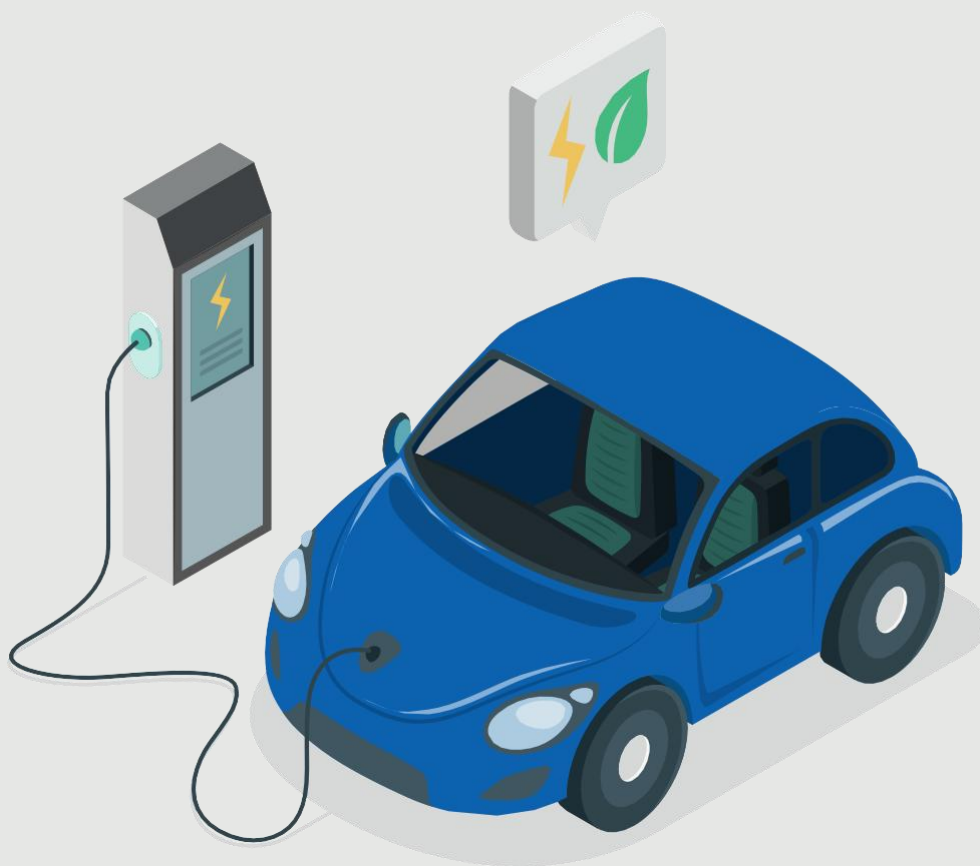




Überblick von Experten für grüne Energiewende über Batterien der nächsten Generation

Bericht auf Grundlage der Ergebnisse einer
Umfrage unter Batterieexperten

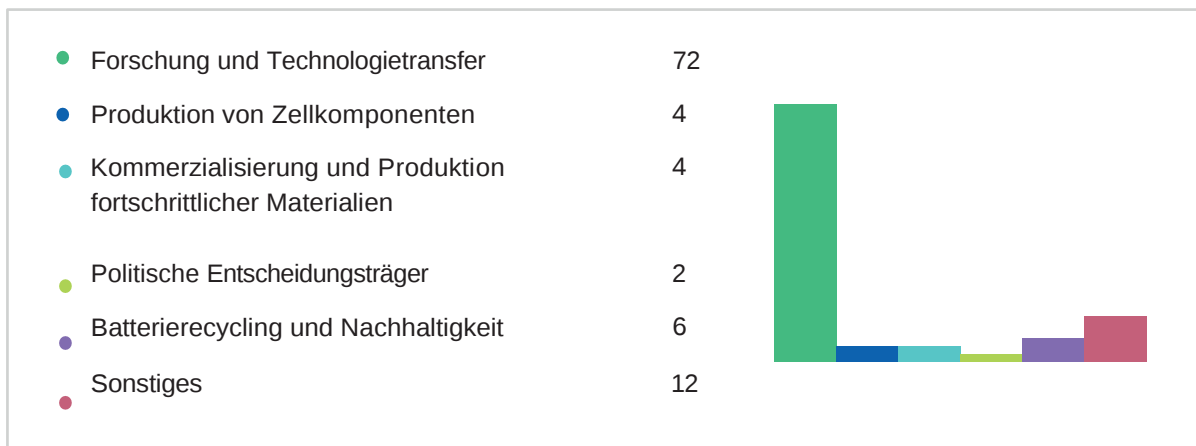


Autoren: Alessandra Manzini | Laura Martínez García | Pauliina Harrivaara

Ergebnisse der Umfrage unter Batterieexperten: Überblick von Experten für grüne Energiewende über Batterien der nächsten Generation

Anzahl der Teilnehmer: 50

In welchem Segment der Batterie-Wertschöpfungskette sind Sie tätig? 📋

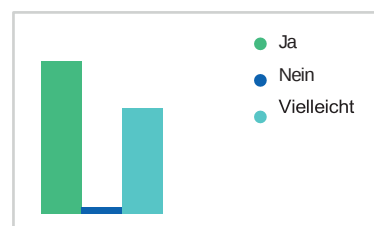


Sind Elektrofahrzeuge eine Lösung für kohlenstoffarme Mobilität? ⚡

- Die meisten Experten (**58 %**) sind der Meinung, dass Elektrofahrzeuge (EVs) eine entscheidende Rolle bei der Verwirklichung einer kohlenstoffarmen Mobilität und der Minderung der mit herkömmlichen Fahrzeugen mit Verbrennungsmotor (ICE) verbundenen Umweltauswirkungen spielen. Allerdings äußerten sich **40 %** der Experten unsicher und wiesen darauf hin, dass EVs potenziell zu einer kohlenstoffarmen Mobilität beitragen könnten, wenn einige Herausforderungen bewältigt werden:

1. Primärenergie, die aus erneuerbaren Quellen erzeugt und bezogen wird;
2. Entwicklung von EVs und Batterien ohne kritische Rohstoffe (CRMs) ;
3. Paradigmenwechsel hin zu Suffizienz und leichteren Fahrzeugen;
4. Großflächige Einrichtung von EV-Ladestationen.

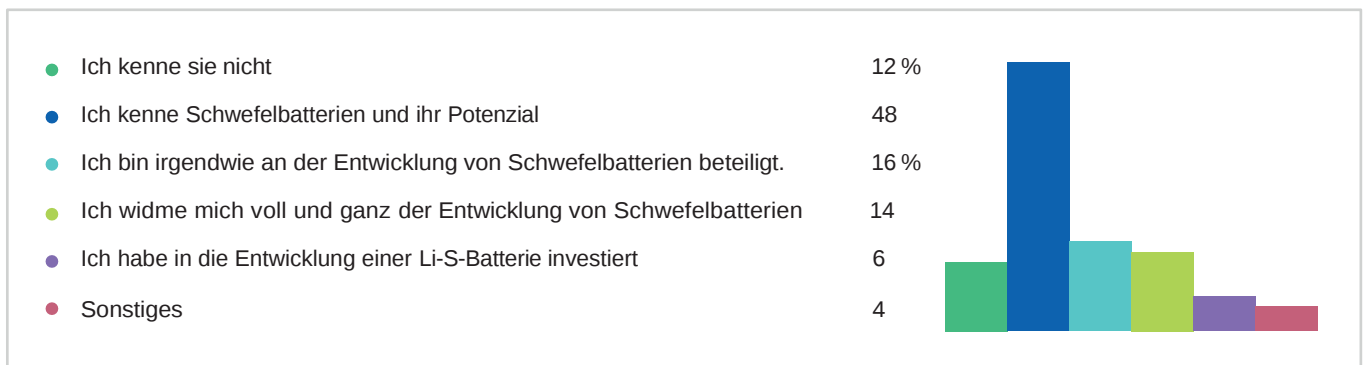
Antwort	Prozent
Ja	58 %
Nein	2
Vielleicht	40



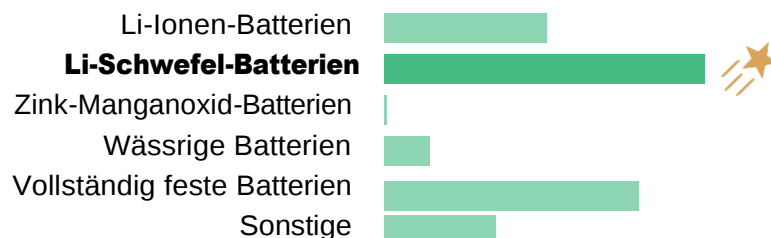
- Nur **2 %** der Teilnehmer sind der Meinung, dass Elektrofahrzeuge keine Lösung für eine kohlenstoffarme Mobilität darstellen.

Wie schätzen Sie Ihren Wissensstand über Schwefelbatterien ein?

- Die Antworten auf diese Frage lassen auf unterschiedliche Wissensstände und Engagementgrade schließen und verdeutlichen, dass sich das Verständnis und die Entwicklung von Schwefelbatterien ständig weiterentwickeln. Die Kommentare der Befragten unterstreichen das Spektrum des Bewusstseins, wobei einige Experten angaben, dass sie zwar über das aktuelle Potenzial informiert seien, aber kein tiefgreifendes Verständnis davon hätten. Andere berichteten von ihrem Engagement oder ihrer früheren Beschäftigung mit Schwefelbatterien und betonten ihre Erfahrung auf diesem Gebiet. Fast die Hälfte (**48 %**) war mit Schwefelbatterien vertraut und erkannten deren Potenzial an.



Was ist Ihrer Meinung nach die vielversprechendste Batterie der nächsten Generation für Elektrofahrzeuge?



- Experten identifizierten die vielversprechendsten Batterien der nächsten Generation wie folgt:
 1. Schwefelbatterien.
 2. All-Solid-State-Batterien (ASSB)
 3. Li-Ionen-Batterien der 4. Generation

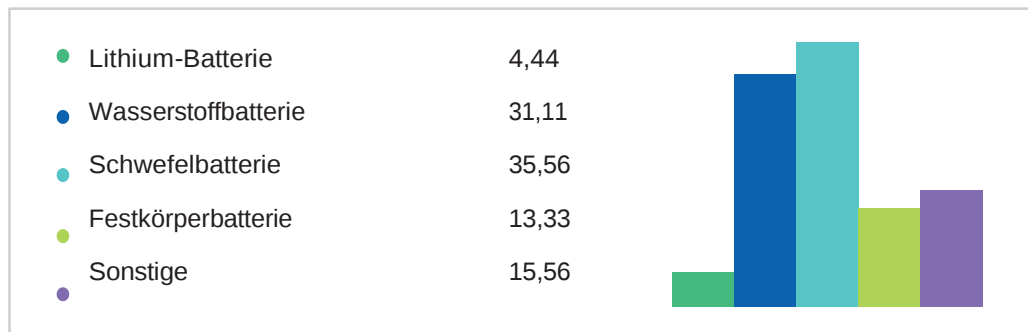
Weitere erwähnenswerte Batterien, die in den Kommentaren genannt wurden, sind **wässrige Batterien**, darunter Natrium-Ionen-Batterien. Die erste und zweite Wahl wurden durch gemeinsame Vorteile von Schwefelbatterien und Festkörperbatterien begründet. Es wurde betont, dass die kommerzielle Nutzung von Li-S-Batterien ein stärkeres Engagement der Industrie erfordern würde.

- All-Solid-State-Batterien** waren die zweitbeliebteste Wahl der Experten, da sie mehrere Vorteile bieten, darunter eine höhere Energiedichte, verbesserte Sicherheit aufgrund nicht brennbarer Elektrolyte, eine längere Lebensdauer und potenzielle Umweltvorteile. Trotz der bestehenden

Herausforderungen in Bezug auf Herstellung und Skalierbarkeit machen sie aufgrund ihrer potenziellen Vorteile für die Zukunft der Elektromobilität attraktiv.

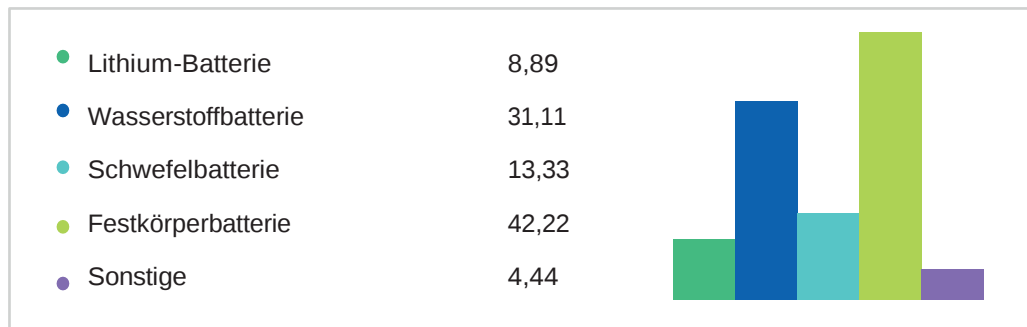
- **Li-Ionen-Batterien**, die an dritter Stelle der Präferenzen standen, wurden als sichere Wahl für die Zukunft angesehen.
- Der Begriff „**Batterie der nächsten Generation**“ löste eine Diskussion über seine Auswirkungen aus. In den Kommentaren wurde die Bedeutung von leicht verfügbaren Materialien mit unkomplizierten Veredelungsprozessen, der Kompatibilität mit bestehenden oder geplanten Produktionslinien, Überlegungen zur Recyclingfähigkeit und der Betonung einer effizienten Batteriegröße und Materialbeschaffung hervorgehoben.

Welche Batterie ist hinsichtlich des CO₂-Fußabdrucks am nachhaltigsten? 🌱



- Die Umfrageergebnisse zeigen, dass **Schwefelbatterien** und **wässrige Batterien** die beiden führenden innovativen Technologien für die nachhaltigsten Batterien in Bezug auf den CO₂-Fußabdruck sind.
- **Wässrige Batterien** sind für ihre relativ günstige CO₂-Bilanz bekannt, da sie wasserbasierte Elektrolyte und umweltfreundliche Materialien verwenden, was zu reduzierten Treibhausgasemissionen während der Produktion führt. Andere Technologien, wie LiFePO₄, Aluminium-Kohlenstoff-Batterien und nukleare Diamantbatterien, wurden in Kommentaren aufgrund ihrer Langlebigkeit erwähnt.
- Die Erkenntnisse von Experten zur Analyse der CO₂-Bilanz umfassen die Abhängigkeit vom Produktionsstandort und den Produktionsprozessen, wobei eine effektive Bewertung für vollständig ausgereifte Technologien aufgrund der geringeren Unsicherheit möglich ist.
- Der Einfluss der Energiequelle auf die Nachhaltigkeit wurde hervorgehoben, da erneuerbare Energien die CO₂-Bilanz der Batterieproduktion senken können. Allerdings führen verschiedene Faktoren wie Hersteller, Standort und Materialien zu erheblichen Schwankungen in der CO₂-Bilanz von Batterien. Es ist ratsam, Lebenszyklusanalysen (LCAs) und Umweltverträglichkeitsstudien zu überprüfen, um die genauesten und aktuellsten Informationen zur CO₂-Bilanz verschiedener Batterietechnologien zu erhalten.
- Es wurde erwähnt, dass der CO₂-Fußabdruck zwar möglicherweise nicht der beste Leistungsindikator ist, aber die Automobilhersteller zu nachhaltigeren Praktiken bewegen könnte.

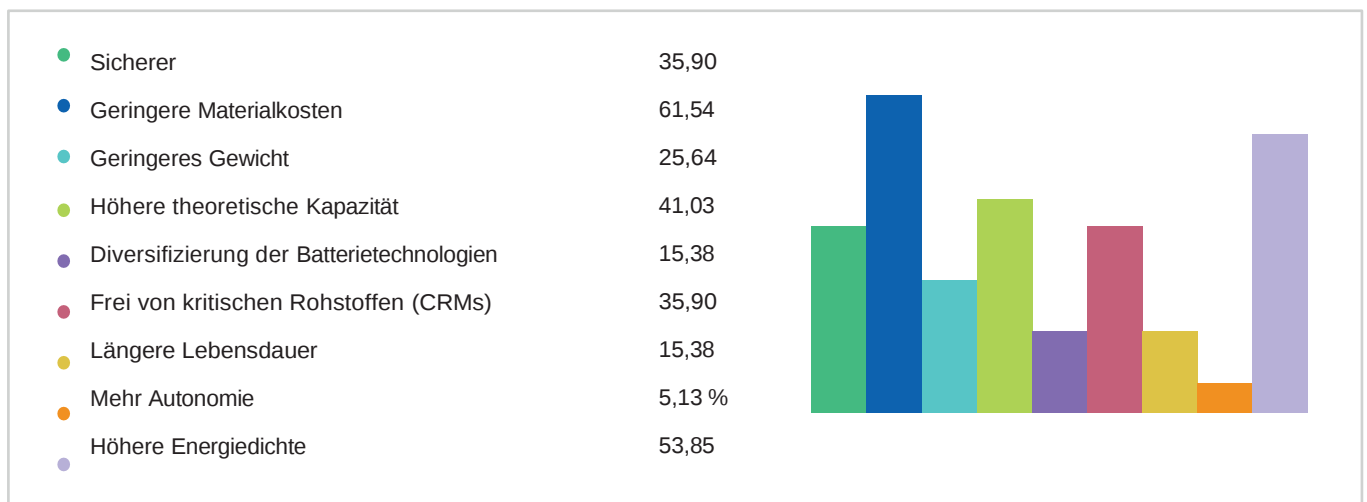
Welche Batterie ist die sicherste? 🛡️



Ein bemerkenswerter Prozentsatz der Befragten (**31,11 %**) identifizierte **wässrige Batterien** als die sichersten. Die Leitprinzipien für die verschiedenen Entscheidungen wurden in den Kommentaren erläutert:

- **Festkörperbatterien** verwenden feste Elektrolyte anstelle der in herkömmlichen Lithium-Ionen-Batterien enthaltenen flüssigen oder gelartigen Elektrolyte. Diese Konstruktionsmöglichkeit mindert die mit herkömmlichen Lithium-Ionen-Batterien verbundenen Risiken einer thermischen Instabilität und eines Brandes und entspricht damit den Sicherheitsanforderungen. Festkörperbatterien haben außerdem das Potenzial für eine höhere Energiedichte und eine längere Lebensdauer, was zu ihrer allgemeinen Sicherheit beitragen kann.
- Neue Technologien wie **All-Solid-State-Batterien** (ASSB) befinden sich noch in der Forschungs- und Entwicklungsphase, und ihre Sicherheitsprofile werden aktiv untersucht und verbessert.
- **Wasserbasierte Batterien** mit geringerem Energiegehalt gelten zwar als grundsätzlich sicherer, doch lässt sich Sicherheit letztlich nicht ohne Weiteres messen. Insbesondere ist eine umfassende Bewertung auf der Ebene größerer Zellen und Systeme erforderlich. In anderen Kommentaren wurden Alternativen wie LiFEPO4-Batterien hervorgehoben.

Was sind die drei wichtigsten Vorteile von Schwefelbatterien? ☑️



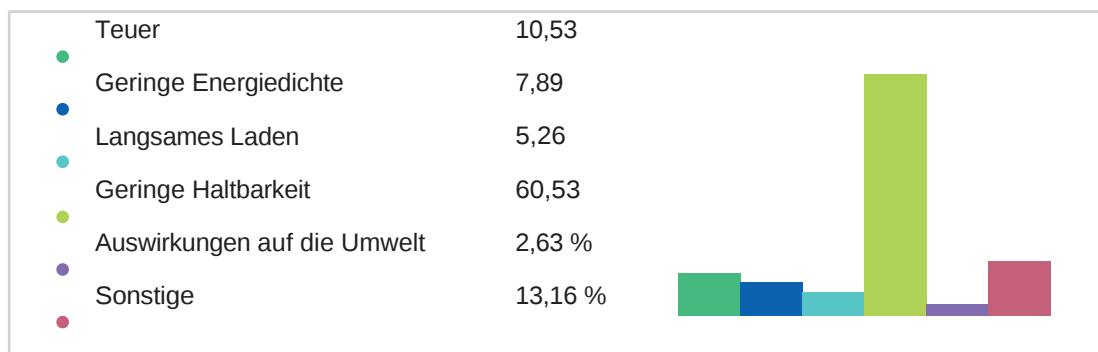
- Experten hoben drei wesentliche Vorteile von Schwefelbatterien hervor:

1. Geringere Materialkosten
2. Höhere theoretische Kapazität
3. Höhere Energiedichte

Hinzu kommen CRM-Freiheit und Sicherheitsaspekte. Schwefel ist ein reichlich vorhandenes und kostengünstiges Element, insbesondere wenn es als Abfallprodukt anderer Prozesse (Ölraffination) gewonnen wird. Li-S-Batterien haben das Potenzial, die Herstellung zu vereinfachen, indem sie komplexe Materialien aus herkömmlichen Lithium-Ionen-Batterien eliminieren und so möglicherweise die Kosten senken.

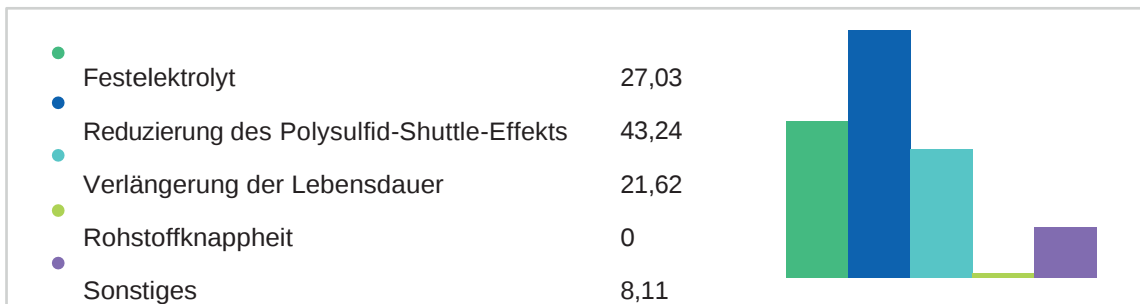
- In ihren Kommentaren betonen Experten insbesondere die **überlegene Sicherheit** von Schwefelbatterien gegenüber Lithium-Ionen-Batterien aufgrund ihrer nicht brennbaren Elektrolyte. Darüber hinaus verbessert die Umweltfreundlichkeit von Schwefel im Vergleich zu anderen Batteriematerialien die ökologische Nachhaltigkeit von Li-S-Batterien. Durch die Verringerung der Abhängigkeit von Materialien wie Kobalt aus Konfliktgebieten tragen Li-S-Batterien zur Lösung ethischer und ökologischer Probleme bei. Materialien auf Schwefelbasis sind weniger giftig und reichlicher vorhanden, was zu einer potenziell geringeren Umweltbelastung beiträgt.
- Lithium-Schwefel-Batterien haben eine der höchsten **theoretischen Energiedichten** aller Batteriechemien. Durch das geringe Gewicht von Schwefel in Verbindung mit effizienten chemischen Reaktionen zwischen Lithium und Schwefel können Li-S-Batterien potenziell mehr Energie pro Gewichtseinheit speichern als herkömmliche Li-Ionen-Batterien. Diese hohe Energiedichte macht sie attraktiv für Anwendungen, bei denen Gewicht und Energiespeicherung entscheidend sind, wie z. B. Elektrofahrzeuge und tragbare Elektronikgeräte.

Was sind die wichtigsten Einschränkungen von Schwefelbatterien? ✕



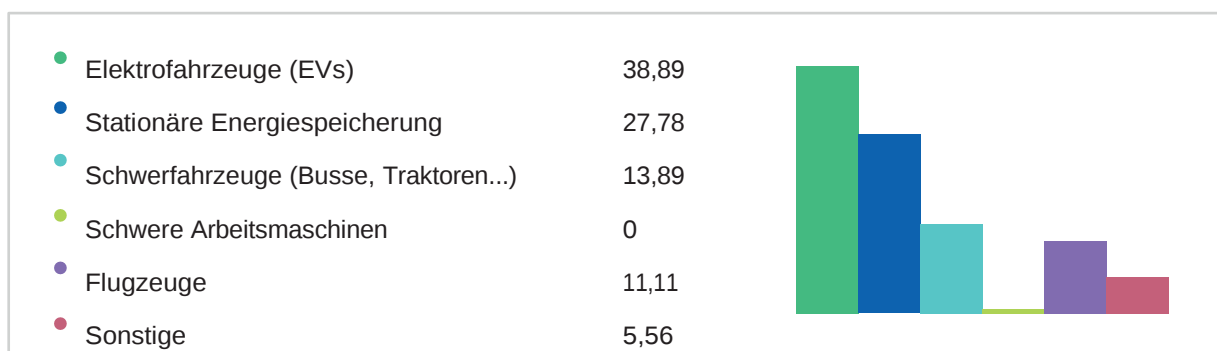
- Die wichtigste Einschränkung von Schwefelbatterien ist laut den teilnehmenden Experten ihre **geringe Haltbarkeit**, die in erster Linie auf den Polysulfid-Shuttle-Effekt zurückzuführen ist. Dieser Effekt, der durch wiederholte Lade- und Entladezyklen entsteht, kann zu einer Verschlechterung der Schwefelelektrode und anderer Batteriekomponenten führen und somit die Gesamtlebensdauer und Zuverlässigkeit verringern. Forscher arbeiten aktiv daran, die Haltbarkeit von Schwefelbatterien zu verbessern und damit ihre Eignung für verschiedene Anwendungen zu erhöhen.
- Weitere Bedenken betreffen die Sicherheit und Stabilität von Li-S-Batterien. Die Skalierung auf echte industrielle Größenordnungen ist entscheidend für die Erreichung von Kostenwettbewerbsfähigkeit.

Was wäre der entscheidende Faktor, um das Potenzial von Schwefelbatterien auszuschöpfen? 🧐



- Experten zufolge sind folgende Faktoren entscheidend für die Weiterentwicklung von Schwefelbatterien:
 1. Reduzierung des Polysulfid-Shuttle-Effekts
 2. Festelektrolyt
 3. Verlängerung der Lebensdauer
- Expertenmeinungen zeigen, dass diese Faktoren miteinander in Wechselbeziehung stehen. Feste Elektrolyte könnten die Lösung für den ersten Faktor sein, nämlich die Verringerung des Polysulfid-Shuttle-Effekts. Daher identifizierten Experten „feste Elektrolyte“ als zweiten entscheidenden Faktor, um das Potenzial von Schwefelbatterien auszuschöpfen. Feste Elektrolyte bieten mehrere Vorteile in Schwefelbatterien, darunter verbesserte Sicherheit, höhere Energiedichte und verlängerte Lebensdauer. Sie können einige Herausforderungen im Zusammenhang mit herkömmlichen flüssigen Elektrolyten bewältigen, wie z. B. die Auflösung von Polysulfiden und den daraus resultierenden Polysulfid-Shuttle-Effekt, der zu Kapazitätsverlusten und einer verkürzten Lebensdauer führen kann. Feste Elektrolyte können diese Probleme mindern und Schwefelbatterien praktischer und effizienter machen.
- In den Kommentaren wurde insbesondere darauf hingewiesen, dass kalte Bedingungen eine Herausforderung für Schwefelbatterien darstellen können und dass die Lösung dieses Problems weitere Fortschritte ermöglichen könnte. Auch die Kostenauswirkungen der Forschung und Entwicklung im Bereich Schwefelbatterien wurden angesprochen.

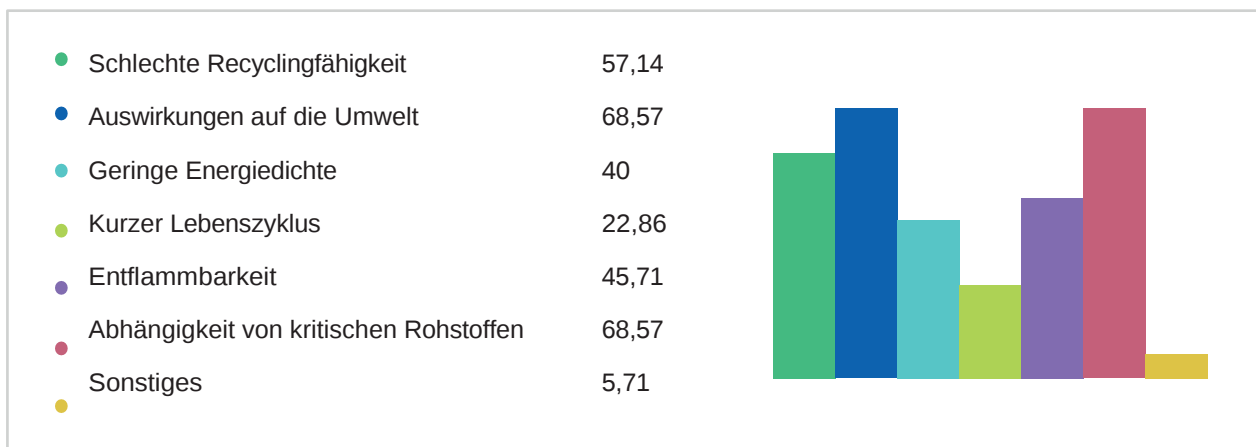
Was ist die vielversprechendste potenzielle Verwendung von Schwefelbatterien in der Zukunft? ✨



Etwa **40 %** der Experten halten Schwefelbatterien aufgrund ihres geringen Gewichts und ihrer hohen theoretischen Energiedichte für besonders vielversprechend für **Elektrofahrzeuge**, da sie eine höhere Speicherkapazität und eine größere Reichweite für Langstreckenfahrten bieten.

- Die zweitvielsprechendste zukünftige Anwendungsmöglichkeit für Schwefelbatterien unter den angebotenen Optionen ist **die stationäre Energiespeicherung**. Schwefelbatterien haben großes Potenzial für stationäre Energiespeicheranwendungen gezeigt, da sie aufgrund ihrer Kosteneffizienz und hohen Energiedichte für die Unterstützung der Netzstabilität und die Speicherung von Strom aus erneuerbaren Quellen geeignet sind. Während sie mit fast 14 % für Sektoren wie Schwerlastfahrzeuge und mit 11 % für Flugzeuge Potenzial haben, ist die stationäre Speicherung aufgrund des wachsenden Bedarfs an Energiespeicherlösungen auf Netzebene zur Steuerung von Schwankungen bei erneuerbaren Energien und zur Verbesserung der Zuverlässigkeit des gesamten Energiesystems eine überzeugende Wahl.
- Stationäre Speicher spielen auch eine entscheidende Rolle bei der Förderung eines nachhaltigen Verkehrs, indem sie die Netzstabilität für intermittierende erneuerbare Energien gewährleisten, Sekundärbatterien (z. B. von Elektrofahrzeugen) aufladen und einen effizienten Landverkehr durch direkte Netzanschlüsse (elektrifizierte Schienen, Oberleitungsbusse usw.) für feste Strecken ermöglichen. Dieser Ansatz optimiert die Effizienz, reduziert den Ressourcenverbrauch, senkt die Kosten, verbessert die Fahrzeulleistung und beseitigt die Belastung durch die Energiespeicherung an Bord.

Was sind die drei Hauptbeschränkungen aktueller handelsüblicher Batterien? ✕



- Experten haben die folgenden Hauptnachteile bestehender handelsüblicher Batterien identifiziert:
 1. Abhängigkeit von kritischen Rohstoffen und deren Auswirkungen auf die Umwelt
 2. Schlechte Recyclingfähigkeit der Materialien
 3. Entflammbarkeit
- Weitere relevante Nachteile sind **die geringe Energiedichte** und **die kurze Lebensdauer**. Im Vergleich zu fossilen Brennstoffen speichern Batterien deutlich weniger Energie pro Gewichtseinheit und Volumen. Überladung, Überhitzung, Beschädigungen oder Kurzschlüsse bergen Brand- und Explosionsgefahren, die insbesondere bei der Verwendung in Fahrzeugen die Sicherheit beeinträchtigen.
- Die Abhängigkeit von kritischen Rohstoffen** hat vielfältige Auswirkungen auf die Rechte der Arbeitnehmer, die geopolitische Stabilität und sozioökologische Verstöße im Zusammenhang mit Ausbeutung und Rohstoffgewinnung. Darüber hinaus behindert das Fehlen einer gut etablierten Recyclingindustrie den Übergang zu einer Kreislaufwirtschaft für vorhandene Batterien.