

Projektentwicklung nach dem V-Modell

Stabile Entwicklungsprozesse durch die Kombination von Meilensteinen und kontinuierlicher Verifikation

Prozess-Sensoren für die Prozessautomatisierung sind komplexe mechanische Systeme, die im Lebenszyklus viele besondere Anforderungen zu erfüllen haben. Um diese bei der Produktentwicklung effizient, wirksam und nachhaltig zu erfüllen, ist ein entsprechendes Vorgehen geboten. Als optimal hat sich dabei das V-Modell mit integrierten Elementen des klassischen Phasenmodells herausgestellt.

Von Dr. Ulrich Kaiser

Um die besonderen Anforderungen der Prozessautomatisierung [1] gegenüber der Fertigungsautomatisierung deutlich zu machen, lässt sich die formale Definition der DIN 66201 heranziehen, die einen Prozess wie folgt definiert: „Ein Prozess ist eine Gesamtheit von aufeinander einwirkenden Vorgängen in einem System, durch die Materie, Energie oder Information umgeformt oder gespeichert werden. Ein technischer Prozess ist ein Prozess, dessen physikalische Größen mit technischen Mitteln erfasst und beeinflusst werden.“

Zur Erfassung dieser physikalischen Größen, zu denen in diesem Kontext auch chemische Größen gehören, dienen Prozess-Sensoren. Typische Pro-

zesse, in denen Prozess-Sensoren eingesetzt werden, sind Prozesse der chemischen Verfahrenstechnik, Prozesse der Nahrungsmittel-Produktion (z.B. Bier brauen), aber auch der thermischen Energieerzeugung in Kraftwerken. Die heute zumeist eingesetzten Sensoren in der Prozessautomatisierung messen die „einfachen“ Messgrößen Temperatur, Druck, Füllstand und Durchfluss. Dabei übersetzt das eigentliche Sensor-Element die gemessene Wunsch-Messgröße mit verschiedensten Wirkprinzipien in eine elektrische Größe, die von einem Vorverstärkermodul in eine digitale elektrische Größe umgesetzt und dann in der Verarbeitungseinheit auf die normativen Anforderungen des übergeordneten Steuerungssystem angepasst wird.

Einige der besonderen technischen Anforderungen an Prozess-Sensoren lauten:

► Extrem hohe Betriebslebensdauer: Einsatzdauern von bis zu 20 Jahren sind typisch – und möglichst ohne jede Unterbrechung. Zum Vergleich: Die typische Betriebsdauer eines Automobils beträgt 3000 Stunden, das sind gerade mal vier Monate. Oder umgekehrt: Der Servicebedarf eines Automobils (alle 20 000 km) würde für Prozess-Sensoren eine Wartung im 2-Wochen-Turnus bedeuten.

► Prozess-Sensoren erfordern Elektronik und elektrische Anschlusstechnik

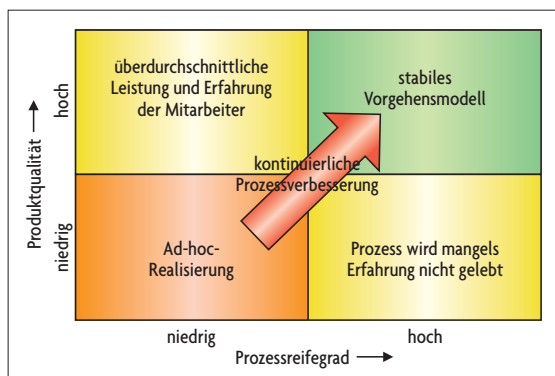
in explosionsgeschützter Ausführung.

► Die in der Prozesstechnik immer noch vorherrschende Zweileiter-Anschlussstechnik begrenzt die maximale Versorgungsleistung für Prozess-Sensoren auf 40 bis 50 mW.

■ Vorgehensmodell für die Produktentwicklung

Über eine Auswertung zahlreicher Projekte in unterschiedlichen Branchen wurden in einer Studie [2] die kritischen Erfolgsfaktoren bei der Entwicklung von neuen Produkten ermittelt. Es stellte sich dabei heraus, dass neben anderen Einflussfaktoren die stringente Nutzung eines Vorgehensmodells entscheidend für den Erfolg ist. Die Projekte, welche nicht oder weniger nach einem Modell abgewickelt wurden, waren statistisch signifikant weniger erfolgreich als solche, die in ihrem Ablauf sauber einem Modell folgten. Es ist hier wichtig zu wissen, dass in dieser Studie der Erfolg im Markt und nicht nur der Erfolg im Projekt bewertet wurde. Gute Produktqualität kann bei günstigen Umständen, wie z.B. einer erfahrenen und exzellenten Entwicklungsmannschaft, auch ohne ein Vorgehensmodell erreicht werden. Auf der anderen Seite bringt ein exzellentes Modell, welches nicht gelebt wird, natürlich auch keinen Nutzen (Bild 1). Nur ein stabiles und wirklich gelebtes Vorgehensmodell liefert eine gute Produktqualität bei hohem Prozessreifeegrad.

Dabei geht es beim Prozessreifeegrad genauer um Prozessbeherrschung und um Prozessfähigkeit. Liefert meine Produktentwicklung ein vorhersehbares Ergebnis – im Sinne von Entwicklungszeiten, Budgetbedarf und Produktionskosten, aber natürlich auch Funktion und Qualität des Produktes? Wenn ja, so ist der Prozess beherrscht. Aber bestehen diese Ergebnisse auch die Anforderungen des Wettbewerbs?



! Bild 1. Unterschiedliche Entwicklungsstrategien lassen sich in einem Portfolio-Diagramm mit den Achsen Produktqualität und Prozessreifeegrad nach ihrem Reifeegrad klassifizieren.

Wenn der Markt alle Jahre ein neues Produkt verlangt, der Prozess aber für jede Produktentwicklung drei Jahre benötigt, so mag dieser Prozess wohl beherrscht sein, er ist aber nicht fähig.

Das Vorgehensmodell ist notwendig für eine kontinuierliche Verbesserung des Prozesses. Es bildet das Medium für die Umsetzung von Erfahrungen und im Prozess neu erworbenem Wissen. Nur auf der Basis eines dokumentierten gelebten Prozesses können Abweichungen kontinuierlich gemessen und bewertet und daraus laufend Verbesserungen abgeleitet werden. Eine Beispiel für ein Vorgehensmodell ist in **Bild 2** skizziert; dieses wurde früher bei Endress+Hauser eingesetzt. Es teilt den Produktentwicklungsprozess auf in sechs Phasen mit anschließenden Meilensteinen. Das Prozesswissen ist in Checklisten und Arbeitsanweisungen dokumentiert, die den Meilensteinen zugeordnet sind.

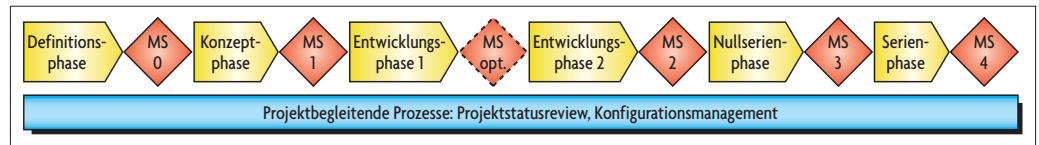


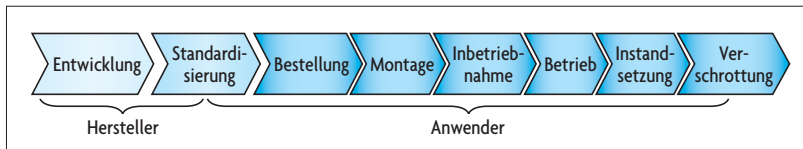
Bild 2. Meilensteine unterteilen im Phasenmodell in der Produktentwicklung die einzelnen Prozessschritte. Das Prozesswissen ist in Checklisten und Arbeitsabweisungen dokumentiert, die den Meilensteinen zugeordnet sind.

■ „Viele Prozess-Sensoren erfüllen ihre eigenen Spezifikationen nicht“

Diese Klage kommt von den anspruchsvollsten Anwendern von Prozess-Sensoren, nämlich aus der verfahrenstechnischen chemischen Industrie. Bei den für sie bestimmten Produkten sind wohl deren Anforderungen berücksichtigt und umgesetzt worden. Ihre nachhaltige Wirksamkeit konnte aber nicht sichergestellt werden, was dann erst beim Anwender zu Tage trat. Die berechtigten Forderungen der Anwender lassen sich leicht auf einen Nenner bringen: „Konsequente Umsetzung der Anwenderan-

forderungen unter Verwendung möglichst vieler offener Standards!“

Für die Anwender sind reduzierte Lebenszykluskosten und damit Sicherung der Investition von hohem Nutzen. Wie der Lebenszyklus eines Prozess-Sensors aus Anwendersicht strukturiert ist, zeigt **Bild 3**. Neben der oben schon erwähnten langen Betriebsdauer von 20 Jahren und einem möglichst geringen Wartungsbedarf kommen viele zusätzliche Anforderungen allein aus dem Lebenszyklus. In der Phase der Standardisierung beim Anwender hat jener Anbieter die Nase vorn, der die Anwenderspezifikationen anbietet und auch erfüllen kann. Ebenso ist es von Vorteil, wenn eine Bauart eines



I Bild 3. Bei Betriebsdauern von 20 Jahren und mehr eines Prozess-Sensors in der verfahrenstechnischen Industrie unterliegt in dessen Lebenszyklus nur ein kleiner Bereich dem unmittelbaren Einfluss des Herstellers.

Prozess-Sensors möglichst viele Applikationen des Anwenders abdecken kann. Für „Montage und Inbetriebnahme“ braucht es Einfachheit und allenfalls standardisierte Werkzeuge. In der Phase „Betrieb“ sollten die Herstellerspezifikationen immer gelten. „Instandsetzung“ sollte am besten gar nicht nötig sein – wenn doch, dann sollte sie mit möglichst wenigen Ersatzteilen ausgeführt werden können.

In den letzten Jahren hat sich die Tendenz verstärkt, bei sicherheitskritischen Anwendungen sich stärker auf den Prozess-Sensor abzustützen. Das bedeutet, der Prozess-Sensor muss selber die Anforderungen der IEC 61508 „Funktionale Sicherheit sicherheitsbezogener elektrischer/elektronischer/programmierbar elektronischer Systeme“ erreichen. Neben den rein funktionellen Anforderungen erfordert eine Zulassung nach dieser Norm auch die Dokumentation eines entsprechenden Vorgehens bei der Entwicklung des Produkts.

Welchen Normen und Standards ein Prozess-Sensor unterworfen sein

kann, zeigt sich an einem eichfähigen Massedurchflussmessgerät: Insgesamt 184 Normen aus 18 Kategorien muss etwa der PROmass 84 von Endress+Hauser erfüllen [3]. Diese Normen kommen aus sehr unterschiedlichen Kategorien wie Werkstoffnormen, Druck- und Behälternormen, Normen zum Explosionsschutz, Normen zu Fügeverfahren wie Schweißen, Hygienennormen für die Lebensmittel- und Pharma-Industrie und viele andere. Alle diese Normen und Standards müssen interpretiert, für das zu entwickelnde Produkt spezifiziert, konstruiert oder bei der Konstruktion implementiert und am Ende auch überprüft und dokumentiert werden. Dabei sollten Interpretation und Spezifikation so früh wie möglich im Entwicklungsprozess erfolgen.

Wenn erst kurz vor und gar während der Einführung eines neuen Produktes eine neue Anforderung wie z.B. eine neue Drucknorm bekannt wird, gibt es zwei Möglichkeiten: Entweder die Konstruktion trägt diese Anforderung oder man muss wieder weit vorne anfangen, was meistens einem Total Schaden des Projekts gleichkommt. Es kann nicht oft genug betont werden, wie wichtig es ist, dass alle Anforderungen sowie deren funktionale Spezifikationen so früh wie möglich im Prozess der Produktentwicklung bekannt sind. Die Bezeichnung hierfür lautet „Frontloading“.

„Was schief gehen kann, das geht auch schief.“ Dieser, als Murphy’s Gesetz bekannte Erfahrungssatz bestätigt sich in Produktentwicklungsprojekten immer wieder. Risiken gehören einfach dazu, sie lassen sich nicht grundsätzlich vermeiden. Die Vorgehensweise des „Hoffens und Betens“ gehört nicht zu den ingenieurmäßigen Methoden, sie hat den Nachweis ihrer Wirksamkeit nicht erbringen können. Stattdessen ist professionelles „Risikomanagement“ das besse-

re Vorgehen, indem mögliche Risiken bewertet, nach ihrer Schadenstärke und Dringlichkeit sortiert und entsprechende Maßnahmen vorgesehen werden. Zum Thema Risikomanagement in Produktentwicklungsprojekten ist die Lektüre des Buchs von Tom de Marco [4] zu empfehlen.

Wie lässt sich nun mit einem Vorgehensmodell sicherstellen, dass eine Vielzahl von funktionalen und normativen Anforderungen erfüllt wird, diese Anforderungen auch verifiziert und validiert werden, die für die Zulassungen geforderte Dokumentation aus dem Prozess heraus erstellt werden kann (IEC 61508), ausreichend Frontloading zur Vermeidung von späteren Schleifen getrieben wird und Risiken professionell behandelt werden? Die Antwort darauf liefert die Produktentwicklung nach dem V-Modell.

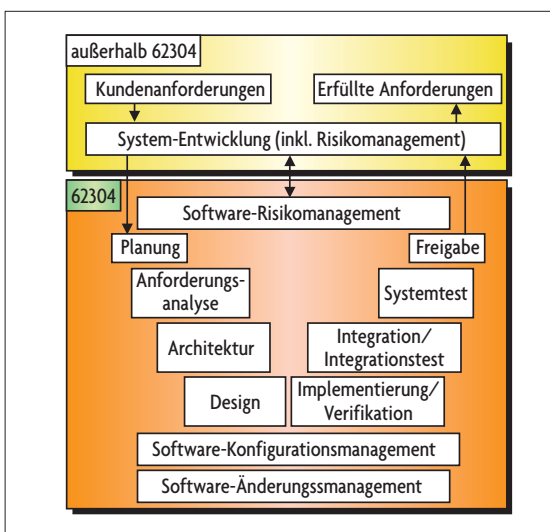
Das V-Modell

Das V-Modell ist eine abstrakte, umfassende, ursprünglich aus der Software-Entwicklung kommende Projektmanagementmethode für Entwicklungsprojekte. Der Begriff resultiert einerseits aus dem ersten Buchstaben des Vorgehensmodells und andererseits aus der V-förmigen Darstellung der Projektelemente aus Spezifikation und Zerlegung (im absteigenden Ast) sowie Realisierung, Integration und Test im aufsteigenden Ast (Bild 4).

Seinen Ursprung hat das V-Modell im Militärbereich; es ist aber inzwischen auch in allen Bereichen der Produktentwicklung verbreitet. Wie Bild 4 zeigt, steht einer Definition stets der entsprechende Test gegenüber. Dem Test, also der Verifikation und der Validierung, ist in diesem Modell besondere Aufmerksamkeit gewidmet. Das war für Endress+Hauser der Grund, dieses Modell in das Vorgehensmodell für Produktentwicklung einzubeziehen.

Das V-Modell in der Sensor-Entwicklung

Anders als im klassischen Phasenmodell werden im V-Modell Aktivitäten und Ergebnisse definiert, eine strikte zeitliche Abfolge wird nicht gefordert. Es fehlen dabei die typischen Abnah-



I Bild 4. Das V-Modell beschreibt die Aktivitäten, Ergebnisse und Dokumente, die während eines Entwicklungsprojektes durchzuführen, zu erreichen und zu erstellen sind. Eine zeitliche Abfolge wird im Phasenmodell damit nicht vorgegeben.

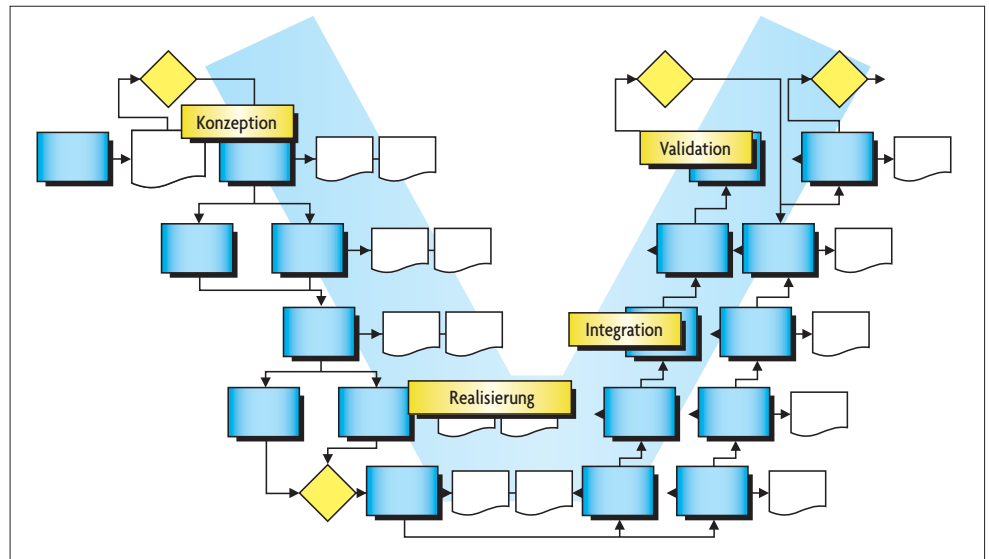
men bei den Meilensteinen am jeweiligen Ende einer Phase. Bei Endress+Hauser wurde daher das V-Modell mit dem praktizierten Phasenmodell kombiniert (**Bild 5**).

In die Reihung des V-Modells mit „Konzeption“, „Realisierung“, „Integration“ und „Validierung“ sind die Meilensteine des Phasenmodells eingehängt (gelbe Rauten). Das gesamte Layout des Modells ist in **Bild 6** wiedergegeben.

In diesem Layout sind auch die in den jeweiligen Phasen zu erstellen Dokumente eingetragen. So muss in der Definitionsphase nach MS0 nicht nur das Pflichtenheft, also die Funktionsspezifikation, sondern auch schon die zugehörige Testspezifikation für das Gesamtprodukt erstellt werden. Auf der diesem Schritt gegenüberliegenden Seite entsteht dann das Produkt mit dem zugehörigen Testprotokoll. Folgende Aufgaben sind in der Phase bis Meilenstein MS1 zu erledigen:

- ▶ Pflichtenheft für das Produkt erstellen,
- ▶ Testspezifikation/Testplan für das Produkt erstellen,
- ▶ Produktkonzept erstellen,
- ▶ Produktarchitektur erstellen,
- ▶ Komponentenspezifikation erstellen,
- ▶ Testspezifikation/Testplan für die Integration erstellen,
- ▶ Review der erstellten Dokumente durchführen,
- ▶ Produktkonzept verifizieren,
- ▶ MS1-Review durchführen.

Als Hilfestellung dienen Dokumentenvorlagen und Checklisten wie das



Pflichtenheft, die Testspezifikation samt Testplan und FME(D)A, die Konzepte für Sicherheit, Ex-Schutz etc., die Produkt- bzw. Komponenten-Architektur sowie die MS1-Checkliste. Die wichtigsten Aufgaben für die Entwicklungsabteilung sind in dieser Phase die Erarbeitung von Produktkonzept und Risikoanalyse sowie die Durchführung des MS1-Reviews. Das Produktmanagement wiederum muss das Konzept mit den Kunden abstimmen und die Aktivitäten der Markteinführung (Launch) vorbereiten. Darüber hinaus müssen in dieser Phase die Produktdokumentation und die Informationen für Wartung und Service erstellt werden.

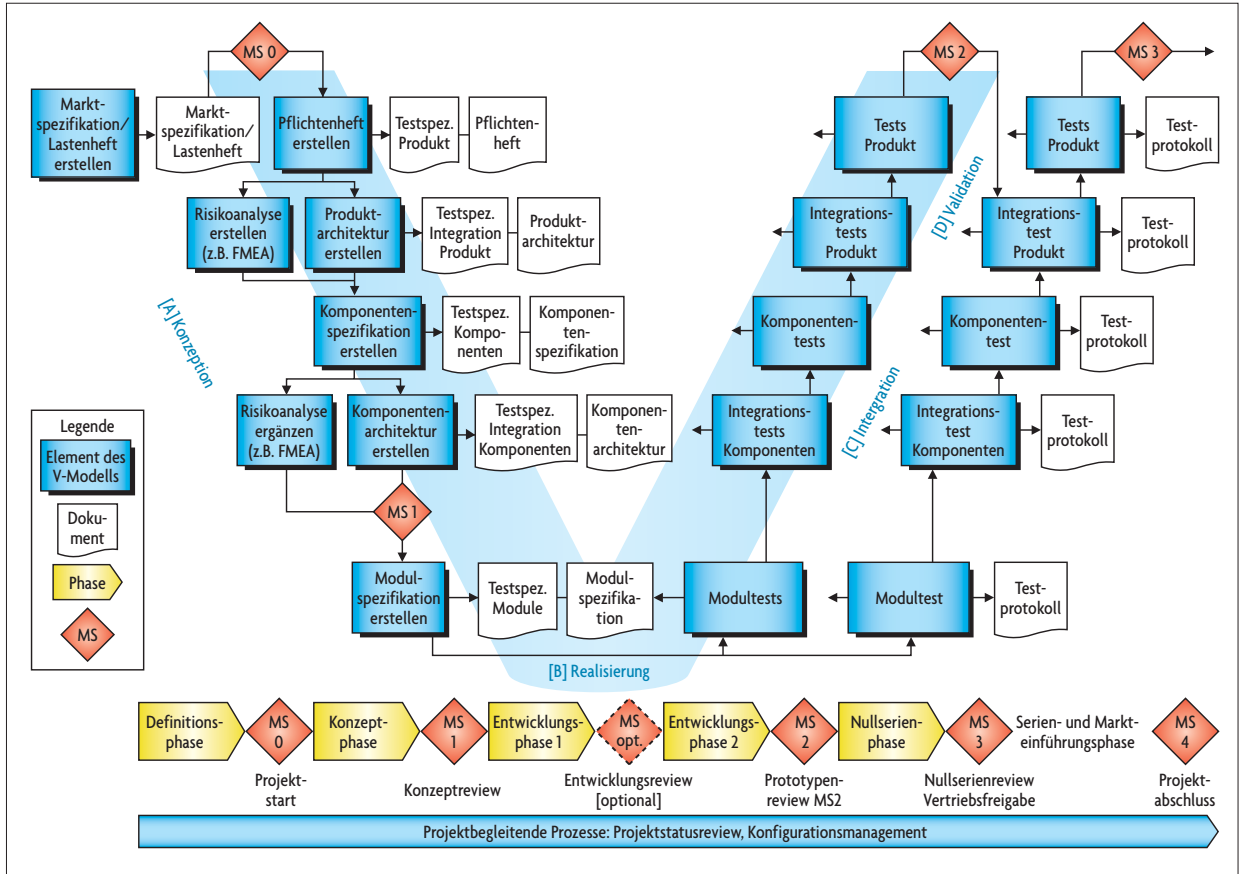
Die Checkliste für diesen Meilenstein MS1 umfasst 64 Punkte. Durch solche umfassenden Checklisten gerade in dieser Phase wird dem „Front-

loading“ Rechnung getragen. Die Checklisten nebst den Vorlagen sind ein wichtiges Element, den Produktentwicklungsprozess beherrschbar zu machen und zu halten. Ebenso dienen sie dazu, Erfahrungen aus absolvierten Projekten für die nächsten Projekte zu dokumentieren und damit nutzbar zu machen.

Parallel zu der Abarbeitung des Modells betreibt der Projektleiter die projektbegleitenden Prozesse. Diese sind Projektstatus-Review, Risikomanagement sowie Konfigurations- und Modifikationsmanagement. Letzteres besteht darin, die Versionsstände aller Komponenten nebst Dokumentation stets konsistent zu halten sowie für Änderungen an diesen einen Freigabeprozess zu betreiben. Dazu gehört die Beantwortung von Fragen wie: Welche Auswirkung hat eine Änderung

I Bild 5. Beim Endress+Hauser-V-Modell wurden die aus dem Phasenmodell stammenden Prozessabschnitte in die V-Struktur „eingeklinkt“.

! Bild 6. Das vollständige Endress+Hauser-V-Modell.



der Spezifikation X auf die Testspezifikation der Komponente Y? Oder: Welche Auswirkung hat eine Änderung an der Komponente X auf die Erfüllung der Anforderung Y?

Beim „Risikomanagement“ wird der Projektleiter bei jedem Meilenstein per Checkliste verpflichtet, seine Risikoanalyse zu aktualisieren und die zugehörigen Maßnahmen zu verfolgen. Das Projektstatus-Review ist eine regelmäßige Sitzung des Lenkungs-kreises; dort stehen die Projektleiter Rede und Antwort. Der Lenkungs-kreis setzt sich aus den Management-Teams der jeweiligen Einheiten zusammen. Er gibt Meilensteine frei und überwacht die Konformität des Ablaufs der Projekte nach dem Vorgehensmodell.

■ Erfahrungen mit dem V-Modell

Das Endress+Hauser-Vorgehensmodell wurde auf Basis des bestehenden Phasen-Modells in einem gemeinsamen Projekt aller Entwicklungsbereiche erarbeitet und ist seit Ende 2006 als Standardprozess verbindlich. Seitdem arbeiten mehrere hundert Ent-

wickler, Produktmanager und Ingenieure aus dem Bereich Industrial Engineering mit diesem Modell. Es sind bereits mehrere Projekte komplett mit diesem Modell realisiert worden, die berichteten Erfahrungen sind in den meisten Fällen positiv. Einige Kritiker bemängeln den hohen Aufwand vor der eigentlichen Konstruktion und Entwicklung. Aber genau das ist der Tribut an das „Frontloading“, das sich später um so wirksamer auszahlen wird. Positiv werden die vielen Vorlagen bewertet und der jeweilige Zwang zur vollständigen Ausfertigung der Anforderungs-, Funktions- und Testspezifikation, was wiederum dem Endergebnis zugute kommt. *jw*

Literatur

- [1] Früh, K.-F. (Hrsg.); Maier, U. (Hrsg.), Schaudel, D. (Hrsg.): *Handbuch der Prozessautomatisierung: Prozessleittechnik für verfahrenstechnische Anlagen. 4. Auflage, Oldenbourg Industrieverlag, Dezember 2008.*
- [2] Kleinschmidt, E.J.; Geschka, H.; Cooper, R.G.: *Erfolgsfaktor Markt (Kundenorientierte Produktinnovation). Springer, Berlin 1996.*

- [3] Schaudel, D.: *Normung und DIN: Nutzen für KMUs!?. DIN-Mitteilungen 5-2008.*
- [4] deMarco, T.: *Bärentango: Mit Risikomanagement Projekte zum Erfolg führen. Hanser-Fachbuch, März 2003.*



Dr. Ulrich Kaiser

ist studierter Physiker mit Schwerpunkt Festkörper-Analysetechnik. Er ist seit 1985 berufstätig im Innovationsprozess mit Schwerpunkt Mess- und Analysetechnik und hat mehr als 15 Jahre Erfahrung als Entwicklungsleiter in verschiedenen Unternehmen. Seit 2000 ist er bei Endress+Hauser tätig, zunächst als Entwicklungsleiter für Durchfluss-Sensoren, seit 2003 als Director Technology in der Konzernholding mit der Zuständigkeit für Technologieprozesse, Innovation und Konzernplattformen.
ulrich.kaiser@holding.endress.com