



© photochicken - 123RF.com / Imagine Lab Pte. Ltd

Sustainability durch Prozessautomation

Mehr Effizienz und Nachhaltigkeit durch
Automatisierung, Digitalisierung und
Modularisierung in der Prozessindustrie!

Fachverband Automation

Geleitwort

Per aspera ad astra (Seneca): Der Weg zur Klimaneutralität

Der schreckliche Angriffskrieg Russlands in der Ukraine hat die gesicherte Energieversorgung in Deutschland auf Eis gelegt. Für den geplanten Pfad der Energiewende bedeutet das einen herben Rückschlag. Ist damit auch die Vision der All Electric Society gescheitert?

Zweifellos ist die aktuelle kriegsbedingte Energiekrise eine starke Zäsur, vor allem, da für die produzierende Industrie und die Stromerzeugung Gas als Brückentechnologie vorgesehen war – das ist hinfällig. Stattdessen müssen wir die erneuerbaren Energien und deren Grundlastfähigkeit erheblich stärker und schneller als bisher ausbauen, hier vor Ort. Denn das darf nicht bedeuten, dass wir uns zu stark von erneuerbaren Energiequellen außerhalb Europas abhängig machen. Außerdem müssen wir, weil Gas als Zwischengröße ausfällt, Bereiche elektrifizieren, für die eine Umstellung erst viel später geplant war, wenn beispielsweise CO₂-Abscheidungs- und Speicherungsverfahren (CCS-Verfahren) wirtschaftlich geworden sind.

Einmal mehr sehen wir uns also mit einer Reihe unvorhergesehener Probleme und massiver Verzögerungen konfrontiert. Das ist ein klarer Weckruf zum schnellen Handeln! Ich sehe drei Bereiche:

- Fakt ist, dass wir nach wie vor deutlich mehr erneuerbare elektrische Energie brauchen, um von fossilen Energieträgern wegzukommen. Dabei dürfen wir uns nicht nur auf den Import verlassen, sondern müssen in Deutschland und Europa so viele Wind- und Solarkraftwerke bauen wie möglich.
- Wir müssen so schnell wie möglich weg vom Gas kommen. Wo möglich sollten wir mit Strom heizen, Auto fahren, Stahl herstellen und chemische Reaktionen betreiben, denn allein die Elektrifizierung bringt enorme Effizienzgewinne und damit Verbrauchsminderung.
- Alle Möglichkeiten, die Energieeffizienz zu steigern, müssen wir nutzen. Durch die steigenden Energiepreise werden Maßnahmen wirtschaftlich, die sich bisher nicht lohnten. Hier sind alle Bereiche eingeschlossen. Die Prozessindustrie als einer der großen Energieverbraucher muss hier entschieden vorangehen. Dazu kann die Prozessautomation große Beiträge leisten, wie diese Broschüre zeigt.

Wie kommen wir raus aus diesem Dilemma? Mit Umdenken und Entbürokratisierung! Wir brauchen ein neues Wasserstoffverteilnetz, Smart Grids, Ladeinfrastrukturen, LNG-Terminals, energetische Gebäudesanierung und Stromtrassen, die die grüne und vielleicht offshore erzeugte Energie zum Verbraucher bringt. Wir brauchen ganz dringend unbürokratische, schnelle Planungs- und Genehmigungsverfahren. Für mehr Energieeffizienz benötigen wir einen noch viel stärkeren Einsatz von „Enabling Technologies“, insbesondere Elektrifizierung, Automatisierung, Digitalisierung und Modularisierung. Und wir brauchen das alles mit Tempo!

Hehre Ziele zu erreichen, verlangt uns allen seit Urzeiten sehr viel ab, das wussten schon die alten Römer. Lassen wir uns von Seneca ermutigen. Auch wenn der Weg hart ist: packen wir's an! Diese Broschüre soll Sie dabei ermutigen und unterstützen.



Dr. Gunther Kegel, Präsident ZVEI

Inhalt

GELEITWORT	3
ZIEL DIESER BROSCHÜRE	6
1 SUSTAINABILITY IN DER PROZESSINDUSTRIE	7
1.1 Deutschland auf dem Weg zur Klimaneutralität	7
1.2 Zielsetzungen der Prozessindustrie	8
1.3 Ausgangslage der Prozessindustrie	9
2 INNOVATIVE AKTORIK UND SENSORIK	10
2.1 Online-Überwachung von Kondensatableitern	10
2.2 Live-Überwachung von Druckluftnetzen	11
2.3 Online-Monitoring von Dampf- und Gasnetzen	12
2.4 Überwachung des Wirkungsgrads von Dampfkesseln	13
2.5 Online-Überwachung von Sicherheitsventilen	13
2.6 Vorausschauende Wartung von Wärmepumpen	14
2.7 Überwachung von Wärmetauschern	15
2.8 Online-Überwachung in einer Molkerei	17
2.9 Korrosionsüberwachung	18
2.10 Emissionserfassung von Treibhausgasen	18
2.11 Prozessanalysetechnik für das Recycling	19
2.12 Intelligentes Ventil mit eingebauter Sensorik	20
2.13 Drucklufteinsparung durch intelligente Ventilansteuerung	21
2.14 Control Performance Monitoring	22
3 PROZESSE UND ANLAGEN FÜR DIE SUSTAINABILITY	23
3.1 Geschickte Ausnutzung ungenutzter Abwärme	23
3.2 Elektrifizierung fossiler Prozesse	24
3.3 Herstellung von „grünem Wasserstoff“	25
4 MODULARE ANLAGEN	26
4.1 Bessere Prozesse durch modulare Prozessentwicklung	27
4.2 Package Units mit MTP integrieren	28
4.3 Modulare Elektrolyseure	28
4.4 Elektrische Begleitheizungen smart integrieren	30

5 INNOVATIVES ENERGIEMANAGEMENT	30
5.1 Energie-Effizienz-Management in der Produktion	31
5.2 NachhaltigkeitsPotenziale im Anlagenbetrieb ausschöpfen	33
5.3 Energie- und CO ₂ -Monitoring bis auf Aggregateebene	36
5.4 Aktives Energiemanagementsystems	38
5.5 CO ₂ -Fußabdruck in Wertschöpfungskette erstellen	39
5.6 Klimaneutraler Produktionsstandort als Unternehmensziel	39
5.7 Energiemanagement im Chemiepark-Verbund	40
5.8 Applikation für die Wasserindustrie	40
5.9 Nachhaltige Auslegung von pneumatischen Einrichtungen	41
6 DIGITALER ZWILLING	42
6.1 Trainingssimulator als digitaler Zwilling	42
6.2 Digitale Zwillinge für die Pipeline-Überwachung	43
6.3 CO ₂ -Footprint eines Schaltschranks	45
6.4 Digitaler Zwilling für ein Rückkühlwerk	46
6.5 Digitaler Zwilling stets aktuell „as built“	47
7 KONNEKTIVITÄT IN DER PROZESSINDUSTRIE	48
7.1 NOA – Zugriff auf Prozess- und Gerätedaten	48
7.2 APL – Feldkommunikation mit Ethernet-Geschwindigkeit	50
7.3 Wireless (5G, LoRaWan, Wi-Fi 6)	50
8 IT-WERKZEUGE	52
8.1 Edge/Cloud-Computing	52
8.2 Künstliche Intelligenz (AI) auf Basis von Big Data	53
8.3 Veralterung vermeiden	55
9 PERSPEKTIVEN	56
10 ABKÜRZUNGS- UND MITWIRKENDENVERZEICHNIS	58

Ziel dieser Broschüre

Die Staaten dieser Welt, die EU, die Bundesregierung und die Wirtschaft sind sich einig: Um die globale Erwärmung so schnell wie möglich zu stoppen, müssen wir die Klimaneutralität bis spätestens 2050 erreicht haben. Auch die Prozessindustrie, eine der großen Energieverbraucherinnen, will diesen Weg so schnell wie möglich mitgehen. Ein wichtiger Wegbereiter (engl. Enabler) dafür ist die Prozessautomatisierung. Die Automatisierung bildet sozusagen die Augen und das Hirn der Anlagen und unterstützt das Bedienpersonal beim optimalen Betrieb.

Der ZVEI-Arbeitskreis „Process Automation for Sustainability“ unter Leitung von Ralf Haut (KROHNE) bearbeitet schon seit Jahren die Thematik, wie die Prozessautomatisierung entscheidend zur Nachhaltigkeit in der Prozessindustrie beitragen kann. Auf Seiten der NAMUR wurde schon im Jahr 2012 ein NAMUR-Arbeitsblatt NA 140 zum Beitrag der Automatisierungstechnik zur Steigerung der Energieeffizienz erstellt. Das vorliegende Dokument wurde in Zusammenarbeit der beiden Verbände erstellt.

Diese Broschüre stellt ohne Anspruch auf Vollständigkeit konkrete Beiträge der Prozessautomatisierung zur Erhöhung der Nachhaltigkeit (engl. Sustainability) zusammen. Das schließt ein:

- Innovative Sensorik und Aktorik (Kapitel 2),
- Energieoptimierte Prozesse, Strom statt Gas sowie Wasserstoffherstellung (Kapitel 3),
- Modulare, flexible Anlagen (Kapitel 4),
- Energiemanagementsysteme für den nachhaltigen Anlagenbetrieb (Kapitel 5),
- Digitale Zwillinge der Anlagen für Simulation und Optimierung (Kapitel 6),
- Konnektivität zur schnellen Datenübermittlung (Kapitel 7) sowie
- IT-Werkzeuge zur Datennutzung und -analyse (Kapitel 8).

In Kapitel 9 werden Perspektiven der Rahmenbedingungen aufgezeigt.

Mindestens die Hälfte, wenn nicht mehr, der benötigten Energieeffizienzgewinne ist allein schon durch eine flächendeckende Elektrifizierung, Automatisierung, Digitalisierung und Modularisierung zu erreichen. Und natürlich müssen wir dazu auch in den verfahrenstechnischen Anlagenneubau investieren, um fossile Energieträger abzulösen oder Erzeugung und Einsatz von grünem Wasserstoff voranzutreiben.

Derzeit haben wir etwa 10 Prozent der Energieeffizienzhebel in Bewegung gesetzt. Auf lange Sicht reicht das nicht, aber wir sind auf einem guten Weg, weitere 40 Prozent zu erreichen – und dazu stehen uns u.a. mit den in dieser Broschüre genannten Produkten, Lösungen und Projekten vielversprechende Instrumente zur Verfügung.

Wir hoffen, dass wir mit dieser Broschüre möglichst viele Entscheidungsträger auf allen Ebenen erreichen und hoffen auf eine gute Umsetzung der vielen Möglichkeiten.



Felix Seibl, ZVEI



Christine Oro-Saavedra, NAMUR

1 Sustainability in der Prozessindustrie

Dieses Kapitel führt in das Thema der Broschüre ein. Ausgehend von der globalen und deutschen Notwendigkeit von Klimaneutralität (Abschnitt 1.1) wird die Nachhaltigkeit in Abschnitt 1.2 in andere Anforderungen an die Prozessindustrie in Beziehung gesetzt. Abschnitt 1.3 zeigt, wie sich die Nachhaltigkeits-Anforderungen an chemische Prozesse im Lauf der Jahre verändert haben.

1.1 Auf dem Weg zur Klimaneutralität

Schon im Jahr 2015 hat sich die Weltgemeinschaft unter dem Dach der Vereinten Nationen zu 17 globalen Zielen für eine bessere und nachhaltige Zukunft verpflichtet. Allein vier der 17 Ziele hängen mit dem Thema „Sustainability“ (Nachhaltigkeit) zusammen:

- Bezahlbare und saubere Energie (Ziel 7),
- Industrie, Innovation und Infrastruktur (Ziel 9),
- Nachhaltiger Konsum und Produktion (Ziel 12) sowie
- Maßnahmen zum Klimaschutz (Ziel 13).

Als wichtigen Baustein für die Umsetzung hat die Bundesregierung festgelegt, dass Deutschland bis 2045 „treibhausgasneutral“ sein soll, also ein Gleichgewicht zwischen Treibhausgas-Emissionen und -Abbau erreicht haben muss. Schon bis 2030 sollen die Emissionen um 65 Prozent gegenüber 1990 sinken, bis 2040 um 88 Prozent. So hat es die Bundesregierung im geänderten Klimaschutzgesetz festgelegt. Dieses Ziel umfasst alle Sektoren: Die Energiewirtschaft, die Industrie, den Verkehr, den Gebäudebereich und die Landwirtschaft.

Die Industrie verursacht 22 Prozent der deutschen Treibhausgasemissionen¹. Diese Emissionen setzen sich zusammen aus

- direkten energiebedingten Emissionen durch Verwendung fossiler Brennstoffe zur Bereitstellung von Energie,
- indirekten energiebedingten Emissionen, die für den verwendeten Strom anfielen, sowie
- prozessbedingten Emissionen durch Verwendung von fossilen Brenn- und Rohstoffen direkt im Produktionsverfahren.

Chemische Verfahren sind sehr energieintensiv und auf viele Rohstoffe angewiesen. So haben sie z.B. im Jahr 2021 14 Prozent des gesamten in Deutschland genutzten Erdgases verbraucht. Der Verband der chemischen Industrie hat im Jahr 2019 einen Plan vorgelegt, wie die Branche bis 2050 klimaneutral werden kann.

Nach ZVEI-Schätzungen lassen sich mindestens die Hälfte, wenn nicht mehr, der benötigten Energieeffizienzgewinne allein schon durch eine flächendeckende Elektrifizierung, Automatisierung, Digitalisierung und Modularisierung erreichen. Dabei sind natürlich auch Investitionen in den verfahrenstechnischen Anlagenbau notwendig, um fossile Energieträger abzulösen oder Erzeugung und Einsatz von grünem Wasserstoff voranzutreiben.

¹ <https://www.klimaschutz-industrie.de/themen/klimaschutz-in-der-industrie/>

Immerhin wurden schon etwa 10 Prozent der Energieeffizienzhebel in Bewegung gesetzt. Dies reicht zwar auf lange Sicht nicht, aber wir sind in Deutschland und Europa auf einem guten Weg, weitere 40 Prozent zu erreichen. Um das zu erreichen, stehen uns u. a. die in den folgenden Abschnitten genannten vielversprechenden Lösungen und Projekte zur Verfügung.

1.2 Zielsetzungen der Prozessindustrie

Sustainability darf nicht als losgelöste Teilaufgabe gesehen oder verabsolutiert werden. Grundvoraussetzung ist: Die Wettbewerbsfähigkeit muss erhalten bleiben. Nur so kann der Industriestandort Deutschland aus Sicht der Prozessindustrie erhalten und weiterentwickelt werden. Auch unter ökologischen Gesichtspunkten ist nichts gewonnen, wenn zum Beispiel Chemieanlagen in Deutschland, die bereits hohe Anforderungen erfüllen, geschlossen werden und stattdessen Anlagen in anderen Ländern mit niedrigeren Anforderungen an Ökologie verlagert werden. Das wird im „Messaging House“ (Abbildung 1) dargestellt. Auch wenn die Sustainable Production im Fokus dieser Broschüre steht, muss diese also im Zusammenhang mit weiteren Herausforderungen wie Fachkräftemangel und Lieferkettenresilienz gesehen werden. Um allen drei Dimensionen gerecht zu werden, eignen sich die Enabler Automatisierung, Digitalisierung und Modularisierung vortrefflich. Automatisierung lässt Anlagen im Optimum fahren, Digitalisierung schafft ein interessantes, attraktives Arbeitsumfeld für die Fachkräfte und Modularisierung ermöglicht eine flexiblere, kosteneffizientere Produktion am Standort. Nachfolgend wird anhand von Use Cases gezeigt, wie gerade die Produkte und Lösungen von Messtechnik und Prozessautomatisierung wie Leitsysteme, Geräte der Prozessanalysetechnik (PAT), verschiedene Sensoren und Aktoren sowie dazugehörige Digitalisierungs- und Modularisierungskonzepte als Enabler einer Sustainable Production fungieren, und dabei auch noch positive Wirkung auf die anderen zu meisternden Herausforderungen entfalten.

(Quelle: ZVEI)

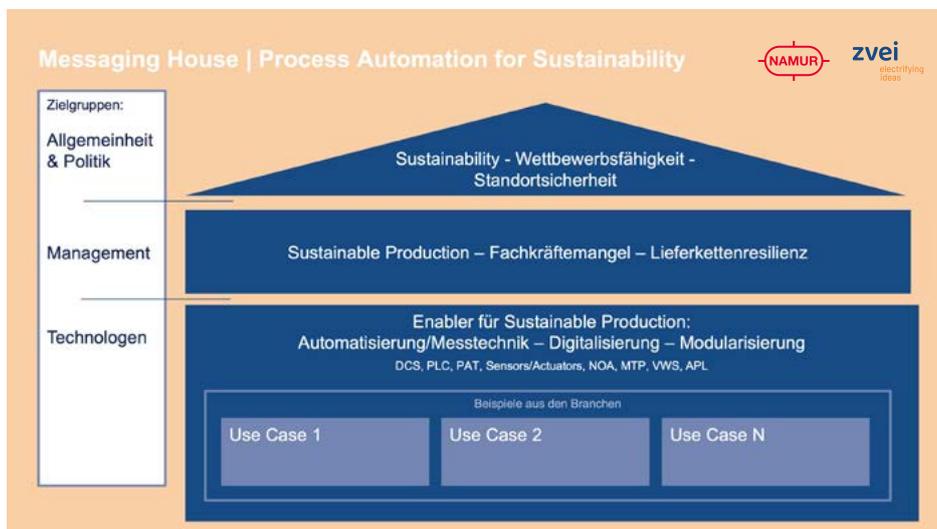


Abbildung 1:
Messaging House, Herausforderungen
in der Prozessindustrie
(Quelle: ZVEI, NAMUR)

1.3 Ausgangslage der Prozessindustrie

Für die Prozessindustrie war die Einsparung von Energie schon immer wichtig, weil die Energiekosten einen großen Anteil der Fertigungskosten darstellen. Aber auch der sparsame Umgang mit den Ressourcen und die Emissionsvermeidung waren schon in den 1960er und 1970er Jahren wichtige Antriebe.

Dabei spielt natürlich auch die Wirtschaftlichkeit eine große Rolle. Deshalb wurden Maßnahmen bevorzugt, die wirtschaftlich sinnvoll oder zumindest vertretbar waren. Beispiele solcher „low hanging fruits“ zeigt Abbildung 2. Beispiele sind Wärmerückgewinnung der Abwärmeströme mit hoher Temperatur oder Verbesserungen der Fahrweise im Betriebsalltag.

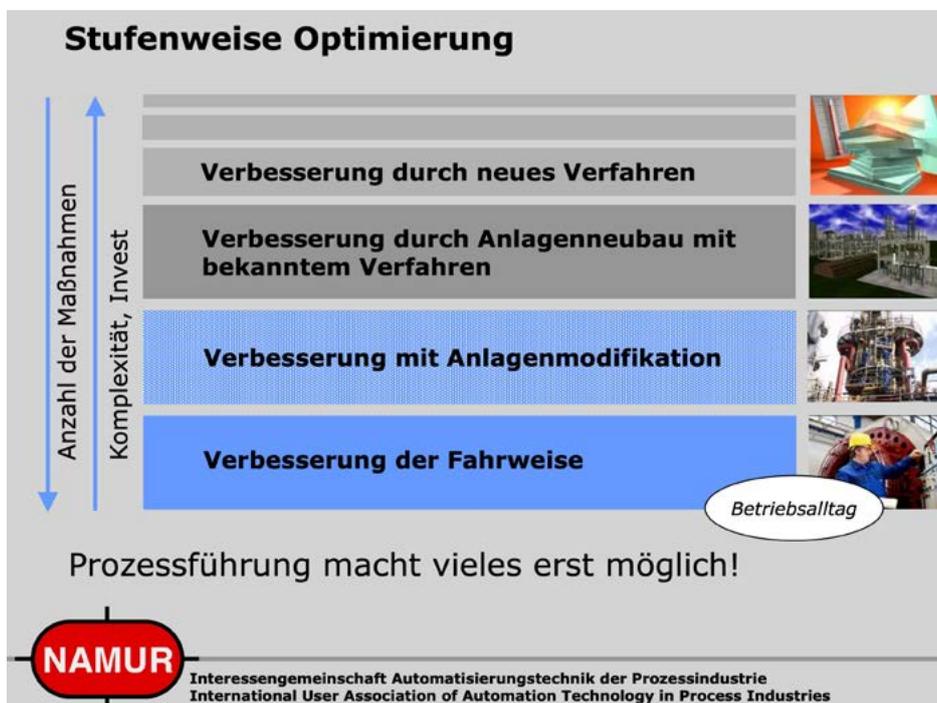


Abbildung 2:
Stufenweise Optimierung der
Nachhaltigkeit von Prozessanlagen.
(Quelle: 1)

Anlagenmodifikationen, Anlagenneubau oder sogar die Entwicklung noch nachhaltigerer Verfahren erfordern hohe Investitionen. Außerdem sind sie arbeitsaufwendig und benötigen hoch qualifizierte Fachkräfte. Auch die hohe Komplexität von Automatisierungsaufgaben haben gute Ansätze verhindert.

- Doch jetzt ist einerseits der „Leidensdruck“ gestiegen: Hohe Energiekosten, verbindliche Nachhaltigkeitsziele und politische und gesellschaftliche Erwartungen zwingen dazu, vorhandene Möglichkeiten und Technologien besser zu nutzen. Ein „Desinteresse an Abwärme“ beispielsweise geht einfach nicht mehr.
- Andererseits schaffen neue Technologien neue und kostengünstigere Möglichkeiten: Bessere Sensorik, standardisierte Schnittstellen, Werkzeuge der IT und andere mehr. Sie werden in dieser Broschüre beschrieben. Diese Technologien sind jetzt praxistauglich und können ausgerollt werden.

Diese geänderten oder neuen Anlagen müssen natürlich optimal betrieben werden. Dazu gehört nicht nur die Anlage und das Bedienpersonal, sondern auch die Automatisierung der Anlagen und die Verwendung von Energiemanagementsystemen. Deshalb hat die NAMUR – Interessengemeinschaft Automatisierungstechnik der Prozessindustrie – bereits im Jahr 2008 einen Arbeitskreis AK 4.17 „Energieeffizienz“ gegründet. Das NAMUR-Arbeitsblatt NA 140 „Vorgehensweise zur Steigerung der Energieeffizienz in chemischen Anlagen – Beitrag der Automatisierungstechnik“ erschien schon am 01.06.2012 und unterstützt die Anlagenbetreiber bei Energieeffizienz-Projekten.

2 Innovative Aktorik und Sensorik

Sensoren dienen zur Messung von Prozessgrößen und sind sozusagen die Augen in den Prozess. Aktoren ermöglichen Eingriffe in den Prozess und entsprechen den Händen. Im Bereich der Aktoren und Sensoren gibt es derzeit viele Neuentwicklungen und neue Anwendungen.

- Neuartige Sensoren wurden entwickelt, beispielsweise Akustik-Sensoren oder Prozessanalysegeräte.
- Die Einbindung von zusätzlichen Sensoren ist einfacher geworden, sei es durch Funklösungen oder durch standardisierte Informationsmodelle. Das ermöglicht die Realisierung von Online-Monitoring und Online-Optimierung.
- Sensoren haben mehr Rechenleistung und können daher eigenständig Berechnungen durchführen, beispielsweise für die Kompensation von Temperatur und Druck oder für die selbständige Ermittlung von Kennwerten.
- Neuartige Aktoren wie ein Ventil mit integrierten Sensoren oder eine Ventilansteuerung mit vielen intelligenten Apps ermöglichen dezentrale Optimierungen.
- Control Performance Monitoring Software ermöglicht die ständige Beurteilung und Optimierung des Verhaltens von Regelkreisen.

Die Beispiele in den folgenden Abschnitten zeigen, wie die innovative Aktorik und Sensorik dazu dienen, Energie und Rohstoffe zu sparen und die Qualität zu erhöhen. Die zunehmende Transparenz der Anlagen ermöglicht ständige Optimierungen in der Prozessindustrie.

2.1 Überwachung von Kondensatableitern

In der Prozessindustrie ist die Erzeugung von Dampf für ca. 50 % der gesamten Energiekosten verantwortlich. Das in Dampfleitungen anfallende Kondensat muss abgeleitet werden, damit das Kondensat nicht den Dampfstrom behindert. Diese Aufgabe wird durch Kondensatableiter auf rein mechanischem Weg erfüllt, also ohne elektrischen Anschluss, siehe Abbildung 3. Leider fallen statistisch 12,5 bis 25 % der Kondensatableiter aus. Kalte, also geschlossene Kondensatableiter können zu Druckstößen, Brüchen und nicht spezifikationskonformen Produkten führen, was hohe Schäden zur Folge hat. Offen blockierte Kondensatableiter können zu vergeudeten Energiekosten in Höhe von mehreren tausend Euro pro Ableiter führen, weil dauerhaft Dampf ausströmt. Es wird geschätzt, dass 20 % des aus einem Dampfkessel austretenden Dampfes und 5-10 % der Energiekosten auf diesem Weg vergeudet werden.

Ein Wireless-Akustikmessumformer kann im laufenden Betrieb von außen auf die Ableitrohre montiert werden. Er erkennt und überträgt akustische Körperschall- und Temperaturdaten sowie Gerätedaten, Ereignisstatus und Leckagen. Die Übertragung erfolgt über das selbstorganisierende WirelessHART-Netzwerk (IEC 62591). Eine dazu angebotene Überwachungssoftware für Kondensatableiter bietet wichtige Echtzeit-Informationen über die Zustände des Kondensatableiters: inaktiv, durchgeschlagen, verstopft oder geflutet. Ein Dashboard liefert unmittelbare Einblicke über den Zustand, den Dampfverlust und über den Energieverlust der Kondensatableiter. Der Algorithmus sorgt für eine detaillierte Fehleranalyse und hohe Stabilität für eine leichte Entscheidungsfindung, die zu schnellen Reaktionen und Benachrichtigungen über geschäftliche Auswirkungen führt. Außerdem beseitigen sie die Notwendigkeit von manuellen Inspektionen und können Wartungen proaktiv priorisieren, um Zeit und Kosten zu sparen.

Durch die Batteriespeisung und das Wireless-Protokoll ist keine Verdrahtung der Geräte erforderlich. So ist ein nachträglicher Einbau problemlos möglich. Durch Verwendung des NOA-Konzeptes (siehe Abschnitt 7.1) ist die Implementierung einfach.

Der Chemiekonzern DSM implementierte die Online-Überwachung und verfolgte die Ergebnisse der Akustik-Überwachung ein Jahr lang. Dann wurde beschlossen, die Lösung auf sechs Anlagen weltweit auszuweiten. Die erwarteten Einsparungen für sechs Anlagen mit 3800 WirelessHART Messumformern betragen mehrere tausend Tonnen CO₂. Die Rücklaufzeit liegt unter zwei Jahren. Ein Teil dieses Projektes wurde von der BAFA Modul 3 mit 30 % gefördert.

(Quelle: Emerson Automation Solutions)



Abbildung 3:
So sollte es nicht sein, Dampfaustritt
aus Kondensatableiter
(Quelle: Emerson Automation
Solutions)
©Emerson.com

2.2 Überwachung von Druckluftnetzen

Nahezu jeder Produktionsbetrieb verfügt über ein Druckluftnetz, doch nur selten sind diese Netze an die tatsächlichen Verbrauchsmengen angepasst. Ein wesentlicher Aspekt, um die Kosten und Verbräuche langfristig zu senken, liegt in der Überwachung des Druckluftverbrauchs der Einzelanlagen. Übergeordnetes Ziel ist die Erhöhung der „Sustainability“. Eine wichtige Kenngröße für die Effizienz von Druckluftanlagen ist die Menge an Frischluft, die durch den Kompressor am Einlass angesaugt wird. Dieses Luftfördevolumen wird üblicherweise als FAD bezeichnet (für Free Air Delivery).

Das folgende Beispiel stammt von einem Getränkehersteller, der sich angesichts steigender Energie- und Produktionskosten für eine verbesserte Überwachung des Druckluftnetzes entschied. Über die Messung der FAD hinaus sollten ineffiziente Luftverteilung und Luftdruckverluste durch Leckagen sichtbar gemacht werden. Um diese Messziele zu erreichen, setzt das Unternehmen Wirbelfrequenz-Durchflussmessgeräte ein. Diese Geräte verfügen über eine integrierte Druck- und Temperaturkompensation sowie einen Energierechner einschließlich FAD-Funktionalität.

Die Messgeräte werden in den Versorgungsleitungen einzelner Anlagen wie z.B. der Getränkeabfüllung eingesetzt, um den Verbrauch zu überwachen. Zusätzlich wird direkt hinter dem Kompressor eine Messung der Luftliefermenge und des FAD-Wertes durchgeführt, um den Wirkungsgrad des Kompressors zu überwachen. Zur Bestimmung des FAD-Wertes werden der Volumenstrom, die Betriebstemperatur und der Betriebsdruck an der Kompressor-Ausgangsseite benötigt, die direkt vom Wirbelfrequenz-Durchflussmessgerät erfasst werden. Zusätzlich benötigt das Messgerät extern ermittelte Werte für die Umgebungstemperatur und den Druck an der Kompressor-Ansaugseite, die aktuelle Motordrehzahl und die relative Luftfeuchtigkeit auf der Ansaug- und Auslass-

seite. Wenn der FAD-Wert sinkt, deutet dies auf eine nachlassende Energieeffizienz des Kompressors hin, verursacht z.B. durch einen verschmutzten Öl- oder Luftfilter.

Die Lösung mit Wirbelfrequenz-Durchflussmessgeräten hat für den Getränkehersteller mehrere Vorteile. Sie hilft dem Anwender bei der Erstellung von Verbrauchsprofilen der einzelnen Anlagen. Notwendige Wartungsarbeiten am Kompressor können durch die Ermittlung des FAD-Wertes bedarfsgerecht geplant und sogar präventiv durchgeführt werden. Die Wirbelfrequenz-Durchflussmessgeräte ermöglichen außerdem eine effektive Leckageerkennung im Druckluftnetz. Durch die Beseitigung aller Leckagen kann der Getränkehersteller die Arbeitszeit des Kompressors reduzieren und der Hilfskompressor muss nur noch selten oder gar nicht mehr eingesetzt werden. Der Getränkehersteller kann nun auch eine ungünstige Verteilung der Druckluft schnell sichtbar machen. Durch die Optimierung der Luftverteilung ist das Problem oft schnell und ohne Austausch des Kompressors gelöst, im besten Fall kann sogar der Druck am Kompressor reduziert werden. Insgesamt erreichte der Getränkehersteller eine Verbesserung seiner Sustainability im Bereich von 10 Prozent, und dies mit vergleichsweise geringem Aufwand und kleiner Investition.

(Quelle: KROHNE)

2.3 Monitoring von Dampf- und Gasnetzen

In Versorgungs- und Energiemanagementsystemen, z.B. für Dampf, Druckluft und Erdgas, erfordern wechselnde Prozessparameter wie Druck und Temperatur den Einsatz separater Sensoren samt Energierechner, um eine druck- und temperaturkompensierte Durchflussmessung zu ermöglichen. Bei der Erfassung von Energieverbräuchen führt dies zu vielen unterschiedlichen Messstellen sowie erhöhten Beschaffungs- und Installationskosten – ein Aufwand, der häufig gescheut wird.

Für solche Anwendungen wird mit Wirbelfrequenz-Durchflussmessgeräten mit integrierter Druck- und Temperaturkompensation sowie integriertem Energierechner eine Komplettlösung in einem einzigen Messgerät angeboten. Zusätzliche Verkabelung von Druck- und Temperatursensoren, über Kabeltrassen zum Energierechner entfällt. Durch Integration der einzelnen Sensoren in das Komplettsystem erzielt man eine deutlich erhöhte Gesamtgenauigkeit, die eine hohe Transparenz in Versorgungsnetzen schafft. Dies ermöglicht das gezielte Steuern von Instandhaltungsmaßnahmen im Energiesystem sowie die Systemoptimierung gemäß Energiemanagement nach ISO 50001. Die genaue Messung unterstützt den optimalen Betrieb beispielsweise von der Dampferzeugung über die Verteilung bis hin zum Verbraucher. Die aktuellen Energieverbräuche können auf die Produktionsmengen bezogen werden und unterstützen eine energieoptimale Steuerung der Anlagen.

(Quelle: KROHNE)

2.4 Überwachung des Wirkungsgrads von Dampfkesseln

Der Übergang von Erdgas zu Elektrizität als Wärmequelle in industriellen Prozessen ist eine Schlüsselkomponente der Energiewende. Man könnte direkt an den Verbrauchs-

orten mit elektrischer Energie heizen, es ist jedoch in vielen Fällen wirtschaftlicher, wie bisher Dampf zentral zu erzeugen und an den Verbrauchsstellen mit Dampf zu heizen.

Das ist gerade bei hohen Temperaturen effizient, gibt eine hohe Flexibilität für die einzelnen Verbrauchsstellen und ermöglicht, den Wärmeverbrauch und die Kesselheizung zeitlich etwas zu entkoppeln und damit ggf. schwankende Energiepreise zu nutzen. Es wird erwartet, dass Elektrokessel statt gasbeheizter Kessel bis 2040 eine wichtige Rolle bei der Verringerung der Kohlenstoffemissionen und der Verbesserung der Energieeffizienz spielen werden. Elektrokessel können fast die gesamte elektrische Energie in Wärme umwandeln, was sie hocheffizient macht, und erzeugen keine Emissionen an der Verwendungsstelle.

Intelligente Sensoren sind entscheidend für die Überwachung der Leistung von Elektrokesseln, indem sie verschiedene Parameter wie Temperatur, Druck und Durchflussmenge messen. Darüber hinaus können intelligente Sensoren anhand von Daten vorherzusagen, wann eine Wartung erforderlich ist. So tragen sie dazu bei, unerwartete Ausfälle zu vermeiden und sicherzustellen, dass der Kessel stets mit höchster Effizienz arbeitet. Durch die externe Überwachung von Messwerten wie Speisewasser und Dampf können Betreiber die Kesseleffizienz genau berechnen. Dies ermöglicht die rechtzeitige Erkennung von Problemen, was für die Aufrechterhaltung der Betriebskontinuität und die Optimierung der Energieeffizienz entscheidend ist. Darüber hinaus können die Betreiber mit Hilfe von Wirbeldurchfluss-Messgeräten direkt die Masse und den Energiegehalt des Speisewassers messen. Magnetisch-induktive Durchflussmesser verbessern dies noch, indem sie die Qualität des Speisewassers durch eine integrierte kalibrierte Leitfähigkeitsmessung überwachen. Ein kombinierter Ansatz maximiert den effizienten und sicheren Betrieb des Kessels, da die Qualität des Speisewassers einen direkten Einfluss auf die Leistung des Kessels hat.

Mit der integrierten Kompensation von Druck und Temperatur ermöglichen die modernen Wirbeldurchflussmesser eine einfache Kompensation von Masse und Energie bei der Dampfmesung. Darüber hinaus ermöglicht die Messung und Kompensation des Dampftrockengehalts den Betreibern die Bestimmung des tatsächlichen Energiegehalts des Dampfes und die Überwachung seines Feuchtigkeitsgehalts, was für die Energieeffizienz entscheidend ist.

(Quelle: Endress + Hauser)

2.5 Überwachung von Sicherheitsventilen

Druckhaltende Anlagen werden durch Druckentlastungseinrichtungen wie Sicherheitsventile oder Berstscheiben geschützt, damit Überdrücke gezielt abgeleitet werden können. Diese Vorrichtungen funktionieren rein mechanisch, so dass bei ihrem Öffnen oder eventuellen Leckagen kein Signal ausgelöst wird. Eine Überwachung erfolgt nur selten oder nur mittels Druckmessungen, die zur Erkennung des Auslösens eines Sicherheitsventils zu ungenau sind und zudem Undichtigkeiten nicht erkennen. So kommt es oft vor, dass Abgasfackeln oder Abgasverbrennungen ansprechen und erst dann nach dem verursachenden Gas gesucht wird. Deshalb wird dieses Gas oft „Geistergas“ genannt, da es oft Stunden dauert, bis die Quelle ausfindig gemacht wurde. Auch aus behördlicher Sicht muss die Auslösezeit von Sicherheitsventilen nachgewiesen werden. Leckagen, die durch defekte Sicherheitsventile oder Berstscheiben verursacht werden, können eine Vergeudung großer Mengen wertvoller Produkte sowie Energie zur Herstellung dieser Produkte bedeuten. Schon eine kleine Leckage (0,1 % vom Durchfluss des

Druckentlastungsventils) kann einen Materialverlust in Höhe von mehreren zehntausend Euro pro Jahr bedeuten. Deshalb wäre eine online-Überwachung der Druckentlastungs-einrichtungen ökologisch und ökonomisch sinnvoll.

Zur Lösung wurden bei der Marathon Petroleum Company die nicht-intrusive Wireless-Lösung mit Akustikmessumformern realisiert. Sie wurden im laufenden Betrieb von außen auf das Sicherheitsventil geschallt, siehe Abbildung 4, und erfassen die akustischen Werte des Sicherheitsventils und die Temperatur. Aufgrund der Korrelation der akustischen Werte und der Temperatur ist eine sofortige Erkennung der Auslösung von Sicherheitsventilen gewährleistet, und auch eventuelle Undichtigkeiten werden gemeldet. Damit sind die Statusinformationen der Druckentlastungs-Einrichtungen online-verfügbar. Dadurch kann beispielsweise schnell erkannt werden, welches Sicherheitsventil oder welche Berstscheibe im Fackelsystem angesprochen hat oder undicht ist. Das System liefert die Informationen, die für behördliche Vorschriften ermittelt werden müssen. In einer Raffinerie wurden 69 Wireless-Akustikmessumformer an Sicherheitsventilen montiert. Innerhalb von 15 Monaten wurden über 200 Auslösungen der 69 Sicherheitsventile detektiert. Davon war an drei Sicherheitsventilen der Umgang offen, zwölf waren undicht und fünf durch Verschmutzung blockiert, so dass sie im Notfall nicht vollständig geöffnet hätten. Neben der gesteigerten Sicherheit ergibt sich auch ein finanzieller Return on Invest, der mit wenigen Monaten berechnet wurde.

(Quelle: Emerson Automation Solutions)

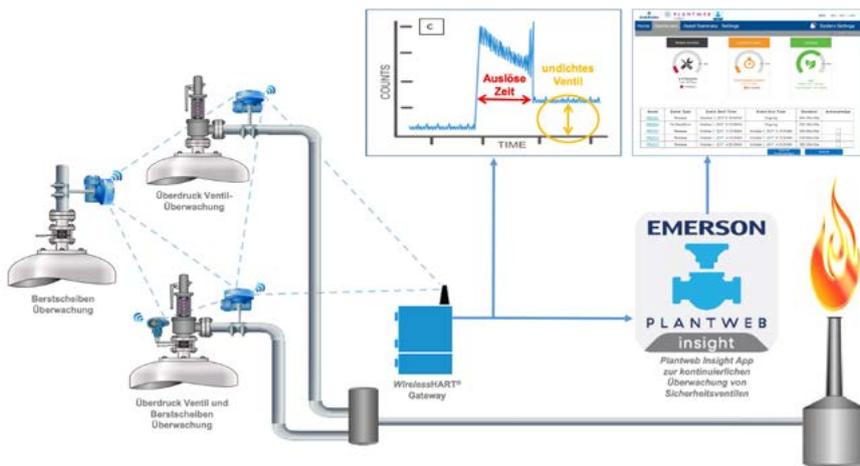


Abbildung 4:
Überwachung von Sicherheitsventilen
an einem Fackelsystem
(Quelle: Emerson Automation Solutions)
© Emerson.com

2.6 Vorausschauende Wartung von Wärmepumpen

Während sich die Welt auf eine nachhaltigere Zukunft zubewegt, wird das strategische Potenzial von Wärmepumpen in den Zielindustrien immer deutlicher. Sie sind hocheffizient und liefern Wärme bei niedrigen bis mittleren Temperaturen, wodurch sie sich für eine Vielzahl von Branchen eignen, darunter die Lebensmittel- und Getränkeindustrie sowie die Biotech-Industrie. Wärmepumpen können einen Wirkungsgrad von über 300 % haben. Sie können Abwärme und Umgebungswärme nutzen und damit den Gesamtenergiebedarf senken. Sie sind jedoch nur begrenzt für Hochtemperaturprozesse geeignet und erfordern im Vergleich zu elektrischen Heizkesseln eine höhere Anfangsinvestition.

Intelligente Sensoren spielen eine entscheidende Rolle bei der Ausschöpfung des vollen Potenzials von Wärmepumpen. Sie können die Leistung von Wärmepumpen in Echtzeit

überwachen und liefern wertvolle Daten, die zur Optimierung des Betriebs entsprechend den sich ändernden Angebots- und Nachfragemustern sowie zur Planung der Wartung verwendet werden können. In der Regel überwachen diese Sensoren Parameter wie Temperatur, Druck und Durchflussmenge. Diese Daten können wiederum verwendet werden, um Abweichungen von der optimalen Leistung zu erkennen.

Darüber hinaus können intelligente Sensoren mithilfe von Algorithmen des maschinellen Lernens vorhersagen, wann eine Wartung erforderlich ist. Wenn die Sensoren beispielsweise eine allmähliche Abnahme der Effizienz der Wärmepumpe feststellen, könnte dies darauf hindeuten, dass der Kältemittelstand niedrig ist und aufgefüllt werden muss. Durch die Vorhersage des Wartungsbedarfs können intelligente Sensoren dazu beitragen, unerwartete Geräteausfälle zu verhindern und sicherzustellen, dass die Wärmepumpen mit maximaler Effizienz arbeiten, was ihr Energieeinsparpotenzial weiter erhöht.

Die Durchflussmessung ist ein Dreh- und Angelpunkt bei der Quantifizierung der zurückgewonnenen Wärme. Mit Hilfe von Sensoren wie Clamp-On- oder Inline-Ultraschallsensoren können die Betreiber die Durchflussmenge des Wärmeträgers genau messen. Diese Daten sind von zentraler Bedeutung für die Berechnung der rückgewonnenen Wärmemenge und die Gewährleistung, dass das System mit höchster Effizienz arbeitet. Durch die Erstellung von Wärmebilanzen und die Erkennung von Veränderungen in der spezifischen Abwärmerückgewinnung können Betreiber Probleme wie Ablagerungen auf Wärmetauscheroberflächen, die die Effizienz beeinträchtigen, schnell erkennen. Dieser proaktive Ansatz ist für die Aufrechterhaltung einer optimalen Energienutzung unerlässlich.

Genauso wichtig ist die Erkennung von Korrosionsrisiken. Durch die Überwachung von Parametern wie dem Gehalt an gelöstem Sauerstoff und dem pH-Wert ermöglichen intelligente Sensoren die rechtzeitige Erkennung von Bedingungen, die das Korrosionsrisiko erhöhen. Dies ist für die Betriebskontinuität von entscheidender Bedeutung, da unkontrollierte Korrosion zu Anlagenausfällen und ungeplanten Ausfallzeiten führen kann.

Zusammen bilden diese Vorteile den Eckpfeiler eines energieeffizienten und kontinuierlich arbeitenden Wärmerückgewinnungssystems, wobei intelligente Sensoren die Voraussetzung für eine vorausschauende Wartung und eine optimale Energierückgewinnung sind.

(Quelle: Endress + Hauser)

2.7 Überwachung von Wärmetauschern

Wärmetauscher dienen dazu, Stoffströme mit Hilfe eines Heiz- bzw. Kühlmediums auf gewünschte Temperaturen zu bringen. Die Wärmeübertragung zwischen Prozessmedium und Heiz-/Kühlmedium ist optimal, wenn die Wärmetauscher nicht verschmutzt sind. Bei Verschmutzung (Fouling genannt) sinkt die Wärmeübertragung, so dass mehr Energiebedarf zur Förderung des Prozessmediums erforderlich ist und/oder ein höherer Druckverlust des Heiz-/Kühlmediums auftritt, der durch erhöhte Pumpleistung ausgeglichen werden muss. Bereits eine Verschmutzung von 2 % kann einen Energieverlust von 10 % und einen Kapazitätsverlust von 0,7 % verursachen. Deshalb würde ein Online-Monitoring von Wärmetauschern Energie sparen, die Anlagenkapazität erhöhen und Kosten sparen.

Der Zustand von Wärmetauschern lässt sich durch Temperaturmessung vor und hinter dem Wärmetauscher beobachten. In den meisten Fällen ist jedoch nur eine Temperaturmessung vorhanden, die für die Regelung der Produktion ausreicht, aber nicht zur Erkennung der Verschmutzung. Ein drahtloser Temperaturtransmitter und bei Bedarf auch ein ebenfalls drahtloser Durchflussmesser können ohne Verkabelungsaufwand nachgerüstet werden. Eine vorkonfigurierte Anwendung auf der Seite eines Automatisierungs-Anbieters analysiert kontinuierlich die Prozess- und Anlagenzustandsdaten und ermittelt eine Beurteilung des Anlagenzustands in einer präzisen Prozentangabe. Daraus können Hinweise zu einer erforderlichen Reinigung, Kosten der verlorenen Energie, Verschmutzungsfaktoren und -raten sowie Arbeitsfelder des Wärmetauschers abgeleitet und für eine faktenbasierte Entscheidung über zu treffende Maßnahmen verwendet werden. Durch die Datenübertragung per WirelessHART ist eine nachträgliche Installation kostengünstig möglich. Die vorkonfigurierte App-Lösung berechnet die Daten und leitet sie, wenn gewünscht, an die zuständigen Mitarbeiter oder an übergeordnete Systeme weiterleiten, siehe Abbildung 5. Die Lösung wurde bei dem Chemie-konzern BASF installiert und wies eine Rücklaufzeit von wenigen Monaten auf. (Quelle: Emerson Automation Solutions)

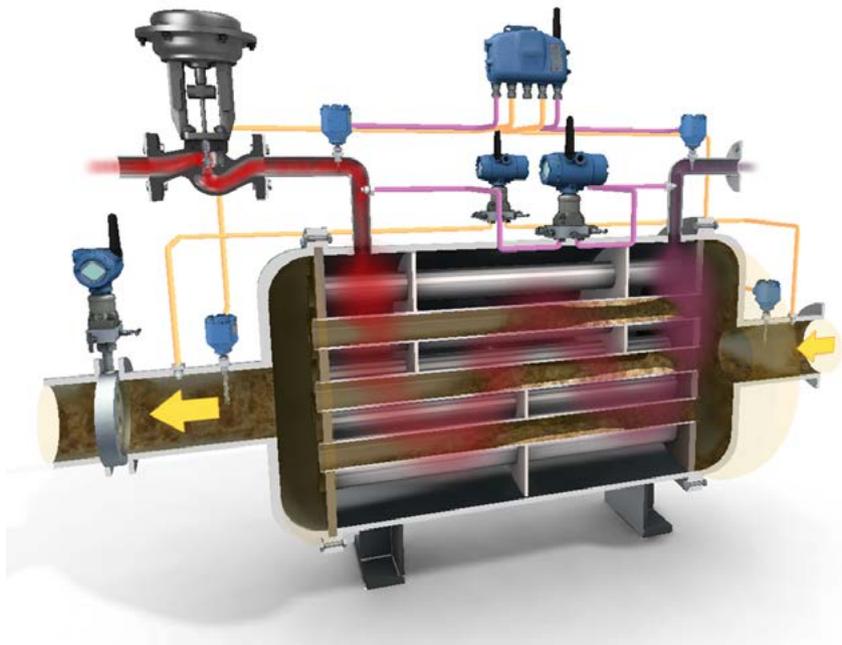


Abbildung 5:
Wärmetauscher mit zugehörigen PLT-
Einrichtungen
(Quelle: Emerson Automation
Solutions)
© Emerson.com

2.8 Online-Überwachung in einer Molkerei

Molkereien erhalten täglich frische Rohmilch, die vor der eigentlichen Verarbeitung gekühlt und in Tanks zwischengelagert wird. Die Anlieferung der Milch erfolgt meist rund um die Uhr an sieben Tagen in der Woche. Die tägliche Liefermenge Rohmilch an die Molkerei beträgt im vorliegenden Beispiel 750.000-800.000 Liter. Bevor die Rohmilch aber vom Tankfahrzeug in die Lagertanks gepumpt werden kann, muss deren Qualität anhand des pH-Werts überprüft werden. Optimal und Qualitätsstandard ist hier ein pH-Wert der Rohmilch zwischen 6,5 und 6,7. Niedrigere pH-Werten deuten auf saure Rohmilch in den Transportfahrzeugen hin. Wird auch nur ein Teil der sauren Rohmilch in die Lagerbehälter gepumpt, wird der gesamte Rohmilchbestand verunreinigt. Eine Weiterverarbeitung ist nicht mehr möglich. Folglich müsste der gesamte Lagerbestand entsorgt und alle Leitungen, Ventile und Tanks aufwändig mit Chemikalien gereinigt werden.

Auf dem Weg vom Tankfahrzeug in die Lagertanks passiert die Rohmilch eine vollautomatische pH-Messeinrichtung, die in die Rohrleitung eingebaut ist, siehe Abbildung 6. Diese misst vollautomatisch den pH-Wert der Rohmilch und steuert ein nachgeschaltetes Ventil, welche die Rohmilch in die Lagertanks leitet – oder das Pumpen abbricht. Die vollautomatische pH-Messung überwacht nicht nur den pH-Wert der Rohmilch, sondern analysiert auch die eigene Leistungsfähigkeit, so dass das System rund um die Uhr verfügbar ist. Eine redundante Auslegung der Messung erlaubt weiterhin eine vollautomatische Reinigung und Kalibrierung einer pH-Messstelle, während die Messung vom redundanten Messsystem übernommen wird.

(Quelle: Knick)

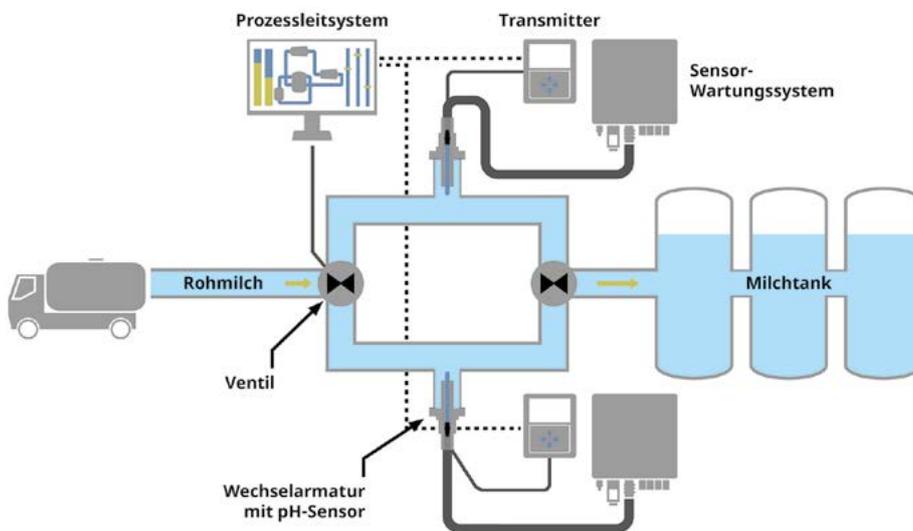


Abbildung 6:
Schematische Darstellung der vollautomatischen pH-Messung in redundanten Zweigen während der Rohmilch-Anlieferung
(Quelle: Knick)

2.9 Korrosionsüberwachung

Durch die frühzeitige Erkennung von Korrosions- und Erosionsereignissen lassen sich Leckagen vermeiden und die Prozesssicherheit sowie den Umweltschutz gewährleisten. Durch die Möglichkeit des automatischen Online-Datenabrufs muss kein Personal in Gefahrenbereiche entsendet werden.

Die Korrosions- und Erosionsüberwachung ermöglichen eine optimale Entscheidungsfindung in Echtzeit, wodurch Sie Ihre Anlage maximal nutzen und höchste Rentabilität erreichen können. Alternde Anlagen, eine höhere Korrosivität der Prozessmedien, strengere Arbeitsschutzregelungen, knappere CAPEX/OPEX-Budgets und Kosten durch Leckagen sind weit verbreitete und bekannte Herausforderungen innerhalb der Branche.

Ein solches System zur Korrosionsüberwachung wurde in den meisten Raffinerien in Deutschland implementiert. Wenn dort günstigeres Schweröl mit höherem Schwefelgehalt verarbeitet wird, das ein erhöhtes Korrosionsrisiko mit sich bringt, ist ein online Korrosion Monitoring nötig. Die Messpunkte sind oft schwer erreichbar für manuelle Messungen. Dazu wurde in den Raffinerien ein online-Monitoring der Rohrwanddicke mit 270 Aufschnall-Ultraschall-Sensoren mit WirelessHART-Kommunikation installiert. Die Auswertung der Rohrwanddicke erfolgt per Webserver mit Vorhersage der verbleibenden Standzeit der Rohrleitungen. Die Überwachung der Rohrwände erfolgt in Echtzeit. Für die Projekte wurde ein Return of Invest (ROI) von weniger als drei Monaten ermittelt. (Quelle: Emerson Process Solutions)

2.10 Emissionserfassung von Treibhausgasen

In der EU, aber auch in anderen Staaten gibt es mittlerweile weitreichende Regularien, um den Ausstoß von Treibhausgasen (GHG) zu erfassen. So sieht z.B. die Durchführungsverordnung (EU) 2018/20661 vor, dass Treibhausgasemissionen bestimmter Anlagen erfasst und berichtet werden müssen (Artikel 1 und 2). Betroffen hiervon sind Anlagen laut EU Richtlinie 2003/87/EG, Anhang I2. Dazu gehören u.a. emissionsintensive Anlagen wie Raffinerien, Glaswerke, und große Anlagen zur Aluminium-, Stahl- oder Zementklinkerherstellung. Eine Ausnahme wird für Anlagen gemacht, die mit Biomasse befeuert werden. Für die Erfassung stehen verschiedene Überwachungsmethodiken zur Verfügung, die entweder auf Berechnung oder auf Messung basieren (Artikel 21). Der bevorzugte Weg ist eine Berechnung aufgrund von Stoffströmen, z.B. dem Gasverbrauch. Wird die Betrachtung auf Scope 2 erweitert, kann auch der Elektrizitätsverbrauch berücksichtigt werden. Diese Methoden sind einfach anzuwenden, weil sie bestehende Dateninfrastrukturen des Leitsystems mitnutzen können. Ihr Nachteil ist, dass sie in Teilen auf Annahmen basieren. Z.B. basiert eine Abschätzung des CO₂ Ausstoßes in der Zementherstellung primär auf den mengenbasierten Emissionen durch den Sintervorgang bei der Klinkerherstellung (d.h. der Umwandlung von Kalkstein zu Kalk). Vernachlässigt werden allerdings z.B. Staubverluste (Zementofenstaub / Cement Kiln Dust – CKD). Eine Messung kann Schätzwerte korrigieren oder sogar ersetzen.

Eine auf Messung basierende Methodik erfasst kontinuierlich die Konzentration der Treibhausgase im Abgasstrom und in eventuellen Weiterleitungen zwischen Anlagen. Zur CO₂ Messung stehen verschiedene Technologien zur Verfügung. Nichtdispersive Infrarotsensoren in Gasanalysatoren bestimmen den CO₂ Gehalt durch Analyse der Absorption bestimmter Wellenlängen einer Infrarotlichtquelle. Chemische Sensoren sind im

industriellen Umfeld wegen ihrer kurzen Lebensdauer hingegen weniger geeignet. Ein Nachteil der Sensoren sind die Kosten für Hardware und für regelmäßige Kalibrierungen. Ihr Vorteil ist ein glaubwürdiger, weil gemessener Wert.

(Quelle: ABB)

2.11 Prozessanalytentechnik für das Recycling

Bayer hat sich zum Ziel gesetzt, bis 2030 klimaneutral zu sein und die Treibhausgasemissionen in der Landwirtschaft deutlich zu verringern. Am Standort Dormagen wurde eine Produktionsanlage für das Fungizid Prothioconazol mit einer Eisen(III)-Chlorid-Recycling-Anlage erweitert, siehe Abbildung 7. Das reduziert die Abfälle bei der Produktion und ist Teil umfassender Investitionen in Höhe von 180 Millionen Euro in Umweltschutz, Produktionserweiterungen, Sicherheit und Recycling.

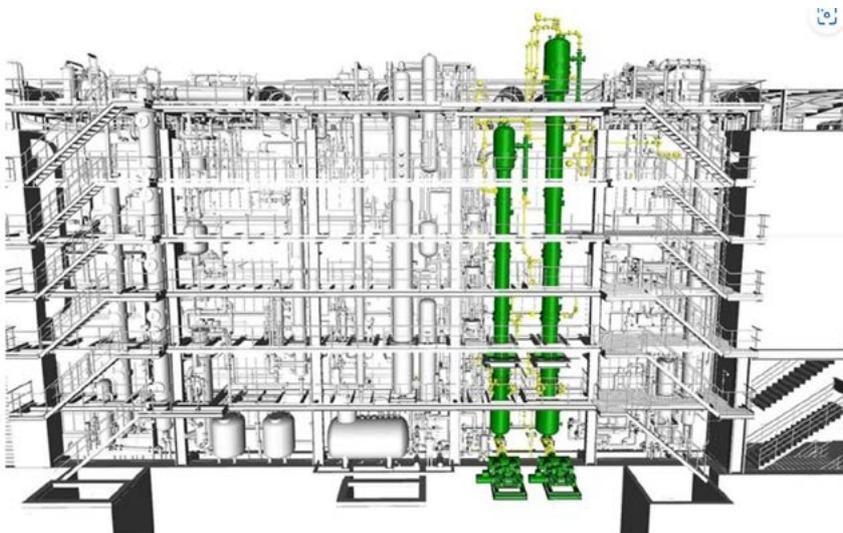


Abbildung 7:
Produktionsanlage für ein Fungizid mit
der neuen Eisen(III)-Chlorid-Recycling-
Anlage (grün)
(Quelle: Bayer)

Aufgrund der Komplexität des Recyclingprozesses kann eine solche Recycling-Anlage nicht nur mit den klassischen physikalischen Sensoren (Temperatur, Druck, Flüssigkeitsstand) gefahren werden. Vielmehr benötigt die Prozessautomatisierung sowohl für die Funktion als auch die Sicherheit des Recyclingprozesses eine große Anzahl unterschiedlicher PAT-Sensoren – die Prozessanalytentechnik ist ein Enabler für diese Recyclinganlage. Es wurden u.a. Sensoren für pH- und Redox-Wert und mehrere UV-Messungen ($\text{FeCl}_2/\text{FeCl}_3$) eingesetzt. Ein Titrator zur FeCl_3 -Messung erlaubt eine echtzeitnahe Qualitätsmessung, so dass eine Fahrweise nahe am Optimum sichergestellt wird.

Durch eine Kreislaufführung werden 95 Prozent des Eisens recycelt und auch die Abwasseraufbereitung entfällt. Das spart 22.000 Tonnen Natronlauge, die bisher für die Neutralisierung des Abwassers benötigt wurde, und führt zu einem geringeren Rohstoff- und Hilfsmittel-Einsatz. Jährlich können so rund 9.000 Tonnen CO_2 gespart werden.

(Quelle: Bayer)

2.12 Intelligentes Ventil mit eingebauter Sensorik

Regelventile werden überwiegend zur Regelung von Durchflüssen verwendet: Ein Durchflusssensor misst den Durchfluss, im Controller wird ein Sollwert für den Stellungsregler des Ventils erzeugt und der Stellungsregler gibt dann so viel Steuerluft auf den Aktor, dass die gewünschte Ventilstellung erreicht wird. Ein innovatives Sensor-Ventil integriert eine Ultraschall-Durchflussmessung in den Ventilkörper, siehe Abbildung 8, und verfügt über eine leistungsfähige Elektronik, die über einen schnellen Regelkreis eine gewünschte Durchflussmenge direkt einregelt. Darüber hinaus liefern integrierte Temperatur- und Drucksensoren zusätzlich diese Messwerte und erlauben eine Selbstüberwachung des Gerätes.

Durch die Integration von Messtechnik für Durchfluss, Druck und Temperatur in ein einzelnes Stellventil sowie durch einen sehr leistungsfähigen digitalen Regler wird eine erhöhte Regelgüte erzielt. Diese verbessert in einem Prozess die Stoff- und Energieeffizienz. Dazu trägt bei, dass das Gerät einen geringeren Energiebedarf in Bezug auf Hilfsenergie und Druckverluste aufweist. Das Sensor-Ventil hat die klassische Baugröße eines Ventils und benötigt keine geraden Ein- und Auslaufstrecken, so dass Anlagen kleiner, leichter und materialsparender gebaut werden können. Außerdem kann nicht nur der Durchfluss auf einen Sollwert geregelt werden, sondern eine andere physikalische Größe wie Temperatur, Füllstand oder Zusammensetzung kann durch den Durchfluss eingestellt werden, direkt durch Verdrahtung vom externen Sensor zum Gerät statt über eine Steuerung.

Durch ebenfalls erhöhte Informationsdichte und unmittelbare Verarbeitung vor Ort ist es nun möglich, vorausschauende Instandhaltung und sogar fehlertoleranten Betrieb zu realisieren. Ressourcen schonend ist darüber hinaus, dass weitere Messtechnik zum Teil überflüssig wird (kein zusätzlicher Energieverbrauch, keine weiteren Investitionen in Geräte und Anlage, weniger Raumbedarf), weil zusätzliche Prozesswerte über die bereits vorhandenen Sensoren ermittelt werden können und auch der Verwaltungsschale zur Verfügung gestellt werden.

(Quelle: FOCUS-ON VoF A SAMSON & KROHNE COMPANY)

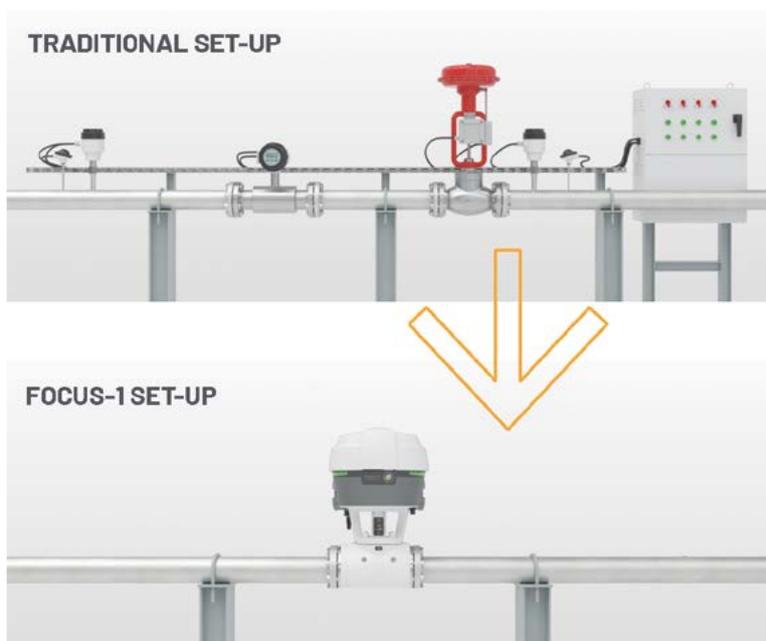


Abbildung 8:
Intelligentes Sensor-Ventil im Vergleich zur herkömmlichen Instrumentierung und Regelung mit Temperaturmessung, Druckmessung, Durchflussmessung, Regelventil, Druckmessung, Temperaturmessung und Anschlusskasten (von links)
(Quelle: FOCUS-ON VoF A SAMSON & KROHNE COMPANY)

2.13 Druckluft einsparung durch intelligente Ventilansteuerung

Pneumatisch betätigte Ventile werden häufig über Ventilinseln angesteuert. Diese steuern die Zuluft zu pneumatischen Antrieben, um mit Hilfe der jeweiligen Armatur die gewünschten Bewegungen zu erreichen. Ein innovatives Motion-Terminal, siehe Abbildung 9, bietet intelligente Möglichkeiten auf dem Weg zur „digitalisierten Pneumatik“. Die Grundausstattung bietet den bisher üblichen Funktionsumfang von Ventilinseln. Piezovenile können beliebig angesteuert werden und ermöglichen eine exakte Regelung des Durchflusses.

Darüber hinaus können auf der identischen Hardware mehr als zehn zusätzliche Apps per Software freigeschaltet werden, die hohe Einsparungen ermöglichen, z.B.:

- Bei einer App werden die Verfahrzeiten für das Ein- und Ausfahren vorgegeben. Die reale Verfahrzeit wird selbständig ermittelt und die Abluftdrosselung angepasst, bis die vorgegebene Verfahrzeit erreicht ist. Durch die permanente Überwachung und Anpassung wird die Verweilzeit lebenslang konstant gehalten.
- Bei einer anderen App wird nur der für die jeweilige Last benötigte Druck beaufschlagt. Am Ende des Arbeitszyklus wird nur der erforderliche Arbeitsdruck aufgebaut. Dies erlaubt eine Einsparung des Druckluftverbrauchs von bis zu 70 %.
- Um Leckagen zu diagnostizieren, ermittelt eine App den Druckabfall in der Endlage. Die Werte werden mit Referenzwerten verglichen, Differenzen oberhalb einstellbarer Grenzwerte werden gemeldet. Die Prüfung auf Leckage erfolgt nicht im laufenden Betrieb, sondern in separaten Prüfzyklen.

Das Konzept des Motion-Terminals mit einer standardisierten Hardware und individuell zusammengestellten Apps hat viele Vorteile. Das Engineering und die Beschaffung sind einfach, weil die Apps nicht von vornherein festgelegt werden müssen. Die Ersatzteilhaltung ist reduziert und in der Produktionsphase und bei Anlagenmodifikationen können die jeweils benötigten Apps leicht nachgeladen werden.

(Quelle: Festo)



Abbildung 9:
Motion Terminal VTEM
(Quelle: Festo)

2.14 Control Performance Monitoring

Die Komplexität industrieller Prozess-Applikationen steigt in zunehmendem Maße. Gleichzeitig erhöhen sich die Anforderungen an die Produktionsziele im Hinblick auf Prozesssicherheit, Flexibilität, Produktqualität und Nachhaltigkeit. In der Prozessindustrie ist die Regelgüte entscheidend für das Erreichen dieser Ziele. Studien zeigen allerdings, dass die Hälfte aller Regelkreise nicht zufriedenstellend betrieben werden. Darüber hinaus ist das Erkennen von Verbesserungspotenzial und das Optimieren von Regelkreisen keine einmalige Aufgabe; durch Änderungen in den Produktionsabläufen und Verschleiß bleibt diese Herausforderung laufend bestehen.

Eine Control-Performance-Monitoring-Software erfasst und analysiert Informationen auf Anlagenebene mit Hilfe von spezifischen KPIs (Abbildung 10) und ermöglicht eine automatische Berechnung neuer Parametersätze zur Optimierung von Regelkreisen, ohne dabei den Anlagenbetrieb zu beeinträchtigen. Gleichzeitig werden deutliche Einsparungen von notwendigen manuellen Arbeitsschritten erzielt.

Neben einer erhöhten Produktqualität aufgrund geringerer Schwankungen der Prozessvariablen, einer Steigerung des Durchsatzes aufgrund stabilerer sich besser an die Grenzwerte annähernder Sollwerte und einer verbesserter Prozesssicherheit aufgrund weniger erforderlicher manueller Eingriffe wird auch die Nachhaltigkeit der Produktion optimiert. Längere Laufzeiten von Aktoren aufgrund verringerter Variabilität, eine frühzeitige Detektion von fehlerhaften Komponenten und eine Ressourceneinsparung dank verbesserter Sollwertnachführung ermöglichen die Ressourcen- und Energieeffizienz der Anlage zu steigern.

Durch den Einsatz der Control-Performance-Monitoring-Software konnten beim Unternehmen Hamburger Rieger, einem Betreiber, nicht nur die manuellen Eingriffe reduziert und die Produktionsstabilität erhöht werden, sondern auch der Verbrauch der Rohstoffe reduziert werden.

(Quelle: Siemens)



Abbildung 10:
Control Performance Monitoring in
einer chemischen Anlage
(Quelle: Siemens)

3 Prozesse und Anlagen für die Sustainability

In Abschnitt 1.3 wurde beschrieben, dass die Klimaneutralität nicht nur durch kleinere Verbesserungen der Fahrweise erreicht werden kann, sondern auch Anlagenmodifikationen oder neue Verfahren und Anlagen erfordert. Dieses Kapitel enthält dafür drei Beispiele:

- Eine geschickte Ausnutzung von Abwärme, unter Umständen mit Einsatz von Wärmepumpen, führt zu einer deutlich verbesserten Energienutzung, aber auch zu komplexeren Regelungsaufgaben (Abschnitt 3.1)
- Bisher mit Gas betriebene Reaktionen müssen auf Strom umgestellt werden, sei es direkt im Prozess oder zur Dampfherstellung (Abschnitt 3.2)
- Herstellung und Nutzung von Wasserstoff setzt gut regelbare Erzeuger (Elektrolyseure) und Anwender im industriellen Maßstab voraus (Abschnitt 3.3)

3.1 Geschickte Ausnutzung von Abwärme

Die bestmögliche Nutzung von Abwärme, die in Produktionsprozessen grundsätzlich verfügbar ist, bislang aber oft ungenutzt abgegeben wird, ist ein Kernziel des zukünftigen nachhaltigen und effizienten Betriebes von Produktionsanlagen. Hierfür ist es zunächst notwendig, die Abwärmepotenziale zu identifizieren, die beispielsweise durch Kühlbedarfe im Produktionsprozess bei hohen Temperaturen anfallen. Auch Kondensate in bestehenden Heizdampfnetzen gehören hierzu. Diese Abwärmepotenziale sollten an zentralen Stellen im Betrieb bei möglichst hoher Temperatur gesammelt werden, damit diese anschließend wieder gewinnbringend eingesetzt werden können, beispielsweise für Aufwärmprozesse oder zur Beheizung der Gebäude (siehe Abbildung 11). Falls hierfür bisher höherwertige Energien wie Frischdampf eingesetzt wurden, können diese durch das beschriebene Konzept ersetzt oder zumindest reduziert werden. Langfristig ermöglicht dies auch die Elektrifizierung der Wärmeversorgung mit Hochtemperaturwärmepumpen, denn während die direkte Frischdampferzeugung mit Wärmepumpen aufgrund des hohen Temperaturhubs nicht effizient möglich ist, ist eine Wärmepumpen-Einspeisung in Heißwasser-Verteilnetze eine denkbare Option.

Während diese verbesserte Ausnutzung der Abwärme im Wesentlichen eine Herausforderung an die Verfahrenstechnik ist, stellt sie auch zusätzliche Anforderungen an die Automatisierung. Die zusätzlichen Energieflüsse zwischen den einzelnen Wärmeerzeugern und -verbrauchern führen zu einer regelungstechnischen Vermaschung verschiedener Anlagen, was aber nicht zu Schwankungen in Qualität und Ausbeute der Prozesse führen darf. Somit müssen langfristig mehr Messtechnik und komplexere Methoden der Regelungstechnik wie eine Mehrgrößenregelung verstärkt eingesetzt werden.

(Quelle: Bayer)

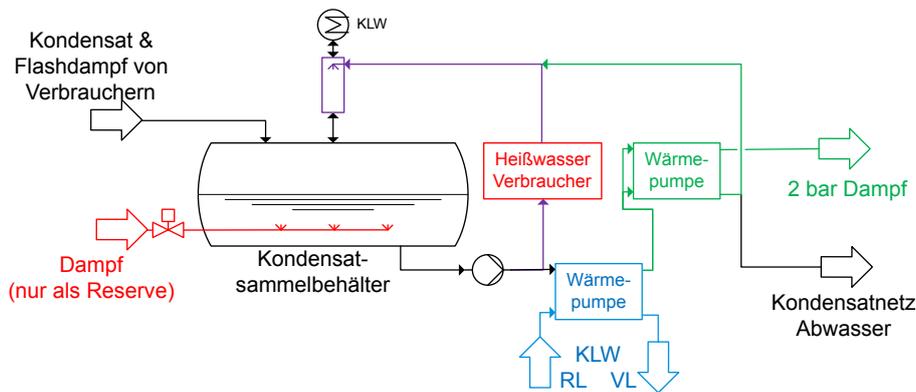


Abbildung 11:
Beispiel für eine effiziente Nutzung
von Abwärme
(Quelle: Bayer)

3.2 Elektrifizierung fossiler Prozesse

Bei der Elektrifizierung fossiler Prozesse lassen sich im Wesentlichen ein direkter und ein indirekter Ansatz unterscheiden. Bei der direkten Elektrifizierung wird elektrische Energie direkt in Produktionsanlagen eingesetzt und ersetzt so fossile Energie zum Heizen („Power-2-Heat“) oder in chemischen Reaktionen („Power-2-Chemicals“). Bei der indirekten Elektrifizierung erfolgt die Elektrifizierung außerhalb der eigentlichen Produktionsanlagen, etwa zur Herstellung von Eingangsmaterialien („Power-2-Chemicals“) für die eigene Produktion durch Dritte, oder zur Herstellung von Energieträgern („Power-2-Gas“, „Power-2-Hydrogen“, „Power-2-Fuel“). Wird hierfür Strom aus erneuerbaren Quellen eingesetzt, ist theoretisch eine klimaneutrale Produktion möglich. Dies setzt jedoch voraus, dass die kontinuierliche Energienutzung in einem Energiemarkt mit begrenztem und schwankendem Angebot an Grünstrom (z.B. wetterabhängigem Solar- und Windstrom) unter Nutzung von Speichertechnologien ermöglicht wird.

Insbesondere die Bereitstellung von Heizenergie erfolgt derzeit meist noch durch fossile Energieträger wie Erdgas, das in Dampfkesseln zur Erzeugung von Dampf verwendet wird, der zur Beheizung von Reaktoren, Destillationskolonnen, Verdampfern, Trocknern etc. eingesetzt wird. Der Einsatz alternativer Technologien zum Heizen wird daher einen wichtigen Beitrag hin zu einer klimaneutralen Produktion liefern müssen. Solche alternativen Technologien sind bereits bekannt, deren Implementierung scheitert jedoch oft aus technischen oder ökonomischen Gründen, da sie teilweise nur mit erheblichem Aufwand in den Produktionsanlagen realisiert werden können.

Ein Beispiel für eine direkte Elektrifizierung von Prozessen ist die mechanische Brüdenkompression in Destillations- und Verdampfungsprozessen (Nutzung des Produktdampfes nach dessen Verdichtung zur Beheizung des Destillationssumpfes). Auch die Multi-Effekt-Destillation (Kopplung von Kondensation und Verdampfung zwischen verschiedenen Kolonnen einer Destillationssequenz) kann einen vielversprechenden Beitrag zur Energieeinsparung und damit zur Absenkung des Heizbedarfs liefern. Weiterhin können auch Wärmepumpen zum Betrieb von Destillationsanlagen oder Trocknungsverfahren eingesetzt werden. Der Ersatz der Dampfheizung durch elektrische Heizung oder die Verbesserung des Betriebs durch elektrisch betriebene Funktionalität kann ebenfalls zu einer erhöhten Effizienz der Prozesse führen; Beispiele hierfür sind Beheizung durch Mikrowellen- oder Infrarot-Heizungen und Trockner, Induktionsöfen, ultraschallgestützte Extraktion oder Elektromembranen. Manchmal ist es auch möglich, thermische Verfahren durch weniger energieintensive zu ersetzen, z. B. die Destillation durch ein Membranverfahren. Die Komplexität der Prozesse nimmt durch einige dieser Vorschläge zu. Dies führt zu zusätzlichen Herausforderungen im Bereich der Messtechnik,

Automatisierung und Regelung sowie der Optimierung der Fahrweise, die angegangen werden müssen.

Immer wenn eine direkte Elektrifizierung innerhalb des Prozesses nicht machbar oder wirtschaftlich ist, lohnt es sich, über die Infrastruktur nachzudenken, die den Prozess mit Energie versorgt. Die direkte Elektrifizierung des Versorgungssystems für (Prozess-) Wärme ist mit zwei Hauptoptionen möglich, der direkten elektrischen Beheizung oder durch Wärmepumpen. Elektrische Heizgeräte sind in verschiedenen Größen erhältlich und können sowohl Dampf (elektrischer Widerstands- oder Elektrodenkessel) als auch flüssige Heizmedien (elektrische Widerstandsheizung) erzeugen. Trotz der hohen Effizienz elektrischer Heizsysteme ist aufgrund der typischerweise noch höheren spezifischen Kosten von Strom im Vergleich zu alternativen Brennstoffen aber auch stets die Wirtschaftlichkeit zu berücksichtigen; eine sinnvolle Variante stellen Hybridkessel dar, die eine Elektroheizung mit Brennstoffheizung oder Elektroheizung mit Wärmespeicher, um Zeiten zu überbrücken, in denen Ökostrom knapp und teuer ist. Eine effizientere Möglichkeit zur Erzeugung von Heizmedien stellen Wärmepumpen dar, die Abwärme aus einem Prozess oder aus der Umgebung bei niedriger Temperatur entnehmen und auf das erforderlichen Temperaturniveau anheben; hierfür ist elektrische Energie erforderlich, jedoch typischerweise deutlich weniger als bei der direkten elektrischen Beheizung. (Quelle: Bayer)

3.3 Herstellung von „grünem Wasserstoff“

Wasserstoff ist auch heute schon für eine Vielzahl von industriellen Prozessen unerlässlich. 80 % des Wasserstoffs werden für Anwendungen in Raffinerien, der Ammoniakproduktion oder der Stahlindustrie verwendet.

Unter grünem Wasserstoff versteht man Wasserstoff, der mit Hilfe eines Elektrolyseurs hergestellt wird, wobei die für die Elektrolyse benötigte Energie aus erneuerbaren Energien stammt. Auch wenn der Gesamt-Wirkungsgrad bei der Herstellung und Nutzung von Wasserstoff noch schlecht ist: An der Nutzung von Wasserstoff führt kein Weg vorbei, wenn Europa klimaneutral werden will. Gründe dafür sind die gute Speicherbarkeit von Wasserstoff (im Gegensatz zu Strom), seine Transportierbarkeit und seine hohe Energiedichte. Wasserstoff ist ein vielseitiger Energieträger, der auch zur Dekarbonisierung einer Vielzahl von Sektoren eingesetzt werden kann – entweder durch direkte Nutzung oder durch Umwandlung in erneuerbare Folgeprodukte wie E-Methanol, E-Ammoniak oder andere alternative Kraftstoffe. Um einen Beitrag zur globalen Dekarbonisierung zu leisten, liegt es auf der Hand, dass die Nutzung grünen Wasserstoffs in den kommenden Jahren deutlich zunehmen muss.

Wasserstoff kann per Schiff auch flexibel weltweit gehandelt werden, z.B. aus Ländern mit hoher Sonneneinstrahlung oder siedlungsarmen Flächen für Windkraftanlagen. Doch unabhängig von Importen ist es erklärtes Ziel der EU, aber auch Deutschlands, Wasserstoff auch hierzulande mit großer Kapazität herzustellen. Im Juli 2023 wurde die Nationale Wasserstoffstrategie vom Bundeskabinett fortgeschrieben. Das Ziel für heimische Elektrolysekapazität in 2030 wurde dabei von 5 GW auf 10 GW erhöht, der restliche Bedarf soll durch Importe gedeckt werden. Bis 2027/28 soll ein Wasserstoffstartnetz mit 1800 km Länge aufgebaut werden, bis 2032 werden alle großen Erzeugungs-, Import- und Speicherzentren mit den relevanten Abnehmern verbunden. Die Entwicklung von Technologien für große Elektrolyseanlagen wird gefördert, dabei ist eine Drittteilung der Kapitalkosten bezogen auf die Kapazität angestrebt. Elektrolyseure

benötigen Sensoren für Temperatur, Drücke, Flüssigkeitsstände, Durchflüsse und Analysatoren für die Reinheit der Gase Wasserstoff und Sauerstoff.

Klassischerweise wurden Elektrolyseure im Nennlastbereich betrieben. Da allerdings die aus erneuerbaren Energiequellen wie Windkraftanlagen und Photovoltaik verfügbare elektrische Energie stark schwankt, muss das Elektrolysesystem einen hohen Wirkungsgrad über einen großen Lastbereich, beispielsweise zwischen 25 und 100 %, gewährleisten. Außerdem muss in sehr kurzer Zeit an- und abgefahren werden können. Das kann durch die entsprechende Stellventilauswahl mit hohem Stellverhältnis und kurzen Laufzeiten insbesondere für den Bereich der Wasserstoff- (und Sauerstoff-) Ausgangsdruckregelung kombiniert mit einer performanten Steuerung erreicht werden. Eine Effizienzsteigerung ergibt sich insbesondere im damit erst möglichen Teillastbetrieb. (Quelle: Siemens, SAMSON)

4 Modulare Anlagen

Eine Maschine oder Anlage aus Modulen zusammenzusetzen, statt sie individuell von Null aus zu planen, spart Zeit und Geld. Das ist offensichtlich und wird in vielen Industrien auch angewendet. In der Prozessindustrie ist die Idee einer „modularen Anlage“ hingegen erst gut zehn Jahre alt. Natürlich eignet sich ein modularer Ansatz nicht für Großanlagen, schon weil die Module zu groß und zu schwer transportierbar wären. Aber für Anlagen in Labor, Technikum und mittlerem Produktionsmaßstab (z.B. in Spezialchemie oder Pharmazie) sind modulare Anlagen sehr attraktiv. Es geht nicht nur um Zeit- und Geldeinsparung, sondern um Flexibilität bei schwankenden Bedarfen und um Prozessverbesserungen: Bei Bedarf können Engpässe durch „numbering up“, also Einsatz zusätzlicher Module, oder durch „scaling up“, also Austausch gegen größere Module, beseitigt werden. Verbesserte Prozesse können häufig durch schnellen Austausch von Modulen im Sinne von „trial and error“ (Iteration) erreicht werden, siehe Abbildung 12.

Wenn verfahrenstechnische Module innerhalb weniger Tage oder Stunden, bei verschlachten Anlagen auch innerhalb von Minuten, getauscht werden können, muss auch die Softwareintegration innerhalb dieser Zeit möglich sein. Das wird noch erschwert, wenn die Module ihre eigenen Steuerungen mitbringen, häufig sogar noch von unterschiedlichen Herstellern. Um eine „plug and play“-Integration der Module in eine betriebliche Automatisierung zu ermöglichen, wurde das Konzept des „Module Type Package“ (MTP) entwickelt. Dabei werden die verschiedenen „Services“ der Module, ihre Bedienbilder, ihre Alarmer und ihre Statusmeldungen mit einer standardisierten Datei, dem MTP-File, an überlagerte Automatisierungssysteme übertragen. Dort kann dann die Orchestrierung der Anlage erfolgen¹. Das MTP-Konzept wird inzwischen nicht nur in der Prozessindustrie angewendet, sondern auch in Logistik, Labor, Schiffbau und Fertigungsindustrie.

In diesem Kapitel werden vier Anwendungen des MTP vorgestellt:

- Bessere Prozesse durch modulare Prozessentwicklung und Produktion (Abschnitt 4.1)
- Anwendung der MTP-Technologie für Package Units (Abschnitt 4.2)
- MTP bei modularen Elektrolyseuren (Abschnitt 4.3)
- MTP für die smarte Integration von elektrischen Begleitheizungen (Abschnitt 4.4)

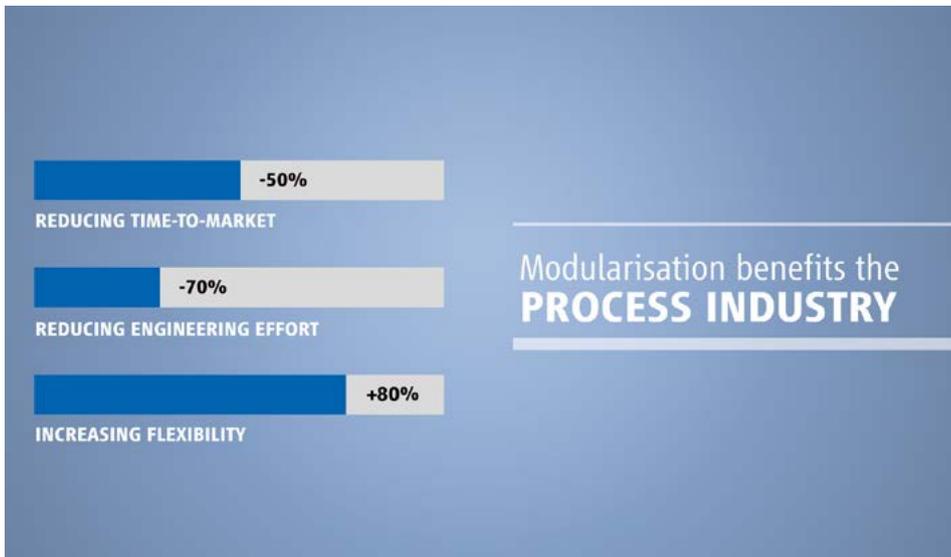


Abbildung 12:
Die modulare Produktion hat großen Nutzen für Betreiber von Prozessanlagen weltweit. Das MTP-Konzept soll daher international standardisiert werden.
(Quelle: NAMUR; ProcessNet, VDMA, ZVEI)

4.1 Bessere Prozesse durch modulare Prozessentwicklung

Im Jahr 2009 wurde beim Tutzing-Symposium von über 100 Fachleuten und Entscheidungsträgern aus Industrie und Wissenschaft diskutiert, wie man die Zeit für die Planung und Errichtung verfahrenstechnischer Anlage halbieren kann. Als ein wichtiger Beitrag hierfür wurde erkannt, Anlagen aus möglichst standardisierten Modulen zusammensetzen: Nicht jeder Reaktor sollte individuell geplant, simuliert und hergestellt werden, sondern indem man bereits definierte Reaktoren verwendet, erhält man drastisch kürzere Liefer- und Errichtungszeiten. Durch die repetitive Anwendung gleicher Module könnte eventuell schon bei der ersten Wiederholung Zeit und Engineering-Aufwand gespart werden, aber bei weiteren Wiederholungen rentiert sich das Vorgehen ohnehin. Um die Anlagenerrichtung zu beschleunigen, hielt man eine geringfügig schlechtere Leistungsfähigkeit der Anlagen für akzeptabel.

Dass die Modularität beileibe nicht zu schlechteren, sondern zu besseren Prozessen führen kann, bewies Dr. Andreas Bamberg, Leiter Process & Project Engineering bei Merck Electronics KGaA. Die Grundidee war, Modularität schon in der Prozessentwicklung mit Prozessintensivierung zu verbinden: Wenn schon im Labor mit leicht austauschbaren Modulen gearbeitet wird, können verschiedene Ansätze zur Prozessverbesserung innerhalb von Tagen ausprobiert werden. Das ermöglicht die Entwicklung und Auslegung von robusten Prozessen gleich zu Beginn. Der zweite Schritt, nämlich vom Labor ins Technikum oder gleich in die Produktion zu gehen, wird drastisch vereinfacht, wenn die im Labor erarbeiteten Prozesse eins zu eins in die Produktion übertragen werden können. Das setzt voraus, dass die entsprechenden Module in allen drei Maßstäben, also Labor, Technikum und Produktion, vorhanden sind. Auch in Technikum und Produktion können Module, die vielleicht schlecht ausgelegt sind, leicht ausgetauscht und dadurch Bottlenecks umgangen werden. All dies trägt zu effizienten und robusten modularen Anlagen bei.

Die hier beschriebene Art der modularen Prozessentwicklung funktioniert natürlich auch ohne die MTP-Schnittstelle der Module. Aber wenn die Schnittstellen für jede neue Kombination von Modulen jeweils durch hohen Engineeringaufwand erstellt werden müssen, steigen die Kosten, wird Zeit verloren und nimmt die Bereitschaft, durch schnelle Modulwechsel bessere Prozesse auszuprobieren, drastisch ab. Insofern leistet das MTP einen wichtigen Beitrag für die schnelle Entwicklung perfekter Prozesse.

(Quelle: Merck; Ein Interview mit Dr. Andreas Bamberg erschien im atp-magazin 10-2022, S.24ff)

4.2 Package Units mit MTP integrieren

Das Module Type Package (MTP) wurde ursprünglich für modulare verfahrenstechnische Anlagen entwickelt. Aber ist es auch für „konventionelle“, als Unikat geplante verfahrenstechnische Anlagen sinnvoll? Die Antwort darauf ist ein klares „Ja!“. Denn auch konventionelle Anlagen verwenden eine Vielzahl von „Package Units“: Zentrifugen, Trockner, Filter, Pressen, Verpackungsmaschinen, Gebläse und viele mehr. Diese Package Units werden normalerweise mit eigenen Steuerungen und Bedienbildschirmen geliefert. Das reicht aus, wenn man sie nur vor Ort bedient und keine zentrale Datenspeicherung benötigt. Meist entsteht früher oder später der Wunsch, sie von der Messwarte aus beobachten und bedienen zu können und die Prozessdaten in einem zentralen Historian-System zu speichern. Häufig wird auch gewünscht, die Maschinen in die PLS-gestützte Automatisierung der Prozessanlage zu integrieren, damit sie durch die zentrale Automatisierung gesteuert werden können.

Hierfür muss – für jede Package Unit einzeln – eine Schnittstelle zwischen der Maschinensteuerung und dem überlagerten Leitsystem konfiguriert werden: Welche Daten müssen von der Maschine übertragen und im PLS angezeigt werden? Welche Funktionen sollen vom PLS aus angesprochen werden können? Welche Warnungen, Alarmer oder Abschaltungen sind zu konfigurieren? Die Kosten für Definition, Programmierung und Test von jedem einzelnen Maschinen- und Steuerungstyp kann mit 25.000 bis 50.000 € abgeschätzt werden. Dieses Geld kann eingespart werden, wenn man die digitale Beschreibung der Maschinen durch MTPs nutzt. Wenn eine Großanlage auch nur zehn verschiedene Maschinen verwendet, kann die Einsparung durch den MTP bis zu einer halben Million Euro betragen.

Über diese einmaligen Einsparungen hinaus hat die Verwendung von MTPs für Package Units weitere Vorteile, die sich auch auf die Sustainability von Anlagen auswirken:

- Package Units können durch die standardisierte Schnittstelle leicht ausgetauscht werden. Wenn energieeffizientere Maschinen entwickelt wurden oder die alten Maschinen zu hohe Verluste erzeugen oder veraltet sind, kann man die „alten Schätzchen“ leicht gegen moderne Maschinen austauschen.
- Die MTP-Schnittstelle erlaubt flexible Maschinennutzung. Statt überdimensionierte Maschinen für eventuelle zukünftige oder ehemalige Leistungsspitzen zu verwenden, können kleinere Maschinen am optimalen Betriebspunkt eingesetzt werden und durch „Numbering up“ oder „down“ dem aktuellen Bedarf angepasst werden.
- Moderne Geschäftsmodelle wie „pay per use“ oder „machine as a service“ ermöglichen flexible und kostengünstige Anlagen.

(Quelle: Heubach)

4.3 Modulare Elektrolyseure

Die Elektrolyse zur Wasserstoffherstellung ist ein vielversprechendes Verfahren, jedoch ist bekannt, dass es einen hohen Energiebedarf aufweist. Dieser Beitrag betrachtet den energieintensiven Charakter der Elektrolyse und zeigt auf, wie durch den modularen Aufbau der Anlage und den Einsatz des Module Type Packages (MTP) energieeinsparende Potenziale genutzt werden können.

Die Elektrolyse ist ein Prozess, bei dem Wasser in Wasserstoff und Sauerstoff aufgespalten wird. Die Wasseraufspaltung erfordert erhebliche Mengen an elektrischer Energie, während die Gasaufbereitung zur Reinigung des erzeugten Wasserstoffs von Verunreinigungen ebenfalls energieintensiv ist.

Der modulare Aufbau der Elektrolyseanlage und der Einsatz des MTP als herstellerneutrale Schnittstelle zwischen den Automatisierungssystemen bieten Lösungen für diese Herausforderungen. Dank des MTP wird nicht nur die flexible Zusammenstellung der modularen Anlage auf physikalischer Ebene ermöglicht, siehe Abbildung 13, sondern auch eine nahtlose Integration in die Automatisierungstechnik. Unabhängig von der verwendeten Automatisierungslösung für jedes einzelne Modul stellt das MTP den erforderlichen Treiber bereit. Dies ermöglicht ein Plug&Play der Elektrolyseanlagen in die Leitsysteme, spart Zeit und verhindert Fehler bei der Integration. Aus dem Vortrag "QT 5.3 eModule, Modular concepts for operation and automation of electrolysis plants" des H2Giga Konsortiums zur Statuskonferenz 2023 geht hervor, dass die Integration eines einzigen Signals des Elektrolyseurs 1 Arbeitsstunde Aufwand mit sich bringt. Pro Gerät wird mit 300-400 Signalen gerechnet. Dank des MTP entfällt dieser Aufwand komplett. Durch den Einsatz des MTP und den modularen Aufbau können mehrere Vorteile genutzt werden, um den Energieverbrauch zu reduzieren und die Energieeffizienz zu steigern. Zum einen ermöglicht der modulare Aufbau eine einfache und schnelle Skalierbarkeit der Anlage. Je nach Bedarf kann die Anlage erweitert oder verkleinert werden, um eine optimale Nutzung der verfügbaren Energie zu gewährleisten. So kann der Energieverbrauch besser reguliert und den aktuellen Anforderungen angepasst werden.

Zum anderen ermöglicht der modulare Aufbau eine effizientere Nutzung der Wärmeenergie, die als Nebenprodukt bei der Elektrolyse entsteht. Durch ein modulares System kann diese überschüssige Wärme zurückgewonnen und für andere Zwecke, wie die Erwärmung des eingespeisten Wassers oder industrielle Prozesse, genutzt werden. Dadurch wird die Gesamtenergieeffizienz der Anlage verbessert.

Der Einsatz des MTP ermöglicht den Anlagenbauern eine größere Freiheit bei der Auswahl der Komponenten, da sie sich vom Vendor-Lock befreien. Dadurch können Verfügbarkeit und Effizienz der Komponenten in den Vordergrund gestellt werden, um die Anlage optimal zu gestalten.

Insgesamt bietet der modulare Aufbau der Elektrolyseanlage in Kombination mit dem Einsatz des Module Type Packages vielfältige Möglichkeiten, den Energieverbrauch zu reduzieren und die Energieeffizienz zu steigern. Diese fortschrittlichen Ansätze tragen dazu bei, die Elektrolyse als nachhaltige und zukunftsfähige Technologie zur Wasserstoffproduktion weiter voranzutreiben.

(Quelle: Semodia)

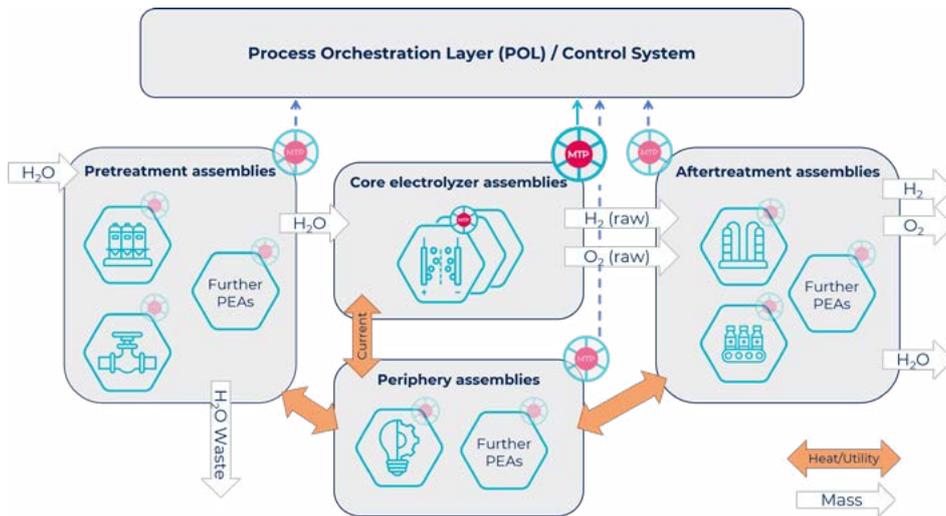


Abbildung 13:
Hoch skalierbare Wasserstoff-Elektrolyse-Prozesse durch Nutzung der MTP-Technologie aus L. Bittorf et al., "Upcoming domains for the MTP and an evaluation of its usability for electrolysis," 2022 IEEE 27th International Conference on Emerging Technologies and Factory Automation (ETFA), Stuttgart, Germany, 2022, pp. 1-4, doi: 10.1109/ETFA52439.2022.9921280.

4.4 Elektrische Begleitheizungen integrieren

In der Prozessindustrie müssen Rohrleitungen häufig temperiert werden, damit das in ihnen enthaltene Medium eine definierte Temperatur hat. Das verhindert beispielsweise ein Einfrieren im Winter oder ein Auskristallisieren des Produkts. Dazu werden sie mit einem elektrischen Heizband versehen. Die Automatisierung solcher Rohrbegleitheizungen ist nicht trivial, denn es geht nicht nur um eine schnelle und genaue Temperaturregelung, sondern es muss aus Sicherheitsgründen verhindert werden, dass die Rohre überhitzt werden und dadurch Explosionsgefahr entsteht oder das Produkt beschädigt wird. Und die Rohrbegleitheizungen müssen in die Automatisierung der Anlage integriert werden, denn je nach Produkt oder Prozessschritt können unterschiedliche Temperaturen erforderlich sein.

Ein internationales Unternehmen, das Komponenten und Systeme im Bereich der Elektrotechnik, Elektronik und Automation anbietet, hat eine sichere und intelligente Anschaltung entwickelt, siehe Abbildung 14. Die sichere Abschaltung wird durch eine sicherheitsgerichtete Steuerung garantiert. Die Integration in überlagerte Automatisierungssysteme erfolgt mit Hilfe des Module Type Packages. Das MTP-File beschreibt die angebotenen Funktionen wie Temperieren auf konstante oder veränderliche Sollwerte, definiert eine Bedienoberfläche, beschreibt die kontinuierlich übermittelten Messwerte und listet mögliche Alarmer auf. Die Regelung der Temperatur erfolgt durch eine Puls-Weiten-Modulation und ermöglicht eine hohe Regelgüte und vermeidet Energieverluste durch große Temperaturschwankungen. Durch das MTP-File kann die die Rohrbegleitheizung wie verfahrenstechnische Module durch „Plug and Play“ in die überlagerte Prozessautomatisierung integriert werden. Eine Anpassung an geänderte Prozesse kann dadurch einfach durch das Leitsystem erfolgen, ohne dass die Software der Rohrbegleitheizung geändert werden muss.

MTP-konforme Prozessmodule wie das hier beschriebene Temperiermodul in Form einer Begleitheizungsbox können davon profitieren, dass das MTP-Konzept mit dem sogenannten NOA-Konzept (siehe Abschnitt 7.1) für Monitoring und Optimierung von Anlagen und Geräten kompatibel ist. Der ganzheitliche Ansatz eröffnet neue Möglichkeiten der Überwachung und Diagnose von Modulen und unterstützt die Erhöhung der Verfügbarkeit. Die NAMUR-Empfehlung NE 184 „Diagnose und Instandhaltungsfunktionen für Modulare Prozesseinheiten“ beschreibt geeignete Diagnosekonzepte, wie sie auch bei der Begleitheizungsbox genutzt werden können.

Aufgrund der Information über einen Sensorausfall, einen Defekt eines Heizbands oder einen Kabelbruch wird der Anlagenfahrer über „Out of Service“ informiert. Oder der Instandhalter erhält den Hinweis, dass er die Begleitheizungsbox in seinen Wartungsplan mit aufnehmen muss.

(Quelle: Phoenix Contact)



Abbildung 14:
Elektrische Begleitheizung mit
Steuerung, beschrieben in einem MTP
(Quelle: Phoenix Contact)

5 Innovatives Energiemanagement

Man kann nur kontrollieren, was man auch messen kann. Ohne Transparenz lässt sich kein Ist-Zustand feststellen, kein Ziel festlegen und kein Plan für Verbesserungen machen. Aus diesem Grund führen viele Unternehmen Energiemanagementsysteme nach der ISO-Norm 50001 ein. Das ist zwar keine Verpflichtung, jedoch in Deutschland Voraussetzung für wichtige Steuererleichterungen wie den Spitzenausgleich oder die Begrenzung der EEG-Umlage. Aber unabhängig von diesen regulatorischen Anforderungen helfen Energiemanagementsysteme dabei, Anlagen wirtschaftlich zu betreiben. In diesem Kapitel werden sinnvolle Anwendungen vorgestellt.

- Abschnitt 5.1 stellt das System zum Energie-Effizienz-Management vor, das ein führender Hersteller von Kunststoffen seit mehr als 10 Jahren verwendet.
- Energiemanagementsysteme sollen nicht nur registrieren, wie viel Energie verbraucht wurde, sondern auch bei laufenden Prozessen helfen, Einsparpotenziale zu erkennen (Abschnitt 5.2)
- Energiemonitoring gewinnt an Wert, wenn es die Verbräuche nicht nur für komplexe Anlagenteile, sondern bis auf Aggregateebene erfasst (Abschnitt 5.3).
- Energiemanagementsysteme sollen nicht nur monitoren, sondern den Betrieb so steuern, dass möglichst wenig Energie verbraucht wird (Abschnitt 5.4).
- Die Ermittlung des zunehmend geforderten CO₂-Fußabdrucks von Produkten („wie viel CO₂ fällt bei der Produktion von 1 kg Farbpigment an?“) kann wirtschaftlich sinnvoll nur mit elektronischer Unterstützung erfolgen (Abschnitt 5.5)
- In Abschnitt 5.6 wird gezeigt, was ein Energiemanagementsystem auf dem Weg zu einem klimaneutralen Produktionsstandort eines Unternehmens der Elektroindustrie beitragen kann.
- In Verbundstandorten gibt es komplexe Produkt- und Energieströme. Eine gemeinsame Optimierung setzt einen Datenaustausch über eine neutrale Plattform voraus (Abschnitt 5.7)
- Das Beispiel einer Software-Suite für die Wasserindustrie zeigt erhebliche Einsparpotenziale auf (Abschnitt 5.8).
- Es ist wichtig, den erwarteten Energieverbrauch schon bei der Geräteauswahl und -auslegung zu berücksichtigen. Das Tool auf der Homepage eines Anbieters unterstützt den Kunden dabei (Abschnitt 5.9).

5.1 Energie-Effizienz-Management

Covestro, ein führender Hersteller von Hightech-Kunststoffen, hat bereits im Jahr 2010 eine Methodik zum Energiemanagement etabliert und diese ständig fortentwickelt. Sie besteht aus drei Schritten

- Energie-Effizienz-Check

Hier werden die Prozesse im Detail analysiert. Auf dieser Basis werden Projekte zur Verbesserung der Energieeffizienz identifiziert, kategorisiert und priorisiert. Für die ausgewählten Projekte werden Maßnahmenpläne erstellt und die Umsetzung überwacht. Hier ist der auch in ISO 50001 geforderte „Plan-Do-Check-Act-Zyklus“ implementiert, der zur fortlaufenden Verbesserung zwingt und diese dokumentiert.

- Online Energiemonitoring

Um aktiv Energie einzusparen, brauchen die Anlagenverantwortlichen Online-Daten über die aktuellen Energieverbräuche ihrer Anlage. Der aktuelle spezifische Verbrauch wird mit der bestmöglichen Praxis (Best Demonstrated Practice) verglichen und auf den Bedienbildschirmen angezeigt. Die Mitarbeiter in den Leitwarten entwickeln so eine ständige Aufmerksamkeit für den Energieverbrauch.

- Energie-Verlust-Kaskade

Selbst wenn die Anlage mit der „bestmöglichen Praxis“ gefahren wird, heißt das nicht, dass man den theoretisch minimalen Energieverbrauch erreicht. Um die verschiedenen Energieverluste zu identifizieren und zu bewerten, wurden vier „Energie Performance Indicators“ definiert, jeweils bezogen auf die Produktionsmenge (siehe Abbildung 15)

- Das theoretische Energie-Optimum („ideal process“) ist der Energieverbrauch des besten bekannten Prozesses in der besten denkbaren Infrastruktur. Weniger Energieverbrauch ist nach heutigem Wissensstand nicht möglich.
- Das Anlagen-Energie-Optimum („ideally rebuilt“) ist der geringste Energieverbrauch des verwendeten chemischen Prozesses, den man bei einem Neubau erreichen könnte, in einer ebenfalls ideal errichteten Umgebung.
- Das Betriebliche Energie-Optimum („ideally operated“) ist der in der realen Anlage erreichbare Energieverbrauch, falls es keine Verluste durch Produktwechsel, Teillastbetrieb, Stillstände oder geplante Abweichungen vom Idealbetrieb gäbe.
- Der reale Energieverbrauch („Measured Consumption“).

Durch diese durchdachte und transparente Kaskade wissen alle Verantwortungsebenen, welche realistischen Ziele sie sich im Anlagenbetrieb, bei Anlagenänderungen und Neubauten und bei einer Prozessentwicklung setzen können. Aus den Energie-Kaskaden können über die quantifizierten äußeren Einflüsse wie Temperatureinfluss oder Teillast die normalisierten Energiekennzahlen als Anforderung der ISO 50001:2018 abgeleitet werden. (Quelle: Covestro)

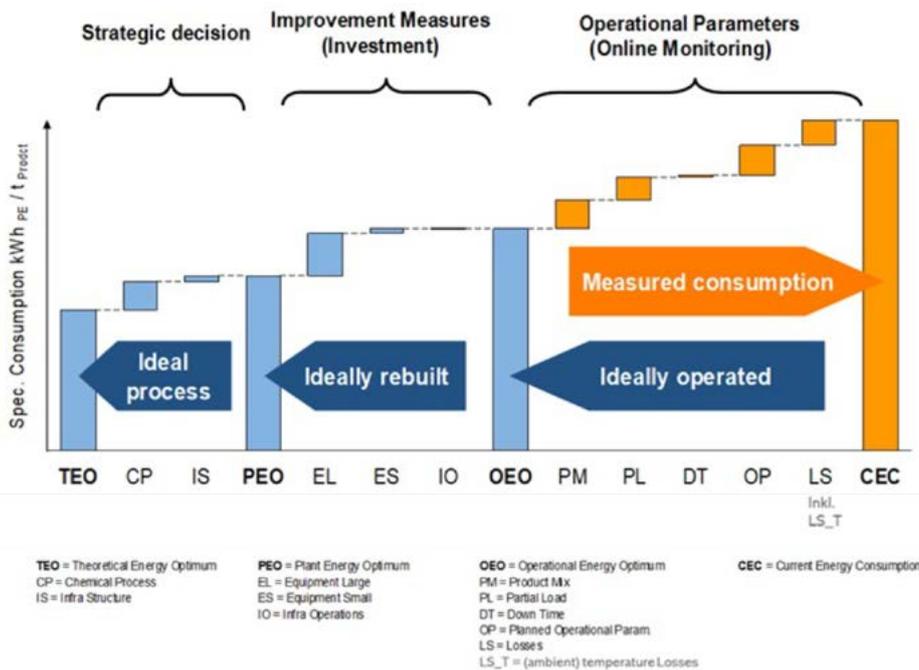


Abbildung 15:
Energie-Verlust-Kaskade für
Produktionsbetriebe
(Quelle: Covestro)

5.2 Nachhaltigkeitspotenziale ausschöpfen

Ein Kernthema aller Initiativen zum Thema Nachhaltigkeit ist das Erkennen von Potenzial und der Nachweis, dass die Umsetzung von Maßnahmen erfolgreich war. Gleichzeitig ist es wichtig, Maßnahmen, die oft Investitionen erfordern, priorisieren zu können. Während es in wenigen Fällen sehr einfach ist, zum Beispiel wenn man eine Anlage ohne Ersatz abschaltet oder CO₂ mit Hilfe von grünem Strom auffängt und einer stofflichen Verwertung zuführt, sind die meisten Systeme großflächig vernetzt und somit komplex. Eine verfahrenstechnische Produktion kann beispielsweise nicht nur durch den direkten Ausstoß von CO₂ charakterisiert werden, sondern muss auch die Emissionen berücksichtigen, die bei der Herstellung der Rohstoffe und durch die genutzte Energie entstanden sind. Erweitert man diese Betrachtung in Richtung Materialrecycling und Kreislaufwirtschaft, werden die Überlegungen aufwendiger, jedoch nicht weniger wichtig.

Zu diesem Thema gibt es umfangreiches Material, in dem der Aufbau von Kennzahlensystemen vorgeschlagen wird: Diese können sowohl sehr lokal für einzelne Apparate oder Anlagenteile entwickelt werden als auch insgesamt ganze Anlagen oder Standorte abdecken. Dabei ergeben sich häufig aufgrund der starken Vernetzung der Verbraucher scheinbare Widersprüche, die nur durch ein durchgängig aggregiertes und mit Modellen gestütztes Kennzahlensystem aufgelöst werden können. Die Ergebnisse des EU-Projekts MORE, zusammengefasst in der NAMUR Empfehlung NE162 und dem Buch [Krämer, S.; Engell, S. (Hrsg.): Resource Efficiency of Processing Plants. Wiley-VCH, 2017, Abbildung 16] zeigen, wie ein solches Kennzahlensystem aufgebaut werden kann. Erfolgreiche industrielle Implementierungen aus der Prozessindustrie zeigen, dass dadurch Nachhaltigkeitseffekte transparent gemacht und damit Ressourcen eingespart werden können.

Wenn Potenziale zur Verbesserung erkannt werden, stehen mehrere Ebenen der Optimierung zur Verfügung. Der einfachste und oft schnell umsetzbare Ansatz ist eine Verbesserung durch Änderungen im Anlagenbetrieb. Typischerweise lässt sich in einem noch nicht komplett optimierten Betrieb eine Energieeinsparung von 3 bis 10 % erzielen. Größere Verbesserungen erfordern oft größere Investitionen. Es ist jedoch wich-

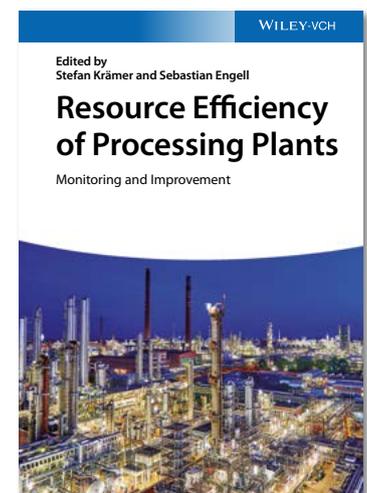


Abbildung 16:
Buchtitel „Resource Efficiency of
Processing Plants“
(Quelle: Wiley-VCH)
© Stefan Krämer und Sebastian Engell
(Herausgeber): Resource Efficiency
of Processing Plants: Monitoring and
Improvement, Cover, 2018, Copyright
Wiley-VCH GmbH. Reproduced with
permission.

tig, die verbesserte Betriebsweise konsequent beizubehalten, da wir oft dazu neigen, wieder in alte Verhaltensmuster zurückzufallen. Dafür benötigt man die Kennzahlen live während des Anlagenbetriebs.

Ein zentrales Kriterium des Kennzahlensystems und der Visualisierung ist daher das Operation Improvement Potenzial (OIP). Hierbei wird der optimale Betriebszustand der Anlage in der aktuellen, nicht vom Personal beeinflussbaren Situation, die „Best Demonstrated Practice“ (BDP), beispielsweise bei der aktuellen Außentemperatur, angezeigt. Dieser wird mit der tatsächlichen Betriebsweise verglichen, und das Verbesserungspotenzial wird in Echtzeit dargestellt (s. dazu auch [NE162]). Ein umfassendes, kohärentes Kennzahlensystem, das durch einfache Modelle unterstützt wird, kann sogar mögliche Ursachen für den suboptimalen Betriebszustand aufdecken.

Durch die Kombination verschiedener Kennzahlen können aber auch Widersprüche auftreten. Beispielsweise könnte es wirtschaftlich vernünftig sein, CO₂ auszustoßen, obwohl dies den Zielen zuwiderlaufen könnte. Um dieses Problem mit mehreren Kriterien zu lösen, existieren zwei Ansätze: Die Kennzahlen werden gewichtet kombiniert, wobei „Resource Currencies“ verwendet werden, oder der Trade-Off wird auf einer Pareto-Front dargestellt, die die Entscheidung unterstützt.

In vielen großen, kontinuierlichen Anlagen wie Raffinerien, Steam Crackern oder Kraftwerken kann das Operation Improvement Potenzial teil- oder vollautomatisch durch Optimierung und Advanced Process Control gesteigert werden, indem es in der Gütefunktion maximiert wird. Unter Umständen kann sogar eine bessere Betriebsweise als die bisher bekannte optimale Betriebsweise identifiziert werden.

Klassische Kennzahlen, die für das OIP eingesetzt werden können, sind die Gesamtressourceneffizienz, die Gesamtmaterialeffizienz oder die Gesamtenergieeffizienz. Da Abfälle auch Kostenfaktoren darstellen können und in Zeiten der Kreislaufwirtschaft zu Wertstoffströmen werden können, ist auch die relative Abfallerzeugung sehr interessant, da sie in Kreislaufprozessen mit dem notwendigen Rohstoffeinsatz zusammenhängt. Der Carbon Footprint ist ebenfalls relevant und kann auch live dargestellt werden. Hier muss ein durchgängiger Indikator definiert werden, wie zum Beispiel der einfache Indikator CO₂-Ausstoß pro Tonne Produkt. Dieser wird dem Kunden beim Verkauf angegeben, um den CO₂-Ausstoß entlang der Wertschöpfungskette zu ermitteln. Besonders in der Kreislaufwirtschaft sind diese Faktoren von besonderer Bedeutung, da Materialeffizienz nicht immer mit CO₂-Effizienz zusammenfallen muss.

Verfahrenstechnische Produktionsprozesse sind typischerweise stark verkoppelt und Produktionsressourcen hierarchisch organisiert (Werk, Anlage, Teilanlage, ...). Die Aussage eines Effizienzindikators bezogen nur auf eine einzelne Ressource kann irreführend sein, da Verbesserungseffekte in der einen Ressource gleichzeitig Verschlechterungseffekte in einer verkoppelten Ressource bedeuten können. Der Nettoeffekt einer Maßnahme, z.B. einer Umstellung der Betriebsfahrweise, muss daher immer im Gesamtkontext eines Produktionsstandortes oder sogar Standort-übergreifend betrachtet werden, ohne aber Möglichkeiten gezielter Einflussanalysen bis hin auf die Ebene einzelner Aggregate zu verlieren.

Ein neben der OIP-Methode weiteres wichtiges Grundprinzip der in der NE162 beschriebenen Empfehlung zur Effizienzkennzahlenberechnung ist das Aggregationsprinzip. Anhand einer hierarchisch hinterlegten Anlagentopologie und der Beschreibung der Energie- und Materialströme zwischen den Anlagen und Teilanlagen am Standort kann Anlagenfahrern und Produktionsverantwortlichen über Dashboards eine automatisch

ableitbare Ursache-Wirkung-Analyse zur Verfügung gestellt werden. Voraussetzung dazu ist, dass alle relevanten Energie- und Materialströme über die zu betrachtenden Bilanzräume richtungsgetreu modelliert und zugehörige Messstellen sowie berechnungsrelevante Charakteristika der einzelnen Ströme (wie z.B. Enthalpiekenngrößen) den Strukturmodellen zugeordnet werden können.

INEOS betreibt in Köln einen der größten Petrochemiestandorte Europas. Seit 2018 nutzt INEOS die Benchmark- und Aggregationsmethode gemäß NE162 zur Kennzahlenberechnung sowohl retrospektiv im Rahmen der ISO 50001-Berichterstattung als auch operativ zur Bewertung und Visualisierung der aktuellen Energieeffizienz zum Zwecke einer ökonomisch und ökologisch optimierten Anlagenfahrweise. Bei INEOS in Köln werden in den Messwerten Dashboards zur Verfügung gestellt, mit denen das aktuelle, von Anlagenfahrenden beeinflussbare Potenzial an Energieeinsparung transparent dargestellt wird (Abbildung 17). Dazu werden die auf eine Stunde gemittelten Potenzialkennzahlen (OIP) in Form farblich veränderbarer Kacheldarstellungen visualisiert und mit Detailinformationen zu Trendverläufen einzelner Energiekennzahlen im Vergleich zu den in vergleichbaren Betriebsituationen geltenden Benchmarkwerten dargestellt. Dadurch dass die Energie- und Materialströme des gesamten Standorts in einem hierarchischen Strukturmodell beschrieben wurden, können bei signifikanten Verbesserungen oder Verschlechterungen über eine Top-Down-Analyse die verursachenden Anlagen bzw. Teilanlagen erkannt und Gegenmaßnahmen eingeleitet werden.

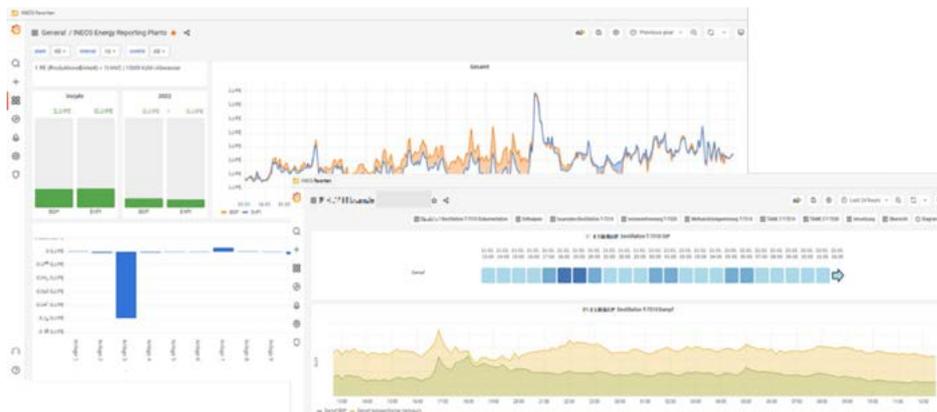


Abbildung 17:
Dashboard zur Visualisierung aktuell nutzbarer Energieeffizienzpotenziale (Quelle: INEOS)

Hier geht es darum, den Energieverbrauch eines Bayer Batch Prozesses pro Charge oder pro Tag zu verstehen und Einflussfaktoren zu finden. Der Energy Performance Indicator nutzt vorhandene (Live-) Messdaten, um den Verbrauch und die Produktmenge in Beziehung setzen. Durch eine multivariate Datenanalyse werden diese Indikatoren z.B. mit der Außentemperatur korreliert. Die Ergebnisse sieht man in Abbildung 18: Kurze Prozessdauern und große Ansätze sind bei höheren Temperaturen effizienter. (Quelle: INEOS, Bayer, LeiKon. Erstveröffentlichung: [Quelle 1])

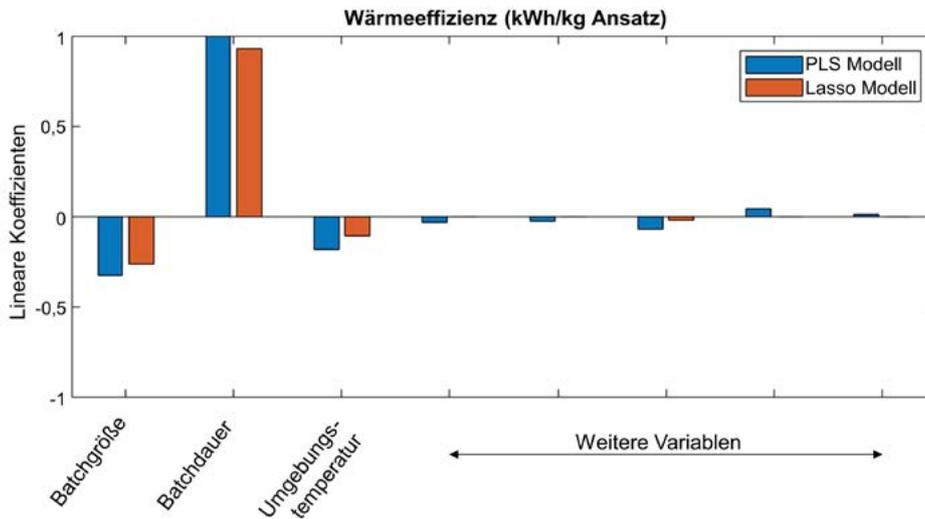


Abbildung 18:
Lineare Koeffizienten einer Multivariaten Datenanalyse mittels PLS und Lasso Regression für die Heizeffizienz eines Batchapparates (Quelle [1])
[Quelle 1: Buss, F., Kalliski, M.; Kochenburger, T.; Förtsch, D.; Krämer, S.: CO₂-Neutralität und Energieeffizienz. atp magazin 2022-03, S.58-67]

5.3 Monitoring bis auf Aggregateebene

Um ein smartes Energiemanagement für höchste Nachhaltigkeit zu ermöglichen, werden in einem ersten Schritt Verbräuche auf Basis von Maschinenstatus und Produktionszählern erfasst und über aussagekräftige KPIs für eine umfassende Analyse transparent aufbereitet. Die daraus resultierenden Optimierungsmaßnahmen sind Basis für eine nachhaltige Transformation.

Eine Ressourcenprognose auf Anlagenebene auf Basis der bisherigen Daten erlaubt es, eine Produktion effizienter zu planen sowie den Verbrauch und den daraus resultierenden CO₂-Fußabdruck nachzuweisen. Ein zusätzlich flexibles Ressourcenmanagement, welches sich schnell an veränderte Kunden- und Umwelтанforderungen anpassen kann, ein Spitzen- und Grundlastmanagement sowie die flexible Einbindung von erneuerbaren Energiequellen helfen die Effizienzsteigerung der Anlage zu beschleunigen und internationale Standards und Normen zu erfüllen.

Energiesparen erfordert bei komplexen Vorgängen wie denen in der Prozessindustrie ein gutes Verständnis für die Details des Produktionsprozesses. Nicht immer ist z.B. klar, warum ähnliche Linien oder aufeinanderfolgende Batches unterschiedlich viel Energie verbrauchen. Auch für Standards wie ISO 50001 ist es wichtig, Systeme und Komponenten mit hohem Energieverbrauch zu identifizieren und damit konkrete Einsparpotenziale zu verstehen. Diese Potenziale können dann im Rahmen eines fortlaufenden Verbesserungsprozesses realisiert werden. Neben den Ersparnissen kann eine ISO 50001 Zertifizierung auch Abgaben- und Steuerersparnisse bedeuten (z.B. im Zusammenhang mit dem EEG).

Das Monitoring des Energieverbrauchs und der Prozessdaten ist ein Ansatz, um CO₂-Monitoring zu realisieren (s. Abschnitt 5.5) So wird zum Beispiel in der Corporate Sustainability Reporting Directive¹ die Wichtigkeit eines verringerten Energieverbrauchs und höherer Energieeffizienz betont und Energiekennzahlen als essenzieller Bestandteil einer Nachhaltigkeitsberichterstattung identifiziert [Quelle 1, S. 16]. Geeignete Datenanalyse-Tools können die Daten dafür intelligent erfassen und bereitstellen.

Technisch gesehen ist bei bekannter Anlagenstruktur und vorhandener Messtechnik Monitoring bis auf Aggregateebene möglich. Viele Energiemanagementsysteme sind nach ISO 50001 zertifiziert und können Energieströme und Verbrauchswerte von Prozessen

detailliert darstellen und den jeweiligen Verbrauchern oder Kostenstellen zuordnen. Typischerweise ist dies auch über Standorte hinweg möglich, um Verbesserungen auf Unternehmensebene zu realisieren. Diese Systeme arbeiten mit Dashboards und Energiekennzahlen und können über Technologien wie OPC UA mit anderen Komponenten interagieren.

Als konkretes Beispiel erreicht ein Unternehmen der Glasindustrie dank der Implementierung eines Energie-Managementsystems eine Einsparung im zweistelligen Millionenbereich pro Jahr durch Spitzenausgleich und EEG-Umlage. Die Optimierung der Produktion, die Möglichkeit, Investitionen aufgrund des Energieverbrauchs abzuwägen, und eine automatische und komfortable Berichterstattung sind weitere Nutzen des Kunden. Es wird eine Einsparung im zweistelligen Euro-Millionenbereich pro Jahr erwartet.

(Quelle: ABB, Siemens)

[Quelle 1: Richtlinie (EU) 2022/2464]

5.4 Aktives Energiemanagementsystem

Mit einem flexiblen und intelligenten Energiemanagement lässt sich die Energieversorgung der Zukunft nachhaltig, umweltfreundlich, sicher und wirtschaftlich gestalten. Entscheidend ist eine hohe Flexibilität, um standort- und größenunabhängig effiziente Prozesse zu realisieren – sei es bei Industrie- und Gewerbekunden, Energieerzeugern, virtuellen Kraftwerken oder in der intelligenten Stromversorgung von Ladesäulen.

Das Herzstück für eine energieeffizienten Standortoptimierung muss ein übergreifendes Energiemanagementsystem sein. Mit einer solchen smarten Technologie lassen sich sämtliche Energieflüsse automatisiert messen, überwachen und ressourcenschonend in Echtzeit steuern. Überschüssig produzierte Energie wird eingespeichert oder in das öffentliche Netz eingespeist. Auf diese Weise spart man CO₂ ein und strebt gleichzeitig eine maximale Energieautarkie an.

So wird Energieeffizienz zu einer alternativen und attraktiven Ressource. Diese neue Daten- und Informationstransparenz gewinnt im Rahmen der erforderlichen Nachhaltigkeitsberichterstattung für immer mehr Unternehmen rasant an Bedeutung.

Eine Lösung für die Industrie verfolgt einen mehrstufigen Optimierungsansatz, der es Industrieanlagen ermöglicht, die CO₂ Emission erheblich zu senken, Energiekosten einzusparen und den Autarkiegrad vom Netz zu erhöhen, ohne den Betrieb zu beeinträchtigen, siehe Abbildung 19. Ab dem zweiten Schritt geht es nicht mehr nur um das Monitoring, sondern um aktive Vorschläge und Eingriffe in die Anlagen, um direkt Energieeinsparungen zu erreichen.



Abbildung 19:
Mehrstufiger Optimierungsansatz für
CO₂-Emissionen von Industrieanlagen
(Quelle: ABB)
© ABB

Eine Optimierungssoftware lässt sich auf Grund der hohen Anzahl an Schnittstellen an bestehende Systeme koppeln und ist hersteller- und systemunabhängig. Die Flexibilität der Lösung ermöglicht eine nahezu unbegrenzte Einbindung und Erweiterung. Ob Strom, Wärme, Dampf oder Wasserstoff: Das lernende System kennt die einzelnen Energiequellen und Verbräuche, berücksichtigt Wetterprognosen und tagesaktuelle Energiepreise am Markt.

Ein Energiemanagementsystems bietet eine Day-Ahead-Optimierung auf der Grundlage von Wetter- und Lastprognosen. Auf Basis der gewonnenen Daten ist das intelligente System in der Lage, flexible Lasten, Erzeugungseinheiten und Speicher automatisch zu steuern. Die zur Verfügung stehende Energie wird optimal und kosteneffizient verteilt, dass trotz der Einsparung sämtliche Produktionsprozesse reibungslos funktionieren. Anschließend werden Energieressourcen in Echtzeit koordiniert, um Angebot und Nachfrage durch dynamischen Lastabwurf auszugleichen. Durch die Optimierung von Angebot und Nachfrage können Industriestandorte ohne weiteres kostengünstige, erneuerbare Energien hinzufügen, ohne die Zuverlässigkeit oder Stabilität des Netzes zu gefährden. Im Idealfall – bei günstigen Preis-/Produktionsbedingungen, können sogar überschüssige Energieproduktion und freie Kapazität verkauft und eingespeist werden.

Das Energiemanagementsystem ist für Industrieanlagen eine Investition, die sich schnell auszahlt. Es sammelt und meldet Verbrauchsinformationen und reduziert so den Zeitaufwand für das regulatorische Reporting – wie es beispielsweise die ISO 50001 verlangt – um bis zu 50 Prozent. Auch verfügt es über Visualisierungstools und Dashboards, mit denen das verborgene Energieeinsparpotenzial eines Standorts identifiziert werden kann. Weitere Einsparungen erfolgen durch die kontinuierliche Optimierung verschiedener Energieressourcenoptionen, Last- und Marktdynamiken, sowie volatiler Anlagen wie Solar-PV, EV-Ladestationen oder große Speicherhardware – zum wirtschaftlichen Unternehmensnutzen und zum Schutz der Umwelt.

(Quelle: ABB)

5.5 CO₂-Fußabdruck in Wertschöpfungskette

Aufgrund steigender Kundenanforderungen, dem besonderen Augenmerk von Investoren und immer strengerer regulatorischer Bestimmungen stehen Industrieunternehmen vor der großen Herausforderung, den gesamten CO₂-Fußabdruck ihrer Produkte, den so genannten Product Carbon Footprint (PCF), nahtlos zu erfassen. Die große Herausforderung liegt hierbei darin, dass Emissionen an allen Stufen der Lieferkette entstehen und deshalb nicht nur vor Ort erfasst, sondern auch zwischen Unternehmen ausgetauscht und aufaddiert werden müssen. Aktuell werden in den meisten Fällen Durchschnittswerte für die Emissionsberechnung verwendet, die jedoch lediglich statische Informationen liefern. Um tatsächlich datenbasierte Entscheidungen für wirkungsvolle Reduktionsmaßnahmen treffen zu können, ist allerdings ein dynamischer PCF notwendig, der die realen, aktuellen CO₂-Werte vor Ort abbildet, und entlang der Lieferkette aggregiert wird.

Ein Softwarepaket ermöglicht den unternehmensübergreifenden und sicheren Austausch von dynamischen, ständig aktualisierbaren Daten entlang der gesamten Wertschöpfungskette. Die Datensouveränität aller Beteiligten steht hierbei an oberster Stelle, sensible Informationen bleiben geschützt. Die Möglichkeit zur freiwilligen Verifizierung von Emissionswerten an jeder Stufe der Wertschöpfungskette schafft zusätzliches Vertrauen. In einem Pilotprojekt wird aktuell die Skalierbarkeit des PCF-Datenaus-

tauschs in der gesamten Chemiebranche demonstriert. Dies wäre ein entscheidender Schritt für die Dekarbonisierung des Sektors.

(Quelle: Siemens)

5.6 Klimaneutraler Produktionsstandort als Unternehmensziel

Mit einem nahezu klimaneutralen Produktionsstandort zeigt ein Unternehmen der Elektroindustrie, wie die Energiewende gelingen kann, ohne an Wirtschaftlichkeit einzubüßen (Abbildung 20). Ein smartes Energiemanagement und sektorenübergreifende Vernetzung machen es möglich. In der Praxis zeigt sich, wie die Idee für eine autarke Energieversorgung der Zukunft, die branchen- und unternehmensgrößenunabhängig ist, funktioniert.

Die unklare Energiepreisentwicklung und die Dekarbonisierung von Unternehmen und Industrien führen bei vielen Unternehmen zu einem Umdenken. Um Kosten zu sparen und unabhängiger von den volatilen Energiemärkten zu werden, erzeugen immer mehr Unternehmen die benötigte Energie einfach selbst. Unter dem Aspekt der Nachhaltigkeit gewinnen verstärkt regenerative Energien an Bedeutung.

Innovative Technologie-Lösungen ermöglichen es, Emissionen zu reduzieren und neue wirtschaftliche Energiemodelle zu entwickeln. Voraussetzung dafür sind ganzheitliche Lösungen, die alle Aspekte rund um Energieerzeugung, -speicherung und -verbrauch der Anlage oder des Unternehmens berücksichtigen – und das sektorenübergreifend. Im Produktionsstandort der Zukunft sind durch das Energiesystem alle Komponenten digital miteinander vernetzt, können gesteuert und optimiert werden. Durch diese intelligente Vernetzung und Steuerung wird Energieeffizienz zu einer alternativen Ressource.

Die sich daraus ergebenden Vorteile zeigen wir an den aktuellen Ergebnisdaten aus einem nahezu CO₂-neutralen und energieautarken Produktionsstandort in Deutschland:



Abbildung 20:
Klimaneutraler Produktionsstandort
(Quelle: ABB)

An einem Produktionsstandort wird ein übergreifendes Standortmanagementsystem eingesetzt. Dank dieser smarten Technologie lassen sich sämtliche Energieflüsse automatisiert messen, überwachen und ressourcenschonend in Echtzeit steuern. Überschüssig produzierte Energie wird in das öffentliche Netz eingespeist. Die Ergebnisse sprechen für sich: die CO₂ Einsparungen liegen über der Zielerwartung. 2022 wurden von den geplanten 1.100 MWh bis 1.300 MWh produziert. Der ROI hat sich von 8 Jahre auf 6 Jahre deutlich verkürzt.

5.7 Energiemanagement im Verbund

Die verschiedenen Anlagen von mehreren Unternehmen in einem Chemiapark sind häufig über diverse Produktströme zu einem Verbund zusammengeschlossen. Sie werden vom Chemiaparkbetreiber mit diversen Energien, zum Beispiel Strom, Gas, Dampf, Druck oder Kühlwasser versorgt. Die Chemiaparkbetreiber erzeugen diese Energien entweder selbst oder beziehen sie von öffentlichen Versorgern. Diesem engen stofflichen Verbund stehen datentechnische Silos gegenüber. Jeder Anlagenbetreiber benutzt ein eigenes System für die Produktionsplanung und das Energiemanagement. Informationsaustausch zwischen Anlagen- und Chemiaparkbetreibern findet meist über Papier oder E-Mail statt.

Eine Energieoptimierung kann nur unter Berücksichtigung der Produktionsplanung der Anlagenbetreiber erfolgen. So brauchen beispielsweise typische Dampferzeuger zwanzig bis dreißig Minuten, um einen anderen Arbeitspunkt anzufahren. Wenn keine Prognosedaten vorliegen, muss der Chemiaparkbetreiber den Dampf für mögliche geänderte Anforderungen der Anlagenbetreiber vorhalten. Insbesondere für die zu erwartenden dynamischen Verkaufspreise für einzelne Energien ist ein elektronischer Informationsaustausch notwendig. Für eine nachhaltige Chemieproduktion mit möglichst niedrigem Energiebedarf und starker Resilienz ist demnach ein chemiaparkweiter Datenraum notwendig.

Zur Anbindung der Produktionsplanungs- und Energiemanagementsysteme an einem Datenraum bietet sich NAMUR Open Architecture (NOA) an. NOA wurde ursprünglich als Erweiterung der Automatisierungspyramide zur sicheren Vernetzung zwischen OT- und IT-Netzwerken entwickelt. Das gleiche Prinzip kann auch zum Schutz der Netzwerke der einzelnen Betreiber gegen unberechtigte Zugriffe aus dem Datenraum des Chemiaparks genutzt werden.

(Quelle: ABB, Yncoris)

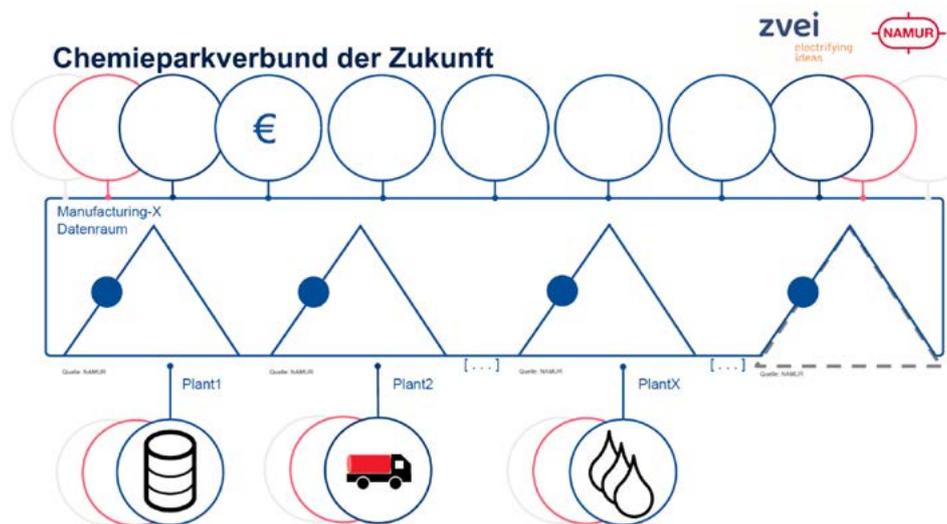


Abbildung 21:
Energie im Chemiapark-Verbund –
Use Case für Manufacturing-X
(Quelle: ABB, Yncoris)

5.8 Applikation für die Wasserindustrie

Speziell für die Wasser- und Abwasserindustrie wurde eine Optimierungssuite entwickelt, um den Betrieb auf Basis von Echtzeitdaten zu optimieren. Wasserversorgungsunternehmen können so die Energieeffizienz steigern, Wasserverluste minimieren, Umweltverschmutzungen reduzieren und die vorausschauende Wartung verbessern. So hilft die Suite nicht nur,

die Ressource Wasser zu schonen, sondern auch dabei, Energie und CO₂ einzusparen. Zwei Applikationen der Suite verwenden Methoden der Künstlichen Intelligenz und sind nachfolgend kurz beschrieben:

- **Optimierung**

Diese App hilft Wasserversorgungsunternehmen bei der vollautomatischen Optimierung von Pumpenfahrplänen in einem Versorgungsnetz unter Berücksichtigung volatiler Stromtarife, variierender Kosten und Verfügbarkeit der Wasserbezugsquellen. Außerdem ermöglicht sie die Optimierung einzelner Pumpen oder Pumpengruppen unter Berücksichtigung mechanischer und hydraulischer Einflussgrößen. Mit einem optimierten Betrieb der Pumpen können die Energiekosten um 5 % gesenkt werden – das klingt nicht viel, aber die Wasserindustrie ist mit 14 % Energieverbrauch weltweit einer der größten Verbraucher.

- **Leckageerkennung und -Lokalisierung**

Die KI-basierte Anwendung dient der Erkennung und Lokalisierung von Leckagen in Trinkwassernetzen auf Basis einer Echtzeitüberwachung. Dadurch können Wasserversorgungsunternehmen nicht nur den Wasserverlust reduzieren, sondern auch Energie einsparen und die Wasserqualität sicherstellen. Beispielsweise kann bei einem schwedischen Wasserversorger mit einem Wasserverlust von mehr als fünf Millionen Kubikmeter pro Jahr mit Hilfe dieser App Energie und Ressourcen eingespart werden. Insbesondere indem kleine Leckagen entdeckt und lokalisiert werden, die für den Löwenanteil verantwortlich sind.

(Quelle: Siemens)

5.9 Nachhaltige Auslegung von pneumatischen Einrichtungen

Der CO₂-Fußabdruck einer Komponente setzt sich zusammen aus drei Komponenten

- CO₂-Fußabdruck bei der direkten Herstellung der Komponente,
- CO₂-Fußabdruck „upstream“, also bei den Lieferanten der in der Komponente verbauten Materialien
- CO₂-Fußabdruck „downstream“, also beim Anlagenbetreiber.

Naturgemäß kann der Hersteller der Komponente nur die ersten beiden Größen angeben. Die Ermittlung in der Komponentennutzung liegt beim Anlagenbetreiber.

Wenn ein Einkäufer lediglich die vom Komponentenhersteller ermittelten CO₂-Fußabdrücke der Herstellung und des „upstreams“ vergleicht, um eine Geräteauswahl zu treffen, greift er deutlich zu kurz. Denn bei einer langjährigen Nutzung der Komponente kann der Energiebedarf im Lebenszyklus viel mehr CO₂ verursachen als die Herstellung. Das muss im jeweiligen Einzelfall untersucht werden. Die Berechnung ist allerdings kompliziert, denn der Energiebedarf hängt sehr stark von der Auslegung des Anwendungsfalls und der Betriebsweise der Komponente und vom CO₂-Fußabdruck der beim Betreiber verwendeten Energien ab.

Ein führender Anbieter pneumatischer und elektrischer Komponenten bietet für seine Geräte einen Solution Finder an, der für die jeweilige Aufgabenstellung für verschiedene Lösungsvarianten (elektrisch/pneumatisch neben dem individuellen Kundenpreis den CO₂-Fußabdruck und den Energieverbrauch pro Jahr ermittelt. CO₂-Ausstoß und Energieverbrauch hängen unter anderem ab von Arbeitshub, maximaler Nutzlast, erforderlicher Presskraft in Endposition und Zahl der Zyklen. Der Solution Finder ermöglicht den Vergleich der Optionen elektrische vs. Pneumatische Antriebstechnik. Allerdings muss der jeweilige Betreiber CO₂-Ausstoß und Energieverbrauch noch mit seinen jeweiligen Kosten bewerten, um die „Total Cost of Ownership“ zu

ermitteln. Weitere Abhängigkeiten, etwa vom Versorgungsdruck, der Drehmomentreserve oder einer Überdimensionierung sind ebenfalls zu berücksichtigen.

Dieses Beispiel zeigt einerseits die Komplexität der Bewertung der Nachhaltigkeit auf, verdeutlicht andererseits aber auch, wie wichtig eine gute Unterstützung der Entscheidung durch den Hersteller ist.

(Quelle: Festo)

(Hinweis: Mehr Informationen zum Thema finden Sie bei Jikadra, K.; Ortwein, A.; Roos, E.: Der Weg zur klimaneutralen Produktion. Atp magazin 2023-03, S.52-59)

6 Digitaler Zwilling

Die Umsetzung von Industrie 4.0 ist nicht denkbar ohne den Begriff des Digitalen Zwillings. Der Digitale Zwilling ist die „digitale Repräsentanz“, das Replikat eines realen Objekts. Er umfasst alles, was an digitalen Daten über das Objekt vorliegt. Lange Zeit handelte es sich dabei um ein eher theoretisches Konzept, wobei es unterschiedliche Vorstellungen darüber gab, was ein Digitaler Zwilling enthalten oder können muss. Nun aber existiert nach intensiver Detailarbeit ein standardisiertes Datenmodell, mit dem sich alle Aspekte einer realen Komponente digital abbilden lassen, die Verwaltungsschale (VWS) oder englisch Asset Administration Shell (AAS). Eine internationale Norm für die AAS ist in Arbeit (IEC 63278-1).

Das Datenmodell ist in Teilmodellen realisiert, die sukzessive alle Facetten einer Komponente abdecken sollen, wie die Identifikation, die Dokumentation, Zulassungen oder Zertifikate. Aber auch die Verwendung eines Gerätes und Instandhaltungsmaßnahmen sollen dokumentiert werden können. Dabei wird stets darauf geachtet, dass öffentliche Standards geschaffen oder integriert werden, so z. B. das Digitale Typenschild (IEC61406) oder die Dokumentations-Norm nach VDI 2770. Auf diese Weise eignet sich die Verwaltungsschale als universelles Datenaustauschformat über Hersteller- und Betreiber Grenzen hinweg und ermöglicht es, den Digitalen Zwilling ganzer Anlagen zu erreichen.

Ein Informations- und Zustandsabbild der Anlage ist ein wichtiger Enabler zur Erhöhung der Nachhaltigkeit, wie bei den Anwendungsbeispielen gezeigt werden wird.

In diesem Kapitel werden Anwendungen des digitalen Zwillings in der Prozessindustrie genannt, die zur Energieeinsparung und Effizienzsteigerung dienen:

- Ein Trainingssimulator von Anlage und Prozessleitsystem verkürzt die Inbetriebnahme und ermöglicht den Test von Prozessverbesserungen anhand der Simulation (Abschnitt 6.1)
 - Mit Hilfe des digitalen Zwillings einer Pipeline gelingt eine Erkennung und Ortung von Leckagen und ein energieoptimierter Betrieb (Abschnitt 6.2)
 - Der CO₂-Fußabdruck von komplexen Bauteilen kann dank standardisierter Teilmodelle automatisch ermittelt und kommuniziert werden (Abschnitt 6.3)
 - Die Pumpensteuerung in einem Rückkühlwerk kann durch einen digitalen Zwilling optimiert werden (Abschnitt 6.4).
 - Durch das Konzept NOA (siehe Abschnitt 7.1) wird es möglich, Daten von Feldgeräten automatisch in Engineeringsysteme zu übertragen. Eine veraltete Dokumentation mit ihren Risiken für Sicherheit und Verfügbarkeit sind dadurch eliminiert (Abschnitt 6.5)
- (Quelle: Knick)

6.1 Trainingssimulator als digitaler Zwilling

Wenn eine Anlage errichtet oder betrieben wird, sind alle Daten über den Prozess, die Anlage und deren Automatisierung bekannt. Wenn dieses Wissen in digitaler Form vorliegt, ist das der digitale Zwilling. Dieser ermöglicht eine Simulation der Anlage, und zwar nicht nur des Prozesses, sondern auch der durch ein Leitsystem automatisierten Anlage. Eine sehr sinnvolle Nutzung dieser Simulationsmöglichkeit ist ein Trainingssimulator. Dieser besteht aus dem dynamischen Modell des Prozesses, einem simulierten (emulierten) Prozessleitsystem als Platz für den Trainingsteilnehmer und einem Arbeitsplatz für den Trainer, an dem dieser die Trainingsaufgaben vorgeben kann.

Viele Unternehmen der chemischen Industrie setzen Trainingssimulatoren bei allen größeren Projekten ein. Sie haben große Vorteile bei Neuanlagen, aber auch bei bestehenden Anlagen:

- Bei Neuanlagen ermöglichen sie eine Schulung der Anlagenfahrer schon während der Projektlaufzeit. Die Mitarbeiter können schon frühzeitig den Regelbetrieb, aber auch An- und Abfahren sowie Lastwechsel trainieren. Die Prozessautomatisierung kann die Software für Regelungen, aber auch für Abläufe an der Simulation testen und sogar die Einstellung der Regler und Alarmgrenzen schon optimieren. Die Produktion kann am Simulator ein Verständnis des dynamischen Verhaltens der Anlage gewinnen und deshalb die benötigten Betriebsanweisungen praxisnah erstellen.
- Während des Anlagenbetriebs ermöglicht ein Trainingssimulator eine gute Schulung neuer Mitarbeiter. Auch die erfahrenen Anlagenfahrer können für selten durchgeführte An- und Abfahrvorgänge und vor allem für das Verhalten bei Störungen geschult werden, genauso wie es in der Luftfahrt üblich und vorgeschrieben ist. Die Prozessautomatisierung kann Änderungen und Optimierungen von Software und Parametrierung testen, ohne die laufende Anlage zu stören. Ein wichtiges und nachhaltiges Beispiel ist, dass die Simulation bei der Implementierung von modernen Regelungen, beispielsweise modellprädiktiven Regelungen hilft, indem sie vor dem go-live getestet werden und bei der Betriebsmannschaft Vertrauen entsteht. Die Produktion kann Fallstudien durchführen und Prozessverbesserungen oder Erweiterungen bewerten. Und all das bei normal laufender Produktion und unabhängig von Produktionsplan.

Die Anwender von Trainingssimulatoren berichten von sehr erfolgreichen Inbetriebnahmen: Eine Großanlage wird häufig in 4-6 Wochen in Betrieb genommen, alle Steuerungen funktionieren wie erwartet und der Regelbetrieb kann früh aufgenommen werden. Die deutliche Verkürzung der Inbetriebnahmephase hat große wirtschaftliche Vorteile, ermöglicht eine frühe Marktbelieferung mit fortschrittlichen Produkten und vermeidet die Energie- und Rohstoffverbräuche und Emissionen einer langen Inbetriebnahme. Auch während des Anlagenbetriebs trägt die ständig gut geschulte Bedienmannschaft zur Verfügbarkeit, Flexibilität und Sicherheit der Anlage bei und Änderungen und Optimierungen werden erst nach realistischen Tests durchgeführt. Deshalb ist ein Trainingssimulator ein wichtiger Begleiter im nachhaltigen Lebenszyklus einer Chemieanlage.

(Quelle: Covestro)

6.2 Pipeline-Überwachung

Digitale Zwillinge können nicht nur im Engineering und für die Anlagensimulation verwendet werden, sondern auch für andere Aufgaben. Ein Hersteller industrieller Sensoren verwendet sie beispielsweise für verschiedene Anwendungen zur Pipelineüberwachung (Abbildung 22). Eine dieser Anwendungen ist die Leckerkennung mit Hilfe der E-RTTM-

Technologie. E-RTTM steht für Extended-Real Time Transient Model (Erweitertes Transientes Echtzeit-Modell), das ein Modul zur Merkmalsgenerierung um eine Signaturanalyse mit Leckmustererkennung erweitert. Ein E-RTTM-Leckerkennungssystem erstellt einen digitalen Zwilling einer Rohrleitung auf der Grundlage von Messdaten sowie Leitungs- und Flüssigkeitseigenschaften. Die Technologie verwendet die Messwerte von Durchfluss-, Temperatur- und Druckmessgeräten, um Durchfluss, Druck, Temperatur und Dichte an jedem Punkt entlang der virtuellen Pipeline zu berechnen. Das Modell vergleicht dann die berechneten Durchflusswerte mit den tatsächlichen Werten der Durchflussmessgeräte. Stellt das Modell eine Durchflussdiskrepanz fest, bestimmt das Lecksignaturanalysemodul, ob diese durch einen Instrumentenfehler, eine schleichende oder eine spontane Leckage verursacht wurde.

Neben der Erkennung und Ortung von Leckagen, um Verluste in Leitungen auf ein Minimum zu reduzieren, liefern Systeme, die auf einem Pipelinemodell basieren, zusätzliche Informationen über den Betrieb und das Verhalten der Pipeline. Dazu gehören z.B. Informationen für die vorausschauende Wartung von Pipeline-Segmenten, Überlebenszeitanalysen von Gaspipelines und Batchverfolgungsberechnungen zur Reduzierung von Produktausschüssen.

Der Hersteller industrieller Sensoren hat zudem eine innovative Lösung für die effiziente Transportplanung und Schulung in den Leitständen vorgestellt. Diese hochmoderne Technologie ermöglicht es Pipelinebetreibern nicht nur, geplante Betriebsszenarien zu simulieren und ihre Sicherheit und Effizienz mithilfe digitaler Zwillinge ihrer Pipelines genau zu bewerten. Sie liefert auch Echtzeitprognosen des Pipeline-Verhaltens über zum Beispiel 48 Stunden im Voraus und warnt frühzeitig vor bevorstehenden Herausforderungen. Dazu gehört die Erkennung von potenziellen Problemen wie Über- oder Unterdruck, von Versorgungsengpässen oder von Abweichungen von vertraglichen Anforderungen. Darüber hinaus ermöglicht die Technologie die Optimierung der Pipeline-Effizienz und minimiert die Risiken, die mit falsch geplanten Wartungsmaßnahmen verbunden sind. Mithilfe digitaler Zwillinge erhalten Pipelinebetreiber so einen besseren Einblick in den Betrieb, um fundierte Entscheidungen treffen und einen reibungslosen und sicheren Betrieb ihrer Pipelines zu gewährleisten.

(Quelle: KROHNE)

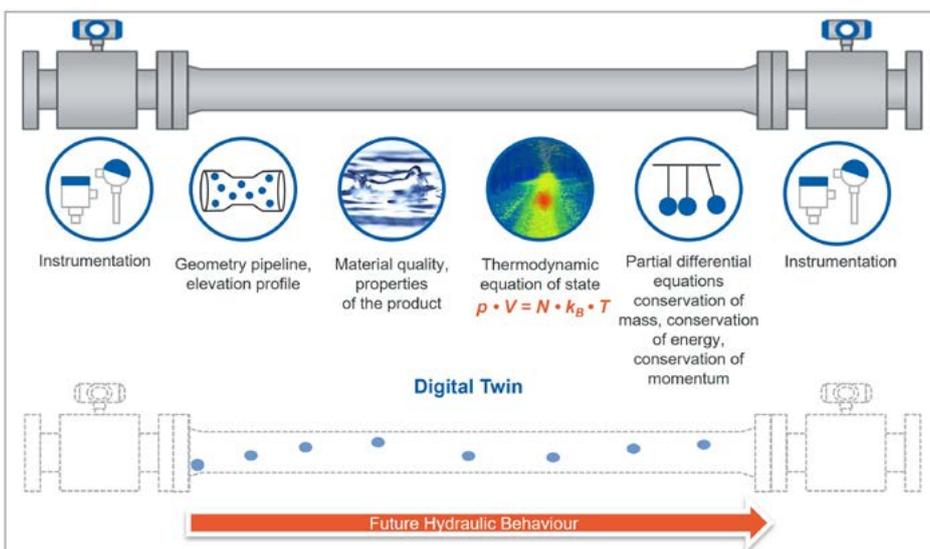


Abbildung 22:
Anwendungen des Digitalen Zwillings
zum Monitoring einer Pipeline
(Quelle: KROHNE)

6.3 CO₂-Footprint eines Schaltschranks

Der CO₂-Fußabdruck (engl. Product Carbon Footprint, PCF) nimmt bei der Bewertung der Nachhaltigkeit eines Systems (z.B. einer Maschine) eine relevante Rolle ein. Doch wenn ein System aus vielen zugelieferten Komponenten zusammengebaut wird, die jeweils ihren eigenen CO₂-Fußabdruck mitbringen, ist die Ermittlung des Gesamt-PCF der Maschine sehr aufwendig und erfordert eine elektronische Lösung. Der digital Zwilling stellt die Grundlage dafür dar da er alle Daten dieser Komponenten in elektronischer Form enthält.

Der ZVEI hat mit dem Show-Case „PCF@Control Cabinet“ gezeigt, wie hier die Verwaltungsschale helfen kann. Als Beispiel dient ein Schaltschrank, der aus vielen Komponenten wie dem Gehäuse, den Klemmleisten und den Schalt- und Schutzgeräten. Alle Komponenten werden durch einen QR-Code nach IEC 61406 identifiziert. In den Verwaltungsschalen der jeweiligen Komponenten sind die Teilmodelle „Digital Nameplate for Industrial Equipment“ mit den Daten des Typenschilds und „Carbon Footprint“ mit dem CO₂-Fußabdruck der Komponente enthalten. Der PCF des Schaltschranks wird dann während der Planung oder spätestens beim Zusammenbau des Schaltschranks durch Scannen der Komponenten ermittelt. Daraus werden dann die Typenschild-Daten und der PCF des fertigen Schaltschranks für den Betreiber bereitgestellt.

Der ZVEI-Show-Case „PCF@Control Cabinet“ wurde im Dezember 2022 auf dem Digital-Gipfel vorgestellt. Unter den Teilnehmern waren unter anderen Bundeskanzler Olaf Scholz und Innenministerin Nancy Faeser, siehe Abbildung 23.

(Quelle: ZVEI)



Abbildung 23:
Prof. Dr.-Ing. Dieter Wegener, Sprecher ZVEI-Führungskreis Industrie 4.0 stellt PCF@Control Cabinet auf dem Digital-Gipfel im Dezember 2022 vor. Teilnehmer: Bundeskanzler Olaf Scholz, Verkehrsminister Volker Wissing, Innenministerin Nancy Faeser und Anna Christmann, BMWK-Beauftragte für die Digitale Wirtschaft (Quelle: ZVEI)

Hinweis: das Whitepaper „ZVEI-Show-Case PCF@Control Cabinet“ (in Englisch) kann auf der Seite des ZVEI heruntergeladen werden (<https://www.zvei.org/presse-medien/publikationen/zvei-show-case-pcfcontrolcabinet-whitepaper>)

6.4 Digitaler Zwilling für ein Rückkühlwerk

Ein weiteres Erfolgsbeispiel ist die energieoptimale Steuerung eines Rückkühlwerks in einem Industriepark (Abbildung 24) mit der Unterstützung eines digitalen Zwillings der Pumpensteuerung.

„Mithilfe Künstlicher Intelligenz und maschinellen Lernens können wir versteckte Muster in Daten finden, die zur Optimierung der Anlagenbetriebsweise und -verfügbarkeit beitragen“, erklärt ein Data-Science-Experte des Industriepark-Standortbetreibers. Es werden statistische Methoden und mathematische Algorithmen genutzt, um das volle Potenzial der gewonnenen Daten auszuschöpfen. Das Team hat feingranulare Daten der eingesetzten Pumpen des Rückkühlwerks aus einem kompletten Jahr analysiert und interpretiert. Dabei zeigte sich: Die Pumpensteuerung konnte bislang nicht auf eine energieoptimierte Fahrweise ausgerichtet werden. Energieeinsparpotenziale ergeben sich, wenn der Bedarf an Wasser mit niedrigerer Leistung gedeckt werden kann. Bei günstiger Drehzahl der flexibel einsetzbaren Pumpe mit Frequenzumrichter sowie rechtzeitigem Umschalten lassen sich Verschleiß und Energieverbrauch erheblich reduzieren. Für die energieoptimale Steuerung des Rückkühlwerks wurde die Anlage als digitaler Zwilling – also als virtuelle Abbildung des Systems – nachgebaut. Der mathematische Algorithmus zeigt nun die optimale Pumpenkombination für den jeweiligen Bedarf an, um möglichst stromsparend und pumpenschonend zu agieren. Auch Komponenten wie eingebaute Klappen oder Restriktionen bezogen auf den Druck finden je nach Anforderung Berücksichtigung. Die virtuelle Nachbildung des Rückkühlwerkes ist mit einem mathematischen Baukastensystem zu vergleichen und kann daher auch auf andere Anlagen übertragen werden. Derzeit wird die entwickelte Methodik auf weitere Rückkühlwerke ausgerollt.

„Grundsätzlich sind die eingesetzten Prozessleitsysteme bisher nur darauf ausgerichtet, den Betrieb sicherzustellen. Die Kollegen vor Ort hatten somit – trotz jahrelanger Erfahrung – gar keine Chance, das Optimierungspotenzial zu erkennen“, stellt der Standortbetreiber klar. „Durch die Nutzung von Data Science können wir nun deutlich größere Schritte machen und arbeiten viel zielgerichteter“, sagte die an dem Projekt beteiligte Betriebsassistentin Kälte/Kühlung/Wasser. „Das Programm dient als Unterstützungstool und ist eine wirksame Methode, Energieeffizienz im Routinebetrieb zeitsparend einzusetzen.“

Hochgerechnet auf ein Jahr entspricht die erzielte Einsparung 411 MWh. In CO₂ ausgedrückt: 173 Tonnen pro Jahr. Eine Einsparung von 2,6 % bis 5,6 % der Emissionen – je nach Jahresbedarf. Eine beachtliche Zahl, die ohne technische Investitionen erreicht werden konnte.

(Quelle: InfraserV Höchst)



Abbildung 24:
Digitaler Zwilling für ein Rückkühlwerk.
(Quelle: InfraserV Höchst)

Erfolgreiches Pilotprojekt: 411 Megawattstunden spart ein digitaler Zwilling bei diesem Rückkühlwerk ein. © InfraserV GmbH & Co, Höchst KG, 2023

6.5 Digitaler Zwilling stets aktuell „as built“

Aktuell stellen die internen Daten von Feldgeräteinformationen, die Aussagen über den Zustand des Gerätes ermöglichen (sog. Vitaldaten), eine weitgehend ungenutzte aber durchaus wichtige Ressource für einen zuverlässigen und effizienten Betrieb dar. Aktuell werden in den meisten Fällen nur die primären Messwerte des Sensors, die in der Regel die Prozessdaten beschreiben, genutzt. Eine Verwendung der Geräteinformationen an anderer Stelle war nie vorgesehen und ist mit dem Stromsignal 4-20 mA auch nicht möglich.

Im Zuge der immer tiefer gehenden Vernetzung wurde inzwischen erkannt, dass der Informationsschatz innerhalb eines typischen Sensors oder Aktors auch an anderen Stellen, außerhalb der direkten Prozessregelung, extrem nützlich sein kann. Es wurde ein Use Case „Automated as built“ definiert, der genau diese Liveinformationen nutzt, um einen Digitalen Zwilling jedes Feldgerätes im Engineeringtool des Betreibers zu erstellen. Das Grundproblem aus der Vergangenheit, dass die Feldgerätdaten nicht am Prozessleitsystem vorbei abgegriffen werden konnten, ist heute durch das NOA-Konzept (siehe Abschnitt 7.1) gelöst. Denn die Namur Open Architecture (NOA) stellt einen offenen sicheren und rückwirkungsfreien Zugang aus der Kernautomatisierung zu den bisher brachliegenden Informationen im Feldgerät dar und macht diese nun auch außerhalb der eigentlichen Prozesssteuerung verfügbar.

Im Use Case „Automated as built“, siehe Abbildung 25, werden die NOA-Informationen einem Engineering-System z.B. des Anlagenbetreibers zur Verfügung gestellt. Damit kennt das Engineering nun jederzeit den aktuellen Istzustand der Feldinstrumentierung. Wenn z.B. ein fehlerhaftes Feldgerät getauscht wird, wird das Ersatzgerät automatisch mit neuem Typ, Seriennummer und weiteren Geräteparametern im NOA-Server und damit auch im Planungssystem aktualisiert. Der zuständige Mitarbeiter kann dann mit einem Klick diese Änderung übernehmen und die komplette Anlagendokumentation ist auf aktuellen Stand. Eine veraltete und fehlerhafte Dokumentation mit ihren Risiken für Sicherheit und Verfügbarkeit sind dadurch eliminiert.

Eine aktuelle Anlagendokumentation ist aber nur der erste Schritt: Wenn im Beispiel oben ein Gerät im Feld getauscht wurde und das Ersatzgerät im Engineeringsystem aktualisiert wurde, sind in der Regel noch weitere Arbeitsschritte nötig, beispielsweise ein neuer Nachweis der Eigensicherheit. Dazu wird das Engineeringsystem des Betreibers mit den aktualisierten Geräteinformationen (Typ, Seriennummer,) über eine Verwaltungsschale (AAS) und den geplanten Datenraum Process-X vollautomatisiert die neuen Eigensicherheitsparameter vom AAS-Server des Geräteherstellers für genau das Tauschgerät abrufen. So kann auch der Nachweis der Eigensicherheit automatisch für die Messstelle nachgepflegt werden.

Die Feldgeräteinformationen stehen über NOA und die Verwaltungsschale zukünftig offen, herstellerunabhängig, standardisiert und datenschutzkonform nach außen zur Verfügung. Neben dem Use Case „Automated as built“ sind natürlich noch viele weitere alltägliche Anwendungsfälle denkbar, die mit den nun verfügbaren Informationen smart und effizient automatisiert werden können.

(Quelle: Bilfinger, Phoenix Contact)

AUTOMATED AS BUILT

Using the digital twin with NOA.



Abbildung 25:

Use Case „Automated as Built“

(Quelle: Bilfinger, Phoenix Contact)

7 Konnektivität

Häufig scheitern Innovationen an fehlenden Daten aus dem Prozess oder aus der Anlage. Genauer gesagt: Daran, dass Daten zwar vor Ort im Feldgerät in elektronischer Form vorhanden sind, aber es zu aufwendig ist, diese Daten in die IT-Systeme zu übertragen. Das kann an ungeeigneten Protokollen (ein 4-20 mA-Stromsignal überträgt nur einen einzigen Messwert), an fehlenden elektrischen Leitungen oder an einem zu hohen Programmieraufwand liegen (weil jede Geräteschnittstelle von Hand programmiert werden muss).

Konnektivität ist der Fachbegriff für diese Verbindungsfähigkeit. In dieser Broschüre kann das Thema nicht in seiner Komplexität vollständig abgedeckt werden, aber drei neue Technologien sollen vorgestellt werden. Sie ermöglichen es, alle vorhandenen Daten aus Feldgeräten kostengünstig und einfach zu nutzen. Gute Lösungen für die Konnektivität sind Voraussetzung für die auf Datenauswertungen beruhenden Beiträge zur Klimaneutralität.

- Die bisherige physikalische Signalübertragung durch 4-20 mA oder Feldbusse wird durch Ethernet-APL ersetzt. APL steht für Advanced Physical Layer und erfüllt die Anforderungen der Prozessindustrie wie Eigensicherheit im explosionsgefährdeten Bereich und Zweidrahtverbindungen (Abschnitt 7.1).
- Alternativ zur Signalübertragung mit elektrischen Leitungen gibt es diverse Funk-Technologien, die spezielle Vorteile für Nachrüstungen und weit verteilte sowie mobile Anlagen haben (Abschnitt 7.2).
- Jeder Gerätehersteller, jedes Gerät liefert andere Daten und verwendet dafür andere Bezeichnungen. Das standardisierte NOA-Informationsmodell PA-DIM stellt eine einheitliche „Sprache“ für die Daten dar und macht die Integration in den Informationshaushalt einfacher und preiswerter (Abschnitt 7.3).

7.1 NOA für Prozess- und Gerätedaten

Das NAMUR Open Architecture (NOA) Konzept ist der sinnvollste Weg um bestehende, oft schon recht alte Anlagen sowie Neuanlagen zu optimieren. Eine ausführliche Darstellung des NOA-Konzeptes wurde veröffentlicht¹.

In der NAMUR Open Architecture Empfehlung wird die Struktur der Automatisierung Pyramide (ISA-95), wie sie seit Jahrzehnten entwickelt wurde, mit den Level 0 bis Level 4 mit all den Sicherheit und Schutz Funktionen gewahrt. Zusätzliche sinnvolle Optimierung des Produktionsprozesses, um ungeplante Stillstände oder Reduktionen zu vermeiden, den Energieverbrauch zu optimieren und die Sicherheit weiter zu erhöhen, können in dem NAMUR NOA Konzept, dem Parallel-System zur Automatisierung Pyramide, umgesetzt werden. Durch Implementierung des NOA-Konzeptes wird schon seit Jahren erfolgreich anhand von vielen Projekten einen Return of Investment (ROI) von wenigen Monaten nachgewiesen (Abbildung 26). Wichtig ist es dabei, in kleinen Projekten zu starten, den Erfolg nachzuweisen und dann das Projekt hochzuskalieren. Mit dem Nachweis des Erfolges, der einfachen und risikofreien Implementation und einem ROI von wenigen Monaten, befürwortet das Management auch eine Ausweitung von Digital Transformation Projekten.

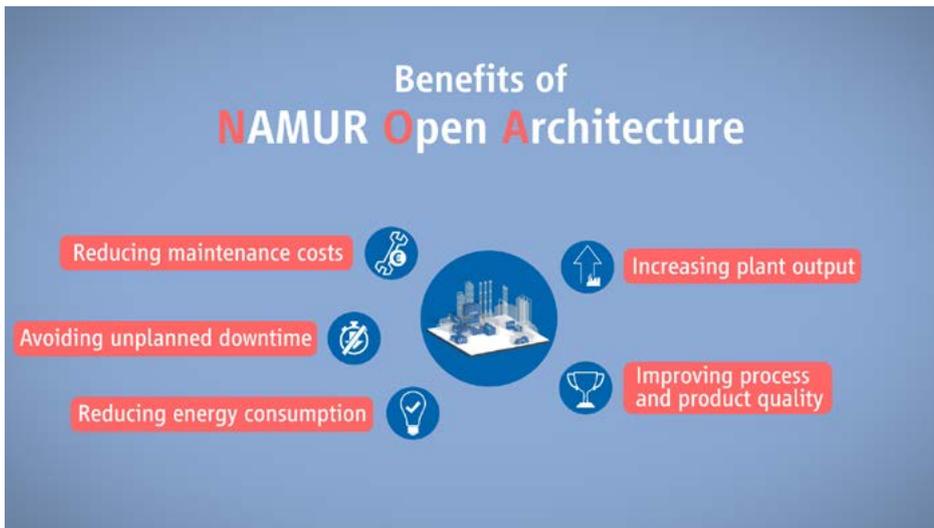


Abbildung 26:
 Von NOA und den dadurch zugänglichen Daten aus der Anlage verspricht sich die Prozessindustrie vielfältige Vorteile, die zu einer höheren Gesamtanlageneffektivität führen.
 (Quelle: NAMUR, ZVEI)

Wichtig ist, dass NOA gezielt für Brownfield-Anlagen entwickelt wurde. Es eignet sich für Nachrüstungen an bestehenden Anlagen, weil es in Sensoren und Aktoren vorhandene Daten, die bisher nicht zugänglich waren, in einer standardisierten Form (Informationsmodell PA-DIM) zur Verfügung stellt. Ebenso können zusätzliche Sensoren, sogenannte Monitoring+Optimization-Sensoren (M+O) leicht integriert werden. Dadurch entfällt der bisher erforderliche hohe Konfigurationsaufwand für die jeweiligen Geräte. Die in den Abschnitten 2,1, 5.2, 2.7 und 2.9 dargestellten Beispiele für nachträglich eingebaute Sensoren sind erfolgreiche Projekte unter Nutzung des großen Vorteils der NAMUR NOA Strategie. In Verbindung mit der schnellen Implementation von Wireless M+O Sensoren (ohne Verdrahtung Aufwand), um mehr Einsicht in den Produktion Prozess zu erlangen, sowie die Bereitstellung der klaren Handlungsanweisungen auf das Smartphone der für den Anlagenteil/Asset zuständigen Mitarbeiter.
 (Quelle: Emerson Process Solutions)

7.2 APL – Feldkommunikation mit Ethernetgeschwindigkeit

Noch immer werden 80 Prozent aller neuen Feldgeräte in der Prozessindustrie mit einer Stromschnittstelle (4-20 mA) ausgeliefert. Das Stromsignal liefert lediglich den Messwert der Prozessgröße, also beispielsweise den Druck oder die Temperatur. Die Intelligenz, die in modernen Feldgeräten steckt und beispielsweise Selbstdiagnosen und Berechnungen ermöglicht, kann so nicht genutzt werden. Zusätzliche Kommunikationswege wie ein zum Stromsignal überlagertes HART-Signal oder Feldbusse sind langsam und umständlich.

Jetzt wurde eine Lösung für die Anforderungen der Prozessindustrie wie Explosionsschutz und Zweileitertechnik entwickelt: Ethernet-APL steht für Advanced Physical Layer. Diese standardisierte Kommunikationstechnik erlaubt endlich „Ethernet-Geschwindigkeit“ (10 MBit/s) bis ins Feld in der Prozessindustrie: Eigensicherheit, Zweidraht-Anschluss, Stromversorgung der Geräte über diese beiden Drähte und ausreichende zulässige Kabellängen. Es wird erwartet, dass Ethernet-APL sich aufgrund der großen Vorteile schnell durchsetzen und die bisherigen Lösungen 4-20mA, HART und Feldbus ersetzen wird. Dann gibt es endlich „Ethernet bis zum Feldgerät“.

Im Blick auf die Nachhaltigkeit und Energiewende hat diese digitale Technik mehrere Vorteile:

- Die Genauigkeit der Messwerte steigt, weil keine Verluste durch Signalwandlungen auftreten. Prozesse können so präziser geregelt werden und zulässige Grenzen verstärkt genutzt werden.
- Die Intelligenz der Geräte kann dezentral genutzt werden. Komplexe Berechnungen können dezentral in den Geräten durchgeführt und umgesetzt werden, so dass Messungen und Regelungen beschleunigt werden.
- Durch die Selbstdiagnose der Geräte können drohende Ausfälle erkannt und vermieden werden, sei es durch Wartung der Geräte oder durch Anpassung der Betriebsweise. Dies führt zur einer höheren Anlagenverfügbarkeit.
- Geräte wurden bisher ausgeliefert, eingebaut und vergessen. Ethernet-APL bietet die Grundlage für Software-Verbesserungen und notwendige IT-Sicherheitspatches der Geräte im Lebenszyklus und können dadurch die Lebensdauer der Geräte erhöhen.
- Durch die schnellere und digitale Anbindung können Zusatzsensordaten aus vorhandenen (Brownfield) oder sowieso vorgesehenen (Greenfield) Geräten verwendet werden. Dies kann dazu führen, dass keine zusätzlichen, dedizierten Sensoren geplant, beschafft und eingebaut werden müssen.

(Quelle: BASF)

7.3 Wireless-Technologien

Produktionsanlagen in der Prozessindustrie sind geschlossene Systeme: Es kann nur dort der Energieverbrauch optimiert werden, wo ein zusätzlicher Einblick in den Prozess möglich ist. Dieser Einblick kann durch die Verknüpfung von bestehenden Messungen oder Nutzung von weiteren Feldgeräte Parametern geschehen, wobei hier Grenzen gesetzt sind. Die weitere Optimierung wird durch zusätzliche Messtechnik ermöglicht, den Monitoring + Optimization (M+O) Sensoren. Diese werden entweder teuer verkabelt oder günstig durch Wireless Sensorik wie z.B. WirelessHART, LoRa, oder NB-IoT verwirklicht. Mittlerweile hat die Wireless Technologie durch zigtausende Netzwerke weltweit

bewiesen, dass die Datenzuverlässigkeit genauso hoch ist, wie bei verkabelten Systemen. Durch die Wireless Technologie können mögliche Problemzonen flexibel, günstig und schnell überwacht und rechtzeitig beseitigt werden, wie z.B. Energie-Verbrauchs-Messungen, Korrosion von Rohrleitungen, Auslösen und Undichtigkeit von Sicherheitsventilen, Zustand Überwachung von Pumpen, Fouling von Wärmetauschern, Kühltürmen, Detektierung von defekten Kondensatableitern usw.

Eine weitere Möglichkeit ist die Nutzung von aufschnallbaren Wireless Sensoren, die im laufenden Betrieb der Prozessanlage nachgerüstet werden können, um Fehler rechtzeitig zu diagnostizieren. Bei dieser Technologie muss der Prozess nicht unterbrochen werden und der Verkabelungsaufwand entfällt zusätzlich. Auch der Engineering Aufwand für zusätzliche Messtellen wird durch die Wireless Technologie deutlich reduziert, da kein verkabelter Loop mit Kabelplänen mehr dokumentiert werden muss. Die Wireless Geräte erhalten per Batterien ihre Energie, deshalb sind lange Batterie-Standzeiten wichtig, damit der Aufwand für den Batterietausch niedrig bleibt. Bei einer Datenübertragung der Messwerte pro Minute sind heute Batterie-Standzeiten von größer 10 Jahren üblich. Somit ist der Wartungsaufwand für Wireless-Messumformer geringer als für verkabelte Messumformer, die nach der Atex-Richtlinie alle fünf Jahre geprüft werden müssen.

Ein zweiter Anwendungsfall ist die Nutzung des 2. Kanals. Bisher sind in den Sensoren und Aktoren häufig Diagnosemöglichkeiten über HART bereits integriert, diese Diagnosedaten werden aber meist nicht genutzt. Eine einfache und schnell zu installierende Lösung ist das parallele Auslesen der Daten zu dem 4-20 mA System per WirelessHART THUM Adapter, um die volle Diagnose der Feldgeräte online zu nutzen. M+O Sensoren zeichnen sich dadurch aus, dass diese schnell und kostengünstig zusätzlich zu den bestehenden M+C Sensoren (Measurement + Control) installiert werden können, möglichst im laufenden Betrieb.

(Quelle: Emerson Process Solutions)

8 IT-Werkzeuge

Außerhalb der Industrie hat die Informations- und Datentechnik ein enormes Innovationsstempo. Man denke an Smartphones, Cloud Computing und Künstliche Intelligenz; wir nutzen dies täglich. Die Anwendung in der Industrie und speziell in der Prozessindustrie hinkt deutlich hinterher. Die Gründe dafür sind vielfältig und sollen hier nicht diskutiert werden. Stattdessen sollen vier Bereiche der IT vorgestellt werden, die zur Nachhaltigkeit und Wirtschaftlichkeit der Prozessindustrie beitragen können:

- IT-Lösungen können dezentral in den Produktionsunternehmen oder in der Cloud implementiert werden. Durch gute Kombination beider Technologien können flexible, kostengünstige und energiesparende Lösungen erstellt werden (Abschnitt 8.1).
- Künstliche Intelligenz ist der Überbegriff für Methoden, Computer „intelligent“ zu machen, damit sie Informationen aufnehmen und verarbeiten und mit diesem Wissen Probleme lösen können. Abschnitt 8.2. stellt Anwendungen der KI im Blick auf die Nachhaltigkeit der Prozessindustrie zusammen.
- Technische Geräte und Systeme veralten. Das begrenzt ihre Lebensdauer und ihre Fähigkeiten und führt letztlich zu mehr Müll und hohem Aufwand für neue Lösungen. Das Obsoleszenzmanagement versucht, dieses Veralten aufzuhalten und eine Migration auf neue Lösungen zu unterstützen (Abschnitt 8.3).

8.1 Edge/Cloud-Computing

Die Vorteile des Cloud Computing sind allgemein bekannt: Wer IT-Lösungen betreiben will, kann sich Rechen- und Speicherkapazität auf Cloud-Systemen anmieten. Das erspart Investitionskosten, ist flexibel zu skalieren und erspart IT-Administrationsaufwand. Datensicherung, hohe Verfügbarkeiten durch Redundanz und gute IT-Sicherheitskonzepte können dazugebucht werden. Mitte der 2010er Jahre gab es starke Tendenzen dazu, direkt „vom Feldgerät in die Cloud“ zu gehen.

Inzwischen wurden auch Nachteile und Risiken der Cloud-Lösungen diskutiert: Viele Betreiber wollen ihre Daten nicht auf global zugänglichen Systemen haben – trotz aller vertraglichen Absicherungen. Die Abhängigkeit von einer ständig verfügbaren Internetverbindung wird kritisch gesehen. Die Erfüllung von Echtzeitanforderungen der Netzwerke kann nicht garantiert werden – da gab es schon spektakuläre Ausfälle. Und letztlich erhöht eine ständige hohe Datenrate über global verteilte Netze den Stromverbrauch. Die Alternative ist eine lokale Lösung „On-Premises“, also am Standort des Betreibers. Das muss und sollte nicht im Keller der jeweiligen Betriebe sein, sondern kann am Standort in geeigneten Räumlichkeiten implementiert werden. Dadurch gehen die genannten Vorteile der Cloud-Lösung verloren, dafür liegen Verfügbarkeit und Echtzeitfähigkeit in der Hand der Betreiber.

Die Anlagenbetreiber müssen die Vor- und Nachteile abwägen und sollten die Freiheit zur Entscheidung haben. Es sind auch Kombinationen denkbar, beispielsweise die produktive Maschine on-premises und die Redundanz in der Cloud. Die Freiheit zur Entscheidung setzt allerdings voraus, dass die Anbieter von Systemen und Dienstleistungen beide Möglichkeiten unterstützen. Eine Diagnose-Software sollte also sowohl in der Cloud (oder beim Software-Anbieter) als auch on-premises angeboten werden. Diese Anforderung widerspricht dem aktuellen Bestreben der Anbieter, alle Kundendaten bei sich zu sammeln.

8.2 Künstliche Intelligenz (KI)

Künstliche Intelligenz, vor allem in ihrer aktuellen Inkarnation als Deep Learning, besitzt enormes Potenzial weite Bereiche unseres Lebens zu revolutionieren. Auch im Zusammenhang mit der Nachhaltigkeit der Prozessindustrien bietet KI einige Lösungen an, steckt aber teilweise noch in den Kinderschuhen. Die KI ergänzt und interagiert mit benachbarten Feldern wie der Simulation und der mathematischen Optimierung. KI ist sehr vielfältig aber eine mögliche Klassifikation moderner Modelle kann anhand ihrer Fähigkeiten erfolgen (vgl. Abbildung 27).

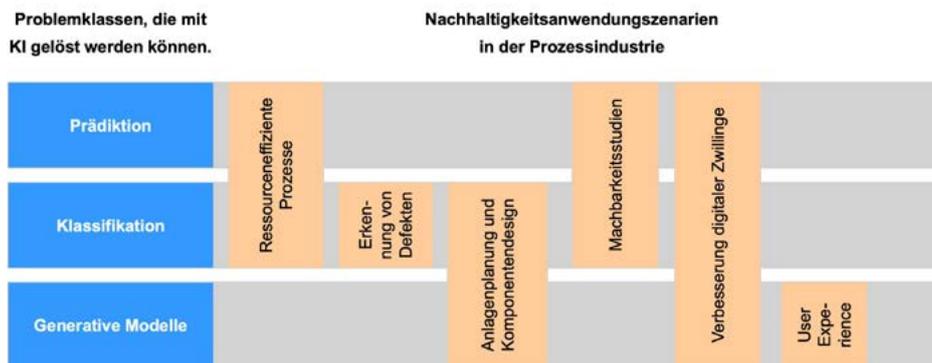


Abbildung 27:
Lösungsklassen und Anwendungen
der KI
© ABB

Im Kern ist z.B. ein neuronales Netz nichts anderes als eine mathematische Funktion, die Eingangsgrößen in Ausgangsgrößen umwandelt und deren Parameter statistisch erlernt wurden. Somit können aktuelle und historische Werte als Eingangsgröße für eine Vorhersage für einen oder mehrere Werte verwendet werden (Prädiktion). Eine mögliche einfache Prädiktion ist die Temperatur in einem Tank in 2 Stunden. Lösungen aus dem Bereich Klassifikation nehmen Eingangsdaten und entscheiden zu welcher Gruppe (d.h. Klasse) diese Daten gehören. Ein wichtiges Unterkonzept der Klassifikation ist die Anomaliedetektion. Eine einfache Klassifikation entscheidet beispielsweise basierend auf Messgrößen ob in einer Komponente ein Fehler vorliegt. Aktuell sehr medienpräsent sind die generativen Modelle, die aus einer Eingabe (z.B. Text) eine Ausgabe (z.B. ein Bild) erzeugt. Daraus ergeben sich verschiedene Stoßrichtungen, um die Nachhaltigkeitsbemühungen der Prozessindustrie zu unterstützen

Ressourceneffiziente Prozesse

Klassifikation und Prädiktion können benutzt werden, um Prozesse zu optimieren und Energieverbrauch und Emissionen dabei zu minimieren¹. Solche Optimierungen sind auch ohne KI möglich (s. Abschnitt 2) können aber durch die neue Technologie weiter verbessert oder kostengünstiger umgesetzt werden. Vor allem im Bereich der grünen Wasserstoffherzeugung durch Elektrolyse ist ein hoher Wirkungsgrad essentiell. Neben technischen können auch ökonomische Daten jenseits der Systemgrenzen berücksichtigt werden, z.B. Spotmarktprognosen oder H₂-Speicherkapazitäten⁵.

Erkennung von Defekten

Wie bereits mehrmals in dieser Broschüre erwähnt, sind nicht-kritische technische Defekte oftmals Treiber von Ineffizienzen im Prozess. Mithilfe von Sensordaten kann eine KI-gestützte Anomaliedetektion durchgeführt werden. Technologien wie Autoencoder erlernen hierzu den Regelzustand der Anlage und berechnen für jede neue Situation einen sogenannten Anomaliewert. Hohe Anomaliewerte können Indikatoren für

Unregelmäßigkeiten sein, die zu beheben sind. So können beispielsweise undichte Ventile oder Rohre, die zu Material- oder Energieverlusten führen, erkannt werden². Ebenso sind schlechte elektrische Kontakte, die Energie als Wärme verlieren, für intelligente Bilderkennungsalgorithmen im Infrarotbereich sichtbar³.

Anlagenplanung und Komponentendesign

Basierend auf historischen Daten können Anlagen z.B. zur Wasserstoffelektrolyse oder Windparks optimal ausgelegt werden. KI kann in diesem Zusammenhang datengetrieben Best Practices identifizieren. Komplexe Simulationsmodelle können ersetzt oder ergänzt und damit die Planungskosten reduziert werden.

Machbarkeitsstudien

Für viele Projekte ist die frühe Analyse der Wirtschaftlichkeit essentiell. Durch eine Prädiktion von Erträgen für verschiedene historische Szenarien wird eine schnelle Abschätzung der Machbarkeit möglich. Hierbei werden verschiedene Vektoren wie Modelle für erneuerbare Energien, Wettervorhersagen, Strommarktpreise, Elektrolyseurmodelle, Anlagenbilanzen und Wasserstoffderivate einbezogen⁵.

Verbesserung digitaler Zwillinge

KI verbessert digitalen Zwillinge, indem sie Erkenntnisse liefert, die über das hinausgehen, was Sensoren in der realen Welt liefern. KI verbessert die digitalen Zwillinge durch datengestützte Prädiktionen, die zukünftige Werte vorhersagen und so bisher nicht verfügbare Erkenntnisse liefern. Außerdem können Algorithmen anormale Sensordaten erkennen (s. oben). Dieses verbesserte Situationsbewusstsein für Ursache und Wirkung unterstützt eine agilere und nachhaltigere Entscheidungsfindung⁵. Ein Beispiel für die Kombination aus digitalem Zwilling und KI wurde bereits in Abschnitt 6.4 beschrieben.

User Experience

Der Umgang mit industriellen Informationen ist selbst für Experten nicht immer einfach. Generative KI kann dafür sorgen, dass Daten leichter verständlich präsentiert werden und Nachforschungen zu Problemfällen durch leichtere Interaktion z.B. über natürlichsprachliche Fragen vereinfacht werden.

(Quelle: ABB, Schneider Electric)

Quelle 1: Reduce Carbon and Costs with the Power of AI | BCG

Quelle 2: A novel pipeline leak detection approach independent of prior failure information - ScienceDirect

Quelle 3: Sensors | Free Full-Text | Integration of Novel Sensors and Machine Learning for Predictive Maintenance in Medium Voltage Switchgear to Enable the Energy and Mobility Revolutions (mdpi.com)

Quelle 4: AI-Generated Product Design: Tools and Examples - Board of Innovation

Quelle 5: ABB, Schneider Electric - How AI can accelerate the transition to Green hydrogen (se.com)

8.3 Veralterung vermeiden

Es ist eine triviale Feststellung: Produkte veralten. Das liegt an der begrenzten Haltbarkeit technischer Bauteile, aber auch am technischen Fortschritt. Veralterung gefährdet die Qualität der Produktion und führt früher oder später zum Ersatz der Komponenten und damit zu Elektroschrott und Ressourcenverbrauch für die neuen Komponenten.

Der Fachbegriff für dieses Veralten ist Obsoleszenz. In der Praxis wird durch die gezielte Instandhaltung versucht, die Lebensdauer der Geräte so groß wie möglich zu halten. Ansonsten gibt es nur die beiden radikalen Lösungen: Anlagen bewusst so lange wie möglich mit veralteten Geräten weiter zu betreiben oder Austausch gegen neue Geräte. Wobei der Austausch einzelner Geräte gegen moderne Komponenten häufig schwierig ist, weil diese meist mit neuen Technologien ausgerüstet sind und eine modernere Umgebung fordern, z.B. digitale Kommunikation. Und generell ist ein Geräteaustausch auch unter dem Gesichtspunkt der Sustainability kritisch zu sehen: Er erzeugt Abfall, benötigt neue Rohstoffe und führt zu ineffizienten Anlagenstillständen und Fehlproduktionen.

Seitens der Europäischen Union kommen zusätzliche Anforderungen auf Hersteller und Betreiber zu. Am 15.12.2022 präsentierte die Kommission einen Entwurf eines neuen „Cyber Resilience Act“, der Verbraucher und Industrie vor Produkten mit ungeeigneten IT Security-Eigenschaften schützen soll. Darin werden Hersteller von digitalen Produkten verpflichtet, Security-Themen in der Entwicklung systematisch zu berücksichtigen und Security-Support und Softwareupdates anzubieten, um erkannte Schwachstellen zu beseitigen. Nutzer müssen über behobene Schwachstellen informiert werden. Das gilt für den gesamten Produktlebenszyklus, mindestens jedoch für fünf Jahre. Die Regelungen betreffen alle Unternehmen, die Produkte mit digitalen Elementen herstellen oder mit ihnen handeln. Es gibt zwar noch keine Anforderung, dass Betreiber die Herstellerhinweise lesen oder Schwachstellen beseitigen müssen. Realistisch ist aber zu erwarten, dass solche Anforderungen für Betreiber kritischer Infrastruktur oder gefährlicher Anlagen kommen werden. Ein blauäugiger Betrieb veralteter digitaler Produkte wird demnächst nicht mehr möglich sein. Aber das hat auch Chancen: Wenn Geräte sowieso upgedatet werden müssen, können sie dabei auch funktional verbessert werden. Dadurch kann die Veralterung zumindest im Hinblick auf die Software verhindert werden.

Für den speziellen Bereich der Automatisierungssysteme behandelt NAMUR Empfehlung NE 121 „Qualitätssicherung leittechnischer Systeme“ die Nachhaltigkeit und das Obsoleszenzmanagement. Anbieter von Systemen sollten Konzepte und Produkte, z.B. Serviceprodukte, anbieten und in ihren Entwicklungsprozessen verankern, damit die Systeme einerseits langfristig gepflegt werden und andererseits eine Migration zu Nachfolgesystemen problemlos möglich ist. Eine Erneuerung kann auch in Schritten erfolgen, z.B. indem die Computer und Server ausgetauscht werden, die feldnahen Komponenten jedoch weiterbetrieben werden – sofern das die Anbieter unterstützen. Die Käufer, z.B. Anlagenbetreiber, sollten ihre Anforderungen an das Obsoleszenzmanagement von Anfang an definieren und bei der Angebotsbewertung berücksichtigen.

9 Perspektiven

Wie wir in dieser Broschüre gesehen haben, gibt es eine Vielzahl technischer Lösungen für eine verbesserte Nachhaltigkeit in der Prozessindustrie. Einige sind brandneu, andere sind schon seit Jahren verfügbar.

Bei vielen der gezeigten technischen Lösungen stehen die Energieeffizienz und die Reduzierung der Treibhausgas-Emissionen im Fokus. Damit greift die Branche entscheidende Aspekte für eine nachhaltige Entwicklung auf. Die Reduzierung von Treibhausgasen ist eine gigantische gesellschaftliche Herausforderung für die nächsten Jahrzehnte. Die EU-Kommission hat mit dem EU Green Deal den Weg vorgezeichnet: bis 2030 sollen die Treibhausgasemissionen um 55 Prozent gesenkt werden. Für 2050 wird Klimaneutralität angestrebt. Dies ist nur durch tiefgreifende Transformationen von Wirtschaft und Gesellschaft und durch massive Investitionen, u.a. bei Industrieprozessen, leistbar.

Nachhaltigkeit umfasst selbstverständlich viele weitere Aspekte. Auch diese greift die Prozessindustrie bereits auf. Beispielhaft seien genannt:

Circular Economy: Neben der Energiewende steht eine Ressourcenwende an. Das lineare Modell, wonach Rohstoffe gewonnen, genutzt und dann entsorgt werden, ist nicht mehr zeitgemäß. Geräte und Anlagen bestehen aus wertvollen Rohstoffen, die wieder in den Kreislauf geführt werden können. Neben den ökologischen Vorteilen ergeben sich dabei auch Potenziale für eine geringere Abhängigkeit von Rohstoffimporten. Hierbei ist es wichtig, dass der Kreislaufgedanke von Anfang an mitgedacht wird. Geräte und Anlagen werden zunehmend ressourcenschonend, langlebig und reparierbar konstruiert. Altgeräte werden einer Verwertung zugeführt. In Neugeräten können – wo verfügbar und in Abwägung mit anderen Produkteigenschaften vertretbar – rezyklierte Rohstoffe eingesetzt werden.

Hier ist es wichtig, dass z.B. Standards dafür sorgen, dass Rezyklate klare Qualitätskriterien haben. Auch die zuverlässige Verfügbarkeit ist wichtig für deren Einsatz.

Einsatz von Stoffen: Erzeugnisse der Prozessindustrie und Prozessautomation sind High-Tech-Anwendungen. Entsprechend anspruchsvoll sind die Anforderungen an die verwendeten Materialien. Damit Geräte und Anlagen langlebig und sicher sind sowie eine hohe Performance ausweisen, sind oft Spezialchemikalien nötig. Die Prozessindustrie und Prozessautomation ist sich der damit verbundenen Verantwortung bewusst. Eine umfassende Chemikaliengesetzgebung sorgt zudem dafür, dass Stoffe bewertet und wo nötig – in ihrer Anwendung beschränkt werden. Aktuell sorgen Vorschläge, ganze Stoffgruppen wie die sogenannten PFAS zu beschränken, für Unruhe in der Branche. Für zahlreiche Anwendungen, darunter solche, die für die Energiewende essenziell sind, gibt es derzeit keine Alternativen zu PFAS. Entsprechend wichtig ist, dass ein risikobasierter Ansatz gewählt wird und nicht ganze Stoffgruppen pauschal beschränkt werden.

Verantwortungsvolle Lieferketten: Lieferketten sind oft international und hochkomplex. Verstöße gegen Menschenrechte oder Umweltauflagen außerhalb der EU können nicht immer ausgeschlossen werden. Gesetze auf nationaler oder europäischer Ebene, welche die Verantwortung in der Lieferkette regeln sollen, sind schon in Kraft bzw. in Vorbereitung. Die Prozessindustrie und Prozessautomation nimmt diese Aspekte sehr ernst. Wichtig ist, dass die Anforderungen umsetzbar sind, insbesondere für KMU. Anforderungen müssen für in- und ausländische Marktakteure gleichermaßen gelten, überprüfbar sein und mit bereits existierenden Regelwerken harmonisieren.

Neben solchen produkt- und prozessbezogenen Maßnahmen gibt es eine Reihe weiterer Herausforderungen, welche es beim großflächigen Einsatz neuer Technologien in der Prozessautomation zu meistern gilt:

Aufklärung: Im kollektiven Bewusstsein unserer Gesellschaft spielt die Prozessautomation eine eher untergeordnete Rolle. Das Potenzial dieser Technologien für die Senkung von Treibhausgas-Emissionen muss daher verständlich erklärt werden. Eine lösungsorientierte positive Erzählung motiviert zu einem aktiven Beitrag bei der Umsetzung der theoretischen Möglichkeiten.

Ausbildung: Die Umsetzung der Lösungen erfordert Spezialisten, die schon heute immer knapper werden. Der Ingenieursmangel geht mittlerweile in die Hunderttausende. Messtechnik und Prozessautomatisierung sind aber der Schlüssel zur Umsetzung energie- und ressourceneffizienter Technologie. Vermehrt spielen auch die Informatik und die Künstliche Intelligenz in diesem Zusammenhang eine Rolle. Eine Förderung der MINT-Ausbildung spielt eine essenzielle Rolle bei der Erreichung der Klimaziele.

Forschung: Ebenso muss der Stand der Technik im Bereich nachhaltige Prozessindustrie durch öffentliche und kommerzielle Forschung weitergetrieben werden. Unbürokratische Forschungsförderung mit entsprechenden thematischen Schwerpunktprogrammen ermöglicht kontinuierliche Verbesserungen der Energie- und Ressourceneffizienz und damit einen reduzierten ökologischen Fußabdruck.

Günstiges Umfeld: Eine Gesellschaft, die Nachhaltigkeit möchte und die notwendigen Technologien und Experten zur Verfügung hat, sollte durch kollektive Entscheidungen die Weichen stellen, um deren Einsatz zu begünstigen. Dazu gehört eine zuverlässige und zeitgemäße digitale Infrastruktur ebenso wie eine Gesetzgebung, die den Technologieeinsatz vereinfacht. Zum Beispiel könnten Superabschreibungen für klimafreundliche Technologien entsprechende Investitionen weiter begünstigen.

Nachhaltigkeit durch langfristiges Denken: Gerade im Zusammenhang mit Abschreibungen sollten aber auch Unternehmen ihren zeitlichen Horizont erweitern. Sehr viele klimafreundliche Maßnahmen sind im Kern Investitionen, die sich über gesteigerte Effizienz bezahlt machen. Statt Maßnahmen aufgrund längerer Amortisationszeiten zu verwerfen, sollten verstärkt Lebenszykluskosten betrachtet werden. Energieaudits und daraus resultierende Einsparungspläne, die über Energiemanagementsysteme überwacht werden, sollten aktiv im Unternehmen gelebt werden.

ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS

Abkürzungsverzeichnis

AAS	Asset Administration Shell, engl. Bezeichnung für Verwaltungsschale
APL	Advanced Physical Layer
BAFA	Bundesamt für Wirtschaft und Ausführungkontrolle
CAPEX	Capital Expenditures, Investitionskosten
EMS	Energie-Management-System
FAD	Free Air Delivery
HART	Highway Addressable Remote Transducer
IT	Informationstechnik
KPI	Key Performance Indicator
MTP	Module Type Package (siehe VDI/VDE/NAMUR Richtlinie 2658)
NAMUR	Interessengemeinschaft Automatisierungstechnik der Prozessindustrie
NOA	NAMUR Open Architecture
OPEX	Operational Expenditures, Betriebskosten
PAT	Prozessanalysenmesstechnik
PCF	Product Carbon Footprint (CO ₂ -Fußabdruck)
PLS	Prozessleitsystem
VWS	Verwaltungsschale
ZVEI	Verband der Elektro- und Digitalindustrie

MITWIRKENDENVERZEICHNIS

Verzeichnis der Mitwirkenden

Dr. Ralf Gitzel	ABB
Nils Janko	ABB
Dr. Emanuel Trunzer	BASF
Dr. Dieter Förtsch	Bayer
Dr. Stefan Krämer	Bayer
Dr. Albert Tulke	Bayer
Christine Oro Saavedra	NAMUR e.V.
Ronny Becker	Bilfinger
Dr. Alexander Plum	Covestro
Dr.-Ing. Eckhard Roos	E2AB-Roos
Ralf Küper-Rampp	Emerson Automation Solutions
Hans Joachim Fröhlich	Endress + Hauser
Michael Pelz	Heubach
Tobias Schenk	Knick
Ralf Haut	KROHNE Messtechnik
Dr. Udo Enste	LeiKon
Dr. Andreas Bamberg	Merck
Dr. Gunther Kegel	Pepperl + Fuchs
Wilfried Grote	Phoenix Contact
Guido König	SAMSON
Stephan Weidenfeller	Schneider Electric
Anna Menschner	Semodia
Dr. Daniel Labisch	Siemens
Dr. Thomas Tauchnitz	TAUTOMATION.consulting
Dr. Andreas Schüller	Yncoris
Christian Eckert	ZVEI
Dr. Stefan Schork	ZVEI
Felix Seibl	ZVEI



Kontakt

Felix Seibl • Geschäftsführer Fachverband • Fachbereich Messtechnik und Prozessautomatisierung
Tel.: +4969 6302 451 • Mobil: +49162 2664 931 • E-Mail: Felix.Seibl@zvei.org

Impressum

ZVEI e. V. • Verband der Elektro- und Digitalindustrie • Lyoner Straße 9 • 60528 Frankfurt am Main
Lobbyregisternr.: R002101 • EU Transparenzregister ID: 94770746469-09 • www.zvei.org

November 2023

Broschüre zum
Download:

