

Vergleich von 18650-Akkuzellen: ICR, IMR, INR und IFR/LFP

Die Bauform 18650 beschreibt zunächst nur die mechanischen Abmessungen einer zylindrischen Akkuzelle: ungefähr 18 mm Durchmesser und 65 mm Länge. Über Kapazität, Strombelastbarkeit, Lebensdauer und Sicherheit sagt diese Bezeichnung allein noch nichts aus.

Entscheidend ist die Zellchemie. Sie bestimmt, ob eine Zelle beispielsweise für eine Taschenlampe, ein Elektrowerkzeug, einen Akkupack oder einen stationären Energiespeicher geeignet ist.

1. Technischer Direktvergleich

Die Kapazitäten und Zyklenzahlen sind typische Orientierungsbereiche für 18650-Zellen, keine garantierten Herstellerwerte. Die konkreten Zelltypen können deutlich davon abweichen.

Eigenschaft	ICR	IMR	INR	IFR / LFP
Kathodenchemie	Lithium-Cobaltoxid (LCO)	Lithium-Manganoxid (LMO)	Meist Nickel-Mangan-Cobaltoxid (NMC)	Lithium-Eisenphosphat (LFP)
Nennspannung	3,6–3,7 V	3,6–3,7 V	3,6–3,7 V	3,2–3,3 V
Ladeschlussspannung, typisch	4,20 V	4,20 V	4,20 V	3,60–3,65 V
Typische Kapazität	2.000–3.500 mAh	1.500–2.500 mAh	2.000–3.500 mAh	1.000–1.500 mAh
Zyklusfestigkeit, grob	300–500	300–700	500–1.000+	1.000–3.000+
Strombelastbarkeit	Niedrig bis mittel	Hoch	Mittel bis sehr hoch	Je nach Typ mittel bis hoch
Thermische Stabilität	Vergleichsweise gering	Gut	Gut bis sehr gut, abhängig vom Zelltyp	Sehr gut
Typischer Schwerpunkt	Hohe Energiedichte	Hohe Leistungsabgabe	Universelle Verwendung	Lange Lebensdauer und Sicherheit

Die Werte sind bewusst als Näherungen angegeben. Die Zyklenzahlen hängen insbesondere von Lade- und Entladestrom, Temperatur, Entladetiefe und dem vom Hersteller definierten Lebensdauer-Endpunkt ab. Auch die Bezeichnungen IMR und INR sind keine vollständige technische Spezifikation: Moderne Zellen können Mischkathoden oder abweichende Materialzusammensetzungen verwenden.

2. Die vier Zellchemien im Detail

ICR – Lithium-Cobaltoxid (LCO) - Hohe Energiedichte

Stärken

- Hohe Kapazität bei geringem Bauraum.
- Gut für Anwendungen mit vergleichsweise gleichmäßiger, niedriger Leistungsaufnahme.
- Lange Zeit verbreitet in Unterhaltungselektronik.

Schwächen

- Im Vergleich zu LFP geringere thermische Stabilität.
- Hohe Entladeströme sind bei vielen ICR-Zellen nicht zulässig.
- Überladung, Kurzschluss oder mechanische Beschädigung können gefährliche Reaktionen auslösen.

Typische Verwendung: ältere Laptop-Akkupacks, kompakte Elektronik und Geräte mit geringer Stromaufnahme.

IMR – Lithium-Manganoxid (LMO)

Hohe Strombelastbarkeit

Stärken

- Geringer Innenwiderstand bei geeigneten Zelltypen.
- Gute Leistungsabgabe und hohe mögliche Entladeströme.
- Im Allgemeinen thermisch stabiler als klassische LCO-Zellen.

Schwächen

- Häufig geringere Kapazität als vergleichbare Hochenergiezellen.
- Die Lebensdauer kann bei hohen Temperaturen und starker Belastung sinken.
- Auch IMR-Zellen sind nicht grundsätzlich kurzschluss- oder überladungssicher.

Typische Verwendung: leistungsstarke Taschenlampen, Hochstromanwendungen und bestimmte Elektrowerkzeuge.

INR – Nickel-Mangan-Cobalt (NMC)

Ausgewogener Allrounder

Stärken

- Gute Kombination aus Kapazität, Leistungsabgabe und Baugröße.
- Große Auswahl an Hochenergie- und Hochstromzellen.
- Sehr vielseitig für Einzelzellen und Akkupacks.

Schwächen

- Die thermische Stabilität liegt grundsätzlich unter der von LFP.
- Hochkapazitätzellen sind nicht automatisch hochstromfähig.
- Die tatsächliche Zyklenfestigkeit variiert je nach Zellkonstruktion und Betriebsbedingungen.

Typische Verwendung: E-Bikes, Elektrowerkzeuge, Modellbau, leistungsfähige Taschenlampen und weitere Akkupacks.

IFR / LFP – Lithium-Eisenphosphat

Hohe Sicherheit und Lebensdauer

Stärken

- Sehr gute thermische und chemische Stabilität.
- Häufig hohe Zyklenfestigkeit.
- Gut geeignet für häufiges Laden und Entladen.

Schwächen

- Deutlich niedrigere Nennspannung als bei ICR, IMR und INR.
- In der Bauform 18650 meist geringere Kapazität in mAh.
- Benötigt ein für LFP geeignetes Ladeverfahren und gegebenenfalls ein angepasstes Batteriemanagementsystem.

Typische Verwendung: Langlebige Akkupacks, Puffer- und Notstromsysteme sowie Anwendungen mit hohen Anforderungen an Sicherheit und Zyklenfestigkeit.

Die grundlegenden chemischen Unterschiede und die daraus resultierenden Einsatzschwerpunkte werden auch in technischen Vergleichen der Zellchemien beschrieben.

3. Kapazität und tatsächlich gespeicherte Energie

Ein wichtiger Punkt beim Vergleich: mAh allein sind kein fairer Maßstab, weil LFP-Zellen eine niedrigere Nennspannung haben. Die gespeicherte Energie berechnet sich näherungsweise aus:

$$E \approx U_{\text{Nenn}} \cdot Q$$

Beispiel mit jeweils 2.500 mAh:

INR / ICR / IMR: 3,6 V × 2,5 Ah **9,0 Wh**

IFR / LFP: 3,2 V × 2,5 Ah **8,0 Wh**

Rechenbeispiel mit identischer Kapazität, nicht der Vergleich konkreter Produkte.

Eine LFP-Zelle mit 1.500 mAh speichert bei 3,2 V rund 4,8 Wh. Eine INR-Zelle mit 3.500 mAh und 3,6 V erreicht dagegen rund 12,6 Wh. Dafür kann die LFP-Zelle bei passenden Betriebsbedingungen wesentlich mehr Lade- und Entladezyklen erreichen.

4. Lebensdauer: Was ist realistisch?

Die Zyklenfestigkeit bezeichnet die Anzahl vollständiger äquivalenter Lade- und Entladezyklen bis zu einem festgelegten Kapazitätsverlust. Sie ist nicht mit der kalendarischen Lebensdauer in Jahren gleichzusetzen.

Betriebsbedingung	Einfluss auf die Lebensdauer
Moderate Temperaturen	In der Regel günstig
Häufiges Laden auf maximale Spannung	Kann die Alterung beschleunigen
Tiefe Entladung	Kann die Lebensdauer reduzieren
Hohe Lade- und Entladeströme	Erhöhen Verluste und Erwärmung
Lange Lagerung bei hohem Ladezustand	Kann die kalendarische Alterung beschleunigen

Als konkretes Beispiel nennt das Datenblatt der Samsung INR18650-35E mindestens 3.350 mAh Standardkapazität. Unter den dort definierten Prüfbedingungen verbleiben nach 500 Zyklen mindestens 2.010 mAh, also 60 % der Standardkapazität. Das zeigt, weshalb pauschale Angaben wie „INR hält 1.000 Zyklen“ ohne Prüfbedingungen wenig aussagekräftig sind.

5. Welche Zellchemie eignet sich für welchen Zweck?

Anwendung	Meine technische Einschätzung
Taschenlampe mit hoher Lichtleistung	IMR oder hochstromfähige INR
Laptop-Akku mit hoher Laufzeit	Hochenergie-INR; bei älteren Packs auch ICR
Akkupack für Elektrowerkzeuge	INR oder geeignete IMR-Zellen, abhängig vom Spitzenstrom
Häufig zyklischer Energiespeicher	LFP, sofern Spannung und Bauform passen
Notstromversorgung	LFP bei geeigneter Systemauslegung; andere Chemien abhängig von Laufzeit und Platzbedarf
Möglichst hohe Kapazität pro 18650-Zelle	Hochenergie-INR oder geeignete ICR-Zellen
Möglichst lange Zyklenlebensdauer	In der Regel LFP

6. Hinweise für die Praxis

- Ladegerät: LFP-Zellen dürfen nicht mit einem unverändert auf 4,2 V ausgelegten Li-Ion-Ladeprofil geladen werden. Maßgeblich ist das jeweilige Datenblatt.
- Batteriemanagement: Bei mehreren Zellen sind unter anderem Zellüberwachung, Überstromschutz, Temperaturüberwachung und gegebenenfalls Balancing erforderlich.
- Strombelastbarkeit: Den zulässigen Dauerentladestrom immer anhand des exakten Zelltyps bestimmen, nicht allein aus der Kennzeichnung IMR oder INR ableiten.
- Akkupacks: Zellen unterschiedlicher Chemie, Kapazität, Alterung oder Vorgeschichte nicht unkontrolliert miteinander kombinieren.

Mein Fazit

INR ist häufig die beste Wahl für einen ausgewogenen Kompromiss aus Kapazität und Leistung. IMR ist interessant, wenn hohe Ströme im Vordergrund stehen. ICR bietet eine hohe Energiedichte, erfordert aber besondere Aufmerksamkeit hinsichtlich der Sicherheit. IFR/LFP ist besonders attraktiv, wenn Sicherheit und lange Zyklenlebensdauer wichtiger sind als maximale Kapazität pro Zelle.