

# Inhaltsverzeichnis

<b>1 Einleitung</b>	<b>1</b>
1.1 Allgemeine Zielsetzung	1
1.2 Neue wissenschaftstheoretische Herausforderungen in der alten Mechanik	4
1.2.1 Die Dimension der Theorie: rationale Ordnung der mechanischen Gesetze	4
1.2.2 Das Hauptbeispiel des Newtonschen Grundgesetzes	7
1.2.3 Eingrenzung der Untersuchung auf Repräsentationsformen der Klassischen Mechanik	9
1.2.4 Die Dimension des Logischen in der Mechanik	14
1.3 Arbeitsthese: die disjunktive Umsetzung von 'Axiomen der Klassischen Mechanik'	20
<b>2 Hilberts sechstes Problem: davon, die Mechanik axiomatisch zu fassen</b>	<b>23</b>
2.1 Die axiomatische Methode als Ausgangspunkt der mechanischen Grundlagen im 20. Jahrhundert	23
2.2 Die Formulierung des Hilbertschen Problems	26
2.3 Die axiomatische Methode im sechsten Problem	28
2.3.1 Konstitution eines Begriffssystems	29
2.3.2 'Tieferlegung der Fundamente'	33
2.3.3 Grundlegen: logisches Repräsentieren statt Eliminieren	37
2.3.4 Metamathematische Untersuchungen	40
2.3.5 Ein Blick auf die Grundlagen der Mechanik	42
2.3.6 Metamathematik als Wahrheitsgarant?	45
2.3.7 Axiome im Widerspruch zur Tatsache?	47
2.3.8 Die Formoffenheit des axiomatischen Standpunktes	50
2.4 Merkmale einer axiomatisierten Theorie	55
2.5 Abstufungen des Logischen in der Mechanik	57

2.6	Einwände gegen axiomatische Grundlagen der Mechanik	63
2.6.1	Der pragmatische Einwand: mangelnder Bezug zur Forschung und Didaktik der Mechanik	63
2.6.2	Der sachbezogene Einwand: ein verfehltes Verständnis von physikalischen Theorien	66
2.6.3	Der logikkritische Einwand: die Irrelevanz der logischen Analyse	69
2.7	Zum Rechtfertigungsproblem: Kritik am Instrumentalismus und Einberufung der Intuition	71
2.8	Zum Erklärungsproblem: interne Vereinheitlichung	76
2.8.1	Erklären als Antwort auf Warum-Fragen	76
2.8.2	Erklären als Vereinheitlichung	78
2.9	Ein Fazit: Informelle versus formale Axiomatik in den Grundlagen der Mechanik	81
3	<b>Hamel's Grundlagen der Mechanik: Antworten auf Hilberts Problem</b>	85
3.1	Einleitende Übersicht: Die Rekonzeption der Klassischen Mechanik durch Georg Hamel	85
3.2	Zur physikalischen Seite des sechsten Problems	91
3.3	Die Begriffsvielfalt in der rationalen Mechanik des beginnenden 20. Jahrhunderts	94
3.3.1	Kinematische Grundbegriffe	96
3.3.2	Statische Grundbegriffe	97
3.3.3	Dynamische Grundbegriffe	99
3.3.4	Die Dynamik der Punktmassen	101
3.3.5	Die Dynamik kontinuierlicher Massen	102
3.3.6	Die Dynamik starrer Körper	105
3.4	Systematische Prinzipien der rationalen Mechanik	110
3.4.1	Zum Gegenwirkungsprinzip: innere Kräfte	111
3.4.2	Der Gültigkeitsbereich des d'Alembertschen Prinzips	115
3.4.3	Das Prinzip der virtuellen Arbeiten	118
3.4.4	Die analytischen Systemprinzipien und der Gegensatz analytisch - synthetisch in den Grundlagen der Mechanik	121
3.5	Pragmatische Antworten: der Verzicht auf Teile der Problemstellung	124
3.5.1	Das Ende der Mechanistik	124

3.5.2	Boltzmanns Atomismus-Phänomenalismus-Debatte	127
3.5.3	Die Lehrbuchversion des Grenzübergangs	131
3.6	Die Axiome der Mechanik bei Hamel	136
3.6.1	Hamels axiomatische und physikalische Leistungen auf dem Gebiet der Klassischen Mechanik	137
3.6.2	Die Struktur des Axiomensystems der Klassischen Mechanik	139
3.6.3	Das Newtonsche Grundgesetz: der gemeinsame Untergrund	148
3.6.4	Das Grundgesetz ist mehr als seine logische Struktur	156
3.7	Die deduktive Vernetzung in Hamels Grundlagen der Mechanik	160
3.7.1	Hamels Deduktionsthese und Ablehnung der Punktanschauung	160
3.7.2	Deduktionen aus dem Grundgesetz	164
3.7.3	Das Boltzmann-Axiom: Deduktion des Momentensatzes	166
3.7.4	Die Energieerhaltung als drittes Fundamentalgesetz	169
3.7.5	Der deduktive Übergang zu den anderen Systemmechaniken	171
3.8	Metamathematische Resultate	175
3.8.1	Fragen der Widerspruchsfreiheit	176
3.8.2	Fragen der Unabhängigkeit	179
3.8.3	Punkt- versus Kontinuumssicht: der unlösbare Gegensatz der Klassischen Mechanik	182
3.8.4	Das Argument für eine erweiterte Punktanschauung	186
3.9	Ein Fazit: Der Gegensatz der Anschauungen in der Punkt-Kontinuumsdebatte	192
4	<b>Einschränkungen und Übertreibungen: die Kontroverse um Hamels Grundlagen</b>	197
4.1	Einleitende Übersicht	197
4.2	Reaktionen auf Hamels Axiomatisierung der Klassischen Mechanik	199
4.3	Wissenschaftsphilosophische Perspektiven von Hamels Grundlagen der Mechanik	204
4.3.1	Wilsons Problem mit Axiomatisierungen der Klassischen Mechanik	204

4.3.2	Das disjunktive Axiomensystem der Klassischen Mechanik	208
4.4	Der anwendungsbezogene Blick auf die Klassische Mechanik	212
4.4.1	Kuhn über das Newtonsche Grundgesetz	213
4.4.2	Toulmin über die Eigenständigkeit von Anwendung und Grundlage	216
4.4.3	Axiomatisierung als Teil eines Formalisierungsprogrammes	219
4.5	Ein Plädoyer für informelle Axiome der Mechanik	223
4.5.1	Die Anfänge des Semantic Views und der historische Gegensatz zu Hamels Axiomensystem in den 1950ern	223
4.5.2	Die Berufung auf den punktmechanischen Zugang zur Mechanik	224
4.5.3	Verborgene Redundanzbehauptungen	227
4.5.4	Die These der metamathematischen Präzision	230
4.5.5	Ein Fazit: Zurück zu den informellen Ursprüngen der axiomatischen Methode	233
5	Weitere Perspektiven zu einer axiomatisierten Klassischen Mechanik	237
5.1	Nolls und Truesdells Rekonstruktion der Kontinuumsmechanik	239
5.1.1	Orientierung an materialspezifischen Merkmalen	239
5.1.2	Verallgemeinerte Axiome der Kontinuumsmechanik	242
5.1.3	Eine neue Sicht auf die Klassische Mechanik	243
5.2	Erweiterungen von punktmechanischen Systemen	246
5.2.1	Die Verbindung zur Hamiltonmechanik	247
5.2.2	Die Verbindung zur statistischen Physik	249
5.2.3	Physikalische Rekonzeptionen der kontinuumsmechanischen Grundbegriffe	253
<b>Anhang</b>		<b>256</b>
<b>A</b>	<b>Der Versuch, das Gegenwirkungsprinzip aus der Punktmechanik zu eliminieren</b>	<b>257</b>
A.1	Der Beweisgang des achten Theorems	257
A.2	Die negative Bewertung des Versuches	261

<b>B Zur logischen Ausgestaltung in der Mechanik</b>	<b>267</b>
B.1 Syntax, Semantik und formale Repräsentationen	267
B.2 Tarskis Welt: Erfüllbarkeit, Modell und Struktur	273
B.2.1 Der formale Wahrheitsbegriff und logische Vollständigkeit	273
B.2.2 Die logische Folgerung und der Modellbegriff	277
B.2.3 Theorien im modelltheoretischen Sinn	280
B.3 Informelle Repräsentationen in der Klassischen Mechanik	281
B.3.1 Mechanische Prädikation: zwei formale Einschränkungen	281
B.3.2 Informelle Beweisverfahren in der Klassischen Mechanik	284
<b>C Auszüge aus Georg Hamels Schriften</b>	<b>289</b>
<b>Literaturverzeichnis</b>	<b>302</b>
<b>Sachregister</b>	<b>314</b>