
Zusammenfassung der Masterarbeit

Analyzing the Influence of Design Parameter Using Systems Engineering Approaches

(Analyse des Einflusses von Design Parametern anhand Systems
Engineering Ansätzen)

Übersicht

Übersicht	1
1 Einführung	2
1.1 Ziel der Masterarbeit.....	2
1.2 Herangehensweise bei der Erstellung der Masterarbeit.....	3
2 Vorgehen bei der Untersuchung des Einflusses von Design Parametern	3
2.1 Festlegung des Untersuchungsbereiches	4
2.2 Systemmodellierung	5
2.3 Design Parameter Analyse (I).....	6
2.4 Simulation des Systemverhaltens.....	8
2.5 Design Parameter Analyse (II).....	8
3 Resümee	8

1 Einführung

1.1 Ziel der Masterarbeit

Im Zentrum dieser Masterarbeit liegt die Analyse von Design Parametern (DP)¹ bezüglich ihrer Wirkung auf das gesamte Systemverhalten. Hierfür wird eine Vorgehensweise, strukturiert in die wesentlichen Phasen, basierend auf Systems Engineering (SE) Prinzipien erarbeitet. Neben den allgemeinen Systems Engineering Ansätzen spielt hierbei die spezielle Vorgehensweise *Design for Six Sigma (DFSS)*² eine wesentliche Rolle. Bei der Erstellung der Methodik für die Untersuchung des Einflusses von Design Parametern liegt der besondere Augenmerk darauf, die SE Methoden und die Six Sigma Tools entsprechend den Anforderungen für die Design Parameter Analyse auszuwählen und anzupassen. Dies führt sowohl zur Modifizierung von Methoden, als auch zur Einführung von neuen Ansätzen.

Die Masterarbeit wird im Rahmen des Projektes PVTherm erstellt, welches die Entwicklung eines neuen Typs von Solarmodul zum Inhalt hat. Die erarbeitete Methodik wird direkt in dem Projekt PVTherm angewendet, um den Einfluss der Design Parameter des System PVTherm³ zu analysieren und somit eine Aussage über das physikalische Verhalten geben zu können. Dies erfolgt durch die mehrstufige Bestimmung des Einflusses der PVTherm Design Parameter, bei der zu erst alle relevanten und dann die wenigen essentiellen Design Parameter identifiziert werden. Die Erfahrung die hierbei gemacht wird dient der Überprüfung des Nutzens und der Effektivität der Methodik.

Das übergeordnete Ziel, das durch diese Masterarbeit unterstützt wird, ist die Optimierung der Design Parameter des Systems PVTherm. Die hierarchische Untergliederung der Zielverfolgung in dieser Masterarbeit ist in Abbildung 1-1 veranschaulicht. Charakteristisch für die Zielverfolgung in dieser Masterarbeit ist, dass sich die Aufgaben bezüglich Systems Engineering und die Aufgaben bezüglich Electrical Engineering gegenseitig ergänzen. Als Grundlage für eine effiziente, strukturierte und zielgerichtete Problembearbeitung, dient das Systems Engineering, welches jedoch ohne den technischen und physikalischen Kontext, repräsentiert durch Electrical Engineering, in der Luft hängen würde.

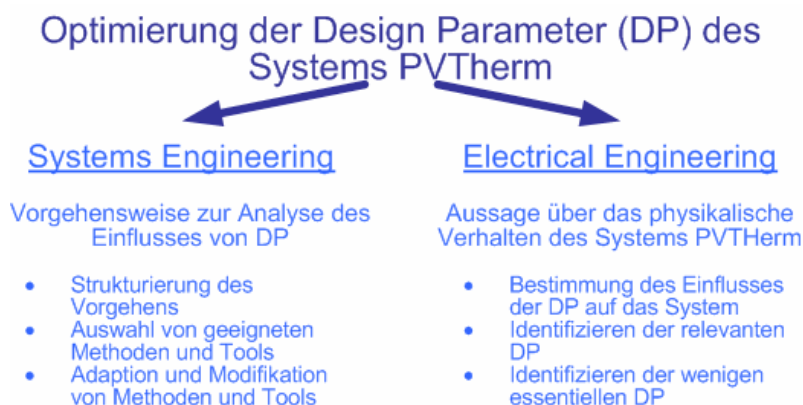


Abbildung 1-1: Ziel- und Maßnahmenpyramide der Masterarbeit.

¹ DP ist ein beeinflussbarer Faktor, der eine Auswirkung auf das Systemverhalten hat.

² Das Vorgehensmodell *DFSS*, welches bei General Electric allgemein Anwendung findet, ist speziell für F&E-Projekte konzipiert. DFSS untergliedert die F&E-Projekte in sechs Phasen, die jeweils mit entsprechenden Methoden und Tools unterstützt werden. DFSS basiert auf den Six Sigma Methodiken, die für die Optimierung von Prozessen eingesetzt werden.

³ Das System PVTherm steht für den neuen Solarmodul Typ, welcher im Rahmen des Projekts PVTherm entwickelt wird.

1.2 Herangehensweise bei der Erstellung der Masterarbeit

Um die oben erläuterten Ziele zu verfolgen dient bei der Erstellung der Masterarbeit die in Abbildung 1-2 dargestellte Herangehensweise.

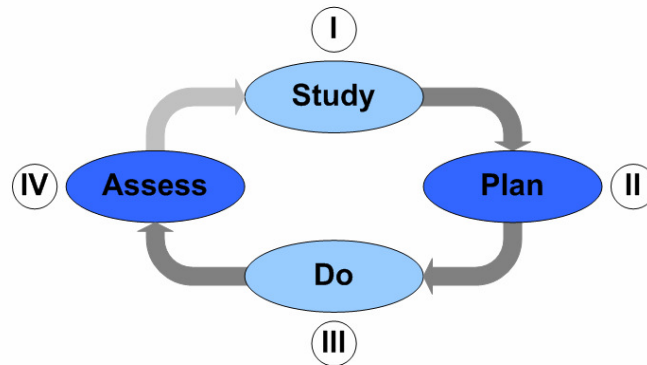


Abbildung 1-2: Hauptphasen bei der Erstellung der Masterarbeit. Farblich hervorgehoben ist der Fokus dieser Zusammenfassung.

In einem ersten Schritt wird die Grundlage für das weitere Vorgehen gelegt. Dies beinhaltet sowohl die Einarbeitung in die Charakteristika des Projekts PVTherm, als auch das Identifizieren relevanter SE-Strategien und DFSS Methoden und Tools. Im zweiten Schritt erfolgt die Erarbeitung der Methodik für die Design Parameter Analyse, die in dem darauf folgenden Schritt zur Anwendung kommt. Abschließend im vierten Schritt wird das Vorgehen beurteilt.

Der Schwerpunkt dieser vorliegenden Zusammenfassung liegt auf der Darstellung und Erläuterung der Methodik für die Untersuchung des Einflusses von Design Parametern und bezieht sich daher vor allem auf die Hauptphasen II und IV der Masterarbeit.

2 Vorgehen bei der Untersuchung des Einflusses von Design Parametern

Die wesentliche Herausforderung der Methodik für die Untersuchung des Einflusses von Design Parametern ist die Systemkomplexität zu reduzieren ohne jedoch dadurch unzulässige Vereinfachungen vorzunehmen. Um dies zu realisieren ist das Vorgehen in fünf Phasen untergliedert, die im Folgenden näher erläutert werden. Abbildung 2-1 gibt einen Überblick über die beteiligten Phasen und deren Ergebnisse.

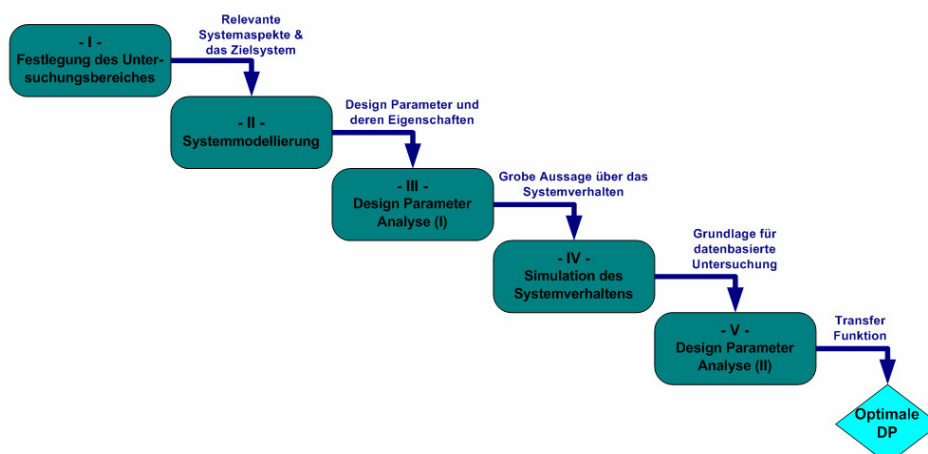


Abbildung 2-1: Überblick über die Phasen der Methodik und deren entsprechende Ergebnisse.

2.1 Festlegung des Untersuchungsbereiches

Gemäß den Prinzipien des SE-Problemlösungszyklus wird in der ersten Phase dieser Methodik der Fokus auf die Zielsuche gelegt. Wichtig ist hier, dass am Ende dieser Phase das Untersuchungsfeld lokalisiert und klar abgesteckt ist, um ein effizientes und zielgerichtetes weiteres Vorgehen sicherzustellen. Dazu werden zuerst Systemaspekte festgelegt, bezüglich derer der Einfluss der DPs in der nachfolgenden Analyse untersucht wird. Dies setzt voraus, dass im Vorfeld bereits alle für das System relevanten Aspekte bzw. Eigenschaften⁴ identifiziert worden sind.

In einem zweiten Schritt wird das Zielsystem für die Untersuchung definiert: Dieses Zielsystem hat in der Regel wesentliche Auswirkung auf die zuvor festgelegten Systemaspekte. Für die Definition des Zielsystems wird das zu betrachtende System von seiner Umwelt abgegrenzt und in Subsysteme untergliedert. Je nach Komplexität des Systems kann das Zielsystem ein Subsystem oder das gesamte zu betrachtende System darstellen.

Abschließend setzt man die festgelegten Systemaspekte in Bezug zu dem Zielsystem und kann somit die zuvor noch allgemein gehaltenen Systemaspekte speziell für das Zielsystem weiter detaillieren bzw. konkretisieren. Wie die Festlegung des Untersuchungsbereiches erfolgen kann ist anhand des Projektes PVTherm in Abbildung 2-2 visualisiert.

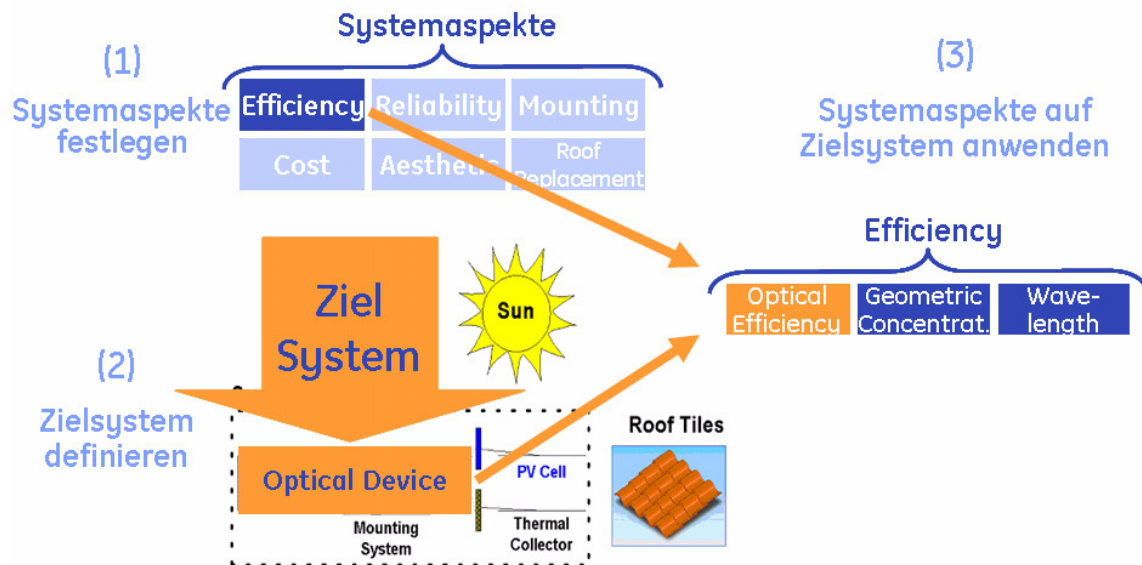


Abbildung 2-2: Schritte bei der Festlegung des Untersuchungsbereiches dargestellt anhand des Projektes PVTherm. Aus den sechs für das System relevanten Systemeigenschaften ist die ‚Efficiency‘ für die DP Analyse festgelegt worden, welche auf das Zielsystem ‚Optical Device‘ (Subsystem von dem zu betrachtenden System PVTherm) angewendet wird. Hierbei lässt sich der Systemaspekt noch feiner untergliedern, wobei für die weitere Untersuchung nur die ‚Optical Efficiency‘ von Bedeutung ist.

Um ein vollständiges Bild von dem zu betrachtenden System zu bekommen, sind je nach Komplexität mehrere Untersuchungsbereiche zu definieren, die dann getrennt analysiert werden. Die Kunst hierbei ist die richtige Kombination zwischen Systemaspekt und Zielsystem festzulegen, da nicht jede mögliche Kombination zwingend untersucht werden muss.

⁴ Im Kontext von DFSS werden relevante Systemaspekte bzw. Systemeigenschaften, die maßgeblich zur Kundenzufriedenheit beitragen, CTQ (Critical To Quality) genannt. Auf einer detaillierten Betrachtungsebene können auch DPs als CTQs bezeichnet werden.

2.2 Systemmodellierung

Das Ziel der Systemmodellierung ist es sich das Zielsystem vertraut zu machen, indem man es hierarchisch untergliedert, um somit die relevanten Design Parameter zu erkennen und ihre Vernetzung im System aufzuzeigen. Hierfür ist es notwendig zum einen das System bezüglich seiner Objekte und zum anderen bezüglich seiner Funktionen zu betrachten.

Über den objektorientierten Ansatz lassen sich sehr gut die DPs eines Systems identifizieren, wie in Abbildung 2-3 dargestellt. Hierbei wird das Zielsystem gemäß dem Top-Down-Approach in seine Subsysteme und Komponenten zerlegt. Auf der untersten Hierarchieebene werden – den Komponenten zugeordnet – die DPs aufgelistet. Wichtig für den Nutzen dieses Modells ist die strikte Trennung zwischen Komponenten, DPs und DP-Ausprägungen, da sonst die Übersichtlichkeit stark leiden würde.

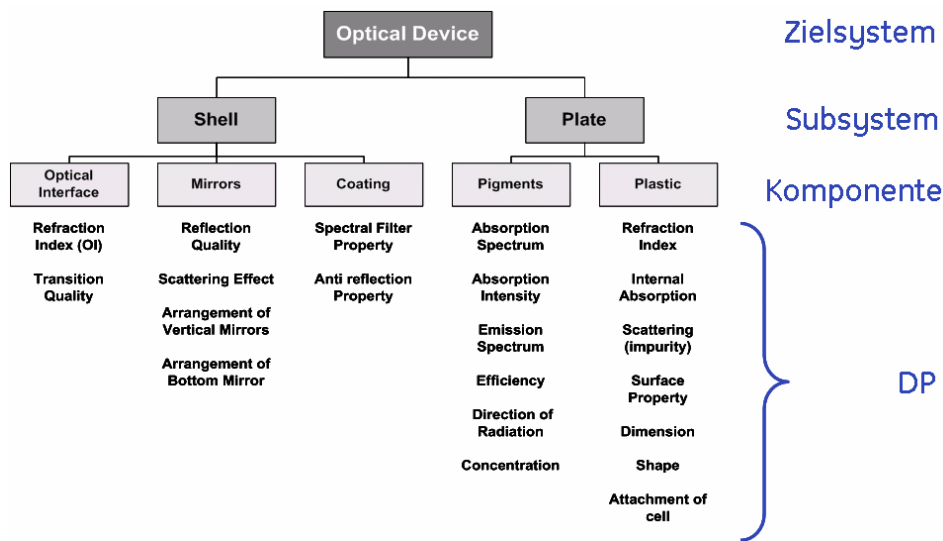


Abbildung 2-3: Objektorientiertes Modell in Form eines Baumdiagramms zur Identifizierung der DPs eines Systems.

Nachdem über das objektorientierte Modell die DPs des Systems erkannt worden sind, wird im funktionsorientierten Modell dargestellt, wie diese DPs bei dem Systemverhalten eingebunden sind. Dies ist eine weitere wichtige Erkenntnis für die Bestimmung des Einflusses der DPs. Auch bei der funktionsorientierten Betrachtung hat sich die hierarchische Untergliederung bewährt. Das Systemverhalten wird strukturiert in Funktionen und Subfunktionen, denen dann die DPs zugeordnete werden.

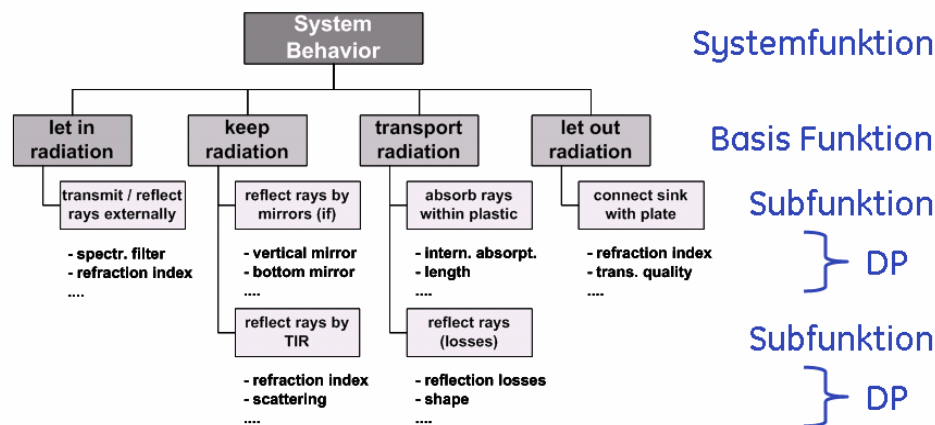


Abbildung 2-4: Funktionsorientiertes Modell in Form eines Baumdiagramms zur Zuordnung der DP zu den jeweiligen Subsystemen.

In einem letzten Schritt während der Phase der Systemmodellierung ist der Zusammenhang zwischen den DPs und den zu untersuchenden Systemaspekten als Basis für eine später zu erstellende Transferfunktion⁵ aufzuzeigen. Dafür bietet sich das Six Sigma Tool ‚CTQ Flowdown‘ an. Das auf Excel basierende CTQ Flowdown Tool unterstützt das Strukturieren und Analysieren von Systemaspekten (CTQs) auf unterschiedlichen Systemebenen, indem einzelne CTQs bzw. DPs über Transferfunktionen in Verbindung gesetzt werden können. Anhand der zuvor erarbeiteten Systemmodelle lässt sich dieses CTQ-Flowdown-Diagramm effizient ableiten. Einen Eindruck von einem CTQ-Flowdown-Diagramm liefert Abbildung 2-5.

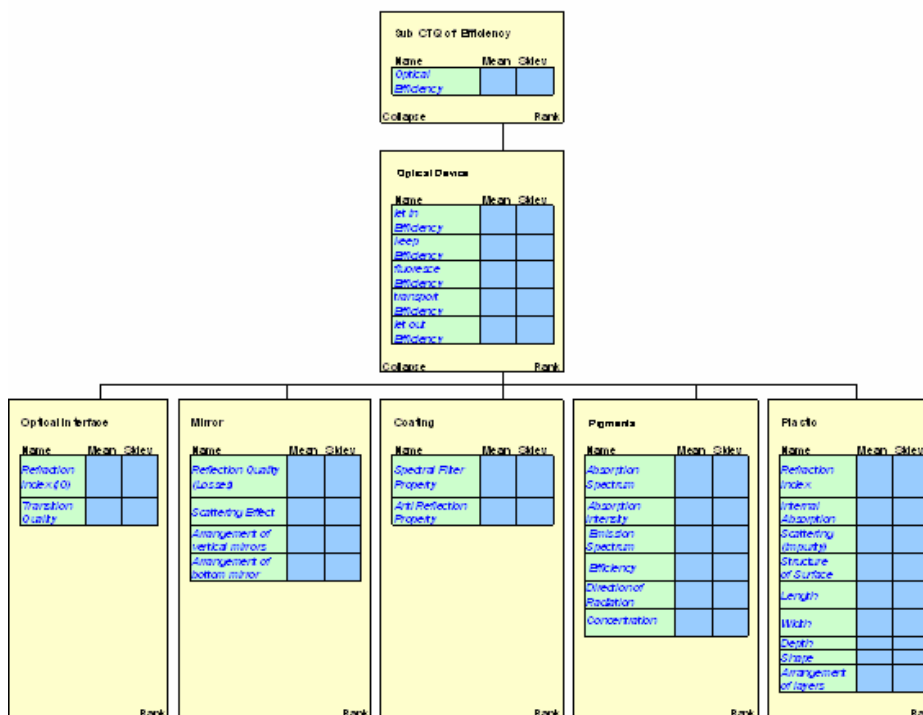


Abbildung 2-5: Darstellung eines CTQ-Flowdown-Diagramms. Das CTQ-Flowdown-Diagramm liefert die Struktur anhand dieser später die CTQs bzw. DPs miteinander über Transferfunktionen verknüpft werden können. Die Auswirkung einzelner CTQs bzw. DPs auf den zu betrachtenden Systemaspekt werden innerhalb des Diagramms durch Eingabe von DP-Werten berechnet.

Die gründliche und strukturierte Betrachtung des Zielsystems anhand mehrerer Modeltypen trägt wesentlich zum Systemverständnis bei. Als Hilfestellung bei der Untergliederung von Systemen kann folgendes Zitat dienen: „In partitioning, choose the elements so that they are as independent as possible; that is, elements with low external complexity and high internal complexity.“ [E. Rechtin, The Art of Systems Architecting, Boca Raton, Florida, 1997]

2.3 Design Parameter Analyse (I)

In der ersten DP Analyse in dieser Phase soll nach der Identifizierung aller relevanten DPs des Zielsystems nun die Grundlage gelegt werden weniger wichtige DPs für die weitere Betrachtung auszusortieren, so dass man den Schwerpunkt der Untersuchung auf die wenigen essentiellen DPs richten kann. Diese DP Analyse basiert auf Systemkenntnissen aus Literatur und Praxis, durch die der Einfluss der DPs auf das System abgeschätzt wird. Um sicherzustellen, dass die Auswahl der essentiellen DPs soweit wie möglich von Subjektivität befreit und nachvollziehbar ist, wurde hierfür im Rahmen der Masterarbeit ein methodischer SE-Ansatz erarbeitet. Dieser methodische Ansatz mit Namen ‚Impact Matrix‘ wird folgend beschrieben.

⁵ Aus der Transferfunktion gehen die Auswirkungen von unterschiedlichen DP-Ausprägungen auf die Systemaspekte hervor.

Ausgehend von dem funktionsorientierten Systemmodell erfolgt zuerst eine tabellarische Zuordnung von DPs und Subfunktionen. Somit bekommt man über die Vernetzung der DPs (an wie vielen Subfunktionen ist ein DP beteiligt?) einen ersten Eindruck über deren Bedeutung für das Systemverhalten (Vgl. Abbildung 2-6).

Nr.	Design Parameter	keep			transport		let out	Complexity of DP
		reflect by mirrors (if)	reflect by coating	reflect by TIR	absorb by matrix	reflect (losses)	connect	
1	Spectral Filter Property					1		1
2	Anti Reflection Property							0
3	Reflection Quality					1		1
4	Scattering Effect			1				1
5	Arrangement of Vertical Mirrors	1		1		1		3
6	Arrangement of Bottom Mirrors	1		1		1		3
7	Refraction Index (IO)						1	1
8	Transition Quality						1	1

Abbildung 2-6: Aufbau der ‚Impact Matrix‘. Im ersten Schritt wird die Verknüpfung zwischen Subfunktion und DP anhand der ‚1‘ dargestellt. In der rechten Spalte gibt die Anzahl der Funktionsbeteiligungen einen ersten Eindruck der Bedeutung der DPs.

Um dem Umstand Rechnung zu tragen, dass sowohl die Funktionen eine unterschiedliche Auswirkung auf das Systemverhalten haben, als auch die DPs verschieden stark die Funktionen beeinflussen, erfolgt im zweiten Schritt zum einen eine Gewichtung der Funktionen und Subfunktionen gemäß ihrer Bedeutung für das Systemverhalten und zum anderen eine Abschätzung der DP-Auswirkung auf die Funktionen. Über dieses Vorgehen kann strukturiert und nachvollziehbar in mehreren Schritten der Einfluss der DPs auf das Zielsystem bewertet werden, wie in Abbildung 2-7 veranschaulicht.

Nr.	Design Parameter	1. keep 16.0%			transport 16.9%		let out 3.6%	Impact of DP 36.5%
		2. reflect by mirrors (if) 40.0%	reflect by coating 20.0%	reflect by TIR 40.0%	absorb by matrix 40.0%	reflect (losses) 60.0%	connect 100%	
		6.4%	3.2%	6.4%	6.8%	10.1%	3.6%	36.5%
1	Spectral Filter Property		1.60%			0.20%		1.8%
2	Anti Reflection Property							0.0%
3	Reflection Quality					4.06%		4.1%
4	Scattering Effect			0.13%				0.1%
5	Arrangement of Vertical Mirrors	4.16%		0.19%		0.46%		4.8%
6	Arrangement of Bottom Mirrors	2.24%		0.45%		0.46%		3.1%
7	Refraction Index (IO)						0.90%	0.9%
8	Transition Quality						1.80%	1.8%

Abbildung 2-7: Dargestellt ist der Vorgang der Berechnung des DP-Einflusses. Die Bewertung der Bedeutung der DPs für das Zielsystem erfolgt sukzessiv über das Abschätzen der Auswirkung von Funktion und Subfunktion auf das System, sowie dem Grad der DP-Vernetzung.

Als Ergebnis der Impact Matrix werden zum Schluss die DPs gemäß ihrer Bedeutung für das Zielsystem in einem Säulendiagramm gegenübergestellt. Durch Festlegung von Priorisierungsbereichen kann eine Auswahl der essentiellen DPs erfolgen (Vgl. Abbildung 2-8).

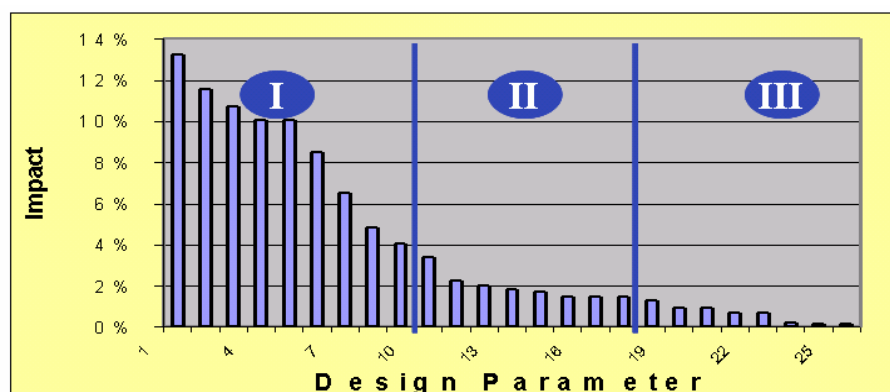


Abbildung 2-8: Bedeutung der DPs für das Zielsystem dargestellt in einem Säulendiagramm.

2.4 Simulation des Systemverhaltens

Für eine detaillierte und zuverlässige Aussage über den Einfluss von DPs auf das Zielsystem bedarf es neben der Analyse, basierend auf Literaturangaben, noch Daten über das konkrete Systemverhalten. Diese Daten bekommt man idealer Weise durch reale Experimente. Wenn diese zu aufwendig sind, können hier auch Simulationstools – wie im Rahmen des Projektes PVTherm – zum Einsatz kommen, um eine Grundlage für eine datenbasierte Analyse zu schaffen.

Aufbauend auf den Systemkenntnissen, die in den vorangegangenen Phasen der DP Untersuchung erlangt worden sind, wird der Ablauf der Systemsimulation gestaltet. Dies hat Auswirkungen auf die Strukturierung der Simulationsläufe, sowie auf die Auswahl der DPs, deren Werte für die Simulation variiert werden.

Die einzelnen Simulationsläufe werden entsprechen der Methode Design Of Experiment (DOE) ausgeführt. Dieser DOE-Ansatz, der Bestandteil des Methoden Pools von DFSS ist, beschreibt wie man mit minimaler Anzahl von Experimenten bzw. Simulationsläufen die Werte der DPs variiert, um somit die Auswirkungen der DPs auf das Systemverhalten zu quantifizieren.

2.5 Design Parameter Analyse (II)

Die zweite DP Analyse in dieser letzten Phase geht Hand in Hand mit der Systemsimulation und kann im Gegensatz zur ersten DP Analyse auf eine Datenbasis bzgl. des Systemverhaltens zurückgreifen. Ziel hier ist neben der Bestätigung und Detaillierung der vorangegangenen DP Analyse, die optimalen Einstellungen der DPs für die zu betrachtenden Systemaspekte zu finden. Basierend auf den Erkenntnissen in dieser Phase zusammen mit den Softwaretools, welche die DOE-Methode unterstützen, lassen sich Transferfunktionen für das während der Systemmodellierung erstellte CTQ-Flowdown-Diagramm beschreiben.

Charakteristisch für die DP Analyse in dieser Phase ist, dass die Untersuchungsergebnisse zuerst auf Ebene der Subfunktionen erzielt werden, um daraus Rückschlüsse auf das gesamte Systemverhalten abzuleiten. Das heißt, dass der in den ersten Phasen vorherrschende Top-Down-Approach zum Ende der DP Untersuchung von dem Bottom-Up-Approach abgelöst wird.

3 Resümee

Die in der Masterarbeit konzipierte Methodik zur Untersuchung der Auswirkungen von DPs auf das Systemverhalten ist im Kontext eines F&E-Projektes bei General Electric entstanden, dessen Vorgehen maßgeblich durch DFSS bestimmt ist. So wurde die hier erarbeitete Methodik zum einen in die Vorgehensstruktur von DFSS eingebettet, zum anderen hat sie sich der Methoden und Tools von Six Sigma bedient.

Basis für die Erstellung der Methodik ist das Grundverständnis von Systems Engineering gewesen. Dieses geht davon aus, dass alle Prozesse oder Produkte als Systeme betrachtet werden können, die – um der Komplexität Herr zu werden – von der Umwelt abzugrenzen und in einzelne Elemente hierarchisch zu untergliedern sind. Bei dieser Strukturierung ist die Existenz unterschiedlicher Systemansichten zu beachten. Des Weiteren hat das Vorgehen des Problemlösungszyklus, in dem zwischen der anfängliche Zielsuche und der darauf folgenden Lösungssuche klar unterschieden wird, Einfluss auf die Methodik genommen.

Charakteristisch für die hier vorgestellte Methodik ist, dass bei fortschreitender Untersuchung der Detaillierungsgrad und die Aussagekraft der Analyseergebnisse sukzessiv zunehmen, wobei die einzelnen Phasenergebnisse aufeinander aufbauen. Trotz dieser vorgegebenen Reihenfolge der Phasenergebnisse, die sinnvoll ist um die Systemkenntnis schrittweise zu steigern, ist Raum – wenn nötig – für iteratives Vorgehen. Einen groben Überblick über einzelne Analyseergebnisse im Laufe der Untersuchung und deren steigenden Detaillierungsgrad gibt Abbildung 3-1.

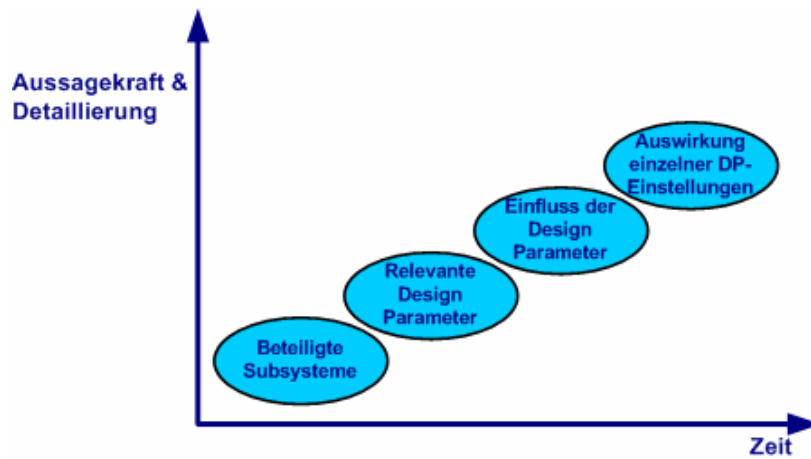


Abbildung 3-1: Darstellung der zunehmenden Detaillierung und Aussagekraft der Analyseergebnisse über den zeitlichen Verlauf der Untersuchung.

Um die Analyse zielgerichtet und effizient zu gestalten geht mit zunehmender Systemkenntnis auch die Fokussierung auf die für das Zielsystem wichtigen DPs einher. Diese Fokussierung erfolgt strukturiert und nachvollziehbar durch methodische Unterstützung. Somit kann gewährleistet werden, dass von der Aussortierung nur die DPs betroffen sind, die für das Zielsystem von geringer Relevanz sind.