

Dieter Veit

# Die wissenschaftliche Arbeit für Studierende der Ingenieurwissenschaften



HANSER





**Bleiben Sie auf dem Laufenden!**

Hanser Newsletter informieren Sie regelmäßig über neue Bücher und Termine aus den verschiedenen Bereichen der Technik. Profitieren Sie auch von Gewinnspielen und exklusiven Leseproben. Gleich anmelden unter [www.hanser-fachbuch.de/newsletter](http://www.hanser-fachbuch.de/newsletter)

## **Die Internet-Plattform für Entscheider!**

**Exklusiv:** Das Online-Archiv der Zeitschrift Kunststoffe!

**Richtungsweisend:** Fach- und Brancheninformationen  
stets top-aktuell!

**Informativ:** News, wichtige Termine, Bookshop, neue  
Produkte und der Stellenmarkt der Kunststoffindustrie

***Kunststoffe.de***

Dieter Veit

# **Die wissen- schaftliche Arbeit**

für Studierende der  
Ingenieurwissenschaften

HANSER

Der Autor:

*Dieter Veit, Aachen*



Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek:

Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <http://dnb.ddb.de> abrufbar.

Die Wiedergabe von Gebrauchsnamen, Handelsnamen, Warenbezeichnungen usw. in diesem Werk berechtigt auch ohne besondere Kennzeichnung nicht zu der Annahme, dass solche Namen im Sinne der Warenzeichen- und Markenschutzgesetzgebung als frei zu betrachten wären und daher von jedermann benutzt werden dürften.

Alle in diesem Buch enthaltenen Verfahren bzw. Daten wurden nach bestem Wissen dargestellt. Dennoch sind Fehler nicht ganz auszuschließen. Aus diesem Grund sind die in diesem Buch enthaltenen Darstellungen und Daten mit keiner Verpflichtung oder Garantie irgendeiner Art verbunden. Autoren und Verlag übernehmen infolgedessen keine Verantwortung und werden keine daraus folgende oder sonstige Haftung übernehmen, die auf irgendeine Art aus der Benutzung dieser Darstellungen oder Daten oder Teilen davon entsteht.

Dieses Werk ist urheberrechtlich geschützt. Alle Rechte, auch die der Übersetzung, des Nachdruckes und der Vervielfältigung des Buches oder Teilen daraus, vorbehalten. Kein Teil des Werkes darf ohne schriftliche Einwilligung des Verlages in irgendeiner Form (Fotokopie, Mikrofilm oder einem anderen Verfahren), auch nicht für Zwecke der Unterrichtsgestaltung – mit Ausnahme der in den §§ 53, 54 URG genannten Sonderfälle –, reproduziert oder unter Verwendung elektronischer Systeme verarbeitet, vervielfältigt oder verbreitet werden.

© 2022 Carl Hanser Verlag München

[www.hanser-fachbuch.de](http://www.hanser-fachbuch.de)

Lektorat: Mark Smith

Herstellung: Cornelia Speckmaier

Coverconcept: Marc Müller-Bremer, [www.rebranding.de](http://www.rebranding.de), München

Titelmotiv: © shutterstock.com/nikkytok; © gettyimages.de/anyaberkut

Coverrealisierung: Max Kostopoulos

Satz: Eberl & Koesel Studio, Altusried-Krugzell, Germany

Druck und Bindung: CPI books GmbH, Leck

Printed in Germany

ISBN: 978-3-446-47330-0

E-Book-ISBN: 978-3-446-47465-9

# Inhalt

<b>Vorwort</b> .....	VII
<b>1 Vorbereitung und Planung</b> .....	1
1.1 Formulierung des Themas .....	1
1.2 Zeitliche Planung .....	2
1.2.1 Meilensteine .....	3
1.2.2 Pert-Diagramm .....	3
1.3 Ressourcen .....	5
1.4 Zeitplan .....	5
1.5 Gantt-Diagramm .....	5
1.6 Hilfsmittel .....	6
<b>2 Der Stand der Technik</b> .....	7
<b>3 Unterschiedliche Arten von Arbeiten</b> .....	9
3.1 Experimentelle Arbeit .....	9
3.2 Konstruktive Arbeit .....	10
3.3 Simulative Arbeit .....	14
3.4 Literaturrecherche .....	17
3.5 Umfragen .....	18
<b>4 Statistische Versuchsauswertung</b> .....	21
4.1 Grundbegriffe .....	22
4.2 Verteilungen .....	23
4.2.1 Binomialverteilung .....	23
4.2.2 Poissonverteilung .....	26

4.2.3	Normalverteilung (Gauß-Verteilung, Glockenkurve) .....	28
4.2.3.1	Grundlagen .....	28
4.2.3.2	Summenfunktion .....	29
4.2.3.3	Statistische Sicherheit .....	33
4.2.4	Weibullverteilung .....	38
4.3	Regressionsanalyse .....	43
4.4	Übungsaufgaben .....	52
4.4.1	Binomialverteilung .....	52
4.4.2	Signifikanz-Test 1. Ordnung – Motor .....	52
4.4.3	Signifikanztest 1. und 2. Ordnung – Klausurergebnis .....	52
4.4.4	Signifikanztest 2. Ordnung – Lebenserwartung .....	53
<b>5</b>	<b>2<sup>n</sup>-Faktorenversuchsplan (Design of Experiments – DoE) .....</b>	<b>55</b>
5.1	Faktoren .....	55
5.2	Zielgröße .....	56
5.3	2 <sup>n</sup> -Faktorenversuchsplan .....	56
5.4	Vergleich zwischen herkömmlichem und Faktorenversuchsplan .....	58
5.4.1	Herkömmlicher Versuchsplan .....	59
5.4.2	Faktorenversuchsplan .....	60
5.5	Auswertung eines 2 <sup>n</sup> -Faktorenversuchsplans .....	63
5.5.1	Effekte von Faktoren .....	64
5.5.2	Wechselwirkungen von Faktoren .....	68
5.5.3	Interpretation der Effekte und Wechselwirkungen .....	71
5.5.4	Fazit .....	72
5.6	Beseitigung von Störeinflüssen in Faktorenversuchen .....	73
5.7	Streuung der Effekte .....	76
5.7.1	Varianz der Ergebnisse .....	76
5.7.2	Signifikanz der Effekte .....	77
5.8	Versuchsumfang .....	79
5.9	Teilfaktorenversuchspläne .....	81
5.9.1	Grundlagen .....	81
5.9.2	Plackett-Burman-Versuchspläne .....	86
5.10	Nicht-lineare Effekte .....	86

5.11	3 <sup>n</sup> -Faktorenversuchsplan .....	87
5.12	Übungsaufgaben .....	87
5.12.1	Igelhaare .....	87
5.12.2	Teilfaktorenversuchsplan .....	88
<b>6</b>	<b>Ergebnisdarstellung</b> .....	<b>89</b>
6.1	Die gültigen Ziffern .....	89
6.2	Sinnlose Diagramme .....	90
6.3	Schlechte und gute Diagramme .....	93
6.4	Diagrammtyp auswählen .....	102
6.5	Tabellen .....	103
6.6	Fotos .....	104
<b>7</b>	<b>Dokumentation</b> .....	<b>105</b>
7.1	Die Formatvorlage .....	105
7.2	Allgemeines .....	105
7.3	Der Titel .....	106
7.4	Einleitung, Zusammenfassung und Ausblick .....	108
7.5	Der Stand der Technik .....	109
7.6	Der Hauptteil .....	110
7.7	Richtiges und falsches Deutsch .....	111
7.8	Die Nachkommastelle .....	112
7.9	Abbildungen und Tabellen .....	114
7.10	Literaturverzeichnis .....	114
7.11	Schlussbemerkung .....	115
<b>8</b>	<b>Präsentation der Ergebnisse in einem Vortrag</b> .....	<b>117</b>
8.1	Vortrag planen .....	117
8.1.1	Titel .....	117
8.1.2	Gliederung .....	118
8.1.3	Die zentrale Botschaft .....	119
8.1.4	Folien und Bilder .....	120
8.2	Vortrag halten .....	125
8.2.1	Vorbereitung .....	126

8.2.2	Es geht los .....	126
8.2.3	Während des Vortrags .....	127
8.2.4	Zuhörer ansprechen (visuell, auditiv, kinästhetisch) .....	130
8.2.5	Schluss .....	131
8.2.6	Fragen beantworten .....	131
8.2.7	Fazit .....	133
<b>9</b>	<b>Checklisten .....</b>	<b>135</b>
9.1	Inhalt .....	135
9.2	Formalia .....	136
9.3	Vortrag .....	136
<b>10</b>	<b>Literatur und Internetquellen .....</b>	<b>137</b>
<b>11</b>	<b>Lösungen der Übungsaufgaben .....</b>	<b>139</b>
<b>Index</b>	.....	<b>145</b>

# Vorwort

In diesem Buch erhalten Sie einen Überblick zu den wesentlichen Schritten bei der Durchführung eines Forschungsprojekts in den Ingenieurwissenschaften, von der Formulierung des Themas über die zeitliche Planung, die Durchführung, die Auswertung und Dokumentation bis hin zur Präsentation Ihrer Ergebnisse in einem Vortrag.

Dieser Leitfaden ist entstanden auf der Basis zahlreicher wissenschaftlicher Arbeiten, die in den letzten Jahren an der RWTH Aachen durchgeführt wurden. Er soll Ihnen als Hilfestellung dienen, um eine studentische Arbeit gut zu planen, mit Freude durchzuführen, erfolgreich abzuschließen und am Ende begeistert zu präsentieren. Natürlich soll er Ihnen auch helfen, die typischen Fehler bei der Anfertigung wissenschaftlicher Arbeiten von vornherein zu vermeiden.

Im 1. Kapitel lernen Sie, wie Sie Ihr Projekt strukturieren und zeitlich planen können. Danach erfahren Sie in Kapitel 2, wie Sie den Stand der Technik ermitteln und dokumentieren. Im Kapitel 3 gibt es spezielle Hinweise für jede Art von Arbeit (experimentell, konstruktiv, simulativ, Literaturrecherche, Umfragen), und was Sie jeweils beachten sollten. In Kapitel 4 behandeln wir die einfachen Möglichkeiten der statistischen Auswertung Ihrer Ergebnisse und der Regressionsanalyse. Im 5. Kapitel wird das Konzept der faktoriellen Versuchsplanung vorgestellt, mit dessen Hilfe Sie mit minimalem Aufwand schnell die wichtigsten Einflussgrößen und ihre Wechselwirkungen bei Ihren Versuchen bestimmen können, und in Kapitel 6 lernen Sie, wie Sie Ihre Ergebnisse so darstellen, dass die Leser:innen sofort erkennen, worum es geht. Das Kapitel 7 zeigt Ihnen, wie Sie die schriftliche Dokumentation Ihres Projekts aufbauen können, und im 8. Kapitel erfahren Sie, wie Sie einen guten Vortrag halten, der den Zuhörerinnen und Zuhörern noch lange positiv in Erinnerung bleibt. Das 9. Kapitel enthält eine Checkliste für Eilige, in der alle wichtigen Punkte für ein erfolgreiches studentisches Projekt zusammengefasst sind. Im Kapitel 10 finden Sie Quellen und Hinweise zu weiterer Literatur bzw. interessanten Websites, wenn Sie noch mehr wissen wollen. Kapitel 11 enthält die Lösungen der Übungsaufgaben.

Ich danke meinen Kollegen Heiko Schenuit (Kap. 4), Christian Möbitz und Volker Niebel (Kap. 6) sowie meiner Kollegin Vanessa Overhage (Kap. 8) herzlich für ihre Unterstützung bei der Erstellung der entsprechenden Manuskriptteile.

*Aachen, April 2022*

*Dieter Veit*

# 1

## Vorbereitung und Planung

Wissenschaftliche Arbeit macht Spaß! Sie entdecken etwas Neues, erstellen ein mathematisches Modell, Sie erfinden ein neues Prinzip, verbessern ein bestehendes, führen Versuche durch, die vor Ihnen noch niemand gemacht hat, und gewinnen Erkenntnisse, die für die Fachwelt neu sind!

Das gelingt allerdings nur, wenn Sie ein paar Dinge bei der Themenwahl beachten:

- Suchen Sie sich zunächst ein Thema aus, für das Sie sich wirklich begeistern können. Dann werden auch Ihre Ergebnisse gut sein! Wählen Sie das Thema nicht danach aus, welches am schnellsten zu bearbeiten ist. Das Ergebnis wird sonst weder Sie noch Ihren Betreuer bzw. Ihre Betreuerin befriedigen.
- Prüfen Sie auch, ob Sie sich mit Ihrem Betreuer oder Ihrer Betreuerin gut verstehen. Wenn Sie sich nicht mögen, dann wird auch Ihr Projekt in der Regel kein Erfolg. Auch bei technischen Arbeiten muss „die Chemie stimmen“.
- Ist alles bereit, damit Sie mit Ihrem Projekt wie geplant beginnen können? Dazu zählen Literaturquellen, die Ihnen zur Verfügung gestellt werden als Einstieg in das Thema. Ist der Versuchsstand für Ihre experimentelle Arbeit in gutem Zustand und einsatzbereit und gibt es ausreichend Versuchsmaterial? Bei simulativen Arbeiten: Ist die notwendige Software installiert? Gibt es schon Versuchsdaten zur Verifikation Ihres Modells?

### ■ 1.1 Formulierung des Themas

Das Thema Ihrer Arbeit sollte klar und leicht verständlich formuliert sein. Eine gute Themenbeschreibung beginnt damit, dass Sie zunächst den größeren Zusammenhang darstellen, zu dem das Thema in Bezug steht. Dann formulieren Sie das „Defizit“, also das Problem, das Sie lösen wollen. Danach beschreiben Sie das Ziel und zum Schluss skizzieren Sie Ihren (voraussichtlichen) Lösungsweg.

**Beispiel:**

Das Auto ist das wichtigste Fortbewegungsmittel für Menschen in den Industrieländern. Dies führte in den letzten Jahren zu einer Reihe von Neuerungen im Automobilssektor (größerer Zusammenhang). So nahm z. B. der durchschnittliche Kraftstoffverbrauch neuer Modelle in den letzten Jahren kontinuierlich ab (Defizit). Ziel ist es daher, dieser Entwicklung entgegenzuwirken, um der deutschen Mineralölindustrie zu größeren Umsätzen zu verhelfen (Ziel). Dies soll über eine gezielte Erhöhung des Fahrergewichts erreicht werden (Lösungsansatz). In dieser Arbeit werden daher Möglichkeiten untersucht, Fahrer:innen gezielt fettleibiger zu machen, um so das mittlere Fahrzeuggesamtgewicht und dadurch den Kraftstoffverbrauch zu erhöhen (Lösungsweg).

Wenn Sie das Thema, wie oben beschrieben, nach dem 1. Treffen selbst formulieren und Ihrer Betreuerin oder Ihrem Betreuer vorlegen, dann sehen Sie schnell, ob Sie alles richtig verstanden haben.

**Falsche Formulierungen**

Untersuchungen, Analysen und Befragungen sind nie „Ziele“.

- „Ziel ist die Untersuchung der Zusammenhänge zwischen Fahrergewicht und Kraftstoffverbrauch.“ Eine Untersuchung ist nie das „Ziel“, sondern immer der „Weg“. Das Ziel ist es, den gesuchten Zusammenhang in Worten oder mit einer Gleichung zu beschreiben. Wobei auch dieses Ziel nur ein Zwischenziel auf dem Lösungsweg sein kann, denn eigentlich ist das Ziel ja, der Mineralölindustrie zu helfen.
- „Ziel ist eine Befragung von 1000 übergewichtigen Autofahrern zur Ermittlung ihrer Essgewohnheiten.“ Auch das ist kein Ziel, sondern der Weg zum Ziel, das hier darin besteht, das durchschnittliche Fahrergewicht zu erhöhen. Ja, auch das kann als „Zwischenziel“ betrachtet werden.

Je nach Umfang Ihrer Arbeit, kann Ihr Ziel somit auch ein Zwischenziel sein, auf dem der/die Nächste aufbauen wird.

## ■ 1.2 Zeitliche Planung

Vor Beginn der eigentlichen Arbeit sollten Sie sich Gedanken machen, wie viel Zeit Sie jede Woche für Ihr Projekt aufwenden können. Dabei sollten Sie auch externe Einflüsse berücksichtigen, z. B. ob Maschinen verfügbar sind, genug Versuchsmaterial vorhanden ist und das Prüflabor Zeit hat, ob eine geplante Umfrage zeit-

lich in die Ferien fällt oder bei einer simulativen Arbeit der erforderliche Computer zur Verfügung steht.

### 1.2.1 Meilensteine

Die Definition von Zwischenzielen, den sogenannten „Meilensteinen“, hilft Ihnen, Ihre Arbeit zeitlich und inhaltlich zu planen, indem Sie sie in kleinere Einheiten aufteilen. Sie erkennen so frühzeitig, zu welchem Zeitpunkt Sie welche Ressourcen brauchen und ob Sie noch im Zeitplan sind (Bild 1.2).

Formulieren Sie die Meilensteine möglichst präzise und machen Sie das Ergebnis „messbar“. Typische Beispiele für Meilensteine sind „Stand der Technik“, „Erstellung eines Versuchsplans“, „Versuche abgeschlossen“, „Auswertung der Versuche“, „grafische Darstellung der Versuchsergebnisse“, „Abschluss der Designphase“, „Erstellung der Konstruktionszeichnung“, „Erstellung der Stückliste“, „Inbetriebnahme der Maschine“, „erstes Computermodell“, „Verifikation des mathematischen Modells“, „Präsentation beim Kunden“, „Bericht fertig“.

### 1.2.2 Pert-Diagramm

Für komplexe Projekte kann es sinnvoll sein, vor der Erstellung eines konkreten Zeitplans zunächst die Verknüpfung der einzelnen Meilensteine untereinander und ihre gegenseitigen Abhängigkeiten aufzuzeichnen. Dazu wird häufig ein Pert-Diagramm verwendet (Project Evaluation and Review Technique). Es wurde 1958 in den USA entwickelt und ist beispielhaft in Bild 1.1 dargestellt. Die Meilensteine werden in 10er-Schritten nummeriert, um später Zwischen-Meilensteine einfügen zu können. Der Meilenstein „10“ ist der Startpunkt des Projekts. Die Meilensteine „20“ und „30“ sind die nächsten Schritte. Die Arbeitsschritte „A“ und „B“ führen zu ihnen. Ist Meilenstein „40“ erreicht, so kann mit den Arbeitsschritten „E“ und „F“ begonnen werden, die zu den nächsten Meilensteinen führen usw. Insgesamt ist die Projektdauer in diesem Beispiel mit 7 Wochen angesetzt, wobei die Länge der Pfeile der Dauer der Arbeitsschritte entsprechen kann, um es anschaulicher zu machen.