

**VDA**

**Qualitätskriterien für Simulationsstudien der  
Ablaufsimulation**

**4811**

Diese Empfehlung dient der Definition von Mindestanforderungen für  
Simulationsstudien der Ablaufsimulation in der Automobilindustrie.

**Version 1.0 vom Mai 2013**

**VDA Arbeitskreis Digitale Fabrik**

Herausgeber: Verband der Automobilindustrie  
Behrenstr. 35  
10004 Berlin  
Telefon 030/897842-0  
Internet: [www.vda.de](http://www.vda.de)

Copyright

Nachdruck und jede sonstige Form  
der Vervielfältigung ist nur mit  
Angabe der Quelle gestattet.

**VDA**

Verband der  
Automobilindustrie

## **Haftungsausschluss**

Die VDA-Empfehlungen sind Empfehlungen, die jedermann frei zur Anwendung stehen. Wer sie anwendet, hat für die richtige Anwendung im konkreten Fall Sorge zu tragen.

Sie berücksichtigen den zum Zeitpunkt der jeweiligen Ausgabe herrschenden Stand der Technik. Durch das Anwenden der VDA-Empfehlungen entzieht sich niemand der Verantwortung für sein eigenes Handeln. Jeder handelt insoweit auf eigene Gefahr. Eine Haftung des VDA und derjenigen, die an den VDA-Empfehlungen beteiligt sind, ist ausgeschlossen.

Jeder wird gebeten, wenn er bei der Anwendung der VDA-Empfehlungen auf Unrichtigkeiten oder die Möglichkeit einer unrichtigen Auslegung stößt, dies dem VDA umgehend mitzuteilen, damit etwaige Mängel beseitigt werden können.

# Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis .....	3
1 Allgemein.....	4
1.1 Vorwort.....	4
1.2 Ziel der Empfehlung .....	4
1.3 Änderungen gegenüber der Vorversion .....	4
1.4 Kompatibilität zu Vorversionen .....	4
1.5 Definitionen .....	5
1.6 Literaturverweise .....	8
2 Grundlagen.....	9
2.1 Vorgehensmodell bei Simulationsprojekten .....	9
2.2 Kernqualifikationen.....	11
3 Mindestanforderungen bei der Durchführung von Simulationsstudien .....	13
3.1 Aufgabendefinition und Vorarbeiten .....	13
3.2 Datenbeschaffung und -aufbereitung sowie deren Dokumentation .....	14
3.3 Modellierung.....	14
3.4 Verifikation und Validierung.....	15
3.5 Experimente .....	16
3.6 Dokumentation .....	18
4 Checkliste.....	19
4.1 Allgemeine Kriterien .....	19
4.2 Vorarbeiten und Aufgabendefinition .....	19
4.3 Datenbeschaffung und -aufbereitung .....	20
4.4 Modellierung.....	20
4.5 Verifikation und Validierung.....	20
4.6 Experimente .....	21
4.7 Dokumentation .....	21
5 Anhang: Detailliertes Projektablaufdiagramm.....	22

# 1 Allgemein

## 1.1 Vorwort

Um Planungen zu bewerten, abzusichern und zu verbessern, werden in der Automobil- und Automobilzulieferindustrie in Produktion und Logistik Simulationen eingesetzt. Diese Empfehlung zeigt das unternehmensübergreifende, einheitliche Verständnis der Mitglieder der *VDA Arbeitsgruppe Ablaufsimulation* über die qualitativen Mindestanforderungen für Simulationsprojekte.

## 1.2 Ziel der Empfehlung

Das Ziel dieser Empfehlung ist es, eine Mindestqualität bei der Durchführung von Simulationsstudien sicherzustellen.

Dabei dient diese Empfehlung als Hilfestellung für die Anwendung der Ablaufsimulation im Umfeld der Automobilindustrie und hat weder Anspruch auf eine mögliche Übertragung auf andere Branchen noch auf Vollständigkeit über alle Gewerke und Simulationsziele.

Die Empfehlung

- ist Grundlage für die Erstellung von Lastenheften für Simulationsprojekte,
- gibt Simulationsdienstleistern Hilfestellung bei der Durchführung von Simulationsprojekten,
- gibt Simulationsanwendern einen schnellen Überblick über wichtige Kriterien und Aspekte der Ablaufsimulation
- und grenzt die Ablaufsimulation von anderen Verfahren ab.

## 1.3 Änderungen gegenüber der Vorversion

Version	Änderung	Kapitel	Seite
1	keine, Erstausgabe		

## 1.4 Kompatibilität zu Vorversionen

Version	Änderung	Kapitel	Seite
1	vollständig, Erstausgabe		

## 1.5 Definitionen

### Anlagenverfügbarkeit (technische)

Die technische Anlagenverfügbarkeit  $V_T$  ist der Quotient der um technische Störungen reduzierten Produktionszeit (ohne Warte- und Blockadezeiten) bezogen auf die Produktionszeit.

Eine andere Berechnungsmöglichkeit ergibt sich aus den Mittelwerten der Ausfallzeiten (MTTR) und der Betriebszeiten (MTBF).

$$\text{Technische Anlagenverfügbarkeit } V_T = \frac{\text{Produktionszeit} - \text{Stördauer}}{\text{Produktionszeit}}$$

$$\text{Technische Anlagenverfügbarkeit } V_T = \frac{MTBF}{MTBF + MTTR}$$

### Gesamtanlageneffektivität (GAE) bzw. Overall Equipment Effectiveness (OEE)

Die Gesamtanlageneffektivität beschreibt den Quotienten aus Nettodurchsatz und erreichbarem Nettodurchsatz, unter Berücksichtigung der Anlagenverfügbarkeit, der Anlageneffizienz und der Qualitätsrate.

$$GAE = \frac{\text{gefertigte Stückzahl} * \text{Plantaktzeit}}{\text{Produktionszeit}}$$

$$GAE = \text{Anlagenverfügbarkeit} * \text{Anlageneffizienz} * \text{Qualitätsrate}$$

Bei verketteten Systemen sind Verkettungsverluste in der Simulation automatisch enthalten. In der Regel wird die GAE bei der Bewertung von Produktionssystemen herangezogen und ist Ergebnis der Simulation.

### Gewerk

Der Begriff bezeichnet einen Produktionsbereich in der Automobilindustrie, wie beispielsweise den Karosseriebau, die Oberfläche (Lackiererei) oder die Montage.

### **Laufzeit (Einschaltdauer)**

Die Laufzeitzeit eines Maschinensystems ist die produktiv genutzte Arbeitszeit des Maschinensystems, also die Zeit, in der Teile gefertigt wurden. Sind die Maschinensysteme während Pausen aktiv, gehören hierzu auch Pausenzeiten.

### **Mean Time To Repair (MTTR)**

Die MTTR ist die durchschnittliche Ausfallzeit, das heißt die Zeitdauer vom Beginn bis zum Ende der Störung eines Maschinensystems oder eines Schutzkreises. Sie umfasst in der Regel die Zeit bis zur Feststellung der Störung, die Wegezeit des Instandhalters zur Fehlerquelle und die Zeit für die Instandsetzung.

### **Mean Time Between Failure (MTBF)**

Die MTBF ist die durchschnittliche Laufzeit zwischen den Ausfällen, also vom Ende einer Störung bis zum Beginn der nächsten Störung eines Maschinensystems oder eines Schutzkreises.

### **Produktionszeit**

Die Produktionszeit eines Maschinensystems ist die Arbeitszeit des Produktionssystems abzüglich geplanter Stillstände wie Pausen, schichtfreie Zeiten oder Gruppenbesprechungen.

### **Zykluszeit**

Die Zykluszeit ist die komplette Dauer vom Anfang der Bearbeitung bis zum Anfang der nächsten Bearbeitung. Bei Bearbeitungsprozessen beinhaltet sie beispielsweise die Einlege-, Prozess und Entnahmezeit. Blockier-, Warte- und Störzeiten sowie Zeitüberschreitungen sind nicht Bestandteil der Zykluszeit.

### **Verifikation**

Verifikation oder Verifizierung ist der Nachweis, dass ein vermuteter oder behaupteter Sachverhalt wahr bzw. richtig ist. Für die Ablaufsimulation bedeutet dies, dass ein erstelltes Modell in sich konsistent, fehlerfrei und plausibel ist („Ist das Modell richtig?“).

### **Validierung**

Validierung bezeichnet die Überprüfung, ob sich das Simulationsmodell so verhält wie das abgebildete Originalsystem („Ist es das richtige Modell für die Aufgabenstellung?“).

### **Deterministisches Modell**

Ein deterministisches Modell bezeichnet ein Modell, in dem das Verhalten eindeutig vorhersagbar ist.

### **Stochastisches Modell**

Ein stochastisches Modell ist ein Modell, in dem das Verhalten zufällig und nicht eindeutig ist. Hierfür werden in der Ablaufsimulation in der Regel Zufallszahlen verwendet.

### **Experiment**

Ein Experiment bezeichnet eine Untersuchung mit Hilfe eines Simulationsmodells. Das Experiment selbst besteht aus mehreren Simulationsläufen zur statistischen Absicherung. Experimente können sich sowohl in der zu untersuchenden Parameterkombination als auch in der zu untersuchenden Modellstruktur unterscheiden.

### **Lauf / Beobachtung / Replikation**

Ein Lauf (Beobachtung/Replikation) bezeichnet einen Durchlauf des Simulationsmodells unter Verwendung einer Kombination von Zufallszahlenströmen. Mehrere Läufe (z. B. zur Absicherung der Statistikwerte) ergeben ein Experiment.

### **Laufzeit (Modell)**

Die Simulationslaufzeit bezeichnet die virtuelle Zeit, die ein Simulationsmodell läuft. Diese ergibt sich aus der Einschwingzeit und der Modelllaufzeit selbst.

Die Einschwingzeit wird im Simulationslauf benötigt, um Anfangseffekte, wie z. B. das Vollfahren des virtuellen Systems, nicht mit in die Statistikerfassung zu nehmen. Die Länge der Einschwingzeit selbst ist von der Aufgabenstellung und dem abgebildeten System abhängig.

Die Modelllaufzeit ist die (virtuelle) Zeit, die im Modell nach der Einschwingzeit bis zum Ende des Laufes vergeht. Diese Zeit ist ebenfalls abhängig von der Aufgabe und sollte so gewählt werden, dass das gewünschte Sicherheitsniveau durch einen Lauf oder durch mehrere kürzere parallele Läufe erreicht wird.

### **Sicherheitsniveau**

Das Sicherheitsniveau (Konfidenzintervall) gibt an, mit welcher Wahrscheinlichkeit das Ergebnis (Mittelwert) innerhalb vorgegebener Schranken liegt. Normalerweise wird das Sicherheitsniveau für 95% berechnet.

## 1.6 Literaturverweise

VDI Richtlinie 3633: Simulation von Logistik-, Materialfluss- und Produktionssystemen

VDI Richtlinie 4465: Modellbildungsprozess

VDI Richtlinie 4499: Digitale Fabrik

Verifikation und Validierung für die Simulation in Produktion und Logistik, Markus Rabe et al., VDI Springer Verlag

Qualitätskriterien für die Simulation in Produktion und Logistik, Sigrid Wenzel et al., VDI Springer Verlag



## 2 Grundlagen

Die Ablaufsimulation hat sich in den letzten Jahren als anerkanntes Werkzeug zur Unterstützung bei Planung, Realisierung, Betrieb und Verbesserung von Fertigungssystemen etabliert. Im Umfeld der Automobil- und Automobilzulieferindustrie wird die Ablaufsimulation als Standardwerkzeug eingesetzt. Durch die Implementierung und sukzessive Weiterentwicklung des VDA Automotive Bausteinkastens wird der standardisierte Einsatz der Ablaufsimulation im Automotive-Bereich weiter unterstützt.

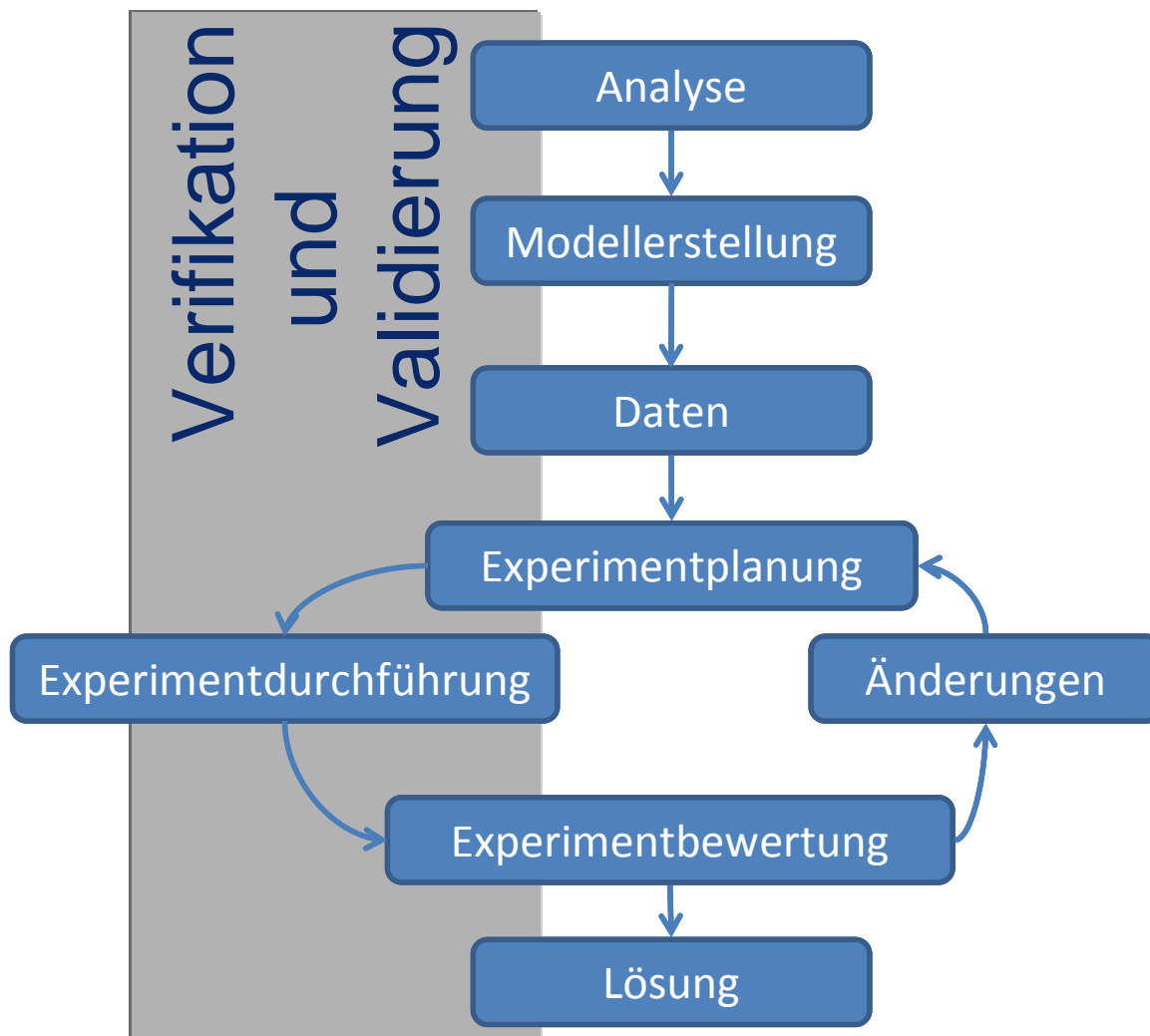
### 2.1 Vorgehensmodell bei Simulationsprojekten

Bei der Durchführung von Simulationsprojekten hat sich das Vorgehensmodell gemäß dem Forschungsprojekt AssistSim (vgl. Abb. 1) bewährt.

Hiernach lässt sich ein Simulationsprojekt grundlegend in die Phasen

- Analyse,
- Daten,
- Modellierung,
- Verifikation und Validierung (V&V) des Modells,
- Experimentplanung, -durchführung, -bewertung und Änderungen und
- Lösung gliedern.

Zusätzlich findet die Verifikation und Validierung begleitend in jeder Phase statt.



Nach AssistSim/EDASim: Hessen Agentur Partnertag, 2009

Nach Abschluss der Aufgabendefinition sind die Phasen der Analyse, Daten (bestehend aus Datenbeschaffung und -aufbereitung) sowie die Modellierung des erstellten Modells seriell zu durchlaufen. Parallel dazu wird immer die Validierung und Verifikation durchgeführt. Nach Abschluss dieser Phasen steht ein ausführbares, valides Modell für den weiteren Projektverlauf zur Verfügung.

Bei der Datenbeschaffung ist darauf zu achten, dass nicht alle verfügbaren, sondern nur die notwendigen Daten eines repräsentativen Zeitraums in die Betrachtung mit einbezogen werden. Bei der Auswahl und Aufbereitung der Daten ist mit besonderer Sorgfalt vorzugehen, da Fehler in dieser Phase im gesamten weiteren Verlauf des Simulationsprojekts zu Problemen führen und der Änderungsaufwand um Fehler zu entfernen mit zunehmendem Projektverlauf immer kostenintensiver wird. Dies führt zu steigenden Änderungskosten mit fortschreitendem Projektverlauf.

Ist das Simulationsmodell gemäß der Aufgabenspezifikation erstellt, erfolgt die Planung, Durchführung und Bewertung der Experimente. In dieser Phase sind fallspezifische Versuchspläne sowie die geeigneten Auswerteinstrumente von entscheidender Bedeutung um den Zeitaufwand für die Durchführung der Experimente gering zu halten und belastbare Ergebnisse zu erzielen. Einige Anwendungsfälle machen ein iteratives Vorgehen bei der Durchführung der Experimente notwendig. Dabei ergeben sich die Parameter für weitere Experimente aus der Interpretation der Ergebnisse von schon durchgeführten Experimenten. Die Verifikation und Validierung (V&V) ist über alle Phasen des Simulationsprojekts hinweg durchzuführen.

## 2.2 Kernqualifikationen

Auch wenn die richtige Reihenfolge aller Schritte einer Simulationsstudie eingehalten wird, ist die Qualität des Modells und der Ergebnisse maßgeblich durch die Qualifikation des Simulationsexperten beeinflusst.

Die Qualifikation wird durch Ausbildung und Training bestimmt. Zusätzlich ist die Erfahrung des Simulationsexperten, die er in den Projekten gesammelt hat, entscheidend. Während letzteres über die Zeit wächst, können Ausbildung und Training auf die hier aufgeführten Inhalte fokussieren.

Der Simulationsexperte muss grundsätzliche Kenntnisse über einen strukturierten Projektablauf besitzen, damit er die Aufgaben der Simulation in den verschiedenen Phasen eines Projekts berücksichtigen und vertreten kann.

Es ist notwendig, dass die allgemeine Funktionsweise ereignisorientierter Simulation bekannt und verstanden ist. Insbesondere die Abgrenzung zur kontinuierlichen Simulation ist hier wichtig. Mit diesem Wissen kann auch entschieden werden, ob das vorliegende Problem überhaupt mit der Methode der Ablaufsimulation gelöst werden kann oder ob andere Methoden genutzt werden sollten (z.B. eine einfache statische Kalkulation).

Eng verbunden hiermit sind Grundkenntnisse über die zu verwendende Software und einzusetzende Objektbibliotheken. Dieses Wissen ist Voraussetzung, um das richtige Werkzeug für die jeweilige Simulationsstudie wählen zu können.

Einen zentralen Punkt nehmen die Programmierkenntnisse des Simulationsexperten ein. Viele Simulationswerkzeuge verlangen Programmierkenntnisse vom Anwender. Aber auch über die eigentliche Programmiertätigkeit hinaus ist es nur mit Programmierwissen

möglich, die internen Abläufe eines Simulationsmodells zu verstehen und zu damit validieren.

Am Anfang jeder Simulationsstudie muss der notwendige und richtige Detaillierungsgrad des Modells bestimmt werden. Die Techniken dazu müssen bekannt sein, um auf der einen Seite nichts Wichtiges zu vernachlässigen und auf der anderen Seite effizient zu arbeiten.

Wesentlich für jeden Simulationsexperten ist das Wissen um den richtigen Umgang mit Daten. Dazu zählt die Fähigkeit, Daten einer umfassenden statistischen Analyse zu unterziehen (z.B. Gruppieren von Daten, Erkennen von Ausreißern, Bilden von Verteilungen). Darin eingeschlossen ist auch die fachliche Plausibilisierung von Eingangs- und Ergebnisdaten, z.B. durch statische Kalkulationen und Überschlagsrechnungen.

Techniken zur Validierung und Verifikation müssen bekannt sein, um sicherzustellen, dass die richtigen Daten verwendet werden und das Modell die Realität widerspiegelt.

Sobald die Modellerstellung abgeschlossen ist, muss der Simulationsexperte in der Lage sein, das Experimentdesign fachlich und technisch richtig durchzuführen.

Schließlich muss jeder Simulationsexperte die Ergebnisse so aufbereiten und dokumentieren können, dass die jeweilige Zielgruppe den Inhalt der Präsentation verstehen und nachvollziehen kann.

## 3 Mindestanforderungen bei der Durchführung von Simulationsstudien

In diesem Kapitel werden die Mindestanforderungen an Simulationsprojekte aus Sicht der VDA Arbeitsgruppe Ablaufsimulation in den einzelnen Phasen des Vorgehensmodells definiert.

### 3.1 Aufgabendefinition und Vorarbeiten

Zu Beginn eines Simulationsprojekts werden Ziele und Aufgabenstellung definiert. Außerdem werden die beiden zentralen Schritte, die Modellierung und die Datenbeschaffung und -aufbereitung, vorbereitet und die Randbedingungen für das gesamte Simulationsprojekt festgelegt. Bereits zur Angebotserstellung müssen einige Punkte geklärt werden, um den Aufwand des Auftragnehmers realistisch abschätzen zu können. Diese Klärung kann im Vorfeld durch den Auftraggeber oder in einer gemeinsamen Besprechung mit einem möglichen Auftragnehmer erfolgen. Zwingend müssen während der Angebotserstellung folgende Punkte geklärt werden:

- Zielstellung des gesamten Simulationsprojektes, der zu beauftragenden Umfänge sowie der Projektzeitraum, gewünschter Liefertermin, Umfang der Modellierung (Modellgrenzen)
- Schnittstellen zur Anbindung an weitere Simulationsmodelle
- Importschnittstellen zur Übernahme von Eingabedaten aus Werkzeugen wie Tabellenkalkulation, CAD, etc.
- Detaillierung der Modellierung
- Festlegung der variablen Parameter für die Simulationsexperimente
- Festlegung der notwendigen Dokumentationsumfänge (Ergebnisse, Modellbeschreibung, Protokolle, etc.)
- Vorgaben zur projektbegleitenden Verifizierung und Validierung (Daten, Modell, etc.)
- Unter den Projektbeteiligten muss ein gemeinsames Verständnis der verwendeten Begriffe und Kennzahlen sichergestellt sein.

Die folgenden Punkte müssen nach Auftragserteilung erarbeitet werden:

- Detaillierter Terminplan für Vorgespräche, Zwischenberichte und Abschlusspräsentation
- Terminplan für die Bereitstellung simulationsrelevanter Daten (Layout, Eingangsdaten, etc.) durch den Auftraggeber
- Detaillierte Beschreibung der Abläufe im abzubildenden Produktionssystem
- Festlegung der Verantwortlichkeiten
- Die Kenngrößen zur Bewertung der Simulationsergebnisse müssen im Hinblick auf die betrachtete Fragestellung ausgewählt und definiert sein

### **3.2 Datenbeschaffung und -aufbereitung sowie deren Dokumentation**

In dieser Phase werden die in den Vorarbeiten definierten und während der Modellierung konkretisierten Daten zusammengetragen und für eine spätere Verwendung in der Simulation aufbereitet. Dabei können zwei Gruppen von Daten unterschieden werden: Zum einen meist numerische Daten, wie zum Beispiel Längen, Zeiten, Anteile, etc., die für die Parametrierung der Bausteine im Simulationsmodell verwendet werden sollen; zum andere Daten, die das Modellverhalten an sich beschreiben, wie zum Beispiel Prozessbeschreibungen, Steuerungsregeln, Logiken etc.

Bei Verwendung von standardisierten Objektbibliotheken, wie z.B. des VDA Automotive Baustein Kastens, ist für die Parameterhaltung in Tabellen oft ein Standard vorgegeben, der entsprechend der Dokumentation zu nutzen ist. Um die Transparenz des Modellverhaltens zu gewährleisten, sind die verwendeten Daten, insbesondere jene, die der zweiten Gruppe zuzuordnen sind, zu dokumentieren.

Eingangsdaten im erweiterten Sinn, wie z.B. das Layout oder die Anzahl paralleler Maschinen, liegen schon zu Beginn der Modellierung vor. Die Daten für die Eingangsdatentabellen müssen spätestens zur Verifizierung des Simulationsmodells vorliegen.

### **3.3 Modellierung**

Vor Beginn der Modellerstellung ist durch den Auftragnehmer eine Modellbeschreibung zu erstellen und durch den Auftraggeber abzunehmen. Die Modellbeschreibung umfasst die technische Spezifikation des im Modell abzubildenden Systems. In der

Modellierungsphase werden die zuvor definierten Abläufe, Umfänge, Parameter, Schnittstellen und Auswertungen in einem lauffähigen Simulationsmodell umgesetzt. Durch die Art der Modellierung wird wesentlich die Bedienbarkeit, Performance und Transparenz des Modells beeinflusst.

Für die Modellierung müssen Standards eingehalten werden, um einem Anwender des Simulationsmodells jederzeit ein schnelles Einarbeiten und Experimentieren mit dem Modell zu ermöglichen. Dies wird z.B. durch die Verwendung von einheitlichen Bausteinen gefördert. Daher ist eine Modellierung mit standardisierten Bibliotheken, wie beispielsweise dem VDA Automotive Bausteinkasten, anzustreben. Dadurch verringern sich nicht nur die zusätzlichen Vorgaben für die Modellierung, sondern auch der notwendige Umfang für die Dokumentation. Grundsätzlich gilt:

- Das Modellverhalten muss nachvollziehbar sein.
- Es dürfen sich keine verschlüsselten/verborgenen Logiken im Modell befinden.
- Bei der Verwendung von Zufallszahlen ist für jeden Abnehmer ein eigener Zufallszahlenstrom zu verwenden.
- Abweichungen vom vorgegebenen Standard müssen abgestimmt und dokumentiert werden.
- Programmcode ist ausreichend zu kommentieren; Funktionen, Prozeduren bzw. Methoden sind mit einem Header mit Informationen zum Aufruf, zu übergebenen Parametern und zum Ersteller zu versehen.
- Parametrisierungen sind nicht im Quelltext vorzunehmen, sondern transparent zentral / dezentral im Modell.

### **3.4 Verifikation und Validierung**

Wie in der Abbildung des Vorgehensmodells dargestellt, handelt es sich bei der Verifikation und Validierung um einen kontinuierlichen, den gesamten Projektablauf begleitenden Prozess zur Absicherung des zielgerichteten Projektfortschritts. Darüber hinaus ist nach Abschluss der Modellierung und vor Beginn der Experimentphase eine explizite Verifikation und Validierung des Modells notwendig.

Während der Verifikation und Validierung muss gezeigt werden, dass die Daten und das Simulationsmodell plausibel und fehlerfrei sind. Nach Durchführung und Auswertung der dafür notwendigen Simulationsläufe erfolgt die Abnahme des Modells durch den

Auftraggeber. Das abgenommene, valide Modell bildet die Basis für die folgende Experimentphase.

Bei der Verifikation und Validierung sind folgende Punkte nachzuweisen:

- Modellierungsprämissen sind dokumentiert.
- Die Eingangsdaten sind plausibel.
- Die modellierten Abläufe finden wie beschrieben statt. Dies ist in Zusammenarbeit mit den Verantwortlichen aus dem jeweiligen Fachbereich zu prüfen.
- Das Modell läuft, auch bei Variation der Parameter, ohne Blockaden.
- Berechenbare Grenzfällen liefern das richtige Ergebnis in der Simulation.
- Die Ergebnisse der Simulation (z. B. simulierte GAE) entsprechen vergleichbaren Werten der Realität

Die Vorgaben zur Verifizierung und Validierung sind projektabhängig. Es wird daher empfohlen, nähere Angaben zu Projektbeginn in Checklisten festzulegen (Siehe 4).

### 3.5 Experimente

Ein Experiment dient der Untersuchung einer einzelnen oder einer Gruppe von Fragestellungen auf Basis eines validen Modells mit einem definierten Parametersatz. Vor Durchführung der Simulationsläufe müssen die Dauer eines Simulationslaufs, die Länge der Einschwingphase und die notwendige Anzahl der Beobachtungen für ein Experiment festgelegt werden. Dabei ist zu berücksichtigen, ob es sich um ein deterministisches oder stochastisches Modell handelt. Bei stochastischen Modellen sind mehrere Läufe mit dem gleichen Parametersatz, sogenannte Beobachtungen / Replikationen, notwendig, um statistisch belastbare Ergebnisse zu erzielen.

Hinweise zur Bestimmung der notwendigen Simulationszeit und der Wahl der richtigen Länge für die Einschwingphase einer Beobachtung sowie im stochastischen Fall die notwendige Anzahl an Beobachtungen können zum Beispiel in der „Ausführungsanweisung Ablaufsimulation in der Automobil- und Automobilzulieferindustrie“ gefunden werden.

In der Experimentphase wird das valide Modell verwendet, um die zuvor definierten Fragestellungen zu beantworten. Hierfür wird in der Aufgabendefinition projektspezifisch



festgelegt, welche Experimente durchgeführt und mit welchen Kennzahlen die Ergebnisse eines Experiments bewertet werden sollen. Dies kann zum Beispiel durch die Aufstellung eines Experimentplans erfolgen, der ggf. begleitend zur Experimentphase weitergeführt und erweitert werden kann.

Je nach Definition der Experimente bzw. Ziele der Simulation ist das Ergebnis z.B. der Nachweis vorgegebener Kennzahlen, die Identifikation eines Optimums für Parameter aus definierten Wertebereichen oder der Vergleich von Varianten (zum Beispiel Layout-Alternativen) auf Basis festgelegter Kennzahlen. In den meisten Fällen gilt es das Szenario (den Parametersatz) zu identifizieren, in dem relevante Kennzahlen minimiert oder maximiert werden oder einem gegebenen Wert am nächsten kommen.

Folgende Punkte sind bei der Durchführung von Experimenten und der Auswertung von Ergebnissen zu beachten:

- Bei der statistischen Auswertung der Simulationsergebnisse sind die ersten Datensätze (aus der Einschwingphase des Modells) aus der Betrachtung auszuschließen.
- Simulationsergebnisse müssen reproduzierbar sein.
- Bei der Berechnung von Mittelwerten zur Interpretation von Experimentergebnissen sind immer die entsprechenden Konfidenzintervalle zu bestimmen und mit anzugeben.
- Bei der Bestimmung der Länge der einzelnen Simulationsläufe sind die "Zyklen" der einzelnen Parameter zu beachten. Die Laufzeit muss ein ganzzahliges vielfaches des längsten, relevanten Zyklus sein, z. B. 5-mal längster Zyklus im Modell ist die minimale Laufzeit.
- Bei der Durchführung von Experimenten ist, sofern es sich nicht um ein deterministisches Modell handelt, eine statistische Absicherung der Ergebnisse zwingend notwendig. Dies wird mittels Durchführung mehrerer Beobachtungen mit gleichen Parametern aber unterschiedlichen Startwerten für die Erzeugung der Zufallszahlen erreicht. Im Rahmen der Projektdefinition ist ein Sicherheitsniveau zu definieren, das von den erzeugten Ergebnissen erreicht werden muss. Dieses bestimmt die Anzahl der notwendigen Beobachtungen

### 3.6 Dokumentation

Sämtliche vom Auftragnehmer durchgeführten Arbeiten müssen dokumentiert werden. Das betrifft unter anderem alle Annahmen für die Abläufe des simulierten Systems, die nicht vom Auftraggeber explizit beschrieben wurden oder sich nicht eindeutig aus der Modellierung oder den verwendeten Bausteinen ergeben. Im Falle einer Modellierung mit standardisierten Bibliotheken sind nur die gegenüber dem Standard geänderten Methoden, Einstellungen und Parameter zu beschreiben. Bei einer Modellierung mit eigenen Bausteinen oder einer freien Modellierung sind zusätzlich die verwendeten Bausteine bzw. alle Methoden und Einstellungen zu dokumentieren.

Weiterhin sind die vom Auftragnehmer ermittelten und verwendeten Eingangsdaten, die durchgeführten Experimente samt den Schritten zur Verbesserung zu beschreiben. Spätestens im Rahmen der Modellübergabe findet eine Modelleinweisung statt.

## 4 Checkliste

Die angeführten Checklisten dienen als Hilfestellung für die Abarbeitung von Simulationsprojekten. In der Spalte „Relevant“ kann eingetragen werden, ob dieser Punkt für das aktuelle Projekt von Belang ist. Die Checklisten können natürlich projektspezifisch erweitert werden.

### 4.1 Allgemeine Kriterien

Kriterium	Relevant	Vorhanden / Erfüllt
Modellierung mit dem spezifizierten Simulationstool		
Modellierung mit der vorgegebenen Version des Simulationstools		
Modellierung mit der vorgegebenen Bausteinbibliotheken		
Modellierung mit den vorgegebenen Versionen der Bausteinbibliotheken		
Modelleinweisung bei Projektabschluss erfolgt		
Projektübergabe (inkl. Modell und Dokumentation) an Auftraggeber erfolgt		

### 4.2 Vorarbeiten und Aufgabendefinition

Kriterium	Relevant	Vorhanden / Erfüllt
Ziele des Simulationsprojekts definiert		
Verantwortlichkeiten geklärt und dokumentiert		
Zeitplan für das Simulationsprojekt erstellt		
Umfang bzw. Systemgrenzen der Modellierung definiert		
Detaillierung der Modellierung abgestimmt		
Schnittstellen zur Anbindung des Simulationsmodells spezifiziert		
Templates und Datenformate für Ein- und Ausgangsdaten spezifiziert		
Templates und Datenformate für die Projektdokumentation bereitgestellt		

### 4.3 Datenbeschaffung und -aufbereitung

Kriterium	Relevant	Vorhanden / Erfüllt
Daten für die Modellerstellung und die Experimentdurchführung bereitgestellt		
Ablauf-/Modell- oder Systembeschreibung vorhanden		
Plausibilisierung der numerischen Eingangsdaten erfolgt		
Plausibilisierung der qualitativen Eingangsdaten erfolgt		
(Modellierungs-)Prämissen sind beschrieben und abgestimmt		

### 4.4 Modellierung

Kriterium	Relevant	Vorhanden / Erfüllt
Modellierung in spezifizierter Sprache und entsprechend der projektspezifischen Vorgaben erfolgt		
Geforderte Namenskonvention sind eingehalten		
Dokumentation der Modellierung vorhanden		
Quelltext ausreichend und in spezifizierter Sprache dokumentiert		
Funktionen / Prozeduren / Methoden sind mit Informationen zum Aufruf, zu übergebenen Parametern und zum Ersteller zu kommentieren		
Keine Parametrierung im Quelltext vorgenommen		

### 4.5 Verifikation und Validierung

Kriterium	Relevant	Vorhanden / Erfüllt
Das Modell läuft ohne Blockaden		
Die Simulation liefert bei der Nachbildung berechenbarer Grenzfälle das statisch bestimmbare Ergebnis		
Ergebnisse der Simulation entsprechen vergleichbaren Werten der Realität		
Die Simulationsergebnisse sind reproduzierbar		

## 4.6 Experimente

Kriterium	Relevant	Vorhanden / Erfüllt
Die Einschwingphase ist berücksichtigt		
Die Laufzeit des Modells ist richtig gewählt		
Die Ergebnisse sind statistisch abgesichert, Nachweis über z. B. Variationskoeffizienten erfolgt		
Ergebnisse sind reproduzierbar		
Bei Mittelwerten ist das Konfidenzintervall ausgewiesen		

## 4.7 Dokumentation

Kriterium	Relevant	Vorhanden / Erfüllt
Dokumentation der Projektdefinition und des Projektverlaufs übergeben		
Dokumentation der (Modellierungs-) Prämissen übergeben		
Modellbeschreibung (inkl. Änderungen an Standardbausteinen) übergeben		
Dokumentation der Parametervariationen und der Experimentergebnisse übergeben		
Projektpräsentationen übergeben		
Kontaktpersonen sind in den Dokumenten genannt		
Vorgaben zur Dokumentation und Präsentation sind eingehalten		

## 5 Anhang: Detailliertes Projektablaufdiagramm

