qualitätsindikator der Suspension und wird durch die Partikelgröße, den Feststoffgehalt und die Mischbedingungen beeinflusst. Abweichungen deuten oft auf Schwankungen bei den Rohstoffen oder Prozessprobleme hin, weshalb die Überwachung der Viskosität für die frühzeitige Erkennung und rechtzeitige Korrektur unerlässlich ist. Die Aufrechterhaltung der Viskosität innerhalb des optimalen „Beschichtungsfensters“ sorgt für eine gleichmäßige Schichtbildung. Eine zu hohe Viskosität führt zu Streifenbildung und ungleichmäßigen Schichten, während eine zu niedrige Viskosität zum Abfließen der Suspension und zu Beschichtungsfehlern führen kann.

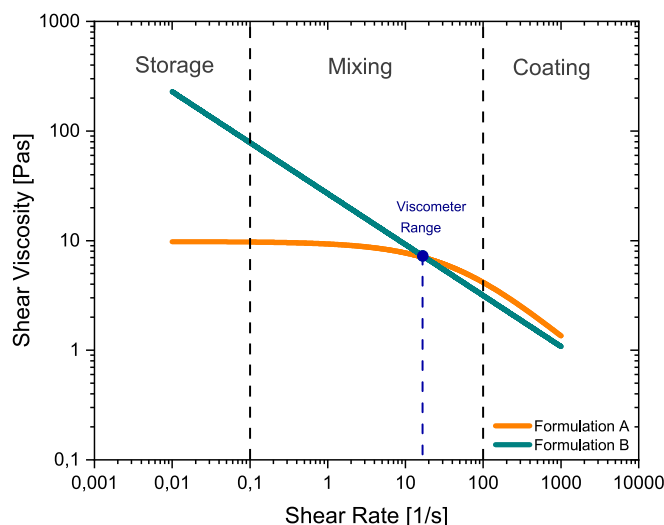
Da sich eine Suspension bei hohen (Verarbeitungs-) und niedrigen (Lagerungs-) Scherraten unterschiedlich verhalten kann, ist ein umfassendes Viskositätsprofil entscheidend. Eine effektive Viskositätskontrolle stabilisiert die Produktion, verbessert die Beschichtungskonsistenz und trägt dazu bei, die Gesamtleistung und -qualität der Batterie sicherzustellen.

Auftragen der Suspension – gleichmäßiges Beschichten

Ein entscheidender Schritt bei der Batterieherstellung ist das präzise Auftragen von aktiven Anoden- oder Kathodenmaterialien auf dünne Metallfolien, in der Regel aus Aluminium oder Kupfer. Die Elektroden stellen das Herzstück jeder Batterie dar.

Diese Materialien lagen ursprünglich als feine Pulver vor. Jedoch erweist es sich als unpraktisch, sie direkt und gleichmäßig in Schichten von nur Bruchteilen eines Millimeters Dicke aufzutragen. Um die erforderliche Konsistenz und Verteilbarkeit zu erreichen, werden die Pulver mit Flüssigkeiten und Stabilisatoren zu einer Suspension vermischt – ähnlich wie bei Farben.

Diese Elektrodensuspensionen werden mithilfe präziser Schlitzdüsenbeschichtungsanlagen auf die Metallfolien aufgetragen. Die Gleichmäßigkeit der Beschichtung ist von entscheidender Bedeutung, da sie sich direkt auf die Zyklenlebensdauer, die Leistung und die Sicherheit der fertigen Batteriezelle auswirkt.



Viskositätsprofil: Suspensionen, die bei hohen Scherraten (Verarbeitungsbedingungen) ein ähnliches Fließverhalten aufweisen, können sich hinsichtlich ihrer Eigenschaften bei niedrigen Scherraten (Lagerung) erheblich unterscheiden.

Inline-Überwachung der Viskosität in Kombination mit Offline-Rheologie ermöglicht einen umfassenden Einblick in die Scherrate

Das Inline-System Novanti basiert auf dem Kapillarprinzip und misst den Druckabfall über eine definierte Geometrie. Anschließend wird die absolute Scherviskosität mithilfe automatischer Softwarekorrekturen berechnet. Der Messbereich kann durch Variation von Geometrie, Sensorkonfigurationen und Volumenstrom angepasst werden. Die Scherviskosität einer Flüssigkeit hängt von der Scherrate, der Schubspannung, der Temperatur und der Zeit ab. Im Rahmen des Messvorgangs werden diese Parameter erfasst.

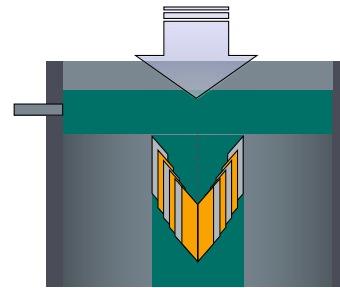
Der Messplot zeigt eine ausgezeichnete Korrelation zwischen den Daten, die mit dem Inline-Rheometer Novanti während des Herstellungsprozesses gewonnen wurden, und der offline überwachten Scherviskosität, die mit dem Rotationsrheometer Kinexus ermittelt wurde.

Tiefer Einblick: Rotationsrheometer Kinexus

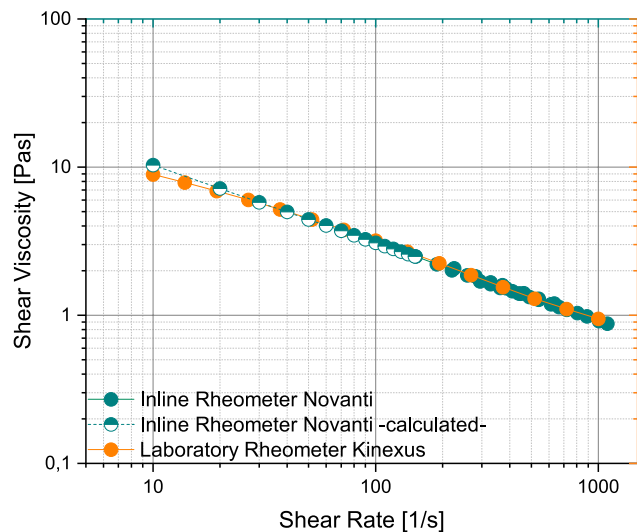
Für eine umfassende rheologische Charakterisierung von Batteriesuspensionen über den gesamten Scherratenbereich hinweg ist unser Rotationsrheometer Kinexus die ideale Lösung. Neben der Bewertung der Fließeigenschaften unter Misch- und Beschichtungsbedingungen ermöglicht es auch Analysen bei niedrigen Scherraten. So lassen sich beispielsweise der Verlauf nach der Beschichtung und die Sedimentation im Hinblick auf die Lagerstabilität beurteilen.



Rotations-
Rheometer
Kinexus
Prime pro+



Schema der Schlitzdüse mit der durch die Düse fließende Suspension (gelb)



Datenvergleich zwischen Inline- und Labormessungen

Labor-Rotationsrheometer

Das NETZSCH-Rheometer Kinexus Prime ist mit einem luftgelagerten System ausgestattet, das sich durch eine hohe Empfindlichkeit und einen großen Drehmomentbereich auszeichnet. In Kombination mit den einzigartigen vertikalen (axialen) Steuerungsmöglichkeiten der Kinexus-Plattform eignet es sich hervorragend für anspruchsvolle rheologische Untersuchungen. Die einzigartige, sequenzgesteuerte rSpace-Software ermöglicht eine vollständig anpassbare Versuchsplanung. Dadurch können Forscher maßgeschneiderte rheologische Versuchsprotokolle erstellen und untersuchen.

Inline-Viskositätswerkzeug Novanti

Output	bei mehreren Sollwerten für die Qualitätskontrolle: ■ Scherviskosität ■ Schubspannung/Scherrate ■ Temperatur
Messrate	1 s pro Messung, abhängig von der erforderlichen Gleichgewichtszeit
Viskositätsbereich*	0,1 ... 100 Pa·s, Bereich auf Anfrage anpassbar
Volumendurchflussbereich	38 - 200 l/h; Flussraten auf Anfrage anpassbar
Reynolds-Nummer	0,1 - 2.000; Laminarströmung erforderlich
Genauigkeit im Vergleich mit Laborrheometern**	±10 % oder besser
Betriebsdruck	0 ... 6 bar, höhere Drücke auf Anfrage erhältlich
Rohrverbindungen	Tri-Clamp-Verbindung oder weitere Verbindungen auf Anfrage erhältlich
Betriebstemperatur	0 ... 80 °C
Temperaturregelung	Option, von 0 ... 80 °C
Größe***	760 mm x 90 mm x 250 mm (L x D x H)
Material	Edelstahl V4A
Gewicht	bis 30 kg
Stromversorgung	24 V Gleichstrom 1 A
Prozessintegration	Ethernet IP, Profinet, Modbus
Analoger Eingangsdruck	4 ... 20 mA (Differentialdruck)
Analoge Eingangstemperatur	PT100

* Der Viskositätsbereich hängt vom verwendeten Differentialdrucksensor sowie von der zu messenden Flüssigkeit ab.

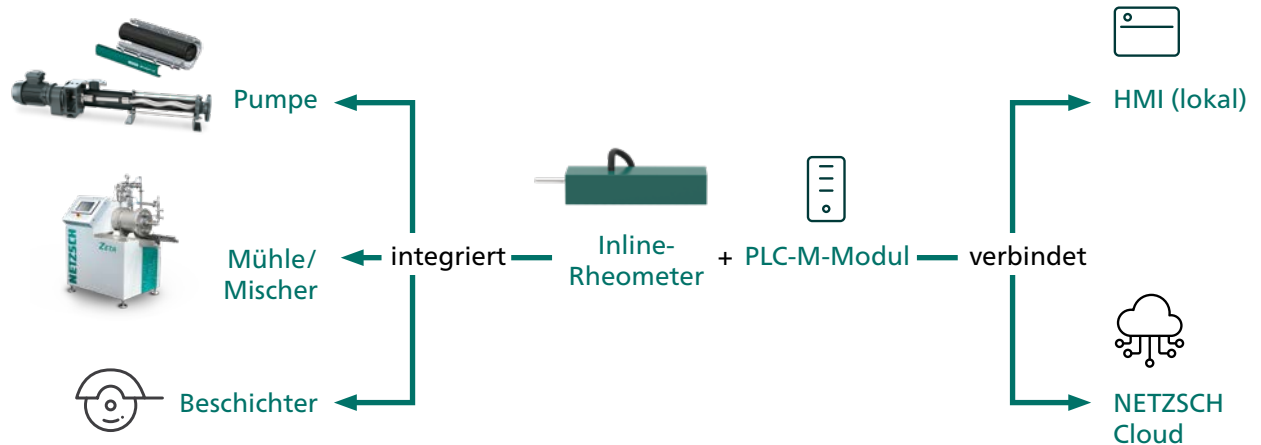
** Die Genauigkeit der Viskositätsmessung ist abhängig von den Prozessbedingungen, der gemessenen Flüssigkeit und der verwendeten Referenzmethode. In diesem Fall kommen luftgelagerte Rotations- und Kapillarrheometer als Referenzmethoden zum Einsatz.

*** Einschließlich Messschlitze, Sensoren und Verkabelung.

Technische Daten

Inline-Rheometer von NETZSCH – Die Lösung für Konnektivität und Prozessintegration

Das Inline-Rheometersystem Novanti von NETZSCH basiert auf dem Kapillarprinzip (auch Schlitzdüsenprinzip genannt). Dabei wird eine Flüssigkeit durch einen Kanal mit bekannter Geometrie gedrückt. Der dabei entstehende Druckabfall wird unter kontrollierten Durchflussbedingungen direkt im Prozess zur Berechnung der Viskosität genutzt.



Schlüsselkomponenten für präzise Inline-Viskositätsmessung in Echtzeit

Das NETZSCH-System vereint fortschrittliche Komponenten in einem modularen, skalierbaren Aufbau, der eine einfache Integration und Wartung ermöglicht.

- **Pulsationsarme Pumpe:** Eine Exzentrerschneckenpumpe gewährleistet einen gleichmäßigen, laminaren Durchfluss mit minimaler Pulsation – unerlässlich für genaue und reproduzierbare Viskositätsmesswerte im Dauerbetrieb.
- **Modulare Schlitzdüsen:** Austauschbare Schlitzdüsen mit unterschiedlichen Geometrien simulieren die in realen Beschichtungsprozessen auftretenden Scherraten. Jede Düse ist mit zwei hochpräzisen Drucksensoren ausgestattet, die in festen Abständen angeordnet sind.
- **Druckbasierte Viskositätsberechnung:** Das System berechnet die dynamische Viskosität in Echtzeit anhand des Druckabfalls über die Schlitzdüse. Dazu wird die Hagen-Poiseuille-Gleichung für den Schlitzstrom angepasst.

Diese Komponenten ermöglichen eine präzise Echtzeit-Viskositätsüberwachung direkt in der Produktionslinie und unterstützen so eine datengestützte Prozesssteuerung sowie eine gleichbleibende Qualität der Suspensionen.

Optionale Feedbackkontrolle

Mithilfe eines optionalen Regelkreises kann das System die Pumpenleistung auf Grundlage von Viskositätsdaten automatisch anpassen und so den Prozess in Richtung eines festgelegten Sollwerts stabilisieren. Dadurch wird aus dem Inline-Rheometer ein aktives Regelgerät.

Systemintegration

Um die Vorteile der Inline-Viskositätsüberwachung optimal zu nutzen, bietet NETZSCH flexible Integrationsmöglichkeiten, die auf Ihre Produktionsumgebung zugeschnitten sind. Entscheiden Sie sich entweder für eine bestehende NETZSCH-Lösung wie „Notify“ zur Verarbeitung und Visualisierung Ihrer Daten oder für eine nahtlose Integration über gängige Schnittstellen in ein bestehendes Manufacturing Execution System (MES) führender Hersteller. Dies gewährleistet eine verbesserte Prozessstabilität, geringere Schwankungen und eine höhere Produktionseffizienz.

Vorteile der Inline-Viskositätsmessung

Präzise In-Line-Viskositätsmessung

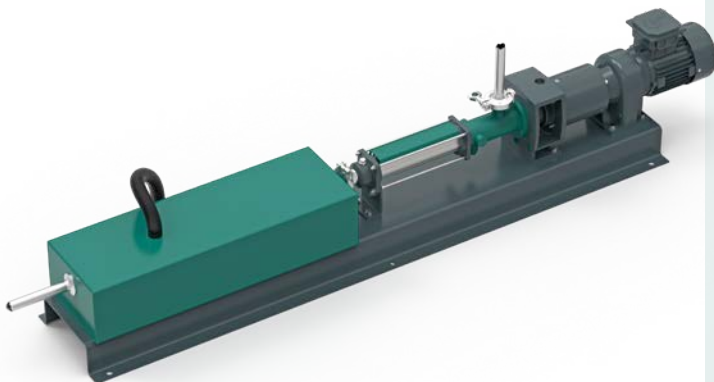
Technologien zur Viskositätsmessung unterscheiden sich in Bezug auf ihre Genauigkeit und Anpassungsfähigkeit. Das auf dem Kapillarprinzip basierende Inline-Rheometer Novanti von NETZSCH liefert beispielsweise zuverlässige, scherratenabhängige Ergebnisse über einen breiten Viskositätsbereich und

unter unterschiedlichen Produktionsbedingungen. Im Gegensatz zu anderen Methoden misst das Kapillarsystem das Druck-Fluss-Verhalten direkt unter realen Strömungsbedingungen, was es ideal für nicht-newtonsche Flüssigkeiten macht. Dank seines Schlitzdüsen-Designs sorgt es für eine laminare Strömung und eine präzise Schergesteuerung, wodurch sich die Prozessrelevanz und -leistung verbessern.

Resonanzprinzip	Coriolisprinzip	Kapillarprinzip	Rotationsprinzip
■ Einzelpunkt, relative Viskosität ■ Hauptsächlich für newtonsche Flüssigkeiten ■ Begrenzt auf die Überwachung der relativen Änderungen der Viskosität mit der Zeit	■ Einzelpunkt, relative Viskosität ■ Hauptsächlich für newtonsche Flüssigkeiten ■ Begrenzt auf die Überwachung der relativen Änderungen der Viskosität mit der Zeit	■ Mehrpunkt, absolute Viskosität ■ für newtonsche und nicht-newtonsche Flüssigkeiten ■ begrenzt durch Druckwandlerbereich und Membrangröße	■ Mehrpunkt, absolute Viskosität ■ für newtonsche und nicht newtonsche Flüssigkeiten ■ begrenzt auf viskose Flüssigkeiten mit mittleren Scherraten
Ergebnisse nicht vergleichbar mit Laborrheometer	Ergebnisse nicht vergleichbar mit Laborrheometer	Ergebnisse vergleichbar mit Laborrheometer	Ergebnisse können vergleichbar mit Laborrheometer sein

Ihre Vorteile bei der Batterieherstellung

- Frühzeitige Erkennung von Abweichungen zur Minimierung von Materialverlusten
- Besseres Verständnis der Elektrosuspensionen für hohe Prozesskonsistenz
- Optimierte Beschichtungsqualität durch präzises Viskositätsmanagement
- Reduzierung der Maschinenstillstandszeiten während des Mischvorgangs durch schnellere und verbesserte Prozesssteuerung
- Direkte Vergleichbarkeit mit Rheometer-Messungen im Labor



Warum die NETZSCH-Lösung?

- **Modulare Schlitzdüsen** – anpassbar an Prozessbedingungen und die Viskosität der Suspension
- **Einfache Reinigung und Austauschbarkeit bei verschiedenen Schlitzabmessungen**
- **Echte Scherviskosität** – präzise Messung von newtonschen und nicht-newtonschen Flüssigkeiten, abgestimmt auf das Labor-Rheometer
- **Echtzeit-Überwachung** – schnelle Erfassung von Prozessschwankungen durch kontinuierliche Inline-Messung
- **Hoher Datendurchsatz** – automatisierte Messwerte verbinden Laborpräzision mit überragenden Erfassungsraten
- **Minimierte menschliche Fehler** – ersetzt zeitaufwändige, fehleranfällige Offline-Tests
- **Früherkennung von Problemen** – weist auf Änderungen bei Rohstoffen und Rezepturen hin und ermöglicht so proaktives Eingreifen

Inline-Viskositätsmessung in der Batterieherstellung

Die Inline-Viskositätsmessung lässt sich flexibel in wichtige Phasen der Elektrodenherstellung wie die Herstellung, die Lagerung oder den Transport der Suspensionen integrieren. Die Integration reicht von der einfachen Überwachung bis hin zur fortschrittlichen Prozesssteuerung. Anhand der Konzepte A und B zeigen zwei typische Anwendungen – Mischen und Beschichten –, wie kontinuierliche Echtzeitdaten die frühzeitige Erkennung von Prozessabweichungen und rechtzeitige Korrekturen ermöglichen.

Integration in den Mischvorgang

Die Integration des Viskositätsmesssystems Novanti in die Mischstufe ermöglicht eine kontinuierliche und präzise Überwachung der Suspensionseigenschaften bereits ab Beginn der Elektrodenproduktion. Das Echtzeit-Feedback erlaubt eine sofortige Anpassung von Parametern wie Mischzeit, Energiezufuhr oder Komponentenverhältnissen, um die Zielviskosität konstant zu erreichen. Durch diese proaktive Steuerung werden nachgelagerte Fehler, die durch ein unregelmäßiges Verhalten der Suspension verursacht werden, verhindert. Somit werden die Prozessstabilität und Reproduzierbarkeit verbessert. Sobald die festgelegten Spezifikationen erfüllt sind, wird die Suspension zum nächsten Schritt weitergeleitet oder gelagert. Andernfalls wird er einer weiteren Analyse unterzogen oder entsorgt.

Integration in den Beschichtungsprozess

Durch den Einbau des Viskositätsmesssystems Novanti vor dem Beschichtungsprozess ist es möglich, eine abschließende Qualitätsprüfung der Elektroden suspensionen unmittelbar vor dem Auftrag durchzuführen. Die Echtzeitüberwachung stellt sicher, dass nicht den Spezifikationen entsprechendes Material erkannt und umgeleitet wird, noch bevor es den Beschichter erreicht. Dies reduziert Materialausschuss und vermeidet Anlagenstillstände aufgrund von Reinigungsarbeiten und Verunreinigungen. Zur weiteren Steigerung der Effizienz kann optional eine zusätzliche Mischeinheit in das System integriert werden. Diese Einheit ermöglicht die Aufbereitung und Anpassung der Aufschlämmung, sodass diese im Beschichtungsprozess wiederverwendet werden kann statt sie zu entsorgen.

Integration in der Mischphase

Beschreibung

- Während des Mischvorgangs wird die Suspension kontinuierlich durch einen Bypass geleitet, in dem die Viskosität in Echtzeit gemessen wird.
- Im Anschluss an den Mischvorgang wird eine zweite Viskositätsmessung durchgeführt. Erst danach gelangt die Suspension in die nachgelagerte Verarbeitung.

Hauptvorteile

- Echtzeitüberwachung der Suspensionsviskosität nach dem Mischen
- Regelung des Mischprozesses im geschlossenen Regelkreis (z. B. auf Basis von Viskositätsparametern)
- Frühzeitige Erkennung von Formulierungsfehlern oder Abweichungen bei den Rohstoffen
- Verbesserte Homogenität und Konsistenz der Charge

Integration in der Beschichtungsphase

Beschreibung

- Die Suspension wird kontinuierlich der Beschichtungseinheit zugeführt, während seine Viskosität in Echtzeit gemessen wird.
- Je nach Prozesszustand kann die Suspension entweder direkt auf die jeweilige passende Metallfolie aufgetragen, vorübergehend gelagert oder wiederaufbereitet und erneut in den Prozess zurückgeführt werden.

Hauptvorteile

- Echtzeitüberwachung der Suspensionsviskosität während des Beschichtungsprozesses
- Erkennung von Alterungs- oder Sedimentationseffekten der Suspension, die durch Lagerung oder Transport verursacht werden
- Einsparungen bei den Materialkosten (Metallfolie) durch Vermeidung der Beschichtung mit fehlerhafter Elektroden suspension
- Verbesserte Beschichtungsqualität und Schichtgleichmäßigkeit

Wesentliche Vorteile der zwei Integrationsmöglichkeiten

Beide Möglichkeiten nutzen das Potenzial der Inline-Viskositätsmessung, um die Qualitätssicherung in der Elektrodenfertigung zu optimieren. Das System lässt sich an spezifische Produktionsanforderungen anpassen. Beispielsweise kann eine Visualisierungssoftware integriert werden, die Echtzeitdaten liefert. Dadurch sind eine frühzeitige Erkennung von Abweichungen und eine effizientere Fehlerbehebung in der Fertigung möglich.

Darüber hinaus kann das System so konfiguriert werden, dass es Prozessparameter automatisch anpasst und bei kritischen Viskositätsabweichungen Warnmeldungen auslöst. Diese Funktionen unterstützen eine präzise Prozesssteuerung, minimieren Fehler und gewährleisten eine gleichbleibende Produktqualität.

All diese Möglichkeiten lassen sich in einem einzigartigen, kompakten System namens *CELLVOS*®, integrieren. Es kombiniert zwei wesentliche Schritte der Batterieproduktion – das Mischen und das Prallmahlen.

Intensives Mischen und Prallmahlen – *CELLVOS*®

Was ist *CELLVOS*®? – Die Kombination zweier Technologien für die Batterieherstellung

CELLVOS® ist ein kompaktes, schlüsselfertiges Mischsystem, das die beiden fortschrittlichen Dispersionstechnologien Intensivmischen und Prallmahlen mit einer Hochgeschwindigkeits-Pulverzufuhreinheit sowie Echtzeit-Analyseschleifen des Novanti-Systems kombiniert. Als Mini-Mischanlage konzipiert bietet es wesentliche Vorteile wie eine erhöhte Produktionskapazität, einen geringen Platzbedarf, kurze Prozesszeiten und höhere Ausbeuten.



Der Intensivmischer verfügt über einen speziell entwickelten Behälter mit zwei Mischwerkzeugen, die einen Wirbel erzeugen. Dieser sorgt für ein intensives Durchmischen und Dispergieren.

- + schnelle Pulverdosierung: 1000 kg pro Minute
- + Schnelles Mischen und Dispergieren in unter 90 Minuten
- + Steuerung der Viskosität

Die Rührwerksmühle besteht aus einer horizontalen Kammer, die mit Mahlkörpern gefüllt ist. Ein Rührwerk setzt die Mahlkörper in Bewegung und sorgt so für ein intensives Durchmischen. Die Suspension wird kontinuierlich durch die Kammer gepumpt.

- + geringer Platzbedarf
- + weniger Equipment
- + Steuerung der Partikelgröße – Veredelung
- + Verkürzung der Mischzeit

Design des NETZSCH-Pumpensystems NEMO® MY

Pulsationsfreies, korrosionsbeständiges Pumpsystem

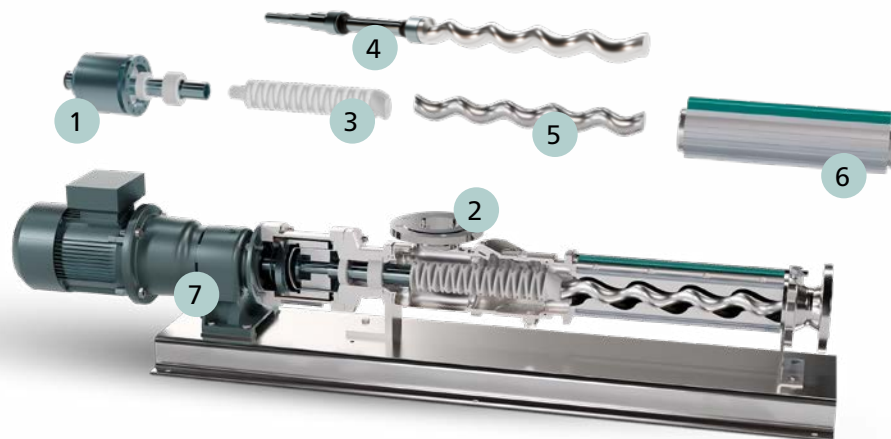
Die Konstruktion, der Betrieb und die Kompatibilität der Pumpe mit den Eigenschaften der Suspension haben direkten Einfluss auf die Qualität, Konsistenz und Leistungsfähigkeit von Batterieelektroden aus. Die Wahl der richtigen Pumpe ist daher entscheidend, um eine zuverlässige Elektrodenherstellung und eine optimale elektrochemische Leistung sicherzustellen. Unsere Pumpen und Systeme bieten eine pulsationsfreie Förderung, hochpräzise Dosierung und maximale Korrosionsbeständigkeit in allen Prozessschritten. Die Pumpen und Systeme des weltweit führenden Spezialisten für komplexes Fluidmanagement sind äußerst leistungsstark und zuverlässig. Da sie über einen langen Zeitraum problemlos betrieben werden können, stellen sie eine kostengünstige Lösung dar.

Die Magnetkupplung

Die NEMO® MY verbindet die pulsationsfreie Technologie der Exzentrerschneckenpumpe mit einer hermetisch abgedichteten Magnetkupplung. Dadurch werden externe Dichtungen überflüssig. Dies erhöht die Anlagensicherheit, senkt die Kosten und minimiert den Produktverlust durch optimierte Konstruktionsmerkmale wie eine PA12-Kupplungsstange und einen tangentialen Einlass.

Stator

Das einzigartige iFD®-Statorgehäuse ist flexibel und langlebig. Verschiedene Rohrmaterialien, darunter Keramik, sorgen für eine lange Lebensdauer und verhindern Metallverschleiß.



- 1 Magnetkupplung: hermetisch abgedichtet, optional mit Spülfunktion und Temperaturfühler
- 2 Pumpgehäuse: tangentialer Einlass für einfachere Reinigung
- 3 Kupplungsstange(PA12): Flexibel, metallfrei und CIP-optimiert
- 4 Option B/K-Verbindung: Alternative zur PA12-Stange
- 5 Rotor: Keramik oder Legierung, lange Lebensdauer, kein Metallabrieb
- 6 Stator: PA12/Elastomer mit iFD®-Gehäuse
- 7 Blockbauweise: direkt an die Laterne der Pumpe angeflanschter Antrieb

Die Rolle der Pumpe beim Auftrag der Batterieelektrodensuspensionen

- **Gleichmäßiger Durchfluss:** Gleichmäßiger, pulsationsarmer Durchfluss sorgt für eine gleichmäßige Schichtdicke und zuverlässige Elektrodenleistung.
- **Schonende Förderung:** Die NEMO® MY-Pumpe minimiert die Schubspannung und bewahrt so die Integrität der Suspension und die richtige Partikeldispersion.
- **Präzise Dosierung:** Genaueste Durchflussregelung für reproduzierbare Ergebnisse – unerlässlich vom Labor- bis zum Produktionsmaßstab.
- **Auf die richtige Pumpe kommt es an:** Ob Peristaltik-, Zahnrad-, Membran- oder Exzenter-schneckenpumpe – entscheidend ist die Abstimmung auf die Suspensionseigenschaften.
- **Auswirkung auf die Leistung:** Eine unzureichende Förderung der Suspension kann zu Beschichtungsfehlern, verminderter Kapazität und geringerer Zellzuverlässigkeit führen.

Die NEMO® MY-Pumpe ermöglicht einen gleichmäßigen, effizienten und hochwertigen Auftrag der Elektrodensuspension – denn jede Schicht zählt.

Technischen Daten Leistungsbereich

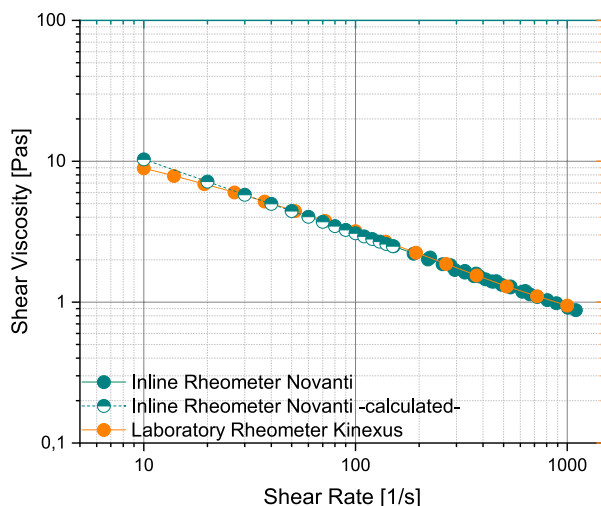
NEMO® MY	
Typ	Magnetgekuppelte Exzenter-schneckenpumpe
Hermetische Dichtheit	■ keine Gleitringdichtung ■ keine Undichtigkeit bei toxischen/aggressiven Medien
Dichtungssystem	■ Magnetkupplung ■ wartungsfreies System
Durchflussraten	30 m³/h
Druckbereich	bis zu 30 bar
Viskositätsbereich der Suspension	■ Medien bis zu 50.000 mPa·s und mehr ■ hoher Feststoffanteil
Anwendungsbereich	■ Einhaltung der TA-Luft ■ abrasive, aggressive und toxische Medien ■ Batteriesuspensionen
Ansaugvermögen	sehr niedrige NPSHr-Werte
Einfache Reinigung	■ externe Spülanschlüsse für Magnetkupplung ■ CIP-konforme Pumpe
Standards	zertifiziert gemäß ATEX und FDA

Inline-Viskositätsmessung bei der Elektrodenbeschichtung von Anode und Kathode

Applikationsübersicht: Inline-Viskositätsmessung an Elektrodenbeschichtungen

Diese Anwendung verdeutlicht die Leistungsfähigkeit des Messmoduls, welches direkt hinter einer NEMO®-Pumpe installiert wurde. Im Rahmen der Studie standen mehrere Beschichtungsversuche mit Anoden- und Kathodensuspensionen. Die wichtigsten Aspekte des Experiments:

- Installationsaufbau: Platzierung der Messmodule direkt hinter der NEMO®-Pumpe.
- Versuchsbedingungen: Die Beschichtungsversuche wurden sowohl mit Kathoden- als auch mit Anodensuspension vorgenommen.
- Prozessparameter wie
 - Förderrate der Suspension
 - Vorhandensein oder Fehlen des Messmoduls
- Produktparameters wie
 - Schwankungen des Feststoffanteils
- Validierung der Messung: Vergleich der Inline-Viskositätsmesswerte mit kalibrierten Offline-Labormessungen.

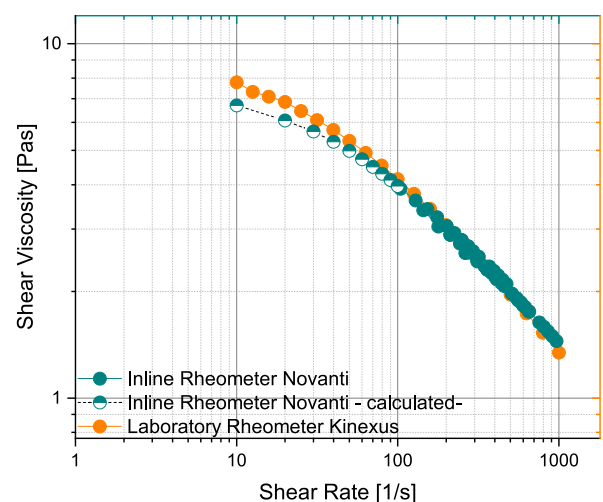


Vergleich von Inline-Viskositätsmessungen (grün) mit Offline-Viskositätsmessungen (orange) von Suspensionen während der Anodenproduktion.

Leistungsbewertung der Inline-Viskositätsmessung

Im Mittelpunkt der Bewertung standen die Präzision und die Reproduzierbarkeit von Inline-Viskositätsmessungen. Sowohl Anoden- als auch Kathodensuspensionen wurden in mehreren Beschichtungsversuchen untersucht, wobei die Viskosität inline gemessen und offline mithilfe von Laborgeräten überprüft wurde.

- Die Viskositätsprofile zeigten eine hervorragende Übereinstimmung, wobei die Abweichungen über einen optionalen einstellbaren Scherratenbereich von 100 bis 1.000 s^{-1} auf $\pm 10\%$ begrenzt waren.
- Wiederholte Messungen bestätigten die Robustheit und Zuverlässigkeit des Systems.
- Diese Ergebnisse belegen die Eignung des Moduls für die Echtzeitüberwachung und -steuerung von Aufbereitungsprozessen für Batterieelektrodensuspensionen.



Vergleich von Inline-Viskositätsmessungen (grün) mit Offline-Viskositätsmessungen (orange) von Suspensionen während der Herstellung von LFP-Kathoden.

Aus einer Hand. Für völlige Kontrolle.

Ihr Partner für intelligentere Batterien.



All-in-One-Lösung

- Reduzierung von Materialausschuss
- Minimierung von Maschinenstillstandszeiten
- Minimierung zeitaufwändiger Offline-Tests
- Einfache Integration in bestehende Produktionsumgebungen oder als Systemlösung mit *CELLVOS®*



Betriebseffizienz

- Wegfall der manuellen Probennahme
- Geringerer betrieblicher Aufwand
- Maximierung der Betriebszeit kritischer Anlagen



Verbesserte Produktqualität

- Sicherstellung einer konstanten Qualität der Suspension für hochqualitative Elektrodenbeschichtungen
- Verbesserte Batterieleistung
- Hohe Zuverlässigkeit und Zykluslebensdauer



Pulsationsfreies Pumpsystem

- Stabiler und pulsationsfreier Durchfluss für minimierte Schubspannungen
- Korrosionsbeständig
- Hochpräzise Dosierung
- Keine Notwendigkeit externer Dichtungen
- Erhöhte Anlagensicherheit
- Aufrechterhaltung einer optimalen Partikeldispersion



Prozesssteuerung in Echtzeit

- Kürzere Reaktionszeiten auf Abweichungen
- Sicherstellung der Prozessstabilität
- Erhöhte Reproduzierbarkeit über Chargen hinweg



Zwei in Eins – Mischen und Prallmahlen

- Hochgeschwindigkeit-Pulverzuführung für erhöhte Produktionskapazität
- Feedbackschleifen in Echtzeit
- Kontinuierliches Pumpen der Suspension und Aufzeichnung der Viskosität in Echtzeit
- Erhöhte Batterieleistung
- Reduzierte Mischzeiten
- Kürzere Prozesszeiten



Reduzierung von Ausschuss

- Frühe Erkennung von Abweichungen minimiert Ausschuss und verringert die Materialverschwendung
- Nachhaltige und kosteneffiziente Produktion



Erhöhte Sicherheit

- Mischen und Mahlen im geschlossenen Kreislauf
- Hermetisch abgedichtetes Pumpensystem für erhöhte Anlagensicherheit
- Reduzierte Kosten und minimierte Materialverschwendung

NETZSCH Technologie ist weltweit führend im Bereich der Thermischen Charakterisierung von annähernd allen Werkstoffen. Wir bieten Komplettlösungen für die Thermische Analyse, die Kalorimetrie (adiabatische und Reaktionskalorimetrie), die Bestimmung thermophysikalischer Eigenschaften, die Rheologie und die Brandprüfung. Basierend auf mehr als 60 Jahren Applikationserfahrung, einer breiten Produktpalette auf dem neuesten Stand der Technik und umfassenden Serviceleistungen erarbeiten wir für Sie Lösungen und Gerätekonfigurationen, die Ihren täglichen Anforderungen mehr als gerecht werden.

Proven Excellence. ■

NETZSCH-Gerätebau GmbH
Wittelsbacherstraße 42
95100 Selb
Deutschland
Tel.: +49 9287/881-0
Fax: +49 9287/881-505
at@netzsch.com

NETZSCH Pumpen & Systeme GmbH
Geretsrieder Straße 1
84478 Waldkraiburg
Deutschland
Tel.: +49 8638 63-0
info.nps@netzsch.com

NETZSCH-Feinmahltechnik GmbH
Sedanstraße 70
95100 Selb
Deutschland
Tel.: +49 9287 797 0
Fax: +49 9287 797 149
info.nft@netzsch.com

NETZSCH Trockenmahltechnik GmbH
Rodenbacher Chaussee 1
63457 Hanau
Deutschland
Tel.: +49 6181 506 01
Fax: +49 6181 571 270
info.ntt@netzsch.com



NETZSCH®

www.netzsch.com