

Aufgaben mit automatischem Feedback zu chemischen Atom-Orbitalschemata

Michael Striewe¹, Florian Trauten² und Carolin Eitemüller³

Abstract: Übungs- und Prüfungsaufgaben enthalten oft fachspezifische Notationen oder Interaktionsformen, die bei einer Umsetzung in elektronische Systeme beachtet werden müssen. Nicht immer stehen dabei passende Komponenten für eine exakte Übertragung zur Verfügung und auch eine Umsetzung mit abgewandelten Aufgabentypen ist nicht immer sinnvoll möglich. An einem Beispiel aus der allgemeinen Chemie diskutiert der Beitrag, wie eine fachspezifische Eingabemöglichkeit in einem gegebenen E-Assessment-System geschaffen werden kann und welche didaktischen Überlegungen zur Benutzbarkeit und automatischen Feedbackerzeugung dabei beachtet werden mussten. Eine Evaluation im Einsatz belegt, dass in beiden Punkten ein für die Lernenden ausreichendes Ergebnis erzielt werden konnte.

Keywords: E-Assessment, Fachspezifische Eingaben, Automatisches Feedback, Chemie

1 Einleitung und Motivation

Zu den ständigen Herausforderungen bei der Übertragung vorhandener, analoger Lernmaterialien in technische Systeme gehört es, fachspezifische Notationen oder Interaktionsformen auf geeignete Weise in das eingesetzte, digitale Lernwerkzeug zu übertragen. In einfachen Fällen kann dazu eine Umsetzung mit standardisierten Aufgabentypen wie Multiple-Choice oder Lückentexten möglich sein, ohne dabei Einbußen in der Qualität der Aufgabe oder des möglichen Feedbacks hinzunehmen. Selbst starke Änderungen wie das Ersetzen einer Zeichenaufgabe durch das Auswählen einer vorgegebenen Grafik wirken sich nicht zwingend auf das Ergebnis aus [ABKY05], ändern aber gleichwohl den Charakter der Aufgabe. Ein weiterer Ansatz besteht darin, generische Eingaben für fachspezifische Artefakte zu verwenden, beispielsweise chemische Formeln in Form von eingereichten Grafiken entgegenzunehmen [PBR07]. In diesem Fall wird jedoch eine automatische Bewertung zumindest erschwert, wenn nicht sogar verhindert. Wenn sowohl die spürbare Veränderung der Aufgabe durch die Wahl eines anderen Aufgabentyps als auch der Verzicht auf die automatische Bewertung durch ein digitales Lernwerkzeug nicht akzeptabel ist, bleibt als weitere Option nur die Entwicklung zusätzlicher Features für das verwendete digitale Lernwerkzeug.

¹ Universität Duisburg-Essen, paluno – The Ruhr Institute for Software Technology, Gerlingstraße 16, 45127 Essen, michael.striewe@paluno.uni-due.de

² Universität Duisburg-Essen, Didaktik der Chemie, Schützenbahn 70, 45127 Essen, florian.trauten@uni-due.de

³ Universität Duisburg-Essen, Didaktik der Chemie, Schützenbahn 70, 45127 Essen, carolin.eitemueller@uni-due.de

In der Chemie wurde dieser Weg ebenfalls schon mehrfach und mit unterschiedlichem Erfolg besritten: Verschiedene Möglichkeiten der Eingabe chemischer Strukturformeln haben sich bisher eher als unzureichend erwiesen [Jo15], während eine Erweiterung eines mathematischen Formeleditors um Elemente und Auswertungsmöglichkeiten für chemische Reaktionsgleichungen erfolgreicher verlief [PS19]. In beiden Fällen konnten als Arbeitsgrundlage vorhandene Software-Lösungen erprobt und (im zweiten Fall) erfolgreich erweitert werden. Je spezialisierter das Thema einer Aufgabe ist, umso unwahrscheinlich ist es jedoch, dass eine solche Wiederverwendung möglich ist.

Der vorliegende Beitrag befasst sich mit genau einem solchen Fall und geht der Frage nach, ob auch ein Aufgabentyp zu chemischen Atom-Orbitalschemata und deren grafischer Repräsentation digital umgesetzt werden kann. Im Zentrum stehen dabei zwei Fragen: Kann für diesen speziellen Aufgabentyp ein web-basierter Editor entwickelt werden, der für Studierende hinreichend intuitiv bedienbar ist und kann die Auswertung der Antworten soweit automatisiert werden, dass ein nach didaktischen Gesichtspunkten gestaltetes, differenziertes Feedback möglich ist?

2 Atom-Orbitalschemata

Die in diesem Beitrag betrachteten Atom-Orbitalschemata sind eine Diagrammform, in der verschiedene Informationen über die Verteilung der Elektronen in einem Atom kodiert werden. Das Atom-Orbitalschema lässt sich auf der Schrödinger-Gleichung begründen. Jedem energetischen Zustand, den ein Elektron einnehmen kann, lässt sich eine definierte Wellenfunktion Ψ zuordnen. „Die Wellenfunktion für ein Elektron in einem Atom ist der mathematische Ausdruck für etwas, das wir [Atom-]Orbital nennen“ [MM14]. Mithilfe von drei Quantenzahlen lassen sich bei der wellenmechanischen Betrachtung des Elektrons die Aufenthaltsbereiche und die begrenzenden Knotenflächen dieser Bereiche charakterisieren.

Die Hauptquantenzahl n (mit $n = 0, 1, 2, 3, \dots$) definiert die sog. Schale (K, L, M, ...; synonym zur Periode im Periodensystem), in der sich ein Elektron mit großer Wahrscheinlichkeit aufhalten wird. Dabei hängt die Größe des Zahlenwertes proportional mit der Entfernung des Elektrons zum Kern zusammen. Jede Schale kann wiederum über die Nebenquantenzahl l (mit $l = 0, 1, 2, \dots (n - 1)$) in Unterschalen aufgeteilt werden. Diese benennen den Orbitaltyp (s, p, d, ...). Jeder Nebenquantenzahl wird zudem noch eine Magnetquantenzahl m bzw. l_m (mit $l_m = -l, -(l - 1), \dots, 0, \dots (l + 1), l$) zugeordnet. Diese Zahl gibt an, wie viele Orbitale es in dieser Unterschale gibt. S-Orbitale haben mit $l=0$ somit auch eine Magnetquantenzahl von $l_m=0$, wodurch sich ergibt, dass es in jeder Schale nur ein s-Orbital gibt. P-Orbitale haben die Nebenquantenzahl $l=1$ und somit $l_m=\{-1,0,1\}$, so dass es stets drei p-Orbitale gibt, wobei diese erst ab der L-Schale auftreten. Zuletzt gilt es zu erwähnen, dass jedes Orbital mit zwei Elektronen besetzt werden kann, welche jedoch mit entgegengesetztem Spin (einem Eigendrehimpuls) ein magnetisches Moment erzeugen. Die sogenannte

Spinquantenzahl s beschreibt also nicht die Form eines Orbitals, sondern nur das magnetische Moment eines Elektrons, wobei zwei Zustände möglich sind $(+\frac{1}{2}, -\frac{1}{2})$.

Die Belegung der Orbitale ist dabei zwei Gesetzmäßigkeiten unterworfen: Nach dem Pauli-Prinzip dürfen keine zwei Elektronen eines Atoms in allen vier Quantenzahlen übereinstimmen. Das heißt innerhalb desselben Orbitals derselben Schale darf es keine zwei Elektronen mit demselben Spin geben. Nach der Hund'schen Regel verteilen sich Elektronen bei Orbitalen gleichen Energieniveaus zudem so, dass ein Maximum ungepaarter Elektronen mit parallelem Spin entsteht. Es darf also nicht gleichzeitig in einer Unterschale leere Orbitale und Orbitale mit zwei Elektronen geben. Die Kenntnis beider Gesetzmäßigkeiten und der sich daraus ergebenden Konsequenzen für den Aufbau eines Atoms sind ein wichtiges Lernziel in der Einführung in die allgemeine Chemie.

Die Verteilung der Elektronen auf die Schalen und die darin befindlichen Orbitale lässt sich schematisch in einem sogenannten Atom-Orbitalschema darstellen. Der Fokus liegt bei dieser abstrakten Visualisierungsform auf der Verteilung der Elektronen, die räumliche Ausrichtung der Orbitale bleibt hier unbehandelt. Die Position der Orbitale entlang der y-Achse gibt dabei Auskunft über das (relative) Energieniveau. Abbildung 1 zeigt ein solches Atom-Orbitalschema für ein einzelnes Sauerstoffatom. Dem Diagramm ist zu entnehmen, dass das Sauerstoffatom über acht Elektronen verfügt, von denen sich zwei im sogenannten 1s-Orbital in der K-Schale, sowie zwei weitere in der L-Schale im 2s-Orbital befinden und die übrigen sich möglichst gleichmäßig auf die drei verfügbaren 2p-Orbitale verteilen. Dabei hat das 2p-Orbital ein höheres Energieniveau als das 2s-Orbital und dieses wiederum ein höheres Energieniveau als das 1s-Orbital. Anhand der Pfeile kann außerdem noch die Spin-Richtung der Elektronen abgelesen werden.

Alle diese Informationen sind in verschiedenen Kontexten relevant, um beispielsweise das Verhalten verschiedener Elemente in chemischen Reaktionen erklären zu können. (Atom-)Orbitalschemata sind daher ein wichtiger Baustein, um Faktenwissen über einzelne Elemente in unmittelbarer Verbindung mit der Theorie zum Aufbau von Atomen zu vermitteln, darzustellen und zu prüfen. Sowohl das Faktenwissen alleine als auch der theoretische Aufbau von Atomen kann auch separat mit rein textuellen Darstellungen vermittelt bzw. geprüft werden, nicht jedoch die praktische Verbindung der beiden Aspekte. Selbst wenn man dazu rein textuelle Aufgaben stellen würde, erfordert eine Beantwortung im Wesentlichen, zunächst ein Orbitalschema zu erstellen und dann die gewünschten Informationen abzuleiten.

Praktisch ergeben sich dabei mindestens zwei Aufgabentypen, bei denen Atom-Orbitalschemata zum Einsatz kommen können: Erstens die Erstellung von Atom-Orbitalschemata für ein gegebenes Atom und zweitens die Ableitung von Informationen aus einem gegebenen Atom-Orbitalschema. Der vorliegende Beitrag betrachtet nur den ersten Aufgabentyp, da im zweiten Fall das Atom-Orbitalschema durch Lehrende bzw. Aufgabenautoren erstellt wird und sich der Aufgabentyp somit nicht wesentlich von beliebigen anderen Aufgaben unterscheidet, in denen Lernende eine Abbildung vorgelegt bekommen.

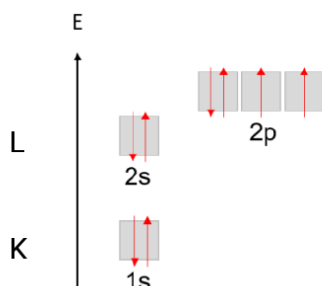


Abb. 1: Atom-Orbitalschema für Sauerstoff.

3 Entwicklung des Editors

Rahmenbedingung für die Entwicklung des Editors war die Einbindung in das E-Assessment-System JACK, welches an der Universität Duisburg-Essen als eines von zwei dedizierten E-Assessment-Systemen (zusätzlich zu einem allgemeinen Lern-Management-System) regelmäßig und fakultätsübergreifend im Einsatz ist. Insbesondere werden auch andere Übungsaufgaben in der allgemeinen Chemie über dieses System abgewickelt, so dass die Studierenden im allgemeinen Umgang mit dem System vertraut sind. Das System ist web-basiert und der zu entwickelnde Editor sollte in möglichst vielen modernen Browsern und auf möglichst vielen Geräten nutzbar sein. Daraus ergab sich schnell die Entscheidung für eine Umsetzung mit HTML5 und JavaScript, so dass der Editor grundsätzlich auch in andere Systeme übertragen werden kann. Die Überprüfung der Lösung und die Erzeugung von Feedback ist serverseitig in Java realisiert und damit weniger leicht auf andere Systeme übertragbar.

3.1 Anforderungen an Funktion und Usability

Der benötigte Funktionsumfang für den Editor ist verhältnismäßig gering. Es muss für den Benutzer möglich sein, Schalen und Orbitale hinzuzufügen und wieder zu entfernen. Ferner muss es möglich sein, Elektronen in vorhandenen Orbitalen zu platzieren und dabei ihren Spin auszuwählen. Außerdem müssen Elektronen auch wieder entfernt werden können.

Aus didaktischen Gründen wurden zudem einige Vereinfachungen vorgenommen, so dass weitere, naheliegende Funktionen zunächst nicht realisiert werden mussten. Dies betrifft insbesondere die Positionierung der Orbitale, so dass es den Lernenden weder möglich sein sollte, Orbitale und Schalen in einer falschen Reihenfolge zu positionieren, noch ihnen ein falsches Energieniveau zuzuweisen. Es soll jedoch möglich sein, real nichtexistente Orbitale hinzuzufügen (z. B. d-Orbitale in der K-Schale). Dies bedingt auch, dass diesen Orbitalen dann automatisch eine schlüssige Position im Diagramm

zugewiesen werden muss. Eine vereinfachte Darstellung, die für jede Schale ein einheitliches Energieniveau annimmt, wurde dabei zunächst als ausreichend angesehen.

Um auf möglichst vielen Browsern und Geräten gleichförmig bedienbar zu sein, sollte der Editor möglichst wenig verschiedene Bedienaktionen erfordern. Im Idealfall sollte die Bedienung ausschließlich per „Point-and-Click“ möglich sein, so dass weder mehrere Maustasten noch komplexe Mausbewegungen bzw. Fingergesten und auch keine Tastatureingaben nötig sind. Dies wiederum impliziert einige Vorgaben, indem die Benennung von Schalen (K, L, M, ...) und Orbitalen (s, p, d, ...) in Auswahlfeldern zur Verfügung steht und somit eine völlig falsche Benennung grundsätzlich ausgeschlossen ist.

3.2 Anforderungen an die Feedbackgenerierung

Um die Korrektheit eines Atom-Orbitalschemas zu prüfen, muss lediglich die Ordnungszahl des dargestellten Elements bekannt sein und es müssen einige chemische Gesetze beachtet werden, insbesondere das oben bereits erwähnte Pauli-Prinzip und die Hund'sche Regel. Es ist daher nicht notwendig, dass Lehrende bzw. Aufgabenautoren individuelle Prüfregeln für verschiedene Elemente festlegen können, sondern die Überprüfung soll vollständig automatisch durchgeführt werden können. Zu beachten ist dabei jedoch, dass es im Allgemeinen mehrere korrekte Lösungen einer Aufgabe geben kann. Dazu ist es lediglich notwendig, in einem gegebenen, korrekten Atom-Orbitalschema alle Spins aller Elektronen umzukehren, um so ein zweites, korrektes Diagramm zu erhalten. Das Umkehren des Spins in einer Teilmenge der Elektronen kann dagegen auch zu falschen Lösungen führen. In bestimmten Konstellationen ist es auch möglich, einzelne Elektronen an verschiedenen Stellen zu platzieren, die alle korrekt sind. Bei der Feedbackerzeugung müssen daher tatsächlich verschiedene Regeln überprüft werden und es kann nicht einfach mit einer Musterlösung verglichen werden. Zudem soll detailliertes Feedback erzeugt werden, das den vorhandenen Fehler möglichst genau benennt, beispielsweise durch die Benennung der verletzten chemischen Gesetzmäßigkeit. Bei der Berechnung einer Punktzahl für eine Lösung sollen verschiedene Fehler zudem unterschiedlich gewichtet werden können.

3.3 Initialer Prototyp

Ein erster Prototyp eines geeigneten Editors wurde Anfang 2018 entwickelt und in den darauffolgenden Semestern evaluiert. Abbildung 2 zeigt einen Screenshot der Oberfläche. Diese besteht aus dem grau hinterlegten Diagrammbereich und einem darunterliegenden Bereich mit Steuerelementen. Zur Bearbeitung des Diagramms muss ausschließlich dieser untere Bereich bedient werden. Buttons und Drop-Down-Menüs können dabei wie geplant ausschließlich mit der Maus bedient werden. In zwei Eingabefeldern sind jedoch Tastatureingaben notwendig. Der Prototyp erfüllt damit die funktionalen Anforderungen vollständig, die Anforderungen an die Usability jedoch nicht gänzlich.

Technisch manipuliert die Interaktion mit dem Bedienfeld eine Objektstruktur, die das Atom-Orbitalschema repräsentiert. Diese Objektstruktur wird dann einerseits in der Diagrammfläche grafisch umgesetzt und andererseits in Form eines JSON-Strings serialisiert und in ein verstecktes Eingabefeld der Webseite geschrieben, um auf diesem Weg bei einer Einreichung zum Server geschickt zu werden. Für die automatische Feedbackerzeugung wird die Datenstruktur dann dort analysiert.

Aufgabenbeschreibung: Modellieren sie die Elektronenkonfiguration des Sauerstoffatoms.

Abb. 2: Benutzeroberfläche der prototypischen Implementierung des Atom-Orbitalschema-Editors mit unvollständig eingetragenen Sauerstoff-Atom. Die Energieniveaus werden in dieser Version nur vereinfacht dargestellt.

3.4 Evaluation des Prototyps und weitere Anforderungen

Zur Evaluation des Prototyps wurden Aufgaben zu verschiedenen Atomen erstellt und in Sachen Bedienbarkeit und Vollständigkeit des Feedbacks von zwei Experten der Chemiedidaktik evaluiert. Die Bedienbarkeit wurde dabei als hinreichend gut eingestuft, so dass sich nur kleine Änderungsanforderungen zum Layout ergaben. Weitere Ideen, z. B. zur Auswahl von Orbitalen in der Diagrammfläche durch Mausklick wurden zwar diskutiert, aber als nicht dringend eingestuft.

In der Diagrammfläche ergab sich die Beobachtung, dass der Editor eine zu stark vereinfachte Darstellung wählt, indem er alle Orbitale einer Schale auf demselben Energieniveau darstellt. Diese Art der Darstellung war zwar in den initialen Anforderungen als akzeptabel angesehen worden, erwies sich in der Evaluation aber

doch als störend. Insbesondere mussten zur Erzeugung des Feedbacks mehr Details berücksichtigt werden, als für die Studierenden im Diagramm ersichtlich waren. Daraus ergab sich als neue Anforderung, dass für alle Orbitale ein korrektes, relatives Energieniveau bei der Anzeige berücksichtigt werden muss. Das betrifft - wie oben bereits diskutiert - auch fälschlich eingefügte, real nicht existierende Orbitale, die trotzdem eine plausible Position erhalten müssen. Eine freie Positionierung der Orbitale durch die Studierenden wurde in Bezug auf die Bedienbarkeit als unverhältnismäßig komplex eingeschätzt und daher abgelehnt. Ferner ergaben sich kleinere Änderungsanforderungen zu Inhalt und Position der Labels zur Benennung der Orbitale.

In Bezug auf die Feedbackerzeugung wurden einige Fälle entdeckt, für die noch kein ausreichendes Feedback erzeugt wurde. Gleichzeitig stellte sich heraus, dass eine Gewichtung jeder einzelnen Regel bei der Berechnung einer Punktzahl nicht notwendig ist. Stattdessen erschien es ausreichend, zwischen falsch gewählten Bestandteilen (z. B. zu viele oder zu wenige Elektronen, nicht existierende Orbitale, usw.) und falsch angewandten Gesetzen (z. B. falsche Verteilung der Elektronen auf die Orbitale, falscher Spin, usw.) zu unterscheiden. Ferner sollte es zusätzlich möglich sein, dass Lehrende das automatische, generische Feedback um aufgabenspezifische Texte ergänzen, um beispielsweise individuell auf Lehrmaterial oder andere Beispiele verweisen zu können.

3.5 Weiterentwicklung

Die Umsetzung der neuen Anforderungen wurde Mitte 2019 durchgeführt. Abbildung 3 zeigt die nur leicht veränderte Benutzeroberfläche. Keine der neuen oder geänderten Anforderungen erforderte eine umfassende Änderung der Datenstrukturen oder der Implementierung. Erweiterungen waren jedoch sowohl client-seitig notwendig, um das Energieniveau zu berücksichtigen, als auch serverseitig, um das erweiterte Feedback zu realisieren.

4 Evaluation im Einsatz

Im Wintersemester 2019/20 wurde der Editor erstmals mit Studierenden im regulären Übungsbetrieb einer Einführung in die allgemeine Chemie eingesetzt. Insgesamt wurden sechs Aufgaben zur freiwilligen (ggf. auch mehrfachen) Bearbeitung angeboten. Im Rahmen einer umfangreicheren Studie sollte insbesondere der Effekt von automatisch generiertem, detailliertem Feedback für verschiedene Aufgabentypen untersucht werden. In allen Aufgabentypen war dabei eine fachspezifische Eingabe notwendig (insbesondere auch die in der Einleitung erwähnte Eingabe von chemischen Reaktionsgleichungen), so dass auch die Einschätzung der Studierenden zur Nutzbarkeit der Eingabemöglichkeiten sowie ihre empfundene kognitive Belastung bei der Bearbeitung der Aufgabe erhoben wurden, um Vergleiche ziehen zu können. Der vorliegende Beitrag befasst sich jedoch ausschließlich mit den Ergebnissen zum Aufgabentyp der Atom-Orbitalschemata.

Geben Sie die Orbitale und Elektronenbelegungen von Sauerstoff an:

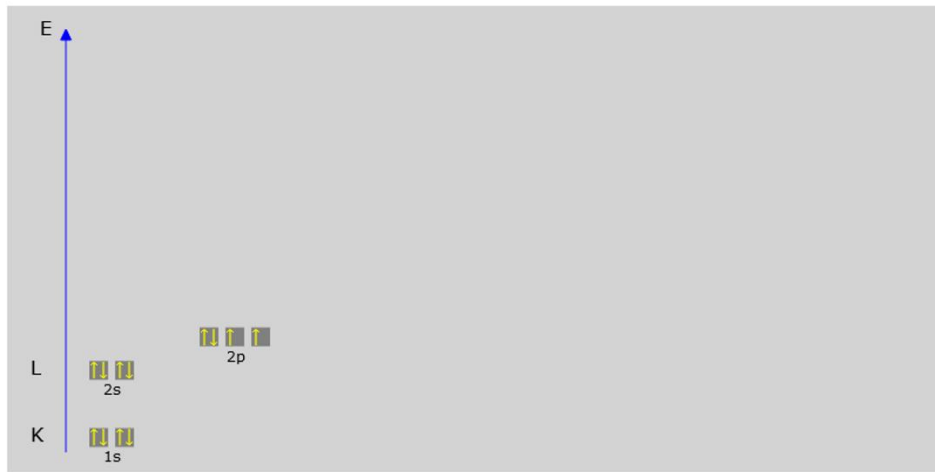
Orbital hinzufügen	Orbital entfernen	Elektronenanzahl ändern	Allgemein
Schale: <input type="text" value="L"/>	Schale: <input type="text" value="K"/>	Schale: <input type="text" value="L"/>	<input type="button" value="Reset"/>
Orbitalbezeichnung: <input type="text" value="p"/>	Orbitalbezeichnung: <input type="text" value="s"/>	Orbital(e): <input type="text" value="p"/>	
Orbitalanzahl: <input type="text" value="3"/>		Orbitalnummer: <input type="text" value="1"/>	
<input type="button" value="+"/>	<input type="button" value="-"/>	<input type="button" value="↑"/> <input type="button" value="↓"/> <input type="button" value="entf"/>	

Abb. 3: Benutzeroberfläche der finalen Implementierung des Atom-Orbitalschema-Editors mit unvollständig eingetragem Sauerstoff-Atom.

Zum Zweck der Studie wurden die Studierenden zufällig in zwei Gruppen eingeteilt. Die erste Gruppe, aus der 25 Studierende insgesamt 85 Bearbeitungen der sechs angebotenen Aufgaben erzeugten, erhielt dabei detailliertes, automatisches Feedback. Die zweite Gruppe, aus der 14 Studierende insgesamt 36 Bearbeitungen erzeugten, wurde nur über die Korrektheit der Antwort informiert. In beiden Gruppen erhielten die Studierenden in jeder Aufgabe dieselben Hinweise zur Bedienung des Atom-Orbitalschema-Editors. Ferner wurde allen Studierenden nach drei Fehlversuchen in einer Aufgabe eine Musterlösung angezeigt.

Ein Beispiel für einen falschen Lösungsversuch und das dazu automatisch erzeugte Feedback ist in Abbildung 4 zu sehen. Die Lösung weist zwei, voneinander unabhängige Fehler auf: Zum einen sind jeweils zwei statt einem 1s- bzw. 2s-Orbital eingezeichnet. Zum anderen sind insgesamt 12 statt 8 Elektronen eingetragen worden. Zu beiden Fehlern wurde ein entsprechendes Feedback erzeugt.

Alle Studierenden wurden per Fragebogen hinsichtlich der Aspekte Usability, empfundene Aufgabenschwierigkeit und Denkanstrengung zum Lösen der Aufgabe befragt. Die Studierenden, die detailliertes Feedback erhalten hatten, wurden zudem zur Nützlichkeit des Feedbacks befragt. Insgesamt nahmen 31 Studierende an der freiwilligen Befragung teil, davon 19 aus der Gruppe mit detailliertem Feedback. Die Ergebnisse der Befragung sind in Tabelle 1 und 2 aufgeführt.

**Feedback:****Die Antwort ist leider falsch.**

Im Diagramm sind mehr Elektronen dargestellt, als dem Sauerstoffatom zur Verfügung stehen. Um die korrekte Anzahl an Elektronen zu ermitteln betrachten Sie die Ordnungszahl des Elements und leiten Sie daraus die Anzahl an Elektronen ab.

Im Diagramm sind Orbitale dargestellt, die in der von Ihnen gewählten Schale nicht existieren. Um die korrekte Anzahl an Elektronen zu ermitteln betrachten Sie die Ordnungszahl des Elements und leiten Sie daraus die Anzahl an Elektronen ab. Füllen Sie dann mithilfe der Visualisierung der Hund'schen Regel und unter Berücksichtigung des Pauli-Prinzips die Orbitale mit Elektronen.

Abb. 4: Beispiel einer falschen Lösung und des dazu automatisch erzeugten Feedbacks.

Alle Studierenden schätzte die Aufgabe als „sehr leicht“ oder zumindest „leicht“ ein. Passend dazu empfanden 28 Studierende (90%) die Denkanstrengung als „gering“ oder sogar „sehr gering“. Daraus kann geschlossen werden, dass der Aufgabentyp als solcher weder grundsätzlich noch in der spezifischen, technischen Aufbereitung eine nennenswerte Herausforderung für die Studierenden darstellt. Dabei zeigten sich keine Unterschiede zwischen der Gruppe mit und ohne detailliertem Feedback.

Der Umgang mit der Bedienoberfläche der Aufgabe wurde von 20 Studierenden (65%) positiv als „eher intuitiv“ bis „sehr intuitiv“ bewertet. Von den Studierenden, die automatisiertes fehlerspezifisches Feedback bei der Aufgabe erhalten hat, empfanden 13 Studierende (68 %) das Feedback als „eher hilfreich“ bis „sehr hilfreich“. Damit kann für die technischen Aspekte eine zumindest ausreichend gute Lösung angenommen werden, die allerdings gleichwohl noch Potenzial für Verbesserungen offenbart. Zur Ableitung konkreter Verbesserungen sind die Ergebnisse jedoch nicht detailliert genug. Dazu sollte stattdessen eine dedizierte Usability-Studie durchgeführt werden, in der die Schwierigkeiten bei der Interaktion mit dem Editor genauer erhoben werden.

	sehr leicht	leicht	schwierig	sehr schwierig
Wie schwierig waren die Aufgaben, die Sie gerade bearbeitet haben, zu lösen?	16	15	0	0
	sehr gering	gering	hoch	sehr hoch
Bei der Bearbeitung der Aufgaben war meine geistige Denkanstrengung insgesamt ...	12	16	3	0
	sehr intuitiv	eher intuitiv	eher nicht intuitiv	gar nicht intuitiv
Wie intuitiv haben Sie die Eingabe bei den Aufgaben gefunden?	5	15	6	5

Tab. 1: Ergebnisse der Befragung aller Studierenden

	sehr hilfreich	eher hilfreich	eher nicht hilfreich	gar nicht hilfreich
Wie hilfreich war das Feedback bei der Lösung der Aufgaben?	5	8	4	2

Tab. 2: Ergebnisse der Befragung der Studierenden, die detailliertes Feedback erhalten haben.

5 Fazit und Ausblick

In diesem Beitrag konnte gezeigt werden, dass mit verhältnismäßig geringem Aufwand eine technische Lösung für die fachspezifische Eingabe und automatische Feedback-erzeugung entwickelt werden konnte, die die didaktischen Anforderungen berücksichtigt und die von den Lernenden zumindest als ausreichend bewertet wird. Damit konnte ein Aufgabentyp zu Atom-Orbitalschemata in einem E-Assessment-System umgesetzt werden, ohne dazu eine vereinfachte Interaktionsform (z. B. Multiple-Choice) verwenden oder auf die automatische Feedback-erzeugung verzichten zu müssen.

Nachdem sich die Kernfunktionalität des Editors und der Feedback-erzeugung als vollständig herausgestellt hat, können in Zukunft nun auch die als weniger dringend eingestuften Anforderungen angegangen werden. Dies betrifft insbesondere die Usability, bei der die Auswahl von Orbitalen oder das Setzen von Elektronen per Mausklick in der Diagrammfläche ermöglicht werden könnte. Ferner könnten die beiden bisherigen Eingabefelder durch sogenannte „Spinner“ ersetzt werden, wodurch die Notwendigkeit einer Tastatureingabe gänzlich entfallen würde. Ferner kann die Eingabe im Editor durch eine Ausgabe in Form einer 3D-Simulation ergänzt werden, die eine räumliche Visualisierung der eingetragenen Orbitale anbietet und dadurch eine optische Verifikation der Lösung ermöglicht. Vergleichbare Darstellungen sind den Studierenden aus anderen Aufgabentypen bereits bekannt. Ähnlich wie bei der Zuweisung eines

plausiblen Energieniveaus zu fälschlicherweise eingetragenen Orbitalen muss dabei auch für die 3D-Darstellung eine optische Lösung für diese Orbitale gefunden werden, sofern die Darstellung nicht nur für korrekte Lösungen erzeugt werden soll.

Aus didaktischer Sicht ist eine Erweiterung des Editors zur Abdeckung weiterer Aufgabentypen möglich. Insbesondere können Orbitalschemata nicht nur für einzelne Atome, sondern auch für Moleküle angegeben werden. Der Editor und die dahinterstehende Datenstruktur müssen dazu so erweitert werden, dass mehrere Atome gleichzeitig abgebildet und bearbeitet werden können, was weitere Anforderungen hinsichtlich der Usability, des automatischen Layouts und der automatischen Feedbackerzeugung impliziert.

Danksagung: Die Autoren danken Cedric Krause für die Entwicklung eines ersten Prototyps für den Editor im Rahmen seiner Bachelorarbeit.

Literaturverzeichnis

- [As05] Ashton, H. S. et al.: Investigating the medium effect in computer-aided assessment of school Chemistry and college Computing national examinations. *British Journal of Educational Technology*, 36: S. 771-787, 2005. doi:10.1111/j.1467-8535.2005.00501.x
- [Jo15] Jobst, C.: Potenziale neuer Fragetypen für die Naturwissenschaften. In: *Grundfragen Multimedialen Lehrens und Lernens (GML² 2015)*. S. 145–152, 2015.
- [MM14] Mortimer, C. E.; Müller, U.: *Chemie: Das Basiswissen der Chemie*. 11., vollst. überarb. Aufl., Thieme, Stuttgart, 2014.
- [PBR07] Perry, S.; Bulatov, I.; Roberts, E.: The Use of E-assessment in Chemical Engineering Education. *Chemical Engineering Transactions*, 12, S. 555-560, 2007.
- [PS19] Pobel, S.; Striewe, M.: Domain-Specific Extensions for an E-Assessment System. In (Herzog, Michael A.; Kubincová, Zuzana; Han, Peng; Temperini, Marco, Hrsg.): *Advances in Web-Based Learning – ICWL 2019*. Springer International Publishing, Cham, S. 327–331, 2019.