

Wilfried Sommer

Physik 10. Klasse

Statik – Kinematik – Dynamik

Physics 10th Grade

Statics – Kinematics – Dynamics

edition waldorf

Inhalt

- 1 Hinweise zum Rahmen des Heftes 12**
- 2 Zum Mechanik-Epochenunterricht der 10. Klasse 14**
 - 2.1 Vorwissen aus den Physikepochen der 7. und 8. Klasse 14
 - 2.2 Zum Kontrast der Physikepochen der 9. und 10. Klasse 14
 - 2.3 Themen und Spezifika der Epoche 18
- 3 Einstieg in die Physikepoche 26**
 - 3.1 Heftführung 26
 - 3.2 Einleitung 26

Teil I Statik

- 4 Einstiegsversuche Statik 38**
 - 4.1 Zur Rolle leiblichen Lernens bei der Einführung der Kraft 38
 - 4.2 Unterrichtspraktische Hinweise 46
 - 4.3 Weitere Einstiegsversuche 49
 - 4.4 Didaktische Entscheidungen: Einheit Newton und *free-body diagram* 54
- 5 Gleichgewicht dreier Kräfte 58**
 - 5.1 Vom eingebundenen zum abgelösten Versuch 58
 - 5.2 Didaktische Bemerkungen 66
 - 5.3 Übungsaufgaben zum Gleichgewicht dreier Kräfte 66
 - 5.4 Die resultierende Kraft als Perspektivenwechsel 72
- 6 Elastische Verformungen 74**
- 7 Vom Gleichgewicht dreier Kräfte zur Komponentenzerlegung 82**
 - 7.1 Schiefe Ebene 82
 - 7.2 Übungsaufgaben zur schiefen Eben 86
- 8 Fachwerke 88**
 - 8.1 Kräne 88
 - 8.2 Übungsaufgaben zu Kränen 94
 - 8.3 Fachwerkbrücken 96

9 Der selbsttragende Bogen zwischen Dreiecks- und Rundbogen 112

Teil II Kinematik

**10 Eindimensionale Bewegungen mit konstanter
Geschwindigkeit und konstanter Beschleunigung 126**

- 10.1 Didaktischer Kontext 126
- 10.2 Einführung der Geschwindigkeit 128
- 10.3 Einführung der Beschleunigung 138
- 10.4 Übungsaufgaben zur Geschwindigkeit und Beschleunigung 140

11 Der freie Fall und das Fallgesetz 148

- 11.1 Didaktisches Anliegen 148
- 11.2 Vorschläge für den Unterrichtsgang 150
- 11.3 Übungsaufgaben zum freien Fall 172
- 11.4 Üben im Unterricht 174
- 11.5 Exkurs I: Gehen als Resonanzbeziehung zur Erde 176
- 11.6 Exkurs II: Die Gravitationswechselwirkung
im Kontext der Aggregatzustände 184

12 Überlagerung von Bewegungen – waagrechter und schräger Wurf 188

- 12.1 Didaktische Zwischenbilanz 188
- 12.2 Waagrechter Wurf 190
- 12.3 Schräger Wurf 194

Teil III Dynamik

13 Einführung der Newton'schen Axiome 202

- 13.1 Vorbemerkung zum Epochengang 202
- 13.2 Didaktische Vorbemerkung 202
- 13.3 Thematisierung des zweiten Newton'schen Axioms 206
- 13.4 Einführung der Gewichtskraft 212
- 13.5 Zusammenfassung: die Newton'schen Axiome 216
- 13.6 Übungsaufgaben 218

14 Einführung der Energie 220

14.1 Einführung der Arbeit 220

14.2 Einführung der potenziellen und kinetischen Energie 220

14.3 Übungsaufgaben 232

14.4 Ausblick: Definition der Leistung 234

Teil IV Anhang

15 Zum Kraftbegriff 238

15.1 Thematisierung des Kraftbegriffs im Umfeld der ersten Waldorfschule 238

15.2 Steiners Kraftbegriff in seinem Kommentar
zu Goethes Naturwissenschaftlichen Schriften 240

16 Vorschlag für eine Epochengliederung 244

17 Hinweise 248

17.1 Hinweise zu den verwendeten Lehrmitteln 248

17.2 Vorlage Gefährdungsbeurteilung 250

18 Literatur 254

Content

- 1 **Notes on the structure of the booklet** 13
- 2 **Regarding the mechanics main lesson of the 10th grade** 15
 - 2.1 Previous knowledge from the physics main lessons of the 7th and 8th classes 15
 - 2.2 Comparison of the physics main lessons of the 9th and 10th classes 15
 - 2.3 Themes and concrete details of the main lesson 19
- 3 **Getting started with the physics main lesson** 27
 - 3.1 Remarks on the main lesson book 27
 - 3.2 Introduction 27

Part I Statics

- 4 **Beginning experiments in statics** 39
 - 4.1 The role of physical learning in introducing statics 39
 - 4.2 Practical tips for teaching 47
 - 4.3 Further introductory experiments 49
 - 4.4 Didactic decisions: The unit *newton* and the *free-body diagram* 55
- 5 **Balance of three forces** 59
 - 5.1 From immersed to detached experimentation 59
 - 5.2 Didactic remarks 67
 - 5.3 Exercises on the balance of three forces 67
 - 5.4 The resultant force as a change of perspective 73
- 6 **Elastic deformations** 75
- 7 **From the equilibrium of three forces to decomposing into components** 83
 - 7.1 The inclined plane 83
 - 7.2 Exercises on the inclined plane 87
- 8 **Trusses** 89
 - 8.1 Cranes 89

8.2 Exercises on cranes 95

8.3 Timbered bridges 97

9 The self-supporting arch between triangular and round arch 113

Part II Kinematics

10 One-dimensional motions with constant velocity and constant acceleration 127

10.1 Didactic context 127

10.2 Introduction to velocity 129

10.3 Introduction to acceleration 139

10.4 Exercises on velocity and acceleration 141

11 Free fall and the law of falling bodies 149

11.1 Didactic remarks 149

11.2 Suggestions for the course of instruction 151

11.3 Exercises for free fall 173

11.4 Practice in class 175

11.5 Excursion I: Walking as a resonant relationship with the earth 177

11.6 Excursion II: The gravitational interaction
in the context of states of matter 185

12 Superposition of movements – horizontal and slanted throwing 189

12.1 Didactic review 189

12.2 Horizontal throw 191

12.3 Slanted throw 195

Part III Dynamics

13 Introduction to Newton's laws 203

13.1 Dependencies on the foregoing 203

13.2 Didactic preliminaries 203

13.3 Newton's Second Law 207

13.4 Introduction to gravitational force 213

13.5 Summary: Newton's laws 217

13.6 Exercises 219

14 Introduction to energy 221

14.1 Introduction to work 221

14.2 Introduction to potential and kinetic energy 221

14.3 Exercises 231

14.4 Outlook: Definition of power 235

Part IV Appendix

15 The concept of force 239

15.1 Discussion of the concept of force in the context
of the first Waldorf school 239

15.2 Steiner's concept of force in his commentary on
Goethe's scientific writings 241

16 Proposal for organization of the main lesson 246

17 Notes 248

17.1 Information on the teaching materials used 248

17.2 Template for risk assessment 252

18 Bibliography 254

1 Hinweise zum Rahmen des Heftes

Das vorliegende Heft ist eine Handreichung zum Physikunterricht der 10. Klasse an Waldorfschulen. Dort werden in der Regel ausgewählte Aspekte der Mechanik in einem drei- bis vierwöchigen Epochenunterricht mit täglich ca. zwei Unterrichtsstunden behandelt (Richter 2016, S. 426 ff.). Der vorliegende Band fasst Unterrichtsvorschläge und didaktische Hinweise zusammen, die sich als Angelpunkte bewährt haben, um zentrale Themen der Statik, Kinematik und Dynamik im Epochenunterricht aufzuschließen.

Die Entwicklung der Handreichung wurde von der Pädagogischen Forschungsstelle beim Bund der Freien Waldorfschulen am Standort Kassel getragen. Viele didaktische Hinweise beziehen sich auf den phänomenologischen Unterrichtsansatz der Waldorfpädagogik. Er wird, wie auch die Phasengliederung des Epochenunterrichtes in der Waldorfpädagogik, als bekannt vorausgesetzt.

Erläuterungen zu der allgemeindidaktischen Dimension dieses Ansatzes finden sich im *Handbuch Waldorfpädagogik und Erziehungswissenschaft – Standortbestimmung und Entwicklungsperspektiven* (Sommer 2016), seine physikdidaktische Spezifizierung im *Handbuch Oberstufenunterricht an Waldorfschulen* (Sommer 2018).

Die Unterrichtsvorschläge und didaktischen Hinweise greifen einerseits Vorarbeiten auf, die mit dem Fokus eines phänomenologischen Unterrichtsansatzes in den letzten 40 Jahren entwickelt und im Umfeld der Pädagogischen Forschungsstelle diskutiert wurden, u. a. von Hermann von Baravalle (1993), Manfred von Mackensen (2000), Georg Maier (2004), Heinz-Christian Ohlendorf und Florian Theilmann (2006). Andererseits nehmen sie auf physikdidaktische Forschungsarbeiten zu Schülervorstellungen und Lernschwierigkeiten im Themenfeld Mechanik Bezug, beispielsweise von Walter Jung, Horst Schecker, Hartmut Wiesner, Thomas Wilhelm und Rita Wodzinski (Müller/Wodzinski/Hopf 2011; Schecker/Wilhelm/Hopf/Duit 2018). Beide Forschungsansätze sind in den hier vorgestellten Vorschlag für den Mechanik-Epochenunterricht in der 10. Klasse eingeflossen.

1 Notes on the structure of the booklet

This booklet is a handbook for physics instruction in the 10th grade at Waldorf schools. There, selected aspects of mechanics are usually dealt with in a three- to four-week main lesson with about two hours of instruction per day (Richter 2016, p. 426 ff.). The present volume gathers together teaching suggestions and didactic tips that have proved their effectiveness in unlocking central themes of statics, kinematics and dynamics in main lesson teaching.

The development of the handbook was supported by the Pedagogical Research Center of the Federation of Waldorf Schools in Kassel. Many of the didactic references refer to the phenomenological teaching approach of Waldorf Education. The reader is assumed to be familiar with this as well as the temporal three-phase structure of main lesson teaching in Waldorf education.

Explanations of the general didactic foundation of this approach can be found in Sommer 2010 & 2014, its physical-didactic specification in Sommer 2019.

On the one hand, the teaching suggestions and didactic advice build upon previous work focused on a phenomenological approach to teaching, developed and discussed over the past 40 years in and around the Pedagogical Research Center, e. g. by Hermann von Baravalle (1993), Manfred von Mackensen (2000), Georg Maier (2004), Heinz-Christian Ohlendorf and Florian Theilmann (2006). On the other hand, the contents also cite research in physics didactics concerned with students' mental pictures and learning difficulties in the field of mechanics, for example by Walter Jung, Horst Schecker, Hartmut Wiesner, Thomas Wilhelm and Rita Wodzinski (Müller/Wodzinski/Hopf 2011; Schecker/Wilhelm/Hopf/Duit 2018). Both research approaches have been incorporated into the suggestions for mechanics main lesson teaching in the 10th grade presented here.

2 Zum Mechanik-Epochenunterricht der 10. Klasse

2.1 Vorwissen aus den Physikepochen der 7. und 8. Klasse

Das Thema Mechanik wird im Physikunterricht der Waldorfschulen in der Regel erstmalig in der 7. Klasse unterrichtet (Richter 2016, S. 420 ff.). Ein Unterrichtsvorschlag von Mackensen (2005/2016, S. 123 ff.) beginnt beispielsweise mit ein- und zweiarmigen Hebeln, geht dann zum Hebelgesetz über und behandelt anschließend Wellhebel und Wellrad. Es schließen sich lose und feste Rolle als Hinführung zum Flaschenzug an.

Mackensen (2005/2016, S. 124) beschreitet einen originellen didaktischen Weg vom verbogenen Hebelbalken zum Hebelgesetz, welchen er in seinem Beitrag *Der Hebel – wie Partizipation am menschlichen Wissen erzielt werden kann* im Detail ausgeführt und begründet hat (Buck/Mackensen 2006, S. 35–54). Von der Form des verbogenen Hebelbalkens wird dort über die räumliche Verteilung der Druck- und Zugspannungen die Verbindung zu Kraft und Kraftarm im Hebelgesetz hergestellt.

Der Physikunterricht der 7. Klasse ist lebensnah angesetzt (Richter 2016, S. 420). Viele Lehrer*innen geben Kräfte in dieser Jahrgangsstufe pragmatisch in der Einheit kg an – an den meisten Waldorfschulen wird die physikalische Einheit Newton für Kräfte erst in der 10. Klasse eingeführt. Auch wird bei Rechnungen zum Hebelgesetz der Umgang mit Einheiten nicht grundsätzlich problematisiert.

In der 8. Klasse schließen sich Hydraulik und Aeromechanik an (Mackensen 2005/2016, S. 165–182). Es tritt zu den vielen alltäglichen Erfahrungen, die im Physikunterricht der 7. Klasse thematisiert wurden, jetzt ein mehr technischer Blick hinzu. So werden einfache Zivilisationstechniken besprochen: Wie kann es sein, dass ein Schiff schwimmt? Wie funktioniert die Wasserpumpe, welche heute in vielen Kleingärten zum Einsatz kommt? Wie ein Barometer? – Ziel ist es, dass die Schüler*innen, angeregt durch den Physikunterricht, die Welt um sich herum als eine technische Zivilisation verstehen lernen (Richter 2016, S. 422).

2.2 Zum Kontrast der Physikepochen der 9. und 10. Klasse

Im Epochenunterricht Physik der 9. Klasse steht die moderne Zivilisation mit ihrer Mobilität und Kommunikationstechnik im Vordergrund. Die Physikepoche hat einen technischen Schwerpunkt. Der von Schulz (2013) entwickelte Unterrichtsgang zur Kommunikationstechnik endet beispielsweise bei der seriellen Datenübertragung. Folgt man seinem Vorschlag und bespricht mit den Schüler*innen, wie im Zeitmultiplexverfahren mehrere Telefongespräche über eine Leitung übertragen werden können,

2 Regarding the mechanics main lesson of the 10th grade

2.1 Previous knowledge from the physics main lessons of the 7th and 8th classes

The subject of mechanics is usually handled for the first time in physics classes at Waldorf schools in the 7th grade (D'Aleo/Edelglass 1999, p. 86 ff.). A teaching proposal by Mackensen (1994, p. 51 ff.), for example, begins with single- and double-arm levers, then moves on to the law of the lever and then deals with the »wheel and axle«. This is followed by a free and a fixed pulley as an introduction to the pulley block.

Mackensen (1994, p. 51 f.) takes an original didactic path from the bent lever beam to the law of the lever. By considering the shape of the deformed lifting beam, the spatial distribution of the compressive and tensile stresses revealed there gives the connection to the force and lever arm in the law of the lever.

Physics instruction in the 7th grade is based on real life (Richter 2016, p. 420). Many teachers pragmatically specify forces in this grade with the unit *kilogram* – at most Waldorf schools the physical unit *newton* for forces is only introduced in grade 10. Nor is the use of units taken up in a serious way when calculating the law of the lever.

Hydraulics and aeromechanics follow in the 8th grade (Mackensen 1997, p. 35–51). A more technical view is now added to the many everyday experiences that were the subject of physics lessons in 7th grade. Simple technologies of civilization are discussed: How can it be that a ship floats? How does the water pump, found today in many gardens, work? The aim is that pupils, inspired by physics lessons, learn to understand the world around them as a technical civilization (Richter 2016, p. 422).

2.2 Comparison of the physics main lessons of the 9th and 10th classes

In the physics main lesson in the 9th grade, modern civilization with its mobility and communication technology is the main focus. The physics main lesson has a technical focus. The course on communication technology developed by Schulz (2013) ends, for example, with serial data transmission. If one follows his suggestion and discusses with the pupils how several telephone conversations can be transmitted over one line using the time multiplex method,