

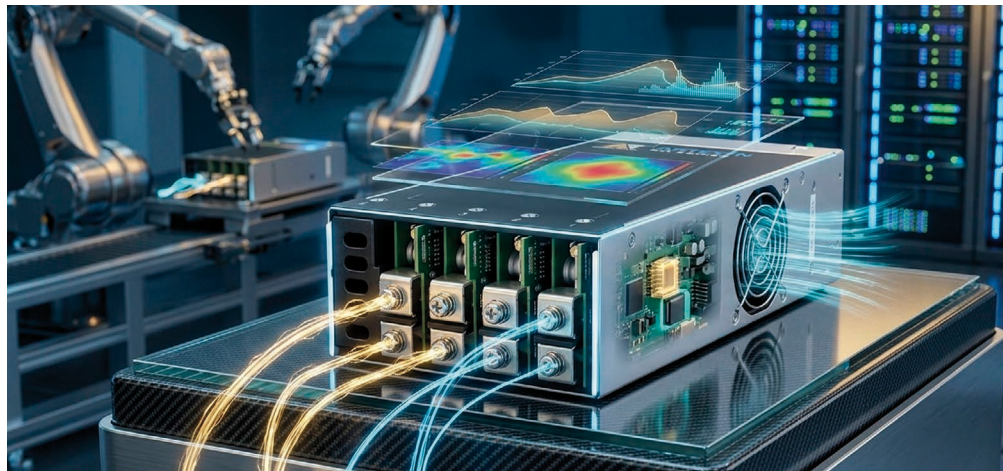
Das Netzteil als Datenquelle

Digitale Stromversorgungen im Kontext von Industrie 4.0 und Industrial IoT

Vom Energiewandler zur vernetzten Systemkomponente

Die industrielle Stromversorgung wurde über Jahrzehnte hinweg als technisch ausgereifte Basiskomponente betrachtet. Im Vordergrund standen Auslegungskriterien wie Nennspannung, Leistungsreserve, Wirkungsgrad, EMV-Verhalten und thermische Stabilität. War die Dimensionierung korrekt, arbeitete das Netzteil zuverlässig und unauffällig im Hintergrund. Es war zwar essenziell für die Funktion der Anlage, jedoch nicht Teil der übergeordneten Informationsarchitektur.

Mit Konzepten wie Industrie 4.0, der Smart Factory und dem Industrial Internet of Things (IIoT) hat sich diese Perspektive jedoch grundlegend verändert. Produktionssysteme werden zunehmend datenbasiert betrieben. Zustandsüberwachung, Energieeffizienz, Transparenz über Lastprofile und zentrale Diagnosefunktionen sind integrale Bestandteile moderner Automatisierungsarchitekturen. In diesem Kontext stellt sich eine neue Frage: Kann die Stromversorgung selbst zu einer nutzbaren Informationsquelle werden?



Alle Bilder © Fortec Power GmbH

Die digitale Stromversorgung

Die Antwort liegt weniger in einer revolutionären Neudefinition als in einer evolutionären Erweiterung. Digitale Stromversorgungen ermöglichen die systematische Erfassung interner Zustände und deren strukturierte Bereitstellung. Damit wandelt sich das Netzteil von einer rein energetischen Komponente zu einem Systembaustein, der in vernetzten Produktionsumgebungen zusätzlich relevante Betriebsdaten bereitstellt.

Digitale Regelarchitektur – technische Grundlagen

Die Funktionsweise klassischer Schaltnetzteile beruht auf analogen Regelkreisen zur Stabilisierung von Spannung und Strom. Ein fortlaufendes System wird von Fehlerverstärkern und Kompensationsnetzwerken gebildet. Seine Stabilität kann durch Phasenreserve und Amplitudengang beurteilt werden. Es ist möglich, das Verhalten im Frequenzbereich zu untersuchen und die Kompensation auf Hardware-Ebene festzulegen.

Diskrete Signalverarbeitung

Digitale Stromversorgungen ersetzen diesen Ansatz durch diskrete Signalverarbeitung. Dabei werden Messgrößen wie die Ausgangsspannung oder der Strom über Analog-Digital-Wandler erfasst, in Mikrocontrollern oder DSPs

verarbeitet und anschließend über PWM-Module in Schaltsignale umgesetzt. Diese Architektur eröffnet neue Freiheitsgrade, bringt jedoch auch Effekte mit sich, die im System inhärent sind: Abtastverzögerungen, Quantisierung, Rechenlatenzen und Diskretisierungsfehler beeinflussen das Regelverhalten unmittelbar. Ein Vergleich zwischen digitaler und analoger Regelstruktur ist in Bild 1 zu sehen.

Bei einer unzureichenden Abtastrate oder einer ungünstigen Implementierung kann eine im kontinuierlichen Modell stabile Kompensation grenzstabil werden. Es handelt sich bei digitaler Regelung also nicht um ein ausschließlich softwaretechnisches Betätigungsfeld, sondern sie ist grundlegend mit der klassischen Leistungselektronik verbunden. Das Verständnis des diskreten Zeitbereichs und seiner Auswirkungen auf Dynamik und Robustheit ist entscheidend.

Parametrier- und reproduzierbar

Digitale Architekturen bieten den Vorteil, dass sie parametrierbar und reproduzierbar werden können. Moderne Industriepattformen wie die konfigurierbare iHP-Serie von Advanced Energy nutzen digitale Steuerarchitekturen, um Regelparameter, Betriebsmodi und Diagnosefunktionen softwarebasiert zu verwalten und ermöglichen darüber hinaus die digitale Überwachung von Betriebsparametern über standardisierte Schnittstellen



Autoren
Argen Hartorian (oben)
Produktmanager
Sonja Hollaus (unten)
Junior Produktmanagerin

Fortec Power GmbH
www.fortec-power.de

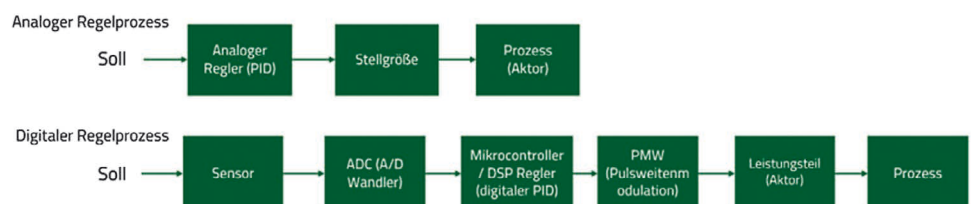


Bild 1: Vergleich analoge vs. digitale Regelstruktur

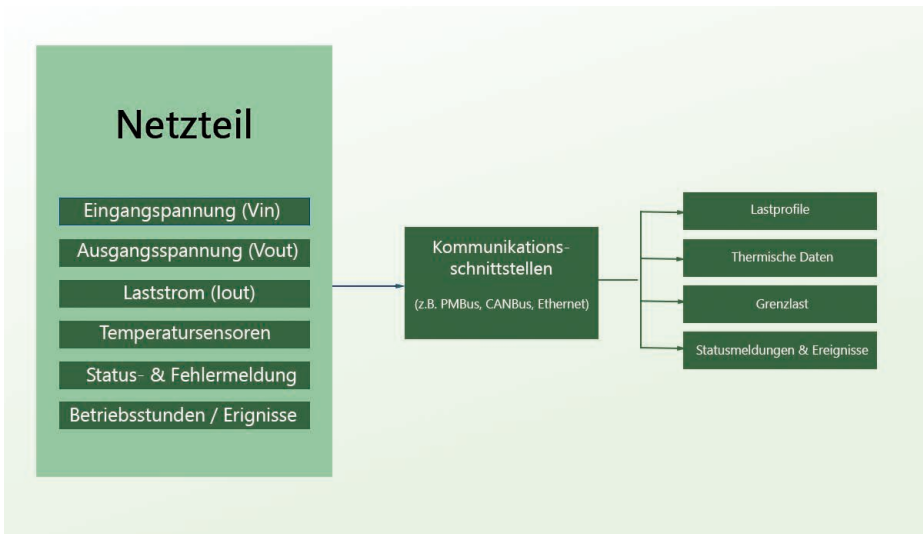


Bild 2: Typische Telemetrie-Daten eines digitalen Netzteils

wie PMBus. So können adaptive Strategien implementiert werden, ohne dass Änderungen an der Hardware erforderlich sind. Gleichzeitig wird eine integrierte Infrastruktur zur Erfassung und Weitergabe interner Zustandsdaten geschaffen.

Telemetrie im Netzteil – verfügbare Messgrößen

Digitale Stromversorgungen erfassen intern eine Vielzahl von Betriebsparametern. Dazu gehören Eingangsspannung, Ausgangsspannung, Laststrom, Temperaturwerte an kritischen Komponenten sowie Status- und Fehlerregister, die kontinuierlich überwacht werden. Häufig kommen auch Betriebsstundenzähler oder Ereignisprotokolle hinzu. Ursprünglich dienen diese Daten primär Schutz- und Regelungszwecken. In vernetzten Architekturen können sie jedoch über geeignete Schnittstellen an übergeordnete Systeme übertragen werden.

Viele moderne Plattformen, beispielsweise modulare Netzteilssysteme wie die NeoPower-Serie von Advanced Energy, unterstützen bereits digitale Schnittstellen zur Parametrierung und Statusüberwachung.

Netzteil als zusätzliche Datenquelle

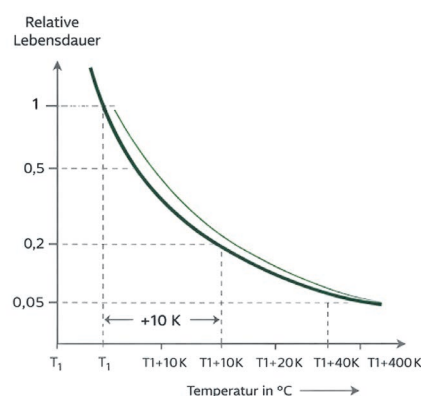
Damit wird das Netzteil im Kontext von IIoT-Strukturen zu einer zusätzlichen Datenquelle innerhalb der Anlage. Es liefert Informationen über reale Lastprofile, thermische Beanspruchung und Grenzlastsituationen. Gleichzeitig ist eine realistische Einordnung erforderlich. Die integrierte Telemetrie kann eine hochauflösende Messtechnik nicht ersetzen. Hochfrequente Rippleanteile oder sehr schnelle Transienten werden in der Regel nicht mit hoher zeitlicher Auflösung erfasst. Abstraten und Kommunikationsbandbreiten sind auf eine robuste Zustandsüberwachung ausgelegt und nicht auf eine vollständige Signalcharakterisierung. Typische Telemetrie-Daten eines Netzteils sind in Bild 2 zu sehen.

Ihre Aussagekraft hängt daher maßgeblich von der Messgenauigkeit, der Position der Sensoren, der Abtastrate und der Qualität der nachgelagerten Analyse ab. Der Mehrwert entsteht somit nicht allein durch die Datenerfassung, sondern durch deren kontextbezogene Interpretation.

Zustandsbewertung und Lebensdauerabschätzung

In industriellen Schaltnetzteilen dominieren temperaturabhängige Alterungsmechanismen. Besonders betroffen sind Elektrolytkondensatoren, Leistungshalbleiter und gegebenenfalls Lüftermechaniken. Klassische Lebensdauerabschätzungen basieren auf Derating-Strategien und temperaturabhängigen Modellen, wobei häufig Arrhenius-basierte Ansätze zum Einsatz kommen. Eine Temperaturerhöhung um zehn Kelvin kann die erwartete Lebensdauer signifikant reduzieren. Dies ist in Bild 3 dargestellt.

Einfluss der Temperatur auf Lebensdauer



Typisches temperaturabhängiges Lebensdauermodell (Arrhenius-basiert): Lebensdauer nimmt pro +10 K etwa um 2 ab

Bild 3: Einfluss der Temperatur auf die Lebensdauer

Digitale Telemetriedaten

Mithilfe digitaler Telemetriedaten ist es erstmals möglich, reale Temperatur- und Lastprofile mit den ursprünglichen Designannahmen abzugleichen. Dadurch werden wiederkehrende Grenzlasten oder erhöhte Umgebungstemperaturen sichtbar. Dadurch ist eine trendbasierte Zustandsbewertung möglich. Anstatt ausschließlich mit konservativen Annahmen zu arbeiten, können reale Betriebsdaten herangezogen werden.

Eine präzise Restlebensdauerprognose bleibt jedoch mit Unsicherheiten behaftet. Materialstreuungen, variable Umgebungsbedingungen und komplexe Lastzyklen lassen sich nur modellbasiert approximieren. Realistisch ist daher keine exakte End-of-Life-Vorhersage, sondern eine probabilistische Bewertung innerhalb definierter Annahmen. Für Wartungsstrategien genügt häufig bereits die Identifikation kritischer Trends, um reportpräventive Maßnahmen einzuleiten, wie in Bild 4 zu sehen.

Kommunikationsschnittstellen und Systemintegration

Zur Einbindung in Automatisierungsarchitekturen verfügen digitale Netzteile in der Regel über etablierte Schnittstellen wie PMBus, Modbus, CANopen oder Ethernet-basierte Protokolle wie TCP/IP. Solche Schnittstellen gehören inzwischen zur Standardausstattung moderner digitaler Netzteilplattformen, sowohl bei modularen Systemen als auch bei hochleistungsfähigen Industriepattformen. Über diese können die Netzteile parametrierbar, diagnostiziert und in Monitoring-Systeme integriert werden. Die eigentliche Leistungsregelung verbleibt aus Stabilitäts- und Sicherheitsgründen lokal im Gerät.

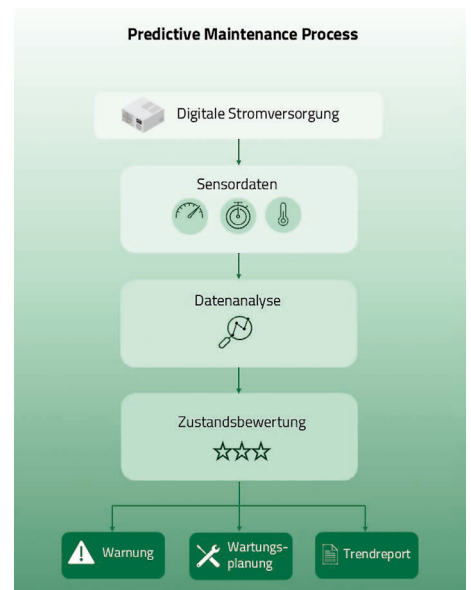


Bild 4: Predictive Maintenance Prozess

Verarbeitung der Daten

In einer Smart-Factory-Umgebung können Netzteil-daten auf verschiedenen Ebenen verarbeitet werden. Edge-Controller aggregieren und verdichten Informationen, speicherprogrammierbare Steuerungen integrieren sie in Anlagenlogiken und zentrale Monitoring-Systeme analysieren Trends. Darüber hinaus ermöglichen Cloud-Plattformen standortübergreifende Auswertungen. Entscheidend ist dabei nicht die maximale Rohdatenerfassung, sondern die Bildung interpretierbarer Kennwerte. Bild 5 zeigt eine mögliche Systemarchitektur einer vernetzten Stromversorgung.

Datengetriebene Systeme profitieren von strukturierten Zustandsindikatoren, Grenzwertverletzungen und Trendinformationen. Durch eine gezielte Verdichtung wird die Kommunikationslast reduziert und die Integration in bestehende Architekturen erleichtert.

Cybersecurity und Zugriffssicherheit

Mit zunehmender Vernetzung gewinnen konsistente Sicherheitskonzepte an Bedeutung. Digitale Stromversorgungen implementieren Mechanismen wie eine rollenbasierte Zugriffskontrolle, den Schutz kritischer Parameterbereiche, signierte Firmware-Updates und gesicherte Remote-Zugriffe. Dennoch ergibt sich die effektive Angriffsfläche stets aus der Gesamtarchitektur der Anlage.

Ein einzelnes Netzteil stellt isoliert betrachtet kein Hochrisikosystem dar. Kritisch wird es erst im Zusammenspiel mit übergeordneten Netzwerken und Remote-Zugängen. Sicherheit muss daher systemweit gedacht und einheitlich umgesetzt werden. Die Stromversorgung ist Teil dieser Architektur, jedoch nicht ihr dominanter Risikofaktor.

Mehrwert für Systemhersteller und Entwicklungsabteilungen

Der strategische Nutzen digitaler Stromversorgungen liegt insbesondere in der Rückkopplung realer Felddaten. So können Lastprofile validiert, thermische Reserven überprüft und Derating-Konzepte angepasst werden. Entwicklungsabteilungen erhalten so eine empirische Basis für ihre Designentscheidungen, anstatt ausschließlich mit Annahmen oder Worst-Case-Szenarien zu arbeiten.

Für Systemhersteller eröffnen sich Möglichkeiten im Lifecycle-Management und in zustandsorientierten Wartungskonzepten. Durch Remote-Diagnosen können Serviceeinsätze reduziert werden, Flottenanalysen identifizieren systematische Belastungsmuster und Designoptimierungen lassen sich datenbasiert priorisieren.

Der eigentliche Mehrwert entsteht jedoch nicht durch die bloße Existenz von Telemetrie-daten, sondern durch deren strukturierte Integration in Entwicklungs-, Service- und Qualitätsprozesse. Dies kann in Form einer Feedback-

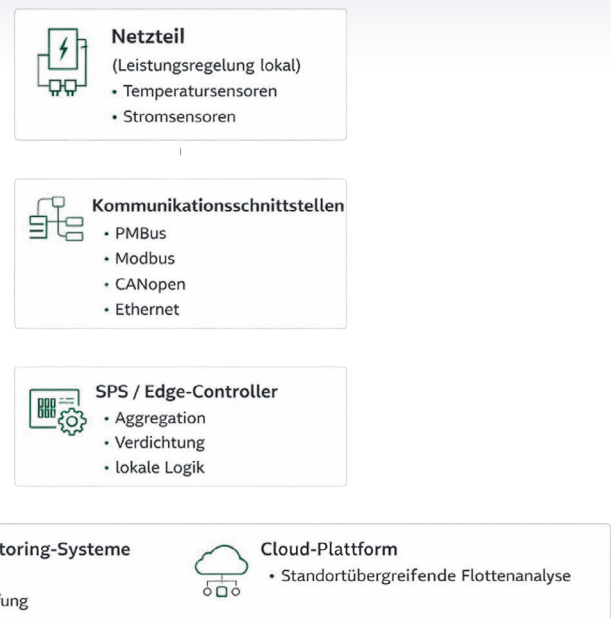


Bild 5: Systemarchitektur einer vernetzten Stromversorgung

schleife zwischen Feldbetrieb und Entwicklungsabteilung dargestellt werden, wie in Bild 6 zu sehen ist.

Ausblick

Die Entwicklung digitaler Stromversorgungen ist ein kontinuierlicher Prozess. Zu den technisch umsetzbaren Aspekten gehören verbesserte modellgestützte Zustandsbewertungen, adaptive Parametrierungen innerhalb stabiler Grenzen sowie eine engere Verknüpfung mit Energie- und Zustandsmanagementsystemen. Kosten, Anforderungen an die Robustheit, Aufwand für die Qualifizierung und Sicherheitsaspekte setzen gleichzeitig klare Grenzen.

Das industrielle Netzteil entwickelt sich nicht über Nacht zu einem vollwertigen Diagnosesystem, sondern erweitert schrittweise seine Funktionen in vernetzten Produktionsumgebungen. Sein Hauptauftrag bleibt die verlässliche

Bereitstellung elektrischer Energie. Es kommt jedoch eine zweite Dimension hinzu: die Bereitstellung von kontextualisierten Betriebsdaten.

Damit bleibt die Stromversorgung ein zentrales Element industrieller Systeme – nicht nur als Energiewandler, sondern auch als Informationsquelle in datengetriebenen Architekturen.

Wer schreibt

Die FORTEC Power GmbH verfügt über mehr als 40 Jahre Erfahrung im Bereich Stromversorgung. Das Unternehmen bietet anwendungsspezifische Beratung und technische Unterstützung über den gesamten Produktlebenszyklus – vom Design-In bis zur Serienfertigung. In enger Zusammenarbeit mit führenden Herstellern stellt FORTEC ein breites Portfolio an AC/DC-, DC/DC- und weiteren Lösungen für industrielle, medizinische sowie Defence- und Harsh-Environment-Anwendungen bereit. ◀

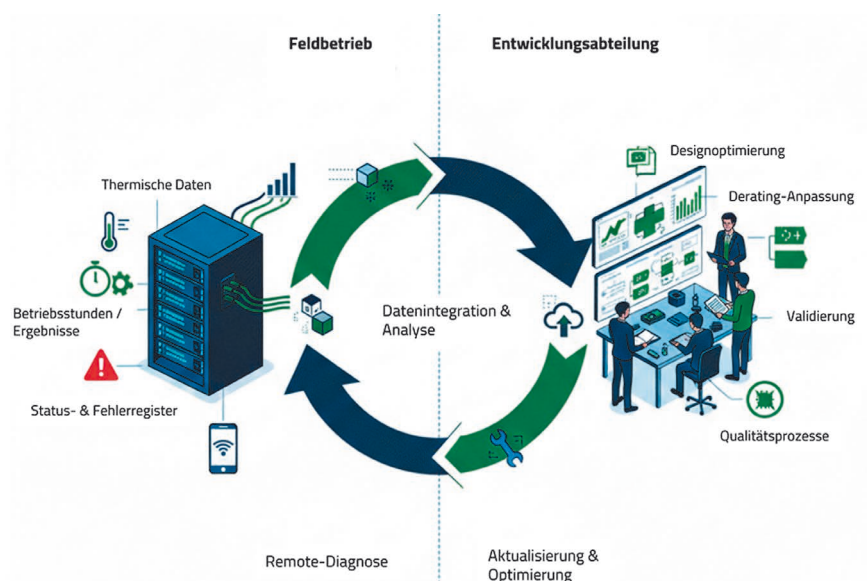


Bild 6: Feedback-Schleife zwischen Feldbetrieb und Entwicklung