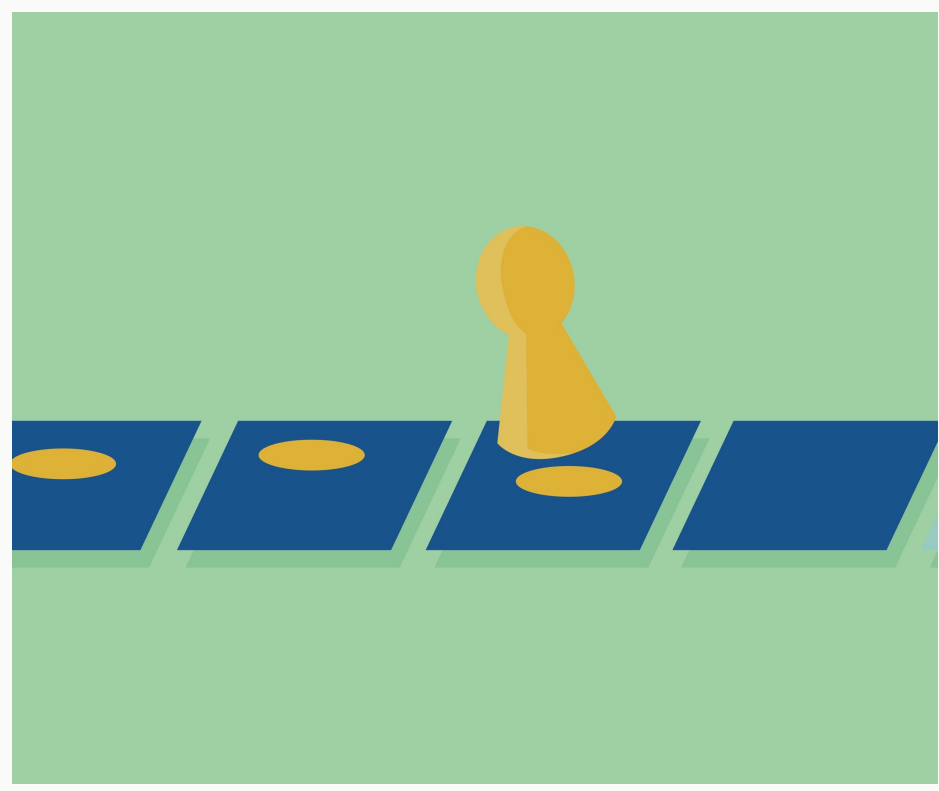




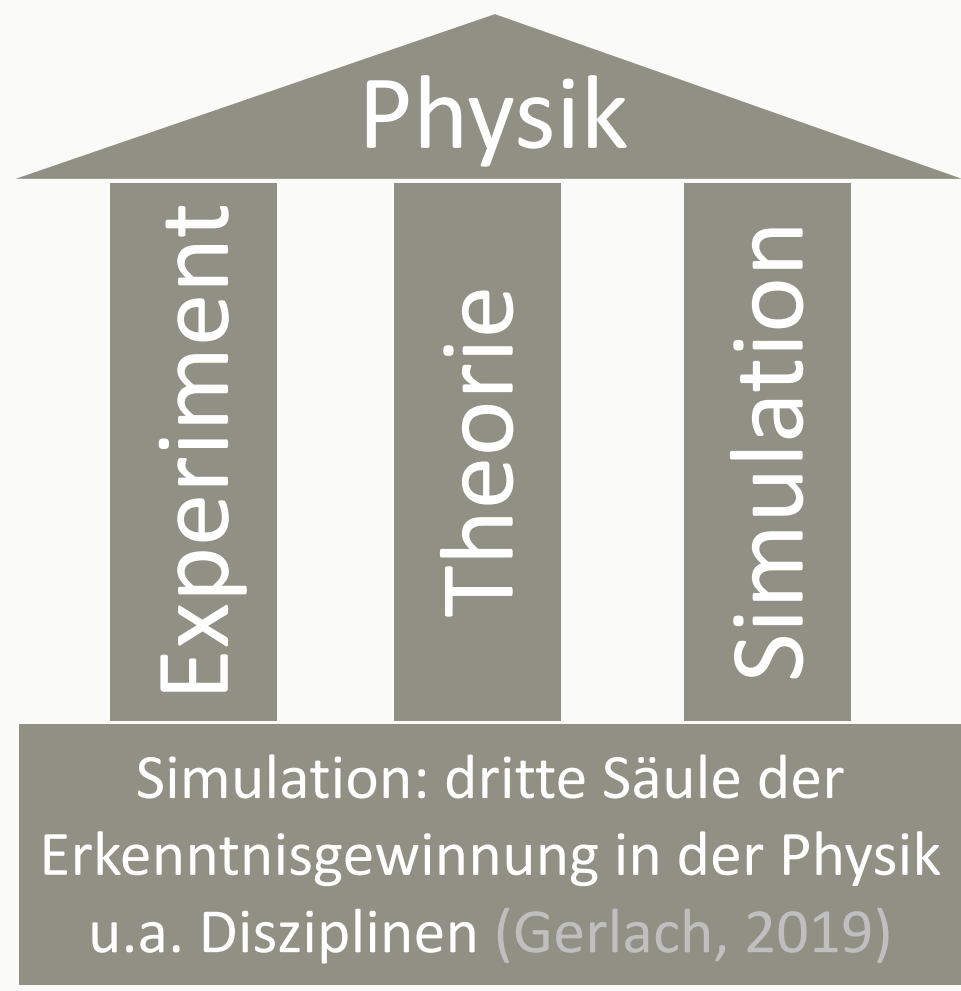
# Simulation als Spiel für einen Computer

## Gestaltungsprinzip und exemplarisches Lernarrangement

- Jan Heysel, Frank Bertoldi -



### Simulationen in Forschung



### Ziele im Unterricht

- Simulation = „3. Säule“ der Erkenntnisgewinnung  
→ Konzeptverständnis zu Simulation ist Teil von NOS-Verständnis
- Simulationen relevant für *socioscientific issues*  
→ Verständnis trägt zu *scientific literacy* bei (Kirchhoff & Schwedler, 2024)
- Fördere *computational thinking* (Wing, 2006), bzw. *computational literacy* (diSessa, 2000), *physics computational literacy* (Odden et al., 2019)  
→ Konzepte der Problemlösung mit Computern = Schlüsselkompetenz in vielen Bereichen der Lebens- und Arbeitswelt; als kreativer Problemlösekompetenz Teil der *21st century skills* (Kärcher et al., 2024; Sterel et al., 2022)
- Teil der *Kompetenzen in der digitalen Welt* der KMK (2016, 2021) für alle Fächer

### Konzepte für den Unterricht

- „traditioneller Physikunterricht“: Euler- Verfahren erklären & Implementation in Excel oder Programmiersprache (Wilhelm & Schecker, 2021)
  - Trend: Physikunterricht von Numerik „entlasten“ → grafische/fertige Programme für Modellierung (Wilhelm & Schecker, 2021)
  - Ziel:** Förderung von NOS-Verständnis, **computational literacy**
  - Computational Essays*: Umgebungen, die formatierbaren Text, ausführbaren Programmcode, Abbildungen, etc. verbinden. Z.B. *Jupyter Notebooks* für Python; authentisch für Forschung, Data Science (Odden et al., 2019)
- Desiderat:** Konzept zur Förderung der Ziele (s. links) durch Verständnis & Anwendung von numerischen Simulationen im Physikunterricht

## Das Gestaltungsprinzip

Lernende in Physik, Oberstufe | Ziel: NOS, scientific literacy & computational literacy

Schritt

Explizite Reflexion numerischer Simulationen als Forschungsinstrument

Aneignung des Euler-Verfahrens als Spiel in Runden für einen Computer

Überleitung „Spielregeln“ → Programmcode

Implementation & Anwendung des Verfahrens in einem *computational essay*

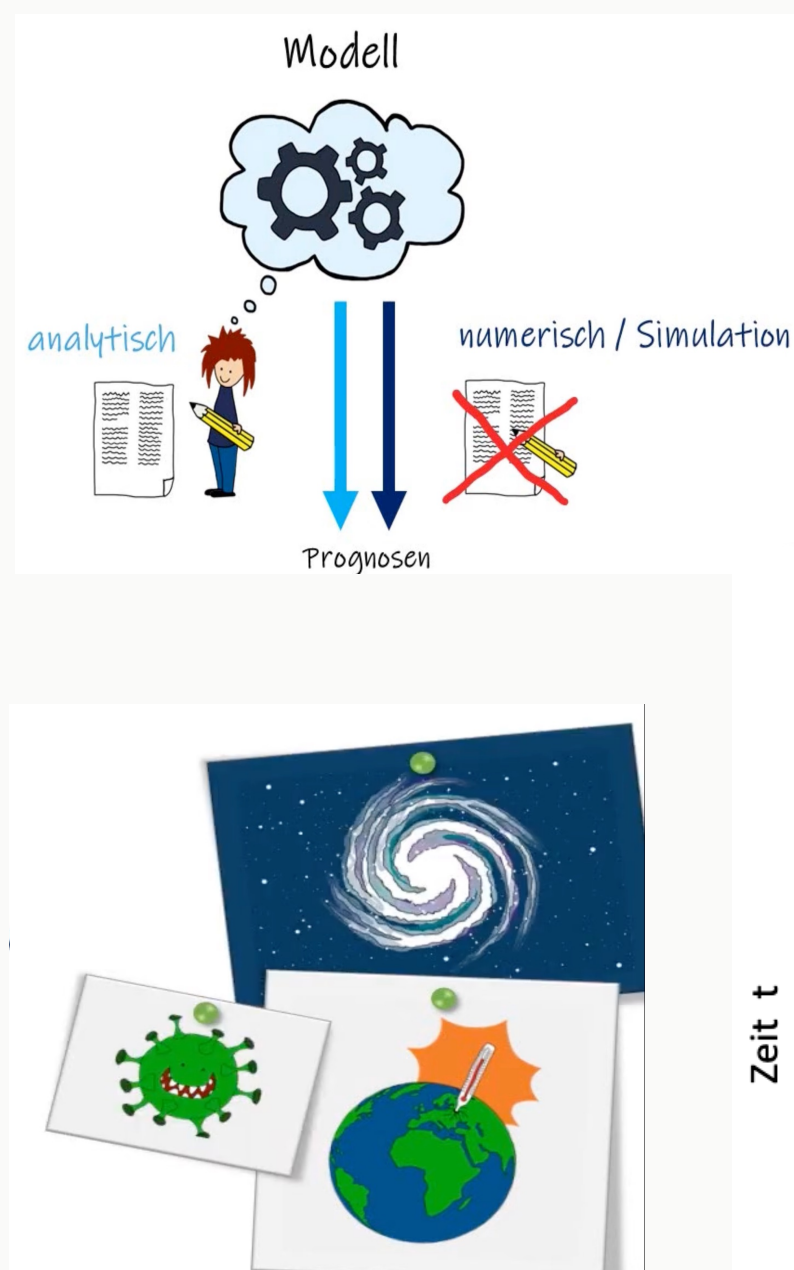
- Explizite Reflexion zentral für NOS-Konzepte (Lederman & Lederman, 2019)
- Hier: Rolle und Einsatz von Simulationen

- interaktives Erklärvideo mit Aufgaben (s. QR-Code)
- Spielplan in gedrucktem Heft
- Manuelles Rechnen eines einfachen Beispiels

- Angeleitet durch Erklärung und Aufgaben im interaktiven Erklärvideo + Scaffold in Heft

- NOS-Konzepte anwenden (Duschl & Grandy, 2013)
- Jupyter Notebook: authentisch + unterstützend + differenzierend + vielfältig einsetzbar

Beispiel für Umsetzung



| Variablen des Modells          |              |
|--------------------------------|--------------|
| $a_x$                          | $a_y$        |
| $v_x$                          | $v_y$        |
| $x$                            | $y$          |
| x - Richtung      y - Richtung |              |
| Runden r                       |              |
| r = 0                          | Anfangswerte |
| r = 1                          |              |
| r = 2                          |              |
| r = 3                          |              |
| ...                            | ...          |

Randwerte

$\Delta t = 0,1 \text{ s}$

$g = 10 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$

$a_x = 0 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$

$a_y = -g$

|               |                                                                     |
|---------------|---------------------------------------------------------------------|
| Spieler       | Ein Computer                                                        |
| Voraussetzung | mathematisches Modell, Anfangs- & Randwerte                         |
| Ziel          | Werte der Modellvariablen in allen Runden berechnen                 |
| Ablauf        | In jeder Runde: nach Spielregeln neue Werte aus den alten berechnen |

Spielregeln für die erste Runde als mathematische Gleichungen:

$$a_{x,1} = a_{x,0} \quad a_{y,1} = a_{y,0}$$
$$v_{x,1} = v_{x,0} + a_{x,0} \cdot \Delta t \quad v_{y,1} = v_{y,0} + a_{y,0} \cdot \Delta t$$
$$x_1 = x_0 + v_{x,0} \cdot \Delta t \quad y_1 = y_0 + v_{y,0} \cdot \Delta t$$

Verallgemeinerung für alle Runden

Allgemeine Spielregeln für eine neue Runde als mathematische Gleichungen:

$$a_{x,\text{neu}} = a_{x,\text{alt}} \quad a_{y,\text{neu}} = a_{y,\text{alt}}$$
$$v_{x,\text{neu}} = v_{x,\text{alt}} + a_{x,\text{alt}} \cdot \Delta t \quad v_{y,\text{neu}} = v_{y,\text{alt}} + a_{y,\text{alt}} \cdot \Delta t$$
$$x_{\text{neu}} = x_{\text{alt}} + v_{x,\text{alt}} \cdot \Delta t \quad y_{\text{neu}} = y_{\text{alt}} + v_{y,\text{alt}} \cdot \Delta t$$

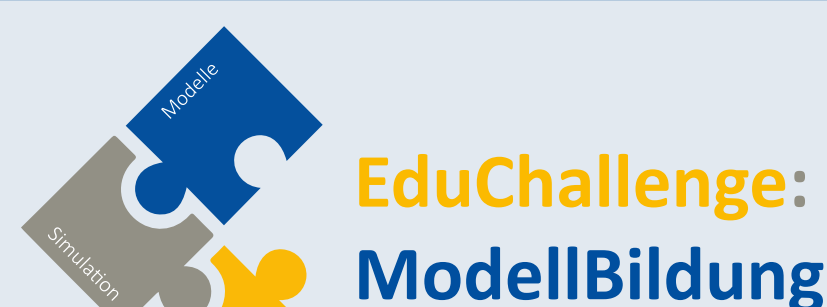
in Programmcode übertragen

Allgemeine Spielregeln für eine neue Runde als Programmcode:

$$a_{x,\text{neu}} = a_{x,\text{alt}} \quad a_{y,\text{neu}} = a_{y,\text{alt}}$$
$$v_{x,\text{neu}} = v_{x,\text{alt}} + a_{x,\text{alt}} \cdot \Delta t \quad v_{y,\text{neu}} = v_{y,\text{alt}} + a_{y,\text{alt}} \cdot \Delta t$$
$$x_{\text{neu}} = x_{\text{alt}} + v_{x,\text{alt}} \cdot \Delta t \quad y_{\text{neu}} = y_{\text{alt}} + v_{y,\text{alt}} \cdot \Delta t$$

```
for r in range(1, N, 1): # Diese Schleife läuft über alle "R"
    # Einlesen der "alten" Werte (aus der vorherigen Runde)
    a_x_alt, v_x_alt, x_alt, a_y_alt, v_y_alt, y_alt = a_x_a
    # Der Spielzug, in dem die Werte der neuen Runde nach den
    # Spielregeln berechnet werden
    ##### Trage in den nächsten Zeilen die SPIELREGELN
    a_x_neu = eintragen
    v_x_neu = eintragen
    x_neu = eintragen
    a_y_neu = eintragen
    v_y_neu = eintragen
    y_neu = eintragen
    #####
    # Und nun schreiben wir die neuen Werte in die Tabelle a
    a_x_array[r] = a_x_neu
    v_x_array[r] = v_x_neu
    x_array[r] = x_neu
    a_y_array[r] = a_y_neu
    v_y_array[r] = v_y_neu
    y_array[r] = y_neu
# nun ist unser Spiel = unsere Simulation schon fertig!
print("Die Simulation ist fertig.")
```

## Beispiel-Lernarrangement



- Design-Based Research Projekt
- Entwicklung & Evaluation von Gestaltungsprinzipien zu NOS im Physikunterricht
- Simulation ist eines von vier Gestaltungsprinzipien
- Beiträge von Rätz (2022), Woeste (2022), Gerschauer (2023), Wieners (2023)
- Lernarrangement für EF abgeschlossen und einsatzbereit (Heysel et al., 2024, s. QR-Code)

## Studie zur Evaluation (Auszug)

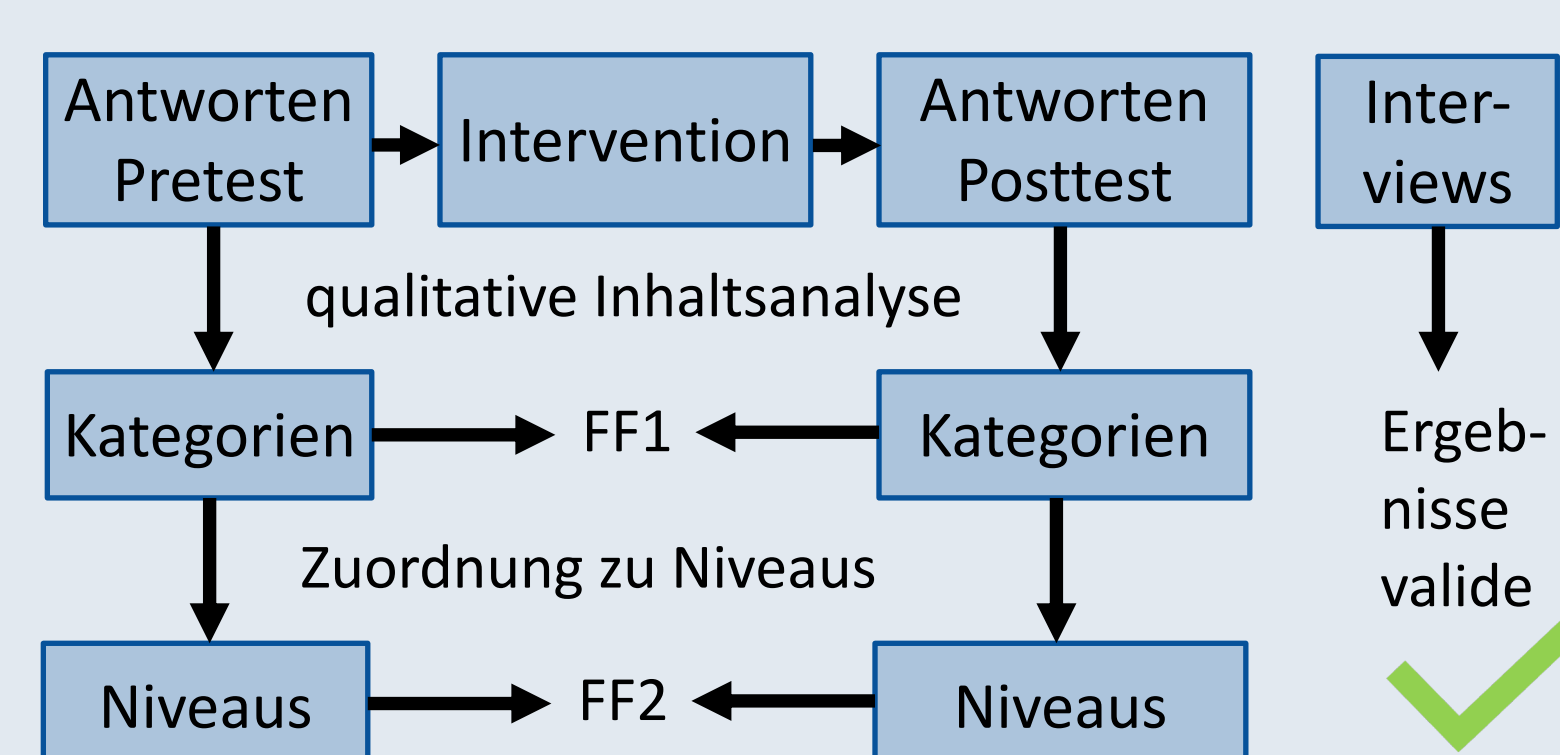
### Frage

Wie groß ist der Effekt der Intervention auf das Differenzierungsniveau der Vorstellungen der Lernenden zum Konzept numerische Simulation?

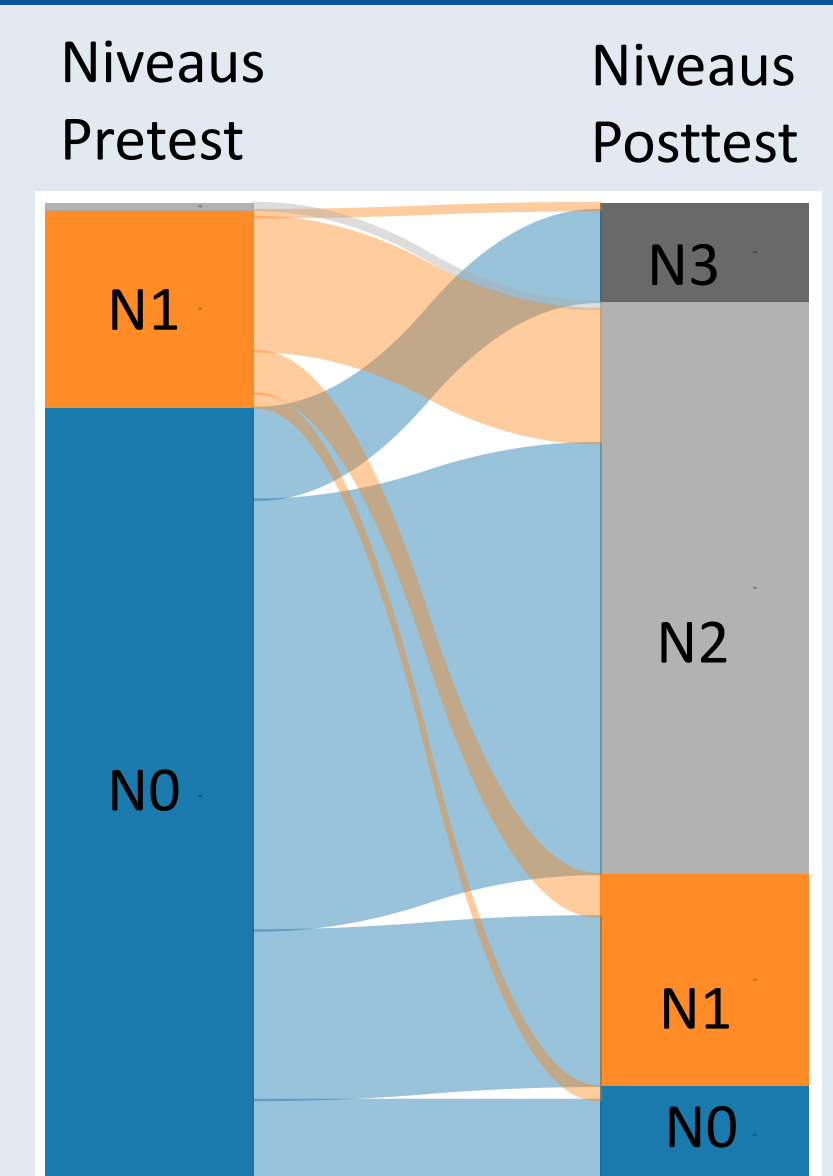
Niveaus:  
N0: keine Vorstellung  
N1: naive Vorstellung (V.)  
N2: intermediäre V.  
N3: differenzierte V.

### Stichprobe & Methodik

- N = 142 Lernende im 1. Jahr der Oberstufe in NRW
- Durchführung im regulären Physikunterricht, ca. 12 Stunden
- November 2022 – Februar 2023
- Pre-Posttest: 3 offene Fragen zu numerischer Simulation  
→ Was ist eine numerische Simulation? / Einsatz? / Schritte?



### Ergebnisse



- Effektstärke der Niveaushiftung: Spearmans  $r_s > 0,5 \rightarrow$  großer Effekt
- Signifikanz:  $p_{\text{Wilcoxon}} < 10^{-13} \rightarrow$  ✓

Literaturangaben,  
Poster als pdf, Weiteres:  
[www.ecmb-simulation.uni-bonn.de](http://www.ecmb-simulation.uni-bonn.de)



Das Projekt der EduChallenge ist eine Kooperation der Universitäten Bonn und Heidelberg unterstützt durch die Deutsche Telekom Stiftung. Die Promotion von Jan Heysel wurde durch die Stiftung der Deutschen Wirtschaft gefördert.  
Grafikdesign: Annemarie Woeste (Illustrationen im Erklärvideo zu Schritt 1), Inga Woeste (Spielplan, Logo ECMB), Thomas Häpp (Übersicht ECMB, Icon Simulation).  
Kontakt: jan.heysel@uni-bonn.de



UNIVERSITÄT  
HEIDELBERG  
ZUKUNFT  
SEIT 1386

