

## Interaktive Bildschirmexperimente als Systemkomponente der webbasierten Lernplattform tet.folio

Sebastian Haase, Marcus Pfaff, Dorothee Ermel, Jürgen Kirstein, Volkhard Nordmeier

Freie Universität Berlin, Didaktik der Physik

[sebastian.haase@fu-berlin.de](mailto:sebastian.haase@fu-berlin.de), [juergen.kirstein@fu-berlin.de](mailto:juergen.kirstein@fu-berlin.de), [volkhard.nordmeier@fu-Berlin.de](mailto:volkhard.nordmeier@fu-Berlin.de)

### Kurzfassung

Interaktive Bildschirmexperimente (IBE) früherer Generationen waren in der Regel in sich abgeschlossene digitale Medienelemente, zum Beispiel im technischen Format sogenannter Flash-Movies. Diese Medienelemente ließen sich u.a. in digitale Lehr-Lernmaterialien einbetten, konnten dabei allerdings nicht mit anderen digitalen Medienelementen oder etwa auch der Umwelt interagieren. Dies wurde erst mit der vollständigen Integration des IBE-Formats in die webbasierte Lernplattform „tet.folio“ möglich. Beispielsweise ist nun der Ablauf eines IBE durch zeitbasierte Medienelemente steuerbar. IBE können über externe Sensoren als Systemkomponenten Messdaten synchron darstellen, über Aktoren aktiv in reale Prozesse eingreifen oder lassen sich sogar über Sprache steuern. Das damit verbundene didaktische Potenzial für digital angereicherte, adaptive Lernumgebungen mit IBE wird an Beispielen diskutiert.

### 1. Motivation und Hintergrund

Nachdem Interaktive Bildschirm Experimente (IBE) bisher zur individuellen Durchführung als Ergänzung oder Ersatz von Realexperimenten, besonders auch zur Vor- und Nachbereitung von Laborpraktika eingesetzt wurden und werden [1,2], haben sich durch das Projekt „Erfahrungsbasiertes Lernen durch interaktives Experimentieren in erweiterten Realumgebungen“ (ELIXIER) neue Möglichkeiten für den realitätsnahen, interaktiven und kontextbasierten Wissenserwerb in der Aus- und Weiterbildung eröffnet [3]. Im Zentrum dieses Vorhabens stehen didaktisch-technologische Innovationen für das Lernen und Lehren in realen und realitätsnahen (IBE) Laborumgebungen. Beim Aufbau und der Durchführung von Versuchen erhalten Studierende wie auch Lehrpersonal eine kontextbasierte, tutorielle Assistenz. Eine webbasierte Infrastrukturlösung ermöglicht die nahtlose Vernetzung von Laborexperimenten mit virtuellen Komponenten der Lernumgebung („Seamless Learning“) und deren vom Endgerät unabhängige Nutzbarkeit. Auf diese Weise können Wissen und Fertigkeiten aus Laborpraktika jederzeit und an jedem Ort abgerufen werden, wenn sie in der Praxis benötigt werden. In einem Erfahrungsportfolio können interaktive Versionen selbst durchgeführter Experimente außerhalb der Laborumgebung als „individuelles“ IBE abgerufen werden.

Wir haben an verschiedenen Beispielen dieses didaktisch-technologischen Konzepts über die Lernplatt-

form tet.folio [4,5,6] demonstrieren können. Elemente der tutoriellen Assistenz sind neben den rein virtuellen Angeboten eines „Experimentierzyklus“ aus den Phasen Orientierung, Vorbereitung, Durchführung und Nachbereitung insbesondere auch die multimodale Darstellung von Elementen der adaptiven Lernprozessbegleitung während der Durchführungsphase mit dem Realexperiment. Hier werden beispielsweise Hinweise zum Aufbau und zur Durchführung des Experiments direkt am Versuchsplatz durch Aufprojektion gegeben (Augmentierung). Sprachaus- und eingabe sind weitere Elemente der Experimentierumgebung.

Im Weiteren werden die im Experiment durchgeführten Aktionen sowie die individuellen Messergebnisse automatisch aufgenommen und sind im Rahmen einer Nachbereitungsphase abrufbar. Die Reproduktion der Messdaten und des Versuchsablaufs erfolgt hierbei über ein IBE. In Vorarbeiten wurde dieser Ansatz bereits demonstriert [7].

### 2. Erweiterung des IBE-Konzepts

Damit ein IBE technisch in der Lage ist, aufgezeichnete Messwerte zeitgesteuert zu reproduzieren, wurden im Projekt ELIXIER die bisher etablierten Herstellungskonzepte [6] weiterentwickelt. Dabei wird das IBE nicht mehr als monolithische Einheit, sondern als System von zum Teil unabhängigen Komponenten aufgefasst.

## V21-1 Strahlenarten mit Info

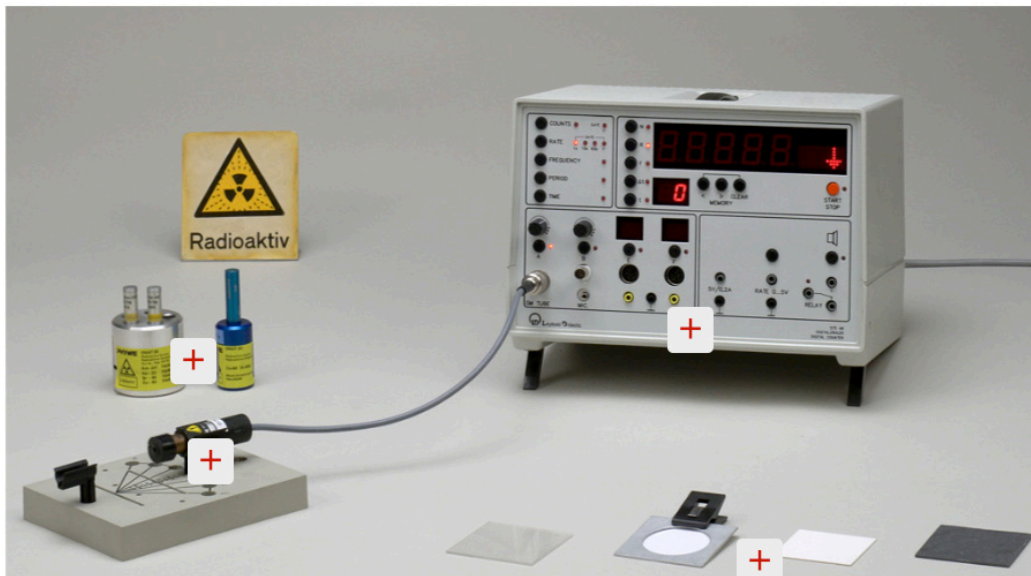


Abb. 1: Das Geiger-Müller-Zählrohr (links) ist an den digitalen Zähler angeschlossen. Das Frontpanel des Zählers wurde weitestgehend mit den verschiedenen Funktions-Modi des realen Geräts als IBE umgesetzt. Die Experimentieraufgabe besteht darin, drei verschiedene Strahler mit unterschiedlichen Absorbern (Plexiglas, Papier, Pappe und Blei) zu kombinieren und die Zählraten zu bestimmen. Über die hier dargestellten Buttons lassen sich wahlweise Zusatzinformationen einblenden. Sie sind kein Bestandteil des eigentlichen IBE.

Erstmalig wurde das Konzept modularisierter IBE am Beispiel eines Experiments zur Unterscheidung radioaktiver Strahlungsarten demonstriert (Abb. 1). Ein Geiger-Müller-Zählrohr ist hier zum Nachweis der Strahlung an einen digitalen Zähler angeschlossen. Im IBE stehen für die Untersuchung drei verschiedene Strahlungsquellen und vier Absorber (Papier, Pappe, Plexiglas und Blei) zur Verfügung, die beliebig kombinierbar sind.

Zur Bedienung des Digital-Zählers wurden die verschiedenen Funktions-Modi des realen Geräts im IBE weitestgehend umgesetzt. Die Anzeige der Impulsanzahl oder wahlweise der Impulsrate erfolgt digital. Alle diese Ein- oder Ausgabeobjekte des IBE wurden als diskrete „tet.boxes“ über dem Hintergrundfoto in tet.folio platziert (Abb. 2), wobei die Bedienung des Zählers hier nur in der Detailansicht realisiert wurde. Die Umsetzung erfolgt in Form von

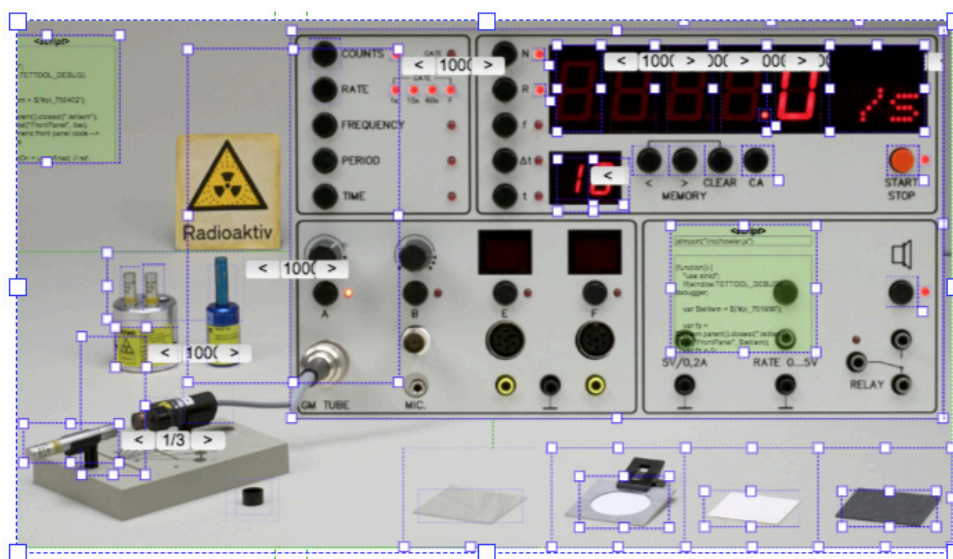


Abb. 2: Der neue IBE Ansatz realisiert IBE nicht mehr als monolithische Einheit, sondern vielmehr als aus zum Teil unabhängigen Modulen. Diese werden in tet.folio als tet.boxes realisiert. Im Layout-Modus sind sie jeweils einzeln blau gestrichelt umrandet.

```

242     var lambda;
243     function setLambda(l) {
244         lambda = l;
245         clearTimeout(ticksTimer);
246         ticksTimer=null;
247         //note: ticksCount should be untouched when changing probe
248         //ticksCount=undefined;
249         if(l>0) tick();
250         //note: ticksTimer is "always" running ... --- as long as lambda > 0
251         // $(".header_navigation_center").html(String(Int(l,2)).replace(".", "/"))
252     }
253
254     function drawNormal(mu, sigma, nsamples){
255         if(!nsamples) nsamples = 6
256         if(!sigma) sigma = 1
257         if(!mu) mu=0
258
259         var run_total = 0
260         for(var i=0 ; i<nsamples ; i++){
261             run_total += Math.random()
262         }
263
264         return sigma*(run_total - nsamples/2)/(nsamples/2) + mu
265     }
266     function drawPoisson(mean) {
267         if(mean>30) return drawNormal(mean, Math.sqrt(mean)); // seb: mean > 700 results in Math.exp(-mean)===0
268         // https://stackoverflow.com/questions/1241555/algorithm-to-generate-poisson-and-binomial-random-numbers
    
```

Abb. 3: Eine „Logik-box“ enthält komplexe Abhängigkeiten, wie z.B. die Berechnung der radioaktiven Zufallsereignisse nach Normal- und Poisson-Verteilung.

Bildsequenzen, die in „Diashows“ der einzelnen Objekte einer Experimentanordnung importiert werden. Im Beispiel sind dies alles Objekte, mit denen der Nutzer Interaktionen ausführen kann oder z.B. auch die Digits des Displays, über die im IBE auf Messdaten bezogene Ausgaben erfolgen. Zeigt eine Diashow zum Beispiel die zwei Stellungen eines Schalters, löst ein Klick auf dieses Objekt den Wechsel zwischen beiden Bildern aus und erzeugt so den Eindruck der Bedienbarkeit des Schalters. Weitere einfache Interaktionen mit Diashow-Objekten lassen sich in den Objekteigenschaften als „Hyperlink“ erzeugen. Zur Gestaltung von Handlungsangeboten kann dabei auf eine Vielzahl von Kommandos zurückgegriffen werden, dazu gehören u.a.:

- tet:
- dia:
- presi:
- say:
- play:
- show:
- hide:
- toggle:
- move:
- rotate:

Hinter dem Doppelpunkt sind Parameter wie zum Beispiel die Nummer einer Seite (tet.page), der Titel einer Diashow, ein zu sprechender Text („say“ erzeugt aus einem beliebigen Text eine synthetische Sprachausgabe) oder für animierte Objekte im IBE ein Winkel („rotate“) oder die Zielposition für ein linear bewegtes Objekt („move“) einzutragen.

Das Konzept der Modularisierung erlaubt damit eine flexible, adaptive Gestaltung des IBE als Komponente einer Lernumgebung, die neben rein virtuellen Angeboten auch Handlungen mit realen Objekten

umfassen kann, die wiederum auf den digitalen Teil der Lernumgebung zurückwirken können. Im Projekt ELIXIER konnten wir mit diesem Ansatz demonstrieren, wie sich reale Erfahrung im Experiment mit der Möglichkeit der virtuellen Reproduzierbarkeit über ein personalisiertes IBE verbinden lässt. Damit bleibt das IBE nicht mehr länger ein „vorproduziertes“ virtuelles Experiment, das jedem Lernenden im Extremfall immer wieder dieselben Daten präsentiert, sondern wird zum Wissensbaustein individueller Erfahrung. Die Vision für künftige Entwicklungsschritte ist ein IBE, das neben den individuellen Messdaten auch den Aufbau des eigenen Experiments darstellt. Dazu erfassen Sensoren die Art und Position der Experimentiergeräte in einem realen (modularisierten) Aufbau. Diese Daten dienen dann zur Konfiguration des individuellen IBE.

Falls die einfachen „Hyperlink“-gesteuerten Interaktivitäten zur Gestaltung des IBE nicht ausreichen, etwa weil die logischen Abhängigkeiten mehrerer Interaktionsobjekte zu komplex werden, kann zusätzlich weiterer Javascript-Code programmiert werden. Ein Beispiel des Logik-Skripts aus einem IBE ist in Abb. 3 dargestellt. Hier wird u.a. auf eine Open-Source Bibliothek zum Abspielen von Sound-Daten zurückgegriffen („howler.js“). Das sind relevante Original-Töne, die während der Durchführung des realen Experiments erfasst werden oder auch synthetisch generierte Tonereignisse wie der „Klick“ beim Zählereignis im Radioaktivitätsexperiment. Die Komponente Audio ist dabei Bestandteil der Oberfläche multimodaler IBE und bietet weitergehende Gestaltungsmöglichkeiten experimentierbezogener Lernaufgaben.

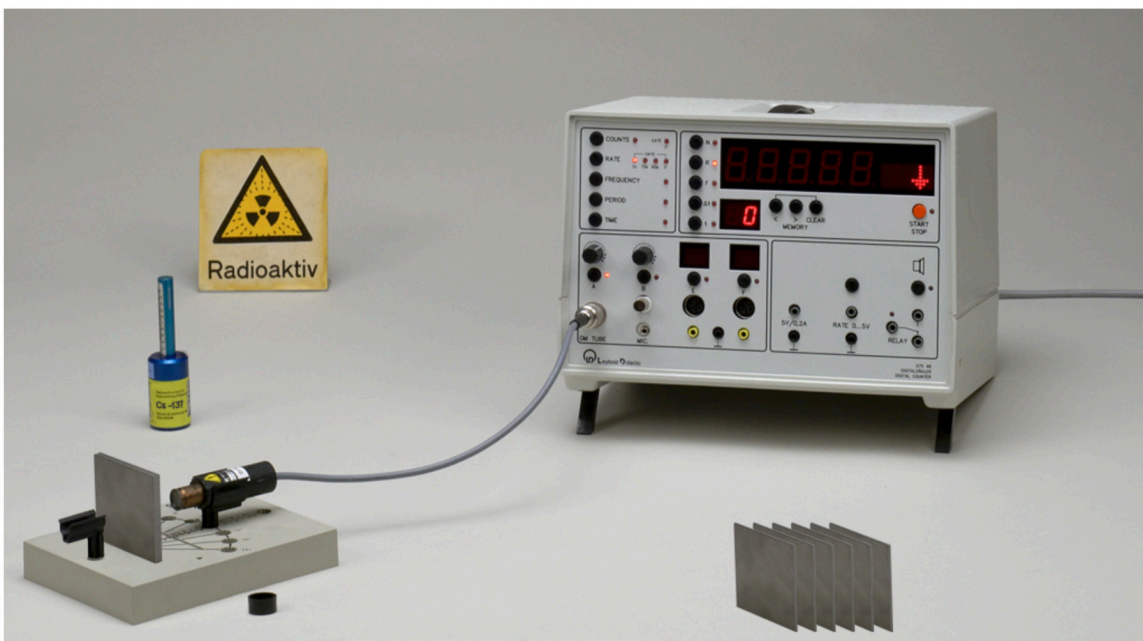


Abb. 4: IBE zur Lernaufgabe „Absorptionsgesetz für Gamma-Strahlung“.

### 3. Individualisiertes Lernen mit IBE in tet.folio

Die webbasierte Plattform tet.folio stellt damit zunächst eine flexible Autorenumgebung für die Herstellung und Verteilung von IBE zur Verfügung. Abb. 4 zeigt einen zum zuvor gezeigten IBE sehr ähnlichen Aufbau. Die Lernaufgabe „Absorptions-

gesetz für Gamma-Strahlung“ konnte größtenteils die gleichen Komponenten einsetzen. Das (modularisierte) IBE in tet.folio ist darüber hinaus aber auch Komponenten eines Systems real-digitaler Lernumgebungen, die mit anderen in Wechselwirkung treten können. Beispielsweise wäre es möglich,

**1.**

Tragt die Messwerte in die Tabelle ein.  
(Bitte als Trennzeichen "." verwenden)

	d in mm	R in 1/s
1	0	4.1
2	2	3.3
3	4	2.6
4	6	2.0
5	8	1.6
6	10	1.3
7	12	1.0
8	14	0.8
9	16	0.7
10	18	0.5

**Graph**

**2.**

Bestimmt die Halbwertsdicke *hwd* durch Anpassen des Funktionsgraphen.  
(*R<sub>0</sub>*: Rate ohne Absorber, *R<sub>bkg</sub>*: Nullrate)

$$y = (R_0 - R_{bkg}) * \exp(-\log(2) * x / hwd) + R_{bkg}$$

*R<sub>0</sub>* = 4.207    3.7        5  
*R<sub>bkg</sub>* = 0.1    0.1        1  
*hwd* = 5.6    0        10

Abb. 5: Zugehörige Tabelle zur Auswertung einer Messung mit dem IBE zum Absorptionsgesetz.



über die Ergebnisse der Bearbeitung einer Lernaufgabe die Darstellung eines Experiments im IBE dem Lernniveau anzupassen (Gestaltung der Oberfläche und der Handlungsmöglichkeiten). Abb. 5 zeigt eine Variante, in der die Halbwertsdicke durch Anpassen einer vorgegebenen mathematischen Modellfunktion bestimmt werden soll. Auch umgekehrt können Handlungen mit dem IBE etwa den Umfang oder die Qualität von ergänzenden Lernangeboten (Aufgaben, Informationstexte oder den Grad der Elaboration von Anleitungen und Hilfen) verändern.

Nicht zuletzt bietet die Integration von IBE in den „Experimentierzyklus“ neue didaktisch-methodische Gestaltungsmöglichkeiten:

- In die Orientierungsphase integrierte Assessment-Komponenten mit IBE erlauben eine experimentbezogene, handlungsorientierte Diagnose der Lernausgangslage.
- Der Aufbau des Experiments kann in der Phase der Vorbereitung bereits virtuell erfolgen – mit modularisierten IBE auch interaktiv. Damit wird die (hypothesegeleitete) Planung eines Experiments bereits sehr nahe an der Anwendungssituation und ohne jedes Risiko (Gefahren, Fehlbedienung) ermöglicht.
- Die Durchführung des realen Experiments generiert Messdaten und Metadaten (Position und Art der verwendeten Geräte), mit denen im Hintergrund ein personalisiertes IBE in tet.folio erzeugt wird.
- Dieses IBE steht dann im Rahmen der Auswertung für die Reflexion des individuellen Lernprozesses mit dem Experiment zur Verfügung. Möglich dabei ist einmal der „Replay“-Modus, eine zeitbasierte Repräsentation des Experimentablaufs, oder auch die interaktive Darstellung als IBE. Für den Fall eines missglückten Experiments besteht damit auch die Möglichkeit des virtuellen Nachvollzugs eines idealtypischen Experiments.

#### 4. Literatur

- [1] Kirstein, J. & Nordmeier, V. (2007): Multimedia representation of experiments in physics. In: IOP, Eur. J. Phys. 28, 115-126.
- [2] Kirstein, J., Nordmeier, V. (2014): tet.folio: Physik lehren und lernen mit einem digitalen Portfolio. In: Praxis der Naturwissenschaften PHYSIK in der Schule 63 (3 / 63), S. 19–27.
- [3] Ermel D., Kirstein, J. Haase, S., Nordmeier, V. (2016): ELIXIER: Didaktische Konzeption einer kompetenzorientierten Mixed-Reality-Experimentierumgebung. In Phyd B – Didaktik der Physik – Beiträge zur DPG-Frühjahrstagung 2016, Berlin.
- [4] Kirstein, J. & Nordmeier, V. (2011). Technology Enhanced Textbook - Ein fachdidaktisches Forschungsprojekt. In V. Nordmeier; H. Grötzebach (Hrsg.), Phyd B –Didaktik der Physik – Beiträge zur DPG-Frühjahrstagung 2011, Berlin.  
<http://www.phyd.de/index.php/phydid-b/article/viewArticle/312>.
- [5] Neuhaus, W., Kirstein, J. & Nordmeier, V. (2013): Technology Enhanced Textbook - Provoking active ways of learning. In: PLE 2013 Conference proceedings. Aveiro: University of Aveiro.
- [6] Haase, S., Kirstein, J., Nordmeier, V. (2016): tet.folio: Neue Ansätze zur digitalen Unterstützung individualisierten Lernens. In Phyd B – Didaktik der Physik – Beiträge zur DPG-Frühjahrstagung 2016, Berlin.
- [7] Gutzler, T., Kastl, R., Nordmeier, V. (2013): Entwicklung eines Low-Cost-USB-Datenloggers zur Nachbereitung naturwissenschaftlicher Praktika. . In Phyd B – Didaktik der Physik – Beiträge zur DPG-Frühjahrstagung 2013, Berlin.