

Leitfaden zur Erstellung mathematisch geprägter E-Prüfungsaufgaben in ONYX am Beispiel der Technischen Thermodynamik

Entstehungskontext

Der vorliegende Leitfaden entstand im Rahmen des SMWK-geförderten Projektes thermoE (Laufzeit: 01.07.2013 bis 31.12.2014), ein Kooperationsprojekt der TU Dresden und der HS Zittau/Görlitz mit Unterstützung des Medienzentrums der TU Dresden und der BPS GmbH zur Entwicklung eines kompetenzorientierten E-Assessments für das Fach Technische Thermodynamik.

Die Lernziele der Lehrveranstaltungen im Fach Technische Thermodynamik an der TU Dresden und der HS Zittau/Görlitz sind auf den Umgang mit bzw. die Lösung von technischen Aufgabenstellungen ausgerichtet. Die Studierenden sollen zur Beantwortung fachtypischer Wissensfragen und zur Berechnung thermodynamisch-mathematischer Aufgaben befähigt werden. Im Fokus der Lehrveranstaltung stehen in erster Linie der Auf- bzw. Ausbau von anwendungsbezogenen Fähigkeiten bzgl. verschiedener thermodynamischer Zusammenhänge sowie der Umgang mit Formeln und Stoffwerttabellen zur Ermittlung von spezifischen Kennwerten. Unter Berücksichtigung der Lernziele wurden Testfragen entwickelt, die geeignet sind, die im Rahmen der Lehrveranstaltung gewonnenen Kenntnisse, Fähigkeiten und Kompetenzen zu überprüfen.

Für die Erstellung von E-Prüfungsaufgaben stehen dem ONYX-User aktuell folgende Aufgabentypen zur Verfügung:

- Auswahlaufgaben (Single Choice oder Multiple Choice),
- Hotspot-Aufgaben (Markieren grafischer Bereiche),
- Fehlertextaufgaben (Einfach- und Mehrfachauswahl),
- Reihenfolgeaufgaben (Sortieraufgaben mittels Drag and Drop),
- Zuordnungsaufgaben (einfache Zuordnungs- oder Matrixaufgaben),
- Lückentextaufgaben (Texteingabe),
- numerische Aufgaben (numerische Eingabe),
- Text-Teilmenge-Aufgaben (gemeinsames Antwortset),
- Freitextaufgaben (nicht automatisiert auswertbar),
- Upload-Aufgaben (Hochladen einer Antwortdatei),
- Berechnungsaufgaben (numerische Eingabe mit Parametern).

Die Herausforderung besteht darin, die komplexen thermodynamischen Aufgabenstellungen unter Verwendung der verfügbaren Aufgabentypen in die ONYX-Testsuite zu überführen, sodass eine automatisierte Auswertung der von den Studierenden erarbeiteten Lösungen möglich ist. Mathematische Aufgabenstellungen, deren Lösung ein schrittweises Vorgehen und die Bearbeitung mehrerer, miteinander verknüpfter Teilaufgaben erfordert, bringen hierbei besondere Anforderungen mit sich. Zwar gibt es derzeit Aufgabentypen zur Unterstützung von numerischen und symbolischen Berechnungen, jedoch erlauben diese lediglich eine Endergebnisbetrachtung, der Rechenweg wird oftmals nicht evaluiert.

Verfahren zur Erstellung mathematisch geprägter E-Prüfungsaufgaben in ONYX

Zur Überprüfung des Rechenweges und zum Nachweis der zur Lösung der Teilaufgaben nötigen Fähigkeiten wurde ein Verfahren entwickelt, welches es ermöglicht, gezielt Zwischenergebnisse und die zur Lösung der Aufgabe nötigen Teilschritte abzufragen. Die Aufgabe wird zu diesem Zweck durch mehrere Unterfragen, welche im Ergebnis die zur Lösung nötigen Teilaufgaben der Ausgangsaufgabe widerspiegeln, ergänzt. Hierbei sind die einzelnen Unterfragen so auszurichten, dass sie zum einen zum Nachweis der zu prüfenden Kompetenzen führen und dass sie zum anderen den Charakter der Komplexaufgabe nicht maßgeblich verändern. Es gilt beispielsweise Hilfestellungen zu vermeiden, die durch zusätzliche Fragestellungen herbeigeführt werden können.

Das entwickelte Prüfungsverfahren gliedert sich zu diesem Zweck in zwei Teilschritte:

1. Im ersten Schritt erhält der Studierende wie gewohnt die Prüfungsaufgabe und löst die verschiedenen Unteraufgaben papierbasiert. Die zur Bearbeitung der Aufgabe nötigen Teilaufgaben, welche unter anderem Kenntnisse über Relationen zwischen den Größen, Fähigkeiten zum Umgang mit mathematischen Gleichungen und spezifisches Fachwissen erfordern, erfolgt selbstorganisiert. Schritt 1 entspricht somit zu 100 % dem „ursprünglichen“ Vorgehen zur Aufgabenbearbeitung.
2. Schritt 2 der Prüfung dient dazu, die erarbeiteten Ergebnisse in die Prüfungssoftware zu überführen. Der Studierende beantwortet zu diesem Zweck im Anschluss an Schritt 1 spezielle, die Prüfungsaufgabe betreffende Fragen (Unteraufgaben) in ONYX. Diese E-Prüfungsfragen ergeben sich aus dem Lösungsprozess der Ausgangsaufgabe und spiegeln die einzelnen vom Studierenden abzuarbeitenden Teilaufgaben wider.

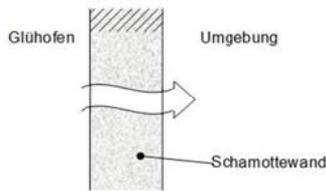
Auf diese Weise können Zwischenergebnisse unter Verwendung verschiedener Aufgabentypen elektronisch erfasst werden, ohne dass der eigentliche Lösungsprozess durch Hilfestellungen grundlegend verändert wird. Das Verfahren erlaubt somit die automatisierte Auswertung mathematisch geprägter Prüfungsfragen unter Berücksichtigung von Teillösungen und des Lösungsweges. Zusätzlich besteht im Rahmen dieses „Doppelverfahrens“ die Möglichkeit, die in Schritt 1 erstellten und in Papierform eingereichten Ergebnisse manuell zu begutachten. So kann, beispielsweise wenn Widersprüche auftreten (z. B. richtiges Endergebnisse trotz falscher Teilergebnisse), eine Nachkontrolle vorgenommen werden, welche Aufschluss über die Gründe bestehender Probleme geben kann.

Beispielaufgabe aus dem Fachbereich Technische Thermodynamik

Ein Beispiel für die Umsetzung des beschriebenen Verfahrens zur Erstellung von E-Prüfungsaufgaben ist in der nachfolgenden Abbildung dargestellt. Es handelt sich um eine mathematisch geprägte Testaufgabe (Komplexaufgabe) aus der Technischen Thermodynamik, Teil II.

Aufgabenstellung:

Gegeben sei eine ebene Schamottewand eines Glühofens. Die Innentemperatur der Ofenwand beträgt 900 °C, die Außenwandtemperatur des Ofens soll 50 °C nicht übersteigen. Der Wärmeverlust darf den Wert 20 kW nicht überschreiten. Die Fläche der Schamottewand beträgt 10 m².



Bearbeiten Sie zunächst die folgenden Aufgaben

- Zeichnen Sie qualitativ den Temperaturverlauf durch die Schamottewand.
- Berechnen Sie die Dicke der Schamottewand.

Nach der Bearbeitung der Aufgaben beantworten Sie folgende Fragen:

Schritt 1 Papierbasierte Lösung der Aufgaben bzw. mit Mathcad	Schritt 2 Abfrage des Rechenweges und der Ergebnisse in ONYX
<p> gegeben: $T_{in} = 900^\circ\text{C}$ $T_{out} = 50^\circ\text{C}$ $A = 10\text{ m}^2$ $\dot{Q} = 20\text{ kW}$ </p> <p> gesucht: δ </p> <p> Lösung a) </p>	<p>Frage 1 Welche der folgenden Antworten beschreibt den Temperaturverlauf in der Schamottewand? (Klicken Sie die richtige Antwort an.)</p> <p>Antwort:</p>
<p> b) $\dot{Q}_n = \frac{\Delta T_n}{R_n}$ </p> <p>Nennen der Ausgangsgleichung</p>	<p>Frage 2 Welche Gleichung ist die Basis für die Berechnung des Wärmestroms? (Geben Sie die Nr. der Gleichung in der Formelsammlung an.)</p> <p>Antwort: Formelnummer [...]</p>
<p> $\dot{Q}_n = \frac{\delta}{\lambda \cdot A_m}$ </p> <p>Auswahl der richtigen Formel</p> <p> $A_m = A = 10\text{ m}^2$ </p>	<p>Frage 3 In welcher Formel ist die Wanddicke enthalten? (Klicken Sie die richtige Antwort an.)</p> <p>Antwort:</p> $R_{\lambda_j} = \frac{\delta_j}{\lambda_j \cdot A_{m_j}} \quad R_{\alpha_i} = \frac{1}{\alpha_i \cdot A_i} \quad R_{\alpha_a} = \frac{1}{\alpha_a \cdot A_a}$
<p> $\lambda = 0,71 \frac{\text{W}}{\text{m} \cdot \text{K}}$ </p> <p>Angeben von Stoffwerten</p>	<p>Frage 4 Geben Sie den Wärmeleitkoeffizient (Zahlenwert) der Wand in der geforderten Maßeinheit an.</p> <p>Antwort: Der Wärmeleitkoeffizient beträgt ... W m⁻¹ K⁻¹</p>
<p> $\Delta T = T_{in} - T_{out}$ $= 900^\circ\text{C} - 50^\circ\text{C}$ $= 850\text{ K}$ </p> <p>Angeben von Zwischenergebnissen</p>	<p>Frage 5 Geben Sie die Temperaturdifferenz (Zahlenwert) zwischen Wandinnenseite und Wandaußenseite an.</p> <p>Antwort: Die Temperaturdifferenz in der Wand beträgt ... K</p>
<p> Umstellen der Formel $\delta = \frac{\lambda \cdot A_m \cdot \Delta T_n}{\dot{Q}_n}$ </p> <p> $\delta = \frac{0,71 \frac{\text{W}}{\text{m} \cdot \text{K}} \cdot 10\text{ m}^2 \cdot 850\text{ K}}{20\text{ kW}}$ </p> <p> $\delta = 0,3\text{ m} \approx 30\text{ cm}$ </p> <p>Angeben des Endergebnisses</p>	<p>Frage 6 Geben Sie die Dicke (Zahlenwert) der Schamottewand in der angegebenen Maßeinheit an.</p> <p>Antwort: Die Dicke der Ofenwand sollte mindestens ... cm betragen</p>

Im Kopf der Tabelle befindet sich die Aufgabenstellung. Hier werden die Rahmenbedingungen beschrieben, die damit verbundenen Fragestellungen dargestellt und das Vorgehen zur Bearbeitung der Aufgabe (blau) erläutert. In der linken Spalte ist die schrittweise Lösung, inklusive Rechenweg dargestellt, die der Studierende wie gewohnt zunächst papierbasiert oder softwaregestützt, z. B. mittels Mathcad erarbeitet. Die rechte Spalte zeigt die in ONYX zu lösenden Teilaufgaben (Frage 1-6). Die parallele Darstellung der zur Lösung nötigen Teilaufgaben (links) und die daraus abgeleiteten Teilaufgaben (rechts) verdeutlicht das Vorgehen bei der Erstellung kompetenzorientierter E-Prüfungsfragen zur Bewertung des Rechenweges mathematisch geprägter E-Prüfungsaufgaben.

Die hier dargestellte Beispielaufgabe (Themengebiet: Wärmelehre) ist auf den Nachweis folgender Lernziele ausgerichtet:

- Kenntnis von Temperaturverläufen in Abhängigkeit der Wandgeometrie
- Kenntnis über die Triebkraft und die Richtung des Wärmetransports,
- Berechnung von Wärmeströmen durch Wärmeleitung,
- Ermittlung der mittleren Fläche (entsprechend versch. Geometrien),
- Ermittlung der Wärmeleitkoeffizienten der Wand,
- Berechnung der Dicke einer Isolierschicht,
- Kenntnis über Relationen zwischen Größen der Wärmeleitung.

Die Beispielaufgabe umfasst neben der Beschreibung eines spezifischen Systems mit verschiedenen Kennwerten und Rahmenbedingungen mehrere vom Studierenden zu bearbeitende Aufgabenstellungen. Zum Nachweis der oben genannten Kompetenzen sind im dargestellten Beispiel folgende Unteraufgaben zu lösen:

- a) Zeichnen Sie qualitativ den Temperaturverlauf durch die Schamottewand.*
- b) Berechnen Sie die Dicke der Schamottewand.*

Aufgabe a) dient der Überprüfung von Kenntnissen bzgl. des Temperaturverlaufs in Bezug auf die spezifische Geometrie einer Wand. Der Studierende zeichnet im Rahmen von Schritt 1 das System sowie den Temperaturverlauf entsprechend dem allgemein gültigen Darstellungsschema und trägt die zur Beschreibung des Systems nötigen Kennwerte ein. In Schritt 2 (Frage 1) überträgt der Studierende die in Schritt 1 erarbeitete Lösung durch Auswahl der richtigen Antwort aus verschiedenen Antwortmöglichkeiten (Aufgabentyp: Multiple Choice) in das elektronische Prüfsystem. Die Antwortvorgaben sind auf den Nachweis der gewünschten Fähigkeiten ausgerichtet.

Aufgabe b) beinhaltet eine komplexe Berechnung, bestehend aus mehreren Teilaufgaben und -berechnungen zur Ermittlung der gesuchten Größe (Wanddicke). Zur Lösung der Aufgabe muss der Studierende in der Lage sein, die gegebenen Kenngrößen richtig zu interpretieren, die zur Berechnung der Zielgröße nötigen Gleichungen sowie die dazu benötigten Kennwerte/ Stoffwerte mittels Formelsammlung und Stoffwertsammlung zu ermitteln und die verwendeten bzw. errechneten Kennwerte in die entsprechende Maßeinheit umzurechnen.

Die Lösung der Aufgabe erfolgt in 6 Teilaufgaben:

1. In der ersten Teilaufgabe werden die gegebenen Kenngrößen interpretiert und die zur Berechnung der Zielgröße erforderlichen Gleichungen bestimmt. Das E-Prüfungsverfahren

enthält zur Überprüfung der hierfür benötigten Kompetenzen zwei Unteraufgaben (Frage 2 und 3).

2. Frage 2 beschäftigt sich mit der Gleichung zur Berechnung des Wärmestroms, welcher eine maßgebliche Kenngröße für die hier beschriebene Problematik ist und damit in direktem Zusammenhang mit der Berechnung der Zielgröße und dem Wärmeleitwiderstand (dessen Gleichung in Frage 3 anzugeben ist) steht. Im Rahmen der elektronischen Abfrage (Schritt 2) gibt der Studierende in Frage 2 die Nummer an (Aufgabentyp: numerische Aufgaben), die die gesuchte Gleichung in der Formelsammlung hat (alle Formeln sind durchnummeriert).
3. In Frage 3 wählt sie/er die richtige bzw. die von ihr/ihm in Schritt 1 zur Berechnung verwendete Gleichung aus verschiedenen Antwortmöglichkeiten (Aufgabentyp: Multiple Choice) aus. In der nächsten Teilaufgabe erfolgt die Ermittlung der zur Berechnung nötigen Kennwerte (Variablen). Im hiesigen Beispiel muss zur Berechnung des Wärmeleitwiderstandes der Wärmeleitkoeffizient unter Verwendung der Stoffwertsammlung ermittelt werden.
4. Zur Überprüfung dieser Teilaufgabe sieht Frage 4 (Schritt 2) die elektronische Abfrage (Aufgabentyp: numerische Aufgaben) der gesuchten Größe in einer bestimmten Maßeinheit vor. Teilaufgabe 4 dient der Berechnung der Temperaturdifferenz, welche ebenfalls zur Ermittlung der Zielgröße benötigt wird. Der Studierende sucht die dafür nötige Gleichung in der Formelsammlung und berechnet unter Verwendung der in der Aufgabenstellung enthaltenen Größen die Temperaturdifferenz.
5. Zur Überprüfung dieser Teilaufgabe sieht Frage 5 (Schritt 2) die elektronische Abfrage (Aufgabentyp: numerische Aufgaben) der gesuchten Größe in einer bestimmten Maßeinheit vor. Schlussendlich erfolgt die Umformung der gegebenen Grundgleichung(en) zur Berechnung der Zielgröße sowie die Ermittlung der mittleren Fläche (entsprechend der hier zugrunde gelegten Geometrie). Es werden die zur Berechnung benötigten Kenngrößen in die umgestellte Gleichung eingesetzt und die Zielgröße berechnet. Auch hier erfolgt die Überprüfung dieser Teilaufgabe (Schritt 2) durch eine elektronische Abfrage (Aufgabentyp: numerische Aufgaben) der gesuchten Größe in einer bestimmten Maßeinheit.
6. Frage 6 ist so ausgerichtet, dass der Fokus nicht allein auf thermodynamisch-mathematischen Kompetenzen liegt (Formel umstellen/ Variablen einsetzen/ Zielgröße ausrechnen), sondern auch die Ermittlung der mittleren Fläche (rein mathematische Kompetenz) inkludiert. Auf die Abfrage weiterer Zwischenergebnisse wird daher an dieser Stelle verzichtet. Es wird vorausgesetzt, dass der Studierende bei richtigem Endergebnis die Kompetenzen mitbringt, welche zur Erarbeitung der Teilaufgaben nötig sind.

Die zwei ursprünglichen Unteraufgaben der hier exemplarisch dargestellten Komplexaufgabe werden in die folgenden sechs automatisch auswertbaren Teilaufgaben zerlegt und in der ONYX-Testsuite realisiert:

- a) Auswählen des richtigen Temperaturverlaufs (Grafik) durch die Schamottewand
- b) Nennen der Ausgangsgleichung (Nummer in Formelsammlung)
- c) Auswählen der richtigen Formel zur Berechnung der Wanddicke
- d) Angeben des Wärmeleitkoeffizienten (Ablese aus Tab. in Stoffwertsammlung)
- e) Berechnen der Temperaturdifferenz in der Wand (Angabe Zahlenwert)
- f) Berechnen der Dicke der Wand (Angabe Zahlenwert in vorgegebener Maßeinheit)

Das vorgestellte Verfahren bietet durch die gegliederte Abfrage von Zwischenlösungen die Möglichkeit, spezielle Kompetenzen spezifisch abzufragen. Dabei können je nach Fokus verschiedene Aufgabentypen genutzt und folglich die Abfrage didaktisch unterstützt werden. Die einer Aufgabe zugehörigen E-Prüfungsfragen sollten jeweils ein Lernziel abbilden. Weitere E-Prüfungsfragen lassen sich jederzeit problemlos in der ONYX-Testsuite ergänzen. Zudem kann über die Variation der elektronischen Fragen ein zusätzlicher didaktischer Mehrwert erzeugt werden. So kann das Verfahren zum einen zur Erstellung lernbegleitender Aufgaben im Sinne eines Self-Assessments angewendet werden, bei dem die Studierenden anhand des durch die Fragenstruktur vorgegebenen Lösungsweges bei der Lösungsfindung und damit beim Lernprozess unterstützt werden. Zum anderen können durch spezielle Fragetechniken und eine Umkehr der Fragenabfolge (rückwärts) gezielt (End-)Ergebnisse abgefragt werden, ohne den Studierenden durch zusätzliche Hilfestellungen in der Lösungsfindung nachhaltig zu unterstützen und so den Schwierigkeitsgrad der Aufgabe zu verändern.