tec news

HARTING Technologiemagazin



AUS FÜRS OFF:

DIE ELEKTRISCHE ZUKUNFT IST ALWAYS ON

Verfügbarkeit wird zur Währung der elektrischen Zukunft: was bedeutet das für Systeme, Speicher und Steuerung?

SMART ALWAYS ON? NICHT UM JEDEN PREIS

Dr. Hans Krattenmacher, SEW-EURODRIVE

„NO TRANSITION WITHOUT TRANSMISSION“

Pascal Daleiden, Hitachi Energy

„WIR SPAREN GELD DURCH ELEKTRIFIZIEREN“

Dr. Tim Meyer, E3Punkt



editorial

ELEKTRIFIZIERUNG – UND JETZT?

Liebe Leserinnen und Leser,

Elektrifizierung ist längst Realität: in Industrie, Mobilität, Energie und Infrastruktur. Die entscheidende Frage lautet daher **nicht mehr warum, sondern wie** wir Elektrifizierung weiterdenken und was sie technisch und strukturell nach sich zieht.

Elektrische Systeme sind heute stets verfügbar. **„Schalter aus, Strom weg" ist ein Modell von gestern.** Moderne Assets müssen über ihren gesamten Lebenszyklus ansprechbar bleiben – für Monitoring, Updates und Optimierung. Grundlage dafür ist ihr digitales Abbild: der Digital Twin. Ohne elektrische Energie kein Digital Twin.

Elektrische Energie muss **erzeugt, verteilt, gespeichert und intelligent gemanagt** werden – sektorenübergreifend und verlässlich – in heterogenen Systemlandschaften. Unterschiedlichste Assets, ihre digitalen Abbilder und übergeordnete IT-Infrastrukturen kommunizieren permanent. Die dadurch entstehende **Heterogenität ist die eigentliche Herausforderung.**

Elektrifizierung findet dabei fast nie auf der grünen Wiese statt. Sie ist ein 100 Jahre gewachsenes Brownfield-Thema: Sie baut auf bestehenden Netzen, Anlagen und Infrastrukturen. **Automatisierung und Digitalisierung in Verbindung mit künstlicher Intelligenz machen diese Komplexität beherrschbar.**

Elektrische Systeme in allen Sektoren sind der Fokus dieser Ausgabe. Auf Energiebedarf, Lade- und Versorgungsmodelle, Connectivity und die Frage, wie Elektrifizierung sektorenübergreifend funktioniert. Von industriellen Anlagen bis zur Robotik von morgen.

Viel Freude beim Lesen wünscht Ihnen



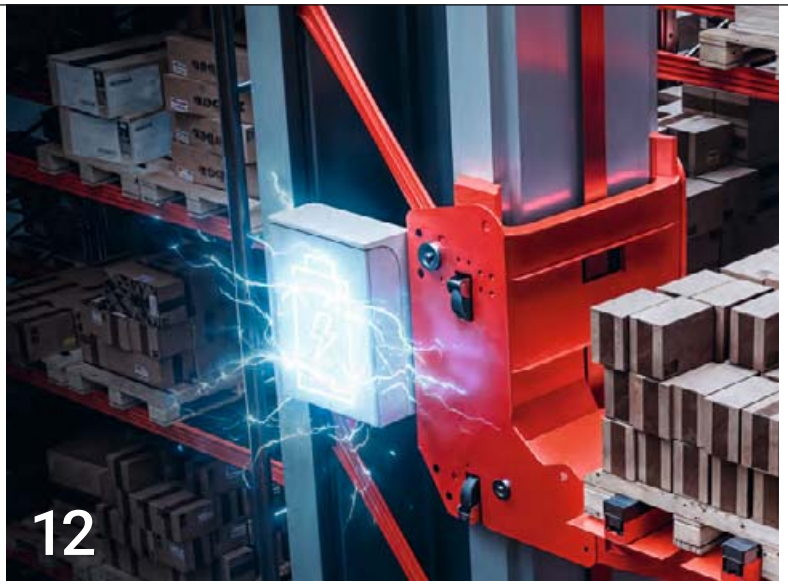
Christian Gysin
Chief Technology Officer,
HARTING Technologiegruppe

tec news
Das Technologiemagazin von
HARTING
Pushing Performance
Since 1945



Elektrifizierungweitergedacht

Intelligenz im Energie-Fluss



Smart Always on? Nicht um jeden Preis

Im Interview: Dr. Hans Krattenmacher, Managing Director Corporate Innovation Mechatronics bei SEW-EURODRIVE

Ausgabe 51 I Titelthema:

AUS FÜRS OFF: DIE ELEKTRISCHE ZUKUNFT IST ALWAYS ON

future technologies

Volle Ladung Zukunft 6

Die globale Elektrifizierung in Zahlen

Smart Always on? Nicht um jeden Preis 12

Im Interview: Dr. Hans Krattenmacher, Managing Director Corporate Innovation Mechatronics bei SEW-EURODRIVE

Energie in beide Richtungen 20

Strom erzeugen und speichern mit Reverions reversibler Brennstoffzelle

„No transition without transmission“ 22

Pascal Daleiden, Vorstandsvorsitzender von Hitachi Energy für Deutschland, Österreich, Slowenien und Schweiz im Interview

Digitaler Zwilling: Basis für durchgängige Wertschöpfung 28

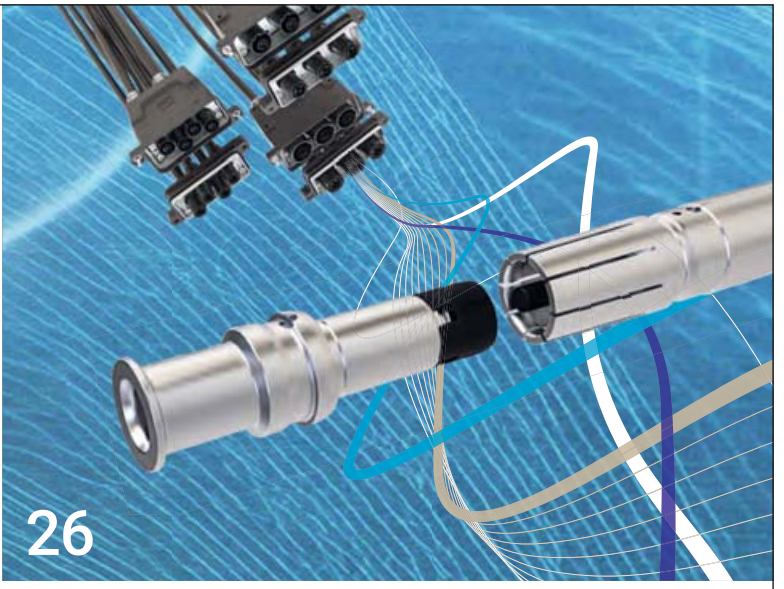
Enabler für automatisiertes Engineering und datengetriebene KI-Prozesse

Vom elektrischen Antrieb zum intelligenten Energiesystem 32

Batteriezüge und Digitalisierung transformieren den Schienenverkehr. Wie Stadler Elektrifizierung neu denkt.







„No transition without transmission“

Pascal Daleiden, Vorstandsvorsitzender von Hitachi Energy für Deutschland, Österreich, Slowenien und Schweiz im Interview

Double Contact Technology macht Hochstromsteckverbinder leistungsfähiger

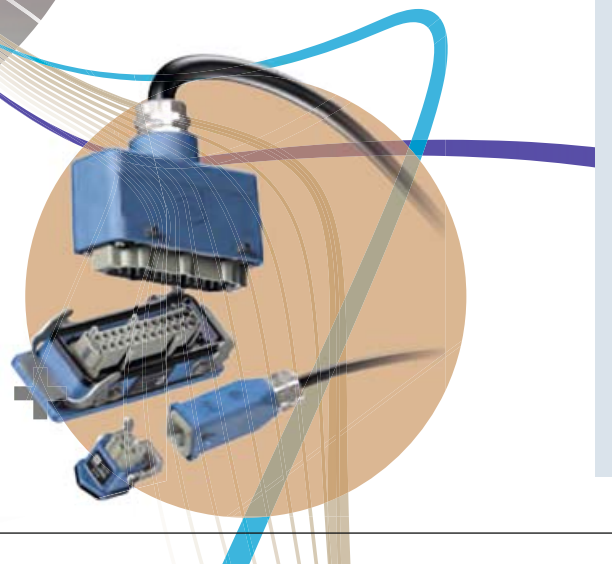
Elektrifizierung treibt die Leistungsanforderungen in Industrie und Mobilität stetig voran

Eine lohnende Verbindung: die tec.news-Welt im Web

Tiefer in Themen einsteigen, mit Artikeln, Multimedia-Inhalten und vielen Inspirationen: Besuchen Sie uns auch online!

HARTING.com/tecnews





strategy

Elektrifizierung weitergedacht 8

Intelligenz im Energie-Fluss

Mehr als Technik 16

Elektrifizierung im Kontext vernetzter Energiesysteme

future trends

Elektrifizierung wird zur Systemaufgabe 18

Wie Energieerzeugung, Digitalisierung und Systemintegration zusammenwachsen

„Wir sparen Geld durch Elektrifizieren“ 34

Dr. Tim Meyer im Interview

Intelligenz für die Steckdose 36

Warum Elektromobilität erst durch Daten, Kommunikation und Flexibilität ihr volles Potenzial entfaltet

customer benefits

Double Contact Technology macht Hochstromsteckverbinder leistungsfähiger 26

Elektrifizierung treibt die Leistungsanforderungen in Industrie und Mobilität stetig voran

Mehr Leistung auf gleichem Raum 30

Die neue Han® Baugröße 4 begegnet dem wachsenden Steckverbinderbedarf der Elektrifizierung

Konfiguratoren: Für jede Anwendung der richtige Steckverbinder 38

Die digitalen Werkzeuge von HARTING führen schnell und fehlerfrei zur passenden Lösung

Han-Modular® 400A Modul 39

Hochstrom und Datentransfer in einer Schnittstelle

VOLLE LADUNG ZUKUNFT:

DIE GLOBALE ELEKTRIFI-ZIERUNG IN ZAHLEN

Die Elektrifizierung hat einen historischen Wendepunkt erreicht. Während die weltweite Stromnachfrage, angetrieben durch KI, E-Mobilität und wachsende Schwellenländer, rasant steigt, überholen erneuerbare Energien bereits die fossile Stromerzeugung auf Basis von Kohle.

Doch grüne Energie allein reicht nicht: Um den Energiezuwachs von Wind und Solar sicher in die Netze zu integrieren, müssen die Speicherkapazitäten massiv ausgebaut werden.

Wir zeigen wichtige Fakten der globalen Elektrifizierung, aufgeteilt in die drei Dimensionen: Erzeugen, Speichern und Verbrauchen.

Quellen und Datenbasis:
International Energy Agency (IEA), weforum.org

ERZEUGEN

Historischer Wendepunkt im Strommix: Das enorme Wachstum der Erneuerbaren überholt fossile Brennstoffe und drängt die globale Kohleverstromung erstmals seit Jahren systematisch zurück.

10,808 TWh **10,858 TWh**

Erneuerbare ziehen gleich: Im Jahr 2025 lag die weltweite Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien erstmals praktisch gleichauf mit der Kohleverstromung.

+29 %

Solar bricht alle Rekorde: Photovoltaik verzeichnete im Jahr 2025 mit einem Plus von 600 TWh den größten jemals gemessenen Anstieg in der Stromerzeugung (davon allein 55 % in China).

-0,5 %

Kohle auf dem Rückzug: Die weltweite Kohleverstromung sank im Jahr 2025 um 0,5 %. Zum ersten Mal seit 50 Jahren verzeichnen die dominanten Kohle-Nationen China und Indien gleichzeitige Rückgänge.

30 %

Europa als Vorreiter: In der EU erreichten Photovoltaik und Windkraft im Jahr 2025 einen Anteil von 30 % und übertrafen damit erstmals die fossilen Brennstoffe.

SPEICHERN

Batterien sind das Nadelöhr der Energieversorgung: Ohne eine Versechsfachung der weltweiten Speicherkapazitäten bis 2030 lässt sich der Boom der Erneuerbaren nicht in die Netze integrieren.

6 × 1.500 Gigawatt

3 ×

Gigantischer Ausbaubedarf: Um das Pariser Klimaziel (1,5 °C) zu halten und die erneuerbaren Energien zu verdreifachen, muss die weltweite Energiespeicherkapazität bis 2030 auf 1.500 Gigawatt (GW) versechsfacht werden.

> 90 % Batteriekapazitäten = 2023 ca. 750 GWh

E-Autos als mobile Pufferspeicher: Über 90 % der global produzierten Batteriekapazitäten waren 2023 für Fahrzeuge (ca. 750 GWh). 2030 könnte es genügen, nur 5 % der weltweiten E-Auto-Batterien für das intelligente Be- und Entladen (Vehicle-to-Grid) zu nutzen, um 600 GW flexible Leistung bereitzustellen.

Technisches Tempo: Rein baulich können Batteriespeicher an fast allen Standorten in nur wenigen Monaten errichtet werden. Um dieses immense Tempo auf die Straße zu bringen, müssten jedoch Genehmigungsprozesse und Netzanschlüsse beschleunigt werden.

VERBRAUCHEN

Die Welt ist im Zeitalter der Elektrizität angekommen: Die Stromnachfrage wächst mehr als doppelt so schnell wie der allgemeine Energiebedarf. Angetrieben von E-Mobilität, KI und dem enormen Hunger der Schwellenländer.

+38 %

+17 %

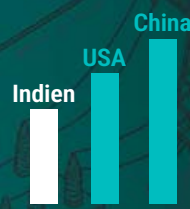
USA: 50 %

Wachstumstreiber Rechenzentren: Elektroautos (+38 %) und Rechenzentren (+17 %) verzeichnen das rasanteste Wachstum. In den USA ist der Bereich KI/Data Center bereits für 50 % des gesamten Strom-Nachfragewachstums verantwortlich.

-20 % CO_2 1.000 TWh 2 ×

Das KI-Paradoxon: Künstliche Intelligenz hilft, die Emissionen um bis zu 20 % zu senken, ist aber selbst ein Mega-Verbraucher. Bis 2026 könnte sich der Stromverbrauch von Rechenzentren und Kryptowährungen auf über 1.000 TWh verdoppeln.

Schwellen- und Entwicklungsländer +70 %



Verschiebung nach Osten: Bis zum Jahr 2050 werden 70 % des zusätzlichen Strombedarfs in Schwellen- und Entwicklungsländern entstehen. Allein Indien steigt bis dahin zum drittgrößten Stromverbraucher der Welt auf.

ELEKTRIFIZIERUNG WEITERGEDACHT: INTELLIGENZ IM ENERGIE-FLUSS



Als Werner von Siemens am 17. Januar 1867 vor der Berliner Akademie der Wissenschaften den elektrischen Generator präsentierte, schloss er mit den Worten: „Der Technik sind gegenwärtig die Mittel gegeben, elektrische Ströme von unbegrenzter Stärke auf billige und bequeme Weise überall da zu erzeugen, wo Arbeitskraft disponibel ist.“ Bis dahin war Elektrizität primär ein Medium der Information gewesen: Schwache Ströme aus Batterien reichten für telegrafische Signale. Siemens’ Erfindung machte es möglich, Starkstrom in gewaltigen Mengen zu erzeugen.

Aus dem reinen Mittel zur Signalübertragung wurde eine universelle Energieform. Es war der Startschuss der physischen Elektrifizierung und der Beginn einer jahrhundertelangen Trennung: Nachrichtentechnik (Data) auf der einen, Energietechnik (Power) auf der anderen Seite.

** Werner von Siemens: Über die Umwandlung von Arbeitskraft in elektrischen Strom ohne Anwendung permanenter Magnete.* 1867; S. 58.

Online ansehen:



Heute, über 150 Jahre später, ist die Elektrifizierung eine technische Selbstverständlichkeit; elektrische Energie ist allgegenwärtig, wird erzeugt und verbraucht, was in der Waage zu halten ist. Genau an diesem Punkt taucht die nächste Herausforderung auf, denn die elektrische Welt, in der einer erzeugt und viele verbrauchen, gibt es schon länger nicht mehr.

Wie managen wir diese gewaltige, dezentrale Kraft? Wenn Millionen von Maschinen und Energienetzen permanent interagieren, reicht die rein physische Versorgung nicht mehr aus. Der Energie-Fluss muss intelligent werden. Hier endet die historische Trennung: Nachrichtentechnik und Energietechnik konvergieren. Power und Data werden untrennbar.

System statt Sektor: Energie braucht Verbindung

Dieses Zusammenwachsen von Energie und Daten bildet das Fundament der All Electric Society. Und die ist längst keine Zukunftsmusik mehr: Ob im elektrifizierten Bahnsektor, im Maschinenbau oder auf Schiffen mit containergroßen Batteriespeichern – die Transformation läuft.

Ihre eigentliche Wirkung entfaltet die Elektrifizierung jedoch nicht isoliert, sondern eingebettet in ein Wirkungsdreieck mit Digitalisierung und Automatisierung. Erst so lassen sich schwankende erneuerbare Einspeisungen durch steuerbare Verbraucher und Speicher aktiv ausbalancieren. Die Sektorenkopplung ist dabei weniger eine technische Hürde als eine Grenze im Kopf. Digital betrachtet hängen die Sektoren längst zusammen; was sie trennt, sind gewachsene Denkstrukturen. Die wahre Sektorenkopplung beginnt daher beim Aufbrechen dieser mentalen Silos. Es gilt, ganz pragmatisch, einzelne Maschinen aus unterschiedlichen Bereichen integrativ zu verbinden. So entsteht neue Wertschöpfung: Wenn etwa Consumer-Drohnen über Leitsysteme der Energieinfrastruktur für präzises Düngen in der Landwirtschaft eingesetzt werden, ist das das Ergebnis einer solchen Kopplung.

Elektrik-Trick: Wenn Strom anfängt zu denken

Innerhalb dieses Dreiecks rüstet künstliche Intelligenz die Systeme mit einer neuen Fähigkeit aus. Die Automatisierung hat Prozesse steuerbar gemacht, die Digitalisierung hat sie sichtbar gemacht. **KI macht sie nun erstmals wirklich beherrschbar.**

Catweazle, der Zauberer der 1970er-Jahre-Kultserie, nannte Elektrizität ehrfürchtig „Elektrik-Trick" und der Trick war nicht das elektrische Licht, sondern *das Einschalten* des elektrischen Lichts, das war der Trick.

Im KI-Zeitalter erhält das Wort eine neue Bedeutung: Der Strom fließt, aber erst die KI hilft zukünftig, ihn zum richtigen Zeitpunkt am richtigen Ort verfügbar zu machen. Ein intelligenter Stromzähler kennt den Preis, doch erst ein lernendes System entscheidet eigenständig, wann es günstiger ist, den Hausakku zu laden oder das Elektroauto Strom abgeben zu lassen.

››

Digital betrachtet hängen die Sektoren längst zusammen – was sie trennt, sind gewachsene Denkstrukturen.

Energie und Daten ergänzen sich zunehmend zu einer ganzheitlichen physischen Infrastruktur.

Brownfield: die Realität der gewachsenen Welt

Die Welt ist immer Brownfield, Greenfield ist eine Chimäre, denn alles braucht seine Zeit, und in jedem Entstehungsprozess wird aus Greenfield bereits Brownfield. Diese Heterogenität ist auch das Ergebnis einer über 100 Jahre gewachsenen Infrastruktur. **Die Elektrifizierung wird immer im Brownfield realisiert,** die Integration neuer Technologien muss dabei gelingen, ohne den laufenden Betrieb zu gefährden.

Der Digital Twin erweist sich hierfür als entscheidendes Werkzeug. Er ermöglicht durch die Digitalisierung, das physische Asset durch sein digitales Abbild automatisierbar zu machen. KI übersetzt dabei zwar zunehmend zwischen unterschiedlichen Kommunikationsprotokollen, doch die Konnektivität an sich muss stehen.

Auf der Datenebene braucht es zusätzlich Struktur: Wie Andreas Wedel in diesem Heft zeigt, wird der Digital Twin zum zentralen Datenanker über den gesamten Lebenszyklus eines Assets. Wir sind also hier im Kontext des Dreiklangs der All Electric Society mit Elektrifizierung, Digitalisierung und Automatisierung unterwegs.

Parallel rückt der Lebenszyklus eines Systems in den Fokus. Künftig müssen elektrische Systeme modular aufgebaut, reparierbar und erweiterbar sein. Der Digital Twin macht es möglich, fehlerhafte Einzelkomponenten gezielt auszutauschen, anstatt Gesamtsysteme zu ersetzen. **Modularität wird zur Chance.** Wie Prof. Dr.-Ing. Eva Schwenzfeier-Hellkamp zeigt, gewinnt dabei auch die Kreislaufwirtschaft an Bedeutung. Diese Entwicklung spiegelt sich ebenfalls in der Energieversorgung wider: Die zentrale Erzeugung weicht lokalen Mikrogrids. Unternehmen werden zu Erzeugern, Verbrauchern und Speichern. **Um diese lokalen Systeme stabil zu halten, braucht es hochflexible Speicherlösungen:** Wie Reverion im Heft erklärt, können reversible Energiesysteme Strom in Gas umwandeln, um so auch lokale Dunkelflauten zu überbrücken.

Zwei Ströme, eine Leitung: Connectivity als Querschnittsfunktion

Ob im lokalen Mikrogrid oder beim Datenaustausch für den Digital Twin: **Da Elektrifizierung und Digitalisierung zusammenwachsen, ergänzen sich Energie und Daten zunehmend zu einer ganzheitlichen physischen Infrastruktur.** Was einst getrennt gedacht wurde, muss zusammenwachsen.

Andreas Huhmann
Strategy Consultant
Connectivity & Networks,
HARTING Technologiegruppe

Dr. Stephan Middelkamp
General Manager
Quality & Technologies,
HARTING Technologiegruppe



Wenn Power und Data zusammenwachsen, reicht die bloße Verfügbarkeit von Energie nicht mehr aus.

Ein adaptives Energiemanagement wird zur zwingenden Voraussetzung, um diese dezentrale Komplexität auszubalancieren.

Konnektivität avanciert so zur sektorübergreifenden Querschnittsfunktion. Derselbe Steckverbinder, der heute in einer Maschine sitzt, kann sich morgen im Datacenter wiederfinden – in seiner Kernaufgabe der zuverlässigen Übertragung unverändert. **Daher muss Konnektivität heute gleichzeitig kleiner und größer gedacht werden. Kleiner als integrierte, unsichtbare Funktion. Größer als kritische Infrastrukturkomponente, die kommuniziert und Teil des Ökosystems wird.**

Verbinden und Trennen zugleich: Der vermeintliche Widerspruch ist die Stärke des Steckverbinders, die durch zunehmende Modularisierung immer wichtiger wird.

Damit vollzieht sich ein fundamentaler Wandel. Ging es für Werner von Siemens 1867 noch darum, Ströme von „unbegrenzter Stärke" überhaupt erst zu entfesseln, so liegt die Aufgabe heute darin, diese zielgerichtet zu lenken. Wenn Power und Data zusammenwachsen, reicht die bloße Verfügbarkeit von Energie nicht mehr aus. **Ein adaptives Energiemanagement wird zur zwingenden Voraussetzung, um diese dezentrale Komplexität auszubalancieren.** Zudem müssen moderne elektrische Systeme über ihren gesamten Lebenszyklus hinweg gedacht werden. Wie genau aus diesen technologischen Notwendigkeiten eine ganzheitliche Systemaufgabe wird, beleuchtet Prof. Dr.-Ing. Eva Schwenzfeier-Hellkamp auf den folgenden Seiten.

Eines bleibt jedoch konstant: die trennbare Verbindung.



SMART ALWAYS ON?

NICHT UM JEDEN PREIS

Egal ob Batteriespeicher oder lokale Puffer: Müssen große Mengen an elektrischer Energie in kürzester Zeit übertragen, gespeichert und abgerufen werden, ist eine absolut zuverlässige und kompakte Verbindungstechnik das A und O. Wie wir gesehen haben, wachsen die Anforderungen an solche Schnittstellen rasant. Dabei ist die sichere Verbindung nur der erste Schritt. Wenn wir direkt in die Produktionshallen blicken, lautet die entscheidende Frage: Wie lassen sich Maschinen mit extremen Lastspitzen in bestehende Fabriken integrieren, ohne dass die fest definierte Netzanschlussleistung überschritten wird?

Vor diesem Hintergrund sprachen wir mit Dr. Hans Krattenmacher, Managing Director Corporate Innovation Mechatronics bei SEW-EURODRIVE, über die Faszination der Maxwell-Gleichungen, die Notwendigkeit lokaler Stromspeicher in der Maschine und die Frage, warum ein unreflektiertes „Always on" in der Industrie nicht intelligent genug ist.



Dr. Hans Krattenmacher
Managing Director Corporate Innovation Mechatronics bei SEW-EURODRIVE



Wer die Energieversorgung kontrolliert, kontrolliert die Handlungsfähigkeit einer Gesellschaft.

tec.news: Herr Dr. Krattenmacher, in der Kultserie Catweazle aus den 70er-Jahren hält ein Magier aus dem Mittelalter die Elektrizität für Magie und nennt sie „Elektrik-Trick". Wenn wir heute auf moderne Maschinen blicken: Welche Rolle spielt diese „Magie" heute in Ihrem beruflichen Umfeld?

Dr. Hans Krattenmacher: Diese Frage ist für mich als Elektroingenieur leicht zu beantworten: Ich habe Elektrotechnik aus echter Überzeugung studiert. **Elektrische Energie ist für mich eine der vielseitigsten Energieformen überhaupt. Man kann sie in mechanische Energie umwandeln, für die Kommunikation nutzen oder in elektronischen Schaltungen einsetzen.** Für viele Menschen mag sie bis heute wie eine Art schwarze Magie wirken, für mich liegt ihre Faszination jedoch in der Eleganz der Maxwell-Gleichungen. Ich bin zwar schon seit 26 Jahren bei SEW-EURODRIVE beschäftigt, erinnere mich aber noch gut an ein T-Shirt aus meiner Studienzeit. Darauf stand: „And God said…", daneben waren die Maxwell-Gleichungen abgebildet, und darunter stand: „…and there was light." Das beschreibt meine Sicht auf die Elektrotechnik sehr treffend.

Hat sich Ihr Verständnis von Elektrifizierung in den über 25 Jahren, die Sie nun bei SEW-EURODRIVE sind, grundlegend verändert?

Vielleicht weniger, als man es vermuten würde. Wenn man, wie ich, mit der Elektrotechnik aufgewachsen ist, war die Vision einer elektrifizierten Welt schon im Studium präsent. Geändert hat sich eher die Perspektive auf die Umsetzung: **Früher war die Elektrifizierung ein technisches Ziel, heute ist sie dank regenerativer Energien der Schlüssel zu echter Nachhaltigkeit und Unabhängigkeit. Meine Grundüberzeugung ist daher gleich geblieben: Sobald wir Strom nachhaltig erzeugen und speichern können, ist er jeder anderen Energieform durch seinen enormen Wirkungsgrad überlegen.** Ein Verbrennungsmotor verliert unfassbar viel Energie, bis tatsächlich mechanische Leistung an der Welle ankommt; Strom hingegen lässt sich nahezu verlustfrei wandeln.

Das ist die physikalische Seite. Wenn wir aber über den Tellerrand der reinen Energieversorgung hinausblicken: Was bedeutet die konsequente Elektrifizierung für unsere Gesellschaft?

Hier geht es dann um das Thema Souveränität. Eine konsequente Elektrifizierung bedeutet für mich Unabhängigkeit. Wenn wir Energie regenerativ vor Ort erzeugen, werden wir als Gesellschaft unabhängig von Ressourcen aus geopolitisch sensiblen Regionen. Wir elektrifizieren den Verkehr, die Industrie und die Schifffahrt nicht nur, weil es sauberer ist, sondern weil die Energieversorgung die Basis unserer gesamten Wirtschaftsstruktur ist. **Wer die Energieversorgung kontrolliert, kontrolliert die Handlungsfähigkeit einer Gesellschaft.** Wir werden sicher nicht alles durch elektrische Energie ersetzen können, aber sehr vieles.

Wenn wir auf den zweiten großen Megatrend schauen: Gibt es überhaupt eine Digitalisierung ohne eine gleichzeitige Elektrifizierung?

Nein, denn die Digitalisierung braucht elektrische Energie. Denken Sie nur an Netzwerke und Rechenzentren. Wenn wir künstliche Intelligenz einbeziehen, wird der Zusammenhang noch deutlicher: Der Energiebedarf der großen KI-Anbieter ist enorm, wir sprechen hier von

››



Größenordnungen ganzer Kraftwerke. Der Nutzen der Digitalisierung entfaltet sich erst dann nachhaltig, wenn auch die dafür benötigte Energie nachhaltig erzeugt wird und wir smart und effizient mit ihr umgehen.

Die All Electric Society wird oft über den Dreiklang aus Elektrifizierung, Digitalisierung und Automatisierung beschrieben. Über die ersten beiden haben wir ja schon gesprochen. Wie fügt sich für Sie die Automatisierung als dritter Baustein in dieses Bild ein?

Die Automatisierung wird letztlich durch elektrische Energie angetrieben. Für uns als Hersteller von Getriebemotoren ist das natürlich ein wichtiger Zusammenhang. Wenn man es etwas salopp formulieren möchte: Diese industrielle Form der Elektrifizierung ist unser tägliches Brot, denn elektrische Energie ist das Grundnahrungsmittel der Automatisierung. Ich brauche sie, um Aktoren zu bewegen, Sensorik auszulesen und digitale Dienste zu betreiben. Ohne Strom können wir schlicht nicht automatisieren. Bei der Konzeption einer Anlage muss ich sofort die Antwort darauf haben, wie ich die Energie dafür effizient bereitstelle und steuere. Erst die Digitalisierung ermöglicht uns dabei die nötige Intelligenz für dieses Management. Deshalb sind diese drei Begriffe für mich keine getrennten Entwicklungen, sondern eine untrennbare Einheit.

In der Industrie wird heute oft vom Konzept „Always on" gesprochen: Anlagen dürfen nicht mehr abgeschaltet werden. Was bedeutet das aus technischer Sicht für Sie?

In der Fabrikautomatisierung waren wir auf der 24-Volt-Ebene schon immer gewissermaßen „Always on". Aber ich bin bei diesem Thema deutlich differenzierter unterwegs. Ich glaube nicht, dass es sinnvoll ist, grundsätzlich alles permanent eingeschaltet zu lassen. Meine Philosophie lautet: Only leave on what's necessary. Ich lasse also genau das eingeschaltet, was ich benötige, um eine Maschine oder Zelle innerhalb der gewünschten Zeit kontrolliert wieder hochfahren zu können. Wenn man konsequent alles auf „Always on" lässt, ist man oft überrascht, wie hoch die Standby-Verluste in einem Werk sind, in dem gerade gar nicht produziert wird.

Einfach alles eingeschaltet zu lassen, ist nicht intelligent genug. Wir sollten vielmehr von einem „Smart Always on" sprechen.

Wie adressieren Sie bei SEW-EURODRIVE diese steigenden Anforderungen an ein intelligentes Energiemanagement ganz konkret?

Wir bauen Elektromotoren, Getriebe und Frequenzumrichter. Wir beschäftigen uns jeden Tag damit, elektrische Energie möglichst verlustarm in Bewegungsenergie umzuwandeln. Das Besondere ist heute aber das System drumherum. Wir haben uns schon im Jahr 2008 mit Superkondensatoren, sogenannten Supercaps, beschäftigt. **Unser Grundprinzip ist: Die Applikation selbst muss energieintelligent ausgelegt werden.** Daraus entstand unser „Power and Energy Solutions"-System. Wir speichern Energie genau dort, wo sie benötigt wird: direkt an der Maschine.

Können Sie uns dafür ein konkretes Praxisbeispiel nennen?

Stellen Sie sich ein Hochregallager vor. Viele unserer Kunden benötigen in solchen Applikationen extrem hohe Beschleunigungsleistungen. Wenn ein Regalbediengerät anfährt, entsteht eine enorme Lastspitze im Netz. Klassischerweise wurde die gesamte Infrastruktur, also Kabel, Sicherungen und Anschlüsse, auf diesen kurzen Moment der Spitzenlast ausgelegt. Mit unserem System fangen wir das ab: Wir verhalten uns aus Sicht des Netzes



nahezu wie eine konstante ohmsche Last. In manchen Applikationen gelingt es uns, die Spitzenleistung aus dem Netz um den Faktor 20 zu reduzieren. Statt 60 Kilowatt aus dem Netz zu ziehen, benötigen wir nur noch 3 Kilowatt. Die restliche Peak-Energie für die Beschleunigung stellen wir lokal aus unseren Supercap-Speichern bereit.

Wie laden Sie diese lokalen Speicher wieder auf?

An dieser Stelle schließt sich der Kreis der Energieeffizienz. Wenn sich die Vertikalachse des Regalbediengeräts nach unten bewegt oder ein Antrieb bremst, wird Energie frei. Diese Bremsenergie speisen wir nicht einfach ins öffentliche Netz zurück. Das wäre aus Sicht der Netzstabilität oft gar nicht hilfreich. Stattdessen speichern wir sie im DC-Zwischenkreis in den Supercaps und nutzen sie wenige Sekunden später für den nächsten Beschleunigungsvorgang.

Welchen, vielleicht nicht ganz so offensichtlichen, Nutzen hat dieses System noch für den Anwender?

Interessanterweise hat sich tatsächlich ein Nebeneffekt zu einem unserer wichtigsten Verkaufsargumente entwickelt. Wir haben in unserem Energiemanagement nicht nur die 400-Volt-Antriebsebene eingebunden, sondern auch die 24-Volt-Versorgung der Steuerungen. Fällt nun das Stromnetz aus, stürzt die Maschine nicht einfach ab und die Bremsen fallen unkontrolliert ein. Stattdessen nutzen wir die Energie aus unseren lokalen Speichern, versorgen die 24-Volt-Ebene weiter und fahren die Anlage kontrolliert in eine sichere Parkposition. Das verhindert Maschinenschäden, die schnell Zehntausende Euro kosten können.

Das löst auch Probleme bei der Nachrüstung in bestehenden Hallen, dem klassischen Brownfield, oder?

Absolut, denn die Elektrifizierung findet in der Industrie fast nie auf der grünen Wiese statt. Im Brownfield ist die Anschlussleistung des Gebäudes meist hart definiert. Wenn Sie 300 kW Anschlussleistung haben, dann haben Sie 300 kW – auch wenn Sie eine neue Produktionslinie aufbauen wollen. **Durch die Reduktion der Spitzenlasten ermöglichen wir es unseren Kunden, Anlagen überhaupt erst zu erweitern, ohne neue, teure Netzanschlüsse legen zu müssen. Elektrische Energie lässt sich im Brownfield zudem hervorragend berührungslos übertragen.** Mit induktiven Ladesystemen, wie wir sie für schienengeführte Systeme oder fahrerlose Transportsysteme anbieten, verschwinden zudem verschleißanfällige Schleppkabel aus der Fabrik.

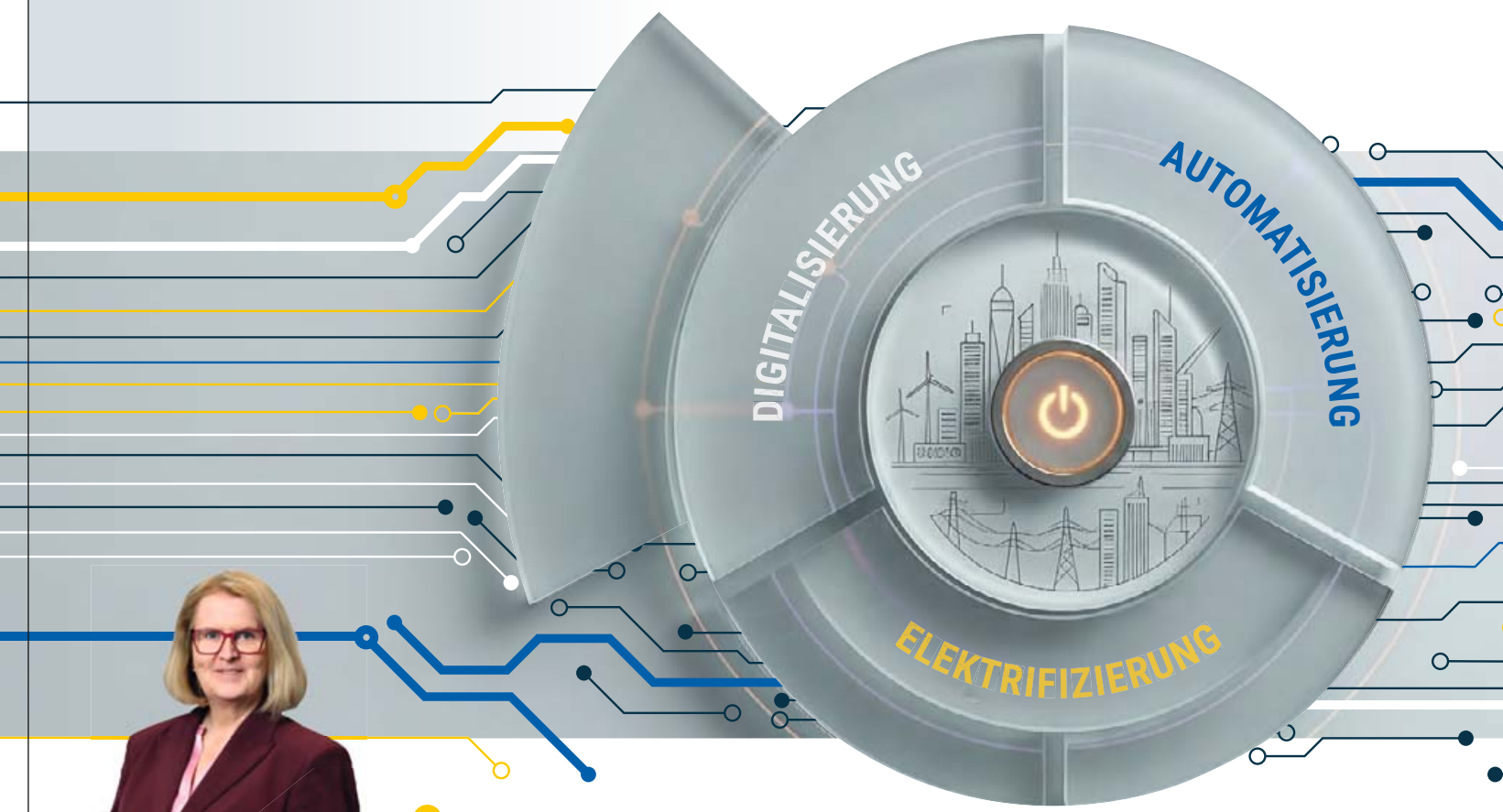
Eine Branchenfrage zum Abschluss: Elektrifizierung und Connectivity sind für Energie und Daten eng verknüpft. Welche Anforderungen ergeben sich daraus an Schnittstellen und Steckverbinder?

Die zentrale Anforderung heißt Standardisierung. Eigentlich ist es erstaunlich, dass wir bis heute weltweit in vielen Bereichen kein einheitliches Stecksystem haben, sondern weiterhin zahlreiche Adapter brauchen. Ein gutes Beispiel für den richtigen Weg ist die Entscheidung der EU, USB-C als einheitliche Schnittstelle vorzuschreiben. Das ist nachhaltig und einfach. Genau dorthin müssen wir bei industriellen Schnittstellen kommen. Das gilt für physikalische Steckverbinder ebenso wie für Daten-Schnittstellen, etwa die Asset Administration Shell.

AI

Wenn wir die Vision der All Electric Society ernst meinen, agentenbasierte Systeme und künstliche Intelligenz nutzen wollen, müssen sich Systeme automatisch verbinden und verstehen können. An offenen, standardisierten Schnittstellen führt dann kein Weg vorbei.

MEHR ALS TECHNIK: ELEKTRIFIZIERUNG IM KONTEXT VERNETZTER ENERGIESYSTEME



Prof. Dr.-Ing.
Eva Schwenzfeier-Hellkamp
Professorin an der Hochschule Bielefeld

leitet den Studiengang Regenerative Energien sowie das Institut für Technische Energie-Systeme (ITES). Sie ist professorales Mitglied im Promotionskolleg NRW und verfügt über das Promotionsrecht. Darüber hinaus engagiert sie sich in verschiedenen Beiräten und Gremien, u. a. im Klimabeirat der Stadt Bielefeld sowie im Verein Deutscher Ingenieure (VDI) OWL. Ihre fachliche Basis ist die Elektrotechnik.

Zu Beginn meiner Laufbahn habe ich Elektrifizierung als technisch lösbares Einzelproblem verstanden. Heute sehe ich sie als Teil einer umfassenden Transformation von Energiesystemen, die technische, wirtschaftliche und gesellschaftliche Aspekte vereint.

Elektrifizierung entfaltet ihre Wirkung erst im Zusammenspiel mit Wärmeversorgung, Energiespeicherung sowie digitalen und automatisierten Steuerungssystemen. Entsprechend ist ein systemischer Ansatz erforderlich.

Zusammenspiel von Elektrifizierung, Digitalisierung und Automatisierung

Elektrifizierung, Digitalisierung und Automatisierung bilden die zentralen Bausteine moderner Energiesysteme. Die Elektrifizierung

Systeme sollten modular aufgebaut, reparierbar und erweiterbar sein.

schafft die physikalische Grundlage, die Digitalisierung macht Zustände und Prozesse transparent und die Automatisierung ermöglicht deren gezielte Steuerung.

Allerdings ist nicht jede Form der Digitalisierung sinnvoll. Entscheidend ist, datenbasierte Prozesse auf das technisch und wirtschaftlich Erforderliche zu begrenzen, um unnötige Komplexität zu vermeiden.

„Always on" als neue Anforderung an Energiesysteme

Ein wesentlicher Wandel zeigt sich im Nutzungsverhalten von Energie. Systeme sind zunehmend dauerhaft in Betrieb und müssen jederzeit zuverlässig funktionieren. Die Energieversorgung wird damit zu einer permanenten Hintergrundfunktion.

Aus dieser Entwicklung ergeben sich erhöhte Anforderungen an:

- Zuverlässigkeit
- Resilienz
- kontinuierliche Betriebsfähigkeit

Energetische Infrastrukturen müssen auch unter variablen Bedingungen stabil und reaktionsfähig bleiben.

Lebenszyklusorientierung statt Betriebsoptimierung

Für mich ist die Betrachtung des gesamten Lebenszyklus technischer Systeme zentral. Neben dem Betrieb müssen bereits in der Entwicklung die Phasen Nutzung, Wartung, Anpassung und Rückführung berücksichtigt werden.

Daraus ergeben sich klare Anforderungen: **Systeme sollten modular aufgebaut, reparierbar und erweiterbar sein.** Austauschbare Komponenten verlängern Lebensdauern und erleichtern technische Weiterentwicklungen. Gleichzeitig gewinnt die Rückführung von Materialien im Sinne einer Zirkularität an Bedeutung. Dies stärkt nicht nur Nachhaltigkeit, sondern reduziert auch Abhängigkeiten in globalen Lieferketten.

Integration neuer Technologien in bestehende Infrastrukturen

Die Transformation von Energiesystemen erfolgt überwiegend im Bestand. Vorhandene Anlagen und Netze müssen schrittweise modernisiert werden, ohne den laufenden Betrieb zu beeinträchtigen.

Unterschiedliche technologische Entwicklungsstände erfordern flexible Integrationsstrategien. Ergänzend braucht es eine organisatorische Veränderung, etwa mehr Agilität und stärkere interdisziplinäre Zusammenarbeit.

Standardisierung als Voraussetzung für Skalierbarkeit

Gerade bei Schnittstellen und Connectivity sehe ich erheblichen Optimierungsbedarf. Die hohe Variabilität erschwert Integration, Wartung und Weiterentwicklung.

Mehr Standardisierung kann Komplexität reduzieren und unternehmensübergreifende Lösungen fördern. Besonders bei Materialkreisläufen und Rückführungskonzepten kann Kooperation sinnvoll sein.

Bedarf vor Technologie

Technische Exzellenz allein entscheidet nicht über den Erfolg einer Lösung. Systeme müssen konkrete Anforderungen erfüllen und den tatsächlichen Bedarf berücksichtigen.

Zu viele Funktionen oder eine verfrühte Markteinführung können Akzeptanz und Wirtschaftlichkeit beeinträchtigen. Daher ist eine konsequente Ausrichtung an Anwendungsszenarien und zukünftigen Bedarfen erforderlich.

Zeithorizonte der Umsetzung

Die Umsetzung wird schrittweise erfolgen. Erste Lösungen sind bereits erkennbar, eine breite systemische Skalierung ist jedoch mittel- bis langfristig zu erwarten. Wichtige Treiber sind regulatorische Vorgaben, steigende Anforderungen an Ressourceneffizienz und der zunehmende Nachhaltigkeitsdruck.

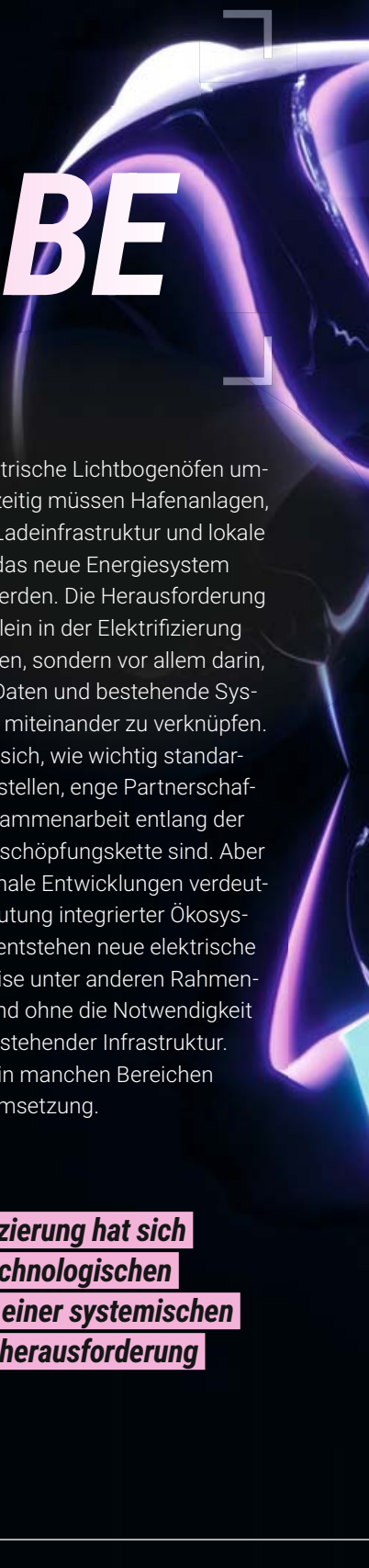
Fazit

Elektrifizierung ist heute eine Systemaufgabe. Entscheidend sind dabei nicht maximale technische Möglichkeiten, sondern robuste, anpassungsfähige und ressourceneffiziente Gesamtsysteme.

Der Charakter von Elektrifizierung hat sich grundlegend verändert. Statt einzelner Technologien rückt heute die Frage in den Mittelpunkt, wie sich komplexe, vernetzte Energiesysteme gestalten lassen. Wo früher die Wahl der richtigen Technologie entscheidend war, geht es heute um Systemintegration. Energieerzeugung, Speicherung und Nutzung wachsen zusammen – ebenso wie industrielle Prozesse und gesamte Wertschöpfungsketten. ***Elektrifizierung betrifft damit nicht mehr nur einzelne Anlagen, sondern komplette Ökosysteme:*** *von der Produktion über die Logistik bis hin zur Infrastruktur.*

ELEKTRIFIZIERUNG WIRD ZUR SYSTEMAUFGABE

WORK IN PROGRESS...



Ohne Digitalisierung keine Elektrifizierung

Elektrifizierung funktioniert heute nur im Zusammenspiel mit Digitalisierung und Automatisierung. Daten werden zur zentralen Steuerungsgröße. **Durch vernetzte Systeme, digitale Zwillinge und automatisierte Prozesse wird die notwendige Transparenz und Flexibilität möglich.** In vernetzten und komplexen Anwendungen – etwa in Minen, Häfen oder Logistiksystemen – sind elektrische Systeme ohne digitale Infrastruktur kaum noch betreibbar. Die Konsequenz: Elektrifizierung ist längst nicht mehr nur eine Frage der Energieversorgung, sondern immer auch eine Frage von Daten, Kommunikation und Software – Faktoren, die häufig erheblichen Einfluss auf die Geschäftsmodelle der beteiligten Akteure haben.

Komplexität als neue Realität

Gleichzeitig steigt die Komplexität, vor allem in bestehenden industriellen Strukturen. Elektrifizierung findet meist im sogenannten Brownfield statt: Neue Technologien müssen in bestehende Systeme integriert werden. Der Weg führt daher über schrittweise Transformation mit klaren Roadmaps und skalierbaren Lösungen.

Auch die Struktur der Energieversorgung verändert sich. Statt zentraler Erzeugung entstehen zunehmend dezentrale Systeme bis hin zu lokalen Mikrogrids. Produktion und Verbrauch rücken näher zusammen, Unternehmen werden gleichzeitig zu Energieerzeugern und -nutzern. Damit entsteht ein neues Verständnis von „Always on“: Energie ist verfügbar, muss aber aktiv gesteuert, optimiert und mit dem tatsächlichen Bedarf in Einklang gebracht werden.

Integration wird zum Schlüssel

Mit wachsender Systemkomplexität rücken neue Anforderungen in den Fokus:

- Integration statt Insellösungen
- standardisierte Schnittstellen
- Zusammenarbeit entlang der Wertschöpfungskette

Elektrifizierung wird damit zunehmend zu einer gemeinsamen Aufgabe von Industrie, Technologieanbietern und Infrastrukturbetreibern.

Praxisbeispiele zeigen die Herausforderung

Wie komplex diese Aufgabe bereits heute ist, zeigt ein Projekt aus Skandinavien: Dort wird ein Stahlwerk von kohlebasierten Prozessen auf elektrische Lichtbogenöfen umgestellt. Gleichzeitig müssen Hafenanlagen, Lkw-Verkehre, Ladeinfrastruktur und lokale Stromnetze in das neue Energiesystem eingebunden werden. Die Herausforderung besteht nicht allein in der Elektrifizierung einzelner Anlagen, sondern vor allem darin, Energieflüsse, Daten und bestehende Systeme intelligent miteinander zu verknüpfen. In Europa zeigt sich, wie wichtig standardisierte Schnittstellen, enge Partnerschaften und die Zusammenarbeit entlang der gesamten Wertschöpfungskette sind. Aber auch internationale Entwicklungen verdeutlichen die Bedeutung integrierter Ökosysteme. In China entstehen neue elektrische Systeme teilweise unter anderen Rahmenbedingungen und ohne die Notwendigkeit der Nutzung bestehender Infrastruktur. Das erleichtert in manchen Bereichen eine schnelle Umsetzung.

Fazit

Die Elektrifizierung hat sich von einer technologischen Disziplin zu einer systemischen Skalierungsherausforderung entwickelt.

Über den Electrification Hub

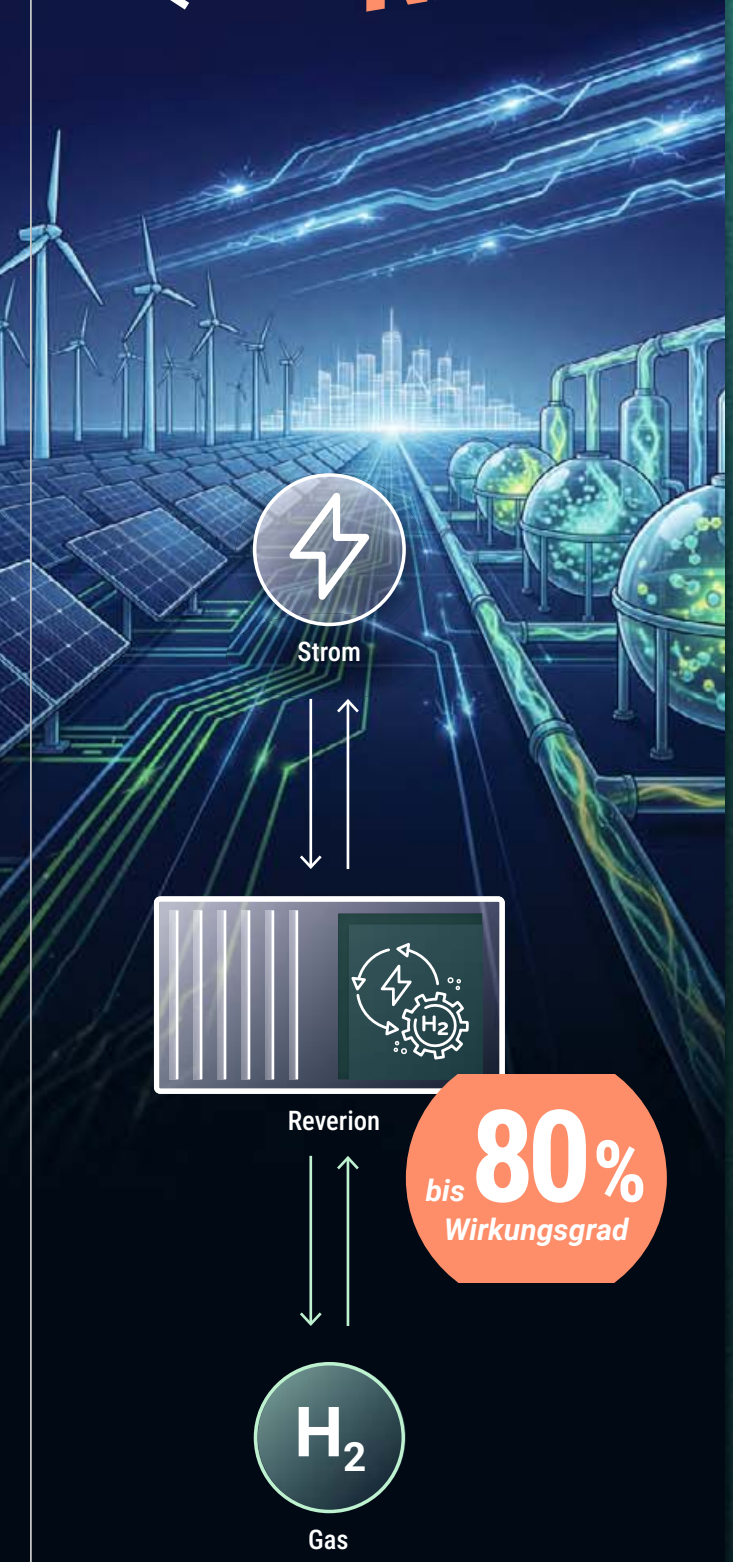
Der Electrification Hub mit Sitz in Schweden vernetzt Unternehmen, Forschungseinrichtungen und öffentliche Akteure, um die Elektrifizierung von Industrie und Mobilität voranzutreiben. Das industriegetriebene Netzwerk ist eng mit der Mälardalen University verbunden und schlägt die Brücke zwischen wissenschaftlicher Forschung und industrieller Anwendung.

Im Fokus steht die Integration komplexer Energie- und Mobilitätssysteme entlang der gesamten Wertschöpfungskette. Es ist das Ziel, Innovationen schneller in die Praxis zu überführen und den Wandel hin zu nachhaltigen, vernetzten und elektrifizierten Systemen zu beschleunigen.



Mikael Hjorth
Leiter des Electrification Hub

ENERGIE IN BEIDE RICHTUNGEN



Wenn wir bei Reverion über Elektrifizierung sprechen, meinen wir längst nicht mehr nur die Erzeugung von Strom. Für uns geht es darum, Energie flexibel nutzbar zu machen, sie dann bereitzustellen, wenn sie gebraucht wird, und sie zu speichern, wenn sie im Überfluss vorhanden ist. Denn genau das ist heute eine der größten Herausforderungen: Erneuerbare Energien wie Wind und Sonne liefern zunehmend große Mengen Strom, aber nicht konstant.

Energie im Fluss halten

In unserer täglichen Arbeit begegnet uns dieses Spannungsfeld permanent. Immer häufiger erleben wir Situationen, in denen mehr Energie erzeugt wird, als das Netz aufnehmen kann. Gleichzeitig gibt es Phasen, in denen Energie fehlt. Genau an diesem Punkt setzen unsere Systeme an. **Unsere Technologie – reversible Brennstoffzellensysteme – kann beides: Strom erzeugen und Energie speichern.** Damit wird aus einem klassischen Kraftwerk ein flexibler Energiewandler.

Das bedeutet konkret:

- Wir erzeugen Strom aus Gas, zum Beispiel aus Wasserstoff oder Biogas.
- Oder wir wandeln überschüssigen Strom in Gas um und speichern so die Energie für später.

Dabei erreichen unsere Systeme elektrische Wirkungsgrade von bis zu 80 Prozent – und das in beide Richtungen. Für uns ist Gas damit kein klassischer Brennstoff mehr, sondern ein flexibler Energiespeicher.

Mehr als ein Kraftwerk

Auf den ersten Blick lässt sich unsere Lösung als hocheffizientes Kraftwerk beschreiben. Bei genauerem Hinsehen zeigt sich jedoch ein deutlich erweitertes Funktionsspektrum.

Unsere Systeme arbeiten nicht nur in eine Richtung. Sie reagieren dynamisch auf das, was im Energiesystem gerade passiert. Das macht sie grundlegend anders als konventionelle Anlagen.

HARTING Technologie in Reverion-Anlagen

HARTING Steckverbinder verbinden in den Reverion-Systemen Energie, Daten und Signale zuverlässig. Modulare und robuste Komponenten ermöglichen eine flexible Integration in die Anlage. Dafür nutzt Reverion unter anderem Han® HPR Gehäuse sowie Han-Modular® Einsätze.



Ein Kohlekraftwerk läuft, oder es steht. **Unsere Systeme hingegen bleiben immer „auf Empfang“:** Sie analysieren kontinuierlich, ob Energie benötigt oder gespeichert werden sollte und passen den Betrieb entsprechend an. Für uns ist das ein neuer Charakter von Elektrifizierung.

Ohne Digitalisierung geht es nicht

Was dabei oft unterschätzt wird: Diese Flexibilität ist ohne Digitalisierung nicht möglich.

Damit unser System sinnvoll arbeiten kann, braucht es Daten in Echtzeit. Wir müssen wissen:
- wo Strom gebraucht wird
- wann Energie im Überfluss vorhanden ist
- wie sich Angebot und Nachfrage entwickeln

Erst durch diese Informationen kann unser System die richtige Entscheidung treffen. Elektronen und Datenströme gehören untrennbar zusammen.

Warum Speichern entscheidend ist

Ein zentraler Vorteil unseres Ansatzes liegt in der Speicherdauer. Batterien sind hervorragend geeignet, um kurzfristige Schwankungen auszugleichen – typischerweise über einige Stunden. Unsere Technologie geht deutlich weiter. **Wir können Energie über Tage, Wochen oder sogar noch länger speichern, vorausgesetzt, es steht entsprechender Gasspeicher zur Verfügung.** Über einen Einspeisepunkt ins Gasnetz sind die Speichermöglichkeiten quasi unlimitiert. Das eröffnet völlig neue Möglichkeiten, um Dunkelflauten zu überbrücken oder saisonale Schwankungen auszugleichen.

Ein Baustein für die Zukunft der Energieversorgung

Wir sehen unsere Systeme nicht als alleinige Lösung, sondern als Baustein in einem größeren Energiesystem.

Gerade in Regionen mit hohem Anteil erneuerbarer Energien kann unser Ansatz einen echten Unterschied machen:
- Überschüssige Energie wird gespeichert und geht nicht verloren
- Engpässe werden flexibel ausgeglichen
- Netze werden entlastet

Und das möglichst dezentral, nah am Ort der Erzeugung und Nutzung.

Von der Idee zur Praxis

Aktuell arbeiten wir noch in vergleichsweise kleinen Leistungsklassen und sammeln Erfahrungen im Feld. Unsere Systeme sind modular aufgebaut und lassen sich kombinieren – ein wichtiger Schritt, um perspektivisch größere Anwendungen abzudecken.

Wir entwickeln nicht nur Technologie, sondern auch das Verständnis dafür, wie zukünftige Energiesysteme funktionieren können.

Dass die Technologie bereits in der Praxis angekommen ist, zeigt ein aktuelles Projekt bei HARTING in Espelkamp. Dort ist eine Reverion-Anlage Teil des Energiesystems und unterstützt das Unternehmen dabei, erneuerbare Energie flexibler zu nutzen und perspektivisch auch in Form von grünem Wasserstoff zu speichern.

Vernetzung als Schlüssel

Mit der Skalierung wächst auch die Bedeutung eines Themas, das uns täglich begleitet: Connectivity. Unsere Systeme sind darauf angewiesen, zuverlässig mit ihrer Umgebung zu kommunizieren, sei es mit lokalen Energiesystemen, Speichern oder übergeordneten Märkten. Nur wenn diese Kommunikation stabil funktioniert, kann der dynamische Betrieb gelingen. Deshalb spielen Schnittstellen, Datenübertragung und robuste Verbindungen eine zentrale Rolle in unserer Entwicklung.

Reverion

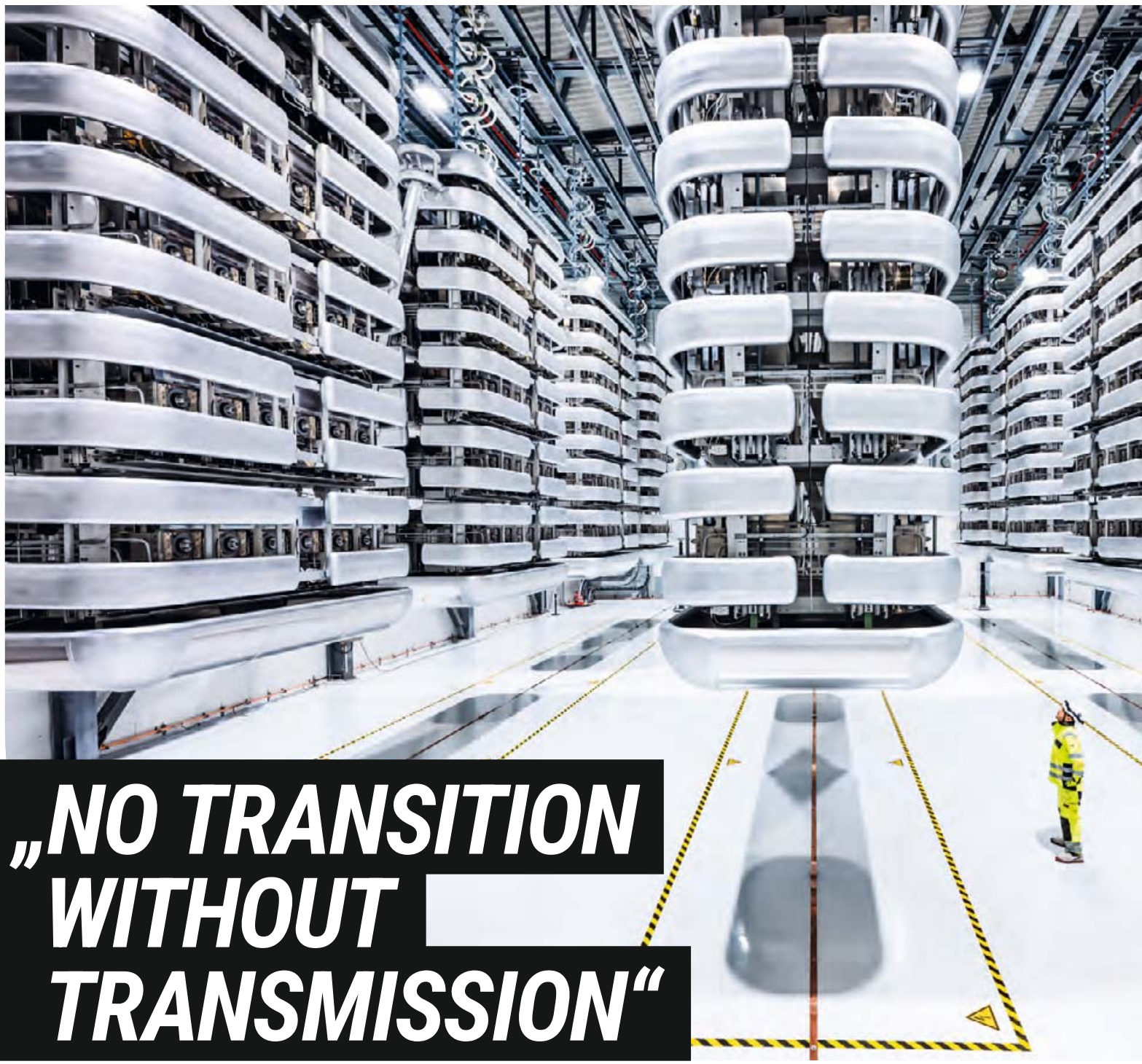
entwickelt hocheffiziente Energiesysteme auf Basis von Brennstoffzellen, die Strom erzeugen, speichern und bei Bedarf in Wasserstoff umwandeln können. Die Anlagen erreichen Wirkungsgrade von bis zu 80 Prozent. Das Unternehmen mit Sitz in Eresing bei München beschäftigt rund 200 Mitarbeitende.







Maximilian Schmitt
Head of Sales & Marketing, Reverion



„NO TRANSITION WITHOUT TRANSMISSION“

Intelligente Netze als Getriebe der All Electric Society

Die Themen Flexibilität und dezentrale Speicherung sind entscheidende Puzzleteile für die Zukunft der elektrischen Energie. Ein stimmiges Gesamtbild entsteht aber nur, wenn auch die Makroebene mitspielt: Wir brauchen ein intelligentes Stromnetz, das in der Lage ist, diese dynamischen Einspeisungen sicher aufzunehmen, die Lastflüsse zu steuern und die Energie über weite Distanzen zu transportieren. Ohne den Ausbau dieser Übertragungsnetze gerät der gesamte Wandel ins Stocken, ist man bei der Hitachi Energy überzeugt.



Blick in die Ventilhalle einer Konverterstation für die Hochspannungs-Gleichstrom-Übertragung.

Bild: Hitachi Energy

Für diese Ausgabe der tec.news sprachen wir mit Pascal Daleiden, Vorstandsvorsitzender der Hitachi Energy Germany AG und im Unternehmen verantwortlich für Deutschland, Österreich, die Schweiz und Slowenien, über die verborgene Magie komplexer Infrastrukturen, den rasanten Wandel durch KI-Rechenzentren und seine Sicht auf die Frage, warum Elektrifizierung, Digitalisierung und Automatisierung für ein resilientes Gesamtsystem untrennbar miteinander verschmelzen müssen.

tec.news: Herr Daleiden, in der 70er-Jahre-Kultserie Catweazle staunt ein Magier aus dem Mittelalter über die moderne Welt und hält die menschliche Steuerung von Elektrizität für Magie. Er nennt sie „Elektrik-Trick". Wenn wir heute auf moderne Energiesysteme schauen: Welche Rolle spielt dieser „Elektrik-Trick" in Ihrem beruflichen Umfeld?

Pascal Daleiden: Auch wenn ich zugeben muss, die Serie selbst nicht zu kennen, passt der Begriff hervorragend. Für mich steht „Elektrik-Trick" für all die hochkomplexen technischen Prozesse, die im Hintergrund ablaufen und der breiten Öffentlichkeit oft gar nicht bewusst sind. **Die Erzeugung, der Transport und die Verteilung von Strom greifen permanent ineinander, damit Industrie, Infrastruktur und Privatpersonen nahezu jederzeit zuverlässig versorgt werden.** Besonders spannend ist, wie grundlegend sich dieses System verändert hat. Früher war die Energieversorgung zentral organisiert, von einem Kraftwerk aus wurde eine Region versorgt. Heute erzeugen wir Strom zunehmend dezentral über erneuerbare Energien. Der Strom muss dadurch über weitaus größere Distanzen transportiert und deutlich flexibler gesteuert werden. Die eigentliche Magie liegt heute also darin, ein enorm komplexes, dezentrales und dynamisches Energiesystem so zu beherrschen, dass sowohl die Versorgungssicherheit als auch die Effizienz und Resilienz dauerhaft gewährleistet bleiben.



Pascal Daleiden
Vorstandsvorsitzender Hitachi Energy Germany AG, Country Managing Director DACH

Bedeutet das nicht auch, dass die Elektrifizierung und die Digitalisierung heutzutage eigentlich Hand in Hand gehen?

Das sehe ich definitiv so. Aus meiner Perspektive gibt es kaum noch Elektrifizierungs- ohne Digitalisierungsmaßnahmen. Anlagen und Produkte werden immer intelligenter, weil sie mit Sensoren, Schnittstellen und einer Kommunikationsfähigkeit ausgestattet sind. Das gilt für die Wärmepumpe im Gebäude ebenso wie für den riesigen Transformator im Stromnetz. Die dabei entstehenden

››

> ***Die Energie- und Industrietransformation kann nur gelingen, wenn der Netzausbau auf hohem Niveau und kontinuierlich voran-kommt.***

Daten helfen beispielsweise bei der Umsetzung einer vorausschauenden Wartung, einer besseren Auslastung und einer präziseren Steuerung. **Ein dezentrales und volatiles Energiesystem lässt sich künftig nur noch durch digitale Unterstützung und teilautomatisierte Steuerungsmechanismen stabil und effizient betreiben. Die Komplexität dieser Aufgabe wäre sonst schlicht nicht mehr handhabbar.**

Welche konkreten Treiber der Elektrifizierung spüren Sie in Ihrem Arbeitsumfeld aktuell am stärksten?

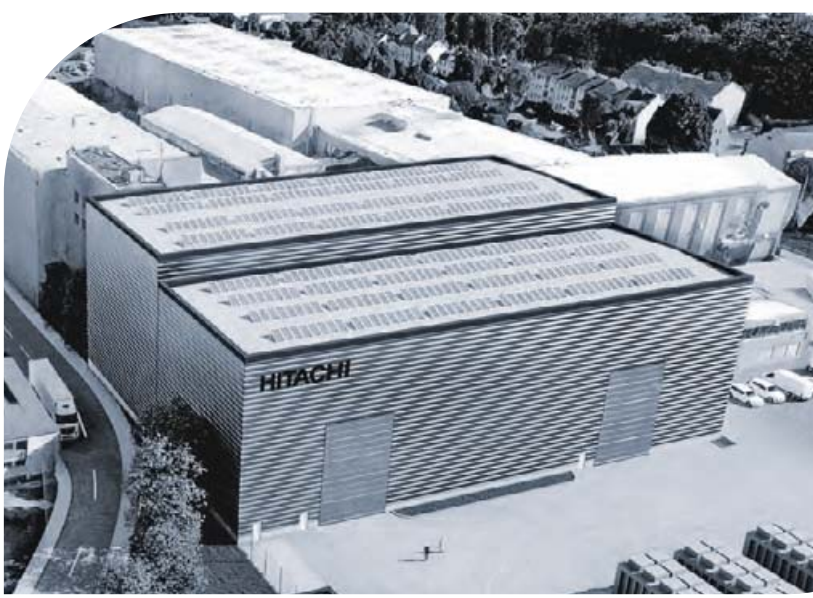
Ein riesiger Treiber ist die Industrie, die ihre energieintensiven Prozesse transformiert. Ein konkretes Beispiel ist in diesem Kontext die Elektrifizierung von Hochöfen in der Stahlindustrie oder auch die lokale Wasserstofferzeugung. Solche Vorhaben benötigen extrem leistungsfähige und gut integrierte elektrische Systeme. Ein weiterer Wachstumstreiber sind Rechenzentren und künstliche Intelligenz. Diese Anwendungen erzeugen einen enormen zusätzlichen Bedarf nach einer ausfallsicheren Infrastruktur. Denn man darf nicht vergessen: Während klassische Rechenzentren eine relativ konstante Last im Netz darstellen, sind die neuen KI-Rechenzentren hochvolatile Verbraucher. Das bringt neue Herausforderungen für die Power Quality und die Systemstabilität mit sich. **Deshalb sagen wir bei Hitachi Energy: „No transition without transmission". Die Energie- und Industrietransformation kann nur gelingen, wenn der Netzausbau auf hohem Niveau und kontinuierlich vorankommt.** Wir dürfen nicht auf die Bremse treten und der nächsten Generation die Bürde auferlegen, das nachholen zu müssen.

Sie haben eben die Systemstabilität angesprochen. Wie genau kommt hier neben der Digitalisierung die Automatisierung ins Spiel?

Alle drei Bereiche, Elektrifizierung, Digitalisierung und Automatisierung, entfalten ihre volle Wirkung nur gemeinsam. Durch den Wegfall konventioneller Kraftwerke, also Gas, Kohle und Atomkraft, verlieren wir die großen Generatoren. Deren rotierende Massen haben durch ihre physikalische Trägheit bisher Schwankungen im Netz abgefedert und Blindleistung bereitgestellt, die für die Spannungsstabilität im Netz unerlässlich ist. Anlagen für erneuerbare Energien wie Wind und Solar speisen ihren Strom hingegen über Leistungselektronik ein – ihnen fehlen diese rotierenden, mechanischen Massen völlig. Deshalb müssen wir diese Netzstabilität nun künstlich herstellen. Um auf Netzänderungen künftig im Millisekundenbereich reagieren zu können, reicht die manuelle Netzführung durch den Menschen aber nicht mehr aus. Wir brauchen Automatisierung und KI, die Probleme im Vorfeld berechnet und dem Leitstellenpersonal konkrete Lösungswege vorschlägt. Zudem bringen wir neue automatisierte Betriebsmittel ins Netz.

Welche Betriebsmittel meinen Sie da konkret?

Ich denke zum Beispiel an sogenannte Enhanced STATCOM-Anlagen. Das sind hochmoderne Kompensationsanlagen, die Blindleistung liefern und – ausgestattet mit Superkondensatoren



Hitachi Energy investiert in den Ausbau der Fertigungskapazitäten der Fabrik für Leistungstransformatoren in Bad Honnef.

– sogar kurzzeitig Wirkleistung bereitstellen können, um das Netz zu stabilisieren. Ein weiterer zentraler Baustein ist die Hochspannungs-Gleichstrom-Übertragung, kurz HGÜ, die beispielsweise bei den großen Nord-Süd-Trassen in Deutschland oder bei Interkonnektoren zum Einsatz kommt. Hier spielt die Leistungselektronik eine entscheidende Rolle. Halbleiter und Leistungselektronik sind die Basis, die vieles in der Netzautomation überhaupt erst möglich machen. Das reicht von den Konvertern in den Stromtrassen über die Bahntechnik bis hin zur Ladeinfrastruktur für E-Autos.

In der Industrie spricht man heute oft von „Always on". Anlagen sind permanent ansprechbar und in Bereitschaft. Was bedeutet das für das Stromnetz und wie gehen Sie mit den bestehenden Strukturen um, in denen Sie neue Lösungen integrieren müssen?

„Always on" bedeutet im Stromnetz schlichtweg permanente Verfügbarkeit. Da gibt es kein „Schalter aus, Strom weg". Anlagen, die in erster Linie der Redundanz und Resilienz dienen, laufen immer mit oder stehen in unmittelbarer Bereitschaft. Die Elektrifizierung findet in der Praxis zudem selten auf der sprichwörtlichen grünen Wiese statt. In bestehenden Umspannwerken – dem klassischen Brownfield – sind Flächen extrem begrenzt. **Wir müssen also mehr Leistung auf gleichem Raum unterbringen.** Ein technologischer Hebel, um genau dieses Platzproblem zu lösen, ist der Wechsel von klassischen luftisolierten auf gasisolierte Schaltanlagen. Sie sind wesentlich kompakter. So wird auf dem bestehenden Gelände plötzlich wertvolle Fläche frei, um etwa ein zweites Umspannwerk für den gestiegenen Leistungsbedarf direkt daneben zu bauen.

Fehlt es uns aktuell eher an technischen Lösungen oder an organisatorischen Rahmenbedingungen, um das Tempo der Elektrifizierung zu halten?

Technisch gesehen sind die meisten Lösungen bereits vorhanden oder in einem fortgeschrittenen Entwicklungsstadium. Es gibt keine technische Begründung, die Elektrifizierung nicht im nötigen Tempo voranzutreiben. Die größten Herausforderungen liegen tatsächlich im organisatorischen und regulatorischen Bereich. Genehmigungsverfahren und hohe Auflagen können Projekte verzögern. Auch wenn sich hier durch Beschleunigungsgesetze in letzter Zeit einiges spürbar verbessert hat, müssen wir die Regulatorik noch stärker an die neuen Herausforderungen, wie etwa die Systemstabilität, anpassen. Unternehmen wie wir benötigen langfristige Planungssicherheit. Wir investieren weltweit 9 Milliarden US-Dollar in den Kapazitätsaufbau, erweitern Werke und stellen Personal ein. Dafür müssen die Rahmenbedingungen stimmen.

Zum Abschluss ein Blick auf die Hardwareebene: Elektrifizierung und Connectivity sind eng verknüpft – sowohl für Energie als auch für Daten. Welche Anforderungen ergeben sich daraus an Schnittstellen und Steckverbinder?

Die absolut zentrale Anforderung heißt Interoperabilität, dicht gefolgt von Cybersecurity. In einem zunehmend vernetzten Energiesystem müssen Komponenten und Schnittstellen absolut zuverlässig miteinander kommunizieren. Nehmen Sie große HGÜ-Systeme mit mehreren Terminals: Wenn wir hier Leitungen und Konverter verschiedener Hersteller zusammenschließen, muss vorab extrem genau getestet werden, ob diese interoperabel und sicher arbeiten. In der Industrie gibt es dafür längst etablierte Standards, im Bereich der Hochspannungsnetze arbeiten die Herstellergruppen in Interoperabilitäts-Gremien intensiv daran. Mehr Daten und eine verlässliche Konnektivität helfen uns, das Netz besser zu verstehen und resilienter zu betreiben. **Deshalb ist Connectivity für mich nicht nur eine technische Schnittstellenfrage, sondern ein zentraler Enabler für ein stabiles, zukunftsfähiges Stromnetz.**



Connectivity ist ein zentraler Enabler für ein stabiles, zukunftsfähiges Netz.

customer benefits

Höhere Leistungen zählen zu den zentralen Herausforderungen der fortschreitenden Elektrifizierung. In Industrie, Energie-Infrastruktur und Mobilität steigen die Anforderungen an die Connectivity kontinuierlich, da die bestehenden Systeme immer leistungsfähiger werden. Mit der Han® HC Double Contact Technology (=DCT) begegnet HARTING diesem Trend und erweitert die Lösungen für Hochstromanwendungen.



Erhöhte Sicherheit dank berührgeschützter Kontakte auf beiden Seiten

Double Contact Technology macht

HOCHSTROM-STECKVERBINDER LEISTUNGSFÄHIGER

Norbert Weiß
Teamleader Marketing Service, HARTING Technologiegruppe

> Schnelle und einfache Installation
> Hohe Flexibilität
> Hohe Sicherheit



20 %

höhere Stromtrag-fähigkeit im Vergleich zu klassischen HC-Kontakten

HARTING verfügt für die Übertragung solch hoher Ströme über bewährte, besonders robuste Lösungen: die Baureihen HC-Modular 250, 350 und 650, die vor allem in Schienenfahrzeugen und Outdoor-Applikationen zum Einsatz kommen. Um dem Bedarf nach höherer Stromtragfähigkeit gerecht zu werden, hat das Unternehmen das bestehende Portfolio überarbeitet. Ergebnis sind Steckverbinder mit *Han® HC Double Contact Technology.* Sie bieten mehr Leistung, minimale Übergangswiderstände, ein verbessertes Wärmemanagement und eine einfache, sichere Installation.

Die Leistungsfähigkeit wächst u. a. mit der Kontaktfläche. Der Elektronenfluss verläuft deshalb bei der neuen Reihe „doppelt" – über einen innen liegenden Pin im Buchsenkontakt sowie über eine umlaufende Lamelle, die auf den Stiftkontakt übergreift. Die höhere Stromtragfähigkeit wurde im Labor bestätigt: Die nach dem Durchmesser benannten Kontakte DCT CU 18, DCT CU 22 und DCT CU 30 bringen bis zu 20 % mehr Leistung im Vergleich zum bisherigen Standard.

Einfache Handhabung

Die Sicherheit in der Handhabung ist gewachsen, weil die DCT-Serie einen Berührschutz für beide Seiten der Steckverbindung bietet: für Stift und Buchsen-Kontakte (bislang war nur die Female-Seite berührsicher). Monteure wissen zudem: Je dicker das Kabel, desto schwieriger die Installation. Die Entwickler bei HARTING haben deshalb auch die Montage weiter optimiert. **Die neuen Kontakte ermöglichen ein leichteres Handling durch Drehbarkeit.** Mit einem Klick rasten sie sicher im Isolierkörper ein und lassen sich anschließend frei darin drehen. Mechanische Zugbelastungen im Kabel werden durch die Rotationsbewegung zuverlässig ausgeglichen. Das erleichtert die Montage erheblich.

Weniger und leichtere Varianten

Im bisherigen Portfolio, HC-Modular, gibt es 44 unterschiedliche Halteplatten und fünf Installationsverfahren. Für die DCT-Kontakte dagegen gibt es nun ein einheitliches Montageverfahren. Die Halterahmen variieren nur in Größe und Zahl der Kontakte, die Form der Ausschnitte für die Isolierkörper ist überall dieselbe. **Auch die Demontage wird einfacher: Die Halteplatte lässt sich drehend entriegeln, der Isolierkörper kann widerstandsfrei aus dem Blech gezogen werden.**

Produktmanager Maik Iphöfer weist auf mögliche Gewichts- und Platzvorteile durch einen Umstieg auf die neue Kontakt-Reihe hin: „Aufgrund der neuen Leistungsklassen haben wir eine größere Varianz in den Stromstärken, was es dem Kunden erlaubt, einen passenden Kontakt für seine Anwendung auszusuchen und nicht überdimensioniert auszulegen."

Stromtragfähigkeit Han® HC DCT CU	
DCT CU 30	***bis 660 A***
DCT CU 22	***bis 420 A***
DCT CU 18	***bis 300 A***

Benefits:

- **Bis zu 20 % höhere Stromtragfähigkeit** im Vergleich zu klassischen HC-Kontakten
- **Schnelle und einfache Installation** dank effizientem Kodierungssystem, drehbaren Kontakten und weniger Komponenten für den Rahmen
- **Erhöhte Sicherheit** dank berührgeschützter Kontakte auf beiden Seiten
- **Hohe Flexibilität** dank modularem Aufbau: geeignet für Hochstromanwendungen in verschiedenen Branchen

Fazit:

Applikationen, die einen hohen Leistungsbedarf haben, können mithilfe von Kabel-Konfektionen, die mit der neuen HARTING Double Contact Technology bestückt sind, höhere Leistungen (bis 660 A pro Kontakt) transportieren und mit geringerem Arbeitsaufwand installiert und für Wartungen demontiert werden.

DIGITALER ZWILLING:

BASIS FÜR DURCHGÄNGIGE WERTSCHÖPFUNG

Elektrifizierung gilt heute als gesetzt. Sie bildet das Fundament moderner Industrieanwendungen. Der Fokus verschiebt sich zunehmend auf die Frage, wie sich dieses Fundament effizient gestalten lässt. Dabei rückt ein Thema in den Mittelpunkt: der digitale Zwilling.

Andreas Wedel
Director Digitalisation, Data & AI, HARTING Technologiegruppe



Verschmelzung von Energie und Daten

Die klare Trennung zwischen Energieversorgung und Datenübertragung gehört zunehmend der Vergangenheit an. Moderne Anwendungen kombinieren beide Ebenen in integrierten Systemen. **Elektrifizierung wird damit zur Selbstverständlichkeit und eine Grundvoraussetzung für digitale Prozesse.**

Digitalisierung als Voraussetzung

Gleichzeitig zeigt sich: **Ohne Digitalisierung ist Elektrifizierung heute nicht mehr nachhaltig umsetzbar.** Digitale Zwillinge, standardisierte Datenmodelle und der digitale Produktpass sind notwendig, um elektrische Systeme effizient zu planen, zu dokumentieren und langfristig nachvollziehbar zu betreiben.

Gerade im industriellen Umfeld ist das entscheidend: Planung, Umsetzung und Betrieb finden oft räumlich und organisatorisch getrennt statt.

Der digitale Produktpass schafft hier eine gemeinsame Datenbasis über den gesamten Lebenszyklus hinweg.

Der Produktpass als Datenanker

Der digitale Produktpass fungiert als strukturierter Informationsträger für Komponenten und Systeme. Er stellt maschinenlesbare Daten bereit, die in Engineering-Tools, Plattformen und Anwendungen integriert werden können.

Damit wird er zum zentralen Baustein für:
- durchgängige Prozesse
- automatisierbare Workflows
- konsistente Datenverfügbarkeit

Automatisierung und KI als Treiber

Mit zunehmender Digitalisierung verändert sich auch die Arbeitsweise im Engineering. Künftig werden Systeme auf Basis vorhandener Daten eigenständig Vorschläge für Komponenten generieren. Dabei fließen nicht nur die Informationen aus dem digitalen Produktpass ein, sondern auch Kontextwissen über Prozesse, Applikationen und regulatorische Anforderungen – beispielsweise in unterschiedlichen Ländern.

Statt manueller Recherche entstehen automatisierte Abläufe:
- Anforderungen analysieren
- Produkt- und Anwendungsdaten verknüpfen
- regulatorische Vorgaben berücksichtigen
- passende Produkte vorschlagen

Der digitale Produktpass liefert dafür die notwendigen strukturierten Informationen und wird zur zentralen Wissensbasis für datengetriebene und KI-gestützte Engineering-Prozesse.

Always on und neue Anforderungen

Parallel steigen die Anforderungen an die Verfügbarkeit von Daten und Systemen. Global vernetzte Anwendungen, Simulationen und KI-gestützte Prozesse benötigen jederzeit Zugriff auf aktuelle Informationen.

Auch Produktdaten müssen daher „Always on" verfügbar sein, nicht nur für Menschen, sondern zunehmend auch für automatisierte Systeme.

Ausblick

Die technologische Basis ist bereits gelegt. Erste Anwendungen sind verfügbar, insbesondere im Engineering-Umfeld. In den kommenden drei bis fünf Jahren dürften sich KI-gestützte Produktauswahl und datengetriebene Prozesse breit etablieren.

Der digitale Produktpass entwickelt sich dabei vom Nice-to-have zum zentralen Enabler – als verbindendes Element zwischen physischer und digitaler Welt.

Trotz aller Automatisierung bleibt der Mensch ein zentraler Faktor. Der digitale Produktpass ist zwar für die maschinelle Verarbeitung ausgelegt, doch Erfahrung, Fachwissen und Urteilsvermögen lassen sich nicht vollständig automatisieren. HARTING stellt deshalb Informationen sowohl menschenlesbar als auch maschinenlesbar bereit und verbindet mit seinen digitalen Tools die Stärken von Mensch und Maschine.

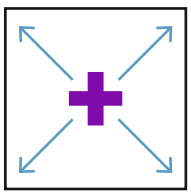
customer benefits



Die Elektrifizierung verändert ganze Branchen. Neue Antriebe, intelligente Sensorik, Leistungselektronik und digitale Systeme erhöhen den Bedarf an Energie- und Datenübertragung. Elektrifizierung muss dabei ganzheitlich betrachtet werden: Wo Strom fließt, braucht es eine Verbindung. Und wo die **Elektrifizierung zunimmt, wächst gleichzeitig der Bedarf an Connectivity.** Steckverbinder müssen daher nicht nur mehr Leistung übertragen, sondern auch die passenden Schnittstellen für zukünftige Anwendungen bereitstellen. Die Herausforderung besteht darin, immer mehr Leistung und Konnektivität auf begrenztem Bauraum unterzubringen.

MEHR LEISTUNG AUF GLEICHEM RAUM

Han® 4B: Mehr Energiedichte für Maschinenbau und Robotik



Jede zusätzliche elektrische Funktion benötigt eine Schnittstelle. Wo mehr elektrifiziert wird, werden folglich auch mehr Steckverbinder benötigt. Die verfügbare Einbaufläche wächst jedoch nicht im gleichen Maß. Genau hier setzt die neue Han® Baugröße 4 an. HARTING integriert die Zwischengröße in die Baureihen Han® HPR, Han® B und Han-Eco®. Mit Stromtragfähigkeiten bis 70 A erreicht sie die Leistung größerer Standards und spart gleichzeitig wertvollen Bauraum.



20 % kleiner!
Vergleich Kunststoffgehäuse Han-Eco® 6 vs. Han-Eco® 4

Maschinenbau und Robotik verlangen nach immer höheren Leistungsdichten.

Die Baugröße 4 schließt die Lücke zwischen Han® 3A und Han® 6B und kombiniert hohe Stromtragfähigkeit mit kompakten Abmessungen.

Beim Vergleich der Gehäusemaße wird der Vorteil für den Maschinenbauer deutlich: Das Han® 4B Standard-Anbaugehäuse benötigt 13 % weniger Grundfläche als das nächstgrößere Gehäuse Han® 6B.



Dadurch können mehr Steckverbinder auf derselben Schaltschrankwandfläche angebracht werden.

Mit bis zu 70 A Stromtragfähigkeit deckt die Zwischengröße den steigenden Leistungsbedarf moderner Maschinen ab und gibt zusätzlich Raum frei z. B. für Datenübertragung, Speicherelemente oder Komponenten der Kühl- und Lüftungstechnik.

Han-Eco® 4: Nachhaltig und flexibel

Aus den Kunststoffgehäusen der Reihe Han-Eco® Mod. 4 entstehen die leichtesten Han® Steckverbinder für Stromtragfähigkeiten bis 70 A. **Damit bieten sich neue Möglichkeiten für Rechenzentren, Energieinfrastruktur und industrielle Anwendungen.** Ein Han-Eco Mod. 4 benötigt – mit Tülle und Anbaugehäuse – 20 % weniger Bauraum als das Pendant in Baugröße 6. Das schafft Platz für Datenübertragung, Kühlung oder weitere elektrische Funktionen. Gleichzeitig ermöglicht die modulare Bauweise (Han-Eco® + Han-Modular®) eine flexible Kombination von Energie-, Signal- und Datenübertragung.

Han® 4 HPR: Weniger Platz, geringeres Gewicht

Für Anwendungen in den Bereichen Energie und Verkehr sind die Kriterien Robustheit, Gewicht und Bauraum entscheidend. Die Baugröße Han® 4 HPR halbiert den Platzbedarf an der Montagewand gegenüber Han® 6 HPR. In Bezug auf die vergleichbare Lösung der Reihe Han® HPR Compact werden 40 % Bauraum eingespart.

Han® 4 HPR bringt Gewichtsvorteile: Der Steckverbinder Han® 6 HPR wiegt – mit Tüllengehäuse (M25, gerader Kabeleingang), Anbaugehäuse, Schraubverriegelung und Han-Modular® Gelenkrahmen – insgesamt 530 g.

In derselben Zusammenstellung wiegt Han® 4 HPR nur knapp 270 g. Möglich wird dies unter anderem durch Verwendung eines Halterahmens aus Kunststoff anstelle von Metall. Wichtig ist, dass auch die leichtere Lösung die hohen Anforderungen an Robustheit und Schutzart nach IP68/IP69 erfüllt – und nach IEC 45545 sowie UL1977 zertifiziert ist.

Fazit

Nicht jede Anwendung passt in bestehende Rastergrößen. Mit der Baugröße 4 schließt HARTING diese Lücke und erweitert das Steckverbinder-Spektrum für die Elektrifizierung um einen wichtigen Applikationsbereich.

Gleichzeitig trägt die Lösung der steigenden Energiedichte moderner Anwendungen Rechnung und erhöht die Leistungsfähigkeit pro Bauraum deutlich.

Norbert Weiß
Teamleader Marketing Service, HARTING Technologiegruppe

VOM ELEKTRISCHEN ANTRIEB ZUM INTELLIGENTEN ENERGIESYSTEM

Warum die nächste Stufe der Elektrifizierung auf Batterien, Daten und Vernetzung setzt



Die Schiene war schon immer ein Pionier im Bereich der Elektrifizierung. Schon vor Jahrzehnten setzten sich elektrische Antriebe durch, weil sie effizienter, leistungsfähiger und wirtschaftlicher waren.

Die erste Stufe: Elektrifizieren aus technischer Vernunft

Betrachtet man die Entwicklung der Bahn, wird schnell deutlich, warum. Elektrische Antriebe bieten eine hohe Leistungsdichte, ermöglichen die Rückgewinnung von Bremsenergie und verursachen weniger Verschleiß als viele konventionelle Antriebskonzepte. Gleichzeitig sind sie leiser, komfortabler und wirtschaftlicher im Betrieb.

Aus technischer und ökonomischer Sicht sprechen viele Argumente für den elektrischen Antrieb. Deshalb war die Elektrifizierung im Schienenverkehr zunächst vor allem eine Frage der Effizienz und Leistungsfähigkeit und weniger eine klimapolitische Entscheidung.

Batterien schließen die letzten Lücken

Heute sind wir mitten im nächsten Entwicklungsschritt der Elektrifizierung. **Zwar sind viele Bahnstrecken elektrisch betrieben, doch das Oberleitungsnetz weist in zahlreichen Regionen weiterhin Lücken auf.**

Moderne Batterietechnologien eröffnen hier neue Möglichkeiten. Nicht elektrifizierte Streckenabschnitte sind im Vergleich zur Tageskilometerleistung kurz und können so mit relativ kleinen Batterien überbrückt werden. Anschließend kann der Zug wieder Energie aus der Oberleitung beziehen. **Dadurch lässt sich die Abhängigkeit von fossilen Energieträgern deutlich reduzieren, ohne überall kostenintensive Infrastruktur schaffen zu müssen.** Gleichzeitig entstehen neue wirtschaftliche Möglichkeiten für Betreiber und Aufgabenträger.

Über Stadler

Stadler baut seit über 80 Jahren Züge. Der Anbieter von Mobilitätslösungen im Schienenfahrzeugbau, Service und Signaltechnik hat seinen Hauptsitz im ostschweizerischen Bussnang. An 8 Produktions- und 6 Engineering-Standorten sowie an über 95 Servicestandorten arbeiten über 17.000 Mitarbeitende, davon gegen 6.000 in der Schweiz. Stadler ist der weltweit führende Hersteller von Fahrzeugen mit alternativen Antrieben (Wasserstoff und Batterie) sowie von Zahnradbahnfahrzeugen. Das Unternehmen ist sich seiner gesellschaftlichen Verantwortung für zukunftsfähige Mobilität bewusst und steht daher für innovative, nachhaltige und langlebige Qualitätsprodukte.



Johannes Wilhelmer
Leiter Green Technology, Stadler



Bild: NAH.SH/Manuel Weber

Ohne Daten keine moderne Elektrifizierung

Mit dieser Entwicklung verändert sich jedoch auch die Rolle der Elektrifizierung selbst. Sie beschränkt sich nicht mehr allein auf den Antrieb eines Fahrzeugs.

Je stärker Batterien und Energiespeicher in den Betrieb integriert werden, desto wichtiger werden Daten, Vernetzung und digitale Steuerungssysteme.

Aus meiner Sicht ist Elektrifizierung heute ohne Digitalisierung kaum noch denkbar. Sensoren, Datenschnittstellen und automatisierte Regelkreise sind längst integraler Bestandteil moderner Bahnsysteme. Den größten Nutzen erzielen wir dann, wenn Fahrzeuge, Infrastruktur und Betrieb nicht isoliert betrachtet werden, sondern als vernetztes Gesamtsystem.

Von einzelnen Fahrzeugen zu intelligenten Flotten

Besonders sichtbar wird dieser Wandel bei batterieelektrischen Flotten. Betreiber müssen Ladezeiten, Energieverfügbarkeit und Fahrzeugumläufe deutlich präziser planen als früher.

Deshalb gewinnen digitale Lösungen für Energiemanagement und Flottenoptimierung zunehmend an Bedeutung. **Durch die intelligente Auswertung von Fahrzeugdaten lassen sich Verfügbarkeit erhöhen, Wartungsaufwände reduzieren und Energieverbräuche optimieren.**

Der Schienenfahrzeugbau entwickelt sich dadurch weiter: Neben dem Fahrzeug selbst werden digitale Services und intelligente Softwarelösungen zu einem wichtigen Bestandteil des Gesamtsystems.

Der Zug wird Teil des Energiesystems

Der nächste Schritt geht noch darüber hinaus. Künftig könnten Batteriezüge nicht nur Energie verbrauchen, sondern aktiv Teil eines intelligenten Energienetzes werden.

Ein abgestellter Zug könnte Energie aufnehmen oder bei Bedarf wieder bereitstellen. Die Batterie würde damit zusätzliche Aufgaben übernehmen und weit mehr leisten als die reine Versorgung des Fahrbetriebs.

Für mich ist genau das die nächste Stufe der Elektrifizierung: Was einst mit dem elektrischen Antrieb begann, entwickelt sich heute zu einem intelligent vernetzten System aus Fahrzeugen, Batterien, Daten und Energieflüssen.

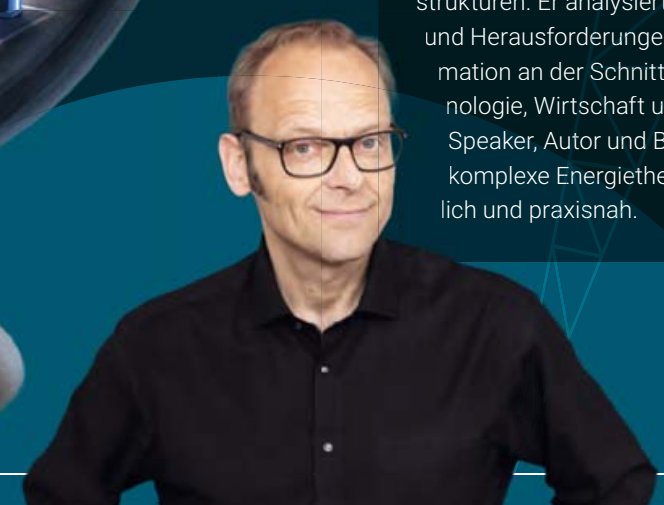
Die Zukunft der Mobilität entscheidet sich deshalb nicht allein auf der Schiene, sondern zunehmend in der intelligenten Verbindung von Elektrifizierung und Digitalisierung.

Warum das Stromnetz zum entscheidenden Erfolgsfaktor der Energietransformation wird

„WIR SPAREN GELD DURCH ELEKTRIFIZIEREN“

Die Elektrifizierung von Industrie, Mobilität und Wärme gilt als Schlüssel für eine nachhaltige und wettbewerbsfähige Wirtschaft. Doch während häufig über erneuerbare Energien, Batteriespeicher oder Elektromobilität gesprochen wird, bleibt ein zentraler Erfolgsfaktor oft im Hintergrund: das Stromnetz. Für Dr. Tim Meyer steht fest: Die Zukunft der Elektrifizierung entscheidet sich im Netz.





Dr. Tim Meyer
ist Energieexperte, Autor und Berater mit mehr als 25 Jahren Erfahrung in der Energiewirtschaft.

Der promovierte Elektrotechniker beschäftigt sich vor allem mit Elektrifizierung, Energiemärkten und Netzinfrastrukturen. Er analysiert die Chancen und Herausforderungen der Transformation an der Schnittstelle von Technologie, Wirtschaft und Politik. Als Speaker, Autor und Berater macht er komplexe Energiethemen verständlich und praxisnah.

tec.news: Herr Dr. Meyer, wie hat sich Ihr Verständnis von Elektrifizierung in den vergangenen Jahren verändert?
Dr. Tim Meyer: Früher ging es vor allem darum, erneuerbare Energien günstiger zu machen und ins System zu integrieren. Heute umfasst Elektrifizierung viel mehr: Wärme, Mobilität, Industrieprozesse und neue Geschäftsmodelle. Ihre Wirkung reicht inzwischen tief in nahezu alle Lebens- und Wirtschaftsbereiche hinein.

Welche Rolle spielen dabei Digitalisierung und Automatisierung?
Eine entscheidende. **Elektrifizierung funktioniert auf Dauer nicht ohne Digitalisierung.** Erst durch digitale Transparenz wird sichtbar, wie Netze ausgelastet sind, wo Engpässe entstehen und welche Kapazitäten verfügbar sind. Darauf aufbauend lassen sich Prozesse automatisieren und optimieren. Ich sage deshalb gerne: **Die Digitalisierung der Energiesysteme ist die große Schwester der Elektrifizierung.**

Wer über Elektrifizierung spricht, sollte vor allem über Netze sprechen – warum?
Weil es der eigentliche Schlüssel zur Elektrifizierung der Zukunft ist. Nicht Erzeuger, Verbraucher oder Speicher allein entscheiden über den Erfolg, sondern das Netz, das alles miteinander verbindet. Es transportiert Energie, schafft Flexibilität und ermöglicht überhaupt erst die wirtschaftliche Optimierung des Gesamtsystems.

Diese Bedeutung wird oft unterschätzt.
Absolut. Das Netz wird häufig als Kostenfaktor wahrgenommen. Tatsächlich ist es aber eine Innovationsplattform – vergleichbar mit dem Internet oder dem Mobilfunknetz. Erst eine leistungsfähige Infrastruktur ermöglicht neue Geschäftsmodelle, digitale Services und industrielle Anwendungen. **Ohne moderne Netze wird die Elektrifizierung zum Flaschenhals.**

Deutschland gilt bei der Digitalisierung seiner Stromnetze eher als Nachzügler. Bremsen wir uns damit selbst aus?
Leider ja. Andere europäische Länder sind deutlich weiter, etwa bei intelligenten Stromzählern oder digitalen Netzprozessen. Hinzu kommt eine sehr kleinteilige Netzlandschaft. Es gibt über 850 Verteilnetzbetreiber mit eigenen technischen Vorgaben, Softwaresystemen und Geschäftsprozessen. Das macht vieles unnötig kompliziert, langsam und teuer.

Wer die Elektrifizierung beschleunigen will, muss vor allem die Netzinfrastruktur modernisieren.

Innovation statt mehr Kupfer

Ein Beispiel für das Potenzial intelligenter Netze: Durch den Einsatz eines Mittelspannungsreglers von Hitachi Energy konnte ein Netzbetreiber rund 260 Prozent mehr Photovoltaikleistung in sein Netz integrieren – ohne zusätzliche Leitungen zu verlegen. Das zeigt: Nicht immer braucht es mehr Kupfer. Oft reichen Digitalisierung und moderne Netztechnik, um vorhandene Infrastruktur deutlich besser auszulasten.

USA: Netze als Marktplatz

In den USA werden Strompreise und Netzkapazitäten per Marktdesign gemeinsam optimiert. Lokale Preissignale zeigen, wo Energie verfügbar ist und wo Engpässe entstehen. Dies ist ein Beispiel dafür, wie Digitalisierung und Marktmechanismen helfen können, Stromnetze effizienter auszulasten und Investitionen gezielter zu steuern.

Oft heißt es, der notwendige Netzausbau werde die Energieversorgung der Zukunft extrem verteuern.
Das Gegenteil ist richtig. Die absoluten Kosten werden zwar steigen, weil wir mehr Infrastruktur benötigen. Gleichzeitig transportieren die Netze aber deutlich mehr Strom als heute. Dadurch sinken die spezifischen Kosten pro Kilowattstunde.

Oder anders formuliert: **Wir sparen Geld durch Elektrifizieren.** Je stärker wir Mobilität, Wärme und Industrie elektrifizieren, desto besser werden die Netze ausgelastet – und desto wirtschaftlicher werden sie.

Was muss jetzt passieren?
Wir brauchen Ausbau, Digitalisierung und Standardisierung gleichzeitig. Die Technologien sind vorhanden, ebenso das Know-how in der Elektro- und Softwareindustrie. Jetzt brauchen wir verlässliche Rahmenbedingungen und wirtschaftliche Anreize für die Modernisierung der Netze. **Wer die Elektrifizierung beschleunigen will, muss vor allem die Netzinfrastruktur modernisieren.**

Was ist aus Ihrer Sicht die wichtigste Erkenntnis, die Politik, Wirtschaft und Gesellschaft jetzt verinnerlichen müssen?
Die Elektrifizierung ist längst keine Zukunftsvision mehr, sondern wirtschaftliche Realität. Damit sie ihr volles Potenzial entfalten kann, müssen wir das Stromnetz als die zentrale Infrastruktur des elektrischen Zeitalters begreifen. **Der Erfolg der Elektrifizierung wird nicht zuerst im Kraftwerk entschieden – sondern im Netz.**

INTELLIGENZ FÜR DIE STECKDOSE

Warum Elektromobilität erst durch Daten, Kommunikation und Flexibilität ihr volles Potenzial entfaltet



Elektrifizierung bedeutet heute weit mehr, als Geräte einfach mit Strom zu versorgen. Lange Zeit floss elektrische Energie nur in eine Richtung: vom Kraftwerk zum Verbraucher. Mit der Elektromobilität entsteht nun ein deutlich komplexeres System. Fahrzeuge werden zu mobilen Energiespeichern, die nicht nur laden, sondern künftig auch Strom zurückgeben können.



Dr. Anica Mertins
Managerin Ladeinfrastruktur Technik & Energiesystem Nationale Leitstelle Ladeinfrastruktur

Besonders sichtbar wird dieser Wandel beim bidirektionalen Laden. Ein Elektroauto dient dann nicht mehr ausschließlich der Mobilität, sondern kann überschüssigen Solarstrom speichern, Haushalte versorgen oder zur Stabilisierung des Energiesystems beitragen. Das eröffnet neue Möglichkeiten für Verbraucherinnen und Verbraucher ebenso wie für Netzbetreiber.

Elektrifizierung braucht Digitalisierung

Damit dies funktioniert, reicht elektrische Energie allein jedoch nicht aus. **Moderne Elektrifizierung ist ohne Digitalisierung kaum denkbar. Fahrzeuge, Wallboxen, Energiemanagementsysteme und Stromnetze müssen kontinuierlich Informationen austauschen.** Sie kommunizieren über Ladezustand, verfügbare Leistung, Strompreise oder Netzkapazitäten. Je intelligenter die Anwendungen werden, desto wichtiger werden Daten und standardisierte Kommunikationsschnittstellen.

Das Ziel ist klar: Energie soll dann genutzt werden, wenn sie verfügbar und sinnvoll einsetzbar ist. Statt Fahrzeuge automatisch am frühen Abend zu laden, wenn viele Menschen gleichzeitig nach Hause kommen, können Ladevorgänge in Zeiten hoher Solar- oder Windstromproduktion verschoben werden. Das entlastet Netze und verbessert die Integration erneuerbarer Energien.

Gleichzeitig entstehen neue Anforderungen. Damit unterschiedliche Fahrzeuge, Wallboxen und Energiemanagementsysteme zuverlässig zusammenarbeiten, sind einheitliche Standards erforderlich. Noch fehlen in vielen Bereichen interoperable Lösungen. Viele Systeme funktionieren bislang nur innerhalb geschlossener Herstellerwelten. **Für eine breite Markteinführung müssen Geräte unterschiedlichster Anbieter dieselbe Sprache sprechen.**

Daten als Schlüssel für intelligente Netze

Auch die Verfügbarkeit von Daten spielt dabei eine zentrale Rolle. **Wer intelligente**

Anwendungsbeispiele bidirektionales Laden

Innerhalb der Kundenanlage (V2H, „behind-the-meter“)

gesteuertes Laden



PV-Stromnutzung mit intelligenter Wallbox (PV-Eigenverbrauchserhöhung)



Börsenstromnutzung mit intelligenter Wallbox (tarifoptimiertes Laden)



Reduzierte Strombezugskosten bei steuerbarer Verbrauchseinrichtung (tarifoptimiertes Laden)

bidirektionales Laden



Stromversorgung für Haushalt/mobile Geräte (Notstrom, mobile Powerbank)



PV-Stromnutzung mit Zwischenspeicherung im Fahrzeug (PV-Eigenverbrauchserhöhung)



PV- und Börsenstromnutzung mit Zwischenspeicherung im Fahrzeug (PV-Eigenverbrauchserhöhung und tarifoptimiertes Laden)

Außerhalb der Kundenanlage (V2G, „in-front-of-the-meter“)

bidirektionales Laden ins Netz



PV-Stromhandel im Intraday-/Day-Ahead-Handel (Strompreis-Arbitrage)

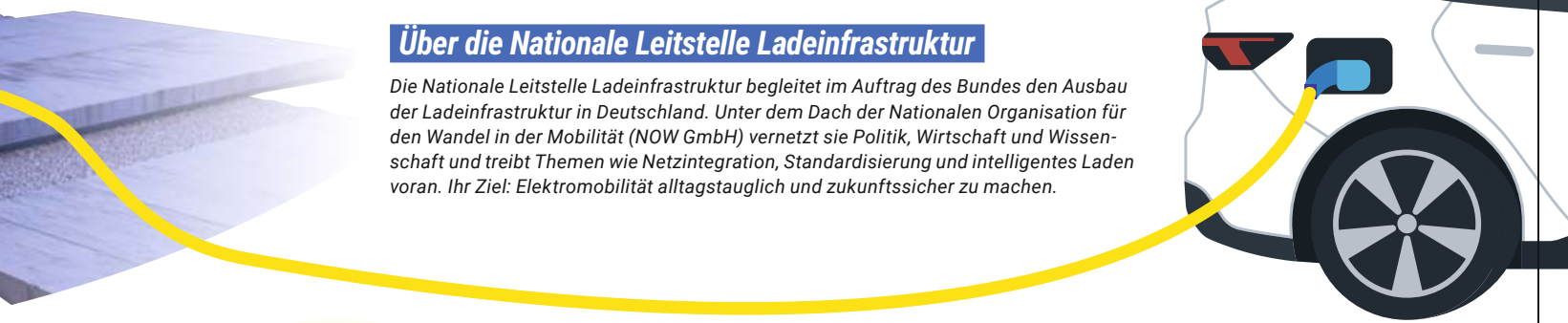


Börsenstromhandel im Intraday-/Day-Ahead-Handel (Strompreis-Arbitrage)



Strombereitstellung für Systemdienstleistungen der Netzbetreiber (Regelleistung und Redispatch)

Quelle: Nationale Leitstelle Ladeinfrastruktur, NOW GmbH [Hrsg.], (2024; Datenbasis: ADAC): Positionspapier Bidirektionales Laden diskriminierungsfrei ermöglichen



Über die Nationale Leitstelle Ladeinfrastruktur

Die Nationale Leitstelle Ladeinfrastruktur begleitet im Auftrag des Bundes den Ausbau der Ladeinfrastruktur in Deutschland. Unter dem Dach der Nationalen Organisation für den Wandel in der Mobilität (NOW GmbH) vernetzt sie Politik, Wirtschaft und Wissenschaft und treibt Themen wie Netzintegration, Standardisierung und intelligentes Laden voran. Ihr Ziel: Elektromobilität alltagstauglich und zukunftssicher zu machen.

Langfristig wird niemand mehr manuell entscheiden müssen, wann ein Fahrzeug geladen oder entladen wird.

Energiesysteme aufbauen will, benötigt Informationen in Echtzeit. Nur dann lassen sich Ladeprozesse automatisieren und Netzkapazitäten effizient nutzen. Die entscheidende Frage lautet deshalb zunehmend nicht mehr, ob ausreichend elektrische Energie vorhanden ist, sondern wie intelligent Erzeugung, Speicherung und Verbrauch miteinander verknüpft werden.

„Always on“ – aber energieeffizient

Hinzu kommt ein weiteres Missverständnis: „Always on“ bedeutet nicht zwangsläufig hohen Energieverbrauch. Moderne Kommunikationsprotokolle ermöglichen es, Fahrzeuge und Ladeinfrastruktur in einen energieeffizienten Schlafmodus zu versetzen und nur bei Bedarf wieder zu aktivieren. Systeme bleiben erreichbar, ohne dauerhaft volle Leistung bereitzustellen.

Für die Nutzerinnen und Nutzer soll all dies möglichst unsichtbar bleiben. Langfristig wird niemand mehr manuell entscheiden müssen, wann ein Fahrzeug geladen oder entladen wird. Die Systeme übernehmen diese Aufgaben automatisch – orientiert an Kosten, verfügbarer Energie und Netzanforderungen. Wichtig ist dabei vor allem eines: Das Fahrzeug steht bereit, wenn es benötigt wird.

Elektrifizierung entwickelt sich damit von einer technischen Disziplin zu einer Systemaufgabe. Energie, Daten, Kommunikation und Automatisierung wachsen zusammen. **Erst ihr Zusammenspiel macht aus einzelnen Komponenten ein intelligentes Energiesystem – und eröffnet neue Chancen für eine nachhaltige und resiliente Energieversorgung.**

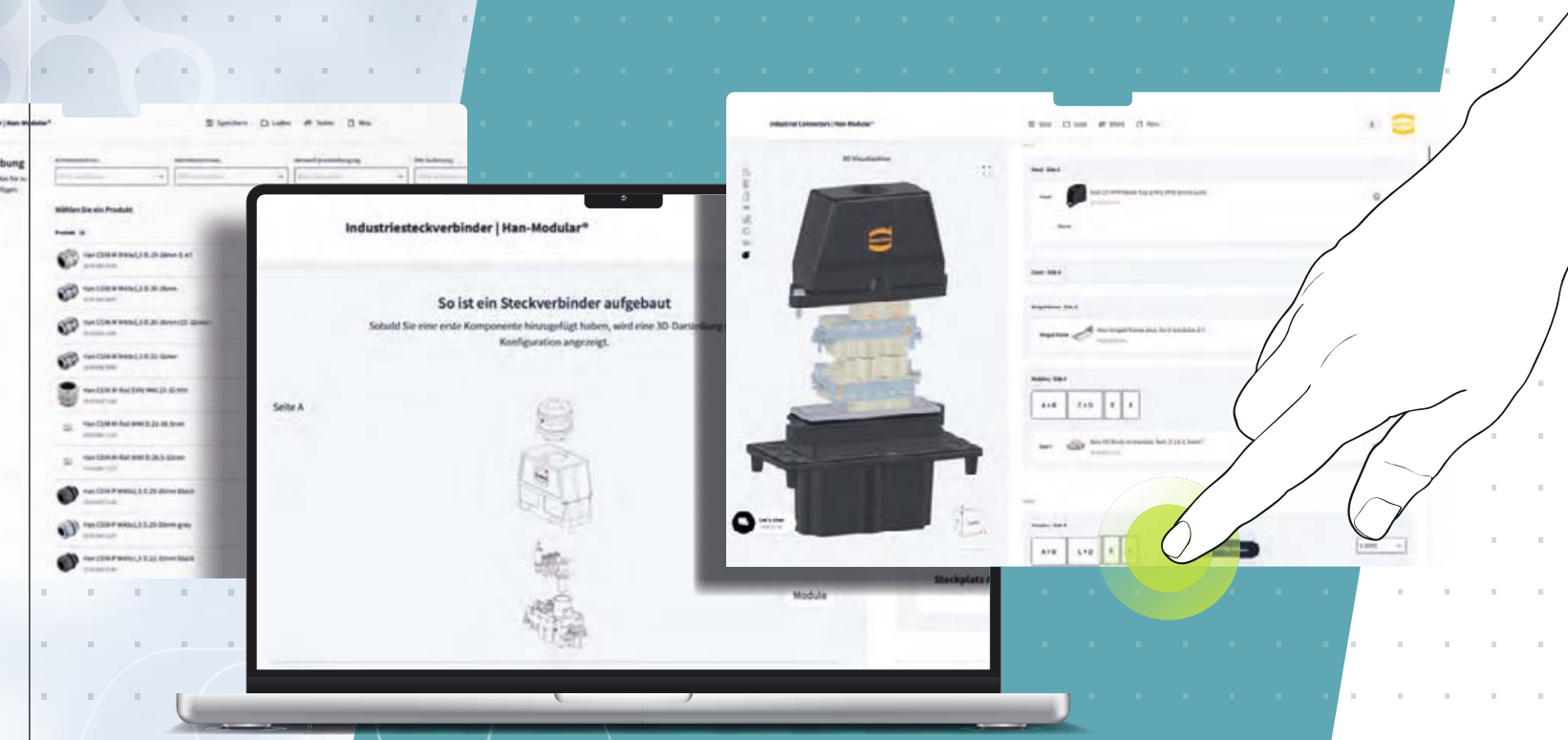
customer benefits

KONFIGURATOREN:
FÜR JEDE ANWENDUNG DER RICHTIGE STECKVERBINDER

Die digitalen Werkzeuge von HARTING führen den Anwender schnell und fehlerfrei zum passenden Steckverbinder – von Applikationen mit hoher Datenrate bis hin zu Hochstrom-Steckverbindern.

Die Auswahl erfolgt geführt. Nutzer definieren ihre elektrischen Anforderungen, die Anzahl der Steckplätze, den Gehäusetyp, die Baugröße, die Baureihe sowie die Schutz- und Verriegelungsart. Die Software empfiehlt dann passende Kombinationen und schließt unpassende Auswahlen automatisch aus. Das Ergebnis ist stets eine technisch valide Produktempfehlung.

Es gibt separate Konfiguratoren für Monoblöcke, Han-Modular® und Hochstromsteckverbinder. Der Modular-Konfigurator schlägt nach Auswahl eines Moduls für einen Steckplatz im Modulrahmen direkt passende Steckpartner für die andere Seite der Steckverbindung vor. Stift- und Buchsenseite passen so von Beginn an zueinander. Auch Customise-Features werden berücksichtigt: Anwender bringen Kabeleingänge nach eigenen Vorgaben zu Zahl und Durchmesser an, können individuelle Bohrungen setzen und Laserbeschriftungen auf den Objekten anbringen. ***Der Solution Wizard bietet eine geführte Steckverbinderauswahl und einen ersten Vorschlag einer möglichen Schnittstelle.***



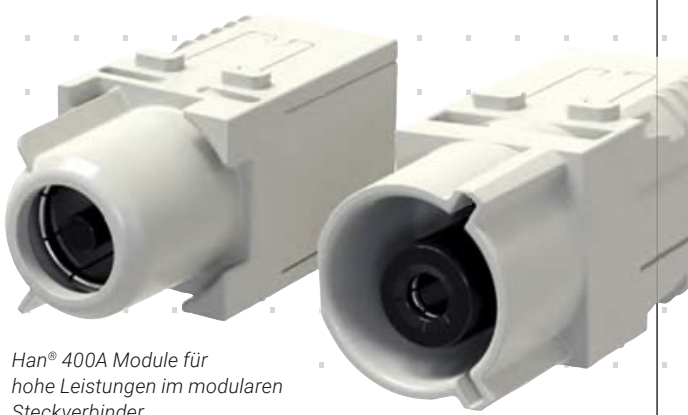
Konfigurieren Sie selbst, ganz nach Ihren Anforderungen: Industrial Connector Han® Konfigurator

HAN-MODULAR® 400A MODUL: HOCHSTROM- UND DATENTRANSFER IN EINER SCHNITTSTELLE

Bei Energiespeichersystemen geht der Trend zu immer größeren Strömen und Leiterquerschnitten. Das Han-Modular® 400A Modul versorgt Anwendungen in batterieelektrischen Zügen mit einem Leistungsbedarf bis 1500 V/400 A. Anschließbar sind Leiter mit Querschnitten bis 185 mm². Die Kontakte können sowohl Gleichstrom als auch Wechselstrom übertragen. Sie entsprechen der Schutzart IP20 und sind berührsicher ausgeführt, sodass beispielsweise beim Anschluss von Batterien keine Gefahr eines Stromschlags für den Bediener besteht.

Als System mit über 200 unterschiedlichen Steckverbindern bietet das Portfolio von Han-Modular® eine Vielzahl von Kombinationsmöglichkeiten.

Als System mit über 200 unterschiedlichen Steckverbindern bietet das Portfolio von Han-Modular® eine Vielzahl von Kombinationsmöglichkeiten. Neben dem 400A Modul für die Leistung finden weitere Module in einem Halterahmen Platz: Damit lassen sich neben der Leistung auch die erforderlichen Daten z. B. für eine Temperaturüberwachung von Batterie-Speicherelementen übertragen. So bieten sich vielfältige Einsatzmöglichkeiten, zum Beispiel in Rechenzentren.



Han® 400A Module für hohe Leistungen im modularen Steckverbinder

impressum

Herausgeber:
HARTING Stiftung & Co. KG, Margrit Harting,
Postfach 11 33, D-32325 Espelkamp,
Tel. +49 5772 47-0, Fax +49 5772 47-400,
Internet: www.HARTING.com

Verantwortlich für den Inhalt:
Dr. rer. nat. Stephan Middelkamp,
Andreas Huhmann

Redaktion Vogel: Sebastian Human

Redaktion HARTING: Volker Uphoff,
Norbert Weiß, Andreas Wedel

Chefredaktion:
Christian Gysin, Julian Fieres

Gesamtkoordination:
Lars Kühme, +49 5772 47-9982

Konzept & Design:
trio-group I.AM communication & marketing GmbH,
www.trio-group.de

FSC www.fsc.org MIX Papier | Fördert gute Waldnutzung FSC® C023618

Produktion und Druck: Meinders & Elstermann GmbH & Co. KG, Belm

Für die Veröffentlichung (ganz oder auszugsweise) von Beiträgen ist eine schriftliche Genehmigung der Redaktion erforderlich. Alle verwendeten Produktbezeichnungen sind Warenzeichen oder Produktnamen der HARTING Stiftung & Co. KG oder anderer Unternehmen.

Trotz sorgfältiger Überprüfung können Druckfehler oder kurzfristige Änderungen der Produktspezifikationen nicht vollständig ausgeschlossen werden. Bindend für die HARTING Stiftung & Co. KG sind daher in jedem Falle die Angaben im entsprechenden Katalog. Umweltfreundlich gedruckt auf 100 % chlorfrei gebleichtem Papier mit hohem Recyclinganteil.

© 11/2026, HARTING Stiftung & Co. KG, Espelkamp. Alle Rechte vorbehalten.

bildnachweis

S. 1: Getty Images 528412509 / 2278846973, Magnific | S. 2: HARTING, Magnific, Getty Images 1594795238 | S. 4/5: Magnific, HARTING, Getty Images 1362788811 / 2233827796 / 173553965 / 2147572771 / 2279893310 / 187433894, Hitachi Energy | S. 6/7: Magnific, Getty Images 1479935086 / 624496774 / 624494608 / 1302936686 / 2253248294 / 2178345065 | S. 8/9: Magnific | S. 10/11: Magnific, HARTING | S. 12/13: Magnific, Dr. Hans Krattenmacher / SEW Eurodrive, Getty Images 2255198864 / 1362788811 / 2233827796 | S. 14/15: Magnific, Getty Images 2255198864 / 1813860881 / 2232527732 / 2269479967 / 1362788811 | S. 16/17: Prof. Dr.-Ing. Eva Schwenzfeier-Hellkamp /Hochschule Bielefeld, Getty Images 1167786035, Magnific | S. 18/19: Shutterstock 2616045613, Getty Images 2246003613, Mikael Hjorth /Electrification Hub Sweden, HARTING | S. 20/21: Maximilian Schmitt /Reverion, HARTING, Getty Images 1465224168 / 2147572771, Magnific | S. 22–25: Pascal Daleiden /Hitachi Energy | S. 26/27: HARTING, Getty Images 173553965 / 646262136 | S. 28/29: Getty Images 2279893310, HARTING, Magnific | S. 30/31: HARTING, Magnific | S. 32/33: Johannes Wilhelmer/Stadler, Manuel Weber /NAH.SH, Getty Images 187433894 | S. 34/35: Magnific, Dr. Tim Meyer, Getty Images 187433894 | S. 36/37: Dr. Anica Mertins /Nationale Leitstelle Ladeinfrastruktur, Getty Images 1473297684 / 1159772967 / 1370725472, Shutterstock 2800350645, NOW GmbH, ADAC | S. 38/39: Shutterstock 145410097 / 2840500661, Getty Images 2225537703, HARTING | S. 40: HARTING

ENTDECKEN SIE **ZUKUNFTSSICHERE CONNECTIVITY**

HARTING®

Pushing Performance
Since 1945



ZUKUNFTSORIENTIERTE LÖSUNGEN

Gestalten Sie Ihre Systeme nachhaltig mit Connectivity
für Elektrifizierung, Digitalisierung und Automatisierung.

www.HARTING.com

Jetzt entdecken!