

Ausführungsanweisung Ablaufsimulation in der Automobil- und Automobilzulieferindustrie

Version:

2.6

Stand:

18.04.2016

Verfasser:

VDA AG Ablaufsimulation

E-Mail: info@vda-ablaufsimulation.de

Kontaktdaten:

Name	Unternehmen	Telefon	Email
Georg Mehlig	Adam Opel AG	+49-6142-7-55134	georg.mehlig@de.opel.com
Matthias Clausing	Audi AG	+49-841-89-46989	matthias.clausing@audi.de
Gottfried Mayer	BMW Group	+49-89-382-27127	gottfried.mayer@bmw.de
Jasmin Pennicke	Daimler AG	+49-711-17-30411	jasmin.pennicke@daimler.com
Carsten Pöge	Volkswagen AG	+49-5361-9-39327	carsten.poege@volkswagen.de
Martin Stärz	ZF Friedrichshafen AG	+49-7541-77-3682	martin.staerz@zf.com

oder unter: <http://www.vda-ablaufsimulation.de>

1 Inhaltsverzeichnis

1 Inhaltsverzeichnis	3
2 Zweck der Ausführungsanweisung.....	6
2.1 Abgrenzung gegenüber auftraggeber- und projekt-spezifischen Dokumenten	7
2.2 Änderungsdienst	7
2.3 Aufgabe der Ablaufsimulation.....	9
2.4 Abnahme von Simulationsstudien durch den Auftraggeber	9
3 Standard-Projektablauf	10
3.1 Allgemeine Darstellung Projektablauf.....	11
3.2 Aufgabenstellung	11
3.2.1 Aufgabenstellung in planungsbegleitenden Simulationsstudien	11
3.2.2 Simulationsstudien zur Unterstützung des laufendes Betriebs	12
3.3 Auftragsvergabe.....	12
3.4 Terminplan	12
3.5 Definition der Zielgrößen / Zielfunktionen.....	12
3.6 Systemanalyse, Datenbeschaffung und -aufbereitung.....	12
3.7 Validierung der Daten	13
3.8 Prämissenabstimmung	13
3.9 Konzepterstellung, Pflichtenheft	13
3.10 Modellierung	13
3.11 Modellverifizierung	14
3.12 Modellvalidierung	14
3.13 Durchführung von Experimenten, Optimierung	16
3.14 Auswertung	16
3.15 Dokumentation / Übersichtsblatt / Ergebnisaufbereitung	17
3.16 Datenrückführung	17
4 Modellierung und Programmierung	18
4.1 Grundsätzliches	18
4.2 Simulationssystem Plant Simulation.....	18
4.2.1 Allgemeines	18
4.2.2 Strukturierung	19

4.2.3	Datenverwaltung	21
4.2.4	Netzwerke	22
4.2.5	Farben und Symbole	23
4.2.6	Aufrufdokumentation.....	24
4.2.7	Methodenprogrammierung	25
5	Planungsbegleitende Simulation im Karosseriebau	26
5.1	Abweichungen von den Vorgaben.....	26
5.2	Verbindlichkeit von Lastenheften.....	26
5.3	Aufgabenstellung	26
5.4	Simulationsmodell.....	27
5.4.1	Detaillierung	27
5.4.2	Modellierung	28
5.4.3	Statistiken	31
6	Planungsbegleitende Simulation im Bereich Oberfläche	32
6.1	Abweichungen von den Vorgaben.....	32
6.2	Verbindlichkeit von Lastenheften.....	32
6.3	Aufgabenstellung	32
6.4	Simulationsmodell.....	33
6.4.1	Detaillierung	33
6.4.2	Modellierung	34
6.4.3	Statistiken	37
7	Planungsbegleitende Simulation im Bereich Montage	38
7.1	Abweichungen von den Vorgaben.....	38
7.2	Verbindlichkeit von Lastenheften.....	38
7.3	Aufgabenstellung	38
7.4	Simulationsmodell.....	39
7.4.1	Detaillierung	39
7.4.2	Modellierung	40
7.4.3	Statistiken	42
8	Planungsbegleitende Simulation in Logistikprojekten	43
8.1	Abweichungen von den Vorgaben.....	43
8.2	Verbindlichkeit von Lastenheften.....	43
8.3	Aufgabenstellung	43

9	Werkssimulation	44
9.1	Abweichungen von den Vorgaben	44
9.2	Verbindlichkeit von Lastenheften	44
9.3	Aufgabenstellung bzw. Untersuchungsziele	44
9.3.1	Bestimmung von Entkopplungsgrößen zwischen Gewerken	44
9.3.2	Untersuchungen im Zusammenhang mit der Auftragssteuerung	45
9.4	Simulationsmodell	45
9.4.1	Auftragslisten	46
9.4.2	Modellierung	47
9.4.3	Statistiken	49
10	Anhang	51
10.1	Abkürzungen	51
10.2	Begrifflichkeiten	52

2 Zweck der Ausführungsanweisung

Diese Ausführungsanweisung dient als anwendungs- und technologieübergreifende Richtlinie für interne und externe Simulationsprojekte. Sie dient als Grundlage für die Leistungsabnahme und umfasst:

- die Festlegung allgemeiner, organisatorischer und EDV-technischer Richtlinien,
- den Standardablauf für Simulationsprojekte sowie Richtlinien zur Durchführung von Simulationsstudien,
- die Anforderungen an die Qualität und dessen Management,
- die globalen, nicht projektspezifischen Eingangsdaten und Anforderungen,
- die Anforderung an die Daten sowie deren Verwaltung und Validierung,
- die Anforderungen an Simulationsmodelle und deren Validierung,
- die Grundsätze der Modellierung und Programmierung,
- die Anforderungen an Experimentdesign und Auswertung.

Basis der Ausführungsanweisung ist die VDI Richtlinie 3633. Die VDI Richtlinie ist für Auftraggeber sowie Auftragnehmer verbindlich.ⁱ

Die Ausführungsanweisung wird durch weitere auftraggeberspezifische bzw. projektspezifische Dokumente ergänzt.

ⁱ Verein Deutscher Ingenieure: VDI 3633, Blatt 1, Ablaufsimulation von Logistik- Materialfluss- und Produktionssystemen; Grundlagen, Dezember 1993

Verein Deutscher Ingenieure: VDI 3633, Blatt 2, Lastenheft/Pflichtenheft und Leistungsbeschreibung für die Simulationsstudie; Dezember 1997

Verein Deutscher Ingenieure: VDI 3633, Blatt 5, Integration der Simulation in die betrieblichen Abläufe, Oktober 1997

2.1 Abgrenzung gegenüber auftraggeber- und projekt-spezifischen Dokumenten

Bei einzelnen Projekten kann es notwendig sein, die allgemeinen Angaben in diesem Dokument zu ergänzen oder zu spezifizieren. Sollten sich Angaben in den Dokumenten widersprechen, so sind die Angaben im auftraggeberspezifischen Teil bzw. im Lastenheft bindend.

2.2 Änderungsdienst

Änderungen an Form und Inhalt dieser Ausführungsanweisung werden ausschließlich durch die zuständigen Gremien des VDA vorgenommen. Anmerkungen und Änderungsvorschläge sind an den Auftraggeber zu richten. Dieser kann sie über die Kontaktperson der AG „Ablaufsimulation“ als Änderungswunsch einstellen.

Verfasser	Telefon	Email
VDA AG Ablaufsimulation		info@vda-ablaufsimulation.de
Carsten Pöge	+49-5361-9-39327	carsten.poege@volkswagen.de

Tabelle 1: Übersicht der Verfasser von Änderungen

	Kapitel	S.	Änderungsgrund	Änderungsinhalt	V.	Datum	Bearbeiter
1	Alle	Alle	Einbindung Zulieferer	OEM durch AG ersetzt		24.09.07	
2	5.3	39 ff	Einbindung Zulieferer	Spalte ZF ergänzt		24.09.07	
3	4.4.2 u. 5.2	30 ff u. 39	Unterschiedliche Handhabung von Störungen	Störungen je Station oder je Schutzkreis verwenden		24.09.07	
4	5.3.3	42	Projektordnerstruktur ändern	Bild ausgetauscht		24.09.07	
5	Alle	Alle	diverse Änderungen auf Basis VDA Treffen 18.09.07			24.09.07	
6	2.13		Änderungswunsch T. Rooks, Daimler	Einbinden Vertrauensintervall, Fußnote Literaturhinweis		24.09.2007	
7	7.2		Erweiterung des Dokuments	Ergänzung neuer Begriffe	V1	29.11.2007	
8	5		Kapitelergänzung	lackspezifische Umfänge	V1.	29.11.2007	
9	6		Kapitelergänzung	Werkssimulation	V1	29.11.2007	
10	Alle	Alle	diverse Änderungen auf Basis VDA Treffen 03.06.08-04.06.08		V2	06.11.2008	
11	7	38ff	Kapitelergänzung	montagespezifische Umfänge	V2.1	04.02.2009	Pöge
12	0	2	Wechsel Ansprechpartner Daimler	Neuer Ansprechpartner eingefügt	V2.2	02.12.2009	Pöge
13	0	2	Wechsel Ansprechpartner Opel	Ansprechpartner ersetzt	V2.3	16.06.2010	Pöge
14	0	2	Neue Internet Adressen	Links geändert	V2.3	16.06.2010	Pöge
15	2.4	8	Fehlerkorrektur	Namen der Dokumente korrigiert	V2.3	16.06.2010	Pöge
16	4.2.4.2	22	Beschluß VDA Treffen vom 4.3.2010, Konformität zum VDA Automotive Bausteinkasten	Kapitel 4.2.4.2 zur Benennung von Variablen angepaßt	V2.3	16.06.2010	Pöge

	Kapitel	S.	Änderungsgrund	Änderungsinhalt	V.	Datum	Bearbeiter
17	4.3	25	Beschluß VDA Treffen vom 16.6.2010	Kapitel 4.3 über Witness entfernt	V2.3	16.06.2010	Pöge
18	0	2	Änderungen in Kontaktdaten von Opel, Daimler, Volkswagen	Neue Kontaktdaten ergänzt	V2.4	16.02.2012	Pöge
19	4.2.2	20	Umstieg Bibliothekskonzept	Bild der Struktur der Klassenbibliothek angepaßt	V2.5	16.02.2013	Pöge
20	4.2.7.1	25	Beschluß VDA Treffen 14.3.2012	Vorgabe Methodenheader	V2.5	22.02.2013	Clausing
21	0	2	Neuer Ansprechpartner bei Daimler	Neue Kontaktdaten ergänzt	V2.6	10.06.2015	Pöge
22	10.2	52	Beschluß VDA Treffen 12.3.2015	Beschreibung Verwirbelung angepaßt	V2.6	10.06.2015	Pöge
23	10.2	58	Beschluß VDA Treffen 12.3.2015	Formel Stand Alone Availability (SAA) korrigiert	V2.6	10.06.2015	Pöge
24	10.2	56	Beschluß VDA Treffen 2.3.2016	Beschreibung GAE (OEE) angepaßt	V2.6	18.04.2016	Pöge

Nr. = Lfd. Nummer

S. = Seitenzahl

V. = Ausgabestand der Änderung (Dokument)

Tabelle 2: Änderungshistorie

2.3 Aufgabe der Ablaufsimulation

Die Simulation wird bei der Analyse und Planung von komplexen Produktions- und Logistiksystemen planungsbegleitend eingesetzt. Sie berücksichtigt den Einfluss stochastischer Größen auf den untersuchten Prozess. Die Aufgabe der Simulationsstudie besteht in der Absicherung von Planungsständen oder der Optimierung des betrachteten Prozesses unter Berücksichtigung definierter Zielgrößen. Je nach Aufgabenstellung sind dies sehr unterschiedliche Kennzahlen.

Ein Einsatz der Ablaufsimulation ist in der Regel dann gerechtfertigt, wenn analytisch-mathematische Berechnungen keine Lösung zulassen.

Weitergehend findet die Ablaufsimulation Anwendung in der Unterstützung der Steuerung der laufenden Produktion auf Basis von aktuellen Prozessdaten. Die hier anfallenden Anforderungen unterscheiden sich von denen planungsbegleitender Simulationsstudien und sind aktuell nicht Bestandteil der Ausführungsanweisung.

2.4 Abnahme von Simulationsstudien durch den Auftraggeber

Die Anforderungen an eine Simulationsstudie können für jeden Auftraggeber sowie projektabhängig variieren, siehe hierzu etwaige auftraggeber- und projektspezifische Dokumente.

Grundsätzlich gilt jedoch: Die Simulationsstudie gilt als abgenommen, wenn alle Richtlinien und Vorgaben eingehalten und die Ergebnisse im Rahmen der Präsentation durch den Auftraggeber akzeptiert worden sind. Die Richtlinien und Vorgaben sind schriftlich in folgenden Dokumenten festgehalten:

- „Ausführungsanweisung Ablaufsimulation in der Automobil- und Automobilzulieferindustrie“.
- Zusatzdokument „Auftraggeberspezifische Ergänzungen zur Ausführungsanweisung Ablaufsimulation in der Automobil- und Automobilzulieferindustrie“.
- Zusatzdokument „Projektspezifisches Lastenheft“.

Dient die Simulationsstudie durch einen Anlagenlieferanten zur Absicherung geplanter Investitionen und wurde sie nicht durch den Auftraggeber akzeptiert, so handelt der Auftragnehmer in allen Belangen auf eigene Kosten und auf eigenes Risiko, um das Erreichen der geforderten Kennzahlen zu gewährleisten.

3 Standard-Projektablauf

Die angefragten Ablaufsimulationen haben mit dem in den unternehmens-/ und projektspezifischen Dokumenten spezifizierten Simulationssystem zu erfolgen.

Sind zur Durchführung von Ablaufsimulationen im Einzelfall Abweichungen von den Vorgaben dieser Ausführungsanweisung notwendig, so hat in jedem Fall eine Abstimmung mit dem Auftraggeber stattzufinden. Zusätzliche Vereinbarungen bedürfen der Schriftform.

Der Auftragnehmer analysiert die Aufgabenstellung und macht auf Basis eines groben Durchführungsplans, unter Berücksichtigung folgender Projektschritte, eine Aufwands- und Kostenanalyse:

- Fixierung des Leistungsumfangs, Projektplan, Festlegung der benötigten Daten,
- Systemanalyse und Daten-Akquisition,
- Verifizierung und Validierung der erhaltenen Daten und Informationen,
- Konzept- bzw. Pflichtenhefterstellung in Schriftform,
- Abnahme durch den Auftraggeber,
- Aufbau des Simulationsmodells, evtl. Programmierung,
- Verifizierung und Validierung des Simulationsmodells,
- Simulationsläufe durchführen und Statistikdaten sammeln,
- Ergebnisse analysieren, evtl. Optimierungsschleifen durchführen,
- Ergebnisse dokumentieren und präsentieren,
- Abnahme durch den Auftraggeber und Lieferung der spezifizierten Dokumente und Modelle.

Je nach Projekt und Spezifikation sind nicht immer alle Schritte notwendig.

3.1 Allgemeine Darstellung Projektablauf

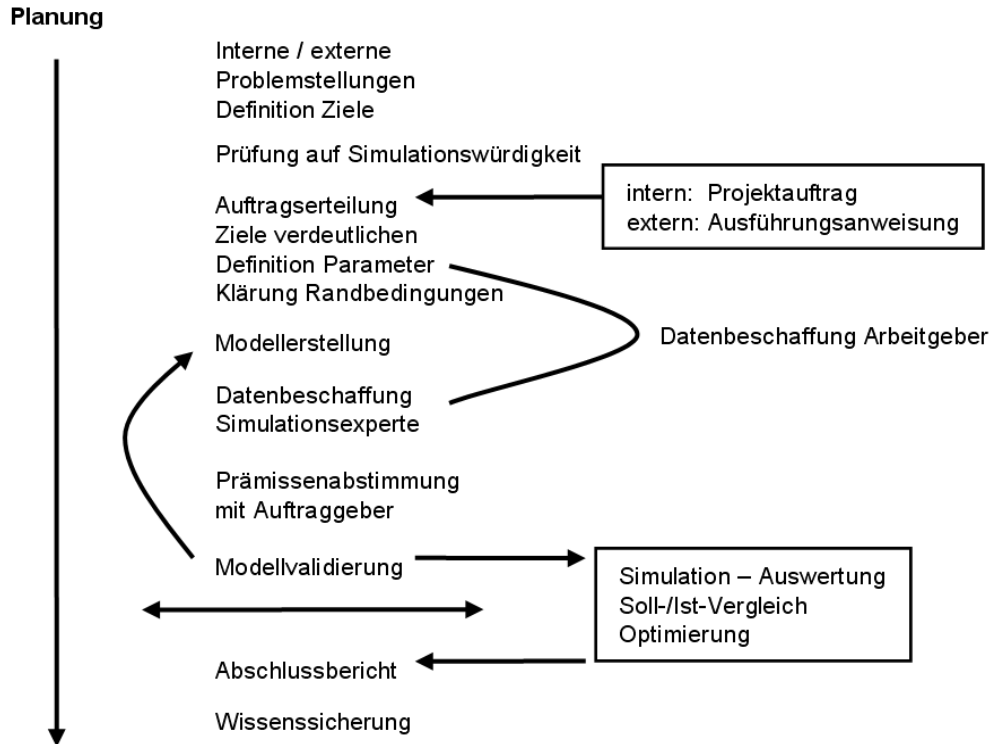


Abbildung 1: Standardprojektablauf

Für eine detailliertere Darstellung sei auf das durch die Fachgruppe 4.5.6 der Arbeitsgemeinschaft Simulation (ASIM), Simulation in Produktion und Logistik, erstellte Buch zur Planung und Durchführung von Simulationsstudien verwiesen.ⁱⁱ

3.2 Aufgabenstellung

Diese Ausführungsanweisung beschreibt verbindlich die grundlegenden Anforderungen an Aufbau und Durchführung von Simulationsstudien aus Sicht des Auftraggebers.

3.2.1 Aufgabenstellung in planungsbegleitenden Simulationsstudien

Die Simulationsstudien sind planungsbegleitend durchzuführen, d.h. die verschiedenen Planungsstände im Planungsablauf sind durch Simulationen kontinuierlich abzusichern.

ⁱⁱ Qualitätskriterien für die Simulation in Produktion und Logistik, S. Wenzel, M. Weiß, S. Collisi-Böhmer, H. Pitsch, O. Rose; Springer Verlag 2008

Die schon während der Modellerstellung erkannten Engpässe sind umgehend dem Auftraggeber aufzuzeigen.

Am Ende des Projektes erfolgt die Dokumentation und Präsentation der Ergebnisse.

3.2.2 Simulationsstudien zur Unterstützung des laufendes Betriebs

<derzeit noch nicht spezifiziert>

3.3 Auftragsvergabe

Die Auftragsvergabe erfolgt durch die zuständige Abteilung, welche die zu untersuchenden Fragestellungen vorab definiert. Es sind Abstimmgespräche zwischen Auftraggeber und Auftragnehmer im Vorfeld nötig. Eine Zusammenfassung der Gespräche und mögliche Vereinbarungen sind in Protokollen festzuhalten. Zu Beginn des Projektes ist ein Projektverantwortlicher vom Auftragnehmer festzulegen und dem Auftraggeber mitzuteilen. Dieser koordiniert während der gesamten Projektlaufzeit die Kapazitäten und steht dem Auftraggeber als Ansprechpartner zur Verfügung. Für die externe Vergabe ist die Erstellung einer projektbezogenen Ausführungsanweisung (Pflichten- bzw. Lastenheft) nötig.

3.4 Terminplan

Vor Beginn der Studie ist ein Terminplan inklusive Meilensteine mit Auftraggeber und Auftragnehmer festzulegen, falls dieser nicht bereits im Lastenheft definiert ist.

3.5 Definition der Zielgrößen / Zielfunktionen

Die genauen Ziele und Zielgrößen sind durch den Auftraggeber im auftraggeberspezifischen bzw. im projektspezifischen Lastenheft zu definieren. Ziel der Untersuchung ist es, ausgehend von einem Grundmodell über Variation von Prozessparametern eine Parameterkonfiguration zu finden, in der vorgegebenen Kenngrößen optimiert werden. Für Neuplanungen sind Planzahlen und geforderte Leistungsgrößen zu definieren.

3.6 Systemanalyse, Datenbeschaffung und -aufbereitung

Der Auftraggeber ist für die Richtigkeit und Vollständigkeit der zu liefernden Daten verantwortlich. Die Art und Aufbereitung der Daten müssen in der projektspezifischen

Ausführungsanweisung festgelegt werden. Der Auftraggeber stellt einen Ansprechpartner zur Verfügung, über den die Daten bereitzustellen sind.

3.7 Validierung der Daten

Wichtiger Bestandteil der Validierung ist eine eingehende Überprüfung der Eingabedaten (Plausibilitäts-Check). Widersprüchliche Daten sind dem Auftraggeber frühzeitig mitzuteilen.

3.8 Prämissenabstimmung

Die Prämissen werden für jede Simulationsstudie im projektspezifischen Dokument durch den Auftraggeber festgelegt. Sollten diese nicht vollständig oder fehlerhaft sein, so sind ergänzende oder abweichende Prämissen separat mit dem Auftraggeber abzustimmen. Die abgestimmten Größen sind schriftlich festzuhalten. Im Allgemeinen sind die Prämissen projektabhängig.

3.9 Konzepterstellung, Pflichtenheft

Grundsätzlich ist der Modellierung die Entwicklung eines Gedankenmodells vorzuschalten. Bei Erstellung komplexerer Modelle wird empfohlen, eine Modellbeschreibung im Sinne eines IT-Pflichtenhefts zu erstellen. Dieses wird mit dem Auftraggeber abgesprochen und dient nach Freigabe durch den Auftraggeber als Grundlage für die Modellierung.

Ob im spezifischen Projekt eine Modellbeschreibung gefordert wird, legt der Auftraggeber im projektspezifischen Lastenheft fest.

3.10 Modellierung

Folgende Grundsätze sind bei der Modellierung einzuhalten:

- es ist die in den unternehmens-/ und projektspezifischen Dokumenten vorgeschriebene Software des Auftraggebers zu verwenden,
- das in den unternehmens-/ und projektspezifischen Dokumenten vorgeschriebene Referenzmodell ist zu verwenden. Für Prozesse, die sich nicht mit Elementen des Referenzmodells abbilden lassen, kann der Auftragnehmer eigene Elemente verwenden bzw. neue modellieren,
- Abbildung aller zufallsabhängigen Größen durch eigene Zufallszahlenströme, zentrale Verwaltung der Zufallszahlenströme,
- zentrale Datenhaltung aller Parameter,

- zentrale Erfassung aller Statistikwerte,
- Verdeutlichung des Objektbezugs durch sinnvolle Namensgebung,
- keine verschlüsselten Methoden, Prozeduren, Funktionen usw.,
- keine eigenen Referenzmodelle außer nach Rücksprache mit dem Auftraggeber,
- Verwendung lizenzpflichtiger Komponenten nur nach Rücksprache mit dem Auftraggeber.
- zielorientierter Visualisierungsgrad der Abläufe.

3.11 Modellverifizierung

Die Modellverifizierung dient der Überprüfung der implementierten Logiken und Steuerungsabläufen. Dies geschieht beispielsweise anhand animierter Simulationsläufe oder mit Hilfe einer Sensitivitätsanalyse, in der als Startparametersatz ein störungsfreies Verhalten (100% Verfügbarkeit) vorgegeben wird:

Ein deterministisches Modell liefert bei festgelegten Eingabewerten ein bestimmtes Ergebnis. In einer Sensitivitätsanalyse wird die Ergebnisänderung in Relation zur Änderung der Eingangswerte ermittelt. Aufgeschlüsselt nach Eingabewerten, kann so der „sensitivste“, und damit in der näheren Umgebung des betrachteten Ergebnisses entscheidende Eingabewert ermittelt werden.

Darüber hinaus ist sicherzustellen, dass die technischen Parameterwerte richtig eingestellt sind und das Input/Output-Verhalten wirklich von den Systemparametern und nicht nur von Zufallsprozessen abhängt.

3.12 Modellvalidierung

Die Modellvalidierung dient zur Prüfung, ob das zu untersuchende Verhalten der bereits existierenden bzw. geplanten Anlage oder Fördertechnik im Simulationsmodell mit hinreichender Genauigkeit abgebildet wird. Dies gilt insbesondere hinsichtlich der korrekt abstrahierten Abbildung von Steuerungen, stochastischen Daten, Schutzkreisen, Kapazitäten usw. Bei einer bereits bestehenden Anlage werden die Werte der Simulation mit den realen Betriebsdaten abgeglichen. Bei Neuplanungen ist ein Gespräch zwischen Auftraggeber und Auftragnehmer nötig, um das Modell und seine Gültigkeit zu überprüfen. Empfehlungen zur Validierung sind u.a. der VDI-Richtlinie 3633, Blatt 1 zu entnehmen die hier auszugsweise wiedergegeben werden:

- Die Modellüberprüfung ist problemspezifisch vorzunehmen. Je nach Art des Simulationsprojektes sind individuelle Analysen hinsichtlich vorgegebener Zielwerte, Eckdaten und Plausibilitätstests durchzuführen.

- Bei der Simulation von bereits existierenden Systemen liegt es nahe, zur Validierung die erhaltenen Ergebnisse mit den Ist-Daten zu vergleichen. Bei Neuplanungen, die nicht auf vergleichbare Ist-Daten zurückgreifen können, ist eine entsprechende Erfahrung und Qualifikation des Anwenders (Simulationsexperte) zur Modellierung erforderlich. (Anmerkung: In diesem Fall ist die Zusammenarbeit zwischen Planer und Simulationsexperte von besonderer Bedeutung.)
- Bei der Validierung ist die visuelle Laufbetrachtung dynamischer Ablaufdarstellungen, insbesondere der Animation, hilfreich. Grundsätzliche Struktur- oder Parameterfehler können damit häufig schon am Bildschirm erkannt werden.
- Der Faktor Zeit, d.h. die Simulationsdauer und der Rücksetzzeitpunkt der Statistiken, spielt bei der Validierung eine erhebliche Rolle. Nicht jedes technische System ist zu Arbeitsbeginn leer, sondern Förderstrecken, Puffer, Arbeitsstationen und andere Komponenten des zu simulierenden Systems können bereits mit Objekten (Werkstücke, Transportmittel, usw.) belegt sein. Dieser Anfangszustand lässt sich durch eine Vorbelegung (Initialisierung) der betroffenen Bausteine im Modell oder durch einen Simulationsvorlauf herstellen. Um die Gesamtstabilität eines Modells bewerten zu können, sollten durchaus auch über den eigentlichen Betrachtungszeitraum hinausgehende Simulationsläufe durchgeführt werden.
- Einschwingzeit: Ein Zustand ist eingeschwungen, wenn der Mittelwert der Zielkennzahlen der Beobachtungen dem Erwartungswert für unendlich viele Beobachtungen entspricht. Das Ende der Einschwingphase lässt sich durch eine Stabilisierung der Korrelation zwischen zwei zeitlich aufeinanderfolgenden Messwerten innerhalb eines Simulationslaufs identifizieren.
- Die konkrete Simulationsdauer ergibt sich aus der Abschätzung der Häufigkeit des Auftretens stochastischer Prozesse, z.B. Fehler einer Anlage. Dazu wird die für die Einschwingzeit gewählte Zeitreihe über einen langen Zeitraum auf eine vermutete Verteilung hin untersucht (z.B. Normalverteilung). Hierzu dient als Hilfsmittel der Chi-Quadrat-Test. Die minimale Anzahl der Werte der Zeitreihe wird mit Hilfe eines geeigneten Konfidenzintervalls (z.B. Sicherheitsniveau 95% oder 98%) und der Standardabweichung der Zeitreihe ermittelt. Siehe hierzu auch Kap. 3.13.
- Zur minimalen Simulationsdauer und zur minimalen Länge der Einschwingzeit existieren projektabhängige Vorgaben. Diese werden im

auftragsgeberspezifischen Teil definiert. Die Einschwingzeit wird in der Auswertung nicht betrachtet.

- Mit der Validierung werden System- und Modellverständnis erhöht und die Grundlage für die Qualität der späteren Simulationsergebnisse gelegt.

3.13 Durchführung von Experimenten, Optimierung

Im Vorfeld der Durchführung von Experimenten sind die zu variierenden Parameter in Absprache zwischen Auftraggeber und Auftragnehmer festzulegen, falls die Variationsgrößen nicht bereits im projektspezifischen Lastenheft festgelegt sind. Darüber hinaus ist zu vereinbaren, welche Zielgrößen mit welchem Faktor in die Zielfunktion eingehen. Das Ergebnis der Zielfunktion ist je nach Projekt zu minimieren bzw. zu maximieren.

Die Anzahl der Läufe je Experiment sind in Abhängigkeit des vorgegebenen Konfidenzintervalls (Vertrauensintervall) bzw. Konfidenzniveaus (Vertrauensniveau) zu wählen. Das Konfidenzintervall ist dasjenige Intervall, in welches der zu ermittelnde Wert (der wahre Wert, nicht der Mittelwert) mit der Wahrscheinlichkeit des Konfidenzniveaus (z. B. 90% oder 95% oder 99% usw.) fällt. Zur Berechnung des Intervalls und der Ermittlung der benötigten Anzahl Läufe, sei auf die einschlägige Literatur verwiesen.ⁱⁱⁱ

Darüber hinaus ist die Simulations- und Einschwingdauer der Experimente festzulegen. Dabei muss hinreichend untersucht werden, ob die Simulationsdauer lang genug gewählt wurde.

Erkannte Engpässe sind dem Auftraggeber unverzüglich mitzuteilen und Vorschläge zur Optimierung zu unterbreiten. Eine Interpretation der Ergebnisse sollte in Zusammenarbeit von Auftraggeber und Auftragnehmer erfolgen. Bei grundlegend neuen Erkenntnissen ist gegebenenfalls die Zielsetzung gemeinsam mit dem Auftraggeber zu präzisieren. Während der Phase der Neubewertung soll die Arbeit am Simulationsmodell ruhen.

3.14 Auswertung

Die in der Einschwingzeit erfassten Daten fließen nicht in die Ergebnisse ein. Ergebnisse sind zentral in Tabellen, globalen Variablen bzw. sonstigen Objekten zu erfassen, so dass sie leicht exportiert werden können. Mögliche Exportziele sind zum Beispiel Datenbanken oder Excel. Sie werden vom Auftraggeber vorgegeben.

ⁱⁱⁱ Taschenbuch der Statistik, Kapitel C 2.2.2 „Konfidenzintervalle“; Rinne H., Verlag Harri Deutsch, 3.Auflage 2003

Zudem sind Erkenntnisse aus der Simulation und gegebenenfalls Vorschläge zur Optimierung des Prozesses dem Auftraggeber mitzuteilen. Zusätzlich sind für die einzelnen Auftraggeber noch die in den unternehmens-/ und projektspezifischen Dokumenten genannten Auswertungen zu erstellen.

3.15 Dokumentation / Übersichtsblatt / Ergebnisaufbereitung

Die Dokumentation muss in der vom Auftraggeber festgelegten Sprache abgefasst werden. Änderungen sind mit dem Auftraggeber abzustimmen und ggf. zu protokollieren.

Folgende Punkte müssen in der Dokumentation enthalten sein:

- Ziel der Simulationsstudie,
- Randbedingungen, Prämissen, eventuell getroffene Einschränkungen oder Annahmen nicht bekannter Parameter inklusive Begründung,^{iv}
- Parameter und eine Übersicht der verwendeten Daten,
- Grobe Beschreibung der Struktur und Funktionsweise des Modells
- Bemerkungen zur Simulationsdurchführung,
- Ergebnisse, Vorschläge und Alternativen.

Die Ergebnisse sind im Rahmen einer Abschlusspräsentation mit einem lauffähigen, und gegebenenfalls animierten Simulationsmodell zu übergeben.

3.16 Datenrückführung

Grundsätzlich sind alle projektbezogenen Daten Eigentum des Auftraggebers. Alle Projektergebnisse werden vom Auftraggeber anhand einer Checkliste geprüft und abgenommen. Die Checkliste stellt der Auftraggeber dem Auftragnehmer zum Projektbeginn zur Verfügung. Eine ausführliche Dokumentation hat zu erfolgen und muss es dem Auftraggeber ermöglichen, Modelle in eigene Modelle zu integrieren. Alle Informationen müssen in unverschlüsselter Form und ohne Zugangsberechtigungen auf einem geeigneten Datenträger zur Verfügung gestellt werden. Der Datenversand erfolgt auf dem postalischen Weg. Nach Rücksprache mit dem Auftraggeber sind auch andere Wege realisierbar.

Die Verzeichnisstruktur ist für die jeweiligen Auftraggeber gemäß der unternehmens- und projektspezifischen Dokumente anzulegen.

^{iv}Taschenbuch der Statistik, Kapitel C 2.2.2 „Konfidenzintervalle“; Rinne H., Verlag Harri Deutsch, 3.Auflage 2003

4 Modellierung und Programmierung

4.1 Grundsätzliches

Der im Vorgehensmodell „Projekttablauf“, siehe Kapitel 3 Standard-Projekttablauf, beschriebene Punkt „Modellierung“ sollte insbesondere bei komplexeren Studien in die beim Softwareengineering üblichen Teilschritte untergliedert werden:

In der **ersten Modellierungsstufe**, auch als fachlicher Teil bezeichnet, wird ein formales Modell (Gedankenmodell) für den Auftraggeber bzw. Anwender entwickelt. Parallel dazu werden die Verantwortungsbereiche zwischen Planern, Anwendern und Betreibern geklärt.

In der **zweiten Modellierungsstufe** werden für die Programmierer Beschreibungsmethoden erstellt. Diese müssen unabhängig von der Programmiersprache sein. Die Darstellung erfolgt der Projektgröße entsprechend mit Programmablaufplänen, Pseudo-Code, Ablaufdiagrammen, oder ähnlichem.

Erst in der **dritten Modellierungsstufe** wird auf Basis des vom Auftraggeber freigegebenen formalen Modells und der Beschreibungsmethoden ein Simulationsmodell erstellt.

4.2 Simulationssystem Plant Simulation

4.2.1 Allgemeines

Es sind grundsätzlich „offene“ Bausteinkästen zu verwenden, d.h. keinerlei Modelle, Methoden oder sonstige Objekte dürfen verschlüsselt oder mit sonstigen Techniken geschützt sein. Einzusetzende Bausteinkästen werden vom Auftraggeber in den unternehmens-/ und projektspezifischen Dokumenten vorgegeben. Davon abweichende Standards, wie eigene Bausteinkästen des Auftragnehmers, müssen vom Projektleiter genehmigt werden.

Verwendung von Dialogboxen:

Zur Vereinfachung des Modellhandlings sind Plant Simulation Dialogfenster, insbesondere für Input- & Outputdaten sowie Steuerungen, zu verwenden. Abweichende Regelungen sind dem projektspezifischen Dokument zu entnehmen.

Sprache:

Modellierungssprache ist ab Plant Simulation Version 8.1 Englisch.

Bemerkung: Es kann vorkommen, dass ältere Bausteine noch in Deutsch erstellt wurden. Grundsätzlich gilt jedoch, dass alle Neuentwicklungen und Modellierungen ab Plant Simulation Version 8.1 in Englisch zu erfolgen haben.

Updatefähigkeit:

Alle Modelle müssen updatefähig erstellt werden (siehe Beschreibung zum VDA Automotive Bausteinkasten bzw. Aktualisierungsfunktion in Plant Simulation).

4.2.2 Strukturierung

Das Simulationsmodell ist sinnvoll zu strukturieren (Hierarchie, Erbfolge...). Für den Austausch von Simulationsmodellen und die Einarbeitung von unterschiedlichen Bearbeitern, Nutzern oder Anwendern ist eine standardisierte Modellstruktur unumgänglich. Hierdurch werden ebenfalls Kopplungen von verschiedenen Simulationsmodellen unterstützt. Die nachfolgend beschriebenen Punkte sind bei Verwendung des VDA Automotive Bausteinkastens sichergestellt.

Aufbau der Klassenbibliothek

Die Klassenbibliothek in der Software Plant Simulation zeigt die Struktur des Modells und soll durch verschiedene Ebenen strukturiert werden (siehe Abbildung 2). Die unterschiedlichen Ebenen werden durch den Aufbau der Klassenbibliothek, also der Ordnerstruktur gekennzeichnet.

Die Vorteile der vorgeschriebenen Ebenenstruktur liegen neben der Übersichtlichkeit der Modelle auch in der Unterstützung von automatischer Modellgenerierung, der Möglichkeit der Updatefähigkeit und der Kompatibilität mit anderen Modellen.

Experimentebene

In der Experimentebene werden Modelle (Ordner & Netzwerke) angelegt, die der Durchführung von Experimenten dienen, d.h. sie enthalten je einen Ereignisverwalter. In dieser Ebene können auch Testmodelle oder eigenständige Teilmodelle verwaltet werden. Alle verwendeten Daten werden in dieser Ebene verwaltet.

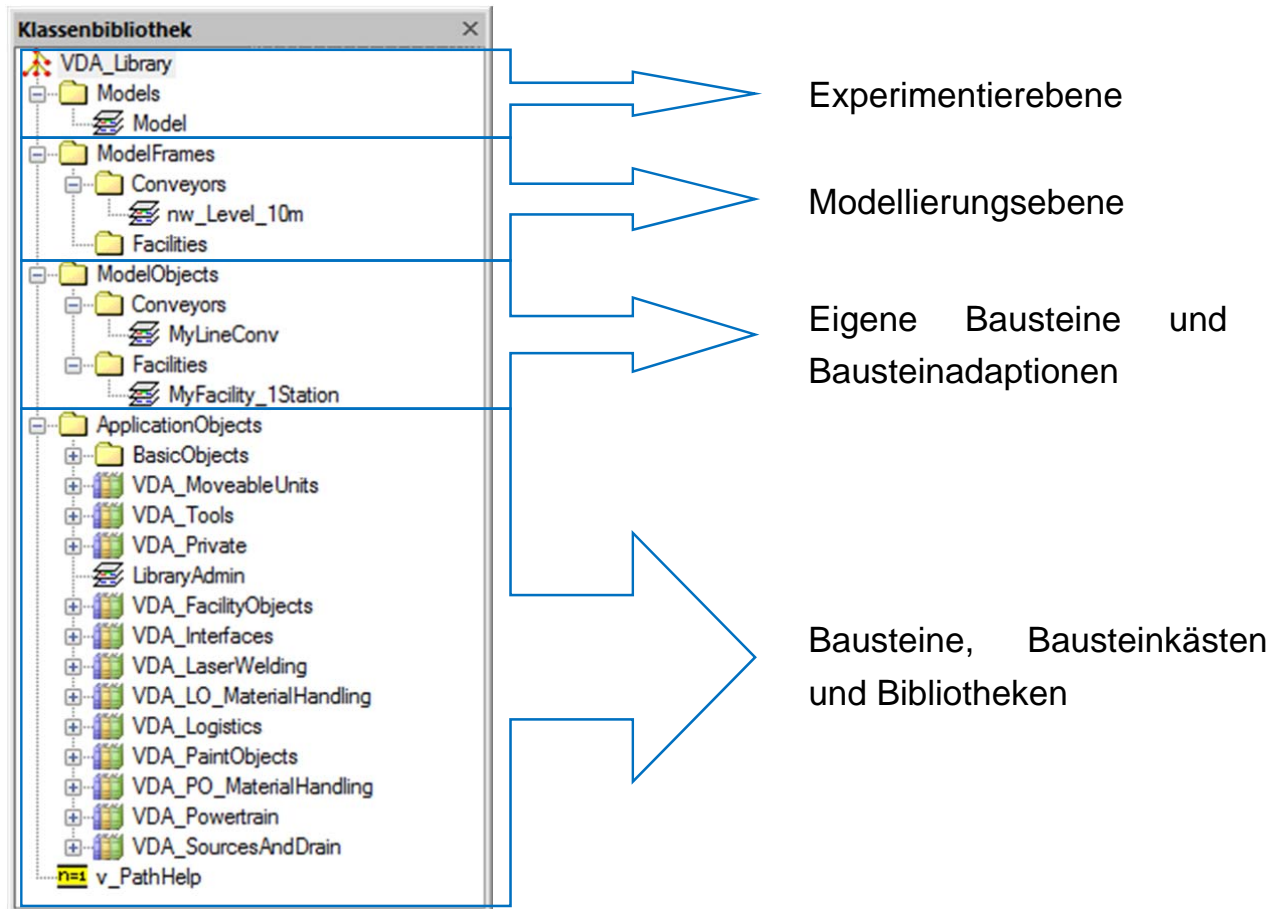


Abbildung 2: Beispielhafte Darstellung einer Klassenbibliothekstruktur

Modellierungsebene

In der Modellierungsebene werden die verwendeten Modelle, Teilmodelle, Netzwerke und Objekte aufgebaut.

Hier werden somit die Modellklassen erzeugt. Diese enthalten keinen Ereignisverwalter und es werden keine Daten in den Klassen gepflegt.

Eine Ausnahme bilden hier eigenständige Teilmodelle, die z.B. auch von externen Modellen als Objekte eingelesen, also zu- oder abgeschaltet werden können. Diese können somit ihre eigene „zentrale“ Datenhaltung enthalten.

Abweichungen von dieser Vorgehensweise sind nur möglich, wenn dies im auftragsgeberspezifischen Dokument festgehalten ist.

Bausteine und Bausteinkästen

In der Ebene für Bausteine und Bausteinkästen werden alle verwendeten Grundbausteine, sowie genutzte Klassenbausteine verwaltet. Diese Bausteine (Klassen) werden nicht parametrisiert, bzw. nur mit einer „Grundparametrisierung“ ausgerüstet. Die Modellierungsebene bedient sich aus den Bausteinen des abgeleiteten Bausteinkastens.

4.2.3 Datenverwaltung

Da es bei der Datenverwaltung und Parametrisierung in Simulationsmodellen vielfältige Möglichkeiten gibt, ist einer der wichtigsten Punkte beim Aufbau eines Modells die einheitliche und durchgängige Verwaltung jeglicher Daten und Parameter.

Um sowohl automatische Modellgenerierung als auch die Updatefähigkeit von Modellen und die Kompatibilität zu anderen Modellen zu gewährleisten, sind folgende Grundregeln einzuhalten:

- Bausteine und Modelle werden nicht parametrisiert, d.h. sie können zwar bei der Erstellung mit Daten befüllt sein (Attributwerte, Strukturdaten, Startwerte, etc.), aber die experimentbezogene Datenzuweisung erfolgt nicht über die Klasse sondern auf der Experimentierebene in den Instanzen.
- Alle Bausteine, die aktiv Daten verwalten, lesen oder schreiben stehen im Hauptnetzwerk auf der Experimentebene.
- Parameter dürfen nur in Tabellen und Variablen aber nicht in Methoden verwaltet werden.

Zur Umsetzung dieser Regeln wird empfohlen, je nach Umfang des Datenmanagements, ein eigenes Datennetzwerk im root-Modell zu nutzen oder eigene Netzwerke auf der Experimentierebene aufzubauen. Ziel ist es eine möglichst übersichtliche, zentrale Verwaltung der Simulationsdaten zu gewährleisten.

Die verwendeten Zufallszahlenströme sind Bestandteil der zentral zu verwaltenden Daten.

Zusammengefasst bedeutet dies ein „Zentrales Datenmanagement“ mit der Möglichkeit der „Bidirektionalen Parametrisierung“ (Möglichkeit zur wechselseitigen Aktualisierung

der parametrisierten Daten bei Änderungen im zentralen Verwaltungsnetzwerk oder in den Anlagen- und Materialflussbausteinen).

Abweichungen von dieser Vorgehensweise sind nur möglich, wenn dies im auftraggeberspezifischen Dokument festgehalten ist.

4.2.4 Netzwerke

Jedes Plant Simulation Modell besteht aus Netzwerken. Grundsätzlich gilt für den Aufbau dieser Netzwerke, dass jedes eingesetzte Netzwerk von seiner Struktur her selbsterklärend sein muss.

Folgende Bausteinarten können in Netzwerken verwendet werden und sollten deshalb gegliedert werden:

Informationsflussbausteine:

Methoden, Tabellen & Listen etc. (zur Steuerung). Insbesondere:

- Reset: Dient nur zum Zurücksetzen und Löschen von Zuständen,
- Init: Dient nur zum Herstellen eines Anfangszustandes (z.B. Datenbefüllung),
- globale Variablen (Netzwerkvariablen, -parameter oder -konstanten), einmalig durch den Nutzer parametrisierbar oder beim Simulationslauf verändernd. Alle Variablen müssen mit Kommentaren versehen sein.

Materialflussbausteine, Oberfläche, BEs:

Hiermit sind die Inhalte der Klassenbibliothek von Plant Simulation gemeint.

4.2.4.1 Anordnung der Bausteine

Folgende Bereiche sollten innerhalb eines Netzwerkes optisch voneinander getrennt werden:

- BE -Fluss inklusive Hintergrundlayout (falls vorhanden),
- Initialisierungsbereich (Reset / Init),
- Steuerungen, Methoden, Tabellen,
- Eingangs- und Ausgangsmethoden sollen logisch bei den zugehörigen Bausteinen liegen (auch Sensormethoden),
- die räumliche Anordnung der Bausteine folgt gemäß der Aufruffolge seitlich versetzt (Baumstruktur) unter Nutzung unterschiedlicher Symbolgrößen,
- Variablen, getrennt nach parametrisierbar und durch das Modell veränderbar (z.B. während eines Simulationslaufs).

4.2.4.2 Bausteinbenennung / Notation

Für die Bausteinbenennung sind „sprechende Namen“ zu verwenden, bei denen JedesNeueWort groß geschrieben wird.

Bei Verwendung von Informationsflussbausteinen ist dem eigentlichen Namen folgende Abkürzung des Bausteintyps voranzustellen:

Variable:	v_
Methode:	m_
Tabelle:	t_
Kommentar:	c_
Kartei (CardFile):	cf_
Stapel (StackFile):	sf_
Warteschlange (QueueFile):	qf_
Zeitleiste (TimeSequence):	ts_
Netzwerk:	nw_

Dies ist auch bei der Benennung von Variablen in Methoden zu berücksichtigen. Ausnahme können hier einfache Zählvariablen wie i oder j bilden. In Methoden ist übergebenen Parametern das Präfix „p_“ voranzustellen.

4.2.5 Farben und Symbole

Farben:

Bezüglich der verwendeten Modellierungsbausteine gelten folgende Farbkonventionen:

- **grün (dunkel):** Baustein, Methode oder Variable darf durch den User verändert werden (Benutzereingabe),
- **schwarz:** Standardfarbe, Systemparameter,
- **blau:** Kommentare,
- **rot:** nur zur Kennzeichnung von besonders wichtigen Bausteinen, Kommentaren, Hinweisen, etc. (Ampelfarbe).

Symbole:

Folgende Methoden-Symbole sind zu verwenden:

	Init		Eingangssteuerung
	Reset		Ausgangssteuerung
	Endsim		Schnittstellenmethode
	Fehlerhafte Methode		Manuell auszuführende Methode
	Standardmethode		Methode für Benutzer
	Geänderter Methodentext		Geänderte Benutzermethode

Abbildung 3: Übersicht Methodenbilder

Alle in grüner Farbe dargestellten Objekte, z.B. Variablen, Tabellen, Methoden usw., sind durch den Anwender veränder- bzw. parametrierbar.

4.2.6 Aufrufdokumentation

Ziel der Aufrufdokumentation ist die Nachvollziehbarkeit von Aufrufketten verschiedener Methoden. Ohne Öffnen aller Methoden soll eine Übersicht über die Programmkette möglich sein. Methoden können entsprechend ihrer Aufrufhierarchie geordnet sein; Methoden der gleichen Hierarchiestufe nebeneinander, mit niedrigerer Hierarchiestufe darunter.

Die verwendete Aufrufkette ist im Methodenkopf und alle Methoden, die als freie Attribute in Bausteinen verwendet werden, sind in einem Kommentar im entsprechenden Netzwerk zu dokumentieren.

4.2.7 Methodenprogrammierung

4.2.7.1 Methodenkopf

Alle Methoden sind mit folgendem Methodenkopf zu versehen:

```

-----
--|
--|
--|
--| Parameter   :
--| Return     :
--|
--| Called by   :
--| Calls      :

--| Date:           Author :           Comments (changes):
--|
-----

```

4.2.7.2 Methodendokumentation

Der Programmierer ist zu einer verständlichen und nachvollziehbaren Dokumentation verpflichtet.

4.2.7.3 Allgemeines zur Programmierung

Die Methoden sind möglichst schlank, kurz und strukturiert zu gestalten. Die Modularisierung geht vor Erstellung von verschachtelten, bedingten Anweisungen.

Die Modellierungssprache ist Englisch.

Die Parametrisierung (harte Codierung) von Experimentdaten in Methoden ist nicht erlaubt. Auf die Verwendung von „waituntil“, „repeat-wait-until“-Schleifen und des execute-Befehls ist wenn möglich, zu verzichten. Hier wird die Nutzung von Push-Pull-Kombinationen empfohlen, dies entspricht einer An- und Abmeldelogik.

In if then/inspect-Anweisungen endet ein letzter Zweig immer im debug-Befehl.

Zwischen Operanden und Variablen sind Leerzeichen zu setzen, Codeblöcke sind durch Trennzeichen zu kennzeichnen und Codeabsätze durch Leerzeilen zu trennen.

Im Allgemeinen ist die Standard-Formatierung (zum Beispiel Einrückungen bei bedingten Anweisungen) zu verwenden.

5 Planungsbegleitende Simulation im Karosseriebau

Dieser Abschnitt dient der weiteren Detaillierung der Anforderungen bei Projekten in der Karosseriebauplanung.

5.1 Abweichungen von den Vorgaben

Sind zur zielgerichteten Durchführung von Ablaufsimulationen im Einzelfall Abweichungen von den Vorgaben in dieser Ausführungsanweisung notwendig, so hat in jedem Fall eine Abstimmung mit dem Auftraggeber stattzufinden. Gegebenenfalls getroffene zusätzliche Vereinbarungen bedürfen der Schriftform.

5.2 Verbindlichkeit von Lastenheften

Basis für die Durchführung von Ablaufsimulationen ist neben dieser Ausführungsanweisung die auftraggeberspezifische Anweisung sowie das jeweilige projektspezifische Lastenheft.

5.3 Aufgabenstellung

Die Zielsetzung der Simulationsstudie im Karosseriebau liegt im Allgemeinen in einer möglichst kostenoptimalen Planung zur Erreichung der Soll-Ausbringung.

Die zu erreichenden Zielwerte werden im projektspezifischen Teil festgelegt.

Zudem sollen einzelne Fertigungsbereiche „stand alone“ simuliert werden, d.h., dass die Schnittstellen des zu betrachtenden Systems als immer aufnahmebereite Senken bzw. immer abgabebereite Quellen dargestellt werden. Der zu erreichende Durchsatz eines einzelnen Fertigungsbereiches SAT (Stand Alone Throughput) ist im projektspezifischen Teil definiert. Engpässe, die während der Simulationsstudie erkannt werden, sind dem Auftraggeber schnellstmöglich mitzuteilen.

Die Simulation kann Aussagen über folgende Punkte liefern (zur Definition der Kennzahlen siehe Kapitel 10.2):

- Ausbringung in Units per hour (Uph) der Gesamtanlage, evtl. typ- oder variantenabhängig,
- effektive Taktzeit,
- Gesamtanlageneffektivität GAE (OEE) bzw. Nutzungsgrad Gesamtanlage,
- Ausbringung des einzelnen Fertigungsbereichs (SAT) in Jobs per hour, evtl. typ- oder variantenabhängig,
- Nutzungsgrad des einzelnen Fertigungsbereichs,

- Aufteilung der Schutzbereiche,
- genutzte Kapazitäten der Puffer und der Entkopplungsstrecken,
- Anzahl benötigter Fördermittel, Werkstückträger, usw.,
- ggf. Aussagen zur Reihenfolge-/ Sequenzstabilität.

Weichen die Taktzeiten in verketteten Anlagen voneinander ab, so ist die den Berechnungen zugrunde liegende Taktzeit vom Auftraggeber vorzugeben.

Welche Zielgrößen auszuwerten sind, wird im projektspezifischen Teil festgelegt.

5.4 Simulationsmodell

Es ist die in den unternehmens-/ und projektspezifischen Dokumenten definierte Simulationssoftware zu nutzen. Darüber hinaus sind die vorgegebenen Referenzmodelle und Bausteinkästen zu verwenden.

5.4.1 Detaillierung

Der Abstraktionsgrad (Abbildungsgenauigkeit) ist abhängig von der Aufgabenstellung und vom Aufwand der Datenbeschaffung. Grundsätzlich soll die Modelltopologie dem Fertigungslayout entsprechen. Jede für den Materialfluss relevante Bearbeitungsstation bzw. Bauteilablage ist als Baustein aufzunehmen.

Einzelne Stationen in einem Schutzkreis müssen durch einzelne Bausteine abgebildet werden. Schutzkreise und deren Abhängigkeiten sind zu berücksichtigen. Ein geringerer Detaillierungsgrad sowie eine Modellierung auf „Schutzkreisebene“ bedürfen grundsätzlich der schriftlichen Zustimmung des Auftraggebers.

Alle Anlagen, Roboter (auch die, die Handhabungen durchführen) müssen berücksichtigt werden. Diese Plätze sind insbesondere bei Mixfertigungen oder „Leerfahren“ der Anlage zu berücksichtigen, um Blockaden vorherzusehen. Jedoch ist es bei einer Roboterfertigung nicht sinnvoll, jeden Roboter als individuelle Arbeitsstation darzustellen.

Untergruppenfertigungen, die über Behälter entkoppelt sind, werden in der Regel nur als Logistikeinflüsse in den Verfügbarkeiten berücksichtigt.

Schichtzeitmodelle und Pausenregelungen sind abzubilden.

Die Dauer der einzelnen Simulationsläufe ist mit dem Auftraggeber abzustimmen. Die Anzahl der Simulationsläufe für jedes Experiment richtet sich nach stochastisch ermittelten Sicherheiten.

Auf eine adäquate Abbildung der staufähigen und nicht staufähigen Förderer und Entkopplungsstrecken ist zu achten. Insbesondere ist das Störverhalten der Puffer und

der Fördertechnik so zu berücksichtigen, wie es dem Planungsstand oder der Realität entspricht.

Neben dem Gesamtmodell sind in vom Auftraggeber spezifizierte, in sich geschlossene Fertigungsbereiche stand alone, d.h. Quelle und Senke können den Bereich immer mit Teilen ver- bzw. entsorgen, zu untersuchen.

5.4.2 Modellierung

Nachfolgende Angaben geben Hilfestellung bei der Modellierung.

Organisatorische und logistische Einflüsse:

Explizit modellierte Produktionsmitarbeiter (Einlegewerker etc.) sind mit einer organisatorischen Verfügbarkeit behaftet. Diese darf nicht mit der technischen Verfügbarkeit eines Schutzkreises vermengt werden. Zur Dimensionierung der organisatorischen Verfügbarkeit des einzelnen Produktionsmitarbeiters und der Abbildung im Modell ist in jedem Falle der Simulationsexperte des Auftraggebers zu Rate zu ziehen. Die Details sind in den unternehmens-/ und projektspezifischen Dokumenten spezifiziert. Grundsätzlich ist bei einer detaillierten Abbildung von Werkern zu prüfen, in wiefern eine Abstimmung mit dem Betriebsrat erforderlich ist.

In der Regel ist Ausschuss zu berücksichtigen. Die Details sind in den unternehmens-/ und projektspezifischen Dokumenten spezifiziert.

Completely Knocked Down (CKD) und Semi Knocked Down (SKD) Fertigung sowie und Ersatzteilmfertigungen sind zu berücksichtigen (Änderungen vorbehalten). Die Details sind in den unternehmens-/ und projektspezifischen Dokumenten spezifiziert.

Das zugrundeliegende Arbeitszeitmodell muss implementiert werden. Die TPM-Zeiten (Total Productive Maintenance) werden im Simulationsmodell wie Pausen behandelt. Die Berücksichtigung von Kappenwechseln und -fräsen ist im projektspezifischen Dokument durch den Auftraggeber vorzugeben.

Können folgende Bedingungen nicht erfüllt werden, ist eine zusätzliche Verfügbarkeitsreduktion in Absprache mit dem Auftraggeber in der Simulation zu berücksichtigen:

- regelmäßige Durchführung von Wartungs- und Instandhaltungsarbeiten (TPM),

- leichte Zugänglichkeit zu den Anlagen (sowohl für die Bereitstellung von Behältern durch die Logistik als auch für die Instandhaltung),
- Möglichkeit des sofortigen Einschleusens von Ersatzteilen an Ausschleusstellen.

Störungen:

Da in der Regel mehrere Bearbeitungsstationen einer Anlage steuerungstechnisch zu einem Schutzkreis zusammengefasst werden, ist es erforderlich, dies in der Modellierung zu berücksichtigen. In der Umsetzung können grundsätzlich zwei unterschiedliche Ansätze verfolgt werden, die auftraggeber- bzw. projektspezifisch vorgegeben werden. Zum einen kann die Verfügbarkeiten jeder Einzelstation jeweils auf dem entsprechenden Stationselement aufgeprägt werden. Zum anderen kann die Gesamtverfügbarkeit des Schutzkreises stellvertretend einer Station des Schutzkreises im Simulationsmodell zugeordnet. Die übrigen Materialflussbausteine des Schutzkreises werden mit einer 100% Verfügbarkeit parametrisiert.

In beiden Fällen sind beim Eintreten eines Störereignisses alle Stationen des Schutzkreises zu deaktivieren und nach Ablauf der Störung wieder zu aktiviert.

Grundsätzlich sind die vom Auftraggeber zur Verfügung gestellten „Verfügbarkeitswerte auf Komponentenbasis“ zur Berechnung heranzuziehen.

Die Abbildung der Störungen hat über den Bezug „Arbeitszeit“ zu erfolgen. Die Verwendung des Bezugs „Simulations-“ oder „Einsatzzeit“ kann jedoch in einzelnen Projekten durch den Auftraggeber vorgeschrieben werden.

Die zu verwendenden Werte für die MTTR (Mean Time To Repair, Mean Time To Recover) und die MTBF (Mean Time Between Failure) sowie die einzusetzenden mathematischen Funktionen sind auftraggeberabhängig im projektspezifischen Dokument spezifiziert.

„Großstörungen“ werden nicht berücksichtigt, da von einem eingeschwungenen Normalbetrieb ausgegangen wird. Die Details, insbesondere ab welcher Störlänge diese abgeschnitten wird, sind projektspezifisch mit dem Auftraggeber abzustimmen.

Verfügbarkeiten:

Bei sehr komplexer Ausführung von Betriebsmitteln (z.B. Vorrichtungen) kann ggf. eine von der Norm verringerte Verfügbarkeit zugrunde gelegt werden. Hierzu bedarf es in jedem Fall der Zustimmung des Auftraggebers.

Bei der Verfügbarkeitskalkulation sind die vom Auftraggeber vorgegebenen Grundverfügbarkeiten der störbehafteten Betriebsmittel zu verwenden. Alle

Verfügbarkeitskalkulationen müssen schriftlich dokumentiert und parallel zum Simulationsmodell übergeben werden.

In bestimmten Konstellationen kann es sinnvoll sein, Verfügbarkeiten zu gewichten. Der Einsatz von Gewichtungsfaktoren ist unbedingt mit dem Auftraggeber abzusprechen. Mögliche Situationen sind beispielsweise:

- Für die Fertigung mehrerer Typen werden separate Vorrichtung oder separates Prozessequipment verwendet, wobei diese jeweils nur für einen speziellen Typen verwendet werden und nur eines von beiden im Einsatz sein kann.
- Prozesse, deren Umfänge weit unter den Prozesshauptzeit liegen,
- sehr lange Taktzeiten in Vergleich zu den Taktzeiten, auf den die Verfügbarkeitswerte basieren.

Alle Verfügbarkeitswerte sind Mittelwerte, die in der Praxis z.T. erheblichen Schwankungen unterliegen.

Die Verschrottung einzelner Teile aufgrund des Auftretens von Störungen einzelner Betriebsmittel und eine anschließende Qualifizierung der Anlage ist in der Regel nicht Bestandteil der Simulation. Abweichungen davon sind in den unternehmens-/ und projektspezifischen Dokumenten spezifiziert.

Fördertechnik und Entkopplungspuffer

In der Regel sind alle Förderer und Entkopplungspuffer staufähig auszulegen. Abweichungen sind zu dokumentieren. Förderer und Entkopplungsstrecken werden bei Pausen oder geplanten Stillständen nicht deaktiviert. Das Störverhalten der Puffer und Fördertechnik ist geeignet im Simulationsmodell zu berücksichtigen. Die Art und Weise der Modellierung ist mit dem Auftraggeber abzusprechen und zu dokumentieren.

Takt- und Bearbeitungszeiten:

Bei der Parametrisierung wird stets von der geplanten Taktzeit ausgegangen. In Sonderfällen kann bei kritischen Stationen die simulativ (Offline - Robotersimulation) ermittelte Taktzeit herangezogen werden. Dies ist jedoch nur in Abstimmung mit dem Auftraggeber zulässig.

Steuerstrategien:

Sämtliche Steuerungen, die Auswirkungen auf den Materialfluss haben, müssen möglichst realitätsnah abgebildet werden.

5.4.3 Statistiken

Die benötigten Statistiken zur Ermittlung der in Kapitel 5.3 beschriebenen Kennzahlen sind zentral im Simulationsmodell zu sammeln, um einen einfachen Export der Daten in ein externes Datenziel, wie eine Datenbank, zu erleichtern.

6 Planungsbegleitende Simulation im Bereich Oberfläche

Dieser Abschnitt dient der weiteren Detaillierung der Anforderungen bei Projekten in der Oberflächenplanung.

6.1 Abweichungen von den Vorgaben

Sind zur zielgerichteten Durchführung von Ablaufsimulationen im Einzelfall Abweichungen von den Vorgaben in dieser Ausführungsanweisung notwendig, so hat in jedem Fall eine Abstimmung mit dem Auftraggeber stattzufinden. Gegebenenfalls getroffene zusätzliche Vereinbarungen bedürfen der Schriftform.

6.2 Verbindlichkeit von Lastenheften

Basis für die Durchführung von Ablaufsimulationen ist neben dieser Ausführungsanweisung die auftraggeberspezifische Anweisung sowie das jeweilige projektbeschreibende Lastenheft.

6.3 Aufgabenstellung

Die Zielsetzung der Simulationsstudie liegt im Bereich Oberfläche im Allgemeinen in einer möglichst kostenoptimalen Planung zur Erreichung der Soll-Ausbringung und der Sicherstellung der Prozesse. Die zu erreichende Zielwerte werden im projektspezifischen Dokument festgelegt.

Die Simulation kann je nach Fragestellung Aussagen über folgende Punkte liefern (zur Definition der Kennzahlen siehe Kapitel 10.2):

- Ausbringung in Units per hour (Uph), evtl. typ- oder variantenabhängig.
- Anlagentaktzeiten,
- Gesamtanlageneffektivität GAE (OEE) bzw. Nutzungsgrad Gesamtanlage,
- Ausbringung des einzelnen Fertigungsbereichs (SAT) in Jobs per hour, evtl. typ- oder variantenabhängig,
- benötigte nutzbare Kapazitäten der Puffer (Leerziehspeicher, Sortierspeicher) und der Entkopplungsstrecken,
- Anzahl benötigter Förderhilfsmittel (Skids), Werkstückträger, etc.,
- ggf. Aussagen zur Reihenfolgestabilität/-sequenz,
- mittlere Farbblockgröße und Verteilung der Farbblockgrößen beim Einlauf in die Füller- und Decklackierstrassen, gemittelt über alle Farben und farbabhängig,
- Auslastung der Nacharbeitsarbeitsplätze: Mittelwert und Zeitverlauf,

- Einfluss der Nacharbeitsquoten auf den Durchsatz und die Auslastung der Arbeitsplätze,
- Durchlaufzeiten durch das Gesamtsystem und durch definierte Teilbereiche; Minimal-, Mittel- und Maximalwerte, sowie Histogramme,
- Karosserienhistorie.

Welche Punkte im Einzelnen auszuwerten sind, wird im projektspezifischen Teil festgelegt.

6.4 Simulationsmodell

Es ist die in den unternehmens-/ und projektspezifischen Dokumenten definierte Simulationssoftware zu nutzen. Darüber hinaus sind die vorgegebenen Referenzmodelle und Bausteinkästen zu verwenden.

6.4.1 Detaillierung

Der Abstraktionsgrad (Abbildungsgenauigkeit) ist abhängig von der Aufgabenstellung und vom Aufwand der Datenbeschaffung. Grundsätzlich soll die Modelltopologie dem Fertigungslayout entsprechen. In der Regel basieren Simulationsmodelle im Bereich (Oberfläche) auf Abbildung der Fördertechnik (Anlagen beinhalten immer Fördertechnik), wobei typischerweise jede Förder- bzw. Gebäudeebene in einem separaten Netzwerk abgebildet wird.

Zu untersuchende Bereiche, in denen die Zuführung der Karosserien zu Arbeitsplätzen zeitkritisch ist, sind detailliert auf Ebene einzelner Förderelemente abzubilden. Dies ist typischerweise im Bereich der Nacharbeit der Fall.

Einzelne Arbeitsstationen im Nacharbeitsbereich müssen durch einzelne Bausteine abgebildet werden. Schutzkreise und deren Abhängigkeiten sind zu berücksichtigen.

6.4.2 Modellierung

Nachfolgende Angaben geben Hilfestellung bei der Modellierung.

Organisatorische und logistische Einflüsse:

Die zugrundeliegenden Arbeitszeitmodelle müssen implementiert werden. Dies ist insbesondere wegen der aufeinander abgestuften Arbeitszeitmodelle und der Leerziehspeicher nach einzelnen Prozessschritten wichtig.

Reinigungszeiten sind über die Arbeitszeitmodelle wie Pausen abzubilden.

Die TPM-Zeiten (Total Productive Maintenance) werden im Simulationsmodell wie Pausen behandelt.

In der Regel ist Ausschuss zu berücksichtigen. Die Details sind in den unternehmens- und projektspezifischen Dokumenten beschrieben.

CKD- und SKD-Fertigung und Ersatzteilerfertigungen sind zu berücksichtigen (Änderungen vorbehalten). Die Details sind auftraggeberabhängig und in den projektspezifischen Dokumenten festgehalten.

Störungen und Verfügbarkeiten:

Die Anlagen (Vorbehandlung, Kathodische Tauchlackierung (KTL), Füllerstrasse, Decklackstrasse, ...), die in der Regel über Fördertechnikelemente abgebildet werden, sind grundsätzlich inklusive Störverhalten abzubilden. Im Falle verbindender Fördertechnik kann es sinnvoll sein, sich auf wichtige Knotenpunkte zu konzentrieren. Die Fördertechnikelemente, auch Elektrohängebahnen (EHB) oder Power and Free Systeme (P&F) des VDA Automotive Bausteinkastens, verfügen über einen eigenen Störmechanismus.

Die Abbildung der Störungen hat über den Bezug „Arbeitszeit“ bzw. wenn die Bausteine dies nicht zulassen über „Einsatzzeit“ zu erfolgen. Die Verwendung des Bezugs „Simulationszeit“ kann jedoch in einzelnen Projekten durch den Auftraggeber vorgeschrieben werden.

Die zu verwendenden Werte für die MTTR und die MTBF sowie die einzusetzenden Funktionen sind auftraggeberabhängig im projektspezifischen Dokument beschrieben. „Großstörungen“ werden nicht berücksichtigt, da von einem eingeschwungenen Normalbetrieb ausgegangen wird. Die Details, insbesondere ab welcher Störlänge diese abgeschnitten wird, sind projektspezifisch mit dem Auftraggeber abzustimmen.

Fördertechnik und Entkopplungspuffer:

In der Regel sind alle Förderer und Entkopplungspuffer staufähig auszulegen. Abweichungen sind zu dokumentieren. Förderer und Entkopplungsstrecken werden bei Pausen oder geplanten Stillständen nicht deaktiviert. Das Störverhalten der Puffer und der Fördertechnik ist geeignet im Simulationsmodell zu berücksichtigen. Die Art und Weise der Modellierung ist mit dem Auftraggeber abzusprechen und zu dokumentieren.

Förderhilfsmittel:

In der Regel sind die Skidkreisläufe inklusive Stapel- und Entstapelvorgängen abzubilden.

Lücke ziehen:

Farbwechsel im Füller und Decklack können durch verlängerte Taktzeiten bzw. verlängerten Taktabstand Taktverluste verursachen. Diese sind abzubilden, da sie den erreichbaren Durchsatz in Abhängigkeit von den Farbblockgrößen beeinflussen.

Speicher:

In Lackierereien spielen Leerzieh- und Sortierspeicher eine wichtige prozesstechnische Rolle und sind dementsprechend inklusive der Steuerung abzubilden.

Leerziehspeicher stellen die Entsorgung der Prozessstrassen sicher, können aber Reihenfolgeänderungen der Karosserien verursachen.

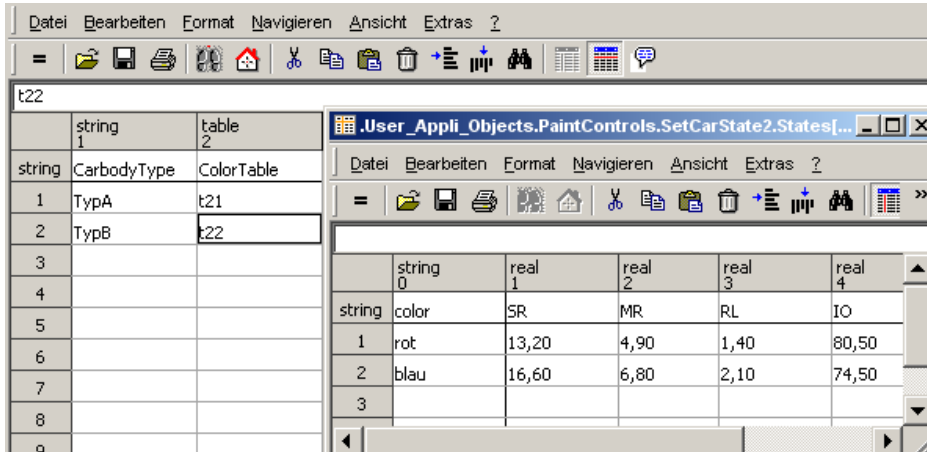
Sortierspeicher dienen in erster Linie zur Erzeugung möglichst großer Farbblöcke. Diese haben entscheidenden Einfluss auf den Durchsatz der Lackierstrassen und die Auslegung der Nacharbeitsbereiche.

Nacharbeitsbereiche:

Der Nacharbeitsbereich in Lackierereien ist von großer Bedeutung, da der Prozess in diesem Bereich aufgrund farbabhängiger Nacharbeitsquoten und -zeiten sehr dynamisch ist. Große Farbblöcke von Farben mit hoher Nacharbeitsrate führen zu temporär erhöhtem Nacharbeitsbedarf, so dass Karosserien häufig zwischengespeichert werden müssen, um Blockaden zu vermeiden. Bei langen Wegstrecken zwischen Speicher und Arbeitsplätzen ist zudem die rechtzeitige Zuführung der Karosserie zum Arbeitsplatz problematisch.

Die Nacharbeitsquoten im Simulationsmodell sind über einen statistischen Prozess abzubilden. Datengrundlage sind die in der Fertigung auftretenden Nacharbeitsquoten, die sowohl vom Fahrzeugtyp (optional) als auch von der Farbe abhängen (siehe

Abbildung 4). Wird der VDA Automotive Bausteinkasten verwendet so steht dem Anwender über den Baustein *SetCarState2* eine entsprechende Funktionalität zur Verfügung.



	string 1	table 2
	CarbodyType	ColorTable
1	TypA	t21
2	TypB	t22
3		
4		
5		
6		
7		
8		
9		

	string 0	real 1	real 2	real 3	real 4
	color	SR	MR	RL	IO
1	rot	13,20	4,90	1,40	80,50
2	blau	16,60	6,80	2,10	74,50
3					

Abbildung 4: Mögliche Datenstruktur Nacharbeitsquoten Lackiererei

Füllstandsüberwachungen:

In der Regel folgt auf eine oder mehrere Prozesslinien ein Leerziehspeicher. Dieser dient der Entsorgung der Prozesslinien zum Pausenbeginn, Schichtende oder bei Störungen nachfolgender Anlagen, um irreparable Schäden an den Karosserien durch eine Überschreitung der Prozesszeit zu vermeiden. Damit die Entsorgung immer sichergestellt werden kann, darf die Gesamtzahl der Karosserien in der Prozesslinie und dem Leerziehspeicher die Gesamtkapazität des Leerziehspeichers nicht überschreiten. Daher ist der Füllstand je Kombination aus Prozesslinie und Leerziehspeicher im Simulationsmodell zu überwachen und bei Erreichen der Kapazitätsgrenze des Leerziehspeichers der Eingang zur Prozesslinie zu sperren. In Einzelfällen sind gezielte Überschreitungen während der Schicht möglich und müssen dann ggf. in Absprache mit dem Auftraggeber abgebildet werden.

Steuerstrategien:

Sämtliche Steuerungen, die Auswirkungen auf den Materialfluss haben, müssen möglichst realitätsnah abgebildet werden. Besonders wichtig sind die Steuerungen der Farbsortierer und des Nacharbeitsbereichs. Dabei sind die Positionen von Zählpunkten und Lesestellen zu berücksichtigen.

Taktzeiten/Bearbeitungszeiten:

Bei automatisierten Anlagen ist eine konstante Taktzeit anzunehmen.

Wird der Nacharbeitsbereich detailliert modelliert, so sind dort als Bearbeitungszeiten Verteilungsfunktionen (z.B. Dreiecksfunktion) zu verwenden. Wenn die Datengrundlage gegeben ist, sollten auch farbabhängige Verteilungsfunktionen genutzt werden.

6.4.3 Statistiken

Die benötigten Statistiken zur Ermittlung der in Kapitel 6.3 beschriebenen Kennzahlen sind zentral im Simulationsmodell zu sammeln, um einen einfachen Export der Daten in ein externes Datenziel, wie eine Datenbank, zu erleichtern.

7 Planungsbegleitende Simulation im Bereich Montage

Dieser Abschnitt dient der weiteren Detaillierung der Anforderungen bei Projekten in der Montageplanung.

7.1 Abweichungen von den Vorgaben

Sind zur zielgerichteten Durchführung von Ablaufsimulationen im Einzelfall Abweichungen von den Vorgaben in dieser Ausführungsanweisung notwendig, so hat in jedem Fall eine Abstimmung mit dem Auftraggeber stattzufinden. Gegebenenfalls getroffene zusätzliche Vereinbarungen bedürfen der Schriftform.

7.2 Verbindlichkeit von Lastenheften

Basis für die Durchführung von Ablaufsimulationen ist neben dieser Ausführungsanweisung die auftraggeberspezifische Anweisung sowie das jeweilige projektbeschreibende Lastenheft.

7.3 Aufgabenstellung

Die Zielsetzung der Simulationsstudie in der Montage liegt im Allgemeinen in einer möglichst kostenoptimalen Planung zur Erreichung der Soll-Ausbringung.

Die zu erreichenden Zielwerte werden im projektspezifischen Teil festgelegt.

Engpässe, die während der Simulationsstudie erkannt werden, sind dem Auftraggeber schnellstmöglich mitzuteilen.

Die Simulation kann Aussagen über folgende Punkte liefern (zur Definition der Kennzahlen siehe Kapitel 10.2):

- Ausbringung in Units per hour (Uph) der Gesamtanlage, evtl. typ- oder variantenabhängig,
- effektive Taktzeit,
- Gesamtanlageneffektivität GAE (OEE) bzw. Nutzungsgrad Gesamtanlage,
- genutzte Kapazitäten der Puffer und der Entkopplungsstrecken,
- Anzahl benötigter Fördermittel, Werkstückträger, usw.,
- ggf. Aussagen zur Reihenfolge-/ Sequenzstabilität.
- Abliefersicherheit an den Senken bzw. Bandabschnitten
- Übersicht über Stationsauslastungen (arbeitend, blockiert, wartend, gestört, Transfer)

Weichen die Taktzeiten in verketteten Anlagen voneinander ab, so ist die den Berechnungen zugrunde liegende Taktzeit vom Auftraggeber vorzugeben.

Welche Zielgrößen auszuwerten sind, wird im projektspezifischen Teil festgelegt.

7.4 Simulationsmodell

Es ist die in den unternehmens-/ und projektspezifischen Dokumenten definierte Simulationssoftware zu nutzen. Darüber hinaus sind die vorgegebenen Referenzmodelle und Bausteinkästen zu verwenden.

7.4.1 Detaillierung

Der Abstraktionsgrad (Abbildungsgenauigkeit) ist abhängig von der Aufgabenstellung und vom Aufwand der Datenbeschaffung. Grundsätzlich soll die Modelltopologie dem Fertigungslayout entsprechen. Jeder für den Materialfluss relevante Linienstrang bzw. jede Arbeitsstation ist als Baustein aufzunehmen.

Alle Linienstränge, Einzelarbeitsstationen und Transportstrecken die physisch mit einer Karosse belegt werden können, müssen berücksichtigt werden. Diese Plätze sind insbesondere bei Mixfertigungen oder „Leerfahren“ der Anlage zu berücksichtigen um Blockaden vorherzusehen bzw. um die notwendige Anzahl von Transportmitteln bestimmen zu können.

Untergruppenfertigungen, die über Behälter entkoppelt sind, werden in der Regel nur als Logistikeinflüsse in den Verfügbarkeiten berücksichtigt.

Sofern Fertigungsbereiche innerhalb der Montage mit unterschiedlichen Schichtzeitmodellen und Pausenregelungen arbeiten, sind diese abzubilden. Die TPM-Zeiten (Total Productive Maintenance) werden im Simulationsmodell wie Pausen behandelt.

Die Dauer der einzelnen Simulationsläufe ist mit dem Auftraggeber abzustimmen. Die Anzahl der Simulationsläufe für jedes Experiment richtet sich nach stochastisch ermittelten Sicherheiten.

Auf eine adäquate Abbildung der staufähigen und nicht staufähigen Förderer und Entkopplungsstrecken ist zu achten. Insbesondere ist das Störverhalten der Puffer und der Fördertechnik so zu berücksichtigen, wie es dem Planungsstand oder der Realität entspricht.

Neben dem Gesamtmodell sind in vom Auftraggeber spezifizierte, in sich geschlossene Fertigungsbereiche stand alone, d.h. Quelle und Senke können den Bereich immer mit Teilen ver- bzw. entsorgen, zu untersuchen.

7.4.2 Modellierung

Nachfolgende Angaben geben Hilfestellung bei der Modellierung.

Organisatorische und logistische Einflüsse:

Explizit modellierte Produktionsmitarbeiter (Montagewerker etc.) sind mit einer organisatorischen Verfügbarkeit behaftet. Diese darf nicht mit der technischen bzw. organisatorischen Verfügbarkeit eines Linienstranges / einer Arbeitsstation vermischt werden. Zur Dimensionierung der organisatorischen Verfügbarkeit des einzelnen Produktionsmitarbeiters und der Abbildung im Modell ist in jedem Falle der Simulationsexperte des Auftraggebers zu Rate zu ziehen. Die Details sind in den unternehmens-/ und projektspezifischen Dokumenten spezifiziert. Grundsätzlich ist bei einer detaillierten Abbildung von Werkern zu prüfen, inwiefern eine Abstimmung mit dem Betriebsrat erforderlich ist.

In der Regel ist Ausschuss nicht zu berücksichtigen. Je nach Simulationsanforderungen und Detaillierungsgrad kann die Berücksichtigung einer Fertigungssequenz anhand von Fahrzeugspezifika notwendig sein. Das gilt insbesondere für Restriktionen hinsichtlich der Abstände von Karosserien mit bestimmten Ausprägungen/Ausstattungen in der Sequenz. Die Details sind in den unternehmens-/ und projektspezifischen Dokumenten spezifiziert.

Können folgende Bedingungen nicht erfüllt werden, ist eine zusätzliche Verfügbarkeitsreduktion in Absprache mit dem Auftraggeber in der Simulation zu berücksichtigen:

- regelmäßige Durchführung von Wartungs- und Instandhaltungsarbeiten (TPM),
- leichte Zugänglichkeit zu den Anlagen (sowohl für die Bereitstellung von Behältern durch die Logistik als auch für die Instandhaltung),

Störungen:

Alle Anlagen und Linienstränge die in der Realität ein Ausfallverhalten zeigen, sind in der Simulation mit entsprechenden Störungen zu belegen. Hierbei kann es notwendig sein, einem Simulationselement mehrere Störprofile zuzuordnen, um die realen Gegebenheiten zu berücksichtigen (beispielsweise Aufteilung nach Andon und technisch bedingten Störungen, die unterschiedliche MTTR-Profile aufweisen können). Dies erfolgt unternehmens- bzw. projektspezifisch und ist mit dem Auftraggeber

abzustimmen. Sollten einzelne Fertigungsabschnitte und Stationen gemeinsam in Störung gehen, kann die Modellierung wie im Abschnitt „Störungen“ im Kapitel „Karosseriebau“ beschrieben erfolgen.

Die Abbildung der Störungen hat über den Bezug „Arbeitszeit“ zu erfolgen. Die Verwendung des Bezugs „Simulations-“ oder „Einsatzzeit“ kann jedoch in einzelnen Projekten durch den Auftraggeber vorgeschrieben werden.

Die zu verwendenden Werte für die MTTR (Mean Time To Repair, Mean Time To Recover) und die MTBF (Mean Time Between Failure) sowie die einzusetzenden mathematischen Funktionen sind auftraggeberabhängig im projektspezifischen Dokument spezifiziert.

„Großstörungen“ werden nicht berücksichtigt, da von einem eingeschwungenen Normalbetrieb ausgegangen wird. Die Details, insbesondere ab welcher Störlänge diese abgeschnitten wird, sind projektspezifisch mit dem Auftraggeber abzustimmen.

Verfügbarkeiten:

Bei der Verfügbarkeitskalkulation sind, sofern vorhanden, die vom Auftraggeber vorgegebenen Grundverfügbarkeiten der störbehafteten Betriebsmittel zu verwenden. Andernfalls erfolgt die Verfügbarkeitsfestlegung in Absprache mit dem Auftraggeber basierend auf den vorhandenen Daten bzw. Erfahrungs-/Schätzwerten. Dies betrifft auch die Aufteilung der Gesamtverluste auf die einzelnen Störprofile. Alle Verfügbarkeitskalkulationen müssen schriftlich dokumentiert und parallel zum Simulationsmodell übergeben werden.

In bestimmten Konstellationen kann es sinnvoll sein, Verfügbarkeiten zu gewichten. Der Einsatz von Gewichtungsfaktoren ist unbedingt mit dem Auftraggeber abzusprechen. Mögliche Situationen sind beispielsweise:

- Für die Fertigung mehrerer Typen werden separate Vorrichtung oder separates Prozessequipment verwendet, wobei diese jeweils nur für einen speziellen Typen verwendet werden und nur eines von beiden im Einsatz sein kann.
- Prozesse, deren Umfänge weit unter den Prozesshauptzeit liegen,
- sehr lange Taktzeiten in Vergleich zu den Taktzeiten, auf denen die Verfügbarkeitswerte basieren.

Alle Verfügbarkeitswerte sind Mittelwerte, die in der Praxis z.T. erheblichen Schwankungen unterliegen.

Die Verschrottung einzelner Teile aufgrund des Auftretens von Störungen einzelner Betriebsmittel und eine anschließende Qualifizierung der Anlage ist in der Regel nicht

Bestandteil der Simulation. Abweichungen davon sind in den unternehmens-/ und projektspezifischen Dokumenten spezifiziert.

Fördertechnik und Entkopplungspuffer

In der Regel sind alle Förderer und Entkopplungspuffer staufähig auszulegen. Abweichungen sind zu dokumentieren. Förderer und Entkopplungsstrecken werden bei Pausen oder geplanten Stillständen nicht deaktiviert. Das Störverhalten der Puffer und Fördertechnik ist geeignet im Simulationsmodell zu berücksichtigen. Die Art und Weise der Modellierung ist mit dem Auftraggeber abzusprechen und zu dokumentieren.

Takt- und Bearbeitungszeiten:

Bei der Parametrisierung wird stets von der geplanten Taktzeit ausgegangen. In Sonderfällen kann bei kritischen Stationen die simulativ (Offline - Robotersimulation) ermittelte Taktzeit herangezogen werden. Dies ist jedoch nur in Abstimmung mit dem Auftraggeber zulässig.

Varianten- / Typabhängige Taktzeiten:

Je nach Aufgabenstellung kann eine Berechnung von Typ- bzw. variantenabhängigen Taktzeiten für einzelne Objekte notwendig werden. Dazu werden Daten in Form von Arbeitsblättern zur Verfügung gestellt, auch die Berechnungsmethode wird vom Auftraggeber vorgegeben.

Steuerstrategien:

Sämtliche Steuerungen, die Auswirkungen auf den Materialfluss haben, müssen möglichst realitätsnah abgebildet werden.

7.4.3 Statistiken

Die benötigten Statistiken zur Ermittlung der in Kapitel 7.3 beschriebenen Kennzahlen sind zentral im Simulationsmodell zu sammeln, um einen einfachen Export der Daten in ein externes Datenziel, wie eine Datenbank, zu erleichtern.

8 Planungsbegleitende Simulation in Logistikprojekten

Dieser Abschnitt dient der weiteren Detaillierung der Anforderungen bei Projekten in der Logistikplanung.

8.1 Abweichungen von den Vorgaben

Sind zur zielgerichteten Durchführung von Ablaufsimulationen im Einzelfall Abweichungen von den Vorgaben in dieser Ausführungsanweisung notwendig, so hat in jedem Fall eine Abstimmung mit dem Auftraggeber stattzufinden. Gegebenenfalls getroffene zusätzliche Vereinbarungen bedürfen der Schriftform.

8.2 Verbindlichkeit von Lastenheften

Basis für die Durchführung von Ablaufsimulationen ist neben dieser Ausführungsanweisung die auftraggeberspezifische Anweisung sowie das jeweilige projektbeschreibende Lastenheft.

8.3 Aufgabenstellung

<derzeit noch nicht spezifiziert>

9 Werkssimulation

Dieser Abschnitt dient der weiteren Detaillierung der Anforderungen an Werkssimulationen.

9.1 Abweichungen von den Vorgaben

Sind zur zielgerichteten Durchführung von Ablaufsimulationen im Einzelfall Abweichungen von den Vorgaben in dieser Ausführungsanweisung notwendig, so hat in jedem Fall eine Abstimmung mit dem Auftraggeber stattzufinden. Gegebenenfalls getroffene zusätzliche Vereinbarungen bedürfen der Schriftform.

9.2 Verbindlichkeit von Lastenheften

Basis für die Durchführung von Ablaufsimulationen ist neben dieser Ausführungsanweisung die auftraggeberspezifische Anweisung sowie das jeweilige projektbeschreibende Lastenheft.

9.3 Aufgabenstellung bzw. Untersuchungsziele

Die Untersuchungsziele lassen sich in zwei Themenbereiche aufteilen. Zum einen dienen Simulationsstudien der Bestimmung der, aufgrund von Störungen oder unterschiedlichen Arbeitszeitmodellen, benötigten Entkopplungsgrößen zwischen zwei Gewerken (siehe Kapitel 9.3.1). Zum zweiten dienen Werkssimulationen der Untersuchung diverser Themenstellungen im Umfeld der Auftragssteuerung (siehe Kapitel 9.3.2).

9.3.1 Bestimmung von Entkopplungsgrößen zwischen Gewerken

Ziel dieser „klassischen“ Untersuchung ist die Bestimmung der benötigten Pufferkapazität zur Entkopplung der Gewerke untereinander (Karosseriebau zur Oberfläche, Oberfläche zur Montage). Eine ausreichende Entkopplung soll sicherstellen, dass die Versorgung eines Gewerkes mit Karosserien unabhängig vom aktuellen Status der vor- bzw. nachgelagerten Gewerke gewährleistet ist. Die benötigte Puffergröße hängt z.B. von der Verfügbarkeit (technisch, logistisch, organisatorisch) und den Arbeitszeitmodellen der Gewerke ab.

9.3.2 Untersuchungen im Zusammenhang mit der Auftragssteuerung

Untersuchungen zur Auftragssteuerung der Karosserien werden zunehmend wichtiger, da immer mehr Teile und Module Just in Sequence (JiS) an die Montagebänder geliefert werden. Der JiS Prozess setzt voraus, dass die Karosserien in der geplanten Auftragsreihenfolge in die Montage eingesteuert werden. Verletzungen der geplanten Reihenfolge können nur in sehr begrenztem Rahmen ausgeglichen werden. Werden diese Toleranzen überschritten, so müssen u.U. sogar die Montagebänder angehalten werden.

Die Werkssimulation soll Aufschluss darüber geben, welche Reihenfolgestabilität in Abhängigkeit diverser Eingangsgrößen erreicht wird. Von folgenden Eingangsgrößen kann die Reihenfolgestabilität abhängen:

- Planauftragsliste (Anzahl Karosseriebauvarianten, Anzahl Farbvarianten, Modellmixrestriktionen),
- Arbeitszeitmodelle der Gewerke,
- Strategie der Auftragssteuerung (Stichwort: Frühe und späte Auftragszuordnung (Taufe), usw.),
- Stückzahlschwankungen/Produktionsplan auf Gewerkeebene,
- Variantenmixrestriktionen bei der Einsteuerung in die Montage,
- Verwirbelung der Karosserien auf Gewerkeebene (die Definition der Verwirbelung ist in Kapitel 10.2 beschrieben),
- Größe der Resortierspeicher (vor der Montage in der Regel Hochregallager) zwischen den Gewerken.

Ein weiteres mögliches Untersuchungsziel ist die Reduktion der Durchlaufzeiten der Karosserien oder der Aufträge durch einzelne Gewerke bzw. die gesamte Fabrik. Geringere Durchlaufzeiten resultieren in der Regel in geringen Umlaufbeständen.

9.4 Simulationsmodell

Es ist die in den unternehmens-/ und projektspezifischen Dokumenten genannte Simulationssoftware zu nutzen. Darüber hinaus sind die vorgegebenen Referenzmodelle und Bausteinkästen zu verwenden.

9.4.1 Auftragslisten

Dieses Kapitel ist nur bei Untersuchungen zur Reihenfolgestabilität der Aufträge bzw. Karosserien relevant (siehe Kapitel 9.3.2).

Um Reihenfolgenstabilitätsuntersuchungen durchführen zu können, muss eine Liste mit der geplanten Auftragsreihenfolge in das Simulationsmodell eingelastet werden. Die Auftragsliste kann aus einer externen Quelle eingelesen oder im Simulationsmodell selbst mit Hilfe eines Auftragsgenerators erzeugt werden. Als externe Quellen können entweder historische, tatsächlich verwendete oder mit Hilfe eines externen Auftragsgenerators planerisch erzeugte Listen verwendet werden.

Die Erstellung einer planerischen Auftragsliste hängt von folgenden Parametern ab:

- Struktur der Fertigung (nur lineare Fertigung, oder auch parallele Montagen, Karosseriebauten usw.): Im Falle paralleler Strukturen ist für jede Montage eine eigene Liste zu erstellen bzw. die Gesamtliste aufzuspalten.
- Variantenvielfalt:
 - Anzahl Typen bzw. Derivate,
 - Anzahl Karosseriebauvarianten je Typ bzw. Derivat,
 - Anzahl Farben je Karosseriebauvariante und Typ bzw. Derivat,
- evtl. Anzahl relevanter Montagevarianten: Relevant ist eine Montagevariante, falls sie Bestandteil der Variantenmixrestriktionen oder zu betrachtender Verbautätigkeiten in der Montage ist,
- Variantenmixrestriktionen Montage,
- Stückzahlenszenarien.

Ein möglicher Aufbau eines Auftrags sollte in einem String zusammengefasst werden und könnte demnach wie folgt aussehen:

„Typ_Karosseriebauvariante_Farbe_Montagevarianten__Ordernummer“.

Im Falle einer Karosserie vom Typ AAA, der Karosseriebauvariante Linkslenker mit Schiebedach und Antenne, der Farbe blau und den Montagevarianten Klimaanlage und Motor XXX sowie der Ordernummer 123456789 hätte der Auftragsstring folgenden Aufbau:

„AAA_OLLOSDANT_BLAU_KLIXXX__123456789“.

Bei Verwendung des VDA Automotive Bausteinkastens sind die Auftragsdaten dem freien Attribut Premid des BE's Auftrag (Typ Tabelle, Zeile 1) aufzuprägen. Es müssen alle Datensätze dieselbe Bytelänge haben und eine Information ist immer an derselben Stelle zu hinterlegen.

9.4.2 Modellierung

Bei Untersuchungen zur Reihenfolgestabilität sind im Modell zwei Flüsse abzubilden: der Karossenfluss sowie der Informations- bzw. Auftragsfluss. Sind nur Untersuchungen zur Größe der Entkopplungsspeicher beabsichtigt, so ist das nachfolgende Kapitel 9.4.2.1, Informationsfluss und Auftragssteuerung, nicht relevant und kann übersprungen werden.

9.4.2.1 Informationsfluss und Auftragssteuerung

Dieses Kapitel ist nur bei Untersuchungen zur Reihenfolgestabilität der Aufträge bzw. Karosserien relevant (siehe Kapitel 9.3.2).

Im Simulationsmodell ist der Informationsfluss wie folgt abzubilden:

- Einlasten der geplanten Auftragslisten (Montagestartreihenfolge) in die Auftragssteuerung,
- evtl. Berechnung der Karosseriebau-/Rohbaustartreihenfolge aus der Auftragssteuerung,
- Einlasten der Aufträge aus dem Informationsfluss in die Materialflussquelle, Umsetzung in BEs. Bei Verwendung des VDA Automotive Bausteinkastens sind die Auftragsdaten jedes BEs im freien Attribut Premid mitzuführen,
- evtl. Steuerung des Karossenflusses. Dies ist notwendig, wenn Aufträge getauscht werden können (Zuordnung eines Auftrags zu einer anderen Karosse) oder gar eine Variantenausprägung stattfindet. In beiden Fällen existieren Schnittstellen zwischen Karossen- und Auftragsfluss, sogenannte Meldepunkte,
- Steuerung der Auslagerreihenfolge Montage aus dem Sortierlager.

Aus dem Vergleich der geplanten Auftragsliste und der in der Simulation (oder auch in der Realität) gemessenen Auftragsreihenfolge werden die Kenngrößen ermittelt. Diese sind in der Regel auftraggeberspezifisch.

9.4.2.2 Materialfluss

Nachfolgende Angaben geben Hilfestellung bei der Modellierung.

Detailierung:

Bei Werkssimulationen können ganze Fertigungsbereiche oder Gewerke durch geeignete abstrakte Elemente oder detailliert abgebildet werden. Ein geeignetes abstraktes Element ist beispielsweise der Baustein „VerwAnI“ im Ordner „User_Appli_Objects.MaterialFlow.Facilities“ des VDA Automotive Bausteinkastens. Die Entscheidung des zu wählenden Detaillierungsgrades hängt von verschiedenen

Prämissen ab. Ganze Fertigungsbereiche oder Gewerke lassen sich immer dann in einem abstrakten Element abbilden, wenn einzelne Elemente dieser Bereiche nicht modifiziert werden sollen, Daten zur Parametrisierung zur Verfügung stehen und keine Auftragsteuerungsentscheidungen (z.B. Auftragstausch) innerhalb des abgebildeten Bereiches stattfinden.

Quellen der Parametrisierungsdaten können beispielsweise ein Detailmodell oder – besser – reale Daten sein. Bei Verwendung realer Daten zur Parametrisierung werden alle real vorkommenden Prozesse im Simulationsmodell berücksichtigt und damit eine höchstmögliche Übereinstimmung der Simulation mit der Realität erreicht. In detaillierten Simulationsmodellen sind dagegen in der Regel nicht alle Prozesse, insbesondere Sonderprozesse durch manuelle Eingriffe, abgebildet. Bei fehlender Datengrundlage für eine abstrakte Abbildung, wenn planerisch neue Strukturen untersucht werden oder Prozesse innerhalb eines Bereiches (z.B. Bereitstellungsprozess von JiS und JiT Teilen) betrachtet werden sollen, ist eine detaillierte Abbildung zu wählen.

Für die, die Gewerke verbindenden, Fördertechnikelemente, Entkopplungsspeicher und Sortierer gilt grundsätzlich, dass sie so detailliert darzustellen sind, dass alle Verzweigungspunkte, Kapazitäten und Steuerungen realistisch nachgebildet werden.

Die Montage (Montageband) kann in der Regel als Senke mit Arbeitszeitmodell, Taktzeit und Verfügbarkeit (oder aber effektive Taktzeit = Taktzeit / Verfügbarkeit) abgebildet werden. Dies ist immer der Fall, solange der Bereitstellungsprozess und Verbau von JiS und JiT Teilen nicht detailliert betrachtet werden soll.

Prinzipiell sind beliebige Kombinationen aus abstrakten Elementen und detailliert abgebildeten Bereichen möglich. Dies bietet sich beispielsweise an, falls für einen bestehenden Bereich Oberfläche keine Modifikationen geplant sind und genügend Istdaten zur Parametrisierung zur Verfügung stehen, der Karosseriebau jedoch komplett neu beplant wird. In diesem Fall sollte der Bereich Oberfläche durch ein abstraktes Element und der Karosseriebau detailliert abgebildet werden.

Parametrisierung:

Neben der zentralen Verwaltung der Standardmaterialflussparameter sind bei Modellen mit Auftragssteuerungen zusätzlich die Steuerungsparameter der Auftragsdaten zentral zu verwalten.

Bei der Verwendung abstrakter Elemente für größere Bereiche oder Gewerke sind diese Elemente durch folgende Parameter zu definieren:

- Taktzeit,

- Verfügbarkeit,
- Arbeitszeitmodell,
- Füllstandsverläufe bzw. Füllstandsgrenzen (Minimum, Maximum),
- Verwirbelungshistogramme und minimale Durchlaufzeiten, Durchlaufzeithistogramme (Nettozeiten) oder eine andere geeignete Methode zur Verwirbelung der Karosserien.

Alternativ zur Verwendung von Taktzeit und Verfügbarkeit kann eine effektive Taktzeit verwendet werden (effektive Taktzeit = Taktzeit / Verfügbarkeit).

Organisatorische und logistische Einflüsse:

Organisatorische Einflüsse spielen in der Regel bei Werkssimulationen keine Rolle. Die logistischen Einflüsse der Teilebereitstellung von JiS und JiT Teilen dagegen können in der Montage sehr wohl wichtig werden. Dies ist z.B. dann der Fall, wenn die Einsteuerung von Aufträgen in die Montage nur dann erfolgt, wenn sichergestellt werden kann, dass ausgewählte JiS und JiT Teile rechtzeitig zum Verbau am Montageband bereitgestellt werden können. Spielt dieser Prozess eine signifikante Rolle, so ist er geeignet im Modell abzubilden.

Es gibt prinzipiell zwei Möglichkeiten der Abbildung im Modell. Zum einen können der Bereitstellungsprozess und der Verbau in der Montage abgebildet werden. Zum anderen können über einen Zufallsprozess Aufträge mit entsprechenden Ausstattungsmerkmalen temporär gesperrt werden. Der zu sperrende Anteil je JiS und JiT Teil wird dabei vorgegeben; entweder aus Ist- oder Plandaten.

Validierung:

Die Validierung ist möglichst durch Einlastung einer realen Auftragsliste „Montagestart“ und dem anschließenden Vergleich der Kennzahlen im Simulationsmodell mit denen des realen Werkes im gleichen Zeitraum, aus dem die reale Liste stammt, durchzuführen. Validierungskennzahlen sind die im Kapitel 9.4.3 beschriebenen Kennzahlen, mindestens aber die Sequenzgüte und die Füllstandsverläufe der Gewerke und Speicher.

9.4.3 Statistiken

Alle Statistikdaten sind zentral im Simulationsmodell zu sammeln, um einen einfachen Export der Daten in ein externes Datenziel, wie eine Datenbank, zu erleichtern.

Über die aus den vorherigen Kapiteln bekannten Kennzahlen hinaus stehen folgende Werte typischerweise im Rahmen der Werkssimulation im Fokus der Untersuchung:

- Kennzahlen zur Auftragsreihenfolgestabilität:
 - Sequenzgüte zur Ermittlung der Auftragsreihenfolgestabilität beim Einlauf der Karosserien in die Montage. Die Definition der Messgröße variiert von Auftraggeber zu Auftraggeber und teilweise auch innerhalb eines beauftragenden Unternehmens. Die Auswertung erfolgt häufig auch typ- bzw. variantenabhängig.
 - Weitere auftraggeberspezifische Messgrößen, wie zum Beispiel der „Kumulierte Rückstand“.
 - Sequenzgüten an anderen Messstellen, wie zum Beispiel am Ausgang des Gewerkes Karosseriebau. Auch diese differieren von Auftraggeber zu Auftraggeber.
 - Gemessene Verwirbelungsdiagramme, zur Definition siehe 10.2, einzelner Bereiche oder Gewerke. Die Messung von Verwirbelungen macht in der Regel dann Sinn, wenn die Bereiche detailliert modelliert sind. Messbasis können sowohl die physischen Karosserien als auch die Aufträge sein.
- Kennzahlen zu den Durchlaufzeiten (DLZ):
 - Minimale, mittlere und maximale Durchlaufzeit definierter Bereiche (z.B. ein Gewerk oder das gesamte Werk).
 - Durchlaufzeithistogramm.
 - Die Durchlaufzeiten können sowohl brutto als auch netto erfasst werden. Bei der Bruttomethode wird die DLZ als Differenz zwischen zwei absoluten Zeitstempeln berechnet, bei der Nettomethode werden zusätzlich alle geplanten Stillstandszeiten zwischen den zwei Messpunkten abgezogen. Geplante Stillstände sind z. B. Pausen oder schichtfreie Zeiten.
 - Die Durchlaufzeiten können typ-/variantenabhängig gemessen werden.
 - Basis der Messung können sowohl physische Karosserien als auch Aufträge sein.
- Füllstandsverläufe, insbesondere die Füllstandsverläufe der Speicher zwischen den Gewerken sowie die der Gewerke selbst.
 - Häufig sind die Füllstandsverläufe variantenabhängig zu erfassen.
- Durchsätze auf Gewerkebasis.
 - Häufig sind die Füllstandsverläufe variantenabhängig zu erfassen.

10 Anhang

10.1 Abkürzungen

<i>Bezeichner deutsch</i>	<i>Bezeichner englisch</i>	<i>Abkürzung</i>	<i>Einheit</i>
Taktzeit	Cycle Time	CT	[s]
Fertigung auf Basis von importierten Einzelteilen	Completely Knocked Down	CKD	-
Fertigung auf Basis von importierten Baugruppen	Semi Knocked Down	SKD	-
Ausfallzeit	Down Times (Machine breakdowns)	DT	[s]
Durchlaufzeit	lead time	DLZ	[s]
Gesamtanlageneffektivität: Wirkungsgrad einer Fertigung bezogen auf IO-Teile	Overall Equipment Efficiency	GAE/OEE	[%]
Anzahl produzierte Einheiten pro Stunde	Units per hour	Uph	[n/h]
-	Just in Sequence	JiS	
-	Just in Time	JiT	
mittlerer Störabstand	Mean Time Between Failure	MTBF	[s]
mittlere Stördauer	Mean Time To Repair, Mean Time To Recover	MTTR	[s]
Netto-Kapazität eines Fertigungsbereichs, ohne Verkettungsverluste zu vor- oder nachgelagerten Fertigungsbereichen	Stand Alone Throughput gemessen in Units per hour (Uph)	SAT	[n/h]
Aufwand für vorbeugende Instandhaltung	Total Productive Maintenance	TPM	[s]

10.2 Begrifflichkeiten

Gewerk

Der Begriff bezeichnet in diesem Dokument einen Fertigungsbereich in der Automobilindustrie, wie beispielsweise den Karosseriebau, die Oberfläche oder die Montage.

Verwirbelung

Die Verwirbelung beschreibt die Abweichung der gemessenen Reihenfolge zur geplanten Reihenfolge. In der Abbildung 5 ist ein Beispiel mit 15 Karosserien, gemessen beim Einlauf in die Montage, dargestellt. Gegenüber der geplanten Reihenfolge in der oberen Reihe weist die gemessene Reihenfolge in der zweiten Reihe für 10 Karosserien Abweichungen auf. Vier Karosserien kommen zu spät (Nachgriff), 6 zu früh (Vorgriff). Die Größe des Vor- bzw. Nachgriffs variiert dabei.

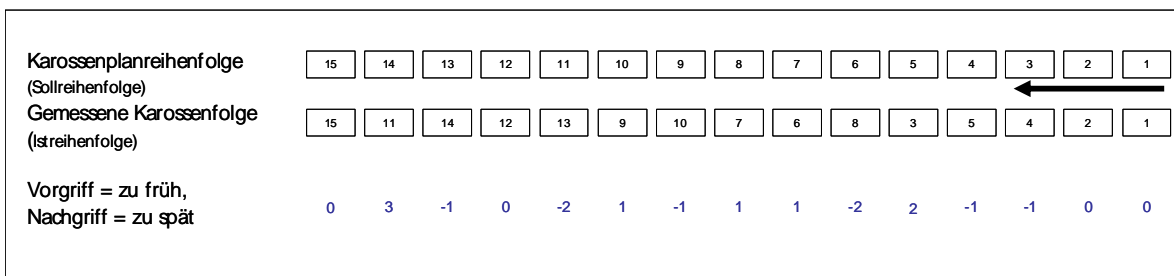


Abbildung 5: Beispiel einer Verwirbelung von 15 Karosserien beim Einlauf in die Montage

Das auf Basis der Abbildung 5 berechnete Verwirbelungsdiagramm ist in der Abbildung 6 dargestellt.

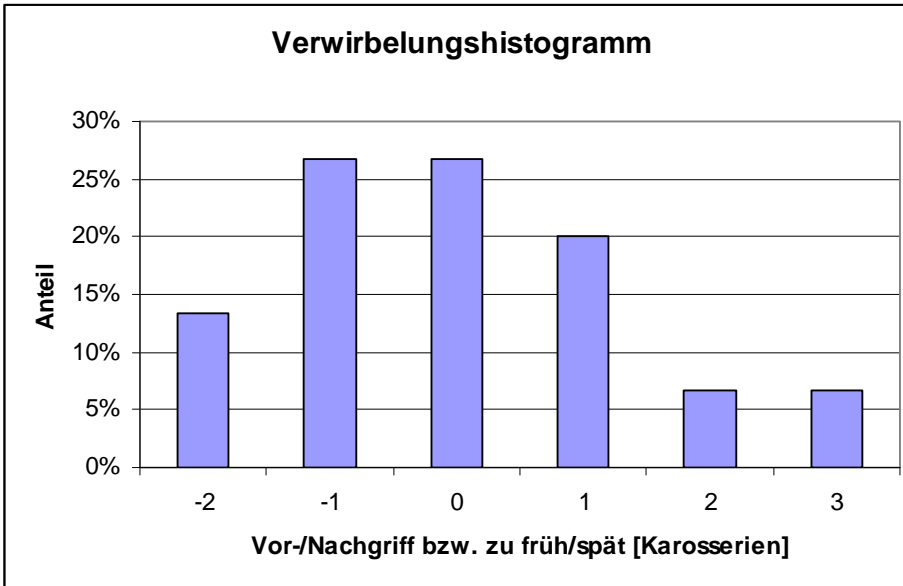


Abbildung 6: Resultierendes Verwirbelungsdiagramm aus dem Beispiel

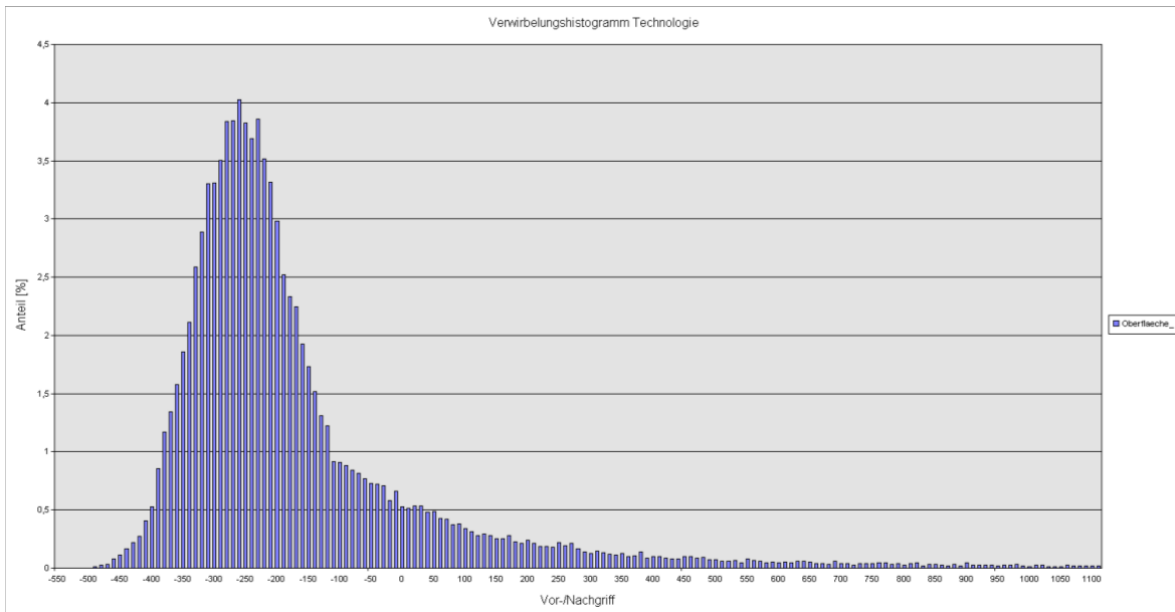


Abbildung 7: Typische gemessene Verwirbelung eines Bereiches Oberfläche

In der Abbildung 7 ist eine gemessene typische Verwirbelung des Bereiches Oberfläche dargestellt. Karosserien, die mehr als 1100 Karosserien zu spät kommen, sind in der Abbildung nicht mehr dargestellt.

Grundsätzlich gilt für alle Verwirbelungsdiagramme: Die Summe über alle Produkte (Vor-/Nachgriff)*Anteil ergibt immer Null:

$$\sum_{i=\max.Vorgriff}^{\max.Nachgriff} (Vor / Nachgriff)_i \times Anteil_i = 0$$

Die Verwirbelung kann sowohl auf Basis physischer Karosserien als auch auf Auftragsbasis gemessen werden.

Cycle Time

Die Cycle Time ist die komplette Dauer vom Ende eines Bearbeitungszyklus zum Ende des nächsten Bearbeitungszyklus (oder eines Positionierungsstops zum nächsten Positionierungsstop auf einem Förderer). Sie beinhaltet Einlegezeit, Prozesszeit (Roboter/Werker) und Entnahmezeit aber keine Blockier-/Wartezeiten, Störzeiten oder Zeitüberschreitungen.

Laufzeit

Die Laufzeit einer Anlage ist gleich der Arbeitszeit abzüglich aller planerischen Unterbrechungen wie Pausen, schichtfreien Zeiten oder Gruppenbesprechungen. In der Regel werden auch TPM-Umfänge in der Laufzeit nicht berücksichtigt. Siehe auch Abbildung 8.

Anlagenverfügbarkeit (Availability)

Anlagenverfügbarkeit (technische) ist der prozentuale Anteil der um technische Störungen sowie Rüst- und Einstellvorgängen reduzierten Anlagenlaufzeit bezogen auf die Laufzeit (siehe oben) ohne jede Störungen.

Für eine einzelne Anlage bzw. einen einzelnen Schutzkreis lässt sich die Kennzahl auch mathematisch beschreiben:

$$\text{Anlagenverfügbarkeit} = \frac{\text{Gefertigte Stückzahl}_A \times \text{Taktzeit}}{\text{Laufzeit}} \times 100\% ,$$

wobei $\text{Gefertigte Stückzahl}_A$ die Anzahl produzierter Teile eines Systems bei Berücksichtigung von technischen Störungen, Rüst- und Einstellvorgängen ist. Die der Berechnung zugrunde liegende Taktzeit wird im projektspezifischen Teil vorgegeben. Die Anlagenverfügbarkeit entspricht der SAA bei entsprechender Wahl der Systemgrenzen.

Organisatorische Verluste (Organizational Losses)

Unter organisatorischen Verlusten ist der prozentuale Anteil an der theoretisch möglichen Ausbringungsmenge zu verstehen, der an einer Station an Verlusten

aufgrund von Werkerverhalten, Teilemangel (zuführende Logistik), Energiemangel, Rohteilezustand, etc. entsteht, also nicht von dieser Maschine selbst verursacht wird. Für eine einzelne Anlage, einen einzelnen Schutzkreis, lässt sich die Kennzahl auch mathematisch beschreiben:

$$\text{Organisatorische Verluste} = 100\% - \frac{\text{Gefertigte Stückzahl}_o \times \text{Taktzeit}}{\text{Laufzeit}} \times 100\% ,$$

wobei *Gefertigte Stückzahl_o* die Anzahl produzierter Teile eines Systems mit ausschließlich organisatorischen Verlusten ist. Die der Berechnung zugrunde liegende Taktzeit wird im projektspezifischen Teil vorgegeben.

Nutzungsgrad N (Uptime) bzw. Leistungsgrad

Der Nutzungsgrad einer Produktionsanlage ergibt sich aus der Berücksichtigung der technischen und organisatorischen Verluste und insbesondere der Verluste, die aufgrund der Anlagenverkettung mit anderen Fertigungsbereichen auftreten. Der Nutzungsgrad (Leistungsgrad) ist der prozentuale Anteil, der unter Berücksichtigung der beschriebenen Störfaktoren erreichten Stückzahl, an der theoretisch möglichen Stückzahl (ohne Störung).

$$N = \frac{\text{Gefertigte Stückzahl}_{A,O} \times \text{Taktzeit}}{\text{Laufzeit}} \times 100\% ,$$

wobei *Gefertigte Stückzahl_{A,O}* die Anzahl produzierter Teile eines Systems mit technischen Störungen, Rüst- und Einstellvorgängen sowie organisatorischen Verlusten ist. Bei verketteten Systemen treten Verkettungsverluste in der Simulation automatisch auf. Die Formel gilt daher sowohl bei Einzelanlagen und Einzelschutzkreisen als auch bei verketteten Systemen. Die der Berechnung zugrunde liegende Taktzeit wird im projektspezifischen Dokument vorgegeben.

Qualitätsrate (Quality Rate)

Die Qualitätsrate ist ein Maß für den Stückzahlverlust aufgrund defekter bzw. nachzuarbeitender Teile. Sie ist der prozentuale Anteil der fehlerfrei gefertigten Teile bezogen auf die Gesamtzahl der gefertigten Teile.

$$\begin{aligned}
 \text{Qualitätsrate} &= \frac{\text{Gefertigte Stückzahl}_{i,0}}{\text{Gesamtstückzahl}} \times 100\% \\
 &= \frac{\text{Gesamtstückzahl} - \text{AnzahlNacharbeitsteile} - \text{AnzahlAusschussteile}}{\text{Gesamtstückzahl}} \times 100\%
 \end{aligned}$$

Hier ist die *Gefertigte Stückzahl_{i,0}* die Anzahl der produzierten Teile ohne Mängel. Unter Umständen werden nachgearbeitete Teile den produzierten Teilen ohne Mängel zugeordnet. Ist dies der Fall, so ist die abweichende Berechnung im projektspezifischen Dokument festzuhalten.

Gesamtanlageneffektivität (GAE) bzw. Overall Equipment Efficiency (OEE)

Die Gesamtanlageneffektivität beschreibt den Quotienten aus Nettodurchsatz und erreichbarer Nettoproduktivzeit unter Berücksichtigung der Anlagenverfügbarkeit, der Verkettungsverluste und der Qualitätsrate. Eine Darstellung auf Basis von Zeiten kann der Abbildung 8 entnommen werden.

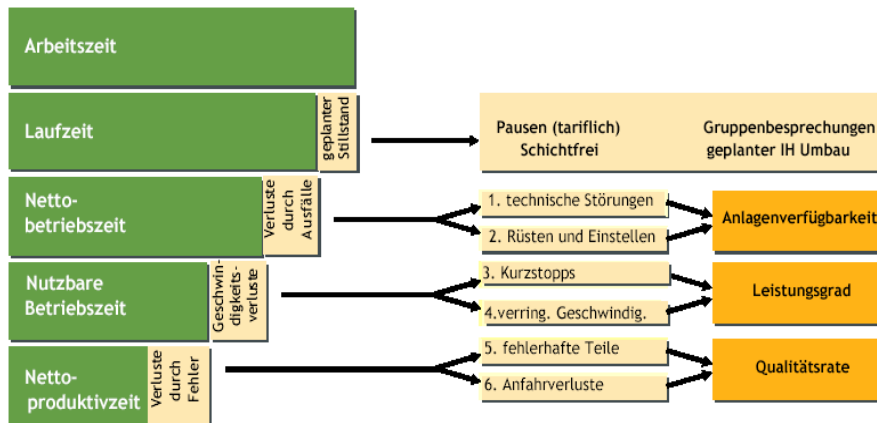


Abbildung 8: OEE Zeitgerüst, Prozessorientiertes Anlagen- und Instandhaltungsmanagement, TÜV-Verlag

Für die OEE existiert keine allgemeingültige Definition. Sollte im Rahmen eines Projektes die Kennzahl OEE ausgewiesen werden, so ist die zu verwendende Formel durch den Auftraggeber vorzugeben.

Ausbringung in Stückzahl pro Stunde (uph bzw. jph)

Die auf eine Stunde normierte Ausbringung wird in units / jobs per hour (uph / jph) angegeben. Diese Kennzahl entspricht der durchschnittlichen Ausbringung einer Anlage oder Fertigungseinheit, wobei planerische Unterbrechungen herauszurechnen sind. Technische Verfügbarkeiten, Rüstzeiten und organisatorische Verluste sind Bestandteil der Betrachtung.

$$\text{Ausbringung} = \frac{\text{AusbringungInStück}_{A,O,IO}}{\text{Laufzeit}[s]} \times 3600,$$

wobei $\text{AusbringungInStück}_{A,O,IO}$ die Anzahl produzierter Teile der Fertigungseinheit mit technischen Störungen, Rüst- und Einstellvorgängen sowie organisatorischen Verlusten und unter Berücksichtigung der Qualitätsrate ist. Bei verketteten Systemen sind Verkettungsverluste automatisch enthalten. Die Formel gilt daher sowohl bei Einzelanlagen und Einzelschutzkreisen als auch bei verketteten Systemen.

Stand Alone Throughput (SAT)

Unter dem Stand Alone Throughput versteht man die durchschnittliche Produktionsstückzahl einer Anlage oder eines Fertigungsbereiches, die während der geplanten Laufzeit produziert werden könnte, wenn keine Verkettungsverluste zu vor- oder nachgelagerten Fertigungsbereichen auftreten würden. Technische und organisatorische Verluste innerhalb der Anlage oder des Fertigungsbereiches sind zu berücksichtigen. Sinnvollerweise wird der Wert auf eine Stunde normiert angegeben (uph).

Stand Alone Availability (SAA)

Unter der SAA versteht man die technische Verfügbarkeit einer Station, eines Schutzkreises oder eines Fertigungsbereiches. Sie ist der prozentuale Anteil, den dieser Bereich ohne technische Störungen arbeitet. Sie gilt für den unverketteten Betrieb des Bereichs zu vor- oder nachgelagerten Fertigungen und ist auf „busy time“-Basis zu ermitteln. Die mathematische Beschreibung lautet:

$$\text{SAA} = \frac{\text{Gefertigte Stückzahl}_A \times \text{Taktzeit}}{\text{Laufzeit}} \times 100\%$$

wobei die $\text{GefertigteStückzahl}_A$ die Anzahl produzierter Teile eines Systems bei Berücksichtigung von technischen Störungen, Rüst- und Einstellvorgängen ist.

Blockade- und Wartezeiten (z.B. Verkettungsverluste) werden nicht einbezogen. SAA entspricht der Anlagenverfügbarkeit bei entsprechender Wahl der Systemgrenzen.

Mean Time To Repair, Mean Time To Recover (MTTR)

Die MTTR ist die durchschnittliche Ausfallzeit, das heißt die Zeitdauer vom Beginn bis zum Ende der Störung einer Station 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 einer Station oder eines Schutzkreises.

Technische Verfügbarkeit (V):

Die folgende Formel beschreibt die mathematische Beziehung zwischen der Verfügbarkeit und den Störparametern mittlere Stördauer und mittlerer Störabstand.

$$V = \frac{MTBF}{MTBF + MTTR}$$