

Produktentwicklung in der Mechatronik

Fachschule für Mechatroniktechnik Kempten (Allgäu)

Begriff „Mechatronik“

„Mechatronik ist ein interdisziplinäres Gebiet der Ingenieurwissenschaften, das auf den klassischen Disziplinen Maschinenbau, Elektrotechnik und Informatik aufbaut. Ein typisches mechatronisches System nimmt Signale auf, verarbeitet sie und gibt Signale aus, die es z. B. in Kräfte und Bewegungen umsetzt.“

(Schweitzer 1989)

Fachschule für Mechatroniktechnik Kempten (Allgäu)

Begriff „Mechatronik“

„[Mechatronics is] ...
the synergetic integration of mechanical
engineering with electronic and intelligent
computer control
in the design and manufacturing
of industrial products and processes.“

(Harashima, Tomizuka and Fukuda 1996)

Fachschule für Mechatroniktechnik Kempten (Allgäu)

Begriff „Mechatronik“

„Mechatronics is not a new profession.
It is a way of thinking.“

(van Amerongen 1989)

Fachschule für Mechatroniktechnik Kempten (Allgäu)

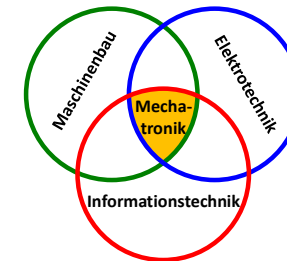
Begriff „Mechatronik“

mechanism + electronics + informat^{ics}
 =
 mechatronics

Fachschule für Mechatroniktechnik Kempten (Allgäu)

Begriff „Domänen“

Man spricht auch von den
 3 Domänen der Mechatronik:



Manche Definitionen
 zählen die
 „Regelungstechnik“
 als vierte Domäne
 hinzu.

Fachschule für Mechatroniktechnik Kempten (Allgäu)

Merkmale mechat. Systeme

Die Funktion mechatronischer Systeme beruht
 auf der **Wechselwirkung von Subsystemen**, die
auf verschiedenen physikalischen Ebenen
 realisiert werden.

Fachschule für Mechatroniktechnik Kempten (Allgäu)

Merkmale mechat. Systeme

Im Vergleich zu klassischen Produkten besitzen
 mechatronische Systeme eine größere
Komplexität und Heterogenität.

Die **Komplexität** wird
 bestimmt durch die
 Anzahl der Teilstrukturen
 und deren Kopplungen.

Heterogenität bedeutet,
 dass die Substrukturen
 verschiedenen
 physikalischen Bereichen
 (Domänen) angehören.

Fachschule für Mechatroniktechnik Kempten (Allgäu)

Merkmale mechat. Systeme

Das Zusammenwirken der Subsysteme wird durch **funktionale** und **räumliche Integration** erreicht.

Fachschule für Mechatroniktechnik Kempten (Allgäu)

Merkmale mechat. Systeme

Die Komplexität mechatronischer Produkte erfordert aus Kosten-, Herstellungs- und technologischen Gesichtspunkten die Anwendung der **funktionsorientierten** und **gestaltorientierten** Systembildung im Entwurfs- und Herstellungsprozess.

Fachschule für Mechatroniktechnik Kempten (Allgäu)

Merkmale mechat. Systeme

Die Gestaltung verbunden mit der Hardwareintegration des mechatronischen Produktes ermöglicht die Bildung **multifunktionaler Elemente**, die zu einer Verringerung der Anzahl von mechanischen Bauelementen, einer Volumenreduzierung, aber auch zu einer Verbesserung der dynamischen Grenzwerte führen kann.

Fachschule für Mechatroniktechnik Kempten (Allgäu)

Merkmale mechat. Systeme

Die höhere Komplexität mechatronischer Systeme verlangt **methodisches Vorgehen** während des Entwurfsprozesses, geeignete **domänenspezifische Entwurfswerkzeuge** und **-plattformen** für den rechnergestützten Entwurf.

Fachschule für Mechatroniktechnik Kempten (Allgäu)

Mechatronisches System

Ein mechatronisches System besteht aus vier Komponenten:

Grundsystem
Sensoren
Informationsverarbeitung
Aktoren

Fachschule für Mechatroniktechnik Kempten (Allgäu)

Mechatronisches System

- **Grundsystem**

Dabei handelt es sich in der Regel um eine mechanische, elektromechanische, hydraulische oder pneumatische Struktur bzw. eine Kombination aus diesen.

- **Sensoren**
- **Informationsverarbeitung**
- **Aktoren**

Fachschule für Mechatroniktechnik Kempten (Allgäu)

Mechatronisches System

- **Grundsystem**

- **Sensoren**

Sie dienen der Bestimmung ausgewählter Zustandsgrößen des Grundsystems. Es können physisch vorhandene Messwertaufnehmer oder aber reine Softwaresensoren sein. Sie liefern die Eingangsdaten für die Informationsverarbeitung.

- **Informationsverarbeitung**

- **Aktoren**

Fachschule für Mechatroniktechnik Kempten (Allgäu)

Mechatronisches System

- **Grundsystem**

- **Sensoren**

- **Informationsverarbeitung**

Sie bestimmt die notwendigen Einwirkungen, um die Zustandsgrößen des Grundsystems in gewünschter Weise zu beeinflussen.

- **Aktoren**

Fachschule für Mechatroniktechnik Kempten (Allgäu)

Mechatronisches System

- **Grundsystem**
- **Sensoren**
- **Informationsverarbeitung**
- **Aktoren**

Sie sorgen direkt am Grundsystem für die Umsetzung der von der Informationsverarbeitung bestimmten Einwirkungen.

Fachschule für Mechatroniktechnik Kempten (Allgäu)

Flüsse in einem mechat. System

Die Beziehungen zwischen den Komponenten kann gut mittels drei Arten von Flüssen analysiert werden:

Informationsfluss
Energiefluss
Stofffluss

Fachschule für Mechatroniktechnik Kempten (Allgäu)

Flüsse in einem mechat. System

- **Informationsfluss**
Informationen, die zwischen den Einheiten mechatronischer Systeme ausgetauscht werden, sind beispielsweise Messgrößen, Steuerimpulse oder Daten.
- **Energiefluss**
- **Stofffluss**

Fachschule für Mechatroniktechnik Kempten (Allgäu)

Flüsse in einem mechat. System

- **Informationsfluss**
- **Energiefluss**
Unter Energie ist in diesem Zusammenhang jede Energieform zu verstehen wie z.B. mechanische, thermische oder elektrische Energie, aber auch Größen wie Kraft oder Strom.
- **Stofffluss**

Fachschule für Mechatroniktechnik Kempten (Allgäu)

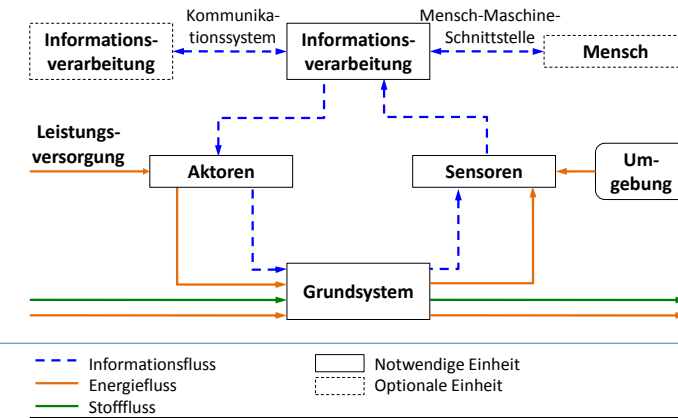
Flüsse in einem mechat. System

- **Informationsfluss**
- **Energiefluss**
- **Stofffluss**

Beispiele für Stoffe, die zwischen Einheiten mechatronischer Systeme fließen, sind feste Körper, Prüfgegenstände, Behandlungsobjekte, Gase oder Flüssigkeiten.

Fachschule für Mechatroniktechnik Kempten (Allgäu)

Aufbau eines mechat. Systems



Module und Hierarchien

Um die Komplexität mechatronischer Systeme zu beherrschen werden diese oft in einzelne Systemelemente unterteilt und hierarchisch verknüpft:

Mechatronische Funktionsmodule (MFM)

Autonome Mechatronische Systeme (AMS)

Vernetzte Mechatronische Systeme (VMS)

Fachschule für Mechatroniktechnik Kempten (Allgäu)

Module und Hierarchien

- **Mechatronische Funktionsmodule (MFM)**
Sie bestehen aus einer Tragstruktur, Sensoren, Aktoren und einer lokalen Informationsverarbeitung.
- **Autonome Mechatronische Systeme (AMS)**
- **Vernetzte Mechatronische Systeme (VMS)**

Fachschule für Mechatroniktechnik Kempten (Allgäu)

Module und Hierarchien

- **Mechatronische Funktionsmodule (MFM)**
- **Autonome Mechatronische Systeme (AMS)**
Sie werden aus informationstechnisch und/oder mechanisch gekoppelten MFM aufgebaut.
Es werden übergeordnete Aufgaben wie Überwachung mit Fehlerdiagnose und Instandhaltungsentscheidungen realisiert sowie Vorgaben für die lokale Informationsverarbeitung der MFM generiert.
- **Vernetzte Mechatronische Systeme (VMS)**

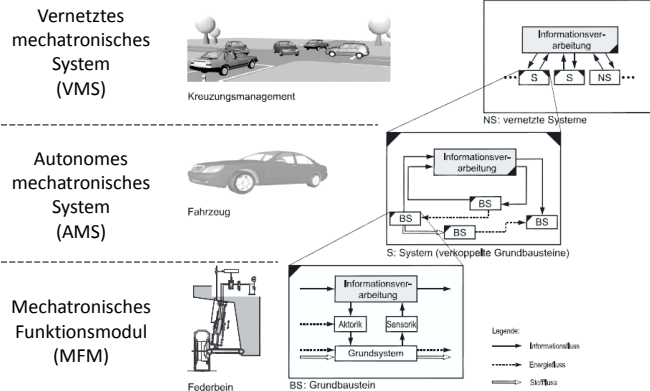
Fachschule für Mechatroniktechnik Kempten (Allgäu)

Module und Hierarchien

- **Mechatronische Funktionsmodule (MFM)**
- **Autonome Mechatronische Systeme (AMS)**
- **Vernetzte Mechatronische Systeme (VMS)**
Sie entstehen allein durch die Kopplung der beteiligten AMS via Informationsverarbeitung.
Dort werden Lernvorgänge oder automatische Adaptionen in einem mechatronischen System realisiert.

Fachschule für Mechatroniktechnik Kempten (Allgäu)

Module und Hierarchien



Fachschule für Mechatroniktechnik Kempten (Allgäu)

Entwicklungsprozess

Die Produktentwicklung kann als eine Folge von Entwurfsschritten in einem dreidimensionalen Entwurfsraum dargestellt werden:

vom Abstrakten zum Konkreten
vom Generellen zum Detail
von der Funktionalität zur Gestalt

Fachschule für Mechatroniktechnik Kempten (Allgäu)

Entwicklungsprozess

- **vom Abstrakten zum Konkreten**
Dies entspricht den üblichen Phasenmodellen vom Konzipieren über das Entwerfen zum Ausarbeiten.
- **vom Generellen zum Detail**
- **von der Funktionalität zur Gestalt**

Fachschule für Mechatroniktechnik Kempten (Allgäu)

Entwicklungsprozess

- **vom Abstrakten zum Konkreten**
- **vom Generellen zum Detail**
Diese Dimension wird durch die Strukturierung mechatronischer Systeme in Mechatronische Funktionsmodule (MFM), Autonome Mechatronische Systeme (AMS) und Vernetzte Mechatronische Systeme (VMS) repräsentiert.
- **von der Funktionalität zur Gestalt**

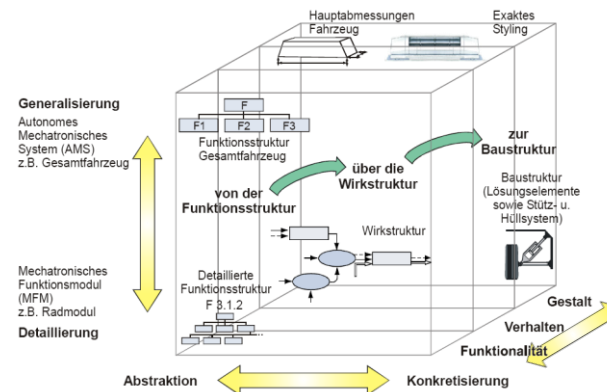
Fachschule für Mechatroniktechnik Kempten (Allgäu)

Entwicklungsprozess

- **vom Abstrakten zum Konkreten**
- **vom Generellen zum Detail**
- **von der Funktionalität zur Gestalt**
Diese Dimension weist die wesentlichen Sichten auf das zu entwerfende Produkt auf. Mit zunehmender Konkretisierung rückt der Aspekt „Gestalt“ in den Vordergrund der Entwicklungsarbeit.

Fachschule für Mechatroniktechnik Kempten (Allgäu)

Entwicklungsprozess



Fachschule für Mechatroniktechnik Kempten (Allgäu)

Entwicklungsprozess

Der Weg durch den dreidimensionalen Entwurfsraum von einer Idee zum fertigen Produkt ist weder vorgegeben, noch auf andere Produkte übertragbar.

Es gibt keinen universellen Entwurfsprozess, sondern nur spezifische Verläufe durch den Entwurfsraum.

Fachschule für Mechatroniktechnik Kempten (Allgäu)

Entwicklungsmethodik

Bislang hat sich noch keine umfassende Methodik zur systematischen Entwicklung mechatronischer Systeme durchgesetzt und etabliert.

Die VDI-Richtlinie 2206 versucht, auf Basis aktueller Forschungsergebnisse, das Entwickeln mechatronischer Systeme in Form einer Leitlinie für den Praktiker zugänglich zu machen.

Fachschule für Mechatroniktechnik Kempten (Allgäu)

VDI-Richtlinie 2206

Die drei Elemente zur Entwicklung mechatronischer Systeme lauten:

- (1) das V-Modell auf der Makroebene
- (2) allgemeiner Problemlösungszyklus auf Mikroebene
- (3) vordefinierte Prozessbausteine zur Bearbeitung wiederkehrender Arbeitsschritte

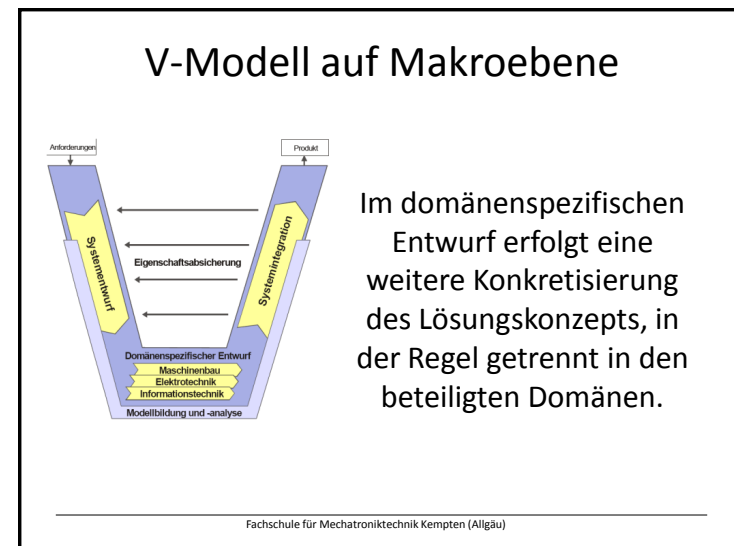
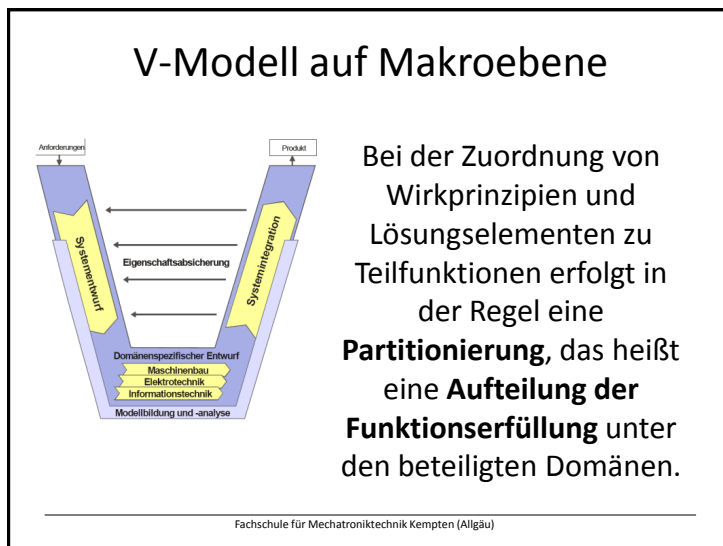
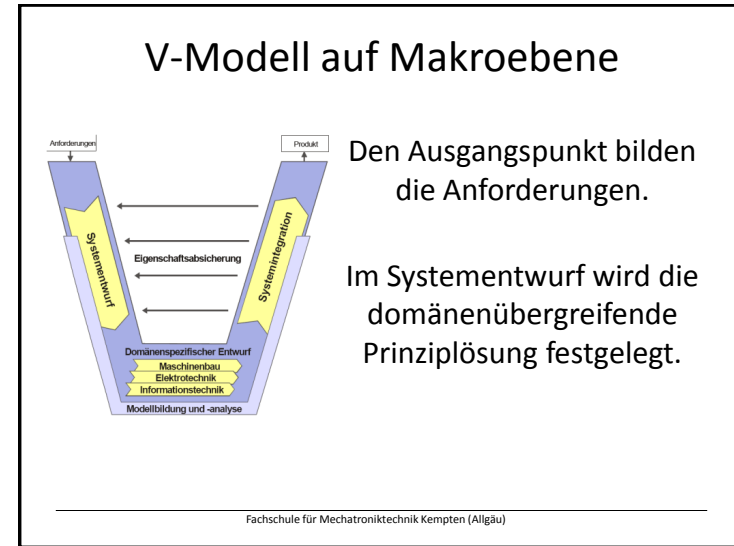
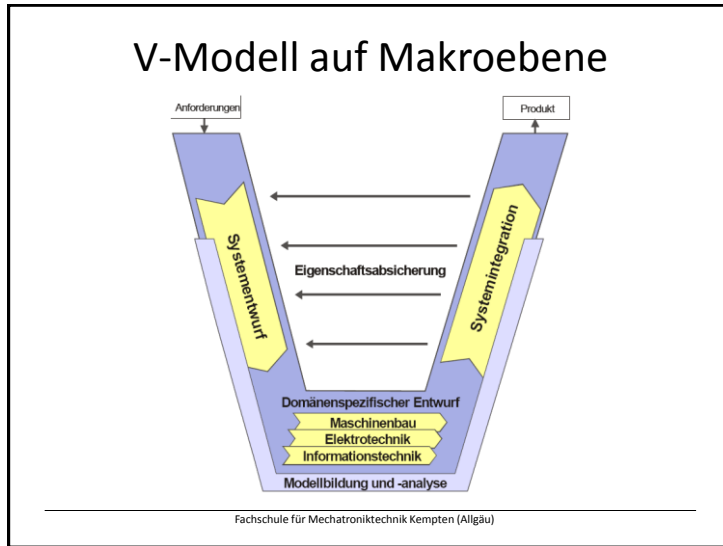
Fachschule für Mechatroniktechnik Kempten (Allgäu)

V-Modell auf Makroebene

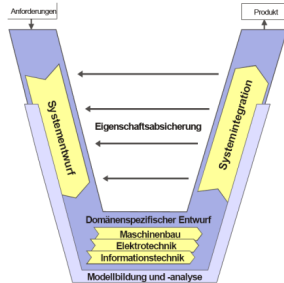
Das V-Modell stellt die Abfolge wesentlicher Teilschritte bei der Entwicklung mechatronischer Systeme dar.

Es beschreibt das generische Vorgehen beim Entwurf mechatronischer Systeme, das fallweise auszuprägen ist.

Fachschule für Mechatroniktechnik Kempten (Allgäu)



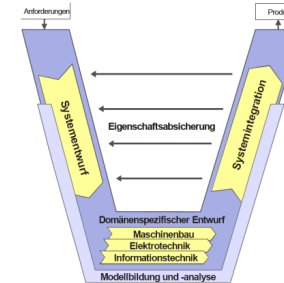
V-Modell auf Makroebene



In den Domänen erfolgt die Entwicklung in der Regel auf der Basis etablierter, domänen-spezifischer Entwicklungsmethodiken, die durch eigene Denkweisen, Begriffswelten und Erfahrungen geprägt sind.

Fachschule für Mechatroniktechnik Kempten (Allgäu)

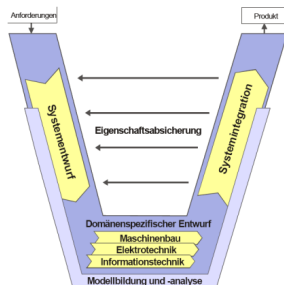
V-Modell auf Makroebene



Bei der Systemintegration werden die Ergebnisse aus den einzelnen Domänen zu einem Gesamtsystem integriert, um insbesondere das Zusammenwirken untersuchen zu können.

Fachschule für Mechatroniktechnik Kempten (Allgäu)

V-Modell auf Makroebene



Bei der Systemintegration erfolgt die Eigenschaftsabsicherung, d.h. es wird überprüft, ob die tatsächlichen mit den gewünschten Systemeigenschaften übereinstimmen.

Fachschule für Mechatroniktechnik Kempten (Allgäu)

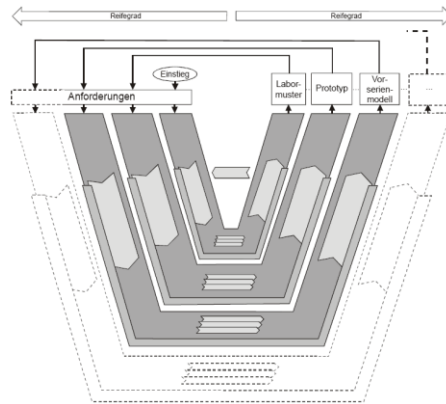
V-Modell auf Makroebene

Das Produkt eines Makrozyklusses kann unterschiedliche Reifegrade aufweisen, z.B. das Labormuster, das Funktionsmuster, das Vorserienprodukt etc.

Die Entwicklung eines komplexen mechatronischen Erzeugnisses erfordert in der Regel mehrere Makrozyklen.
(vgl. nächste Folie)

Fachschule für Mechatroniktechnik Kempten (Allgäu)

V-Modell auf Makroebene



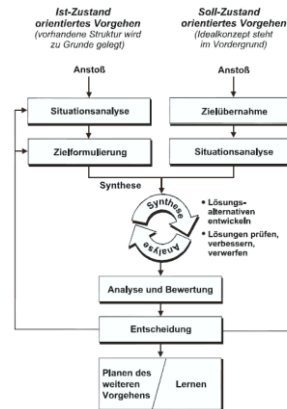
Fachschule für Mechatroniktechnik Kempten (Allgäu)

Problemlösung auf Mikroebene

Der Mikrozyklus soll den Produktentwickler bei der Bearbeitung vorhersehbarer und damit planbarer Teilaufgaben, aber auch bei der Lösung plötzlich auftretender, unvorhersehbarer Probleme unterstützen.

Fachschule für Mechatroniktechnik Kempten (Allgäu)

Problemlösung auf Mikroebene



Fachschule für Mechatroniktechnik Kempten (Allgäu)

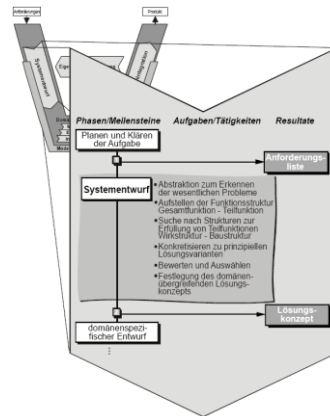
Prozessbausteine

Für einige bei der Entwicklung mechatronischer Systeme immer wieder auftretende Aufgabenstellungen kann die Bearbeitung konkreter in Form von vordefinierten Prozessbausteinen beschrieben werden.

Fachschule für Mechatroniktechnik Kempten (Allgäu)

Prozessbausteine

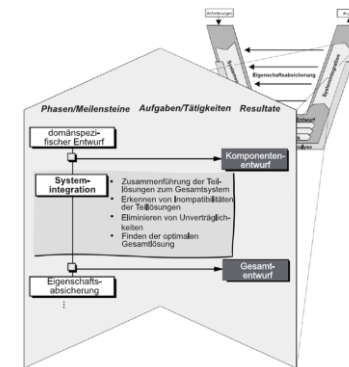
Die Grafik zeigt einen beispielhaften Prozessbaustein für die Phase „Systementwurf“.



Fachschule für Mechatroniktechnik Kempten (Allgäu)

Prozessbausteine

Die Grafik zeigt einen beispielhaften Prozessbaustein für die Phase „Systemintegration“.



Fachschule für Mechatroniktechnik Kempten (Allgäu)

Eigenschaftsabsicherung

Nach jeder einzelnen Phase des V-Modells sind immer wieder Lösungsvarianten auszuwählen und deren Eigenschaften anhand der Anforderungsliste zu bewerten.

Fachschule für Mechatroniktechnik Kempten (Allgäu)

Eigenschaftsabsicherung

Verifikation

Verifikation meint allgemein den „Nachweis der Wahrheit von Aussagen“.

Fachschule für Mechatroniktechnik Kempten (Allgäu)

Eigenschaftsabsicherung

Verifikation

Übertragen auf technische Systeme ist hierunter die Überprüfung zu verstehen, ob eine Realisierung mit der Spezifikation übereinstimmt.

Fachschule für Mechatroniktechnik Kempten (Allgäu)

Eigenschaftsabsicherung

Verifikation

Die Verifikation wird im Allgemeinen formal realisiert.

Fachschule für Mechatroniktechnik Kempten (Allgäu)

Eigenschaftsabsicherung

Verifikation

Umgangssprachlich ist die Verifikation die Beantwortung der Frage:
„Wird ein korrektes Produkt entwickelt?“

Fachschule für Mechatroniktechnik Kempten (Allgäu)

Eigenschaftsabsicherung

Validierung

Validierung meint ursprünglich die „Gültigkeitsprüfung einer Messmethode in der empirischen Sozialforschung“, das heißt inwieweit die Testresultate tatsächlich das erfassen, was durch den Test bestimmt werden soll.

Fachschule für Mechatroniktechnik Kempten (Allgäu)

Eigenschaftsabsicherung

Validierung

Übertragen auf technische Systeme ist hierunter die Prüfung zu verstehen, ob das Produkt für seinen Einsatzzweck geeignet ist bzw. den gewünschten Wert erzielt.

Hier geht die Erwartungshaltung des Fachexperten und des Anwenders ein.

Fachschule für Mechatroniktechnik Kempten (Allgäu)

Eigenschaftsabsicherung

Validierung

Die Validierung ist im Allgemeinen nicht formal durchzuführen.

Fachschule für Mechatroniktechnik Kempten (Allgäu)

Eigenschaftsabsicherung

Validierung

Umgangssprachlich ist die Validierung die Beantwortung der Frage:

„Wird das richtige Produkt entwickelt?“

Fachschule für Mechatroniktechnik Kempten (Allgäu)

Bisheriges Vorgehen

Sequentielles Vorgehen:

Die mechanische Grundstruktur stellte die Basis dar, Elektrotechnik und Informationsverarbeitung wurden später ergänzt.

Fachschule für Mechatroniktechnik Kempten (Allgäu)

Bisheriges Vorgehen

Folgen des sequentiellen Vorgehens:

- teilloptimierte Produkte
- langwierige Iterationen
- kosten- und zeitintensiven Entwicklungsprozesse

Fachschule für Mechatroniktechnik Kempten (Allgäu)

Wechsel des Vorgehens

Das Vorgehen, getrennt entwickelte und optimierte Baugruppen zu einem Gesamtsystem zusammenzufügen (bottom-up-design), ist nicht mehr ausreichend.

Fachschule für Mechatroniktechnik Kempten (Allgäu)

Wechsel des Vorgehens

Es sind iterative Vorgehensschritte nötig, um zunächst Kenntnisse der Grobstruktur zu erlangen und dann durch schrittweise Verfeinerung die Strukturelemente genauer zu spezifizieren (top-down-design).

Fachschule für Mechatroniktechnik Kempten (Allgäu)

Wechsel des Vorgehens

Detailliertere Kenntnisse der Systemeigenschaften bewirken eventuell Änderungen an übergeordneten Elementen, so dass ein Wechsel zum bottom-up-design stattfindet.

Die fortgeschrittenen Entwurfsstadien sind meist durch einen Wechsel zwischen beiden Entwicklungsstrategien geprägt (Jo-Jo-Effekt)

Fachschule für Mechatroniktechnik Kempten (Allgäu)

Empfohlenes Vorgehen

Concurrent Engineering(*):

- Produktkonzepte werden integrativ über Domänengrenzen erarbeitet
- Parallele Entwicklung in den Domänen
- Zeitliche Überlappung in den Entwicklungsphasen (speziell: Produktentwicklung und Produktionsplanung)

* auch: „Simultaneous Engineering“
auf Deutsch: „verteilte gleichzeitige Entwicklung“

Fachschule für Mechatroniktechnik Kempten (Allgäu)

Empfohlenes Vorgehen

Folgen des Concurrent Engineering:

- Kostenersparnis durch frühzeitiges Aufdecken von konstruktionsbedingten Produktionsproblemen
- Zeitersparnis dadurch, dass die Produktionsmöglichkeiten und -kosten bereits geprüft sowie die Produktionsmittel bereits teilweise geplant sind, wenn das Produkt fertig entwickelt ist.

Fachschule für Mechatroniktechnik Kempten (Allgäu)

Empfohlenes Vorgehen

Folgen des Concurrent Engineering:

- Jeder Prozessschritt (z.B. Produktentwicklung, Produktionsplanung) dauert für sich genommen länger als im herkömmlichen Verfahren.
Aber: die Summe der Prozessschritte ist kürzer als im herkömmlichen Verfahren.
→ „Paradox des Simultaneous Engineering“

Fachschule für Mechatroniktechnik Kempten (Allgäu)

Anforderungen an Mitarbeiter

Herausforderung:

- Als Basis benötigt: fundierte Grundlagen in einer Wissensdisziplin (z.B. Maschinenbau, Elektrotechnik oder Informationstechnik)
- Fähigkeit und Bereitschaft ein Wissen und ein Verständnis für die Möglichkeiten der anderen Fachgebiete zu entwickeln
- Mit anderen Spezialisten Lösungen zu entwerfen, zu bewerten und zu einer gemeinsamen Entscheidung zu kommen (Teamfähigkeit).

Fachschule für Mechatroniktechnik Kempten (Allgäu)

Anforderungen an Mitarbeiter

Mögliche Probleme:

- Man kann nicht für alle möglichen, eventuell auftretenden Fragen von Anfang an ein Teammitglied vorsehen.

→ Es werden im Projektverlauf externe Spezialisten konsultiert, die dann jedoch nur beratende Funktion haben.

Fachschule für Mechatroniktechnik Kempten (Allgäu)

Anforderungen an Mitarbeiter

Mögliche Probleme:

- Eine erfolgreiche Teamarbeit ist gefährdet, wenn einzelne Teammitglieder die Entscheidungsprozesse im Team dominieren.

→ Da dies meist erfolgt wenn es im Team Wissensmonopole gibt sind diese bei der Teamzusammenstellung möglichst zu vermeiden.

Fachschule für Mechatroniktechnik Kempten (Allgäu)

Anforderungen an Mitarbeiter

Mögliche Probleme:

- Es treten Rivalitäten zwischen den Experten der einzelnen Domänen auf, was zu eingeschränkter Kommunikation führen kann.

→ Einschalten eines externen Moderators. Er benötigt Fachwissen um das Team auf das Ziel ausrichten zu können, aber auch genug Distanz um neutral zu moderieren.

Fachschule für Mechatroniktechnik Kempten (Allgäu)

Quellen

- **Grundbegriffe der Mechatronik**
Lehrstuhl für Regelungssystemtechnik
Technische Universität Dortmund
- **Entwicklungsmethodik für mechatronische Systeme**
Lehrstuhl für Regelungssystemtechnik
Technische Universität Dortmund
- **Von der Mechatronik zur Selbstoptimierung**
Heinz Nixdorf Institut
Universität Paderborn
- **VDI-Richtlinie 2206**
Verein deutscher Ingenieure
Bezug über Beuth-Verlag

Fachschule für Mechatroniktechnik Kempten (Allgäu)