**Zeitschrift:** bulletin.ch / Electrosuisse
**Herausgeber:** Electrosuisse
**Band:** 97 (2006)
**Heft:** 22

**Artikel:** Elektrochemische Energiespeicherung
**Autor:** Moser, Peter / Moll, Wolfgang
**DOI:** https://doi.org/10.5169/seals-857747

**Nutzungsbedingungen**
Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Mehr erfahren

**Conditions d'utilisation**
L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. En savoir plus

**Terms of use**
The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. Find out more

**Download PDF:** 14.07.2025

**ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, https://www.e-periodica.ch**

# Elektrochemische Energiespeicherung

In diesem Beitrag werden die wichtigsten elektrochemischen Speichertechnologien anhand der grosstechnischen Anwendungen im Energiesektor vorgestellt. Gegenüber den Energiespeichern in unseren alltäglichen elektronischen Kleingeräten, die höchstens wenige Wattstunden speichern können, handelt es sich hier um wahre Speichergiganten (Bild 1).

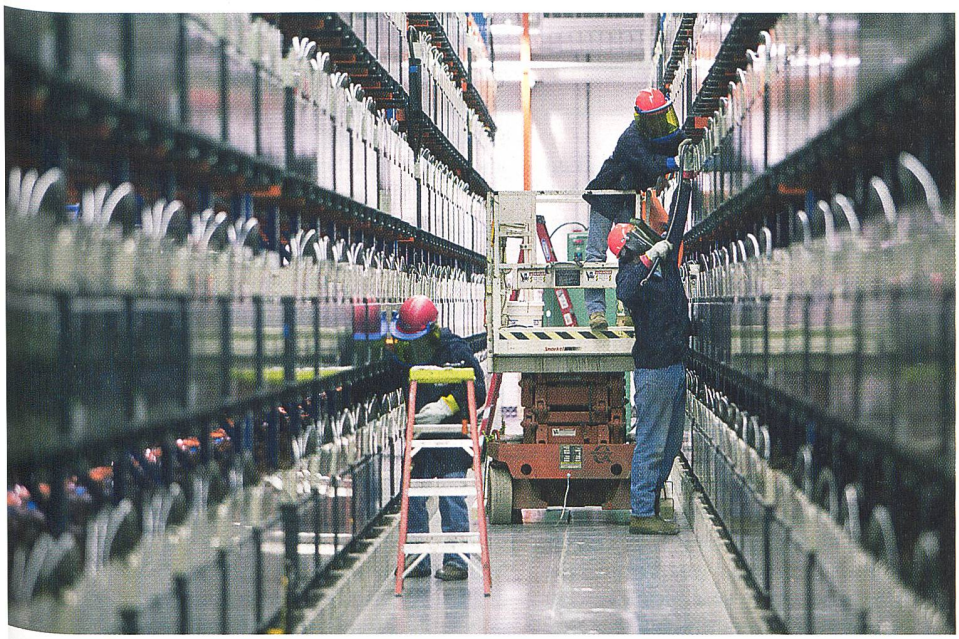


Bild 1 Weltgrösstes Batteriespeichersystem in Alaska. Das BESS (Battery Energy Storage System; 27–46 MW), entwickelt von ABB und Saft, ist grösser als ein Fussballfeld und besteht aus 13 760 Nickel-Kadmium-Energiezellen. Das System wurde im Auftrag der Golden Valley Electric Association (GVEA), einer Energiekooperative für die Gegend um Fairbanks, Alaska, gebaut und 2003 in Betrieb genommen. Das System liefert bei Stromausfällen bis zur Betriebsaufnahme der Reserveversorgung sofort und zuverlässig Strom und eliminiert damit den Bedarf an mitlaufender Reserve. Die Batteriezellen sind sicher, zuverlässig und am Ende einer zwanzigjährigen Betriebsdauer wiederverwendbar (Bild ABB).

■ Peter Moser und Wolfgang Moll

## Bedarf für Energiespeichertechniken

Ausfälle der Stromversorgung im Kleinen, z. B. durch Defekt der Autobatterie oder des Akkus von Handy und Digitalkamera, sind zumindest ärgerlich. Im Grossen können sie jedoch den Ablauf des öffentlichen Lebens weitestgehend lahmlegen und gefährden, gegebenenfalls sogar Menschenleben und ganze Produktionsstandorte. Energiespeichertechniken tragen bereits seit langem zu hoher Zuverlässigkeit und Qualität der Stromversorgung bei. Im einfachsten Fall überbrücken sie beim Abnehmer vor Ort den Zeitraum bis zum Anspringen einer Ersatzstromquelle oder puffern kurze Schwankungen ab. Sie sind aber weit mehr als nur Notstromaggregate, die für eine unterbrechungsfreie Stromversorgung sorgen. In der grosstechnischen Anwendung entnehmen zentrale Energiespeicher dem Versorgungsnetz nachts – wenn die Nachfrage gering ist – Elektrizität und geben die gespeicherte Energie am Tage – wenn ein hoher Strombedarf besteht – oder bei einem plötzlichen Kraftwerksausfall wieder in das Netzes ab.

Die Speicherung von elektrischer Energie dient also der zeitlichen und räumlichen Entkopplung von Stromerzeugung und -abnahme und ihrer Vergleichmässigung. Dadurch kann die Übertragungskapazität des Stromnetzes entlastet werden und darüber hinaus der Betrieb der Kraftwerke, die den Strom in das Netz einspeisen, optimiert werden.

Die mittlerweile sehr hohe installierte Leistung der Windkraftanlagen und ihre je nach Wetterlage bzw. Windgeschwindigkeit stark schwankende Stromeinspeisung ins Netz stellen hohe Herausforderung sowohl an das Versorgungsnetz selbst als auch an das Management von Stromerzeugung und -abnahme (so genanntes Lastmanagement). Deshalb wird zukünftig mit dem Zubau weiterer Windparks auch der Bedarf an Energiespeichertechniken und damit mehr Flexibilität im Lastmanagement deutlich zunehmen.

## Elektrochemische Energiespeicher und konkurrierende Techniken

Bild 2 zeigt die Klassifizierung der Energiespeichertechniken nach dem zugrunde liegenden chemisch-physikalischen Prinzip. Die hier interessierenden elektrochemischen Energiespeicher konkurrieren im Bereich der grosstechnischen Energieversorgung insbesondere mit den mechanischen Speichern. Die Bandbreite der Anwendungen ist gross und die geforderte Leistungsabgabe reicht über sechs Grössenordnungen von 1 kW (Notstromversorgung) bis mehr als 1 GW (Lastmanagement). Die nötigen Entladungszeiten erstrecken sich von wenigen Sekunden bis hin zu vielen Stunden. Wichtige Kennzahlen sind:

- die Leistungsgrösse,
- die Speicherkapazität,
- die Speicherdichte bzw. die Baugrösse des Speichers,
- der Wirkungsgrad als Verhältnis von entladener zu geladener Energie,
- die Lebensdauer bzw. die Anzahl der Lade-Entlade-Zyklen und
- die Kosten für Anschaffung und Wartung.

Tatsächlich sind für die Grossanwendung Pumpspeicherkraftwerke (weltweit liefern sie rund 90 GW elektrische Leistung, was etwa 90 der grössten Kraftwerksblöcke entspricht) bis heute die bevorzugte Energiespeichertechnik. In vielen Regionen ist das weitere Ausbaupotenzial für Pumpspeicherkraftwerke jedoch begrenzt. Wegen des grossen Platzbedarfs, der langen Bauzeiten und der nötigen Gefällestrecke besteht deshalb Bedarf an alternativen Speichertechniken.

Elektrochemische Energiespeicher zeichnen sich generell durch mittlere bis

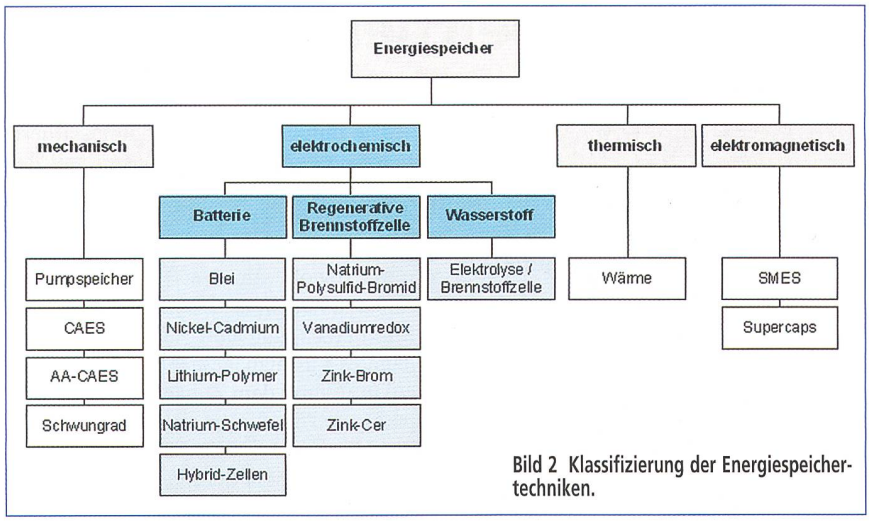



**Bild 2 Klassifizierung der Energiespeichertechniken.**

hohe Wirkungsgrade aus. Durch den möglichen modularen Aufbau lassen sich prinzipiell sehr grosse Leistungen und Speicherkapazitäten erzielen, wobei die beiden Zielgrössen durch entsprechende Anordnung der Module nahezu unabhängig voneinander variiert werden können. Ihre Anwendungen umfassen bisher vor allem die unterbrechungsfreie Stromversorgung und den Schutz vor Spannungsschwankungen, aber auch die Netzstabilisierungen von kleinen isolierten Versorgungsbereichen. Für die Umwandlung des in den Übertragungsnetzen üblichen Wechselstroms in den für die elektrochemische Speicherung generell nötigen Gleichstrom benötigt man neben dem eigentlichen Speicher immer auch eine Gleichrichter-/Wechselrichtertechnik.

Während sich bei den Batterien im eigentlichen Sinne (Primärelemente, «Trockenbatterie»), die nicht wieder aufgeladen werden können, eine oder beide Elektrodenreaktionen nicht mehr umkehren lassen bzw. eine «aktive Masse» verbraucht wird, laufen die Elektrodenreaktionen in einer wieder aufladbaren Batterie (Sekundärelement, Akkumulator) durch Anlegen einer äusseren Spannung passender Polarität, d. h. während des Ladevorgangs, wieder in umgekehrter Richtung, reversibel ab. Dieser Energiespeichertyp kann nach dem Aufladen also erneut Strom zur Verfügung stellen. Die wichtigsten Vertreter dieses Elementtyps mit praktischer Bedeutung sind der Bleiakkumulator, der Nickel-Cadmium-Akkumulator und die Lithium-Polymer-Batterie.

## Bleiakkumulator

Als Autobatterie ist der Bleiakkumulator der häufigste und zugleich einer der ältesten elektrochemischen Energiespeicher. Bei der Stromentnahme wird Bleidioxid zu Bleisulfat reduziert und metallisches Blei (in Form einer Gitterplatte) zu Bleisulfat oxidiert:

$$Pb + PbO_2 + 2\ H_2SO_4 \rightarrow 2\ PbSO_4 + 2\ H_2O \qquad E_0 = 2{,}06\ V$$

Von 1986 bis 1995 war in Berlin mit 17 MW Leistung und 14 MWh Speicherkapazität einer der grössten Batteriespeicher weltweit in Betrieb. Die hierbei parallel geschalteten 12 Batteriestränge bestanden jeweils aus 590 Zellen. Nach dem Anschluss des Berliner Versorgungsnetzes an das westeuropäische Stromverbundnetz wurde der Speicher jedoch nicht mehr benötigt, um das Netz zu stabilisieren. Ausserhalb von Europa sind derzeit drei riesige Bleibatteriespeicher aktiv, in Puerto Rico 20 MW/14 MWh, in Hawaii 10 MW/15 MWh und in Kalifornien 10 MW/40 MWh. Ein Problem des Bleiakkumulators ist die beim Ladevorgang auftretende Wasserstoffentwicklung durch Wasserelektrolyse, die eine Entlüftung und ein Wassernachfüllsystem notwendig machen. Durch Verwendung von Ventilen oder durch Gelieren der Säure kann der Akkumulator auslaufsicher und wartungsfreundlicher gestaltet werden. Durch irreversible Reaktionen treten Alterungserscheinungen auf, die die Lebensdauer begrenzen.

## Nickel-Cadmium-Akkumulator

Das «Battery Energy Storage System» in Fairbanks, Alaska (Bild 1), kann rekordverdächtige 40 MW Leistung abgeben (sogar 46 MW für fünf Minuten) und besteht aus insgesamt 13 760 modularen Zellen. Der Nickel-Cadmium-Akkumulator besteht aus einer Nickelhydroxid-Elektrode, einer Cadmiumhydroxid-Elektrode und einem porösen mit KOH-Lösung getränktem Kunststoffvlies zwischen den Elektroden.

$$2\ NiO(OH) + Cd + 2\ H_2O \rightarrow 2\ Ni(OH)_2 + Cd(OH)_2 \qquad E_0 = 1{,}5\ V$$

Dieser Batterietyp kann auch geschlossen, d. h. nach aussen hin gasdicht verwirklicht werden. Zwar sind Nickel-Cadmium-Akkumulatoren weniger wartungsaufwändig als Bleiakkumulatoren und weisen eine längere Lebensdauer auf. Sie sind aber auch teurer als diese. Um den Einsatz von Cadmium zu vermeiden, wird für Kleinanwendungen im Nickel-Hydrid-Akku die Cadmium-Elektrode durch eine Elektrode aus Titan-Nickel-Legierung ersetzt. Diese Legierung kann grosse Mengen an Wasserstoff, der beim Ladevorgang entsteht, als Hydrid speichern.

## Lithium-Polymerbatterie

Während die beiden vorgenannten Batterietypen zur Stabilisierung lokaler Netze Anwendung finden, kommt die Lithium-Polymerbatterie auf Grund ihrer (noch) zu hohen Kosten bisher nur als unterbrechungsfreie Notstromversorgung, mit Leistungen im Bereich einiger kW, in Frage. Auf Grund ihrer hohen Speicherdichte, Wartungsfreiheit und niedrigen Selbstentladung hat sie aber ihren Siegeszug bei portablen Anwendungen mit höherem Stromverbrauch, wie Handy, CD-Spieler, Camcorder und Digitalkamera, längst angetreten. Die Anode besteht hier aus einer Einlagerungsverbindung (Intercalationsverbindung) in der Lithiumionen in die Zwischenschichten der Graphitstruktur eingelagert sind. Beim Entladen wandern die Lithiumionen durch einen festen Polymerelektrolyten (Polyacrylnitril) zur Kathode, wo wiederum eine Einlagerung in die Struktur eines Übergangsmetalloxids (Bildung von $Li_xCoO_2$ oder $Li_xNiO_2$) stattfindet.

$$Li_xC_6 + Li_{1-y}CO_2 \rightarrow Li_{x-y}C_6 + LiCO_2 \qquad E_0 = 4{,}23\ V$$

## Natrium-Schwefel-Batterie

Einen Festelektrolyten, sogenanntes b-Aluminiumoxid, das Na+-Ionen leitet, nutzt auch die Natrium-Schwefel-Batterie. Er trennt die Kathode aus geschmolzenem Natrium und die Anode aus geschmolzenem Schwefel.

$$2\ Na + 3\ S \rightarrow Na_2S_3 \qquad E_0 = 2{,}1\ V$$

Die Zelle wird zum Betrieb auf 350 °C aufgeheizt. In Japan wurde eine Grossanlage mit 9,6 MW/57,6 MWh und eine

**Adresse der Autoren**
Dr. *Peter Moser*
RWE Power Aktiengesellschaft
Neue Technologien / PKR-NN
Huyssenallee 2
D-45128 Essen
E-Mail: peter.moser@rwe.com

Dr. *Wolfgang Moll*
RWE Power Aktiengesellschaft
Projektentwicklung / PKD-PE
D-Huyssenallee 2
45128 Essen
E-Mail: wolfgang.moll@rwe.com

**Quelle**
Dr. *Renate Hoer*
Aktuelle-Wochenschau
Gesellschaft Deutscher Chemiker e.V.
Varrentrappstr. 40-42
D-60486 Frankfurt/Main

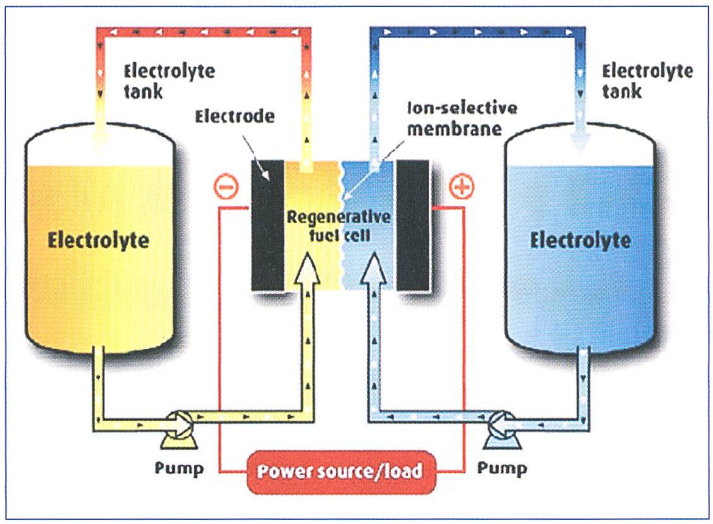



Bild 3 Prinzipschema regenerative Brennstoffzell

weitere 6-MW-Anlage aus 120 000 Zellen in Betrieb genommen. Damit schickt sich die Natrium-Schwefel-Batterie an, der etablierten Bleibatterie Konkurrenz zu machen, wenn die Produktionskosten mit wachsender Produktionszahl weiter sinken.

## Regenerative Brennstoffzellen

Weniger bekannt sind die so genannten regenerativen Brennstoffzellen (Bild 3, auch Flow Battery oder Redox-Batterie genannt). Den Elektroden wird hier während der Entladung kontinuierlich der umzusetzende gelöste Stoff (Elektrolyt) aus grossen Vorratstanks zugeführt und das entstehende Produkt ebenfalls in einen Vorratsbehälter abgeführt. Zum Laden wird die Pumprichtung des Elektrolyten einfach umgedreht. Die beiden Elektrodenräume werden wie bei der Polymerelektrolytmembran-Brennstoffzelle durch eine Membran, die für H+- bzw. Na+-Ionen durchlässig ist, voneinander getrennt. Da die Speicherkapazität im Wesentlichen von der Tankgrösse für die Elektrolytlösung bestimmt wird und der Wirkungsgrad bei bis zu 65% liegt, ist dieser Speichertyp ebenfalls interessant für die Grossanwendung, auch wenn hierfür noch erhebliche Fortschritte in der Technik erreicht werden müssen. Vier unterschiedliche Typen haben bisher einen mehr oder weniger vorkommerziellen Stand erreicht (Tabelle I).

Während die drei in der Tabelle unten stehenden Batterietypen für Anwendungen bis 1 MW/5 MWh realisiert wurden, zielte die Entwicklung der Natrium-Polysulfid-Bromid-Batterie (auch als «Regenesys» bekannt) auf eine deutlich grössere Leistungsklasse. Zwei weit fortgeschrittene Projekte für 15 MW/120-MWh-Speicher, die jeweils über zwei Speichertanks mit einem Fassungsvermögen von je 1800 m³ verfügen sollten, wurden allerdings nach dem Verkauf der Rechte an einen Wettbewerber gestoppt.

## Weitere Speichertypen und Ausblick

Über die hier vorgestellten elektrochemischen Energiespeichersysteme hinaus, gibt es weitere Batterietypen bzw. neue Ansätze, an denen geforscht wird, wie die Metall-Luft-Batterie, die zu den Hybridzellen gezählt wird, oder die Wasserstofftechnik. Die Kette Wasserstoffelektrolyse – Speicherung des gebildeten Wasserstoffs – Stromerzeugung durch Umsetzung des Wasserstoffs in Brennstoffzellen, Gasturbinen oder Motoren ist prinzipiell für die Energiespeicherung geeignet. Bisher ist allerdings der Gesamtwirkungsgrad der Kette auf Grund der vielen Umwandlungsschritte viel zu niedrig und die Speicherung des Wasserstoffs in grossen Mengen stellt bis heute ein für die Anwendung stark einschränkendes Problem dar.

Ob sich die elektrochemische Energiespeicherung für Grossanwendungen zukünftig in bestimmten Bereichen gegen ihre bisher insbesondere kostenmässig überlegenen Konkurrenten aus der Gruppe der mechanischen Speicher durchsetzen wird, bleibt ein spannender technischer Wettlauf.

| Typ | Reaktion | Zellspng. $E_0$ (V) |
|---|---|---|
| Natrium-Polysulfid-Bromid | $NaBr_3 + 2\ Na_2S_2 \rightarrow 3\ NaBr + Na_2S_4$ in wässr. Lösung | 1,54 |
| Vanadiumredox | V(V)/V(II) → V(IV)/V(III) in verd. Schwefelsäure | 1,25 |
| Zink-Brom | $ZnBr_2 \rightarrow Zn + Br_2$ wässr. Lösung mit quaternärem Ammoniumsalz | 1,83 |
| Zink-Cer | Ce(IV)/Zn(II) → Ce(III)/Zn(0) in Methansulfonsäure | 2,43 |

Tabelle I Vier regenerative Brennstoffzellentypen.

## Accumulation électrochimique d'énergie électrique

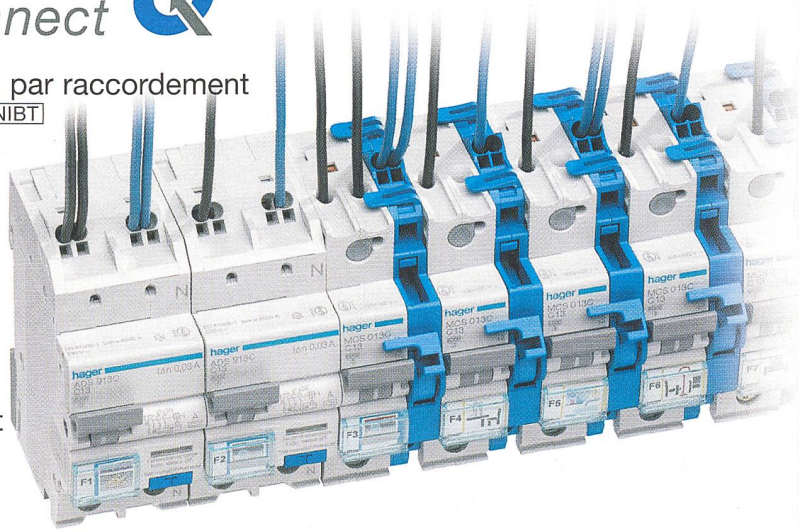
Cet article illustre les technologies d'accumulation électrochimiques les plus importantes à l'aide des applications de technologie lourde dans le secteur de l'énergie. Il s'agit ici de véritables géants de l'accumulation en comparaison des accumulateurs d'énergie que l'on trouve dans nos petits appareils électriques de tous les jours.

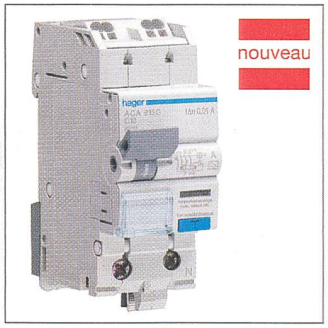
Bornes sans vis dès à présent... ...sur les disjoncteurs différentiels

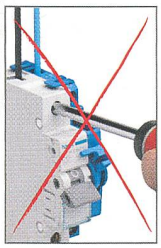
**Bornes sans vis**

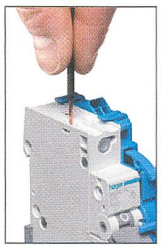
**QuickConnect**

+ 2 conducteurs par raccordement
  Avantages pour la NIBT 2005 (5.3.9.7.1.3)
+ Enfichage rapide
+ Resserrage inutile
+ Connexion garantie
+ Raccordement confortable
+ $







hager

Hager Tehalit SA
Chemin du Petit-Flon 31
1052 Le Mont-sur-Lausanne
Tél. 021 644 37 00
Fax 021 644 37 05

Hager Tehalit AG
Ey 25
3063 Ittigen-Bern
Tel. 031 925 30 00
Fax 031 925 30 05

Hager Tehalit AG
Glattalstrasse 521
8153 Rümlang
Tel. 044 817 71 71
Fax 044 817 71 75

Innovations pour les professionnels

www.hager-tehalit.ch
infoch@hager.com

L'énergie d'en faire toujours plus.
Energie, aus allem mehr zu machen.

groupe e EEF.ENSA