

Umsetzungsbeispiel Simulation

Beschreibung des Artefakts

Das Artefakt Simulation beschreibt die rechnergestützte Modellierung und Simulation physikalischer Systeme mithilfe digitaler Werkzeuge. Ziel ist es, reale physikalische Prozesse in formalisierter und parametrisierter Form abzubilden, um deren zeitliche Entwicklung analysieren zu können. Hierzu wird das Tool Moebius eingesetzt, das die Erstellung, Analyse und Auswertung solcher Modelle durch numerische Lösungsverfahren ermöglicht. Lernende können relevante Systemparameter festlegen, Modelle anpassen und simulieren, wie sich physikalische Größen im Verlauf der Zeit verändern.

Ein zentrales Merkmal des Artefakts ist die Auswertung der Simulationsergebnisse in verschiedenen Formen wie Tabellen oder Graphen. Diese Darstellungen erleichtern die Interpretation der berechneten Daten und machen Zusammenhänge sowie Abhängigkeiten sichtbar. Ein wesentlicher Vorteil der rechnergestützten Modellierung besteht darin, dass auch komplexe Systeme untersucht werden können, für die keine analytische Lösung existiert. Das Artefakt unterstützt somit ein vertieftes Verständnis physikalischer Modellbildung und moderner numerischer Methoden.^a

^aDer kursiv markierte Teil wurde mit [Prompt1] erstellt.

Beschreibung des Szenarios

Das Unterrichtsszenario ist im Leistungskurs Physik der Jahrgangsstufe 11 in der gymnasialen Oberstufe angesiedelt und dem Lernbereich 4 „Modellbildung und Simulation“ zugeordnet. Es erstreckt sich über einen Zeitraum von insgesamt 135 Minuten und zielt darauf ab, numerische Modelle und Simulationen als zentrale Werkzeuge physikalischer Erkenntnisgewinnung zu erschließen.

Zu Beginn setzen sich die Schüler:innen mit dem Einsatz numerischer Modelle und Simulationen im Kontext der Physik auseinander. Im Rahmen einer angeleiteten Recherche erarbeiten sie typische Anwendungsfelder sowie grundlegende Zielsetzungen solcher Verfahren, etwa die Beschreibung komplexer Bewegungsabläufe oder die Untersuchung idealisierter Systeme. Diese Phase dient der fachlichen Orientierung und bereitet die praktische Modellierungsarbeit vor.

Anschließend erstellen die Lernenden unter Anleitung der Lehrkraft eine erste rechnergestützte Simulation zum Fallexperiment von Galileo ohne Berücksichtigung der Luftreibung. Dabei werden grundlegende Modellannahmen thematisiert und zentrale physikalische Größen in ein vereinfachtes Modell überführt. Die Ergebnisse werden mithilfe geeigneter Darstellungsformen visualisiert.

In einer vertiefenden Arbeitsphase entwickeln die Schüler:innen in Zweiergruppen eigenständig ein Modell und eine Simulation zu einem von drei vorgegebenen Szenarien: einem Überholvorgang zwischen 2 LKW, einem Entladevorgang oder dem Fall eines Fallschirmspringers. Abschließend werten die Lernenden ihre Simulationen graphisch und tabellarisch aus, interpretieren die Ergebnisse und reflektieren die Aussagekraft sowie Grenzen ihrer Modelle.^b

^bDer kursiv markierte Teil wurde mit [Prompt2] erstellt.

Basisangaben

Fach	Physik	Klassenstufe	11 LK
Schulform	Gymnasium	Lernbereich	LB 4
Zeitbedarf	1,5 DS	Kompetenzrahmen	1.2.1; 5.2.2; 5.4; 5.5.3

Artefaktsteckbrief „Simulation“

Wofür wird es genutzt?

Rechnergestützte Simulationen werden zur Bildung virtueller Modelle und der Analyse der damit zusammenhängenden Prozesse verwendet. Dadurch wird eine mathematische Beschreibung der modellierten Systeme und die diskrete Berechnung ihrer zeitlichen Entwicklung ermöglicht. Mögliche Einsatzzwecke sind:

- die numerische Lösung analytisch schwer oder nicht lösbarer Differenzialgleichungen (bspw. Dreikörperproblem)
- die gezielte Variation einzelner Modellparameter, um deren Einfluss auf das Modell zu untersuchen
- die Validierung von Modellen durch den Vergleich idealisierter Modelle zu realen Systemen
- die Durchführung virtueller Experimente
- die Überprüfung von Messdaten
- die Visualisierung von Zustands- und Prozessgrößen (Tabelle, Graph, Animation)

Zu den klassischen Einsatzgebieten von rechnergestützten Simulationen gehören die Astrophysik, die Klimamodellierung aber auch die Materialforschung und Strömungsmechanik.

Wie funktioniert es?

Eine rechnergestützte Simulation basiert auf der algorithmischen Umsetzung von mathematischen Modellen durch einen Computer. Im Kontext der Physik ist die Grundlage die formale Beschreibung eines physikalischen Prozesses durch Gleichungen. Die Funktionsweise lässt sich grob in 4 Schritten beschreiben:

1. Modellbildung:

Ein physikalisches System oder ein Prozess wird mathematisch beschrieben. Es werden Idealisierungen und Annahmen festgelegt. Beispielsweise wird beim freien Fall häufig die Luftreibung vernachlässigt und eine konstante Erdbeschleunigung angenommen.

Es ergibt sich : $a = g$, $v(t) = a \cdot t$, $s(t) = \frac{g}{2} t^2$

2. Diskretisierung:

Kontinuierliche Prozesse können digital nicht berechnet werden. Es erfolgt eine Zerlegung in Intervalle, sodass kontinuierliche Prozesse numerisch approximiert werden. Für den freien Fall bedeutet das, dass die Zeit in diskrete Zeitintervalle Δt zerteilt wird.

3. Numerische Berechnung:

Die Entwicklung der Zustandsgrößen wird mithilfe von numerischen Verfahren (Algorithmen) schrittweise berechnet. Für den freien Fall kann das explizite Euler-Verfahren genutzt werden:

$$v_{n+1} = v_n + g \cdot \Delta t$$

$$s_{n+1} = s_n + v_n \cdot t$$

4. Visualisierung:

Die berechneten Ergebnisse werden als Tabelle, Graph oder Animation visualisiert (z. B. $s(t)$ -Diagramm oder $v(t)$ -Diagramm).

Eine rechnergestützte Simulation lässt sich als automatisierte Informationsverarbeitung beschreiben.

Umsetzung im Unterricht

Technisch- infrastrukturelle Voraussetzungen

für Lehrenden:

- Endgerät mit Simulationssoftware und Präsentationssoftware
- Beamer / Interaktive Tafel

pro Lernenden-Gruppe:

- Computer mit gewählter Simulationssoftware

Vorschlag Software für Desktop-Betriebssysteme: Moebius zur Simulation, LernSax zum Dateiaustausch

Anmerkung:

Die Software Moebius ist für private Anwender kostenfrei. Für den Einsatz an bspw. Schulen muss eine Lizenz erworben werden, Der Freistaat Sachsen hat eine Landeslizenz erworben.

Curriculare Analyse

Fachlehrplan

Die Unterrichtssequenz ist im sächsischen Lehrplan im Fach Physik im Leistungskurs 11 Lernbereich 4: „Modellbildung und Simulation“ verankert.

Lernbereich 4: Modellbildung und Simulation		8 Ustd.
Kennen der Möglichkeit der Bildung von Modellen zur numerischen Beschreibung und zur Vorhersage des Verhaltens dynamischer Systeme - gleichungsorientierte Modellbildung unter Nutzung der Arbeitsumgebung auf dem Computer - Modellbildungssystem oder Tabellenkalkulation - physikalische Beschreibung von ein-dimensionalen Bewegungen - Umsetzung in einen Algorithmus - grafische Auswertung - Simulation - Variation von Parametern - Vergleich mit eigenen Prognosen und dem Realexperiment - Grenzen		geradlinige Bewegungen Kugel fällt in Luft ⇒ Methodenbewusstsein Zustandsgrößen, Änderungsraten, Einflussgrößen System von Differenzen- und Funktionsgleichungen Ziele der Simulation: Experimentieren auf der Modellebene, Erklärung, Prognose, Entscheidung Unterscheidung von zufälligen und deterministischen sowie von diskreten und kontinuierlichen Einflüssen Zuverlässigkeit, Manipulierbarkeit von Simulationsergebnissen ⇒ Medienbildung

Abbildung 1: Lehrplan Physik LK11 LB4 Modellbildung und Simulation

Das Lernziel „Kennen der Möglichkeiten der Bildung von Modellen [...] dynamischer Systeme“ wird dabei bis auf den Unterpunkt „grafische Auswertung“ von der geplanten Unterrichtssequenz adressiert. Der Punkt „Simulation“ wird in der geplanten Unterrichtssequenz nur im Hinblick auf die Grenzen von Simulationen adressiert.

Zusätzlich wird das übergeordnete Ziel für den Leistungskurs 11 „Auseinandersetzung mit physikalischen und astronomischen Sachverhalten in verschiedenen Lebensbereichen“ umgesetzt, indem die Lernenden die Bedeutung von Idealisierungen (Modellvorstellungen) in der Physik erfassen.

digitalisierungsbezogene Lernziele

#	MIA	K#	Qualifikationsebene	Handlungsebene
D1	M	1.2.1	Die Lernenden Informationen und Daten analysieren, interpretieren und kritisch bewerten Informationen und Daten	,indem sie die Simulationsergebnisse (Tabellen und Graphen) im Bezug auf Genauigkeit und Abweichungen mit denen der Realexperimente vergleichen.
D2	A	5.5.2	Die Lernenden formulieren Anforderungen an die Simulationssoftware digitale Werkzeuge formulieren	,indem sie die für die Modellierung ihres Versuches notwendigen Funktionen (Iteration, Parametersteuerung) benennen und begründen.
D3	A	5.4	Die Lernenden nutzen die Simulationssoftware Digitale Werkzeuge und Medien zum Lernen, Arbeiten, Problemlösen nutzen	,indem sie die Simulation erstellen, parameter variieren und die Ergebnisse digital Visualisieren und interpretieren.
D4	I	5.5.2	Algorithmische Strukturen in genutzten digitalen Tools erkennen und formulieren	,indem sie die Schleifen und Verzweigungen in der Simulation identifizieren und deren Funktion beschreiben.
D5	I	5.5.3	Eine algorithmische Struktur zur Lösung eines Problems planen und verwenden	,indem sie eine kontinuierliche Funktion in eine diskrete, iterierbare Funktion umwandeln und diese implementieren.

Unterrichtsverlaufsplanung

Legende Unterrichtsmedium Unterrichtswerkzeug Unterrichtsgegenstand

Zeit	Phase	Inhalt	SF/M	Medien/Material	LZ Nr.
10'	Motivation und Einführung	- Zeigen der Simulation „Steam Engine Simulator“ als spielerisches Beispiel einer Simulation - Begriffsklärung: Simulation in der Physik (Abgrenzung Experiment – Modell – Simulation).	FU	- Beamer - Computer - Steam Engine Simulator	-
5'	Problematisierung	Leitfrage: Können Simulationen reale Experimente ersetzen?	UG	-	-
10'	Erarbeitung	Aufgabenstellung: Recherchiert Vor- und Nachteile von Simulationen in der Physik. Die Lernenden recherchieren Vor- und Nachteile von Simulationen	EA / PA	Computer	D1
10'	Sicherung	- Vergleich der Ergebnisse im Plenum - Sicherung im digitalen Tafelbild	UG	Beamer	D1
20'	Einführung (Tutorial Moebius)	- Lehrende*r demonstriert modellhafte Umsetzung einer Schwingung in Moebius - Modellbildung → Diskretisierung → Implementierung → Visualisierung. Fokus auf Iteration - Bei Fragen der Lernenden direkt pausieren und im Plenum klären Quelle: Karsten Beuche, Schwingungen, https://beuche.info/modell/modell_13.html , CC BY-SA 3.0	FU	- Moebius - Beamer - Computer	D4
5'	Gruppenbildung	- Lernende bilden 2er Gruppen - Gruppe wählt ein Versuchskomplex aus	PA	-	-

30'	Erarbeitung (Modellierung und Simulation)	- die Gruppe modelliert ein eigenes Modell indem sie: - Anforderung an die Simulation formuliert - das Modell idealisiert - das Modell mathematisch beschreibt (Gleichungen) - Diskretisierungen vornimmt - das Modell in Moebius implementiert - die Simulation durchführt	PA	- Computer - Moebius	D2, D3, D5
15'	Sicherung	- Analyse der Simulationsergebnisse - Vergleich mit realen Experimentdaten - Interpretation und Diskussion von Abweichungen	PA	Versuchsdaten, Graphen	D1
15'	Reflexion	- schriftlich jeder ! - z.B. Schwierigkeiten, Grenzen, Modelleinflüsse, Einfluss Diskretisierung oder Parameter - Leitfrage beantworten	PA → EA	-	D4, D5
15'	Präsentation	- Lernende Gruppen haben die Möglichkeit ihre Simulation zu präsentieren und zu diskutieren - Freiwilligkeit zuerst, wenn keine Freiwilligen dann Gruppen mit funktionierenden Ergebnissen - kommunizieren, dass keine Bewertung	UG	- Moebius - Beamer, Computer	D4

SF - Sozialform (EA: Einzelarbeit; PA: Partnerarbeit; GU - Gruppenarbeit; FU: Frontalunterricht)

Arbeitsmaterialien

Wahlaufgaben Aufgabenstellungen:

1. Elefantenrennen:

Auf einer Autobahn überholt ein LKW einen anderen. Beide sind $20m$ lang und haben zu Beginn eine Geschwindigkeit von $v_0 = 80 \frac{km}{h}$. Der überholende LKW beschleunigt mit $a = 0,5 \frac{m}{s^2}$. Simuliere den Überholvorgang. Wie lange dauert der Überholvorgang mindestens und welche Strecke wird dabei zurückgelegt?

2. Entladevorgang eines Plattenkondensators:

Ein Plattenkondensator mit einer Kapazität von $C = 4000\mu F$ wird über einen $10k\Omega$ Widerstand entladen. Nachdem er auf $10V$ aufgeladen wurde, wird die Spannungsquelle getrennt und der Entladeprozess beginnt. Simuliere den Prozess. Wie verhält sich die Kapazität, wenn die Spannung abfällt? Wie lange dauert der Entladeprozess?

3. Fallschirmspringer (sehr schwer):

Ein Fallschirmspringer springt in einer Höhe von $4km$ aus einem Flugzeug und lässt gleichzeitig eine Kokosnuss fallen. Der Fallschirmspringer wiegt dabei $m = 80kg$ und die Kokosnuss nur $m = 800g$. Bevor der Fallschirmspringer seinen Fallschirm öffnet, hat er eine Fläche von $A = 1,5m^2$ danach $A = 21m^2$. Während die Kokosnuss fast frei fällt, erfährt der Fallschirmspringer Luftwiderstand. Simuliere den Prozess. Wie lange dauert der Fall des Fallschirmspringers? Wie ist das Verhältnis der Landegeschwindigkeit von der Kokosnuss zum Fallschirmspringer?

wichtige Links:

- **Link zu Moebius:** <https://www.primtext.de/moebius/>
- **Link zum Lehrplan Physik:** <https://www.schulportal.sachsen.de/lplandb/index.php?lplanid=523&lplansc=brEvxekIvE368J1fdpso&token=81a53c1b20a474ee20902a6453de884c>
- **Link zum Beispiel Schwingung:** https://beuche.info/modell/modell_13.html
Quelle: Karsten Beuche, Schwingungen, https://beuche.info/modell/modell_13.html, CC BY-SA 3.0
- **Link zum Steam Engine Simulator:** https://store.steampowered.com/app/2381620/Steam_Engine_Simulator/

Musterlösung Aufgabe 1:

Wiederhole mal Name der Simulation:

Startwerte:

v1	22,2
a1	0,5
dt	0,1
v2	22,2
a2	0
t	0

☒ Groß-, Kleinschreibung

```

v1=v1+a1*dt
v2=v2+a2*dt

s1=v1*t
s2=v2*t

t=t+dt
    
```

Abbildung 2: Simulationscode zu Aufgabe 1: Elefantenrennen

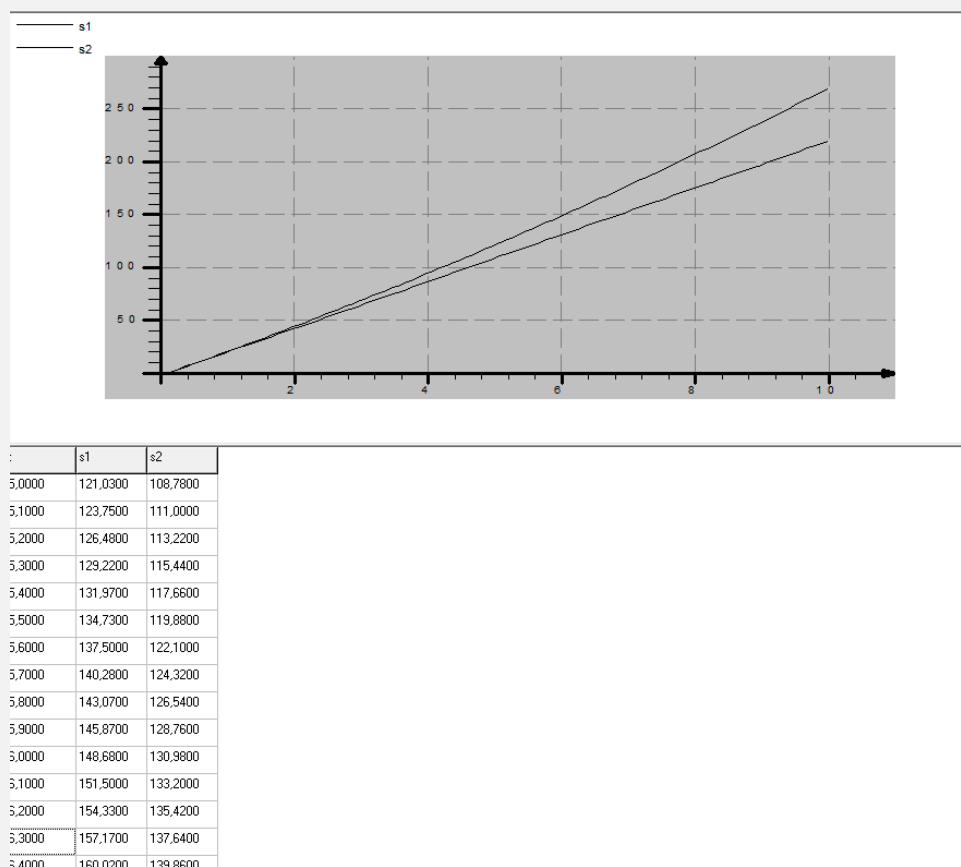


Abbildung 3: grafische und tabellarische Darstellung von Aufgabe 1: Elefantenrennen

Musterlösung Aufgabe 2:

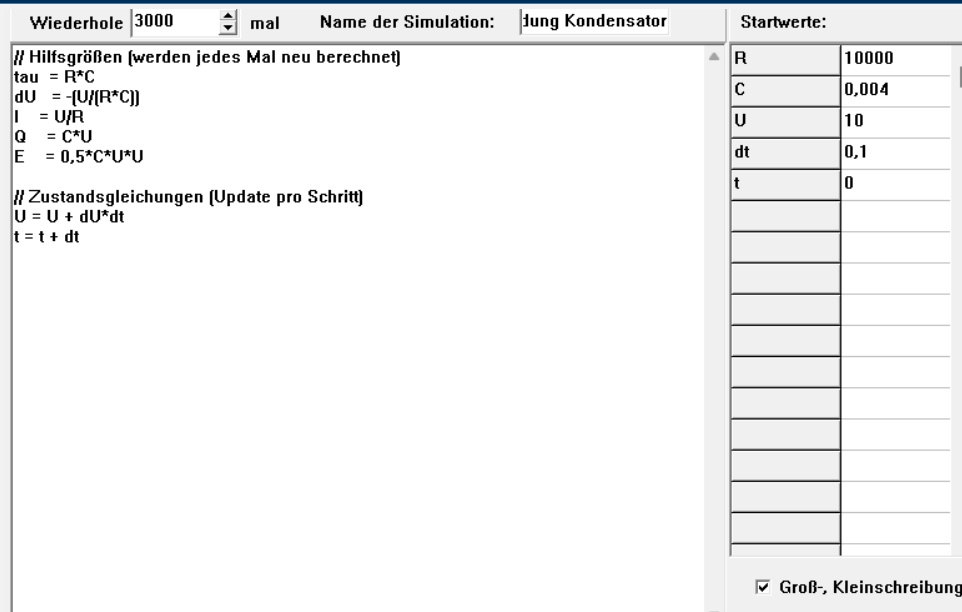


Abbildung 4: Simulationscode zu Aufgabe 2: Entladung Kondensator

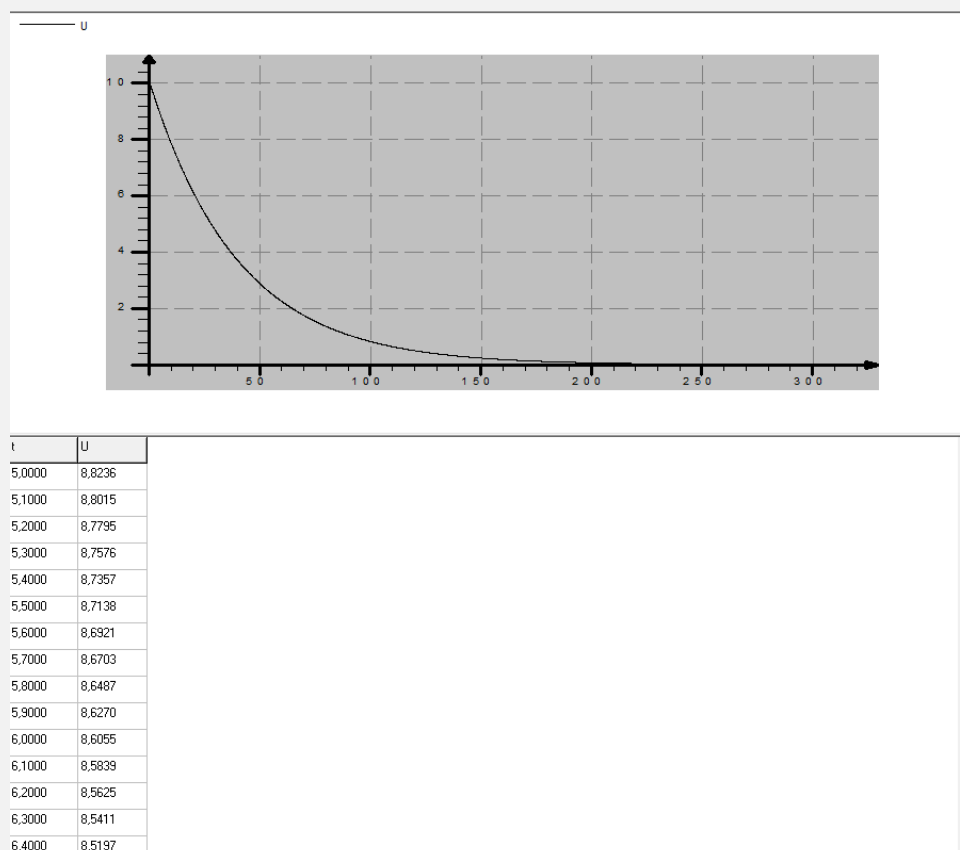


Abbildung 5: grafische und tabellarische Darstellung von Aufgabe 2: Entladung Kondensator

Prompts

Im Folgenden sind die benutzten Prompts und die Inhalte der jeweiligen Textdateien, die in Kombination mit den Prompts benutzt wurden, aufgelistet.

[Prompt1]

Erstelle mir Anhand der Stichpunkte aus der txt einen Fließtext der das Artefakt Modellierung kurz beschreibt. Gehe auch auf die in der txt befindlichen Funktionen / Merkmale ein. (150 Wörter)

Beschreibung Artefakt.txt

- rechnergestützte Modellierung physikalischer Systeme
- Tool: Moebius : Erstellung, Analyse und Auswertung durch numerische Lösungsverfahren
- Abbildung physikalischer Prozesse / Systeme als Modell
- Erstellung formalisierte, parametrisierte Modelle und deren zeitliche Entwicklung
- Auswertung Ausgabe als Tabelle und Graphen
- Vorteil: Modellierung komplexer Systeme für die keine analytische Lösung exostiert

[Prompt2]:

Erstelle mir zu den Stichpunkten eine Beschreibung des Unterrichtsszenarios (ca 200 Wörter)

Beschreibung Szenario.txt

Beschreibung Unterrichtsszenario:

- findet in Leistungskurs 11 Physik statt (Oberstufe)
- Lernbereich 4 Modellbildung und Simulation"
- umfasst 135 min
- Lernenden recherchieren Einsatz von numerischen Modellen und Simulationen im Kontext der Physik
- Unter Anleitung der Lehrkraft erstellen einer ersten Simulation zum Fallexperiment von Galileo (ohne Luftreibung)
- anschließend in 2er Gruppen erstellen eines Modells und Simulation zu einem von 3 Themen:
- Überholvorgang 2 LKW
- Entladevorgang
- Fallschirmspringer
- Auswertung der Simulation und des Modells graphische Auswertung / tabellarische Auswertung