HYDROGEN BATTERY TRANSFORMATION HUB

12 Oktober 2026

Wissensprint 1

Die Batterie Wertschöpfungskette

Kofinanziert von der Europäischen Union
Die Landesregierung Nordrhein-Westfalen
TECHNOLOGIE FÖRDERUNG MÜNSTER | TFM
WiN EMSCHER-LIPPE
IHK Nord Westfalen
MÜNSTERLAND E.V. FÜR DAS GUTE LEBEN.
Universität Münster
meet Institut für Wirtschaftschemie
Westfälische Hochschule
FH MÜNSTER University of Applied Sciences
IWARU Institut für Infrastruktur · Wasser · Ressourcen · Umwelt
Arbeitsgruppe Ressourcen

Batterie Wertschöpfungskette

hybat
HYDROGEN BATTERY TRANSFORMATION HUB

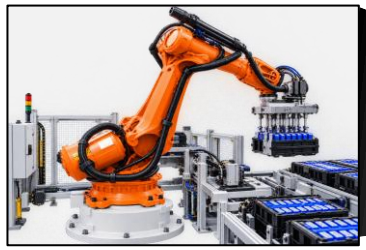
Kofinanziert von der Europäischen Union
Die Landesregierung Nordrhein-Westfalen



TESLA

CATL

Panasonic







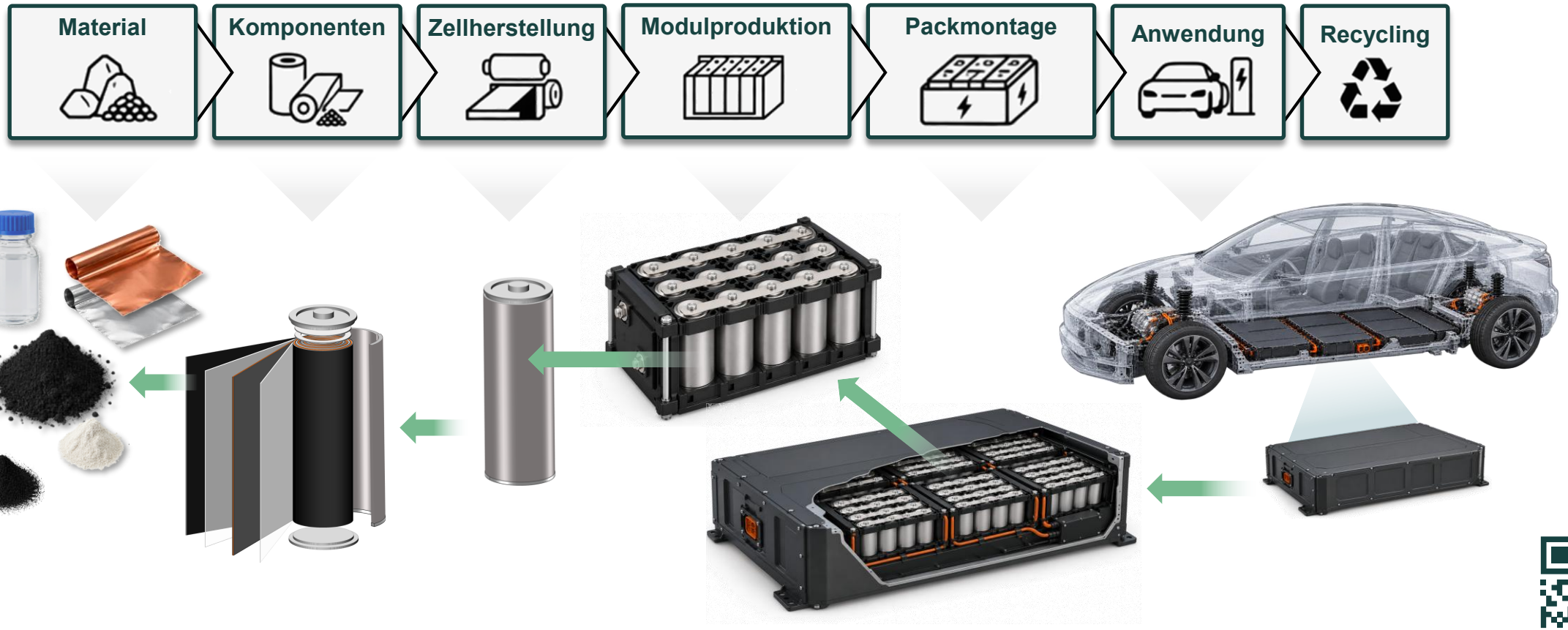
knowhow.hybat.de

(Partially) AI GENERATED

Batterie Wertschöpfungskette

hybat
HYDROGEN BATTERY TRANSFORMATION HUB

Kofinanziert von der Europäischen Union
Die Landesregierung Nordrhein-Westfalen



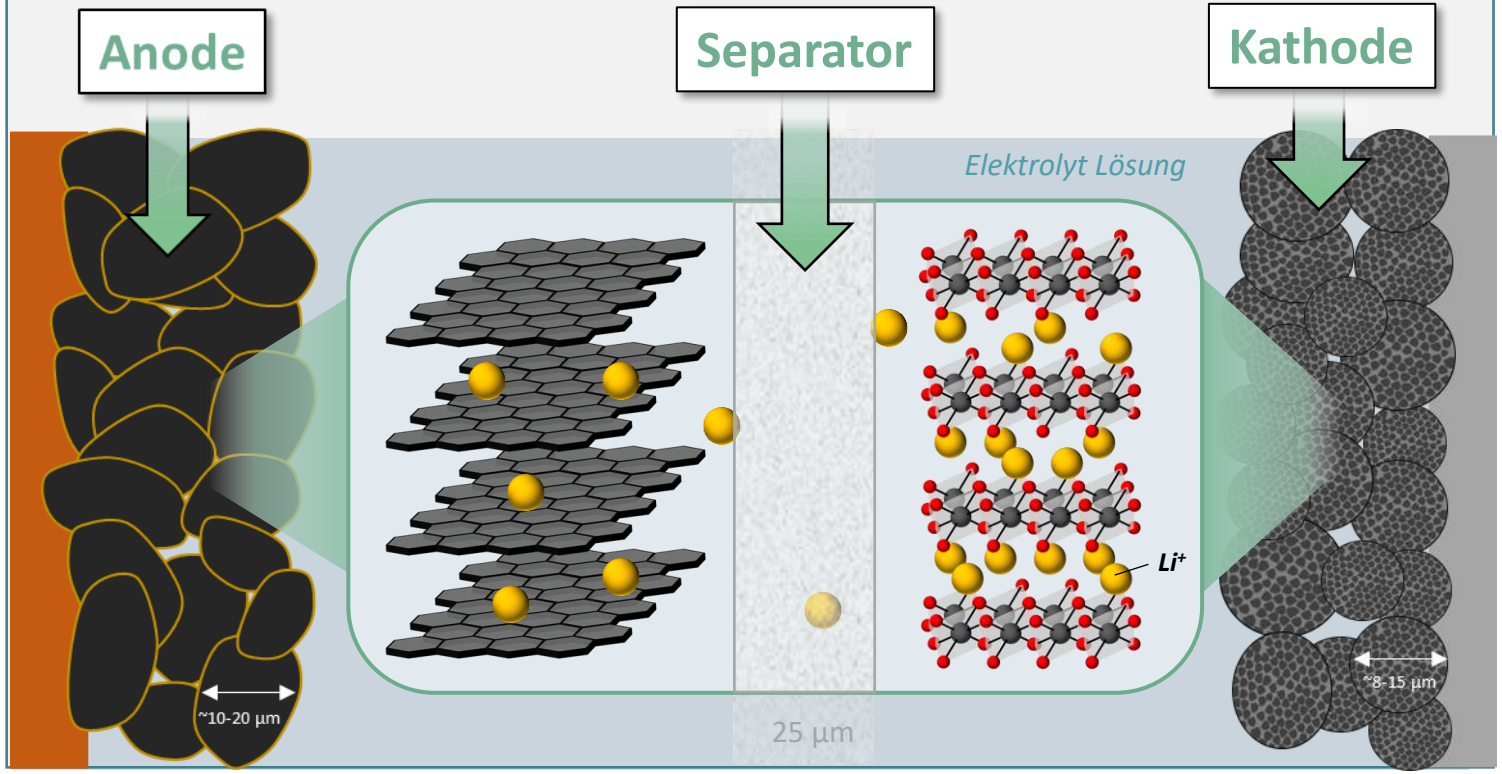
(Partially) AI GENERATED

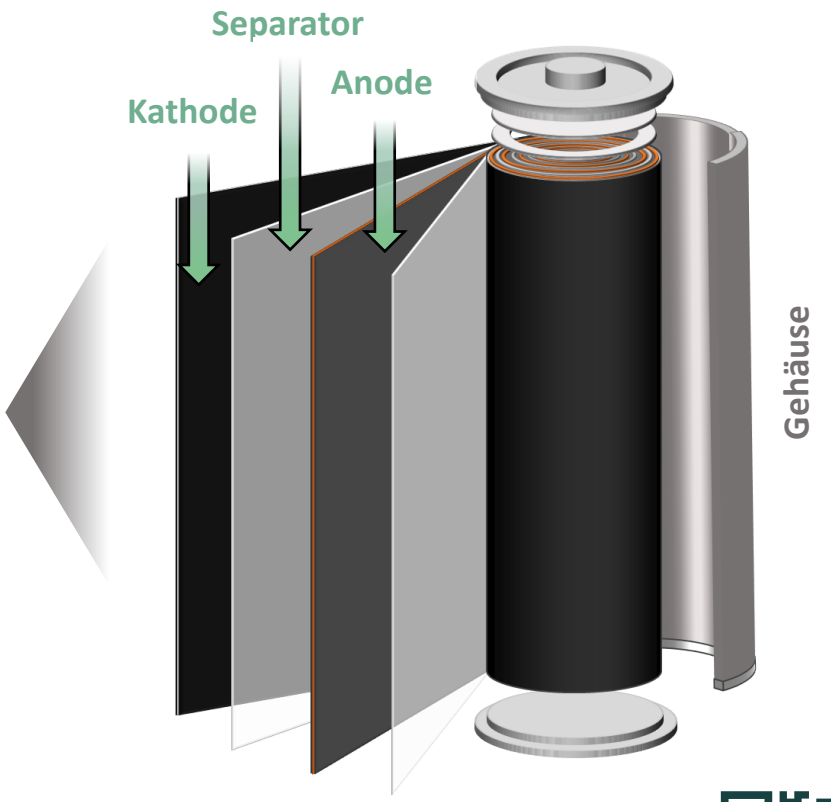
knowhow.hybat.de

hybat
HYDROGEN BATTERY TRANSFORMATION HUB

Kofinanziert von der Europäischen Union | Die Landesregierung Nordrhein-Westfalen

Das Herzstück eines Lithium Ionen Akkus





Warum?

Hier wird Energie gespeichert und freigegeben

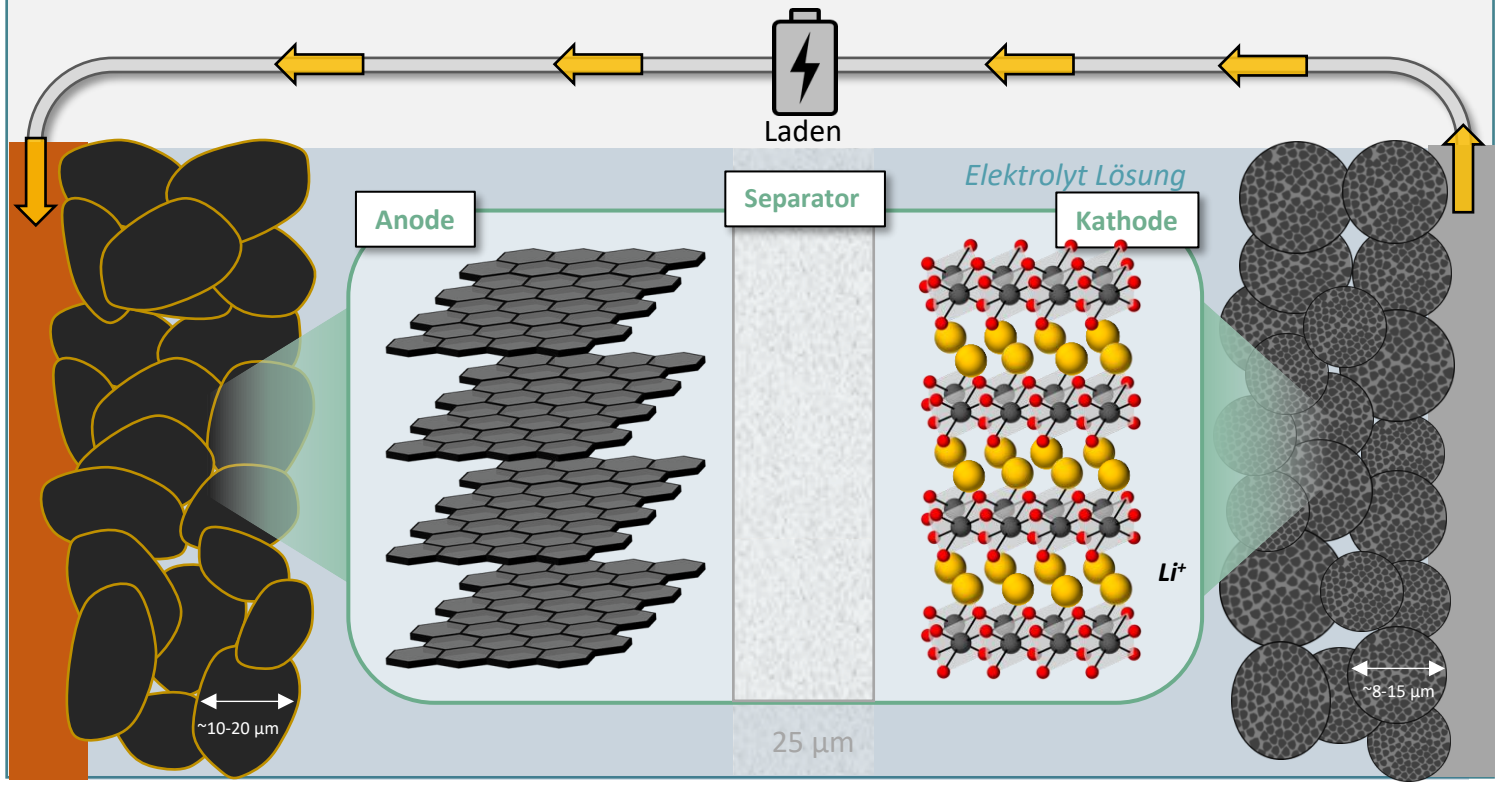
knowhow.hybat.de

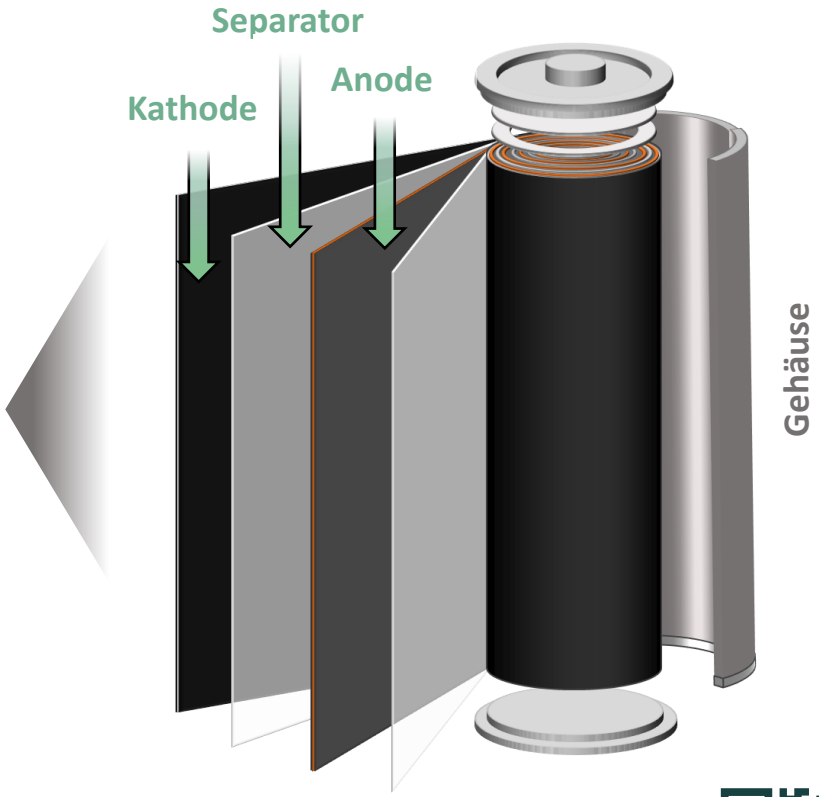
Material | Komponenten | Zellherstellung | Modulproduktion | Packmontage | Anwendung | Recycling

hybat
HYDROGEN BATTERY TRANSFORMATION HUB

Kofinanziert von der Europäischen Union
Die Landesregierung Nordrhein-Westfalen

Das Herzstück eines Lithium Ionen Akkus





Warum?

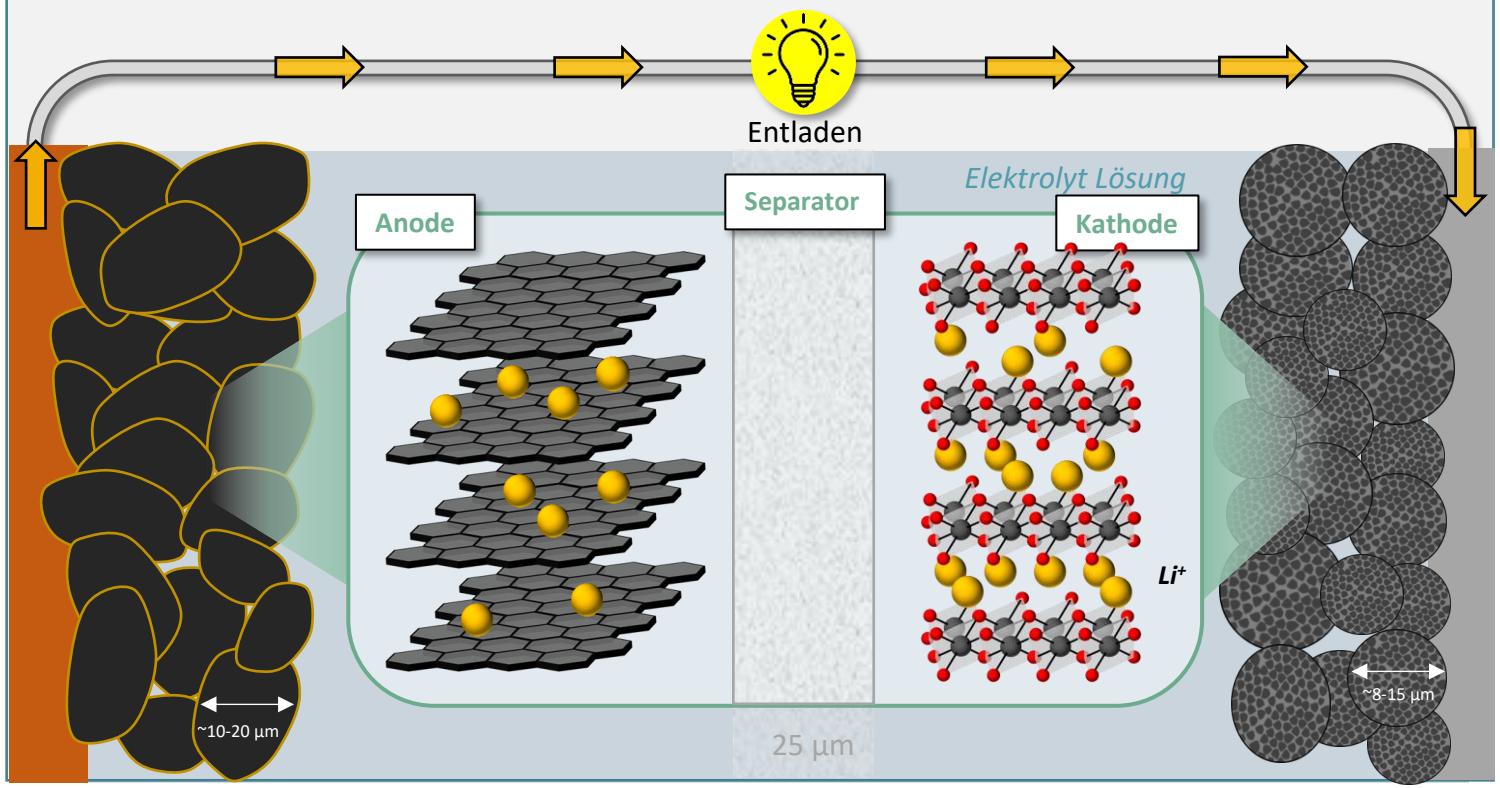
Hier wird Energie gespeichert und freigegeben

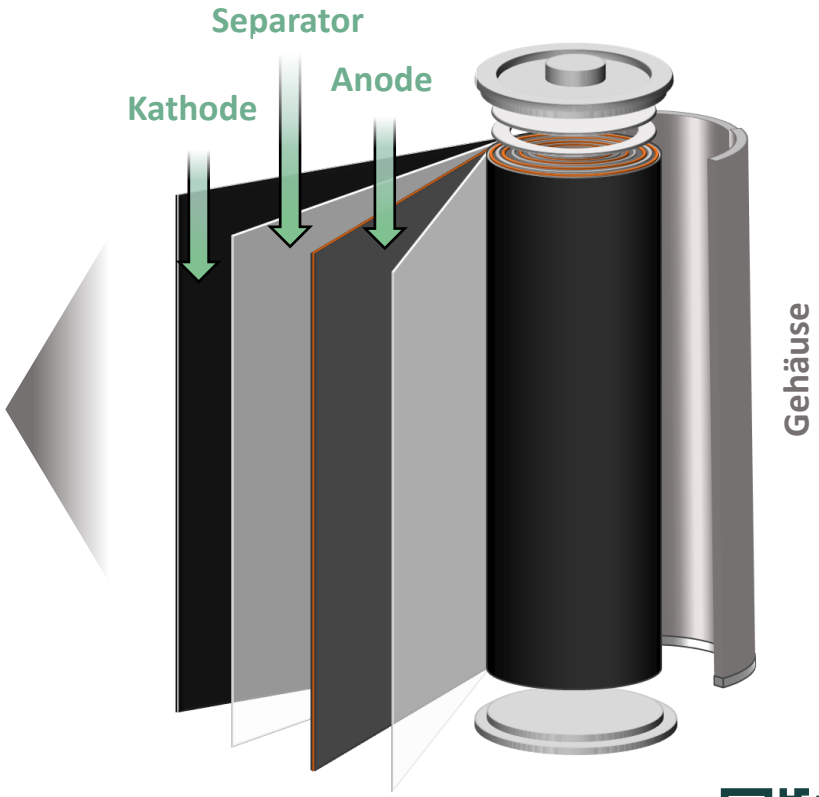
knowhow.hybat.de

hybat
HYDROGEN BATTERY TRANSFORMATION HUB

Kofinanziert von der Europäischen Union | Die Landesregierung Nordrhein-Westfalen

Das Herzstück eines Lithium Ionen Akkus





Warum?

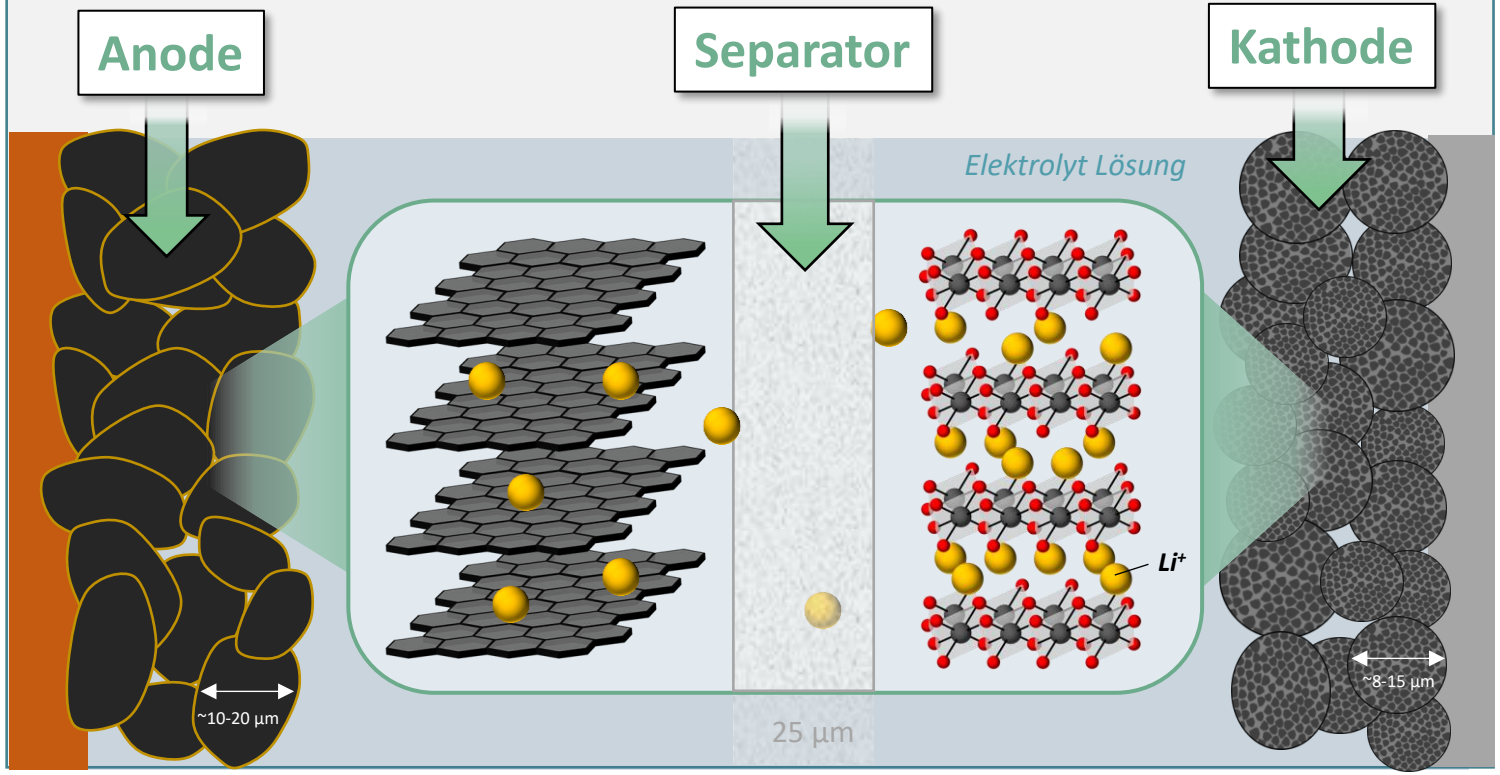
Hier wird Energie gespeichert und freigegeben

knowhow.hybat.de

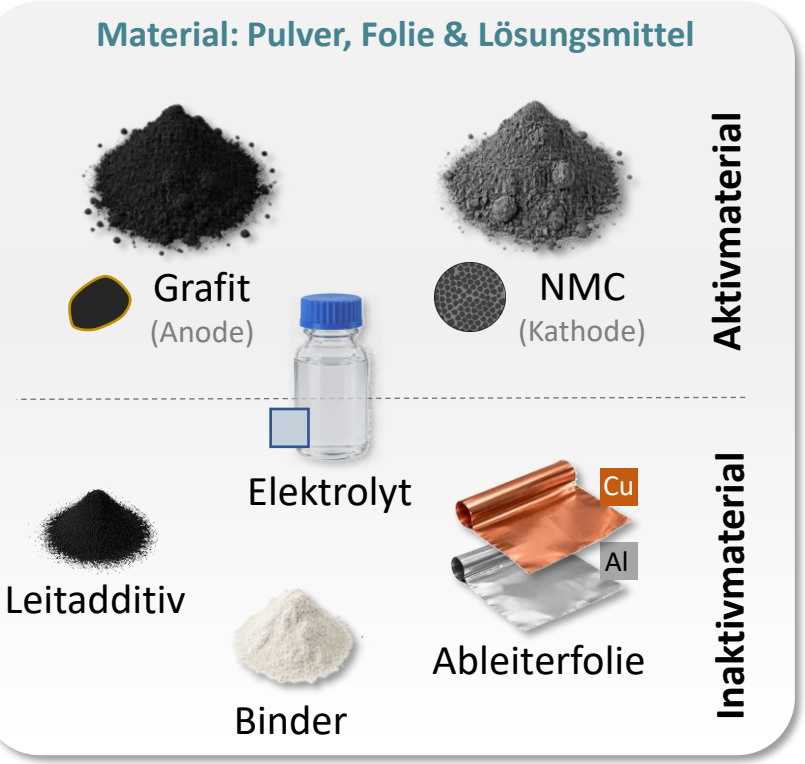
hybat
HYDROGEN BATTERY TRANSFORMATION HUB

Kofinanziert von der Europäischen Union
Die Landesregierung Nordrhein-Westfalen

Das Herzstück eines Lithium Ionen Akkus



Material: Pulver, Folie & Lösungsmittel



Warum?

Hier wird Energie gespeichert und freigegeben

(Partially) AI GENERATED

knowhow.hybat.de

hybat
HYDROGEN BATTERY TRANSFORMATION HUB

Kofinanziert von der Europäischen Union
Die Landesregierung Nordrhein-Westfalen

Mischen | Beschichten | Trocknen | Kalandrieren | Schneiden

Aktivmaterial 1.



Leitadditiv 2.



Binder 3.



Lösungsmittel-zugabe 4.





Aufsätze

Warum?

Verbesserung von Kontaktierung, Leitfähigkeit, Prozessierbarkeit

Verschiedene Maßstäbe gefragt…

Für groß…



…und klein



knowhow.hybat.de

(Partially) AI GENERATED

hybat
HYDROGEN BATTERY TRANSFORMATION HUB

Kofinanziert von der Europäischen Union
Die Landesregierung Nordrhein-Westfalen

Mischen | Beschichten | Trocknen | Kalandrieren | Schneiden

Aktivmaterial 1.



Leitadditiv 2.



Binder 3.



Lösungsmittel-zugabe 4.





Aufsätze

Produkt

Homogene Elektrodenpaste



Kompetenzen
Mischen, Rotationswerkzeuge, Dosierung, Viskositätsmessung, pH Wert bestimmen, etc.

Warum?

Verbesserung von Kontaktierung, Leitfähigkeit, Prozessierbarkeit

(Partially) AI GENERATED

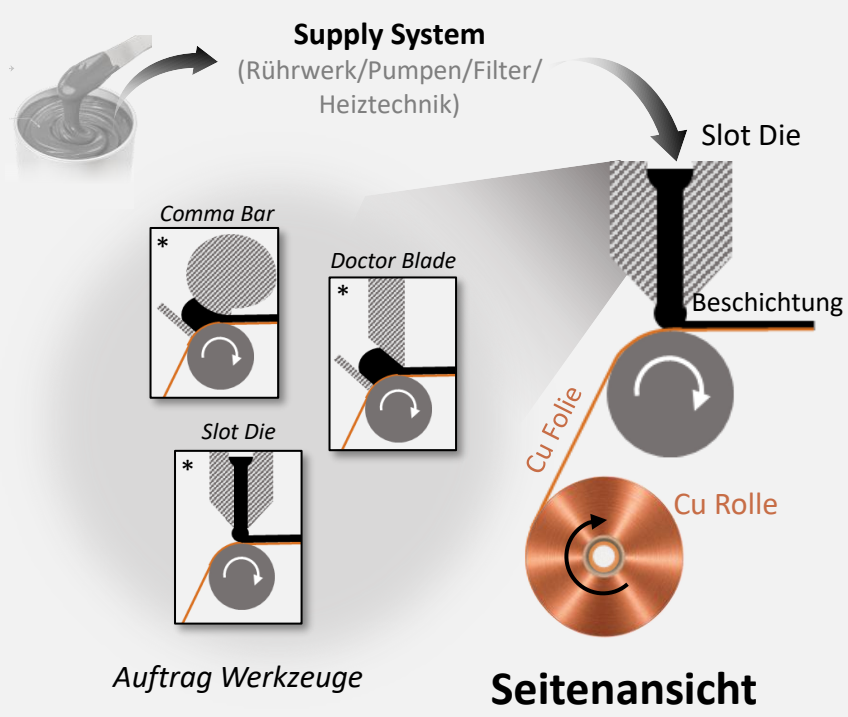
knowhow.hybat.de

Material | Komponenten | Zellherstellung | Modulproduktion | Packmontage | Anwendung | Recycling

hybat HYDROGEN BATTERY TRANSFORMATION HUB

Kofinanziert von der Europäischen Union | Die Landesregierung Nordrhein-Westfalen

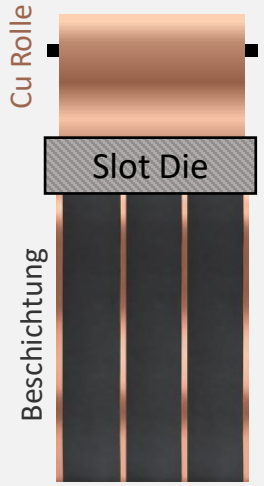
Mischen | **Beschichten** | Trocknen | Kalandrieren | Schneiden



Auftrag Werkzeuge

Seitenansicht

Draufsicht



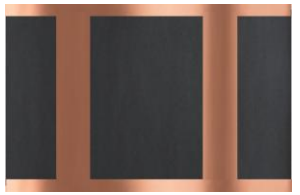
Nach 1. Trocknung: Beschichtung andere Seite

Produkt

Stromsammler mit Elektrodenpaste beschichtet:



Kontinuierlich



Intermittierend

Kompetenzen
Beschichtung/Auftragung, Rolle-zu-Rolle Prozesse, Bahnführung, Dosieren, präzises Beschichten, Inline-Messsysteme, etc.

Warum?

Beschichtung der Aktivmaterialien auf Stromsammler: Elektrodenherstellung

(Partially) AI GENERATED | *Reproduced from DOI: doi.org/10.1002/batt.202500929

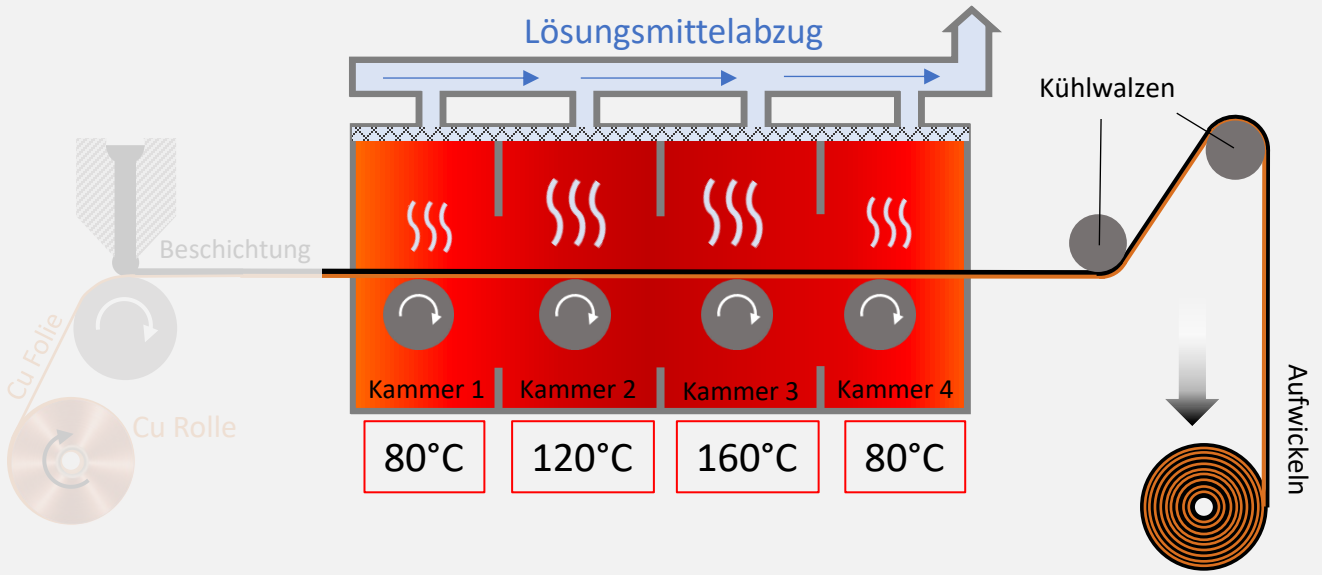
knowhow.hybat.de

Material | Komponenten | Zellherstellung | Modulproduktion | Packmontage | Anwendung | Recycling

hybat HYDROGEN BATTERY TRANSFORMATION HUB

Kofinanziert von der Europäischen Union | Die Landesregierung Nordrhein-Westfalen

Mischen | Beschichten | **Trocknen** | Kalandrieren | Schneiden



Warum?

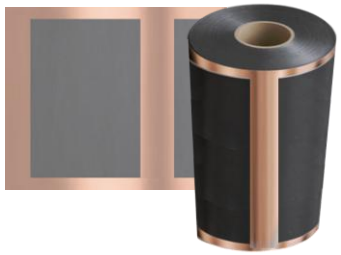
Nass beschichtete Elektroden werden getrocknet für die weitere Verarbeitung

Produkt

Stromsammler mit **getrockneter** Elektrodenpaste beschichtet (und aufgerollt):



Kontinuierlich



Intermittierend

Kompetenzen

Heiz- und Trocknungskompetenzen, (Ab)Luft-Strömungs- & Filtertechnik, Bahnführung, Energieeffizienz, etc.

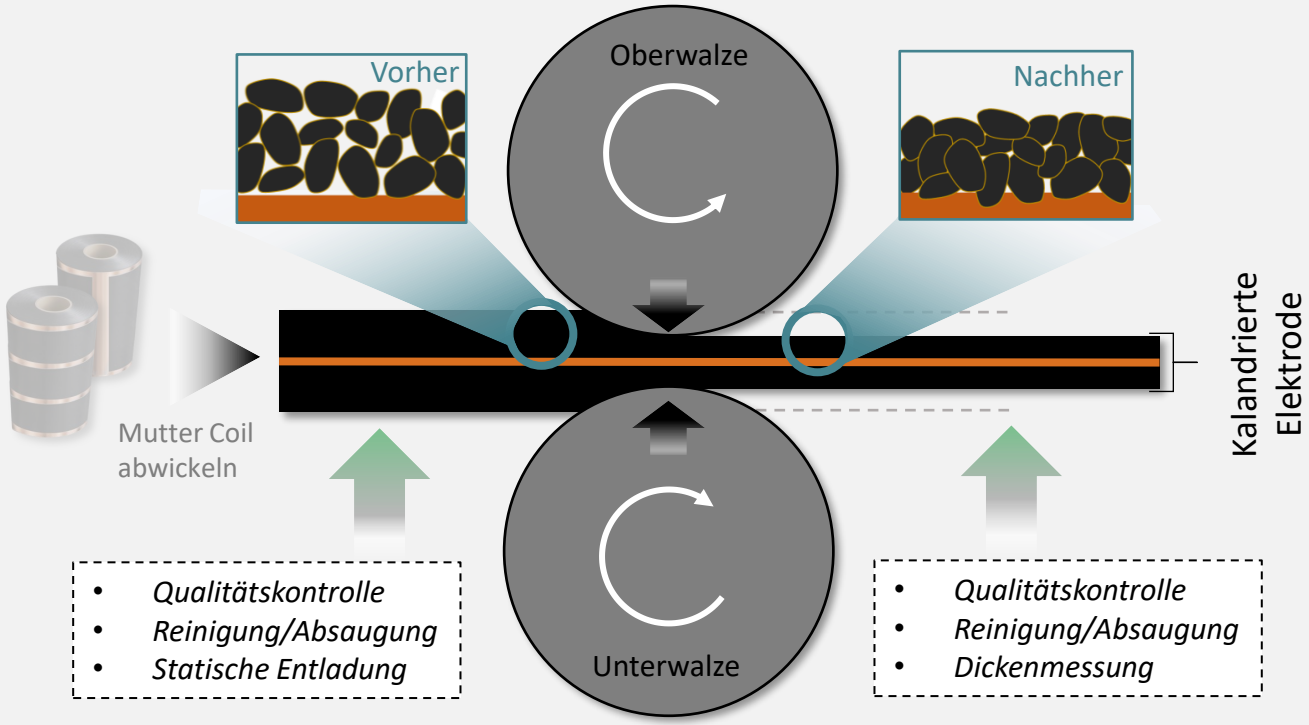
knowhow.hybat.de

(Partially) AI GENERATED

hybat
HYDROGEN BATTERY TRANSFORMATION HUB

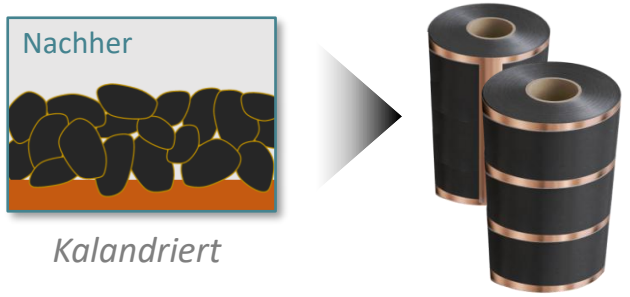
Kofinanziert von der Europäischen Union
Die Landesregierung Nordrhein-Westfalen

Mischen | Beschichten | Trocknen | Kalandrieren | Schneiden



Produkt

Kalandrierte Elektroden als Mutter Coil:



Kompetenzen
Walzen, Rolle-zu-Rolle Prozesse, Antriebstechnik, Druck-Kraftregelung, etc.

Warum?

Verbesserung der Energiedichte und Kontaktierung

(Partially) AI GENERATED

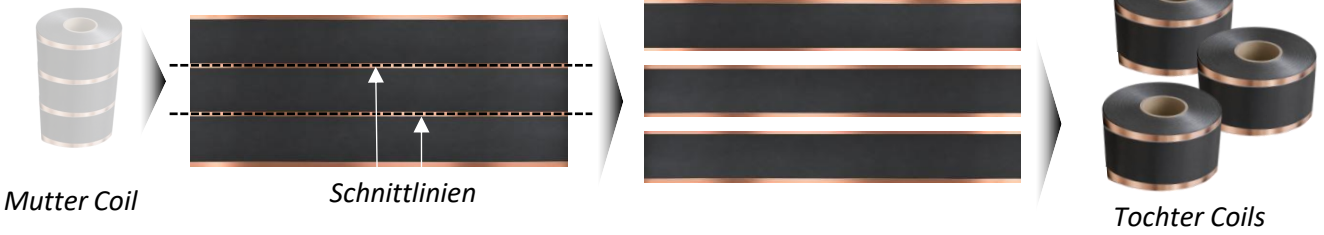
knowhow.hybat.de

hybat HYDROGEN BATTERY TRANSFORMATION HUB

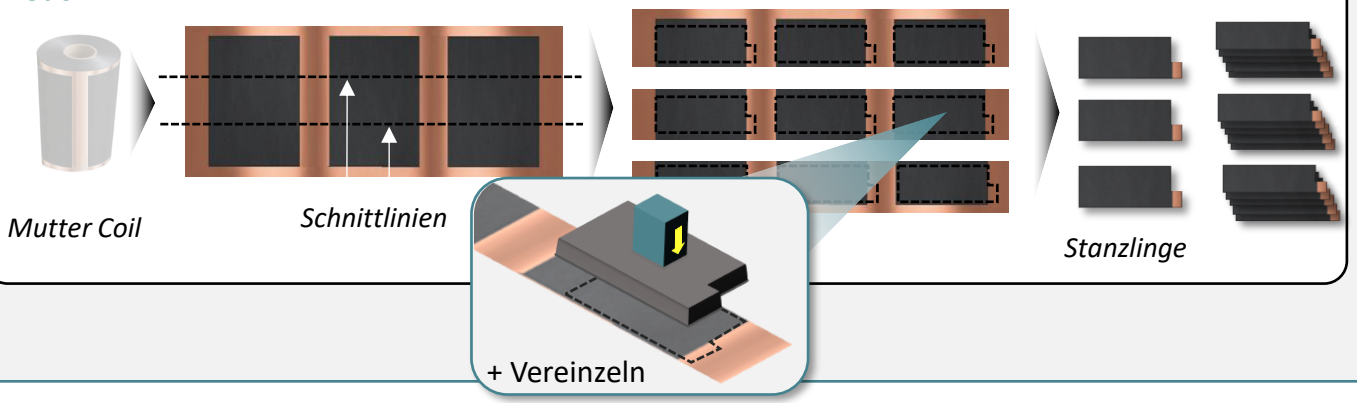
Kofinanziert von der Europäischen Union | Die Landesregierung Nordrhein-Westfalen

Mischen | Beschichten | Trocknen | Kalandrieren | Schneiden

Prismatisch/Rund



Pouch



Warum?

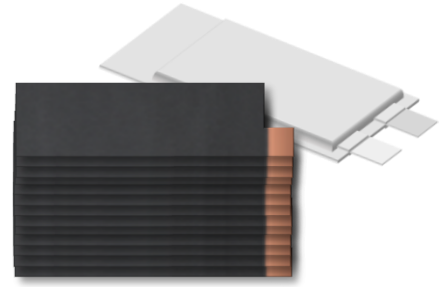
Um Elektroden für den vorgesehenen Zelltyp passend zuzuschneiden

Produkt

Tochter Coils



Elektrodenstapel



Kompetenzen

Schneid-, Stanz- & Trenntechnik, Werkzeug- & Formenbau, Automatisierung/Robotik, Inline-Messsysteme, etc.

knowhow.hybat.de

(Partially) AI GENERATED

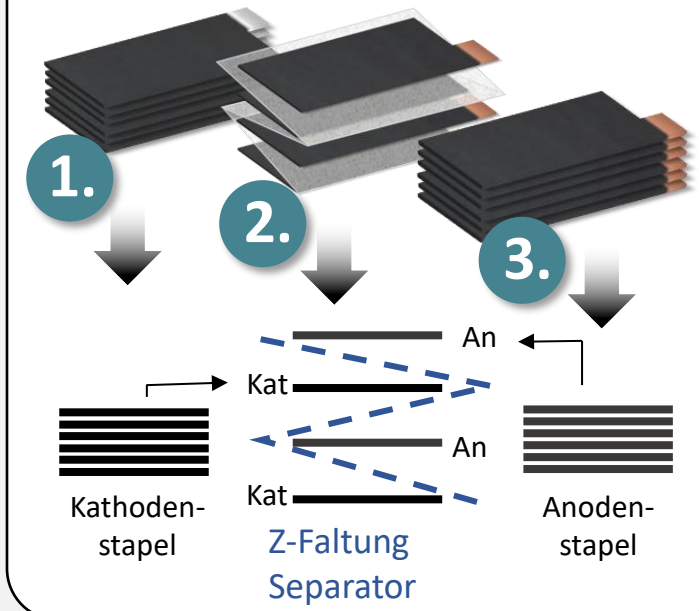
Material | Komponenten | **Zellherstellung** | Modulproduktion | Packmontage | Anwendung | Recycling

hybat HYDROGEN BATTERY TRANSFORMATION HUB

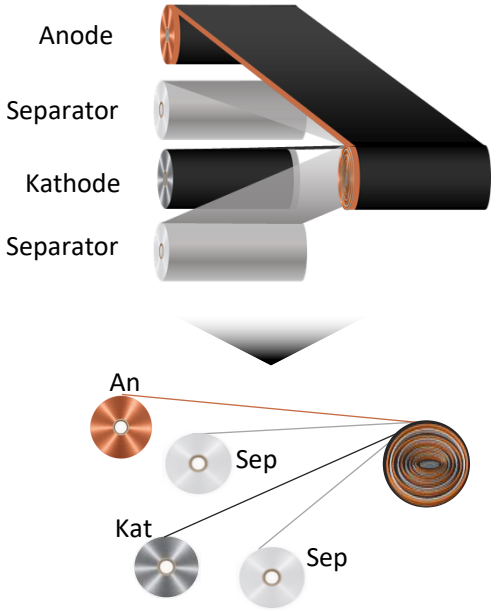
Kofinanziert von der Europäischen Union | Die Landesregierung Nordrhein-Westfalen

Stapeln/Wickeln | Verpackung | Befüllung | Formierung & Reifung

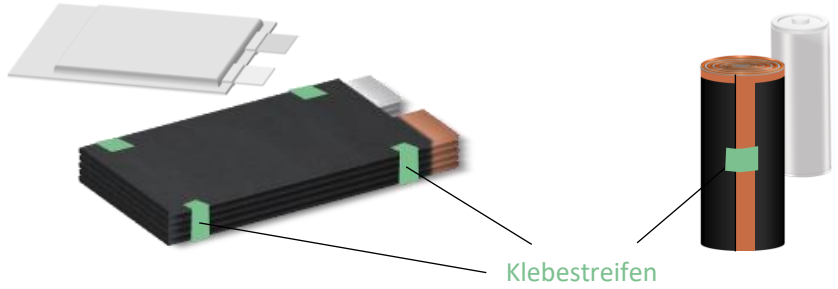
Pouch



Rund/Prismatisch



Produkt



Elektroden Stack | Jelly Roll

Kompetenzen
Automatisierung/Robotik, Präzessionsmechanik, Wickel-/Fügetechnik, Inline-Messsysteme, etc.

Warum?

Das Herzstück der Batterie: Anode Separator und Kathode werden zu einer Einheit verbunden

(Partially) AI GENERATED

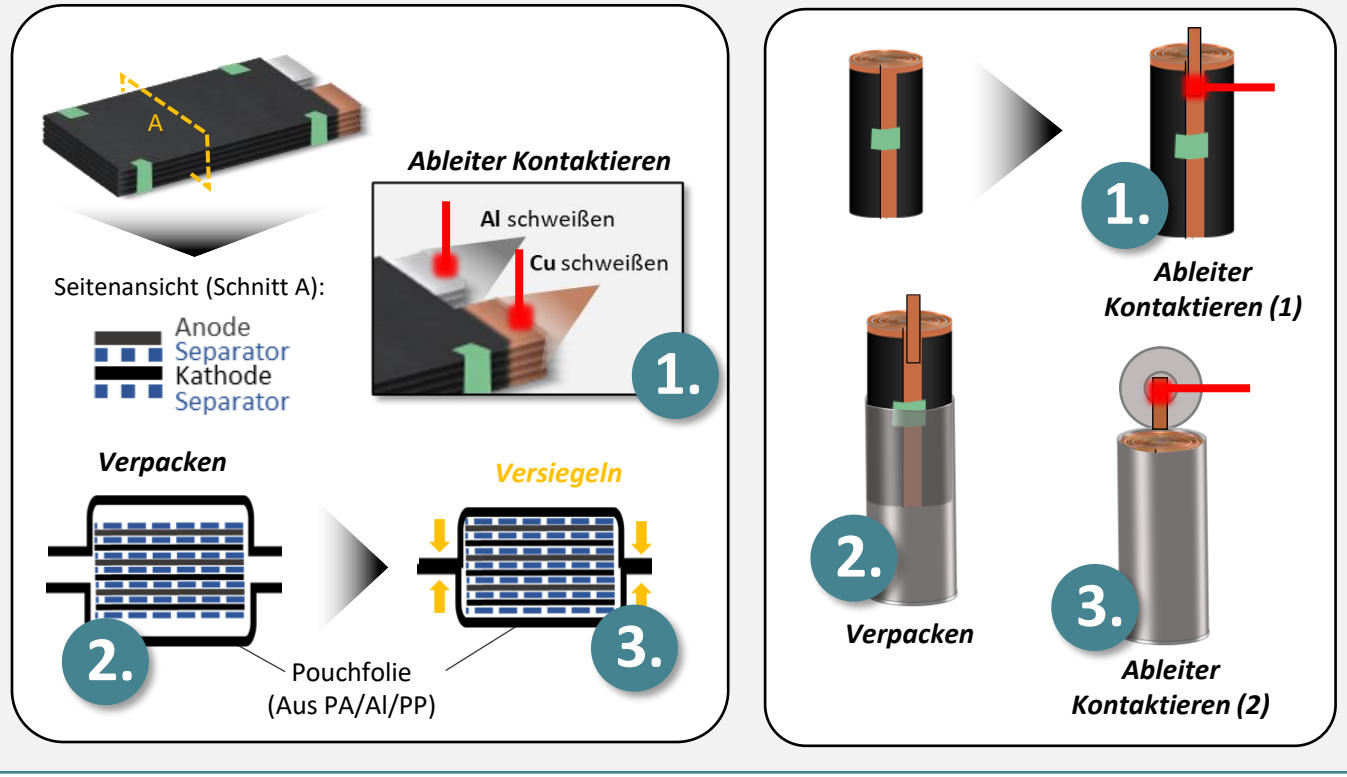
knowhow.hybat.de

Material | Komponenten | Zellherstellung | Modulproduktion | Packmontage | Anwendung | Recycling

hybat
HYDROGEN BATTERY TRANSFORMATION HUB

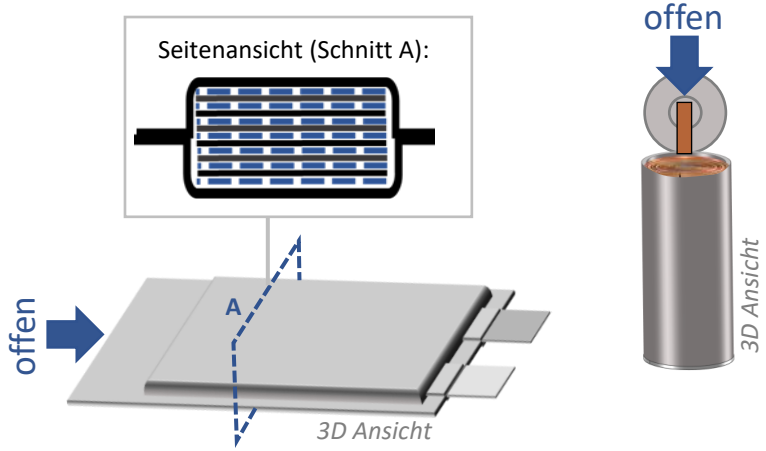
Kofinanziert von der Europäischen Union | Die Landesregierung Nordrhein-Westfalen

Stapeln/Wickeln | **Verpackung** | Befüllung | Formierung & Reifung



Produkt

Einseitig offene Zellen



Kompetenzen
Schweißen & Versigeln, Verpackungstechnik, Präzessionsmontage, etc.

Warum?

Die einzelne Zelle erhält ihre stabile „Schale“

(Partially) AI GENERATED

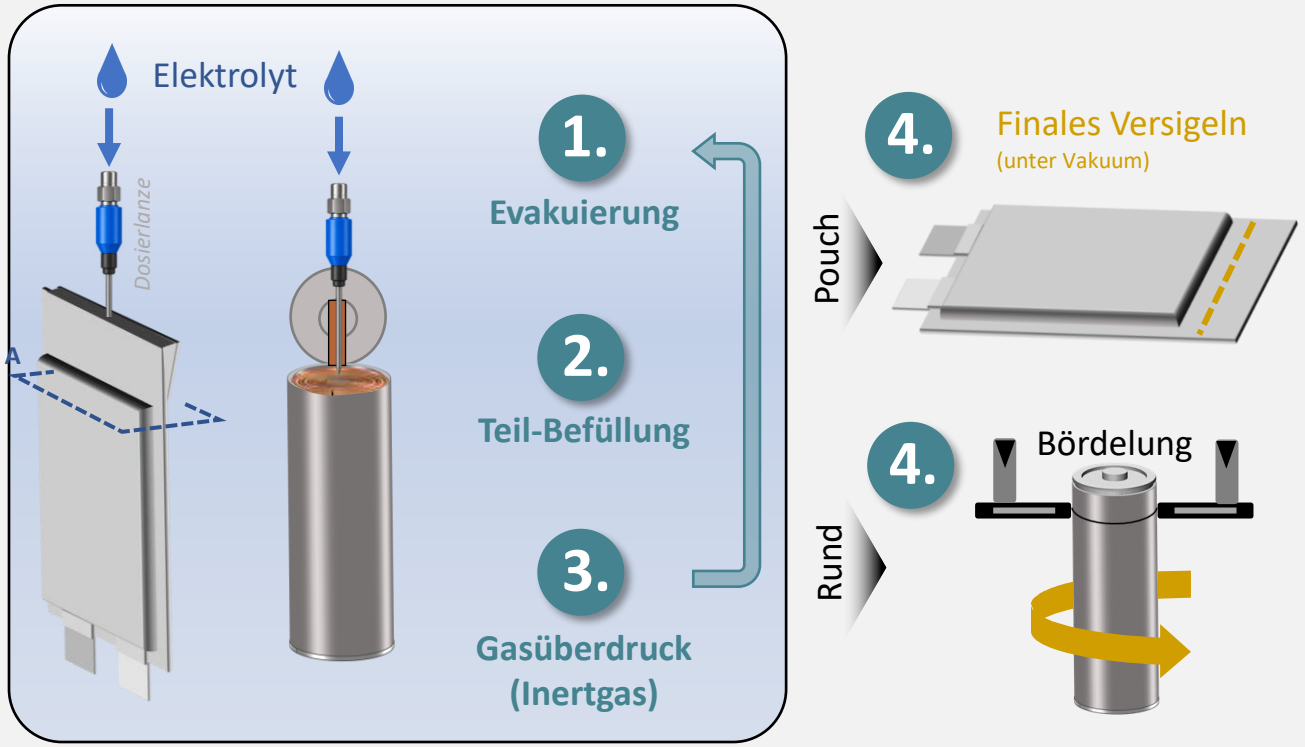
knowhow.hybat.de

Material | Komponenten | Zellherstellung | Modulproduktion | Packmontage | Anwendung | Recycling

hybat HYDROGEN BATTERY TRANSFORMATION HUB

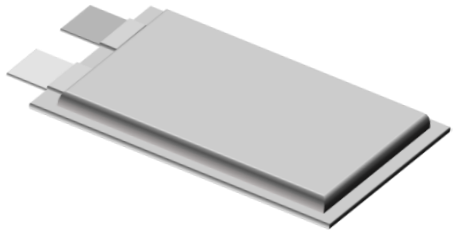
Kofinanziert von der Europäischen Union | Die Landesregierung Nordrhein-Westfalen

Stapeln/Wickeln | Verpackung | **Befüllung** | Formierung & Reifung



Produkt

Fertige Zelle



Pouch Zelle



Rund Zelle

Kompetenzen
Dosierung, Gefahrenstoffmanagement, etc.

Warum?

Die elektronische Leitfähigkeit zwischen den Elektroden wird hergestellt

(Partially) AI GENERATED

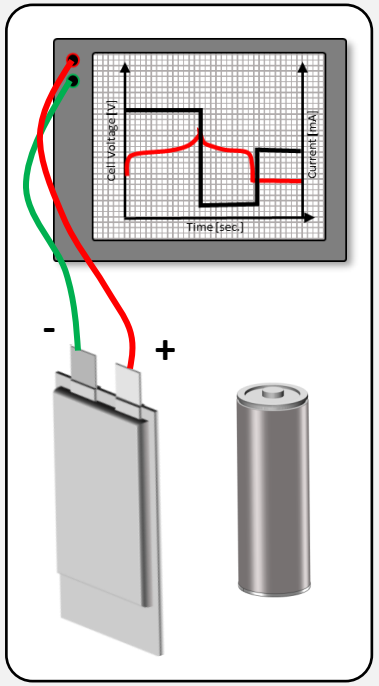
knowhow.hybat.de

Material | Komponenten | Zellherstellung | Modulproduktion | Packmontage | Anwendung | Recycling

hybat
HYDROGEN BATTERY TRANSFORMATION HUB

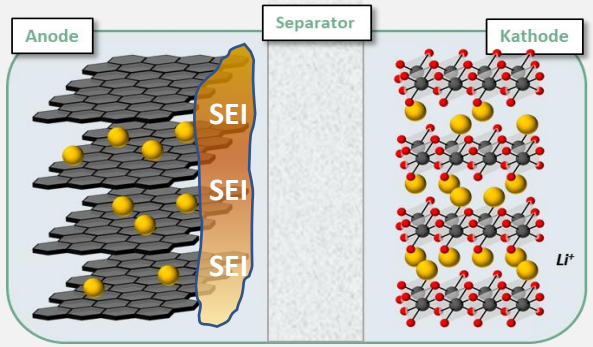
Kofinanziert von der Europäischen Union
Die Landesregierung Nordrhein-Westfalen

Stapeln/Wickeln | Verpackung | Befüllung | Formierung & Reifung



1. Formierung

erste Ladung/ Entladung



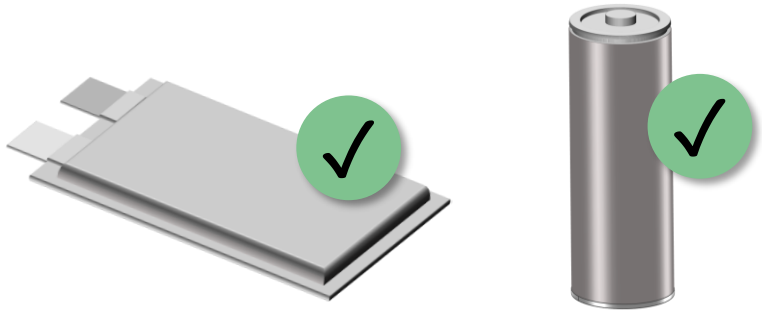
Schutzschicht auf Anode bildet sich aus (SEI)

2. Reifung - erste Lagerungs-/Leistungstests

- ✓ Spannung
- ✓ Innenwiderstand
- ✓ Selbstentladung
- ✓ Gasbildung

Produkt

Anwendungsbereite Zelle



Kompetenzen
Elektronik & Testsoftware

Warum?

Ausbildung der SEI und erster Leistungstest zur Qualitätskontrolle

(Partially) AI GENERATED

knowhow.hybat.de

hybat
HYDROGEN BATTERY TRANSFORMATION HUB

Kofinanziert von der Europäischen Union
Die Landesregierung Nordrhein-Westfalen

Vormontage | Kontaktierung | Elektronik/Modulabschluss | Prüfung

1.



Eingangskontrolle
(QR-Code Scan, Spannungsmessung, Visuelle Kontrolle, etc.)

2.



Positionierung
(Gemäß erwünschter Verschaltung)

3.



Montage im Zellrahmen
(Zellen fixiert für die Kontaktierung im nächsten Schritt)

Warum?

Sichere, mechanisch stabile Positionierung um Zellen im nächsten Schritt zu kontaktieren.

(Partially) AI GENERATED

Produkt

Mechanisch sicher positionierte und korrekt ausgerichtete Zellen im Halter



Kompetenzen
Befestigung (Schrauben, Kleben), Gehäuseproduktion, etc.

knowhow.hybat.de

Material | Komponenten | Zellherstellung | **Modulproduktion** | Packmontage | Anwendung | Recycling

hybat
HYDROGEN BATTERY TRANSFORMATION HUB

Kofinanziert von der Europäischen Union | Die Landesregierung Nordrhein-Westfalen

Vormontage | **Kontaktierung** | Elektronik/Modulabschluss | Prüfung

Nickel
vernickelter Stahl
Kupfer
Aluminium

Laserschweißen



Kontaktierungsalternativen:

- Widerstandsschweißen
- Ultraschallschweißen
- Drahtverbindungen

Zellkontaktierung & Kontaktprüfung
(Schweißen gemäß Zellausrichtung im Halter – Parallelschaltung & Reihenschaltung)

Warum?

Sichere, mechanisch stabile Verschaltung um anwendungsspezifische Kapazität und/oder Spannung zu erreichen.

Produkt

Mechanisch fixierte Rundzellen elektrisch zu einer Zellgruppe verschaltet



Kompetenzen
Schweißtechniken, Automatisierung, Präzessionsmechanik, etc.

knowhow.hybat.de

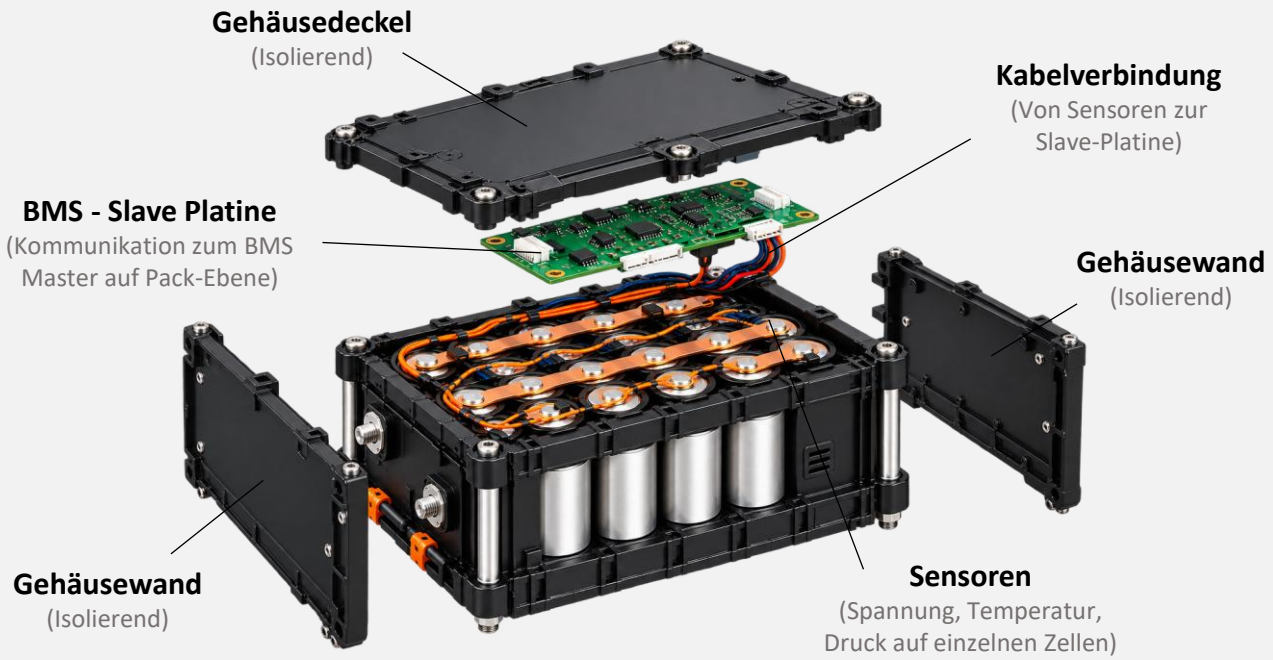
(Partially) AI GENERATED

Material | Komponenten | Zellherstellung | Modulproduktion | Packmontage | Anwendung | Recycling

hybat HYDROGEN BATTERY TRANSFORMATION HUB

Kofinanziert von der Europäischen Union | Die Landesregierung Nordrhein-Westfalen

Vormontage | Kontaktierung | **Elektronik/Modulabschluss** | Prüfung



Warum?

Sichere, mechanisch stabile Verschaltung um anwendungsspezifische Kapazität und/oder Spannung zu erreichen.

(Partially) AI GENERATED

Produkt

Mechanisch fertiges Zellenmodul mit elektrischer Verschaltung, Sensorik und Überwachungselektronik



Kompetenzen

Platinen, Elektronik (Verkabeln, Löten, Sensortechnik, etc.), Gehäusefertigung, etc.

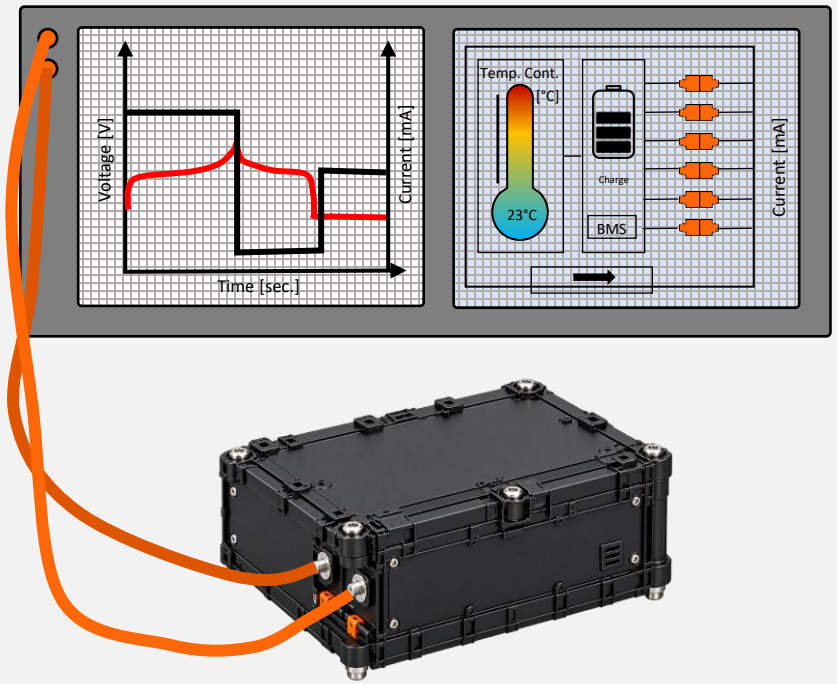
knowhow.hybat.de

Material | Komponenten | Zellherstellung | Modulproduktion | Packmontage | Anwendung | Recycling

hybat
HYDROGEN BATTERY TRANSFORMATION HUB

Kofinanziert von der Europäischen Union
Die Landesregierung Nordrhein-Westfalen

Vormontage | Kontaktierung | Elektronik/Modulabschluss | **Prüfung**



- ✓ **Spannung**
- ✓ **Widerstand**
- ✓ **Temperatur**
- ✓ **Isolation**
- ✓ **Kommunikation**

Produkt

Einsatzbereites Modul zur Anwendung oder Weiterverarbeitung im Pack



Kompetenzen
Elektronik & Testsoftware

Warum?

Um Sicherzustellen, dass das Modul vollumfänglich funktionsfähig ist.

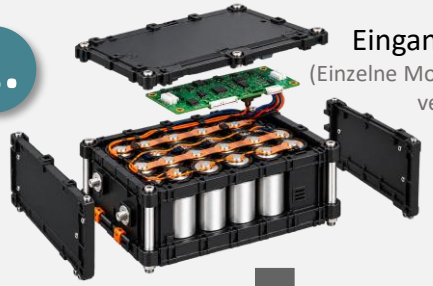
(Partially) AI GENERATED

knowhow.hybat.de

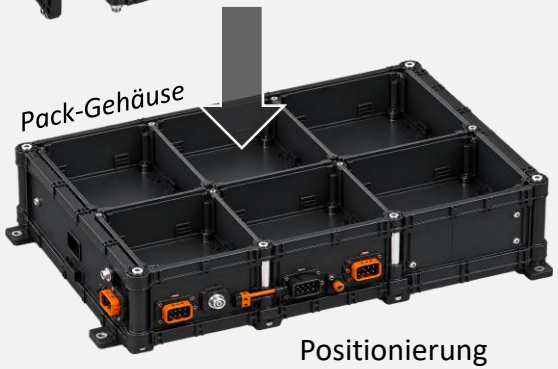
hybat HYDROGEN BATTERY TRANSFORMATION HUB
Kofinanziert von der Europäischen Union | Die Landesregierung Nordrhein-Westfalen

Modulmontage | Verschaltung | BMS Master | Packabschluss & EOL

1. Eingangskontrolle
(Einzelne Module ohne Gehäuse verbauen)



2. Pack-Gehäuse



Positionierung
(Gemäß erwünschter Verschaltung)

Montage im Modulrahmen
(Module fixiert für die Kontaktierung im nächsten Schritt)

3.



- Verschraubung, Verklebung, Haltewinkel, Spann-/Klemmelemente, etc.
- Verschaltung/Verbindung mit Isolations- und Kühlelementen im Pack

Produkt



Kompetenzen
Befestigung (Schrauben, Kleben), Kühlplatten, Schlauch- & Rohrleitungsintegration, Blechbearbeitung, Leichtbau

Warum?

Batteriemodule werden im Packgehäuse positioniert und mechanisch sicher befestigt

(Partially) AI GENERATED

knowhow.hybat.de

hybat
HYDROGEN BATTERY TRANSFORMATION HUB

Kofinanziert von der Europäischen Union | Die Landesregierung Nordrhein-Westfalen

Modulverbindung
(Steck (HV) und Schraubverbindungen)





- Busbars & Schienen
- Schaltung: Reihe/Parallel
- Sichere Kontaktierung der Module



- Sicherungen
- Schutzschalter
- BMS Kommunikation



- HV Leitungen
- Leistungsübertragung zu äußerem System
- Sicherheitsstecker

Produkt

Module elektrisch verschaltet zu einem Batteriepack



Kompetenzen
HV-Verbindungen, Busbars, Steckverbinder, Schalt- & Schutzkomponenten

Warum?

Um gewünschte Gesamtspannung und Kapazität zu erreichen (anwendungsspezifisch)

(Partially) AI GENERATED

knowhow.hybat.de

hybat
HYDROGEN BATTERY TRANSFORMATION HUB

Kofinanziert von der Europäischen Union | Die Landesregierung Nordrhein-Westfalen

Master-Slave-System

Slave Platine des Moduls
(alle in Reihe geschaltet)



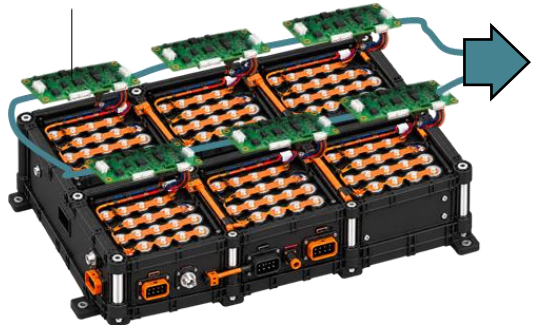


BMS-Master Anschluss



Fehlerüberwachung und Steuerung des gesamten Packs (Funktion und Datenübertragung)

Produkt



Kompetenzen
Signalverkabelung, Elektronikmontage, Softwareintegration, Prüfstands- & Messtechnick

Warum?

Steuerung und Überwachung des gesamten Batteriepacks

(Partially) AI GENERATED

knowhow.hybat.de

Material | Komponenten | Zellherstellung | Modulproduktion | Packmontage | Anwendung | Recycling

hybat HYDROGEN BATTERY TRANSFORMATION HUB

Kofinanziert von der Europäischen Union | Die Landesregierung Nordrhein-Westfalen

Modulmontage | Verschaltung | BMS Master | **Packabschluss & EOL**



- letzte Steckverbindungen herstellen und Kühlkreisläufe schließen
- Abdichtung des Gehäuses

EOL Prüfung

- ✓ Spannung
- ✓ Isolation
- ✓ Sensorik
- ✓ BMS

Produkt



Kompetenzen
Schraub/Fügungstechnik, Dichtung, Klebstoffe, HV-Prüfungstechnik, Testsoftware

Warum?

Finale Prüfung des vollständigen Packs um sichere Anwendung zu gewährleisten

(Partially) AI GENERATED

knowhow.hybat.de

Material | Komponenten | Zellherstellung | Modulproduktion | Packmontage | **Anwendung** | Recycling

Automotive | Consumer Electronics | E-Werkzeuge | Stationäre Speicher | Off-Highway & Industrie | Luftfahrt, Drohnen und Robotik | Marine



hybat
HYDROGEN BATTERY TRANSFORMATION HUB

Kofinanziert von der Europäischen Union
Die Landesregierung Nordrhein-Westfalen

(Partially) AI GENERATED

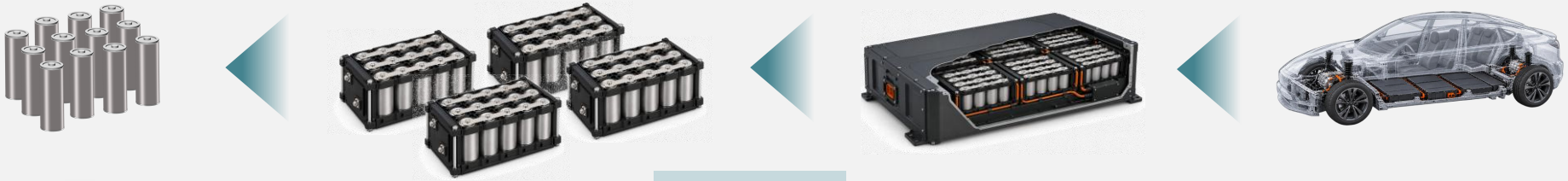
knowhow.hybat.de

Material → Komponenten → Zellherstellung → Modulproduktion → Packmontage → Anwendung → Recycling

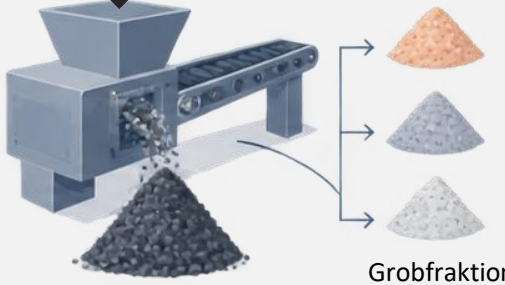
hybat
HYDROGEN BATTERY TRANSFORMATION HUB

Kofinanziert von der Europäischen Union
Die Landesregierung Nordrhein-Westfalen

Demontage & Mechanische Aufbereitung | Rohstoffrückgewinnung | Wiedereinsatz



Demontage



Feinfraktion
(Black Mass)

Grobfraktion
(Kunststoff, Metalle)

1. Zerkleinern der Zellen
2. Trennen der Materialien (Siebung, Magnetabscheidung, Dichtetrennung, etc.)
3. Gewinnung der **Black Mass → wertvolle Rohstoffe**

Kompetenzen
Logistik, Schneiden/Trennen/Zerkleinern, Sicherheit, Schutzkonzepte

(Partially) AI GENERATED

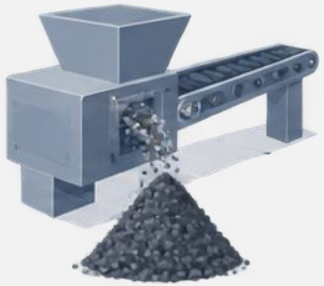
knowhow.hybat.de



hybat
HYDROGEN BATTERY TRANSFORMATION HUB

Kofinanziert von der Europäischen Union
Die Landesregierung Nordrhein-Westfalen

Demontage & Mechanische Aufbereitung | Rohstoffrückgewinnung | Wiedereinsatz



Black Mass

Wertvolle Rohstoffe:

- Cobalt
- Nickel
- Lithium
- Mangan

A



Hydrometallurgie: chemisch wässrige Lösungen und gezieltes Fällen der Rohstoffe

B häufig mit A kombiniert

B

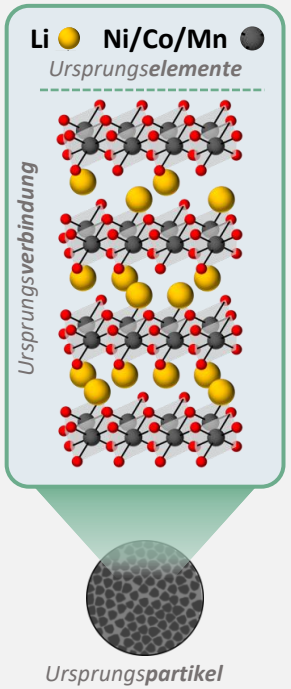


Pyrometallurgie: Erhitzen/schmelzen der Black Mass → spez. Metalle bilden Legierung und/oder Oxidschlacke (Phasenabtrennung möglich)

C



Direktrecycling: Ursprungsverbindung/Partikel sollen erhalten bleiben (Keine Zerlegung in Elemente)



Kompetenzen
Chemische Verfahrenstechnik, Trennung/Reinigung, Umwelt- & Abwassertechnik

(Partially) AI GENERATED

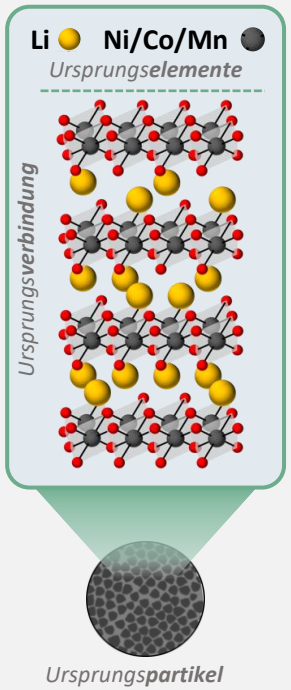
knowhow.hybat.de

Material → Komponenten → Zellherstellung → Modulproduktion → Packmontage → Anwendung → Recycling

hybat
HYDROGEN BATTERY TRANSFORMATION HUB

Kofinanziert von der Europäischen Union
Die Landesregierung Nordrhein-Westfalen

Demontage & Mechanische Aufbereitung | Rohstoffrückgewinnung | Wiedereinsatz

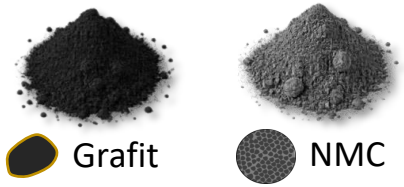


Rohstoffaufbereitung

A + B → **Elemente** → **Verbindungen** (Aktivmaterial) → **Partikel**

C → **Verbindungen** (Aktivmaterial) → **Partikel**

Aktivmaterial





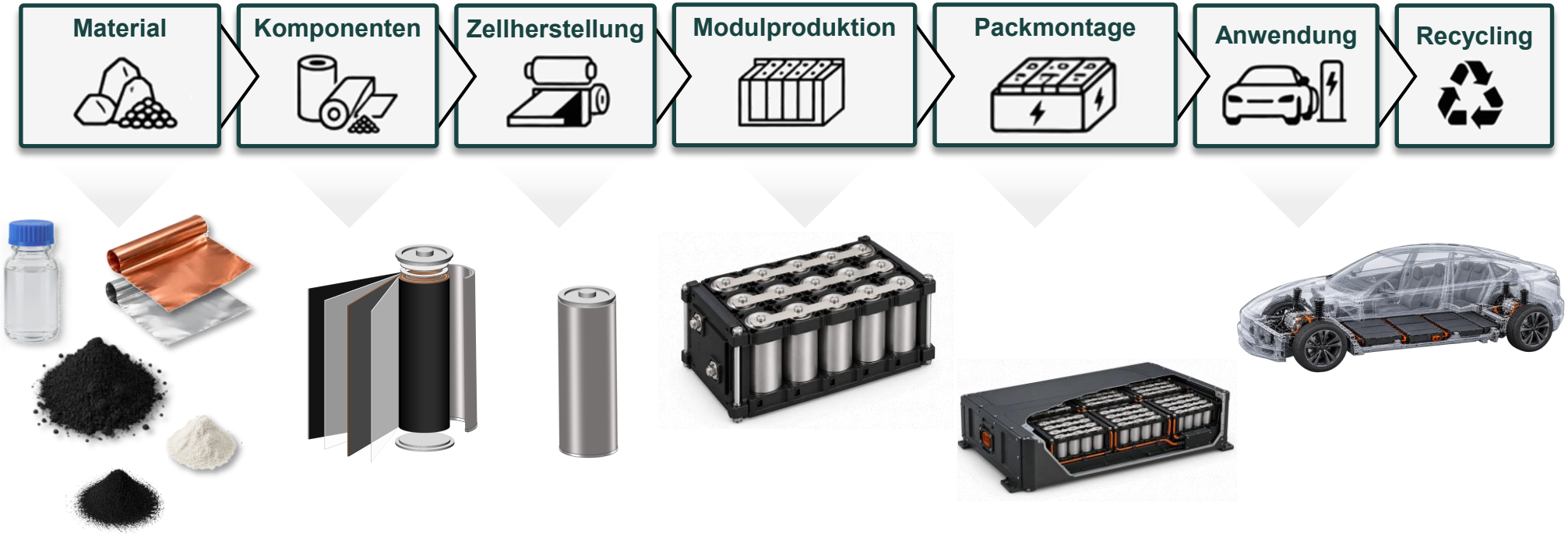
Inaktivmaterial

Kompetenzen
Qualitätsprüfung, Materiallogistik

(Partially) AI GENERATED

knowhow.hybat.de

Batterie Wertschöpfungskette



Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit

Quellen:

- KI Bilder mit Chat GPT erstellt
- PEM, RWTH Aachen, VDMA (https://www.pem.rwth-aachen.de/global/show_document.asp?id=aaaaaaaaabcgujq)

hybat HYDROGEN BATTERY TRANSFORMATION HUB
Kofinanziert von der Europäischen Union
Die Landesregierung Nordrhein-Westfalen

knowhow.hybat.de

HYDROGEN BATTERY TRANSFORMATION HUB

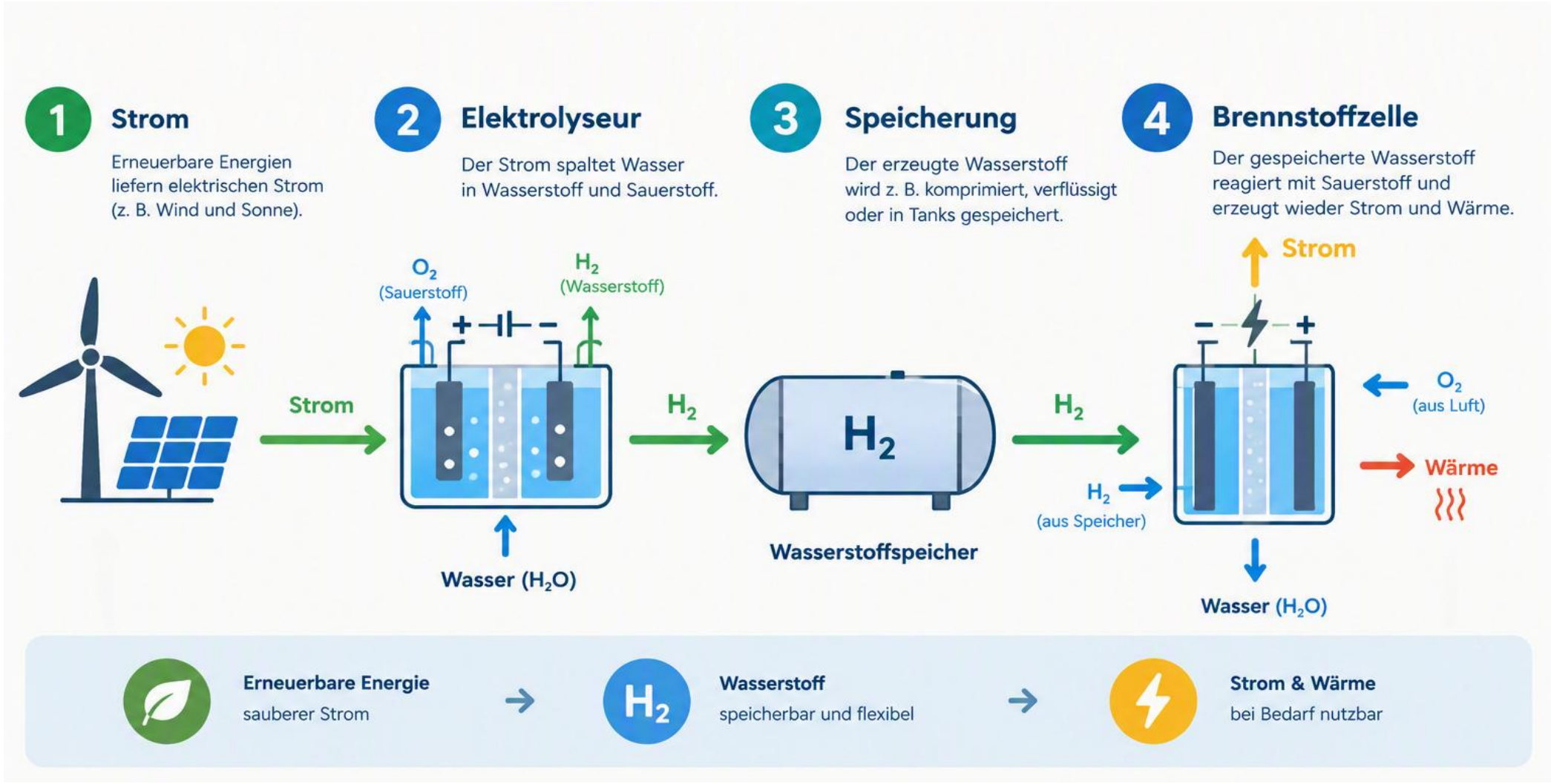
Elektrolyseur und Brennstoffzelle

Wie sie funktionieren und was es zur Herstellung braucht

Kofinanziert von der Europäischen Union
Die Landesregierung Nordrhein-Westfalen
TECHNOLOGIE FÖRDERUNG MÜNSTER | TFM
WiN EMSCHER-LIPPE
IHK Nord Westfalen
MÜNSTERLAND E.V. FÜR DAS GUTE LEBEN.
Universität Münster
meet Institut für Wirtschaftschemie
Westfälische Hochschule
FH MÜNSTER University of Applied Sciences
IWARU Institut für Infrastruktur · Wasser · Ressourcen · Umwelt
Arbeitsgruppe Ressourcen

Elektrolyseur und Brennstoffzelle

Vom Strom zum Wasserstoff und zurück



knowhow.hybat.de

Elektrolyseure

Funktionsprinzip und Herstellung

Elektrolyseur

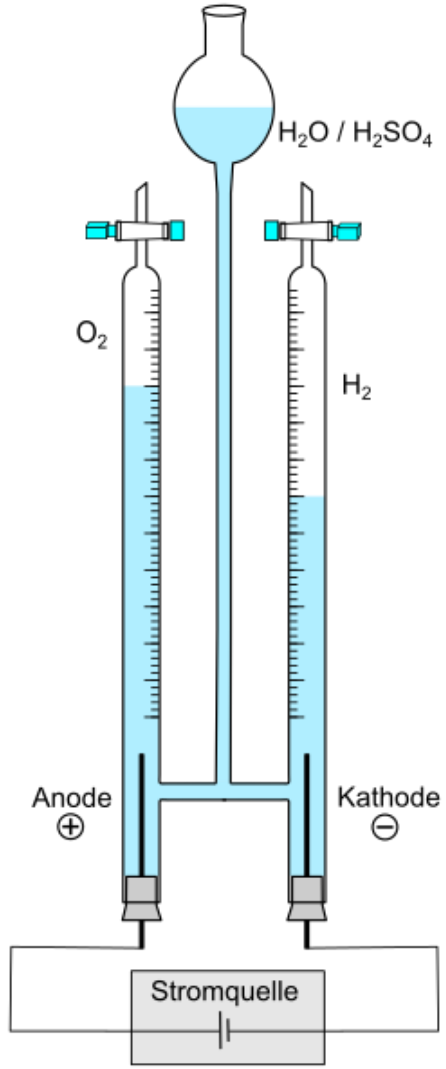
Grundprinzip

In saurer Lösung:[2]

$$\begin{aligned}
&\text{Kathode:} && 4\,H_3O^+ + 4\,e^- \longrightarrow 2\,H_2 + 4\,H_2O \\
&\text{Anode:} && 6\,H_2O \longrightarrow O_2 + 4\,H_3O^+ + 4\,e^- \\
\hline
&\text{Gesamtreaktion:} && 2\,H_2O \longrightarrow 2\,H_2 + O_2
\end{aligned}$$

In alkalischer Lösung:[2]

$$\begin{aligned}
&\text{Kathode:} && 4\,H_2O + 4\,e^- \longrightarrow 2\,H_2 + 4\,OH^- \\
&\text{Anode:} && 4\,OH^- \longrightarrow O_2 + 2\,H_2O + 4\,e^- \\
\hline
&\text{Gesamtreaktion:} && 2\,H_2O \longrightarrow 2\,H_2 + O_2
\end{aligned}$$



Quelle: Wikipedia

HYDROGEN BATTERY TRANSFORMATION HUB

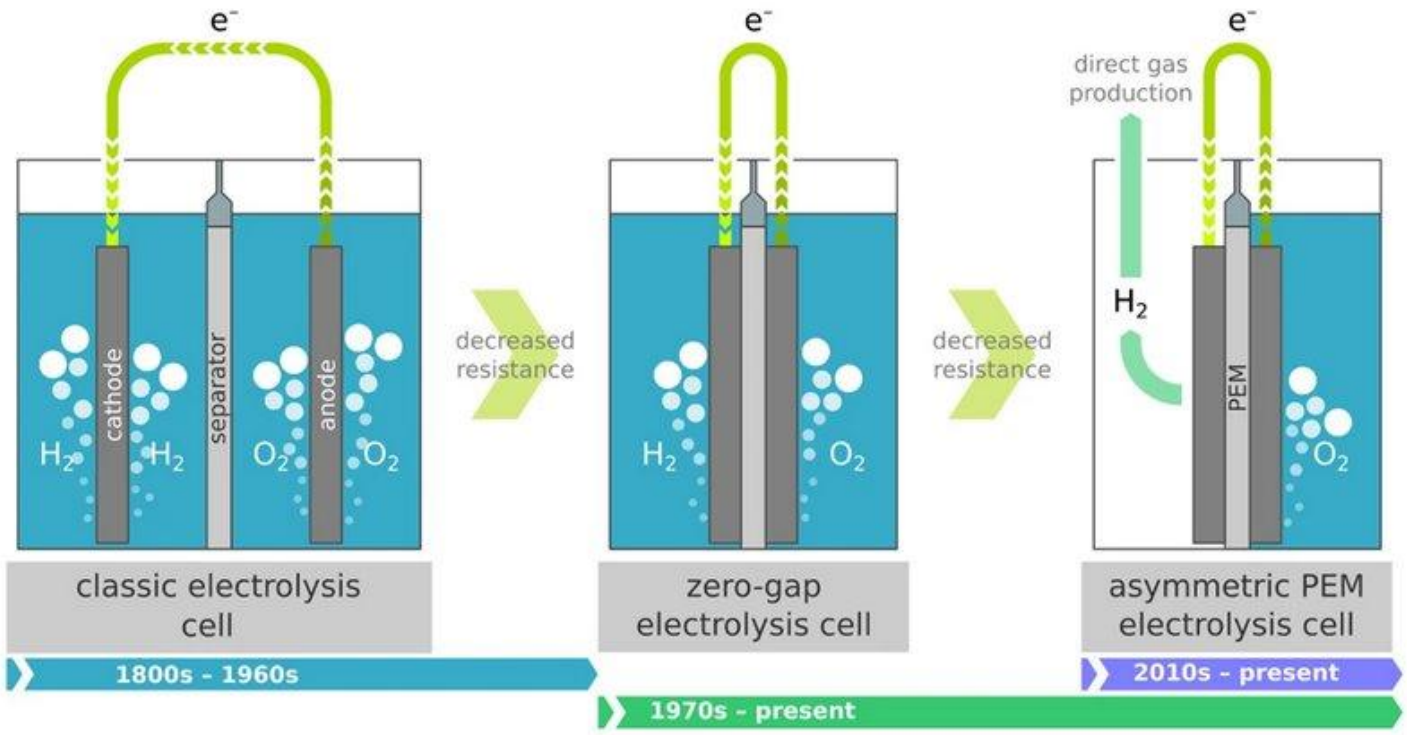
Kofinanziert von der Europäischen Union

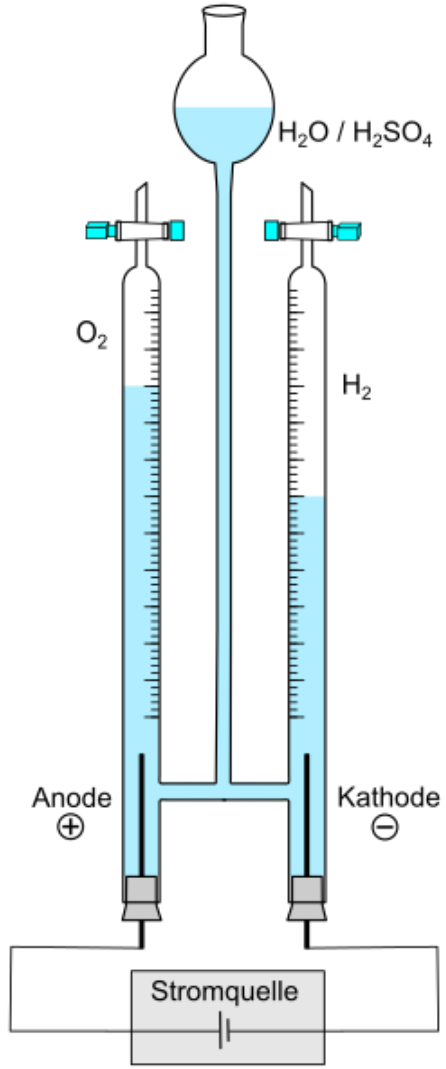
Die Landesregierung Nordrhein-Westfalen

knowhow.hybat.de

Elektrolyseur

Grundprinzip





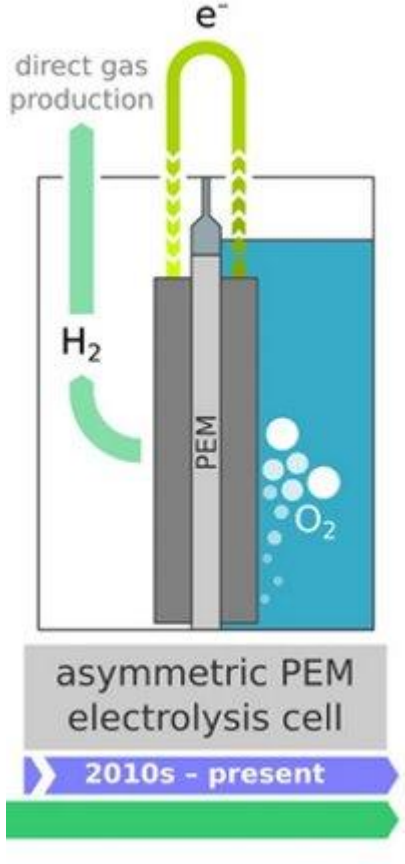
Quelle: Wikipedia

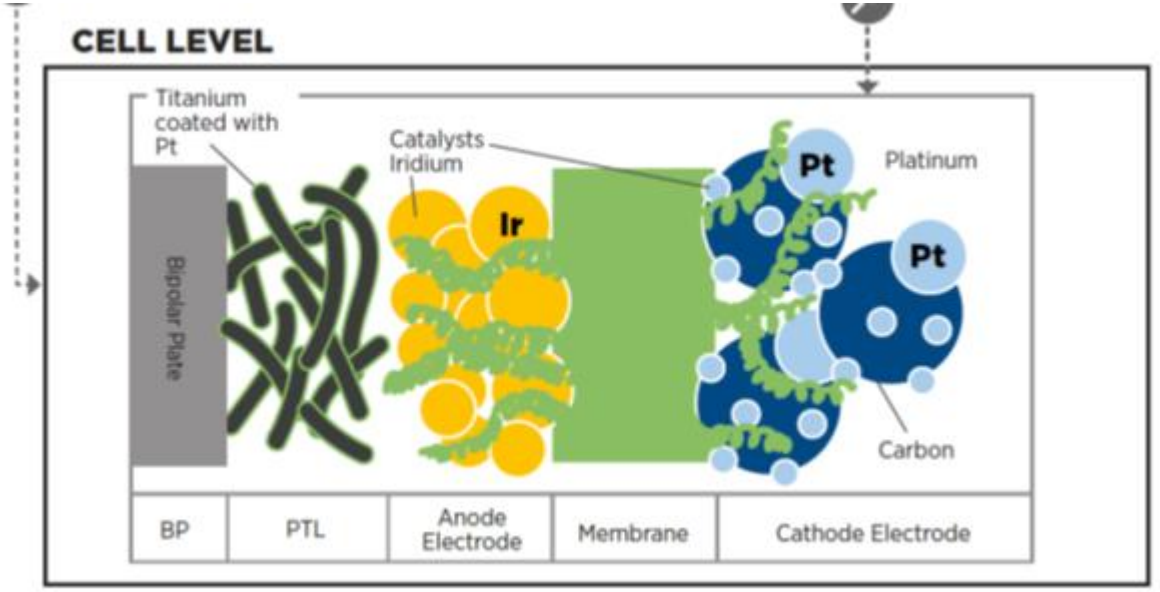
knowhow.hybat.de

Aufbau von Elektrolyseuren

Zellaufbau

- Hohe Strom- und Leistungsdichte → Kompakte Bauweise
- Effiziente Nutzung von Rohstoffen
- Besondere Anforderungen an Fertigungsverfahren!





IRENA (2020), Green Hydrogen Cost Reduction: Scaling up Electrolysers to Meet the 1.5°C Climate Goal, International Renewable Energy Agency, Abu Dhabi

knowhow.hybat.de

Aufbau von Elektrolyseuren

Zellanordnung

Zellstapel

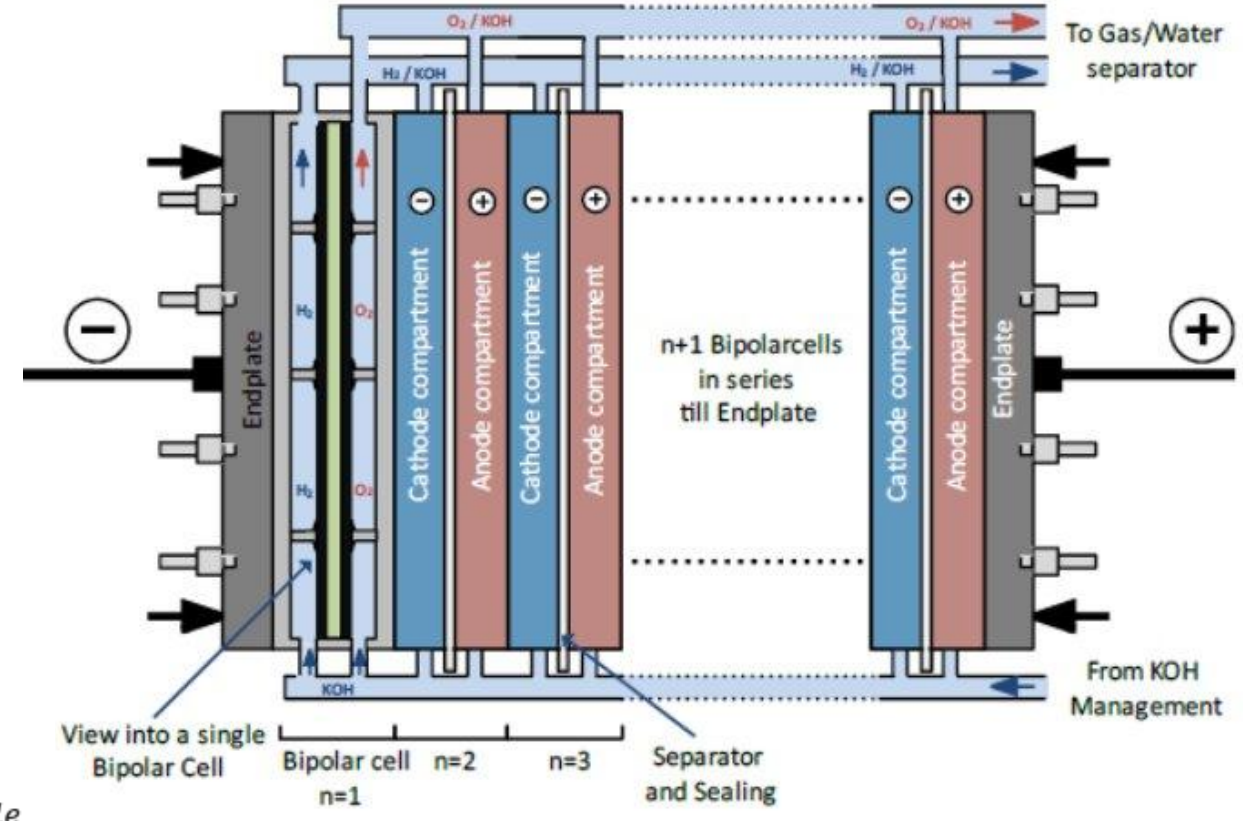
- Bipolarer Aufbau
- Medien: Parallelschaltung
- Strom: Reihenschaltung

Elektrische Energie Stack:

$$I_{Stack} = I_{Zelle}$$

$$U_{Stack} = \sum U_{Zelle} = n * U_{Zelle}$$

$$P_{Stack} = I_{Stack} * U_{Stack} = n * I_{Zelle} * U_{Zelle}$$



Fraunhofer ISE *Cost Forecast for Low-Temperature Electrolysis* 2021

knowhow.hybat.de

Aufbau von Elektrolyseuren

Zellanordnung

Zellstapel

- Bipolarer Zellaufbau
- Medien: Parallelschaltung
- Strom: Reihenschaltung

$$I_{Stack} = I_{Zelle}$$

$$U_{Stack} = \sum U_{Zelle} = n * U_{Zelle}$$

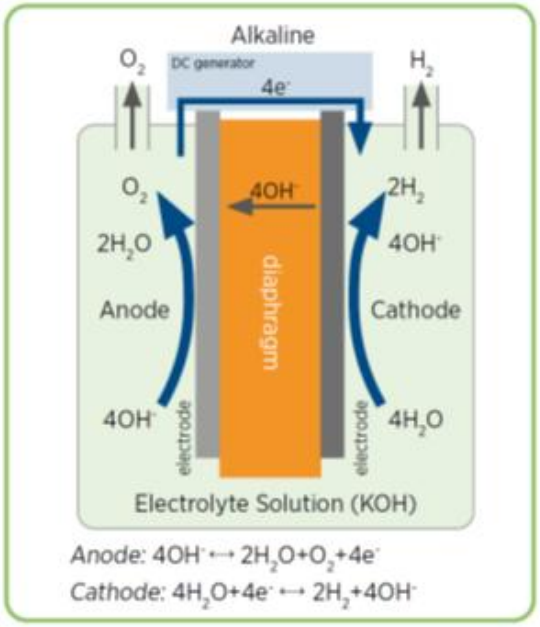
$$P_{Stack} = I_{Stack} * U_{Stack} = n * I_{Zelle} * U_{Zelle}$$

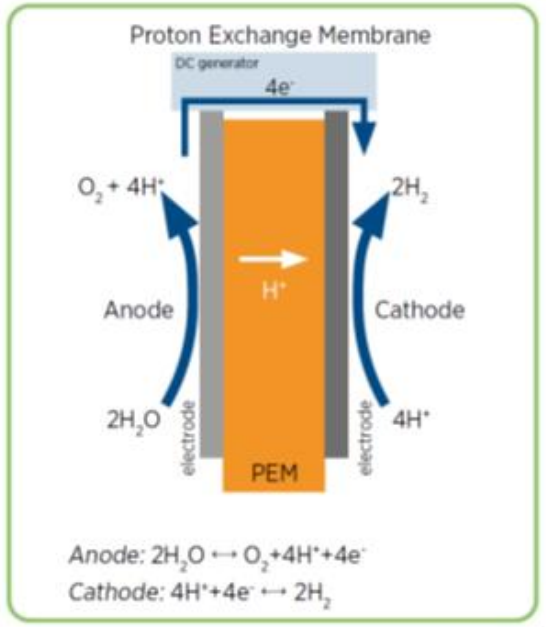


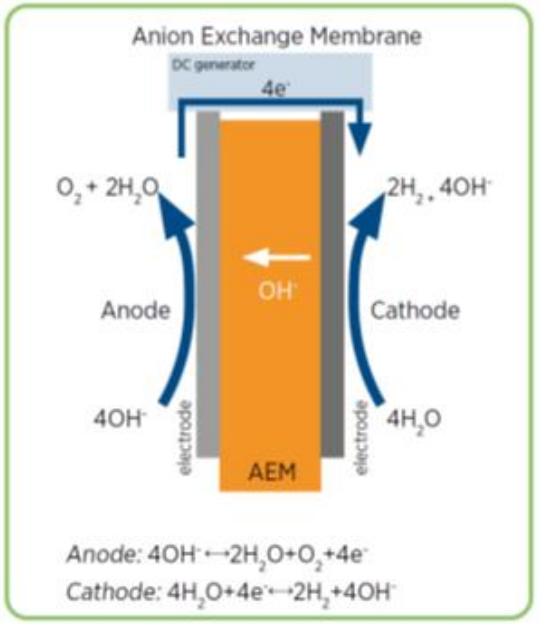
Kofinanziert von der Europäischen Union
Die Landesregierung Nordrhein-Westfalen

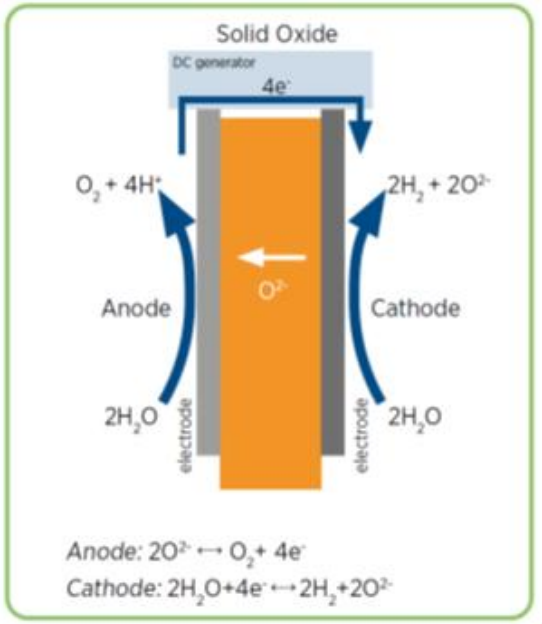
Elektrolyse

Übersicht Technologien









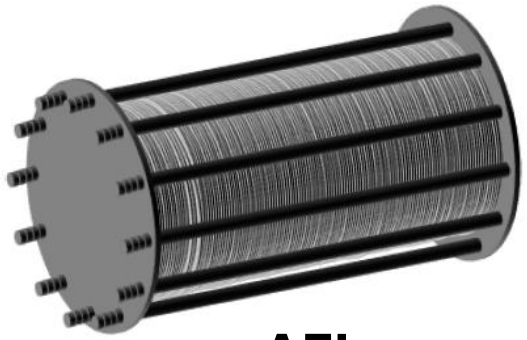
IRENA (2020), Green Hydrogen Cost Reduction: Scaling up Electrolysers to Meet the 1.5°C Climate Goal, International Renewable Energy Agency, Abu Dhabi

knowhow.hybat.de

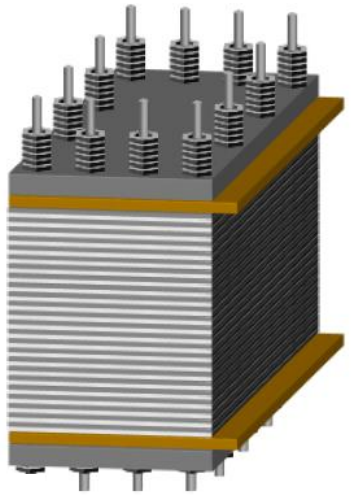
Elektrolyse

Übersicht Technologien

	Alkaline	PEM	AEM	Solid Oxide
Operating temperature	70-90 °C	50-80 °C	40-60 °C	700-850 °C
Operating pressure	1-30 bar	< 70 bar	< 35 bar	1 bar
Electrolyte	Potassium hydroxide (KOH) 5-7 molL^{-1}	PFSA membranes	DVB polymer support with KOH or NaHCO3 1molL^{-1}	Yttria-stabilized Zirconia (YSZ)
Separator	ZrO_2 stabilized with PPS mesh	Solid electrolyte (above)	Solid electrolyte (above)	Solid electrolyte (above)
Electrode / catalyst (oxygen side)	Nickel coated perforated stainless steel	Iridium oxide	High surface area Nickel or NiFeCo alloys	Perovskite-type (*e.g.* LSCF, LSM)
Electrode / catalyst (hydrogen side)	Nickel coated perforated stainless steel	Platinum nanoparticles on carbon black	High surface area nickel	Ni/YSZ
Porous transport layer anode	Nickel mesh (not always present)	Platinum coated sintered porous titanium	Nickel foam	Coarse Nickel-mesh or foam
Porous transport layer cathode	Nickel mesh	Sintered porous titanium or carbon cloth	Nickel foam or carbon Cloth	None
Bipolar plate anode	Nickel-coated stainless steel	Platinum-coated titanium	Nickel-coated stainless steel	None
Bipolar plate cathode	Nickel-coated stainless steel	Gold-coated titanium	Nickel-coated Stainless steel	Cobalt-coated stainless steel
Frames and sealing	PSU, PTFE, EPDM	PTFE, PSU, ETFE	PTFE, Silicon	Ceramic glass



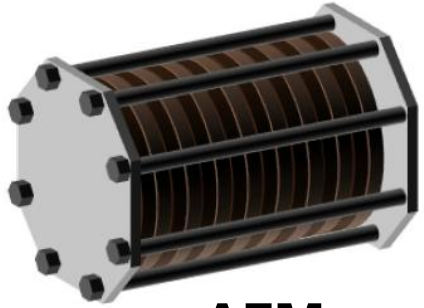
AEL



PEM



SOEL



AEM

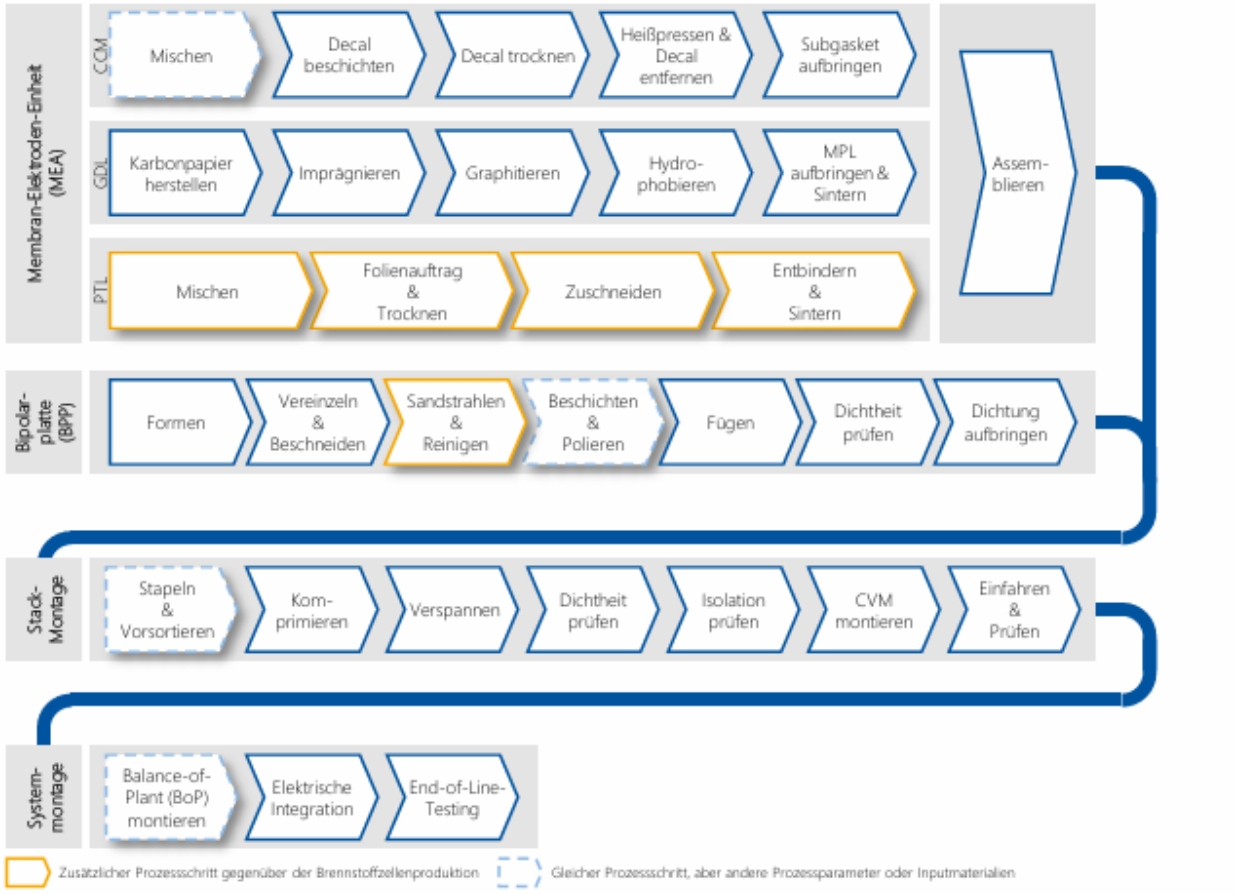
IRENA (2020), Green Hydrogen Cost Reduction: Scaling up Electrolysers to Meet the 1.5°C Climate Goal, International Renewable Energy Agency, Abu Dhabi

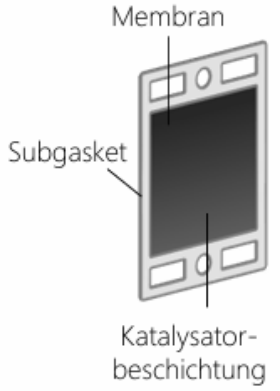
https://www.pem.rwth-aachen.de/global/show_document.asp?id=aaaaaaaacdbffnc

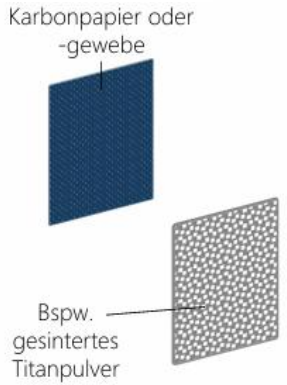
knowhow.hybat.de

Produktion von Elektrolyseuren

Übersicht Fertigungsschritte







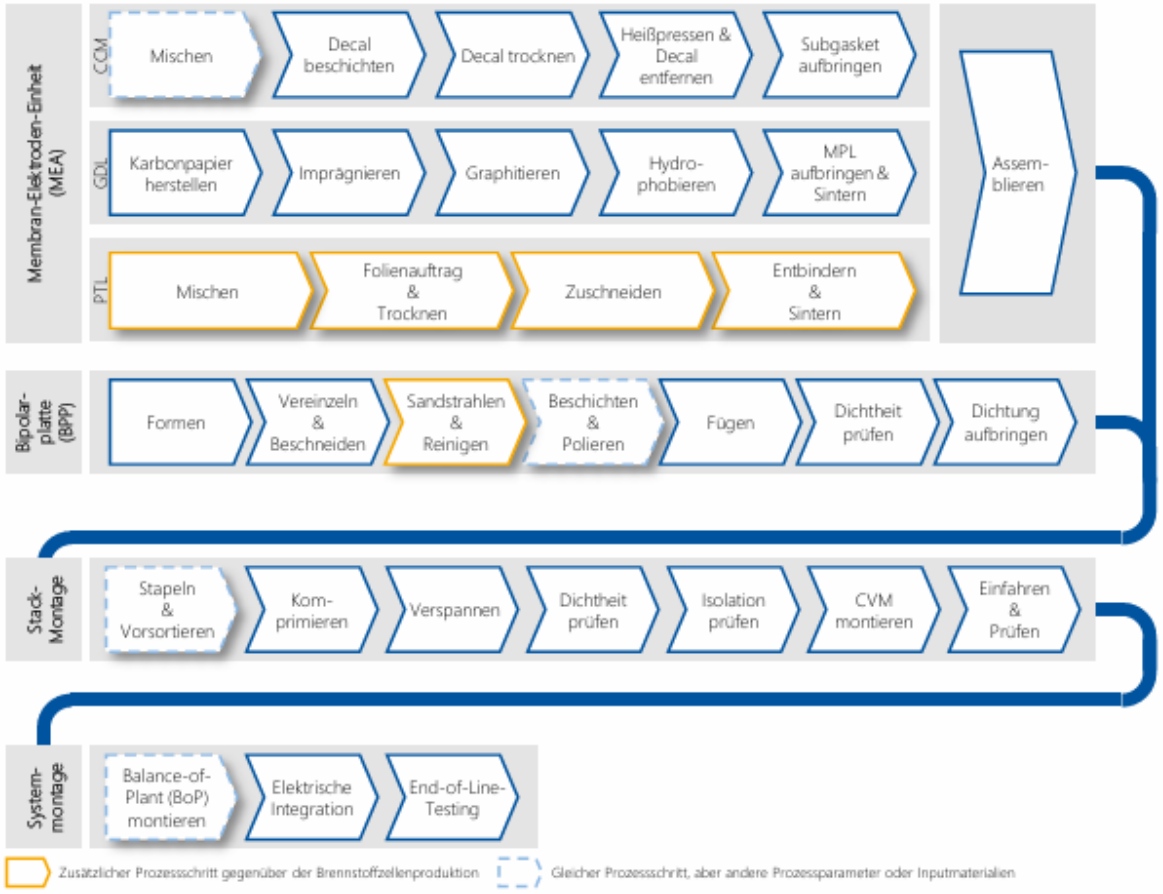


https://www.pem.rwth-aachen.de/global/show_document.asp?id=aaaaaaaacdbffnc

knowhow.hybat.de

Produktion von Elektrolyseuren

Übersicht Fertigungsschritte





Strömungsfeld

https://www.pem.rwth-aachen.de/global/show_document.asp?id=aaaaaaaacdbffnc

knowhow.hybat.de

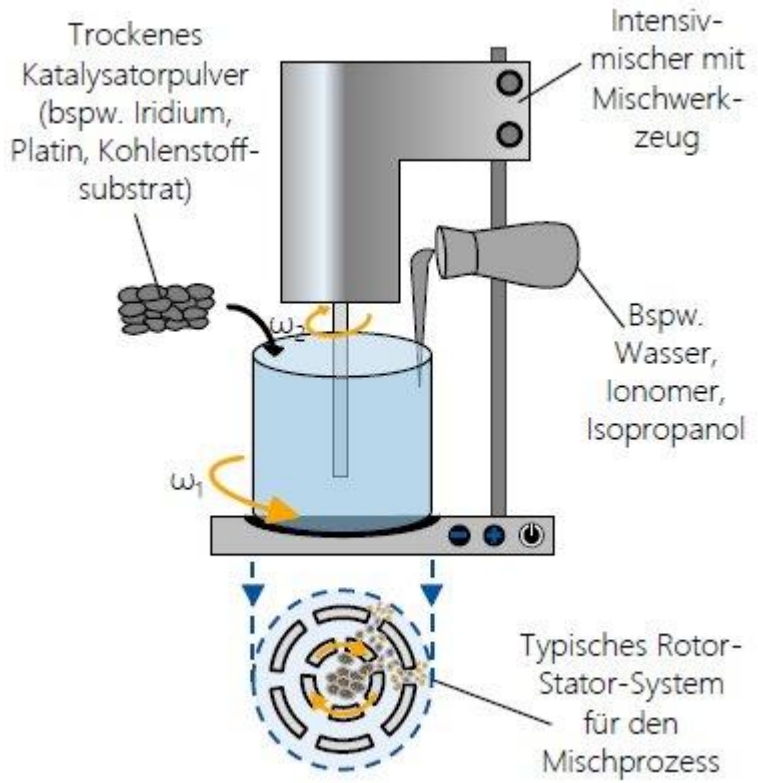
Produktion von Elektrolyseur-Komponenten

CCM-Fertigung – Mischen von Katalysatortinte

- Inhaltsstoffe:
  - Katalysatorpulver: z. B. IrO2 , Pt/C
  - Lösungsmittel: Wasser (reinst, Typ 1), Isopropanol
  - Binder: Ionomerlösung (z. B. Nafion)

- Verwendete Techniken:
  - Rührwerke, Schaufelmischer, Rotationskugelmischer
  - Ultraschallbad

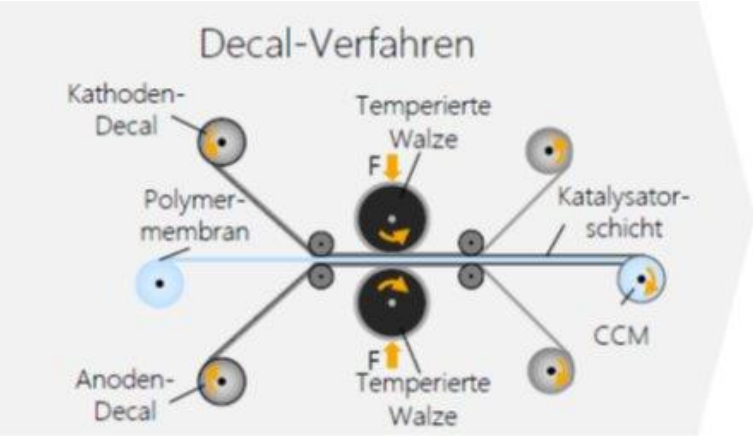
- Wichtige Qualitätsmerkmal:
  - Homogenität
  - Viskosität (abh. von Weiterverarbeitung)
  - Vermeidung von Partikelagglomeration

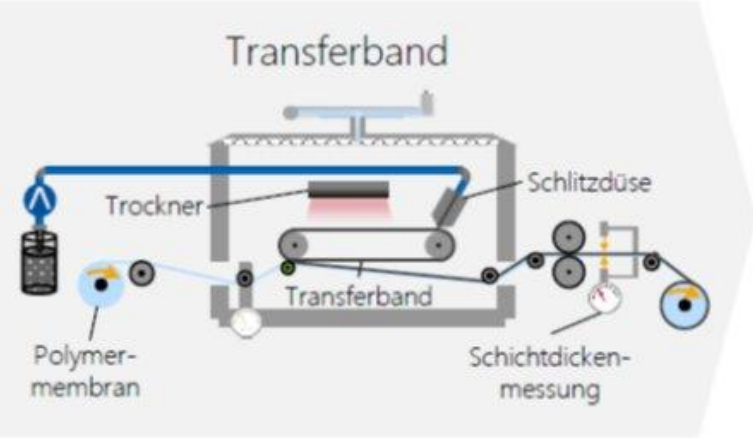


https://www.pem.rwth-aachen.de/global/show_document.asp?id=aaaaaaaacdbffnc

Produktion von Elektrolyseur-Komponenten

CCM-Fertigung – Membranbeschichtung indirekt





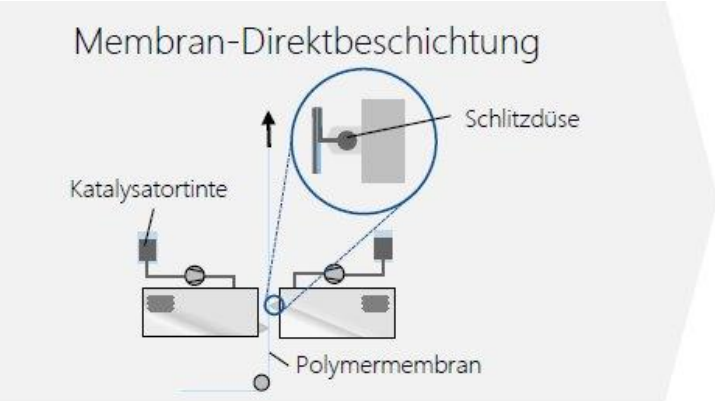
1. Beschichtung eines Transferbandes mit Katalysatortinte
2. (Teilweise) Trocknung
3. Übertrag auf Membran via Heißpressvorgang

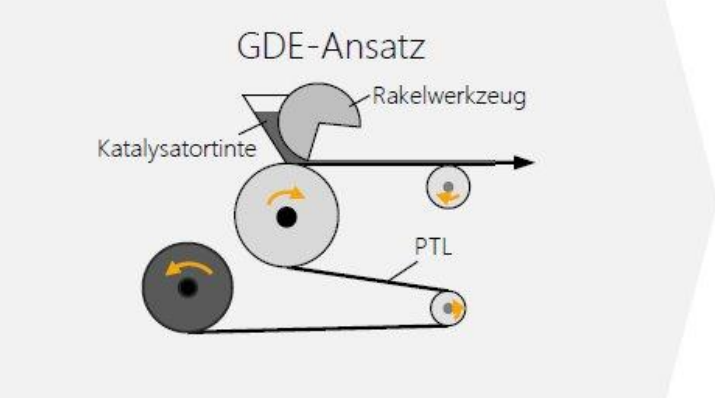
- Membran wird größtenteils trocken verarbeitet
- Stabiler Prozess
- Industriell etabliert

https://www.pem.rwth-aachen.de/global/show_document.asp?id=aaaaaaaacdbffnc

Produktion von Elektrolyseur-Komponenten

CCM-Fertigung – Membranbeschichtung direkt





<u>Membrandirektbeschichtung:</u>

1. Direkte Beschichtung der Membran mit Katalysatortinte, z. B. via Schlitzdüse
2. Trocknung und Heißpressvorgang

- Weniger Prozessschritte als indirekte Beschichtung
- Membran wird feucht verarbeitet

<u>Gasdiffussionselektroden:</u>

1. Direkte Beschichtung der Gasdiffusionslage (GDL) mit Katalysatortinte
2. Trocknung (evtl. Heißpressvorgang)

- Stabiler Prozess (poröse Oberfläche)
- Nicht mit allen PTL-Materialien möglich

https://www.pem.rwth-aachen.de/global/show_document.asp?id=aaaaaaaacdbffnc

knowhow.hybat.de

Produktion von Elektrolyseur-Komponenten

PTL (Poröse Transport-Schichten) – Fertigungsverfahren

Pulver-Sinter:

- Definierte Poren
- Teuer

Vlies:

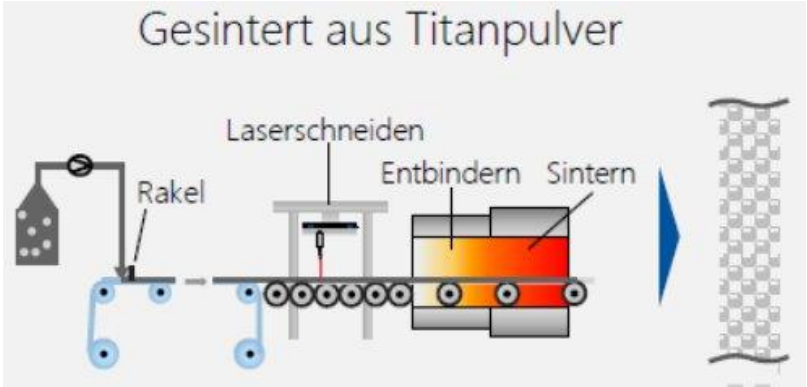
- Eingeschränkte Homogenität

Streckmetall:

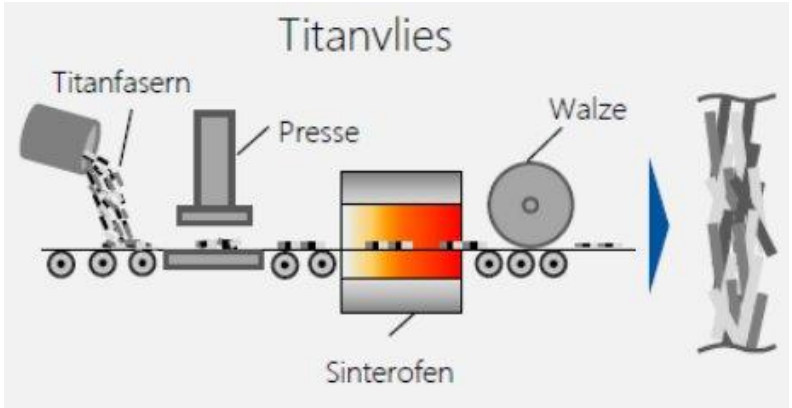
- Homogen
- Kostengünstig
- Porengröße limitiert

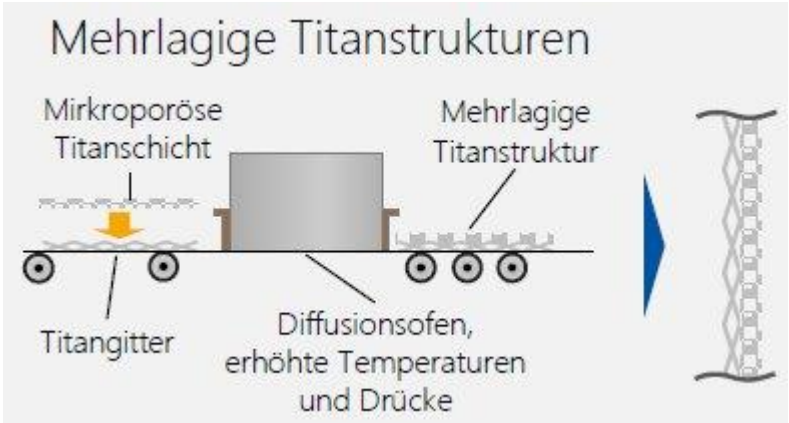
Mehrlagige Strukturen:

- Gradierte Porosität
- Einsatz planarer Polplatten









https://www.pem.rwth-aachen.de/global/show_document.asp?id=aaaaaaaacdbffnc

Produktion von Elektrolyseur-Komponenten

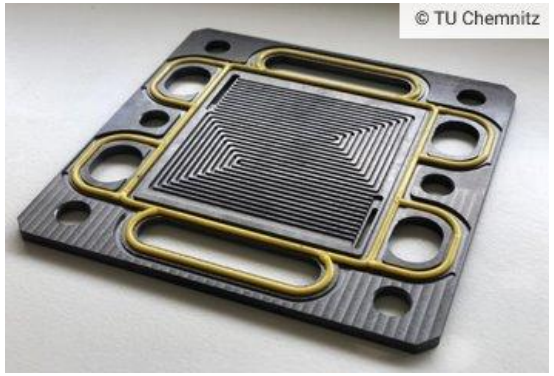
Polplatten / Bipolarplatten – Fertigung

Materialien:

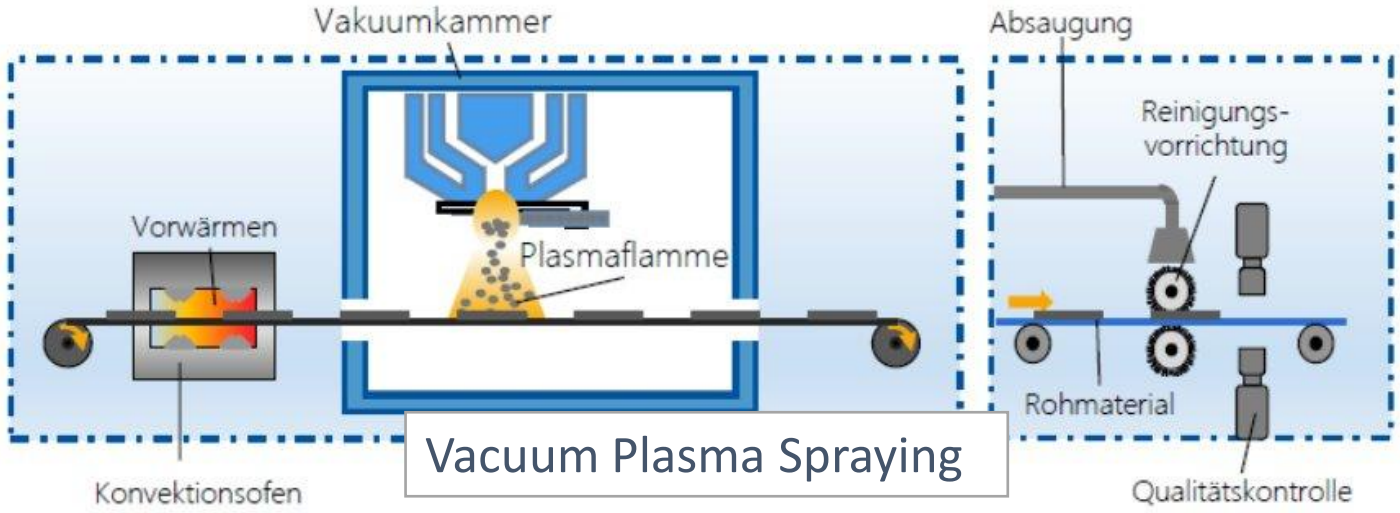
- Titan / Edelstahl (PEM-Anode)
- Nickel / Edelstahl (AEM-Anode)
- Graphit (Kathode PEM & AEM)

Herstellung:

- Zerspanen
- Umformen
- Beschichten (z. B. VPS)







Vacuum Plasma Spraying

https://www.pem.rwth-aachen.de/global/show_document.asp?id=aaaaaaaacdbffnc

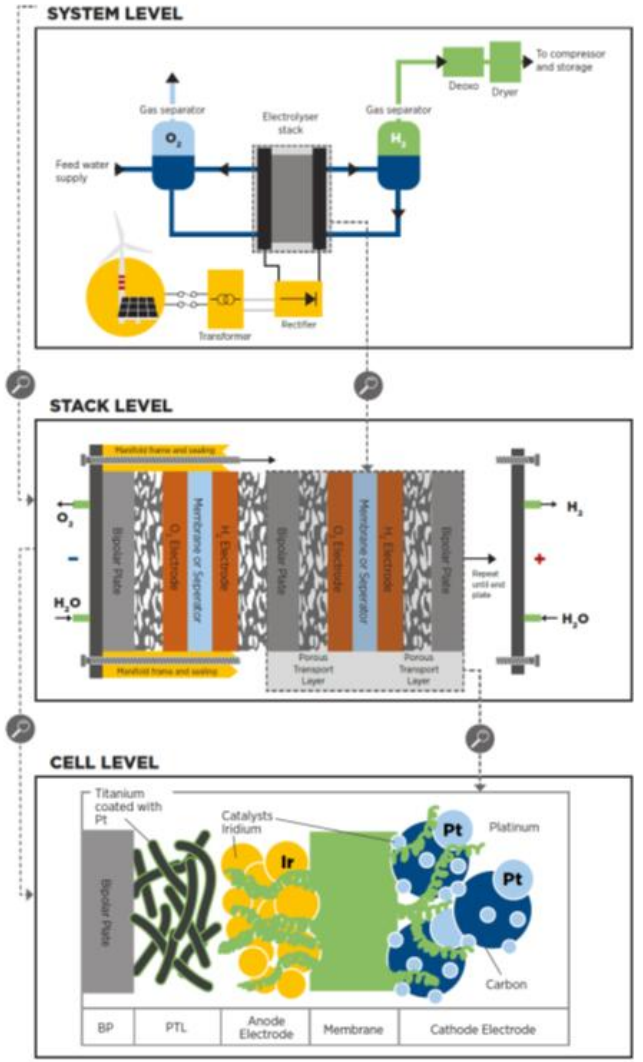
Von der Zelle zum System

Systemkomponenten für den Elektrolysebetrieb

- Grundlage: Elektrochemischer Prozess

- Notwendig für den Prozess:
  - Zufuhr: Prozessmedium (Wasser)
  - Abfuhr: Produktgas
  - Zufuhr: Elektrische Energie (Spannung / Strom)

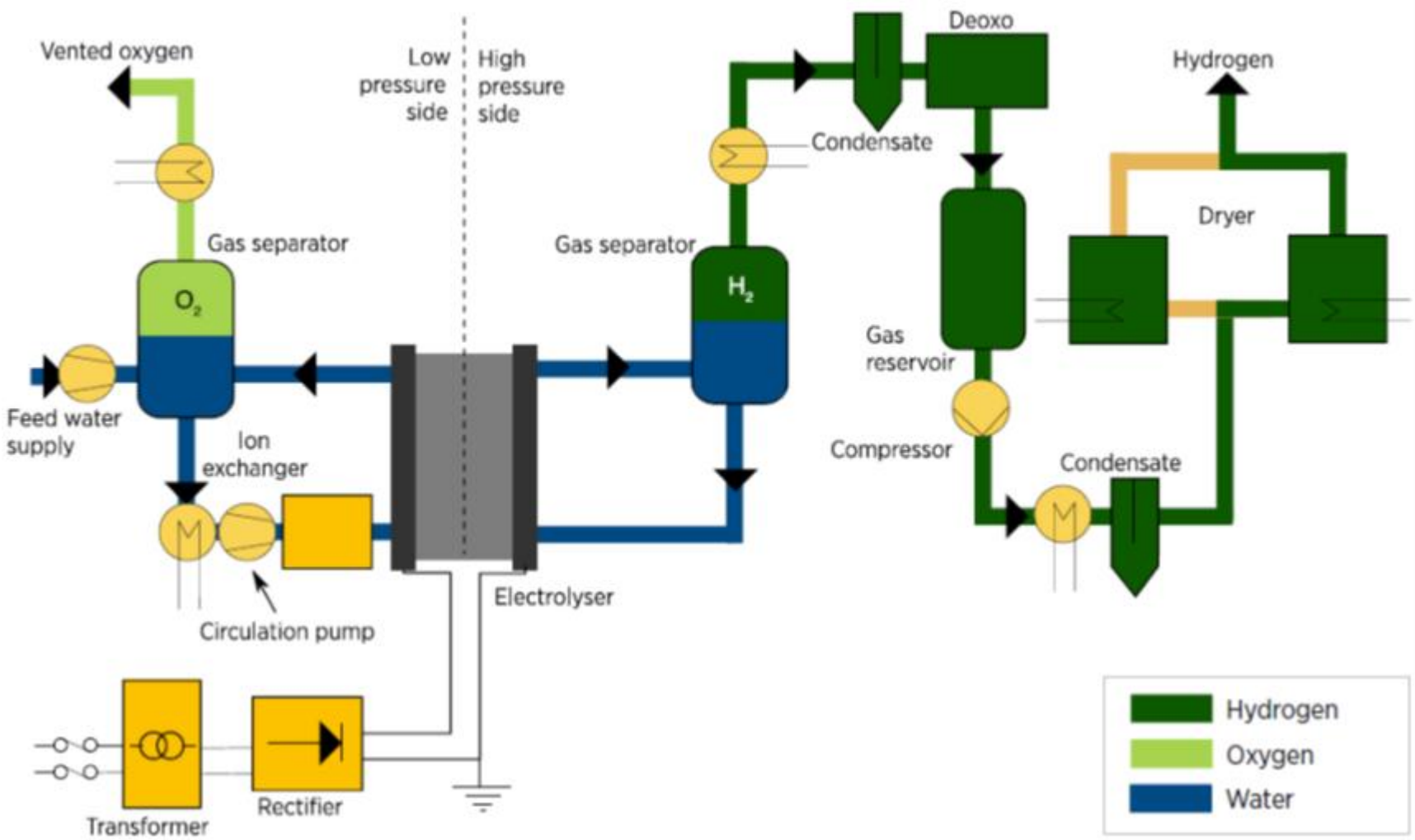
- Notwendige Betriebskomponenten:
  - Zufuhr Prozessmedium: Pumpen
  - Abfuhr Produktgas: Gasabscheider
  - Elektrische Energie: Strom-/Spannungsquelle



IRENA (2020), Green Hydrogen Cost Reduction: Scaling up Electrolysers to Meet the 1.5°C Climate Goal, International Renewable Energy Agency, Abu Dhabi

Aufbau von Elektrolyseanlagen

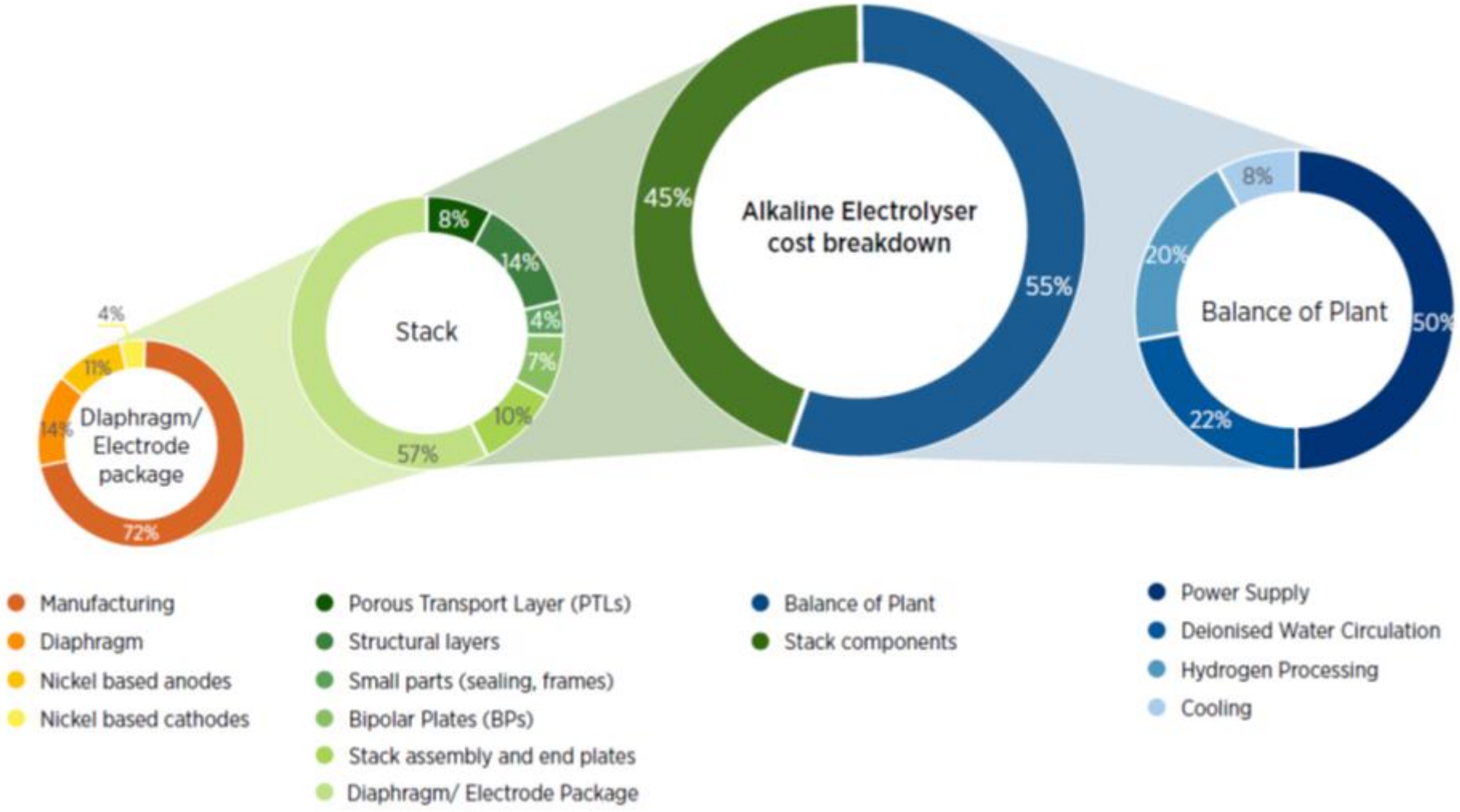
Systemkomponenten für die PEM-EL



knowhow.hybat.de

Kostenübersicht Elektrolyseanlagen

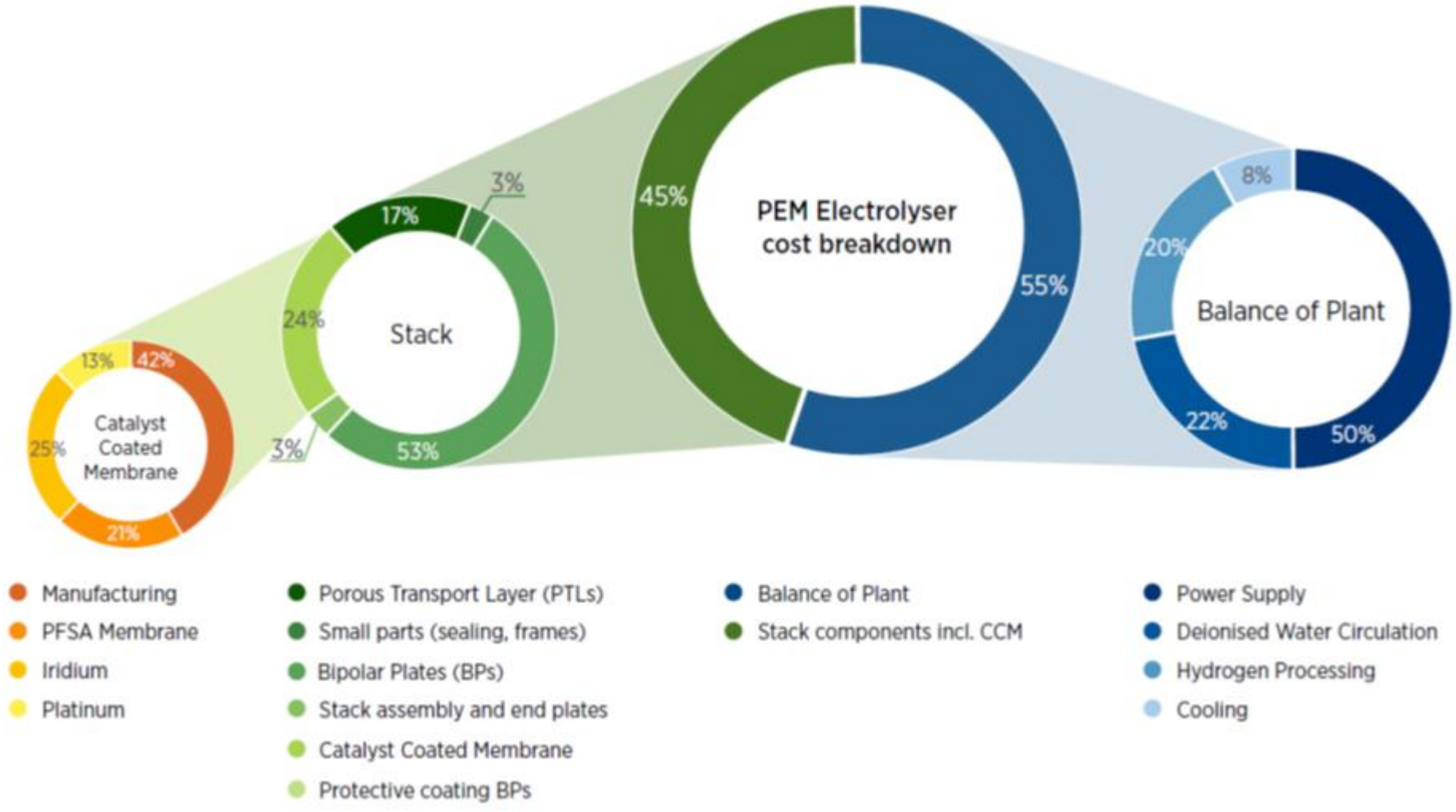
Investitionskosten – Alkalische-Elektrolyseur-Anlagen



knowhow.hybat.de

Kostenübersicht Elektrolyseanlagen

Investitionskosten – PEM-Elektrolyseur-Anlagen



Kofinanziert von der Europäischen Union

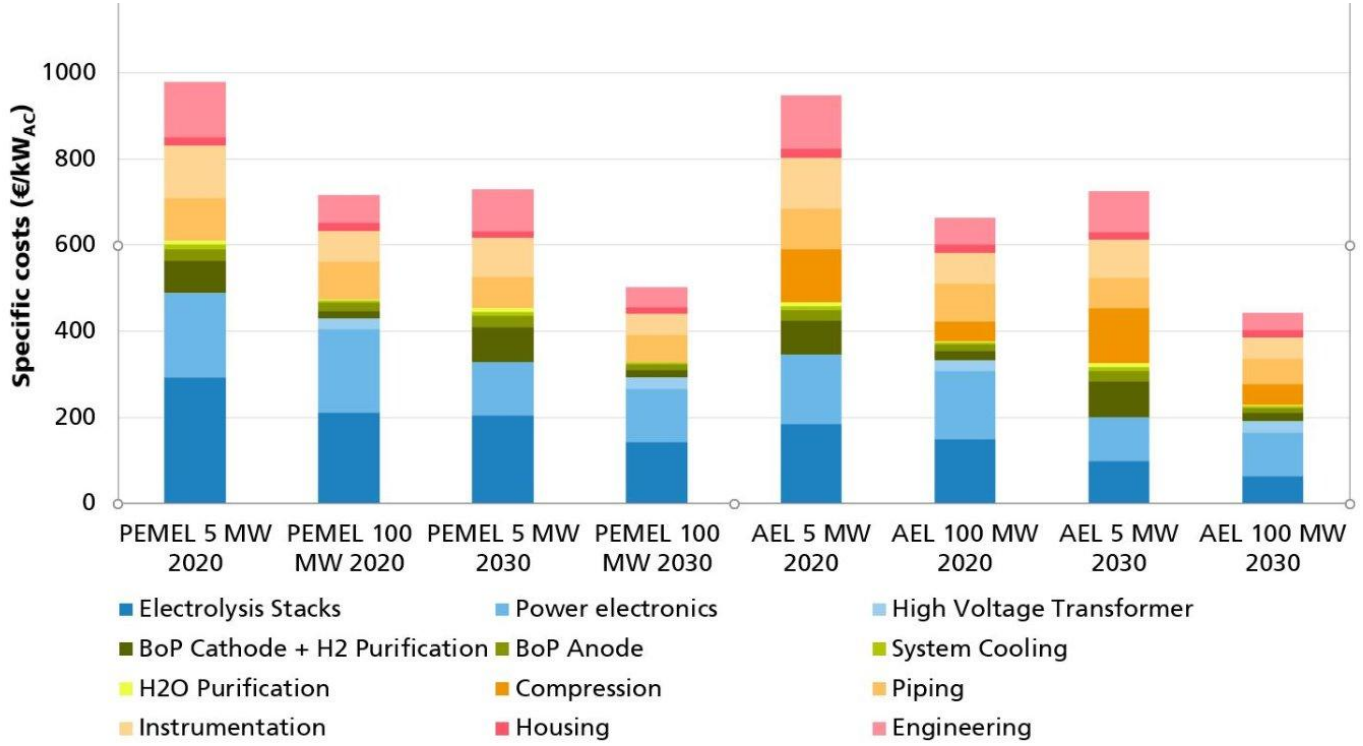
Die Landesregierung Nordrhein-Westfalen

knowhow.hybat.de

Kostenübersicht Elektrolyseanlagen

Investitionskosten – Entwicklung und Skalierung

- Gesamtkosten: Technologieunabhängig
- Erhebliche Vergünstigung in den nächsten Jahren
- Je größer das System desto geringer die spezifischen Kosten



HYDROGEN BATTERY TRANSFORMATION HUB

Kofinanziert von der Europäischen Union

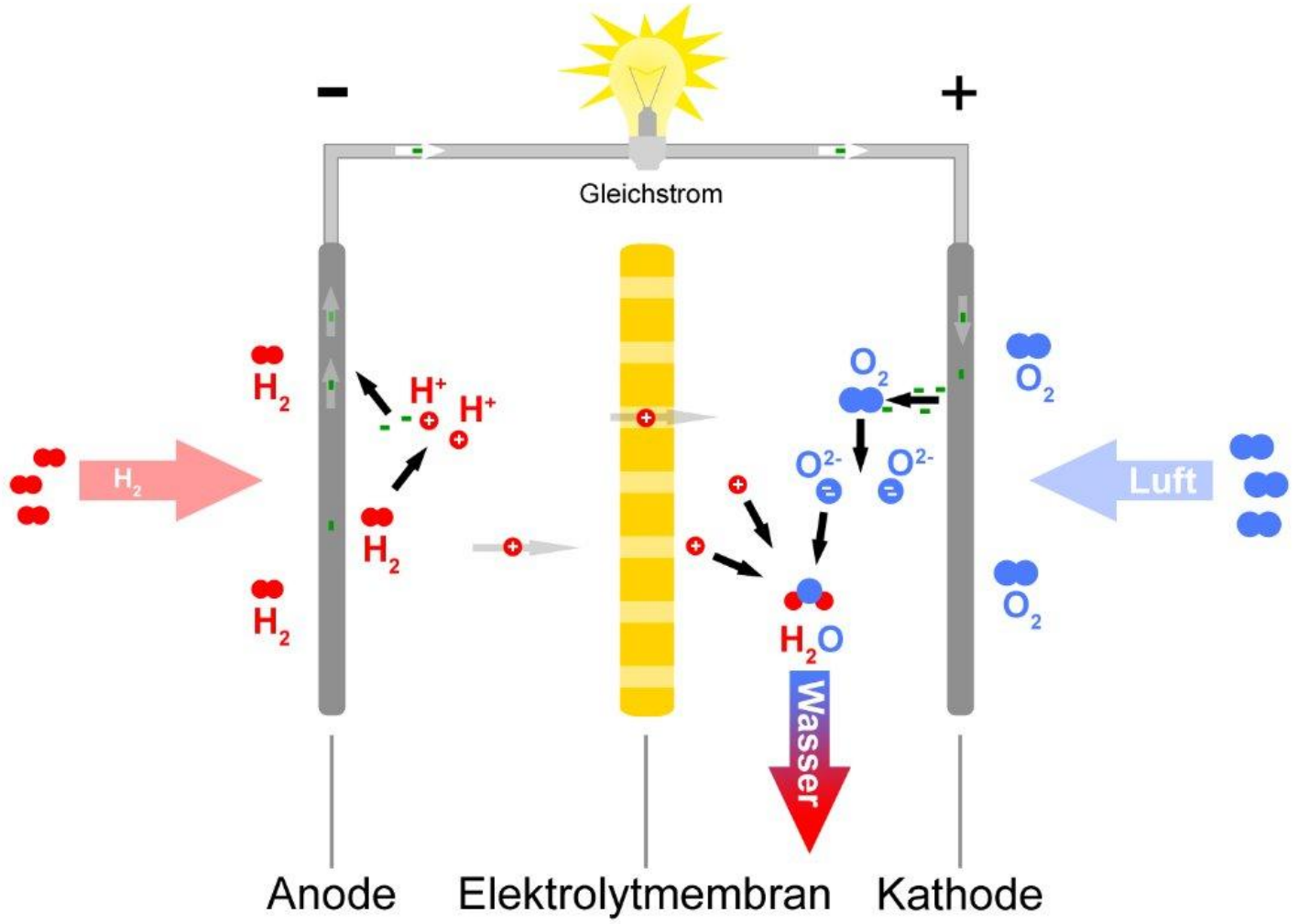
Die Landesregierung Nordrhein-Westfalen

knowhow.hybat.de

Brennstoffzellen
Funktionsprinzip und Herstellung

Wasserstoff-Brennstoffzelle

Grundprinzip



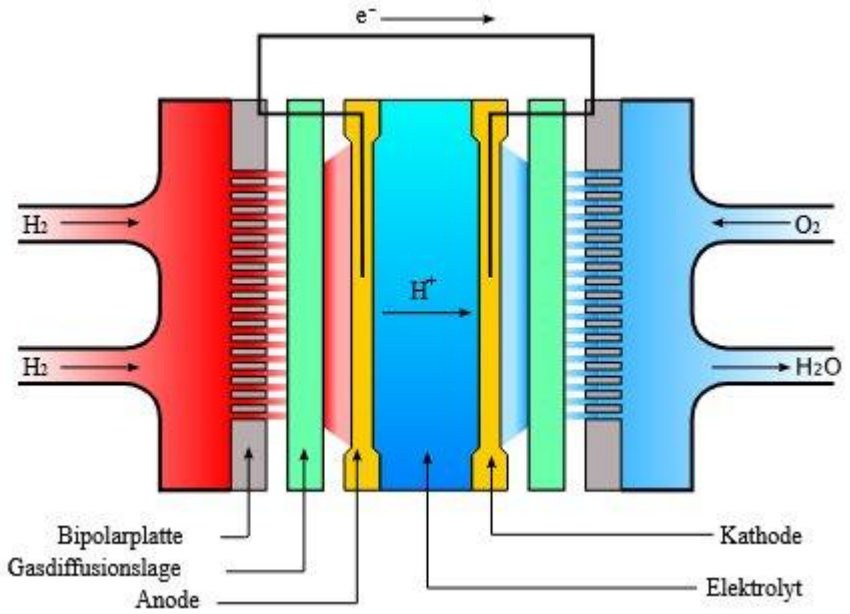
Quelle: Wikipedia

knowhow.hybat.de

Wasserstoff-Brennstoffzelle

Grundprinzip

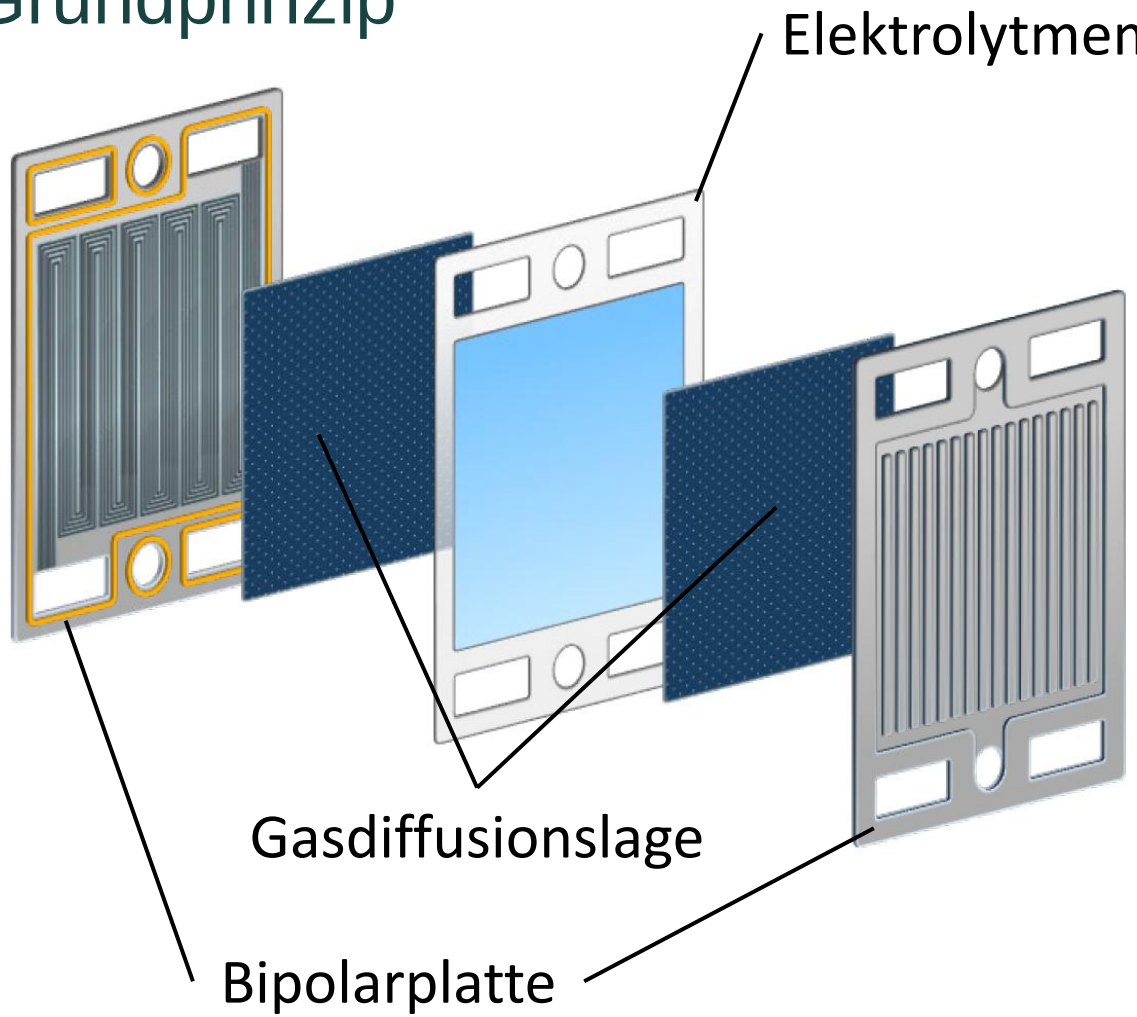
Saurer Elektrolyt	Gleichung
Anode	$2\,H_2 + 4\,H_2O \rightarrow 4\,H_3O^+ + 4\,e^-$ Oxidation / Elektronenabgabe
Kathode	$O_2 + 4\,H_3O^+ + 4\,e^- \rightarrow 6\,H_2O$ Reduktion / Elektronenaufnahme
Gesamtreaktion	$2\,H_2 + O_2 \rightarrow 2\,H_2O$ Redoxreaktion / Zellreaktion

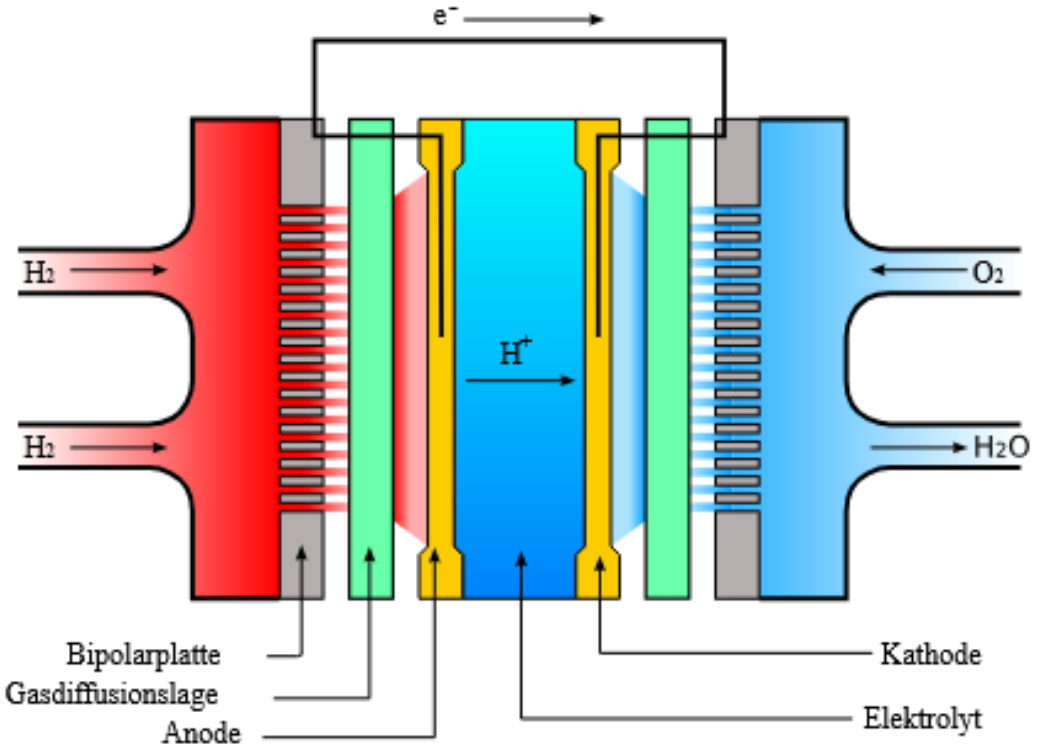


Von derivative work: Matt (talk)Fuel_cell.svg: Original uploader was Nécropotame at fr.wikipedia - Fuel_cell.svg, FAL, https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=5564305

Wasserstoff-Brennstoffzelle

Grundprinzip



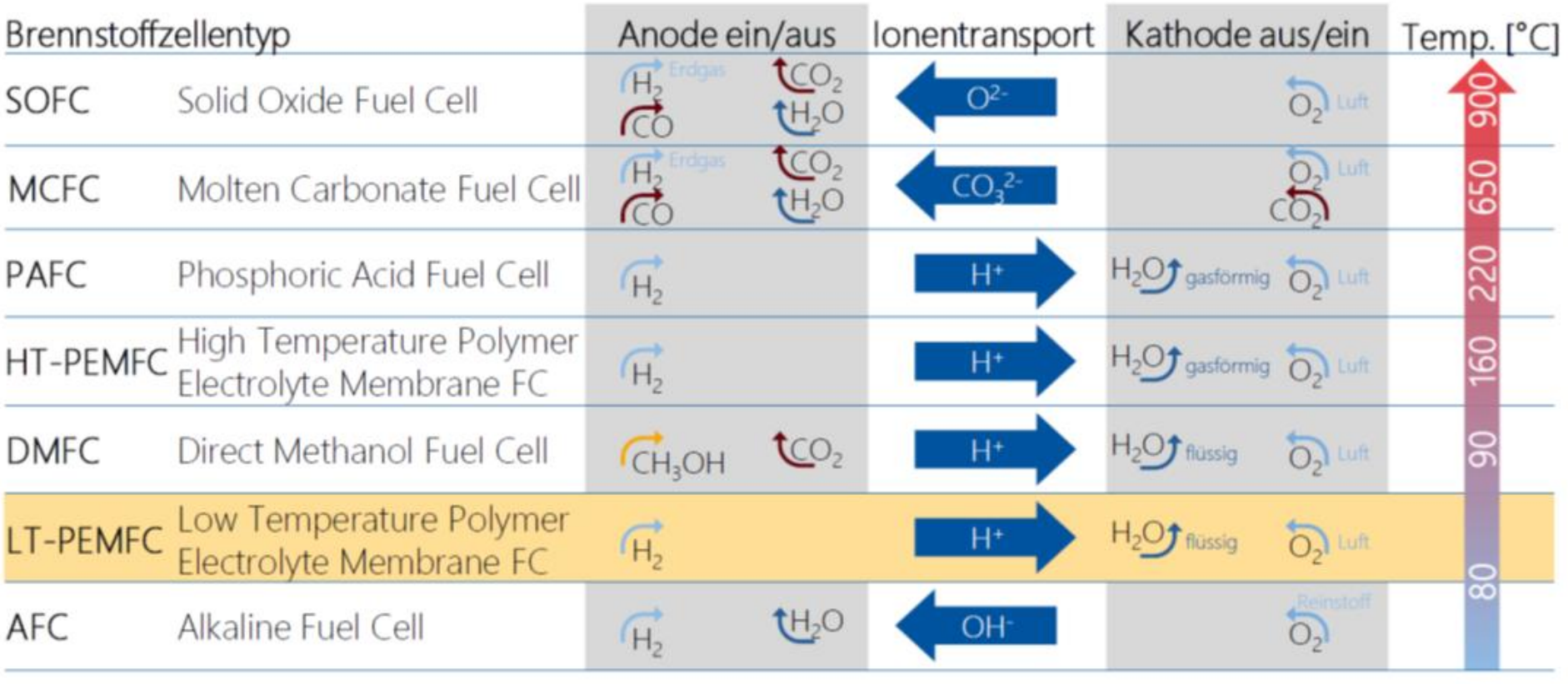


Von derivative work: Matt (talk)Fuel_cell.svg: Original uploader was Nécropotame at fr.wikipedia - Fuel_cell.svg, FAL, https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=5564305
Produktion von Brennstoffzellen-Komponenten / Produktion von Brennstoffzellensystemen, RWTH Aachen, Oktober 2022, ISBN 978-3-947920-25-9, ISBN 978-3-947920-13-6

knowhow.hybat.de

Brennstoffzellen

Übersicht Technologien

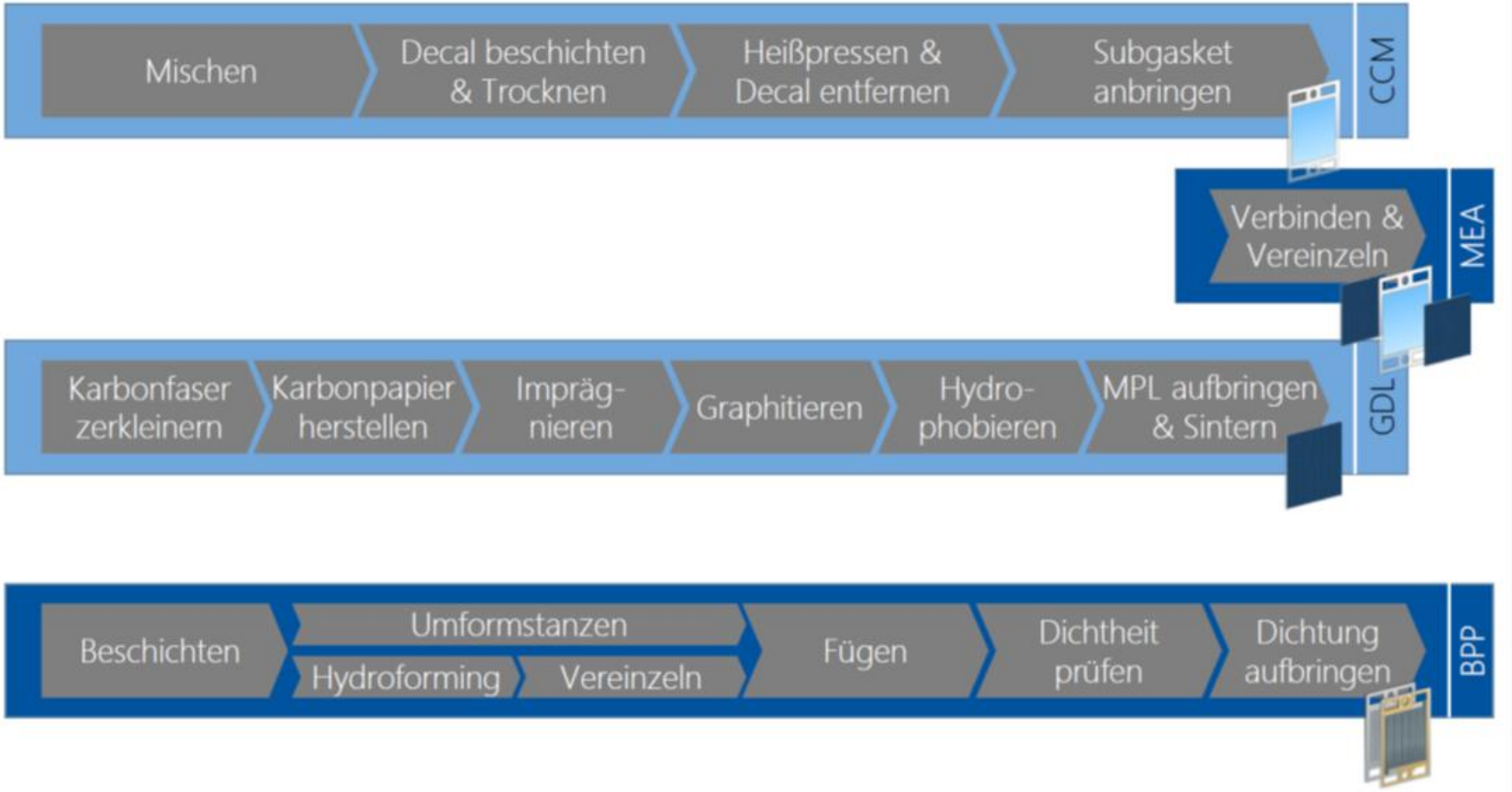


Produktion von Brennstoffzellen-Komponenten / Produktion von Brennstoffzellensystemen, RWTH Aachen, Oktober 2022, ISBN 978-3-947920-25-9, ISBN 978-3-947920-13-6

knowhow.hybat.de

PEM-Brennstoffzellen

Fertigungsschritte

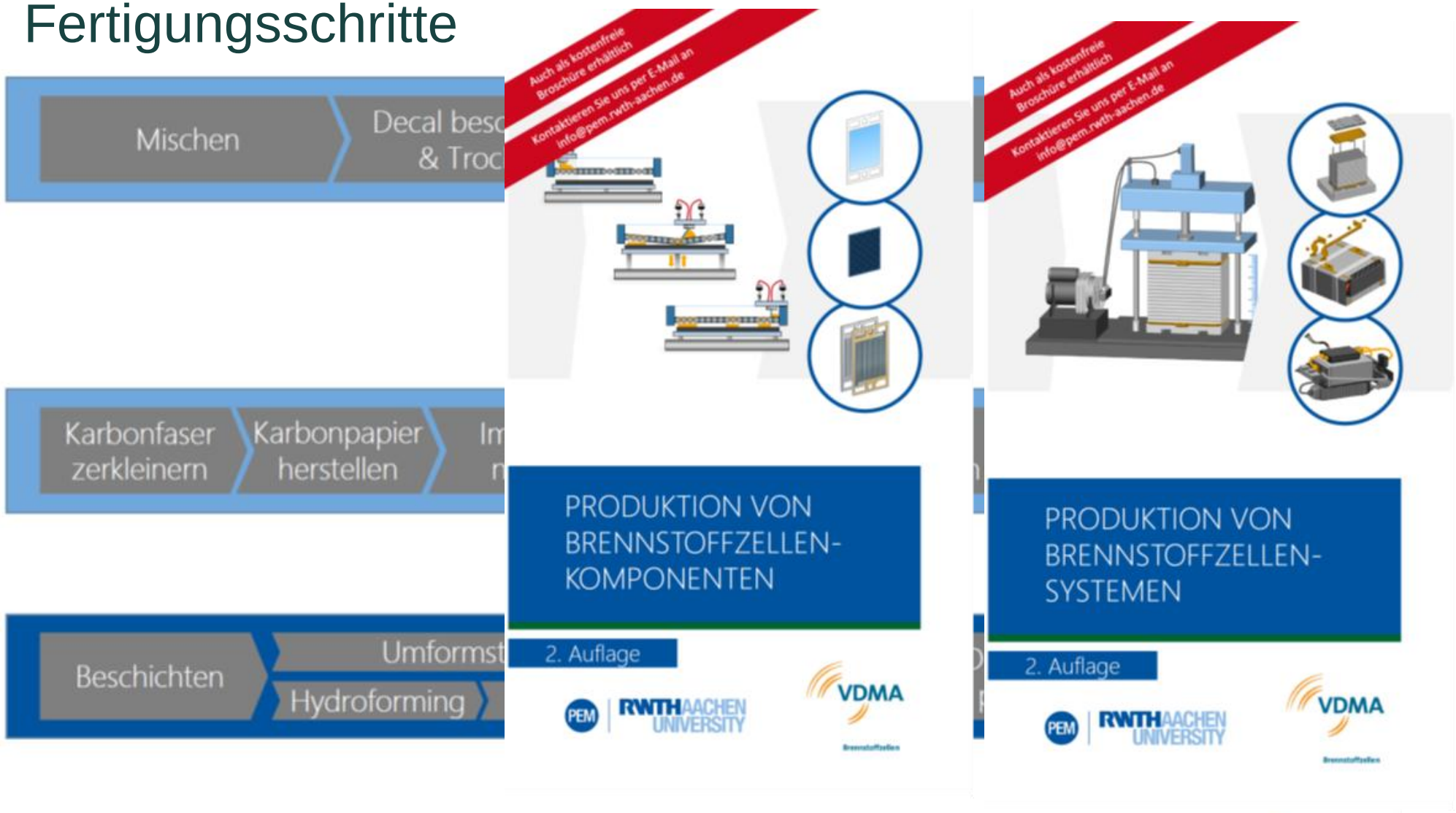


Produktion von Brennstoffzellen-Komponenten / Produktion von Brennstoffzellensystemen, RWTH Aachen, Oktober 2022, ISBN 978-3-947920-25-9, ISBN 978-3-947920-13-6

knowhow.hybat.de

PEM-Brennstoffzellen

Fertigungsschritte



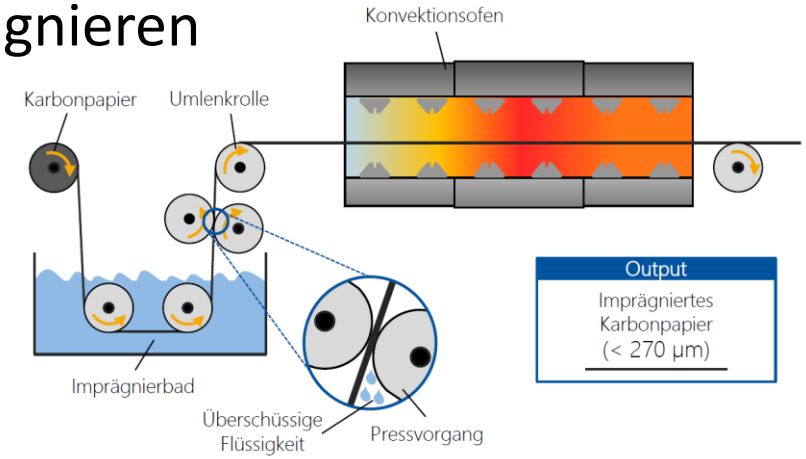
Produktion von Brennstoffzellen-Komponenten / Produktion von Brennstoffzellensystemen, RWTH Aachen, Oktober 2022, ISBN 978-3-947920-25-9, ISBN 978-3-947920-13-6

knowhow.hybat.de

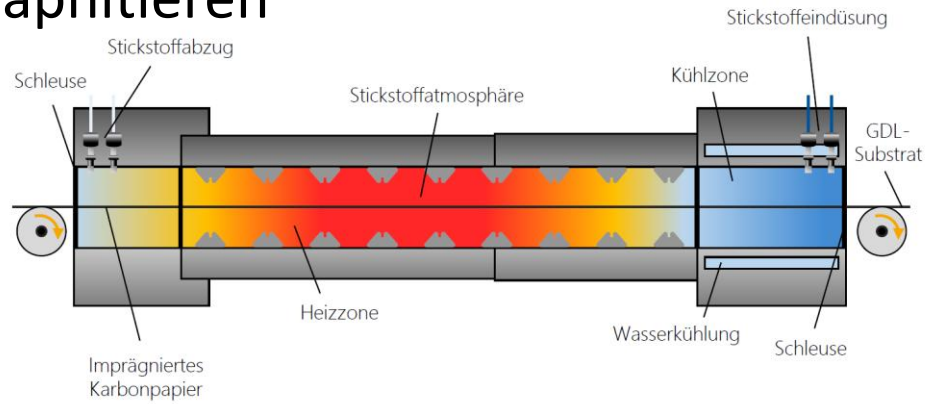
PEM-Brennstoffzellen

Fertigungsschritte - GDL

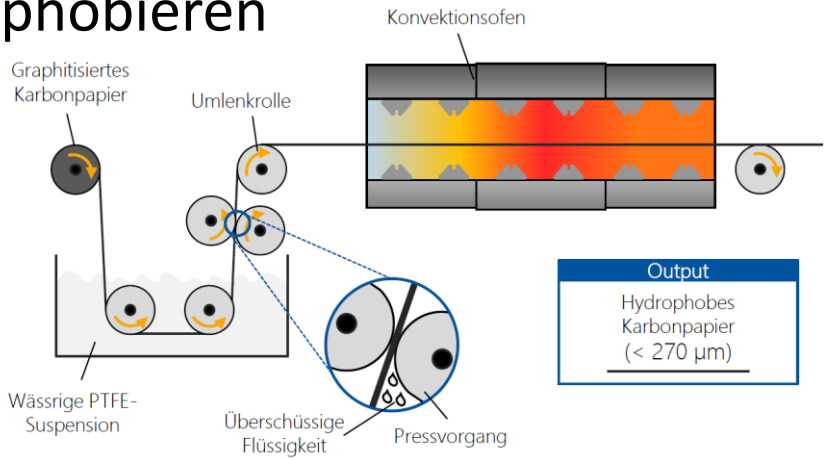
Imprägnieren



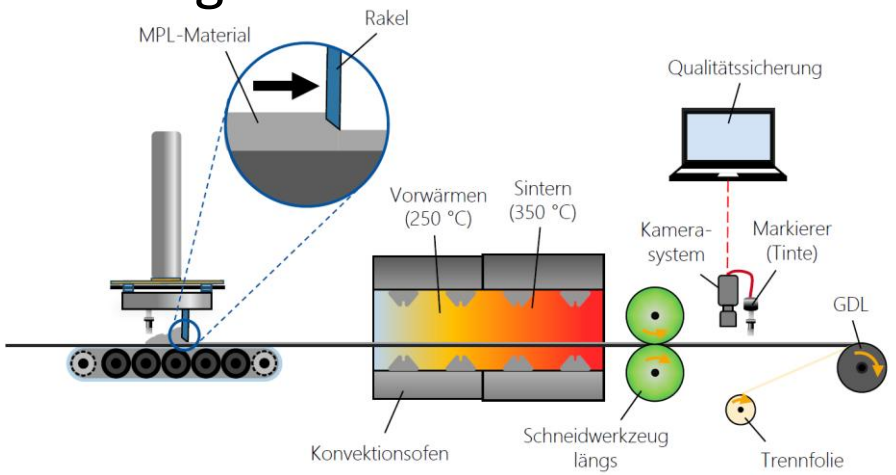
Graphitieren



Hydrophobieren



Aufbringen MPL

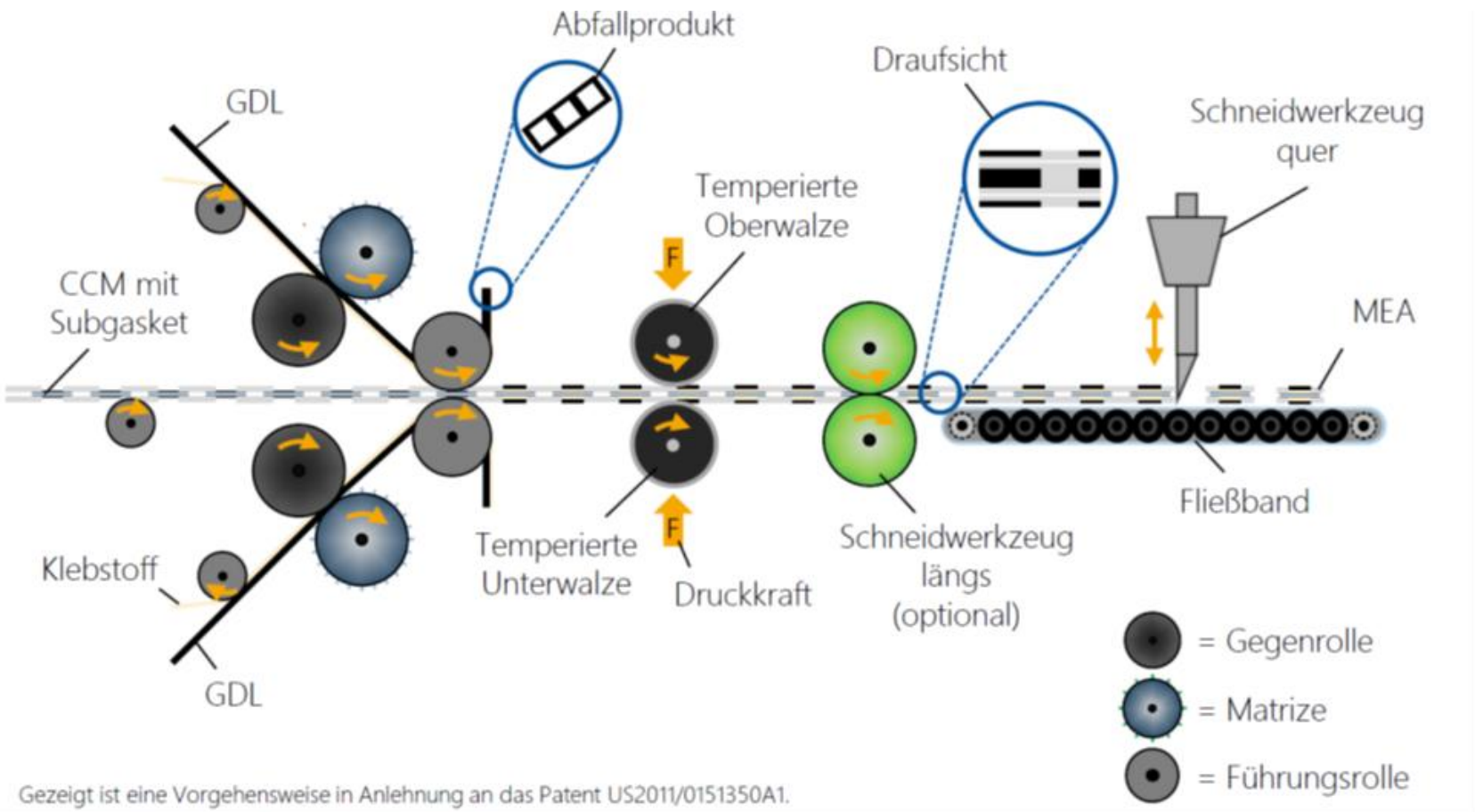


Produktion von Brennstoffzellen-Komponenten / Produktion von Brennstoffzellensystemen, RWTH Aachen, Oktober 2022, ISBN 978-3-947920-25-9, ISBN 978-3-947920-13-6

knowhow.hybat.de

PEM-Brennstoffzellen

Fertigungsschritte - MEA



Gezeigt ist eine Vorgehensweise in Anlehnung an das Patent US2011/0151350A1.

Produktion von Brennstoffzellen-Komponenten / Produktion von Brennstoffzellensystemen, RWTH Aachen, Oktober 2022, ISBN 978-3-947920-25-9, ISBN 978-3-947920-13-6

knowhow.hybat.de

PEM-Brennstoffzellen

Fertigungsschritte – Stack- und Systemintegration

Stackfertigung:



Systemfertigung:



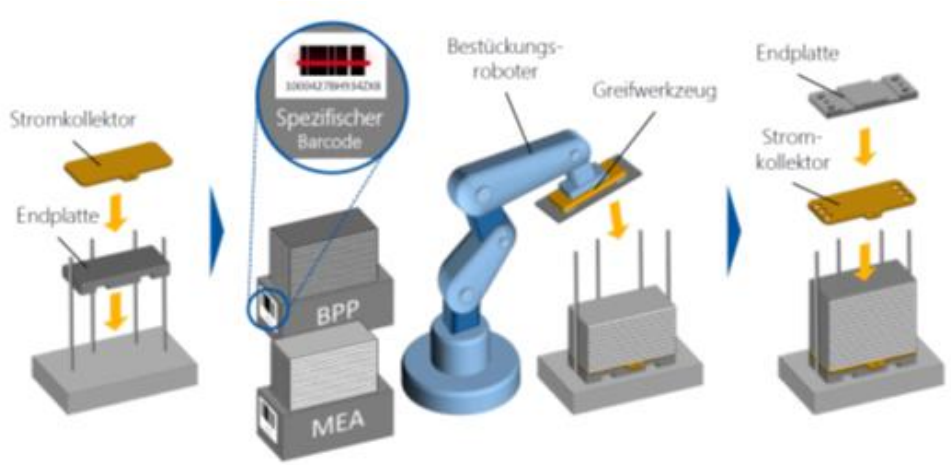
Produktion von Brennstoffzellen-Komponenten / Produktion von Brennstoffzellensystemen, RWTH Aachen, Oktober 2022, ISBN 978-3-947920-25-9, ISBN 978-3-947920-13-6

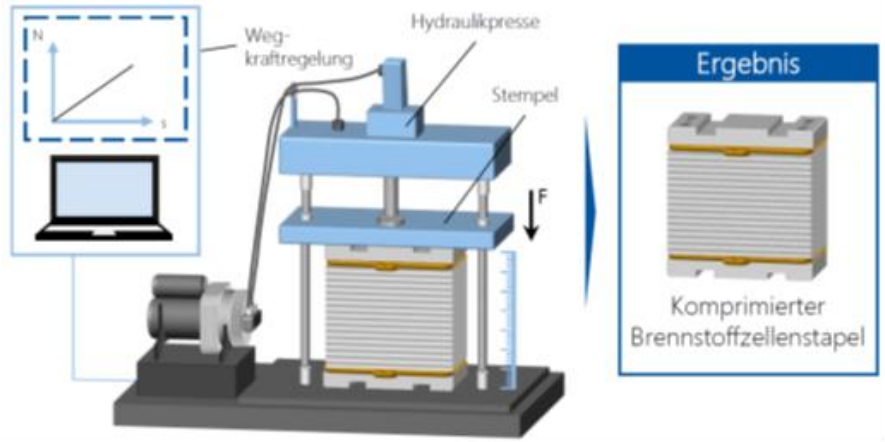
knowhow.hybat.de

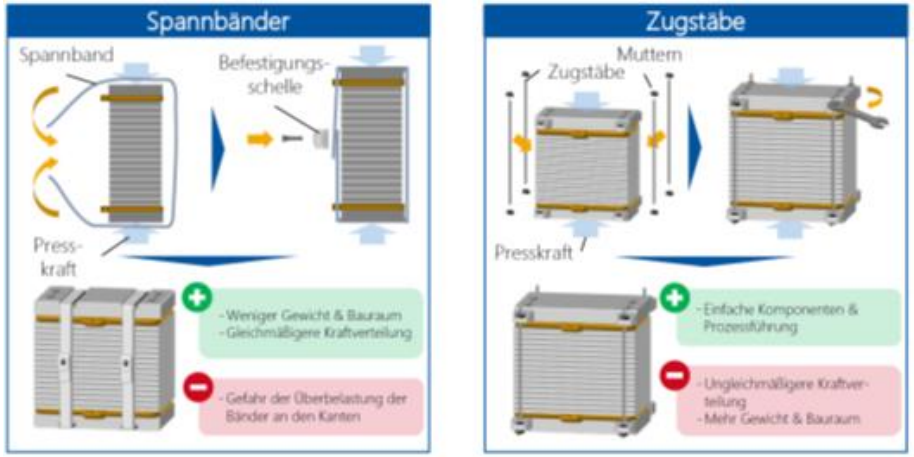
PEM-Brennstoffzellen

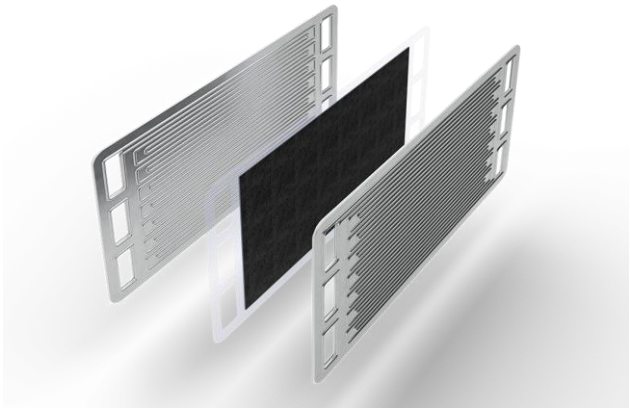
Fertigungsschritte – Stack- und Systemintegration

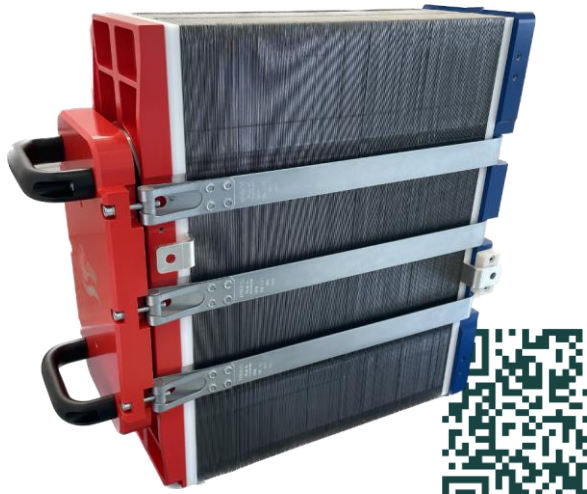
Kofinanziert von der Europäischen Union
Die Landesregierung Nordrhein-Westfalen











Produktion von Brennstoffzellen-Komponenten / Produktion von Brennstoffzellensystemen, RWTH Aachen, Oktober 2022, ISBN 978-3-947920-25-9, ISBN 978-3-947920-13-6

knowhow.hybat.de

PEM-Brennstoffzellen

Anwendungsmöglichkeiten

HYBAT
HYDROGEN BATTERY TRANSFORMATION HUB

Kofinanziert von der Europäischen Union
Die Landesregierung Nordrhein-Westfalen







Stationär

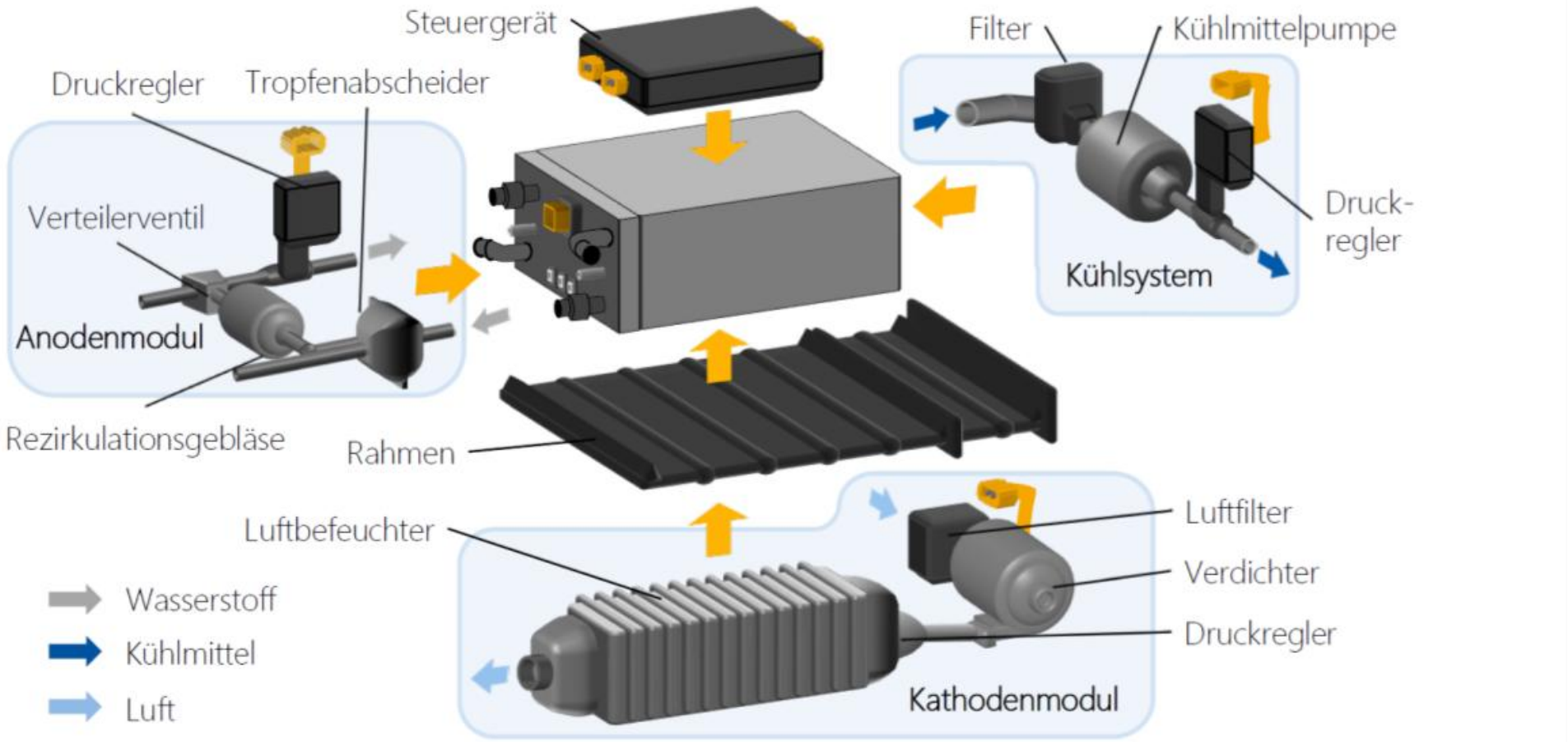


Mobilität



PEM-Brennstoffzellen

Systemaufbau



Produktion von Brennstoffzellen-Komponenten / Produktion von Brennstoffzellensystemen, RWTH Aachen, Oktober 2022, ISBN 978-3-947920-25-9, ISBN 978-3-947920-13-6

knowhow.hybat.de

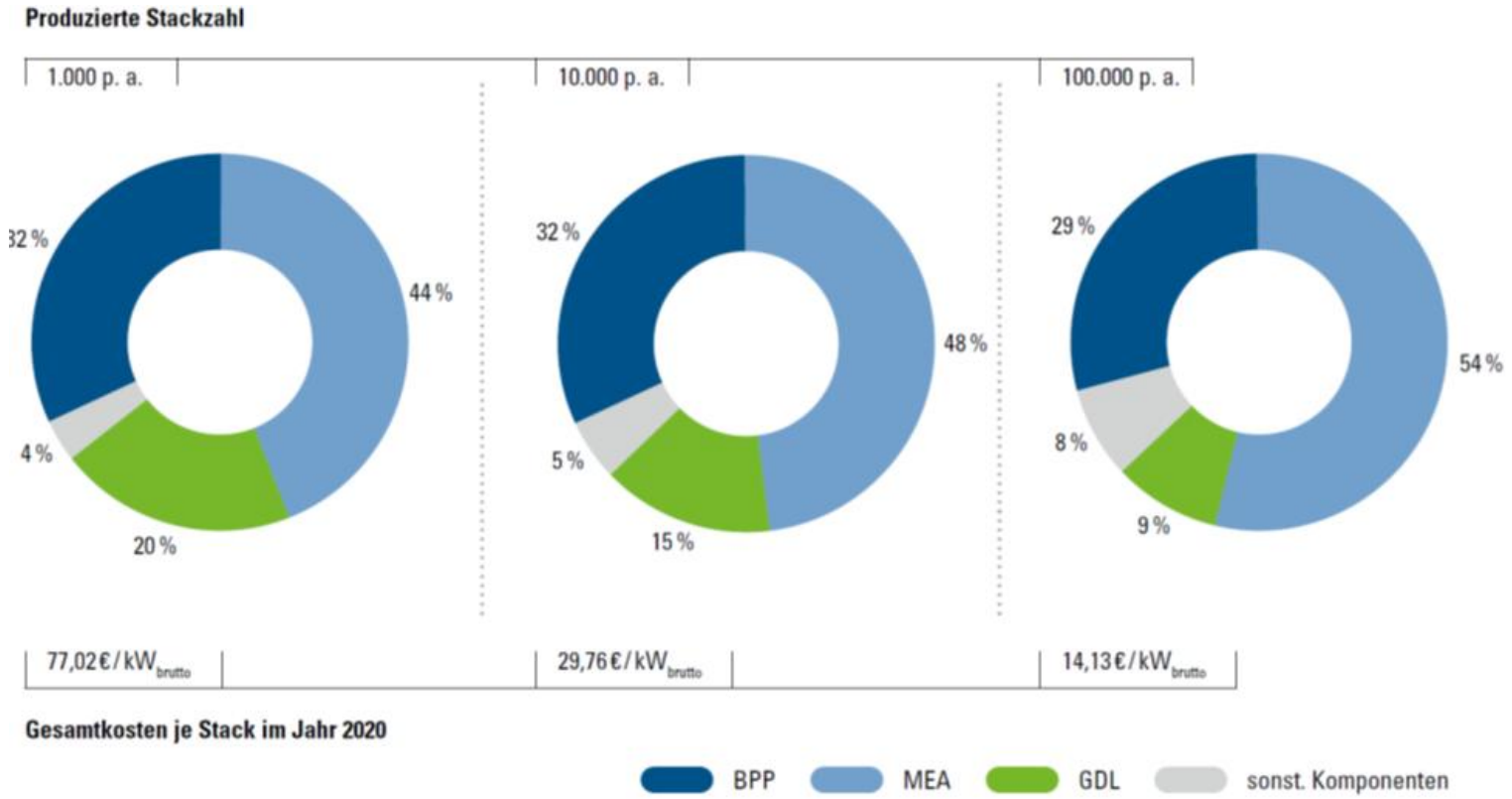
PEM-Brennstoffzellen

Übersicht Stackkosten – PKW-Anwendung

- Erhebliche Vergünstigung mit steigender Stückzahl zu erwarten

- Aufteilung auf unterschiedliche Komponenten: Kaum Veränderung mit steigender Stückzahl

  - ➢ Bei LKW- und stationärer Anwendung unterschiedlich



Wertschöpfungskette Brennstoffzelle - Metastudie, NOW GmbH, Februar 2022.

knowhow.hybat.de

Elektrolyseur und Brennstoffzelle

Zusammenfassung

- Umwandlung von elektrischer in chemisch gebundene Energie und zurück
- Verschiedene Technologien für unterschiedliche Einsatzgebiete
- Komponentenherstellung via spezialisierter Fertigungstechniken
- Kosten stark skalenabhängig
- Technologien bereits etabliert, dennoch Entwicklungs-bedarf vorhanden



Kofinanziert von der Europäischen Union
Die Landesregierung Nordrhein-Westfalen

knowhow.hybat.de

Kontakt



Dr. Florian J. Wirkert
Westfälisches Energieinstitut
Abteilung Wasserstoffenergiesysteme – Projektkoordination H2 Solution Lab

Fon: +49 (0)209/9596 - 893
Mail: florian.wirkert@w-hs.de

www.energie.w-hs.de

Vielen Dank für Ihre Zeit und Aufmerksamkeit!

knowhow.hybat.de