

WAS IST REIFEGRAD?

Marco Müller, Thomas Bär, Christian Weber

Zusammenfassung

Trotz vielfältiger Anstrengungen sind zuverlässige und objektive Statusaussagen eines komplexen Entwicklungsprojektes, etwa die Entwicklung einer Baureihe in der Automobilindustrie, schwierig. Eine bedeutende Rolle spielen in diesem Zusammenhang verschiedene Absicherungsaktivitäten des Entwicklungsstandes. Je nach Entwicklungszeitpunkt werden mit unterschiedlichen Methoden Absicherungsmaßnahmen durchgeführt. Dabei lassen sich allgemein Hardware- und digitale Methoden unterscheiden. Die Ergebnisse liefern die Entscheidungsgrundlage bezüglich des weiteren Vorgehens, stoßen etwa Folgeprozesse oder Iterationsschleifen an. Dabei stehen besonders die Wertigkeit einer Absicherungsaussage bezogen auf die angestrebte Serienprozessstauglichkeit und die Integration von digitalen Absicherungsmethoden in bestehende Systeminfrastrukturen im Mittelpunkt.

Neben einer Klassifikation verschiedener Reifegrade ist die Modellierung der Problemstellung auf Basis des Ansatzes „Property-Driven Development“ [1] die Grundlage dieses Beitrags. Als Praxisreferenz dienen Erkenntnisse aus den Bereichen Prototypmontage und Montageplanung der DaimlerChrysler AG.

1 Motivation

Basierend auf einer Klassifizierung des Begriffs „Reifegrad“, zeigt dieser Beitrag auf, wie einzelne Absicherungsergebnisse zu interpretieren sind, um auf den Reifegrad eines Produktes entlang des Produktentstehungsprozesses schließen zu können. Diese Überlegungen bilden die Grundlage für die Entwicklung einer Metrik, die, adaptierbar auf den jeweils vorliegenden Entwicklungszeitpunkt, eine möglichst objektive Bewertung der Güte eines Entwicklungsstandes erlaubt. Damit wird mehr Entscheidungstransparenz geschaffen, und ein Grundstein für eine Restrukturierung bisheriger Entwicklungsprozesse kann gelegt werden. Ziel ist die Definition einer auf optimalen Reifegradzuwachs ausgelegten Absicherungsstrategie. Diese kann auch als Grundlage zur Spezifikation einer zukünftigen CAx/EDM-Infrastruktur herangezogen werden, die besonders auf eine Unterstützung von digitalen Absicherungsaufgaben ausgerichtet ist.

2 Zusammenhang zwischen Absicherung und Reifegrad

Der Begriff „Reifegrad“ wird in der Praxis häufig für eine Einschätzung der verwendungsbezogenen Güte eines Produktes genutzt. Er dient damit etwa zur Steuerung und eines Entwicklungsprozesses und zur Kontrolle des Entwicklungsfortschritts. Um die technische Grundlage dieses Begriffes aufzuzeigen, wird zunächst die Korrelation von Absicherungsaktivitäten und der Reifegradentwicklung dargestellt. Dies wird ergänzt durch praktische Aspekte in der Montageprozesskette der DaimlerChrysler AG.

Der vollständige Verzicht auf sehr aufwändig und teuer herzustellende physikalische Prototypen in der Automobilindustrie ist noch immer nicht Realität. Mit diesem Ziel nimmt

heute und in Zukunft die Bedeutung der digitalen Produkt- und Produktionsabsicherung weiterhin zu. Angestrebt werden Statusaussagen zur Güte eines aktuellen Entwicklungsstandes. Dies wirft die Frage auf, inwieweit Zeitpunkt, Umfang und Methodik digitaler Absicherungen im Zusammenspiel mit Hardware-Absicherungen gestaltet sein müssen, um stichhaltige Reifegradaussagen zu erlangen.

Allgemein ist der Zusammenhang von Reifegradentwicklung und Absicherungsaktivitäten in Bild 1 beschrieben. Für eine Bestimmung des Reifegrades sind allgemein zwei Eingangsgrößen relevant. Zum Einen sind das zu bestimmten Entwicklungszeitpunkten vorgegebene und damit zeitdiskrete Soll-Reifegrade, die auch als Quality Gates bezeichnet werden. Obwohl nur zeitdiskrete Soll-Reifegrade vorgegeben werden, wird häufig ein idealisierter Reifegradverlauf angenommen, der eine logarithmische Grundform hat. Dieser ist in Bild 1a) gestrichelt dargestellt. Es sei angenommen, dass der reale Verlauf des Entwicklungsfortschritts in Bild 1b) dieselbe, in diesem Beispiel logarithmische Grundform habe. Im Gegensatz zum idealisierten Verlauf gibt es im realen Produktentstehungsprozess aber Schwankungen.

Erst die Absicherung erlaubt den Vergleich zwischen vorgegebenem Soll-Reifegrad und realisiertem Ist-Reifegrad und liefert so die Entscheidungsgrundlage für das weitere Vorgehen im Produktentstehungsprozess.

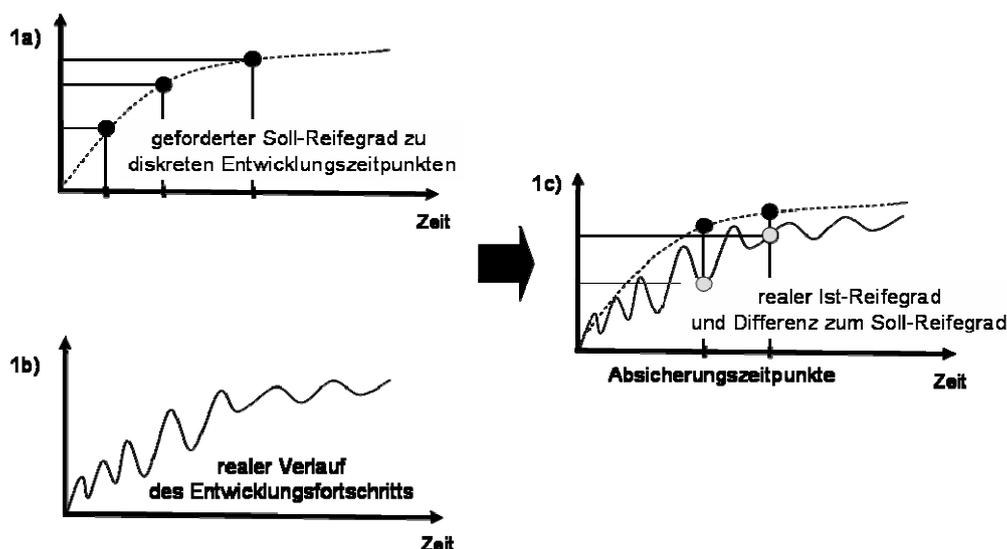


Bild 1: Zusammenhang zwischen Soll-Reifegrad, Entwicklungsverlauf und Ist-Reifegrad

3 Klassifizierung von Beitragsleistern zur Reifegradbestimmung

In Kapitel 2 wurde der Zusammenhang zwischen Absicherung und Reifegrad aufgezeigt. Daher besteht die Möglichkeit, ausgehend von den im Entwicklungsprozess eingesetzten Absicherungstechnologien Beitragsleister zur Reifegradbestimmung zu identifizieren und eine Klassifizierung vorzunehmen. Die Zusammenhänge der einzelnen Beitragsleister werden dann in einer Reifegradlandkarte zusammengefasst.

3.1 Methoden der Absicherung

Aufgrund der hohen Kosten beim Entdecken von Fehlern in Hardware und entsprechend aufwändiger Änderungen und den vergleichsweise geringen Kosten beim Entdecken und Beheben von digitalen Fehlern, stellen der Übergänge von der digitalen in die reale Welt kritische Phase im Produktentstehungsprozess dar. Diese Erkenntnis liefert einen ersten

Anhaltspunkt zur Untergliederung der Absicherungstechnologien in digitale und Hardware-Methoden.

3.1.1 Methoden der digitalen Absicherung

Entlang der Montageprozesskette sind folgende Werkzeuge der digitalen Absicherung von Bedeutung:

- CAx-Anwendungen wie FEM-Simulation, Digital Mock Up, Toleranzsimulation, u.a;
- Virtual Reality- bzw. Augmented-Reality-Anwendungen, beispielsweise für Zugänglichkeitsanalysen oder ergonomische Absicherungen;
- Methoden der Digitalen Fabrik, dies sind unter anderem Methoden der digitalen Produktionsplanung und -absicherung.

3.1.2 Methoden der Hardware-Absicherung

Die Werkzeuge der Hardware-Absicherung unterscheiden sich je nach Entwicklungszeitpunkt sowohl im Aufbauumfang als auch hinsichtlich der Seriennähe der eingesetzten Fertigungsverfahren und Materialien. Die Absicherung selbst geschieht durch den problemlosen Zusammenbau des betrachteten Umfangs, bzw. durch anschließendes Messen und Lehren. Entlang der Montageprozesskette sind unter anderem folgende Methoden relevant:

- Teilaufbauten bilden nur einen Teil eines Prototypen ab, etwa der Vorbau einer Rohkarosserie;
- Funktionscubings; dies sind sehr genau gefertigte Modelle, die im Sinne von Lehren verwendet werden;
- CFK-Attrappen (CFK – Carbonfaser-verstärkter Kunststoff) sind Teilaufbauten oder ganze Rohkarosserien, die im Sinne von Rapid-Prototyping sehr früh Hardware-Aussagen zulassen;
- Vollständige Prototypen, so genannte Entwicklungsfahrzeuge (E-Fahrzeuge); Dies sind vollständige Fahrzeuge, die in einer Werkstattfertigung aufgebaut werden;
- Null-Serien- und Produktionstest-Fahrzeuge, die vor Serienanlauf auf immer seriennäheren Produktionssystemen gebaut werden.

3.2 Reifegradklassifikation und Reifegradlandkarte

Ausgehend von den verschiedenen Absicherungsmethoden, die zur Reifegradbestimmung eingesetzt werden, lassen sich nun Reifegradklassen zusammenfassen.

3.2.1 Digitaler Reifegrad und Hardware-Reifegrad

In 3.1 wurden eine Vielzahl von Werkzeugen genannt, um sowohl die Funktion als auch die Produktionseignung eines Produktes zu überprüfen. Analog zu den Absicherungstechnologien bietet sich auch hier eine erste Unterscheidung von digitalem und Hardware-Reifegrad an. Zusätzlich ist eine Erweiterung der bisherigen Betrachtungen notwendig. Da der Reifegrad in Kapitel 2 als verwendungsbezogene Güte eines Produktes

beschrieben wird, ist zu berücksichtigen, inwieweit dieser Verwendungsbezug gegeben ist und überprüft werden kann.

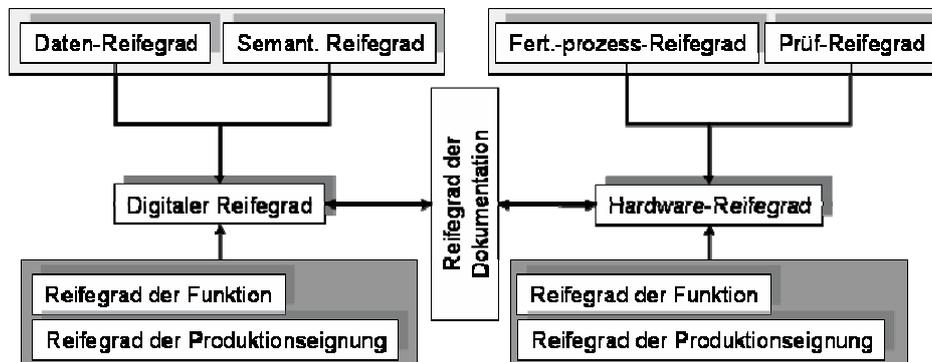


Bild 2: Reifegradlandkarte, klassifiziert nach Absicherungstechnologien

3.2.2 Reifegrad der Funktion und Reifegrad der Produktionseignung

Neben funktionalen Aspekten ist für den Produktentwickler eine weitere Gruppe von Eigenschaften entscheidend. Unter wirtschaftlichen Gesichtspunkten sind dies alle Eigenschaften, die eine Fertigung unter den Randbedingungen Kosten, Qualität und Zeit beeinflussen. Die Erfüllung dieser Eigenschaften soll unter einem Reifegrad der Produktionseignung zusammenfasst werden. Somit werden der Reifegrad der Funktion und der Reifegrad der Produktionseignung unterschieden.

Entlang der Montageprozesskette sind insbesondere die Schnittstelle zwischen der Entwicklung und Planung und der Übergang von der digitalen zur realen Welt zu beachten. Der Entwicklungsfokus wechselt hier von einer überwiegend funktions- auf eine zunehmend fertigungsorientierte Sicht, gleichzeitig stellt der Übergang von digitaler in die reale Welt eine kritische Grenze dar.

3.2.3 Semantischer Reifegrad und Daten-Reifegrad

Alle digitalen Methoden arbeiten mit Modellen. Modelle sind immer eine vereinfachte, auf eine Problemstellung begrenzte Abstraktion der Realität [2]. Daher ist es notwendig, den digitalen Reifegrad auch anhand der Realitätsnähe des Modells hinsichtlich des tatsächlichen Objektes zu beurteilen. Ein so definierter semantischer Reifegrad erlaubt es, beispielsweise für eine bestimmte Fragestellung eine geeignete Abstraktionstiefe festzulegen oder zu fordern. Praktisches Beispiel dieses etwas theoretischen Sachverhaltes ist das Verhalten von biegeschlaffen Bauteilen in CAD-Modellen. Der semantische Reifegrad eines solchen Modells, sein Bezug zum realen Verhalten eines biegeschlaffen Bauteils, ist in der Regel sehr gering, da biegeschlaffe Teile vielfach als starre Körper modelliert werden.

Zusätzlich ist bei der Bewertung eines digitalen Reifegrades die syntaktische Fehlerfreiheit eines digitalen Modells zu beachten. Diese kann in einem Daten-Reifegrad abgebildet werden.

3.2.4 Fertigungsprozess- und Prüf-Reifegrad

Auch bei der Erstellung eines Hardware-Reifegrades ist die verwendungsbezogene Güte zu ermitteln. Konkret ist hier zu beachten, inwieweit Fertigungs- und Prüfverfahren dem späteren Serienprozessstand entsprechen. Damit ist nicht die Prozesstauglichkeit eines

Fertigungsverfahren gemeint. Vielmehr sind der Fertigungsprozess- und der Prüf-Reifegrad ein Maß für die Übereinstimmung verschiedener Hardware-Aufbauphasen bezogen auf den angestrebten Serienprozess. Als kritisches Beispiel sei hier die Verwendung von Rapid-Prototyping-Technologien in frühen Phasen genannt. Wenn beispielsweise ein Toleranzkonzept für ein Rapid-Prototyping-Produkt seine Funktion erfüllt, ist trotz Hardware-Absicherung die Fehlerfreiheit für den späteren Serienprozess noch nicht abgesichert.

3.2.5 Bedeutung der Dokumentation

Erarbeitete Ergebnisse, die nicht geeignet dokumentiert sind, sind für Folgeprozesse unbrauchbar und tragen nicht zur Reifegradsteigerung bei. Daher ist die Leistungsfähigkeit von Dokumentationswerkzeugen besonders im Schnittstellenbereich zwischen Entwicklung und Planung wichtig. Dies wird schon sehr früh in [3] beschrieben, aktueller und mit näherem Praxisbezug in [4]. Beispiele hierfür seien EDM/PDM-Systeme oder Stücklistensysteme in der Entwicklung, Datenbanken für Planungsdaten oder Systeme zur Qualitätsdatenverwaltung in Produktionsbereiche aufgeführt.

Die Wichtigkeit der Dokumentation soll an einem Beispiel verdeutlicht werden: Falls dokumentierter Stand und vorliegender Hardwarestand nicht übereinstimmen, ist zunächst keine Absicherungsaussage möglich. Es ist unklar, ob der Fehler aufgrund eines fehlerhaft hergestellten oder eines fehlerhaft konstruierten Teiles zustande kommt, wenn der dokumentierte Stand unvollständig oder fehlerhaft ist. Unvollständige oder unkontrolliert redundante Daten oder veraltete Datenstände in verschiedenen Dokumentationssystemen führen dazu, dass der bindende Charakter der Dokumentation verloren geht.

4 Reifegrad in der Praxis

Wie in Kapitel 2 beschrieben, werden Entwicklungsprojekte in der Praxis häufig durch die Vorgabe von Soll-Reifegraden gesteuert und überwacht. Damit ist die Fortführung eines Entwicklungsprozesses an die Erreichung dieser Sollvorgaben gekoppelt. Um einen Entwicklungsstillstand zu vermeiden, kann dies unter Umständen zur Notwendigkeit führen, den Entwicklungsaufwand kurz vor der Absicherungsphase zu forcieren, um den geforderten Soll-Reifegrad zu erreichen. Dies ist in Bild 3a) dargestellt.

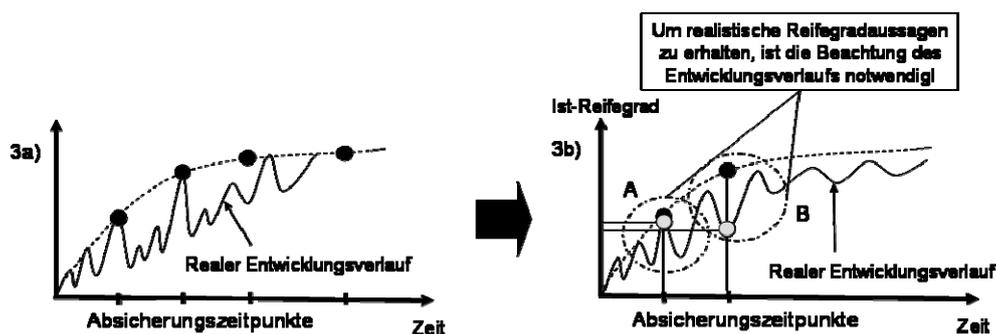


Bild 3: Reifegrad und Entwicklungsverlauf in der Praxis

Ein Vorteil dieser Vorgehensweise liegt zunächst darin, dass eine straffe zeitliche Kontrolle eines Entwicklungsprojekts gegeben ist. Dennoch entstehen Probleme:

Zunächst verlieren unter solchen Bedingungen zustande gekommene Reifegradbewertungen an Aussagekraft bezogen auf das Gesamtprojekt, weil sie nur Momentaufnahmen des Entwicklungsprozesses sind. In Bild 3b) sind zwei mögliche Extremsituationen dargestellt. In Szenario A stimmen Soll- und Ist-Reifegrad offenbar gut überein. Eine solche Situation

würde in der Praxis als unkritischer Projektstand eingestuft werden. Bezieht man jedoch den realen Entwicklungsverlauf in diese Momentaufnahme des Reifegrades mit ein, so ist deren Wertigkeit und Realitätsnähe fragwürdig. Szenario B beschreibt das andere Extrem, dort würde ohne Beachtung des Entwicklungsverlaufs ein extrem kritischer Projektstand ermittelt.

Natürlich ist es nicht möglich, den Entwicklungsverlauf nach einem Absicherungszeitpunkt sicher zu prognostizieren. In Kapitel 5.3 werden daher Faktoren eingefügt um dieses Verhalten abzubilden und so zu stichhaltigeren Reifegradaussagen zu gelangen. Die praktische Bedeutung dieser Erkenntnis wird vor allem dadurch klar, wenn man die Absicherungszeitpunkte gleichzeitig als Entscheidungszeitpunkte begreift. Für Szenario A könnte folgende praktische Situation eintreten:

Bei Erreichen eines digitalen Soll-Reifegrades wird eine Hardware-Absicherungsphase initiiert. Bis diese Ergebnisse vorliegen entsteht zunächst ein zeitlicher Versatz, der verursacht wird durch die Fertigung der Prototypenbauteile und Aufbau der Prototypen. Erst danach kann eine Absicherung durchgeführt werden und ein Reifegradstand ermittelt werden. Die Einschätzung der Wertigkeit dieses Reifegradstandes ist jedoch sehr schwierig. Zum einen ist unklar, welche Folgen durch den Übergang von der digitalen in die reale Welt für den Reifegrad entstehen. Zum anderen entspricht der abgesicherte Hardwarestand nicht dem aktuell gültigen Entwicklungsstand. Der Aufbau eventuell überholter Prototypen, die obendrein eine unklare Absicherungsaussage liefern, ist finanziell kaum zu rechtfertigen.

5 Reifegrad-sensitive Absicherungsstrategie

5.1 Herausforderungen

Anhand der Überlegungen von Kapitel 2 und 4 wurde gezeigt, dass neben dem Entwicklungsprozess auch die Wahl der geeigneten Absicherungsstrategie einen Beitrag zum optimierten Reifegradverlauf liefert. Insbesondere wurde auf die Wertigkeit einer Absicherungsaussage hingewiesen. Um zu einer Reifegrad-sensitiven, also auf einer auf optimierten Reifegradzuwachs ausgelegten, Absicherungsstrategie zu gelangen, wurden erste theoretische Überlegungen basierend auf dem Ansatz Property-driven Development (PDD) [1] geleistet. PDD erschien als besonders geeigneter Ansatz, da:

- das Konzept Reifegrad einfach zu modellieren ist;
- verschiedene Entwicklungsphasen durch entsprechende Zyklen abgebildet werden können;
- mit der Einführung des X-System die enge Korrelation von Produkt und Produktionssystem abgebildet werden kann.

5.2 Grundlagen von Property-driven Development

5.2.1 Basismodell von PDD

In PDD werden zur Beschreibung von Produkten die beiden Kategorien „Merkmale“ und „Eigenschaften“ („characteristics and properties“) unterschieden. Dabei beschreiben Merkmale die Struktur, die Gestalt und die Beschaffenheit von Produkten, wohingegen Eigenschaften das Verhalten eines Produktes beschreiben. Damit entsprechen Merkmale weitgehend dem, was in Hubka/Eder [5] „internal properties“ und in Suh [6] „design parameters“ genannt, die Eigenschaften sind entsprechend mit den „external properties“ bzw. „functional requirements“ verwandt. Als Beispiele lassen sich hier Qualität, Funktion

oder Ästhetik nennen. Dabei wird davon ausgegangen, dass im Zuge des klassischen Entwicklungsprozesses durch das Festlegen von Produktmerkmalen durch den Produktentwickler gewisse Produkteigenschaften erzeugt werden. Die auf diesem Weg realisierten Produkteigenschaften repräsentieren die so genannten Ist-Eigenschaften eines Produktes zu einem bestimmten Entwicklungszeitpunkt.

Um das Konzept „Design for X“ zu berücksichtigen, wurde in [1] das PDD-Grundmodell um das X-System erweitert. Dies erlaubt es für das Beispiel der Montageprozesskette, die Abhängigkeiten zwischen dem Entwicklungsprozess des Produktes (Automobil) mit der des X-Systems (Endmontagelinie), aufzuzeigen. Somit ist die Modellierung der in Absatz 4 beschriebenen Problemsituation möglich. In Bild 4 ist das PDD-Grundmodell abgebildet. Da für die folgenden Reifegradbetrachtungen zunächst nur das Grundmodell relevant ist, wurde auf die Erweiterung um das X-System aus Gründen der Übersichtlichkeit verzichtet. Es sei aber ausdrücklich drauf hingewiesen, dass nur mit einer Betrachtung des X-Systems die praktische Problemsituation vollständig abgebildet werden kann.

5.2.2 Reifegrad in PDD

Durch den iterativen Entwicklungsprozess werden die Produktmerkmale derart verändert, dass der Unterschied zwischen den Ist-Eigenschaften und den geforderten Soll-Eigenschaften am Ende des Entwicklungsprozesses minimiert ist. Die Unterscheidung zwischen den am Ende des Entwicklungsprozesses geforderten Soll-Eigenschaften und den zu einem bestimmten Entwicklungszeitpunkt vorliegenden Ist-Eigenschaften liefert einen ersten Anhaltspunkt für eine mögliche Definition des Begriffes Reifegrad.

Bezeichnet man die vollständige Erfüllung einer Soll-Eigenschaft als einen Reifegrad von 1 oder 100%, so lässt sich der zu einem Entwicklungszeitpunkt t vorliegende Reifegrad $R_j(t)$ der Eigenschaft j mathematisch wie folgt formulieren:

$$R_j(t) := 1 - (P_{j\text{soll}} - P_{j\text{ist}}(t)) \quad (1)$$

vereinfacht:
$$R_j(t) := 1 - \Delta P_j(t) \quad (2)$$

Dabei bezeichnet $P_{j\text{soll}}$ die Soll-Eigenschaften und $P_{j\text{ist}}(t)$ entsprechend die Ist-Eigenschaften der Eigenschaft j zu einem Entwicklungszeitpunkt t .

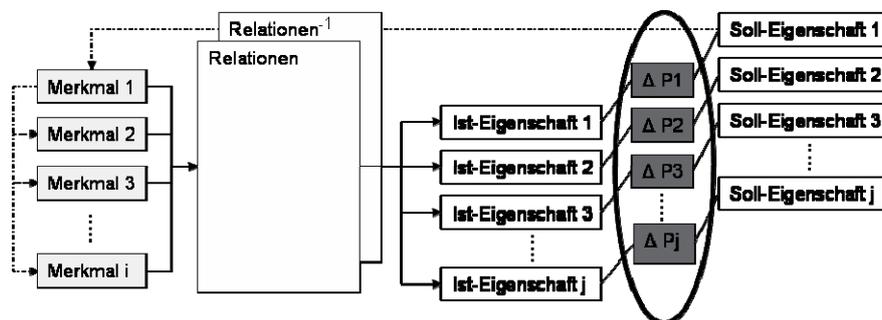


Bild 4: Zyklen im Entwicklungsprozess und Auswirkung auf das Reifegradverhalten

5.2.3 Gesamtreifegrad eines Systems zum Zeitpunkt t

Der Gesamtreifegrad eines Produktes $R_{ges}(t)$ mit zum Zeitpunkt t lässt sich gemäß (3) wie folgt formulieren:

$$R_{ges}(t) = \frac{1}{n} \cdot \sum_{j=1}^n R_j(t) \quad (3)$$

mit (1) ergibt sich:

$$R_{ges}(t) = \frac{1}{n} \cdot \sum_{j=1}^n (1 - (P_{j,soll} - P_{j,ist}(t))) \quad (4)$$

Dabei ist n die Anzahl der Eigenschaften und $R_i(t)$ der Reifegrad der Eigenschaft j zum Zeitpunkt t .

5.3 Entwicklungszyklen und Reifegrad in der Praxis

5.3.1 Entwicklungszyklen und Absicherung

Der Produktentstehungsprozess lässt sich in verschiedene Phasen gliedern. Diese können in PDD als Entwicklungszyklen abgebildet werden. In Bild 5 sind symbolisch zwei Entwicklungszyklen dargestellt. Dabei beschreibt Zyklus I eine erste wesentliche Absicherungsphase in der Automobilindustrie. Hier werden Strukturabsicherungsaussagen getroffen, etwa durch digitale Crashsimulationen oder Hardware-Versuche mit Strukturabsicherungsfahrzeugen (SAF). Zyklus II beschreibt entsprechend die folgende Phase, in der Entwicklungsfahrzeuge (E-Fahrzeuge) aufgebaut werden. Da es sich bei den Prototypen der E-Fahrzeugphase um vollständig auskonstruierte und aufgebaute Fahrzeuge handelt, auch was etwa Sonderausstattungen angeht, und eine beachtliche Anzahl für verschiedenste Hardwareabsicherungen (Fahrversuch, etc.) hergestellt werden, ist ein kritischer Zeitpunkt mit dem Wechsel von Zyklus I nach Zyklus II gegeben. Änderungen nach Zyklus II sind sehr kostenintensiv.

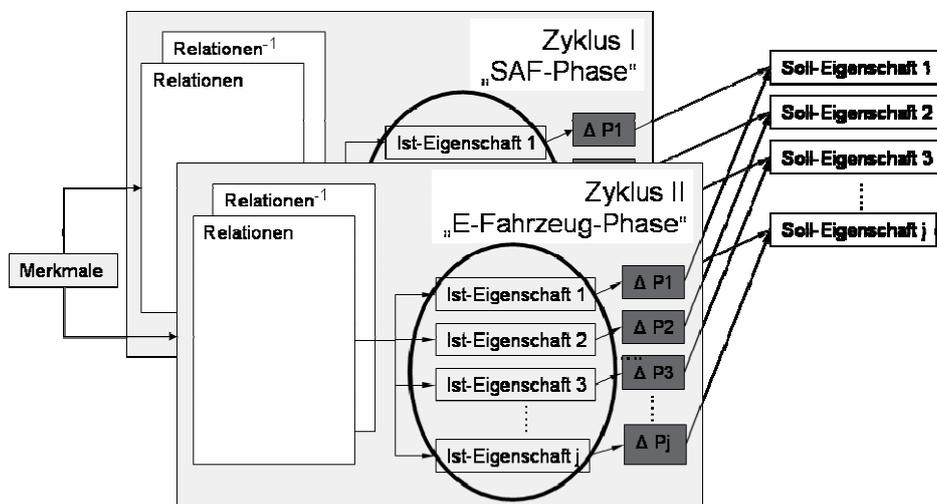


Bild 5: Zyklen im Entwicklungsprozess und Auswirkung auf das Reifegradverhalten

Die in 5.2.2 eingeführte Definition des Reifegrades als Differenz zwischen Soll- und Ist-Eigenschaften des Produktes lässt sich somit auch für jeden Zyklus angeben. Vor dem Hintergrund einer Reifegrad-sensitiven Absicherungsstrategie besteht die Herausforderung nun darin, Brüche im Entwicklungsverlauf einer Eigenschaft über mehrere Zyklen zu identifizieren und bei der Wahl der Absicherungsstrategie zu berücksichtigen.

In Bild 6 sind einige mögliche Konstellationen aufgezeigt. Ist-Eigenschaft 1 entwickelt sich kontinuierlich über alle Phasen hin zur Soll-Eigenschaft. Praktisches Beispiel kann etwa die geometrische Gestalt eines Teiles sein, das immer weiter ausdetailliert wird, und bei dem sich die angenommen Randbedingungen während des Entwicklungsprozesses nicht ändern.

Die Ist-Eigenschaften 2 und 3 haben jeweils Brüche in Ihren Entwicklungsverläufen. Diese können zwei unterschiedliche Ursachen haben. Zum einen kann eine veränderte Randbedingung, etwa durch das X-System, einen solchen Bruch verursachen. Zum anderen gibt es auch Eigenschaften, die in ihrem Entwicklungsprozess immer Brüche enthalten. Wird ein Teil in frühen Phasen mit Rapid Prototyping hergestellt, liegen in der Regel andere Werkstoffe und Verfahrenseigenschaften als im späteren Serienprozess vor. Dies gilt es bei der Absicherungsstrategie zu berücksichtigen. Auch die Berücksichtigung verschiedener Reiferadklassen ist denkbar, vielleicht sogar notwendig.

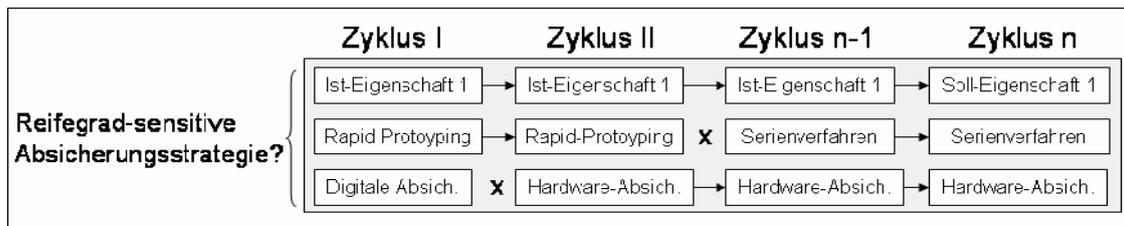


Bild 6: Brüche im Verhalten der Eigenschaften über verschiedene Zyklen hinweg müssen bei einer Reifegrad-sensitiven Absicherungsstrategie berücksichtigt werden

5.3.2 Erweiterungen der Reifegraddefinition

Um diese praktischen Erkenntnisse bei der Bestimmung eines Gesamtreifegrades nach (4) zu berücksichtigen und so zu einem größeren Praxisbezug zu gelangen, werden ausgehend von den in Kapitel 3.2 vorgestellten Überlegungen bezüglich Reifegradkategorien nun Unschärfefaktoren eingefügt. Ziel ist, sowohl die zeitliche Unschärfe als auch die Unzulänglichkeiten von Absicherungsmethoden abzubilden. Dies führt in einem ersten Ansatz zu folgender Erweiterung (5):

$$R_j(t) = a(t) \cdot \frac{1}{m} \cdot \sum_{i=1}^m (1 - \Delta P_{ji}(t)) \cdot \sigma_{ji}(t) \quad (5)$$

Dabei bezeichnet $a(t)$ einen Faktor, der die zeitliche Unsicherheit pauschal berücksichtigt, beispielsweise in Zyklus I $a(I) \approx 0,5$, in Zyklus II $a(II) \approx 0,7$ und so fort. In erster Näherung ist eine Zuweisung dieses Faktors ausgehend vom jeweils zu durchschreitenden Quality Gate denkbar. Der zweite Unschärfefaktor $\sigma_{ji}(t)$ ist eine statistische Größe. Sein Zweck ist die Abbildung der Robustheit eines Entwicklungsprozesses. Abhängig von den verschiedenen Reifegradklassifikationen und technischen Fragestellungen sind entsprechende statistische Verteilungen zu wählen, für die Hardware-Absicherungen sind auch Größen wie die Prozesstauglichkeiten c_p oder c_{pk} denkbar. Da eine Eigenschaft j von mehreren Merkmalen beeinflusst werden kann wird in Anlehnung an PDD der den Merkmalen entsprechende Zählindex i verwendet.

6 Zusammenfassung und Ausblick

6.1 Zusammenfassung

Durch die Klassifikation von Reifegradkategorien auf Basis verschiedener Absicherungstechnologien kann eine transparentere und nachhaltigere Bewertung eines Entwicklungsstandes erreicht werden. Eine Reifegradlandkarte und die Definition des Begriffes Reifegrad auf Basis von PDD erlauben die Einordnung einzelner Absicherungen in den Gesamtkontext des Produktentstehungsprozesses.

Auch durch die Umsetzung einer Reifegrad-sensitiven Absicherungsstrategie wird die objektive und genaue Bestimmung des Gesamtreifegrades eines komplexen Entwicklungsprojektes eine Herausforderung bleiben. Insbesondere „weiche“ Kriterien wie Ästhetik oder Kriterien, die durch das X-System beeinflusst werden, etwa eine produktionsgerechte Produktgestaltung, sind kritisch. Entweder ist eine Einschätzung nur subjektiv möglich oder der genaue Sollzustand ist noch unbekannt.

6.2 Ausblick

Der auf PDD basierende theoretische Ansatz liefert wertvolle Hinweise über die Zusammenhänge bei der Absicherung von Produkt und Produktionssystem. Als nächster Schritt ist daher eine Analyse der Abhängigkeiten zwischen Reifegrad und X-System angestrebt. Praktisches Ziel ist die Spezifikation und praktische Umsetzung eines durchgängigen CAx/EDM-Konzeptes zur digitalen Absicherung. Die Implementierung einer Reifegrad-sensitiven Absicherungsstrategie erscheint in lokal begrenzten, besonders brisanten Entwicklungsphasen umsetzbar und lohnenswert.

7 Literatur

- [1] Weber C., Werner H.: Schlussfolgerungen für „Design for X“ aus der Perspektive eines neuen Ansatzes zur Modellierung von Produkten und Produktentwicklungsprozessen, 12. Symposium „Design for X“, Neukirchen, 2001
- [2] Bär, T.: Einsatz der Feature-Technologie für die Integration von FE-Berechnungen in die frühen Phasen des Konstruktionsprozesses. Dissertation, Universität des Saarlandes, Schriftenreihe Produktionstechnik, Saarbrücken, 1998
- [3] Lindemann U., Reinhart G., Irlinger R., Loferer M.: Integrierte Gestaltung von Produkt- und Produktionsmittel, VDI Berichte, 1998
- [4] Burr H., Vielhaber M., Deubel T., Weber C.: CAx/EDM-Integration – Enabler for methodical benefits in automotive industry, Design 2004, Dubrovnik, 2004
- [5] Hubka V., Eder W.E.: Design Science, Springer Verlag, Berlin-Heidelberg, 1996
- [6] Suh, N.P.: The Principles of Design, Oxford University Press

Dipl.-Ing. Marco Müller
Dr.-Ing. Thomas Bär

DaimlerChrysler Research and Technology
Product and Production Modeling
Wilhelm-Runge-Str. 11,
D-89013 Ulm
Tel.: +49-731/505-4808
Email: marco.ma.mueller@daimlerchrysler.com

Univ.-Prof. Dr.-Ing. Christian Weber

Lehrstuhl für Konstruktionstechnik/CAD
Universität des Saarlandes
Postfach 151150
D-66041 Saarbrücken
Tel.: +49-681/302-3075
Email: weber@cad.uni-saarland.de