

Freie und Hansestadt Hamburg  
Behörde für Bildung und Sport

## **Schriftliche Abiturprüfung**

# **Mathematik**

Hinweise und Beispiele zu den  
zentralen schriftlichen Prüfungsaufgaben

### **Teil 1: Analysis**

## Impressum

**Herausgeber:**

Freie und Hansestadt Hamburg  
Behörde für Bildung und Sport  
Amt für Bildung  
Hamburger Straße 31, 22083 Hamburg

**Referat:** Mathematisch-naturwissenschaftlich-technischer Unterricht  
**Referatsleitung:** Werner Renz, B 22-2

**Redaktion:** Waltraut Barthel, Gymnasium Tonndorf  
Manfred Dabelstein, Wirtschaftsgymnasium Harburg (H 10)  
Winfried Euba, BBS und Sankt-Ansgar-Schule  
Dr. Janina Fehrmann, Hansa-Gymnasium Bergedorf  
Stefan Gottuk, Gymnasium Hamm  
Jochen W. Griese, Wirtschaftsgymnasium Harburg (H 10)  
Ulrike Gutschner, Gelehrtenenschule des Johanneums  
Dr. Klaus Henning, Christianeum  
Thea Hufschmidt, Sophie-Barat-Schule  
Reinhard Janz, Technisches Gymnasium (G 16)  
Gerd Johäning, Wirtschaftsgymnasium (H 2)  
Dr. Ulrich Kotzott, Gymnasium Willhöden  
Dr. Wolfgang Löding, LIQ  
Antje Loose, Charlotte-Paulsen-Gymnasium  
Ursula Mersiowsky, Gymnasium Oberalster  
Gerd Muhra, Gesamtschule Mümmelmannsberg  
Kerstin Ottenberg, Gymnasium Kirchdorf/Wilhelmsburg  
Renate Otter, Peter-Petersen-Schule  
Annelies Paulitsch, Li-A und Gymnasium Osdorf  
Helmut Springstein, Li-F und Gymnasium Othmarschen  
Monika Thomas-Tschirschnitz, Hansa-Kolleg  
Dieter Stahl, Alexander-von-Humboldt-Gymnasium  
Karl-Heinz Wischnewski, Technisches Gymnasium (G 17)

Alle Rechte vorbehalten.

**Internet:** [www.daten-fakten.bbs.hamburg.de](http://www.daten-fakten.bbs.hamburg.de)

**Hamburg 2005**

## **Inhaltsverzeichnis**

<b>Vorwort.....</b>	<b>4</b>
<b>1   Regelungen für die schriftliche Abiturprüfung.....</b>	<b>5</b>
<b>2   Anforderungsbereiche .....</b>	<b>5</b>
<b>3   Liste der Operatoren .....</b>	<b>7</b>
<b>4   Aufgabenbeispiele.....</b>	<b>10</b>
<b>4.1   Grundkurs, Themenbereiche G1 und G4 .....</b>	<b>11</b>
<b>4.2   Leistungskurs, Themenbereiche L1 und L4 .....</b>	<b>69</b>

## **Vorwort**

Sehr geehrte Kolleginnen und Kollegen,

mit der zum August 2003 in Kraft tretenden *Ausbildungs- und Prüfungsordnung zum Erwerb der Allgemeinen Hochschulreife* (APOAH) wurden zentrale Elemente in der schriftlichen Abiturprüfung eingeführt.

Die Abituraufgaben beziehen sich im Fach Mathematik auf Schwerpunkte, die den Schulen jeweils am Ende der Vorstufe für das Abitur dieses Jahrgangs von der Behörde für Bildung und Sport in einer eigenen Verwaltungsvorschrift zur Kenntnis gegeben werden.

In der Ihnen hier vorgelegten ergänzenden Handreichung, die die entsprechende Verwaltungsvorschrift ausführt, werden Ihnen Beispiele gezeigt, wie die Aufgaben für die schriftlichen Abiturprüfungen ab dem Jahre 2007 sowie der nachfolgenden Jahre formuliert werden.

Die Aufgabenbeispiele entsprechen in den meisten Fällen der Ihnen bekannten Hamburger *Richtlinie für die Aufgabenstellung und Bewertung der Leistungen in der Abiturprüfung*. Die Arbeitsgruppe, die die Handreichung erstellte, hatte den Auftrag, Aufgabenbeispiele auf der Grundlage des neuen Rahmenplans Mathematik für die gymnasiale Oberstufe 2004 zu formulieren.

Die Aufgaben enthalten verbindlich definierte Arbeitsaufträge („Operatoren“); in den Erwartungshorizonten werden die Kriterien und die Anforderungen u. a. für eine „gute“ und für eine „ausreichende“ Leistung beschrieben. Beides dient dem Ziel, mehr Verbindlichkeit und Vergleichbarkeit zu schaffen.

Hinzu kommt, dass die *Einheitlichen Prüfungsanforderungen in der Abiturprüfung* (EPA) für alle Prüfungsfächer derzeit überarbeitet werden. Für Mathematik liegen sie bereits vor. Wenn alle neuen EPA als KMK-Beschlüsse vorliegen, wird die oben genannte Hamburger Richtlinie überarbeitet und den jeweiligen EPA angepasst werden. Erst dann wird es für die Aufgabenarten und die Anforderungen vermutlich Veränderungen geben.

In der Hoffnung, dass die vorliegende Handreichung hilfreich für Sie und Ihre Unterrichtsarbeit ist, wünsche ich Ihnen und Ihren Schülerinnen und Schülern eine erfolgreiche Vorbereitung auf das Abitur.

Den Mitgliedern der Arbeitsgruppe, die diese Handreichung erstellte, möchte ich sehr herzlich für die geleistete intensive und zeitaufwendige Arbeit danken.

*Werner Renz*

## 1 Regelungen für die schriftliche Abiturprüfung

Die Fachlehrerin, der Fachlehrer

- erhält **sechs** Aufgaben – **I.1, I.2** (Themenbereiche G/L 1 und G/L 4) und **II.1, II.2** (Schwerpunkt Analytische Geometrie) und **III.1, III.2** (Schwerpunkt Stochastik),
- wählt aus genau zwei Bereichen **I und II oder I und III** genau **drei** Aufgaben aus.

Die Abiturientin, der Abiturient

- erhält **alle drei** Aufgaben und bearbeitet diese,
- vermerkt auf der Reinschrift, welche Aufgabe sie/er bearbeitet hat,
- ist verpflichtet, die Vollständigkeit der vorgelegten Aufgaben vor Bearbeitungsbeginn zu überprüfen (Anzahl der Blätter, Anlagen usw.).

**Bearbeitungszeit:** Grundkurs: **240** Minuten

Leistungskurs: **300** Minuten

Eine Vorbereitungs-, Lese- und Auswahlzeit von maximal 30 Minuten kann der Arbeitszeit vorgeschaltet werden. In dieser Zeit darf noch nicht mit der Lösung der Aufgaben begonnen werden.

**Hilfsmittel:** Taschenrechner (nicht programmierbar und nicht grafikfähig), Formelsammlung, Rechtschreiblexikon

Die in den zentralen schriftlichen Abituraufgaben verwendeten **Operatoren** (Arbeitsaufträge) werden im Anhang genannt und erläutert.

Grundlage der schriftlichen Abiturprüfung ist der geltende Rahmenplan in der Fassung von 2004. **Der inhaltliche Rahmen für die schriftliche Abiturprüfung 2007 wird durch die Hinweise und Beispiele zu den zentralen schriftlichen Prüfungsaufgaben festgelegt und konkretisiert.** Die wechselnden curricularen Vorgaben, Konkretisierungen und Schwerpunktsetzungen werden den Schulen jeweils im zweiten Semester der Vorstufe bekannt gegeben. Für die schriftliche Abiturprüfung 2007 können sie dem Heft *Schriftliche Abiturprüfung 2007 - Regelungen für die zentralen schriftlichen Prüfungsaufgaben* entnommen werden.

## 2 Anforderungsbereiche

Die Anforderungen in der Abiturprüfung unterscheiden sich nach der Art, der Komplexität und dem Grad der Selbstständigkeit der geforderten Leistung; sie verlangen unterschiedliche Arbeitsweisen. Zur Erhöhung der Transparenz und Vergleichbarkeit lassen sich drei Anforderungsbereiche beschreiben, ohne dass in der Praxis der Aufgabenstellung die drei Anforderungsbereiche immer scharf voneinander getrennt werden können. Daher ergeben sich bei der Zuordnung der Teilaufgaben zu Anforderungsbereichen Überschneidungen.

Die zentralen Aufgaben der schriftlichen Abiturprüfung ermöglichen Leistungen in den folgenden drei Anforderungsbereichen mit einem Schwerpunkt im Anforderungsbereich II:

## **Anforderungsbereich I**

Der Anforderungsbereich I umfasst die Wiedergabe von Sachverhalten und Kenntnissen im gelernten Zusammenhang sowie die Beschreibung und Anwendung geübter Arbeitstechniken und Verfahrensweisen in einem wiederholenden Zusammenhang.

Im Fach Mathematik kann zum Anforderungsbereich I gehören:

- Bereitstellen von Definitionen, Sätzen und einfachen Beweisen
- Beschreiben eines einfachen Sachverhalts, eines bekannten Verfahrens oder eines standardisierten Lösungsweges
- Anfertigen von Skizzen auf eine aus dem Unterricht bekannte Weise; Skizzieren der Graphen von Grundfunktionen
- Ausführen von geübten Algorithmen wie z.B. Ableiten und Integrieren in einfachen Fällen, Lösen von einfachen Gleichungen, Ungleichungen und Gleichungssystemen nach eingeübten Verfahren
- Verwenden des Rechners als Werkzeug z.B. zum Zeichnen eines geeigneten Ausschnitts des Graphen einer Funktion, beim Lösen von Gleichungssystemen, beim Berechnen von Ableitungen und von Integralen
- Bestimmen der Extremwerte einer Funktion in Fällen, in denen das eingeübte Verfahren unmittelbar zum Ziel führt
- Feststellen der Lagebeziehungen zwischen Punkten, Geraden oder Ebenen mit Hilfe eines durch Übung vertrauten Verfahrens
- Bestimmen von Geraden- und Ebenengleichungen bei Vorgabe einfacher und gewohnter Bedingungen
- Darstellen statistischer Daten und Ermitteln statistischer Kenngrößen in einfachen Fällen
- Bestimmen und Berechnen von Wahrscheinlichkeiten in einfachen, vom Unterricht her vertrauten Zusammenhängen

## **Anforderungsbereich II**

Der Anforderungsbereich II umfasst das selbstständige Auswählen, Anordnen, Verarbeiten und Darstellen bekannter Sachverhalte unter vorgegebenen Gesichtspunkten in einem durch Übung bekannten Zusammenhang und das selbstständige Übertragen und Anwenden des Gelernten auf vergleichbare neue Zusammenhänge und Sachverhalte.

Im Fach Mathematik kann zum Anforderungsbereich II gehören:

- Veranschaulichen und Beschreiben von Zusammenhängen bei bekannten Sachverhalten mit Hilfe von Bildern, Texten und Symbolen
- Dokumentieren eines Lösungsweges in sachgerechter mathematischer Form
- Verfassen eines mathematischen Kurzaufsatzes in bekannten Zusammenhängen
- Ausführen von Beweisen, deren Beweisstruktur aus dem Unterricht bekannt ist
- Anwenden von zentralen Begriffen in Beispielen, die in ihrer Struktur einfach sind
- Interpretieren charakteristischer Eigenschaften einer Funktion anhand ihres Graphen
- Übersetzen eines Schaubildes in einen Funktionsterm oder eines Funktionsterms in eine Skizze
- Anpassen von Funktionen an vorgegebene Bedingungen, wenn ähnliche Vorgehensweisen aus dem Unterricht bekannt sind
- Durchführen vollständiger Fallunterscheidungen in überschaubaren Situationen
- gezieltes Verwenden des Rechners bei der Lösung komplexerer Probleme
- Übersetzen einer Ausgangssituation in ein geeignetes mathematisches Modell (z.B. Koordinatensystem, Funktionsterm, Gleichungssystem, Wahrscheinlichkeitsverteilung), wenn ähnliche Modellierungen aus dem Unterricht bekannt sind

- sachgerechtes und begründetes Argumentieren bei der Darstellung eines Modellansatzes oder bei der Auswahl eines Lösungsweges
- verständiges Anwenden der Beziehung zwischen Änderungsrate und Gesamtänderung in bekannten Situationen
- analytisches Beschreiben von geometrischen Objekten, wobei die sie bestimmenden Parameter erst aus anderen Bedingungen erschlossen werden müssen
- Vergleichen und Bewerten verschiedener Lösungsansätze in einem durch Übung bekannten Zusammenhang
- Analysieren und Modellieren stochastischer Prozesse in aus dem Unterricht bekannter Weise
- Durchführen eines aus dem Unterricht bekannten Verfahrens der beurteilenden Statistik
- Beschaffen, Strukturieren, Auswählen und Auswerten von Informationen zu einer überschaubaren Problemstellung in einer im Unterricht vorbereiteten Vorgehensweise
- Präsentieren von Arbeitsergebnissen in übersichtlicher, gut strukturierter Form

### Anforderungsbereich III

Der Anforderungsbereich III umfasst das zielgerichtete Verarbeiten komplexer Sachverhalte mit dem Ziel, zu selbstständigen Lösungen, Gestaltungen oder Deutungen, Folgerungen, Begründungen und Wertungen zu gelangen. Dabei wählen die Schülerinnen und Schüler aus den gelernten Arbeitstechniken und Verfahren die zur Bewältigung der Aufgabe geeigneten selbstständig aus, wenden sie in einer neuen Problemstellung an und beurteilen das eigene Vorgehen kritisch.

Im Fach Mathematik kann zum Anforderungsbereich III gehören:

- kreatives Übersetzen einer komplexeren Ausgangssituation in ein geeignetes mathematisches Modell, ohne dass dies in vergleichbaren Zusammenhängen geübt wurde
- planvolles, begründetes Nutzen und Bewerten von Informationen bei komplexeren oder offeneren Problemstellungen
- Auffinden eines Lösungsansatzes für Probleme, bei denen Kenntnisse aus verschiedenen Teilgebieten der Mathematik verbunden werden müssen, ohne dass dies in vergleichbaren Zusammenhängen geübt wurde
- Überprüfen und Bewerten der Vorgehensweise sowie Interpretieren und Beurteilen der Ergebnisse z.B. bei einer Modellierung oder beim Umgang mit Informationen
- Anwenden zentraler Begriffe und Vorgehensweisen in komplexeren Zusammenhängen
- Verallgemeinern eines Sachverhalts, der nur von Beispielen her bekannt ist
- Ausführen eines Beweises, zu dem eigenständige Beweisgedanken erforderlich sind

## 3 Liste der Operatoren

Mehr noch als bei dezentralen Aufgaben, die immer im Kontext gemeinsamer Erfahrungen der Lehrkräfte und Schüler mit vorherigen Klausuren stehen, müssen zentrale Prüfungsaufgaben für die Abiturientinnen und Abiturienten eindeutig hinsichtlich des Arbeitsauftrages und der erwarteten Leistung formuliert sein. Die in den zentralen schriftlichen Abituraufgaben verwendeten Operatoren (Arbeitsaufträge) werden in der folgenden Tabelle definiert und inhaltlich gefüllt. Entsprechende Formulierungen in den Klausuren der Studienstufe sind ein wichtiger Teil der Vorbereitung der Schülerinnen und Schüler auf das Abitur.

Neben Definitionen und Beispielen enthält die Tabelle auch Zuordnungen zu den Anforderungsbereichen I, II und III (vgl. die *Richtlinie für die Aufgabenstellung und Bewertung der Leistungen in der Abiturprüfung*), wobei die konkrete Zuordnung auch vom Kontext der Aufgabenstellung abhängen kann und eine scharfe Trennung der Anforderungsbereiche nicht immer möglich ist.

Operatoren	Definitionen	Beispiele
<b>Angeben, nennen</b> <b>I</b>	Ohne nähere Erläuterungen und Begründungen, ohne Lösungsweg aufzählen	Geben Sie drei Punkte an, die in der Ebene liegen. Nennen Sie drei weitere Beispiele zu ...
<b>Begründen</b> <b>II–III</b>	Einen angegebenen Sachverhalt auf Gesetzmäßigkeiten bzw. kausale Zusammenhänge zurückführen. Hierbei sind Regeln und mathematische Beziehungen zu nutzen.	Begründen Sie, dass die Funktion nicht mehr als drei Wendestellen aufweisen kann. Begründen Sie die Zurückweisung der Hypothese.
<b>Berechnen</b> <b>I</b>	Ergebnisse von einem Ansatz ausgehend durch Rechenoperationen gewinnen	Berechnen Sie die Wahrscheinlichkeit des Ereignisses.
<b>Beschreiben</b> <b>I–II</b>	Sachverhalt oder Verfahren in Textform unter Verwendung der Fachsprache in vollständigen Sätzen in eigenen Worten wiedergeben (hier sind auch Einschränkungen möglich: „Beschreiben Sie in Stichworten“)	Beschreiben Sie den Bereich möglicher Ergebnisse. Beschreiben Sie, wie sie dieses Problem lösen wollen, und führen Sie danach Ihre Lösung durch.
<b>Bestimmen, ermitteln</b> <b>II–III</b>	Einen möglichen Lösungsweg darstellen und das Ergebnis formulieren (die Wahl der Mittel kann unter Umständen eingeschränkt sein)	Ermitteln Sie graphisch den Schnittpunkt. Bestimmen Sie aus diesen Werten die Koordinaten der beiden Punkte.
<b>Beurteilen</b> <b>III</b>	Zu einem Sachverhalt ein selbstständiges Urteil unter Verwendung von Fachwissen und Fachmethoden formulieren und begründen	Beurteilen Sie, welche der beiden vorgeschlagenen modellierenden Funktionen das ursprüngliche Problem besser darstellt.
<b>Beweisen, widerlegen</b> <b>III</b>	Beweisführung im mathematischen Sinne unter Verwendung von bekannten mathematischen Sätzen, logischer Schlüsse und Äquivalenzumformungen, ggf. unter Verwendung von Gegenbeispielen	Beweisen Sie, dass die Gerade auf sich selbst abgebildet wird.
<b>Entscheiden</b> <b>II</b>	Bei Alternativen sich begründet und eindeutig auf eine Möglichkeit festlegen	Entscheiden Sie, für welchen der beiden Beobachter der Aufschlagpunkt näher ist. Entscheiden Sie, welche der Ihnen bekannten Verteilungen auf die Problemstellung passt.
<b>Erstellen</b> <b>I</b>	Einen Sachverhalt in übersichtlicher, meist fachlich üblicher oder vorgegebener Form darstellen	Erstellen Sie eine Wertetabelle für die Funktion.
<b>Herleiten</b> <b>II</b>	Die Entstehung oder Ableitung eines gegebenen oder beschriebenen Sachverhalts oder einer Gleichung aus anderen oder aus allgemeineren Sachverhalten darstellen	Leiten Sie die gegebene Formel für die Stammfunktion her.
<b>Interpretieren</b> <b>II–III</b>	Die Ergebnisse einer mathematischen Überlegung rückübersetzen auf das ursprüngliche Problem	Interpretieren Sie: Was bedeutet Ihre Lösung für die ursprüngliche Frage?

Operatoren	Definitionen	Beispiele
<b>Skizzieren</b> <b>I–II</b>	Die wesentlichen Eigenschaften eines Objektes graphisch darstellen (auch Freihandskizze möglich)	Skizzieren Sie die gegenseitige Lage der drei Körper.
<b>Untersuchen</b> <b>II</b>	Sachverhalte nach bestimmten, fachlich üblichen bzw. sinnvollen Kriterien darstellen	Untersuchen Sie die Funktion ... Untersuchen Sie, ob die Verbindungskurve ohne Knick in die Geraden einmündet.
<b>Vergleichen</b> <b>II–III</b>	Nach vorgegebenen oder selbst gewählten Gesichtspunkten Gemeinsamkeiten, Ähnlichkeiten und Unterschiede ermitteln und darstellen	Vergleichen Sie die beiden Vorschläge ... nach der von den Kurven eingeschlossenen Fläche.
<b>Zeichnen, graphisch darstellen</b> <b>I–II</b>	Eine hinreichend exakte graphische Darstellung anfertigen	Zeichnen Sie den Graphen der Funktion. Stellen Sie die Punkte und Geraden im Koordinatensystem mit den gegebenen Achsen dar.
<b>Zeigen, nachweisen</b> <b>II–III</b>	Eine Aussage, einen Sachverhalt nach gültigen Schlussregeln, Berechnungen, Herleitungen oder logischen Begründungen bestätigen	Zeigen Sie, dass das betrachtete Viereck ein Drachenviereck ist.

## 4 Aufgabenbeispiele

Die folgenden Aufgaben sind Beispiele für zentrale schriftliche Abiturprüfungen im Fach Mathematik zu den oben genannten curricularen Vorgaben, Konkretisierungen und Schwerpunktsetzungen.

Außer der Aufgabenstellung enthalten die Beispiele den Erwartungshorizont, Hinweise zu den Operatoren mit Bezug zu den drei Anforderungsbereichen, Bewertungshinweise sowie – z.B. bei Aufgabenbeispielen für das Technische Gymnasium – Hinweise darüber, für welche Lerngruppen sie konzipiert wurden:

Für die Bewertung der Gesamtleistung der schriftlichen Abiturprüfung gilt die folgende Zuordnungstabelle:

Erreichte Gesamtpunktzahl	Erreichte Gesamtleitung in Prozent	Bewertung in Punkten
$\geq 285$ BWE	$\geq 95\%$	15
$\geq 270$ BWE	$\geq 90\%$	14
$\geq 255$ BWE	$\geq 85\%$	13
$\geq 240$ BWE	$\geq 80\%$	12
$\geq 225$ BWE	$\geq 75\%$	11
$\geq 210$ BWE	$\geq 70\%$	10
$\geq 195$ BWE	$\geq 65\%$	9
$\geq 180$ BWE	$\geq 60\%$	8
$\geq 165$ BWE	$\geq 55\%$	7
$\geq 150$ BWE	$\geq 50\%$	6
$\geq 135$ BWE	$\geq 45\%$	5
$\geq 120$ BWE	$\geq 40\%$	4
$\geq 99$ BWE	$\geq 33\%$	3
$\geq 84$ BWE	$\geq 26\%$	2
$\geq 57$ BWE	$\geq 19\%$	1
$< 57$ BWE	$< 19\%$	0

### Bewertungskriterien für die Noten „gut“ und „ausreichend“

**Die Note „gut“ (11 Punkte) wird erteilt**, wenn annähernd vier Fünftel (mindestens 75%) der erwarteten Gesamtleistung erbracht worden ist. Dazu muss die Prüfungsleistung in ihrer Gliederung, in der Gedankenführung, in der Anwendung fachmethodischer Verfahren sowie in der fachsprachlichen Artikulation den Anforderungen voll entsprechen. Ein mit „gut“ beurteiltes Prüfungsergebnis setzt voraus, dass neben Leistungen in den Anforderungsbereichen I und II auch Leistungen im Anforderungsbereich III erbracht wurden.

**Die Note „ausreichend“ (5 Punkte) wird erteilt**, wenn annähernd die Hälfte (mindestens 45 %) der erwarteten Gesamtleistung erbracht worden ist. Dazu muss mindestens eine Teilaufgabe, die Anforderungen im Bereich II aufweist, vollständig und weitgehend richtig bearbeitet worden sein.

## 4.1 Grundkurs

### Aufgabe 1 Farbenproduktion

Aufgabe aus der schriftlichen Abiturprüfung Hamburg 2005.

Ein kleines Unternehmen produziert Farben für die Bauindustrie. Alle in der Aufgabe genannten Daten beziehen sich auf einen Produktionszeitraum von einem Monat.

- a) Aus den Daten einer Marktanalyse ist bekannt, dass der erzielbare Preis in Abhängigkeit von der zu verkaufenden Menge  $x$  durch die folgende Funktion  $p$  beschrieben werden kann:

$$p: x \rightarrow -62 \cdot x + 4092 \quad \text{bzw.} \quad p: x \rightarrow -62 \cdot (x - 66).$$

Bestimmen Sie die Gleichung der Erlösfunktion  $E$  und zeigen Sie, dass  $E$  ein Maximum annimmt, wenn die produzierte Menge 33 Mengeneinheiten beträgt.

- b) Die Gesamtkosten für die Herstellung der Farben hängen von der zu produzierenden Menge  $x$  ab und werden beschrieben durch eine Kostenfunktion  $K$ .  $K$  lässt sich mit hinreichender Genauigkeit angeben durch:

$$K: x \rightarrow 2x^3 - 147x^2 + 3792x + 3375$$

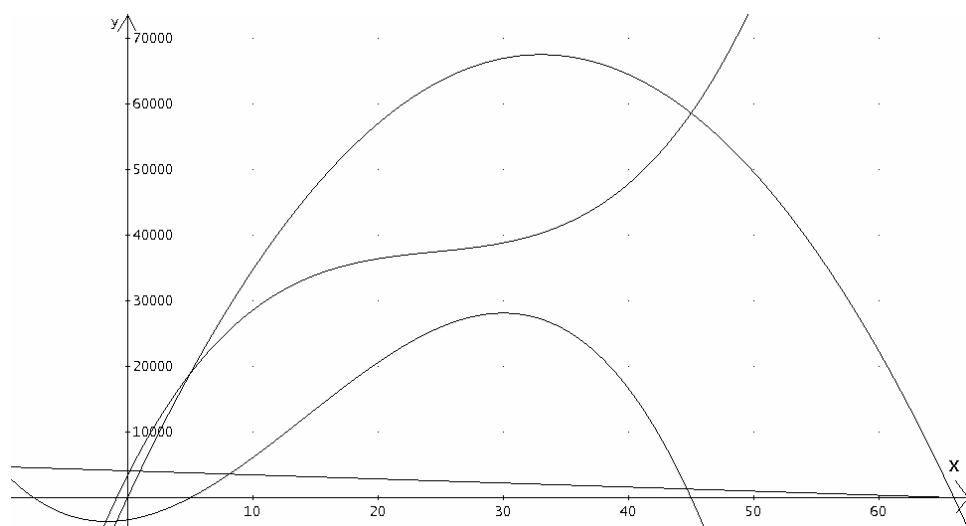
Zeigen Sie, dass  $K$  keine Extremstellen besitzt.

Erläutern Sie die Bedeutung dieser Aussage für den Verlauf des Graphen von  $K$ .

Interpretieren Sie dies im Sachkontext.

Der Gewinn  $G$  in Abhängigkeit von der abgesetzten Menge  $x$  ist die Differenz aus dem Erlös  $E$  und den entstandenen Gesamtkosten  $K$ . Die möglichen Produktionsmengen, bei denen das Unternehmen keinen Verlust macht, für die der Gewinn also nicht negativ ist, bilden die so genannte **Gewinnzone**.

- c) Die nachfolgende Darstellung zeigt die vier Graphen der Funktionen  $p$ ,  $E$ ,  $K$  und  $G$ . Schreiben Sie die zugehörigen Funktionsnamen an die einzelnen Graphen.



- d) Aufgrund verschiedener Produktionsmengen aus der Vergangenheit ist der Unternehmensleitung bekannt, dass mit Gewinn produziert wird, wenn die hergestellten Mengen zwischen 5 und 45 Mengeneinheiten liegen. Ferner ist bekannt, dass der Gewinn bei einer Produktion von 30 Mengeneinheiten maximal ist.

Aus der Abbildung kann man erkennen, dass diese Aussagen grob zutreffen.

Zeigen Sie, dass für die Gleichung der Gewinnfunktion  $G$  gilt:

$$G(x) = -2x^3 + 85x^2 + 300x - 3375.$$

Zeigen Sie durch Rechnungen, dass die beiden Aussagen für die Funktion  $G$  genau zutreffen, und berechnen Sie den maximalen Gewinn.

- e) Den Wert  $K(0)$  bezeichnet man als **Fixkosten**. Auf Grund eines neuen Pachtvertrages für das Firmengrundstück steigen die Fixkosten des Unternehmens von 3375 Geldeinheiten auf 4000 Geldeinheiten. In der Firmenleitung entsteht eine Diskussion über die Auswirkungen dieser Veränderung. Ein Firmenmitglied behauptet, dass man nach wie vor 30 Mengeneinheiten produzieren sollte, um den Gewinn zu maximieren. Ist diese Aussage richtig? Begründen Sie Ihre Antwort.

## Erwartungshorizont

	Lösungsskizze	Zuordnung, Bewertung		
		I	II	III
a)	<p>Gemäß Aufgabenstellung lautet die Gleichung für die Erlösfunktion <math>E</math>:</p> $E(x) = -62x \cdot (x - 66).$ <p>Dies ist die Gleichung einer quadratischen Funktion mit den Nullstellen <math>x_1 = 0</math> und <math>x_2 = 66</math>.</p> <p>Da bei einer quadratischen Funktion die Nullstellen symmetrisch zur <math>x</math>-Koordinate des Scheitelpunktes liegen und der Graph der Erlösfunktion <math>E</math> eine nach unten geöffnete Parabel ist, besitzt die Erlösfunktion somit ein Maximum mit positivem Funktionswert an der Stelle <math>x_m = 33</math>.</p> <p><i>Zulässig, wenn auch weniger elegant, ist die Berechnung der Extremstelle mit Hilfe der Ableitungen.</i></p>		5	10
b)	<p>Für die Kostenfunktion <math>K</math> mit der Gleichung <math>K(x) = 2x^3 - 147x^2 + 3792x + 3375</math> gilt:</p> $K'(x) = 6x^2 - 294x + 3792$ <p>Für <math>K'(x) = 0</math> und damit <math>6x^2 - 294x + 3792 = 0</math> erhält man</p> $x_{1,2} = 24,5 \pm \sqrt{600,25 - 632}.$ <p>Die Diskriminante der quadratischen Gleichung ist (mit <math>-31,75</math>) negativ. Die Gleichung hat damit keine (reellen) Lösungen. Folglich hat <math>K</math> keine Extremstellen.</p> <p>Dann ist die Kostenfunktion <math>K</math> streng monoton. Da der Leitkoeffizient von <math>K</math> positiv ist, ist sie streng monoton steigend. <i>Dies kann mit Wissen über kubische Funktionen begründet werden oder aus der Tatsache, dass <math>K'</math> überall positiv ist.</i></p> <p>Die strenge Monotonie von <math>K</math> bedeutet in diesem Zusammenhang: Je größer die produzierte Menge ist, umso höher sind die Produktionskosten. Dies ist ökonomisch sinnvoll und notwendig.</p>		5	15
c)		5	5	

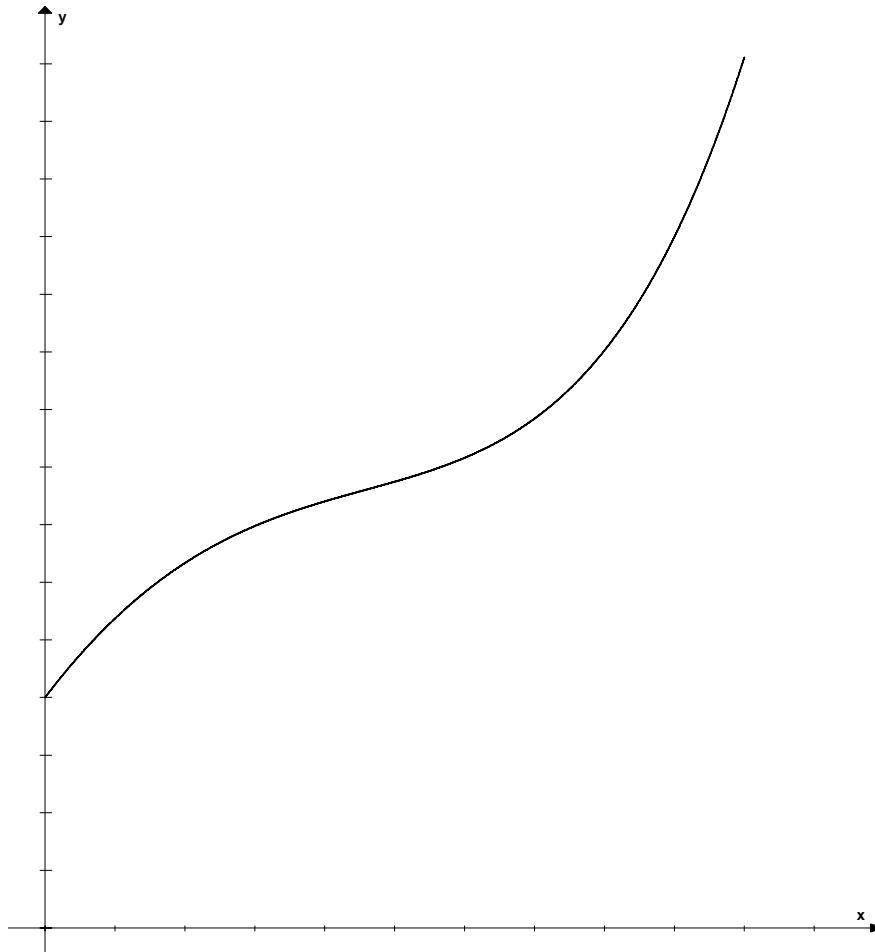
	Lösungsskizze	Zuordnung, Bewertung		
		I	II	III
d)	<p><u>Berechnung der Gewinnzone:</u>  Die Gleichung der Gewinnfunktion lautet:  <math display="block">G(x) = E(x) - K(x) = 4092x - 62x^2 - (2x^3 - 147x^2 + 3792x + 3375)</math> <math display="block">= -2x^3 + 85x^2 + 300x - 3375.</math> Durch Rechnung (z.B. durch Einsetzen in die Gleichung der Gewinnfunktion) wird bestätigt, dass <math>x_3 = 5</math> und <math>x_4 = 45</math> Nullstellen von <math>G</math> sind.  Aus dem gegebenen Graphen erkennt man, dass die dritte Nullstelle (<math>x_5 = -7,5</math>) negativ ist, dass die Gewinnzone also zwischen den beiden Nullstellen <math>x_3 = 5</math> und <math>x_4 = 45</math> liegt. <i>Diese Argumentation liegt durch die Betrachtung des gegebenen Graphen von <math>G</math> nahe, und es wird keine Diskussion über die dritte Nullstelle und ihre Lage erwartet.</i>  <u>Berechnung des maximalen Gewinns:</u>  Man sieht auch anhand des Graphen, dass zwischen <math>x = 5</math> und <math>x = 45</math> – nämlich in der Gewinnzone – genau eine Extremstelle, und zwar eine Maximalstelle, liegt. Die notwendige Bedingung für eine lokale Extremstelle <math>G'(x) = 0</math> liefert die äquivalenten Gleichungen:</p> $-6x^2 + 170x + 300 = 0$ $\Leftrightarrow x^2 - \frac{85}{3}x - 50 = 0$ $\Leftrightarrow x = \frac{85}{6} \pm \sqrt{\frac{7225}{36} + \frac{1800}{36}}$ $\Leftrightarrow x = \frac{85}{6} \pm \frac{95}{6}$ $\Leftrightarrow x = 30 \quad \vee \quad x = -\frac{5}{3}$ <p>Bei <math>x = 30</math> liegt also das Gewinnmaximum.  <i>Mit der vorhergehenden Argumentation, die man auch über den prinzipiellen Verlauf einer kubischen Funktion mit negativem Leitkoeffizienten präzisieren könnte, braucht nicht mehr über die zweite Ableitung argumentiert zu werden.</i>  <i>Dass 30 ME die gewinnmaximale Produktionsmenge sind, kann auch durch den Nachweis bestätigt werden, dass <math>x = 30</math> Nullstelle von <math>G'</math> ist.</i></p> <p>Es gilt <math>G(30) = 28\ 125</math>. Für die Herstellungsmenge von 30 Mengeneinheiten wird der Gewinn maximal. Er beträgt dann 28 125 Geldeinheiten.</p>	10	25	
e)	Die Kosten haben konstant um 625 Geldeinheiten zugenommen, entsprechend sinkt der Gewinn konstant um den gleichen Betrag. Die Gleichung der veränderten Gewinnfunktion lautet $G_{neu}(x) = -2x^3 + 85x^2 + 300x - 4000$ und unterscheidet sich von der ersten Gewinnfunktion also auch nur um die Konstante 625 und hat damit an der <b>gleichen Stelle</b> ihr Maximum. Die Aussage des Firmenmitglieds ist also richtig. Der zur Herstellungsmenge $x = 30$ gehörende optimale Gewinn sinkt allerdings auch um 625 Geldeinheiten.			15
	Insgesamt 100 BWE	25	55	20

## Aufgabe 2 Wetterstation

Aufgabe aus der schriftlichen Abiturprüfung Hamburg 2005.

In einer Wetterstation wird die Aufzeichnung eines Niederschlagmessgeräts vom Vortag (im Zeitraum von 0 Uhr bis 20 Uhr) ausgewertet. Das Regenmessgerät besteht aus einem nach oben offenen zylindrischen Gefäß mit einer Grundfläche von  $1 \text{ m}^2$ . Die Wassermenge wird vom Gerät automatisch aufgezeichnet.

Es folgt eine Aufzeichnungsskizze der Wetterstation. Der Graph zeigt die Wassermenge im Gefäß in Abhängigkeit von der Zeit in Stunden ( $x$ -Achse: 1 Einheit entspricht 2 Stunden).



- a) Interpretieren Sie den Graphen im Hinblick auf folgende Fragen für den Zeitraum von 0 bis 20 Uhr:  
 Wann hat es geregnet?  
 In welchem Zeitraum hat es stark, in welchem Zeitraum schwach geregnet?

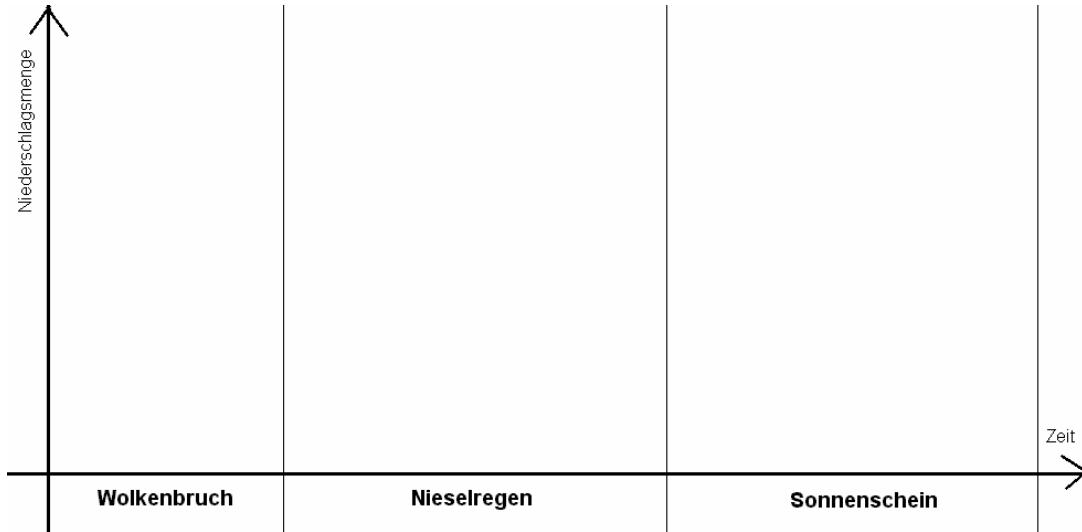
Die Niederschlagsmenge wird in Millimetern oder aber in Litern pro Quadratmeter angegeben.

- b) Zeigen Sie, dass die aufgefängene Niederschlagsmenge von 1 Liter Wasser ein Ansteigen des Wasserstands im Gefäß von 1mm bedeutet.  
 (Dieses Messgerät ermöglicht also beide Angaben für die Niederschlagsmenge.)

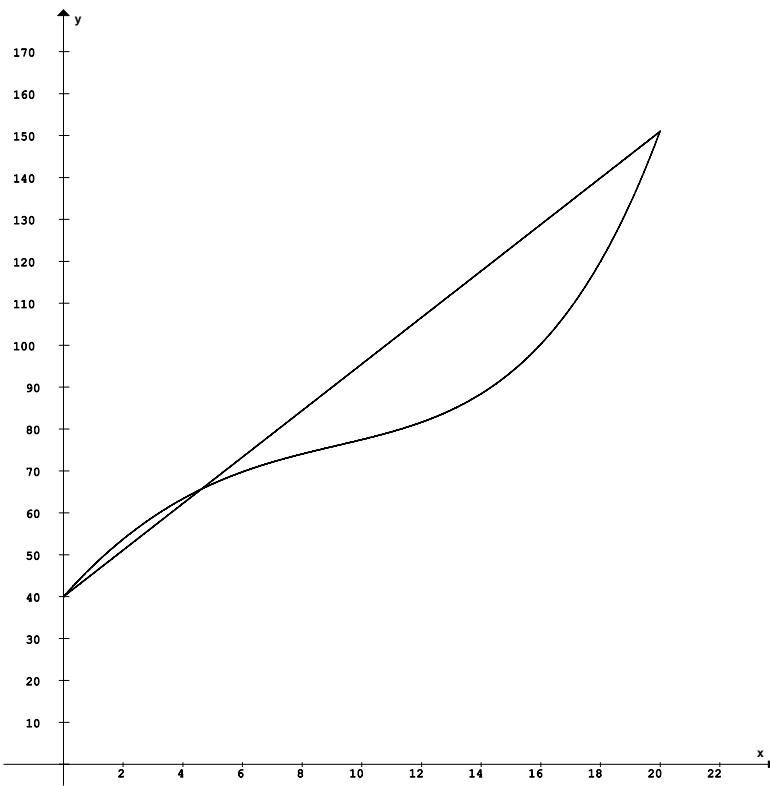
Die Kurve in der Aufzeichnungsskizze der Wetterstation entspricht dem Graphen der Funktion  $f$  mit

$$f(x) = 80e^{0,1x} - x^2 - 40, \text{ für } x \in [0; 20].$$

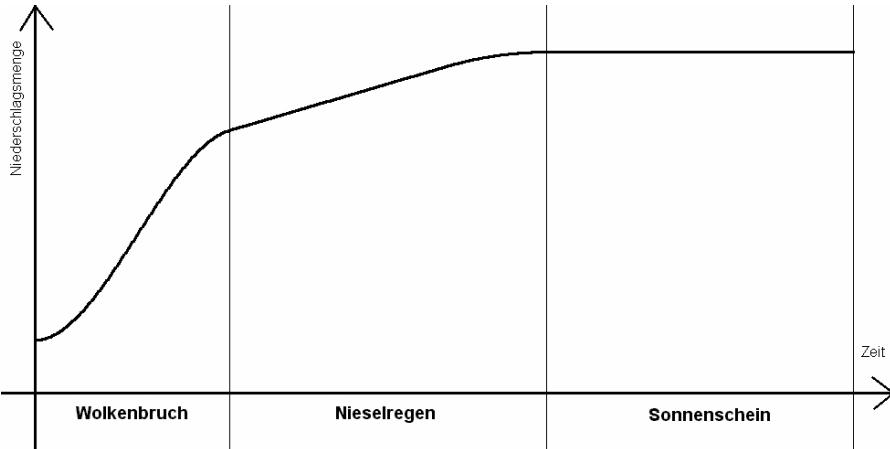
- c) Tragen Sie die fehlenden Skalen auf den Achsen ein.  
 Berechnen Sie, wie viele Liter Wasser zwischen 0 und 20 Uhr in das Gefäß gefallen sind.  
 Zeichnen Sie die Gerade durch den Anfangs- und Endpunkt der Kurve und interpretieren Sie die Bedeutung dieser Geraden im Sachzusammenhang der Aufgabe.
- d) Untersuchen Sie  $f$  auf Wendestellen im betrachteten Intervall.
- e) Interpretieren Sie die Bedeutung der 1. Ableitung und die Bedeutung der Wendestelle im Sachkontext der Aufgabe.
- f) Wie könnte man den Begriff „momentane Regenstärke“ definieren. Wie stark hat es nach ihrer Definition um 18 Uhr geregnet? Wie groß war die minimale momentane Regenstärke? Geben Sie dazu auch eine sinnvolle Maßeinheit an.  
 Berechnen Sie auch mit Hilfe der Integralrechnung die mittlere Regenstärke in dem betrachteten Zeitintervall von 0 bis 20 Uhr. Beachten Sie, dass man dabei nicht ernsthaft rechnen muss.
- g) Skizzieren Sie in der nachfolgenden Darstellung den prinzipiellen Verlauf des Graphen für die Aufzeichnung eines Niederschlagsmessgerätes, der folgende Wettersituation hinsichtlich der Niederschlagsmenge beschreibt:
- Wolkenbruch – Nieselregen – Sonnenschein bei wolkenlosem Himmel.  
 (Ablauf in der angegebenen Reihenfolge und ohne zeitliche Unterbrechungen)



## Erwartungshorizont

	Lösungsskizze	Zuordnung, Bewertung		
		I	II	III
a)	Die Aufzeichnung zeigt, dass es während des gesamten Zeitraumes geregnet hat, weil der Graph streng monoton ansteigt (auf keinem Intervall konstant ist). Es hat ab dem frühen Nachmittag immer stärker geregnet, da der Graph im letzten Teil stark steigt. Wenig geregnet hat es von etwa 4 Uhr bis etwa 14 Uhr; auf diesem Intervall steigt der Graph schwach.	10	5	
b)	Ein Zylinder mit einer Grundfläche von $1 \text{ m}^2 = 10000 \text{ cm}^2$ und dem Volumen $11 = 1000 \text{ cm}^3$ hat die Höhe $h = \frac{1000}{10000} \text{ cm} = 0,1 \text{ cm} = 1 \text{ mm}$ .	5		
c)	 <p><u>Berechnung der Wassermenge:</u></p> <p><math>f(0) = 80 - 40 = 40</math>; der Anfangspunkt ist der Schnittpunkt mit der <math>y</math>-Achse:  <math>S_y(0 40)</math>.</p> <p><math>f(20) = 80e^2 - 400 - 40 \approx 151,124</math>; der Endpunkt der Kurve ist <math>(20 151)</math>.</p> <p>Insgesamt sind im Beobachtungszeitraum <math>151 - 40 = 111</math> Liter Regen gefallen.</p> <p><i>Die Bedeutung der Geraden kann unterschiedlich interpretiert werden.</i></p> <p>Mögliche Antworten:</p> <p>Die Steigung der Geraden gibt die durchschnittliche Regenstärke während des gesamten Zeitraumes an.</p> <p>Wäre die Gerade die vom Messgerät aufgezeichnete Kurve, hätte es im gesamten Beobachtungszeitraum gleichmäßig stark geregnet.</p>	10	5	5

	Lösungsskizze	Zuordnung, Bewertung		
		I	II	III
d)	<p><u>Bestimmung der Wendestelle:</u></p> <p>Es gilt: <math>f'(x) = 8e^{0,1x} - 2x</math></p> $f''(x) = 0,8e^{0,1x} - 2$ <p>Für <math>f''(x) = 0</math> gilt:</p> $0,8e^{0,1x} - 2 \Leftrightarrow e^{0,1x} = 2,5 \Leftrightarrow 0,1x = \ln(2,5) \Leftrightarrow x = 10 \cdot \ln(2,5) \approx 9,163$ <p>Nachweis der Wendestelle durch Argumentation mit der grafischen Darstellung bzw. über die 3. Ableitung: <math>f'''(x) = 0,08e^{0,1x}</math>.</p> <p>Die Wendestelle liegt bei <math>x \approx 9,2</math>.</p>			20
e)	<p>Die <u>erste Ableitung</u> gibt die Stärke des Regens zum jeweiligen Zeitpunkt an.</p> <p>In der <u>Wendestelle</u> hat die erste Ableitung eine Extremstelle, im Fall der gegebenen Funktion eine Minimalstelle. Dies bedeutet, dass der Regen kurz nach 9 Uhr am schwächsten war.</p>			10
f)	<p>Wir definieren – entsprechend e) – die Werte der ersten Ableitung als „momentane Regenstärke“ zu den entsprechenden Zeitpunkten.</p> <p>Es gilt: <math>f'(18) \approx 12,4</math>.</p> <p>Die zugehörige – hier passende – Maßeinheit ist mm pro Stunde <math>[\frac{\text{mm}}{\text{h}}]</math>.</p> <p>Um 18 Uhr betrug die momentane Regenstärke also <math>12,4 \frac{\text{mm}}{\text{h}}</math>.</p> <p>Um 9.12 Uhr war nach e) die momentane Regenstärke minimal. Einsetzen dieses Wertes in <math>f'</math> ergibt: <math>f'(9,2) \approx 1,7</math>,</p> <p>Um 9.12 Uhr betrug die Regenstärke nur <math>1,7 \frac{\text{mm}}{\text{h}}</math>.</p> <p>Mit einer Betrachtung der „mittleren Regenstärke“ schließt sich der Kreis:</p> <p>Schon in der Antwort zu c) haben wir die Steigung der Geraden, also den Quotienten <math>\frac{f(20) - f(0)}{20 - 0} \approx \frac{111}{20} = 5,55</math> als mittlere Regenstärke interpretiert.</p> <p>Diese Rechnung entspricht einer Grundvorstellung (ohne Differential- und Integralrechnung), die sich nur auf die gefallene Regenmenge – also auf die Funktion <math>f</math> – bezieht.</p> <p>Allgemein kann man den Mittelwert einer beliebigen stetigen (integrierbaren) Funktion <math>g</math> auf einem Intervall <math>[a; b]</math> sinnvoll durch</p> $\frac{\int_a^b g(x) dx}{b - a}$ <p>definieren.</p>			

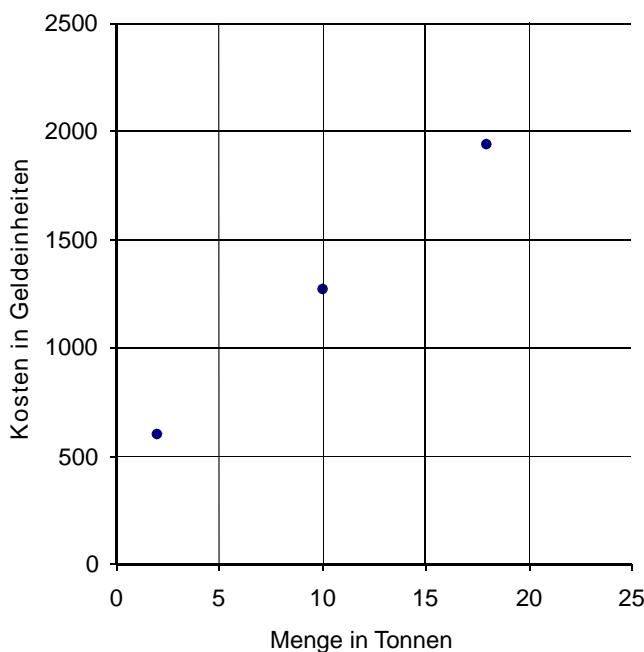
	Lösungsskizze	Zuordnung, Bewertung		
		I	II	III
	<p>In unserem Fall beziehen wir diesen Ansatz auf die momentane Regenstärke,</p> $\int_0^{20} f'(x) dx$ <p>also auf die Funktion <math>f'</math>. So gesehen muss dann also <math>\frac{f(20) - f(0)}{20 - 0}</math> berechnet werden.</p> <p>Nun ist aber <math>f</math> eine Stammfunktion von <math>f'</math>, es muss also tatsächlich wieder nur <math>\frac{f(20) - f(0)}{20} \approx 5,55</math> berechnet werden.</p> <p>Die mittlere Regenstärke im Zeitraum von 0 bis 20 Uhr betrug also auch in dieser Interpretation etwa <math>5,55 \frac{\text{mm}}{\text{h}}</math>.</p> <p><i>Bemerkung: Diese Aufgabe ist besonders gut geeignet, Grundvorstellungen der Differential- und Integralrechnung herauszuarbeiten, und sie macht auch den Hauptsatz besonders anschaulich.</i></p> <p><i>Da ausdrücklich in der Aufgabenstellung f) auf die Integralrechnung verwiesen wird, sollte eine Antwort, in der nur der schon in c) betrachtete Quotient berechnet wird, in der Bewertung nur eine Teilpunktzahl ergeben.</i></p>			
g)	<p>Beispiel:</p>  <ul style="list-style-type: none"> <li>• Wolkenbruch: stark ansteigende Kurve</li> <li>• Nieselregen: schwach ansteigende Kurve</li> <li>• Sonnenschein: Kurve hat die Steigung 0.</li> </ul> <p><i>Es wird nicht erwartet, dass keine Knicke im Graphen auftreten (Stetigkeit der Regenstärke) und dass der Graph in der Wolkenbruchphase einen Wendepunkt hat, aber der gesamte Graph sollte bis zum Sonnenschein streng monoton steigen, insgesamt in der Wolkenbruchphase steiler sein als in der Nieselregenphase, beim Nieselregen annähernd linear sein und natürlich in der Sonnenscheinphase konstant sein.</i></p>	5	10	
	Insgesamt 100 BWE	25	50	25

### Aufgabe 3 Chemieunternehmen

Aufgabe aus der schriftlichen Abiturprüfung Hamburg 2005.

In einem Chemieunternehmen wird die Leitung einer Abteilung von einem neuen Mitarbeiter übernommen. Die Abteilung produziert flüssige Waschmittel. Die Produktion liegt derzeit bei täglich 10 Tonnen und sollte nach Ansicht des neuen Abteilungsleiters erhöht werden. Die Firmenleitung wünscht von ihm eine Auskunft über die zu erwartenden Produktionskosten und Gewinne. Der Abteilungsleiter wirft einen Blick in die Produktionsunterlagen und findet nebenstehende Daten, die bereits in das nachfolgende Koordinatensystem eingetragen sind.

produzierte Menge in Tonnen	verursachte Kosten in GE (Geldeinheiten)
2	600
10	1272
18	1944



- a) Der neue Abteilungsleiter sieht hier einen linearen Zusammenhang. Bestätigen Sie diesen Zusammenhang, indem Sie durch eine Rechnung zeigen, dass die drei Punkte auf einer Geraden liegen.
- b) Bei einem genaueren Blick in die Unterlagen findet der Abteilungsleiter zusätzliche Daten (siehe nebenstehende Tabelle). Zeichnen Sie diese beiden zusätzlichen Daten in das beigegebene Koordinatensystem ein.

produzierte Menge in Tonnen	verursachte Kosten in GE (Geldeinheiten)
5	1047
20	2472

Man sieht „mit bloßem Auge“, dass der lineare Ansatz aus Aufgabenteil a) jetzt offenbar nicht zutrifft. Skizzieren Sie nun einen möglichen und sinnvollen Graphen durch diese 5 Punkte.

Dieser Graph beschreibt den Zusammenhang „produzierte Menge in Tonnen → verursachte Kosten in Geldeinheiten“, die so genannte **Kostenfunktion**.

- c) Der Abteilungsleiter findet in den Unterlagen seines Vorgängers den Funktionsterm für die Kostenfunktion  $K$  und stellt fest, dass alle fünf Wertepaare zu  $K$  gehören:

$$K : x \rightarrow x^3 - 30x^2 + 320x + 72 .$$

Zeigen Sie, dass  $K$  keine Extremstellen besitzt und erläutern Sie, warum diese Eigenschaft für eine Kostenfunktion typisch ist.

- d) Aus einer Marktanalyse weiß die Firmenleitung, dass der erzielbare Preis pro Tonne für das Waschmittel in Abhängigkeit von der absetzbaren Menge  $x$  durch die folgende Funktion  $p$  beschrieben werden kann:  $p : x \rightarrow -5x + 330$  bzw.  $p : x \rightarrow -5 \cdot (x - 66)$

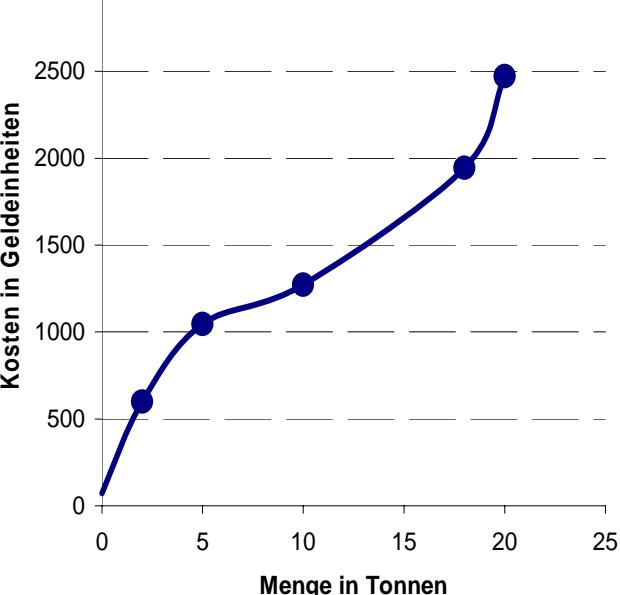
Bestimmen Sie die Gleichung der Erlösfunktion  $E$  und zeigen Sie, dass  $E$  ein Maximum annimmt, wenn die produzierte Menge 33 Tonnen beträgt.

- e) Bestimmen Sie die Gleichung der Gewinnfunktion  $G$ .

Bestimmen Sie, bei welcher produzierten Menge der Gewinn  $G$  maximal wird, und berechnen Sie den maximalen Gewinn. Beide Angaben sollen in der Antwort auf 2 Nachkommastellen gerundet werden.

- f) Beurteilen Sie vor dem Hintergrund Ihrer Ergebnisse aus den vorangegangenen Aufgabenteilen das Vorhaben des Abteilungsleiters, die bisherige Produktion von täglich 10 Tonnen deutlich zu erhöhen.

## Erwartungshorizont

	Lösungsskizze	Zuordnung, Bewertung		
		I	II	III
a)	<p><i>Es gibt verschiedene Möglichkeiten zur Bearbeitung:</i></p> <p>So kann z.B. der Funktionsterm einer linearen Funktion aus zwei ausgewählten Datenpaaren bestimmt und mit dessen Hilfe das dritte Datenpaar überprüft werden:</p> $g(x) = m \cdot x + n$ <p>Aus den Punkten (2   600) und (10   1272) erhält man:</p> $(1) \quad 600 = m \cdot 2 + n$ $(2) \quad 1272 = m \cdot 10 + n$ <p>Danach gilt: <math>8m = 672</math> und <math>m = 84</math> sowie <math>n = 432</math>.</p> <p>Die Gerade durch die beiden Punkte hat die Gleichung <math>g(x) = 84x + 432</math>.</p> <p>Überprüfung für (18   1944): <math>1944 = 84 \cdot 18 + 432</math> ist richtig.</p> <p>Die drei gegebenen Punkte liegen also auf einer Geraden.</p> <p><i>Man könnte auch den mittleren Kostenzuwachs <math>m</math> (die Steigung von <math>g</math>) bei Erhöhung der Produktion um eine Tonne berechnen:</i></p> <p>Für die Punkte (2   600) und (10   1272) erhält man: <math>m = \frac{1272 - 600}{10 - 2} = 84</math>.</p> <p>Für die Punkte (10   1272) und (18   1944) erhält man: <math>m = \frac{1944 - 1272}{18 - 10} = 84</math>,</p> <p>also das gleiche Ergebnis. Die Punkte liegen auf einer Geraden.</p>			15
b)	<p><i>Als Skizze wird nur der Graph einer monoton steigenden Funktion durch die 5 Punkte erwartet. Beispiel:</i></p> 			10

	Lösungsskizze	Zuordnung, Bewertung		
		I	II	III
c)	<p>Die Gleichung der Ableitungsfunktion von <math>K</math> lautet:</p> $K'(x) = 3x^2 - 60x + 320.$ <p>Für <math>K'(x) = 0</math> und damit <math>3x^2 - 60x + 320 = 0</math> erhält man <math>x_{1,2} = 10 \pm \sqrt{100 - \frac{320}{3}}</math>.</p> <p>Die Diskriminante der quadratischen Gleichung ist negativ. Die Gleichung hat damit keine (reellen) Lösungen. Folglich hat <math>K</math> keine Extremstellen.</p> <p>Dies bedeutet, dass <math>K</math> als kubische Funktion mit positivem Leitkoeffizienten streng monoton wachsend ist. Dies ist charakteristisch für die betriebliche Kostenentwicklung, da bei Erhöhung der Produktionsmenge <math>x</math> stets mit erhöhten Kosten <math>K(x)</math> zu rechnen ist.</p>	15	5	
d)	<p>Die Gleichung der Erlösfunktion lautet <math>E(x) = -5x \cdot (x - 66) = -5x^2 + 330x</math>.</p> <p>Hierbei handelt es sich um die Gleichung einer quadratischen Funktion mit den Nullstellen <math>x_1 = 0</math> und <math>x_2 = 66</math>. Da bei einer quadratischen Funktion die Nullstellen symmetrisch zur <math>x</math>-Koordinate des Scheitelpunktes liegen und der Graph der Erlösfunktion <math>E</math> eine nach unten geöffnete Parabel ist, besitzt die Erlösfunktion somit ein Maximum mit positivem Funktionswert an der Stelle <math>x = 33</math>.</p> <p><i>Zulässig, aber weniger elegant ist die Berechnung der Extremstelle mit Hilfe der Ableitungen.</i></p>	10		
e)	<p>Gemäß Aufgabe lautet die Gleichung der Gewinnfunktion:</p> $G(x) = E(x) - K(x) = -x^3 + 25x^2 + 10x - 72.$ <p>Hieraus erhält man</p> $G'(x) = -3x^2 + 50x + 10$ <p>Der Ansatz <math>G'(x)</math> führt auf eine quadratische Gleichung mit den Lösungen</p> $x_1 = \frac{25}{3} - \frac{1}{3}\sqrt{655} \quad \text{und} \quad x_2 = \frac{25}{3} + \frac{1}{3}\sqrt{655}.$ <p>Für die gesuchte Maximalstelle kommt wegen <math>x \geq 0</math> nur die Stelle <math>x_2 \approx 16,86</math> in Frage. Aus dem typischen Verlauf einer kubischen Funktion mit negativem Leitkoeffizienten schließt man, dass ein Maximum nur bei <math>x_2 \approx 16,86</math> liegen kann.</p> <p><i>Oder:</i> Die Überprüfung an Hand der zweiten Ableitung der Gewinnfunktion ergibt: <math>G''(x) = -6x + 50</math> und <math>G''(x_2) &lt; 0</math>.</p> <p>Somit wird der Gewinn bei der produzierten Menge <math>x_2</math> maximal.</p> <p>Der maximale Gewinn beträgt <math>G(16,86) \approx 2410,47</math> GE.</p>	30		
f)	Unter der Annahme einer ganzrationalen Funktion 3. Grades als Kostenfunktion erhält man den maximalen Gewinn bei einer Produktion von knapp 17 Tonnen Waschmittel. Der neue Abteilungsleiter hat also Recht mit seiner Forderung, die Produktion müsse erhöht werden.			15
	Insgesamt 100 BWE	25	55	20

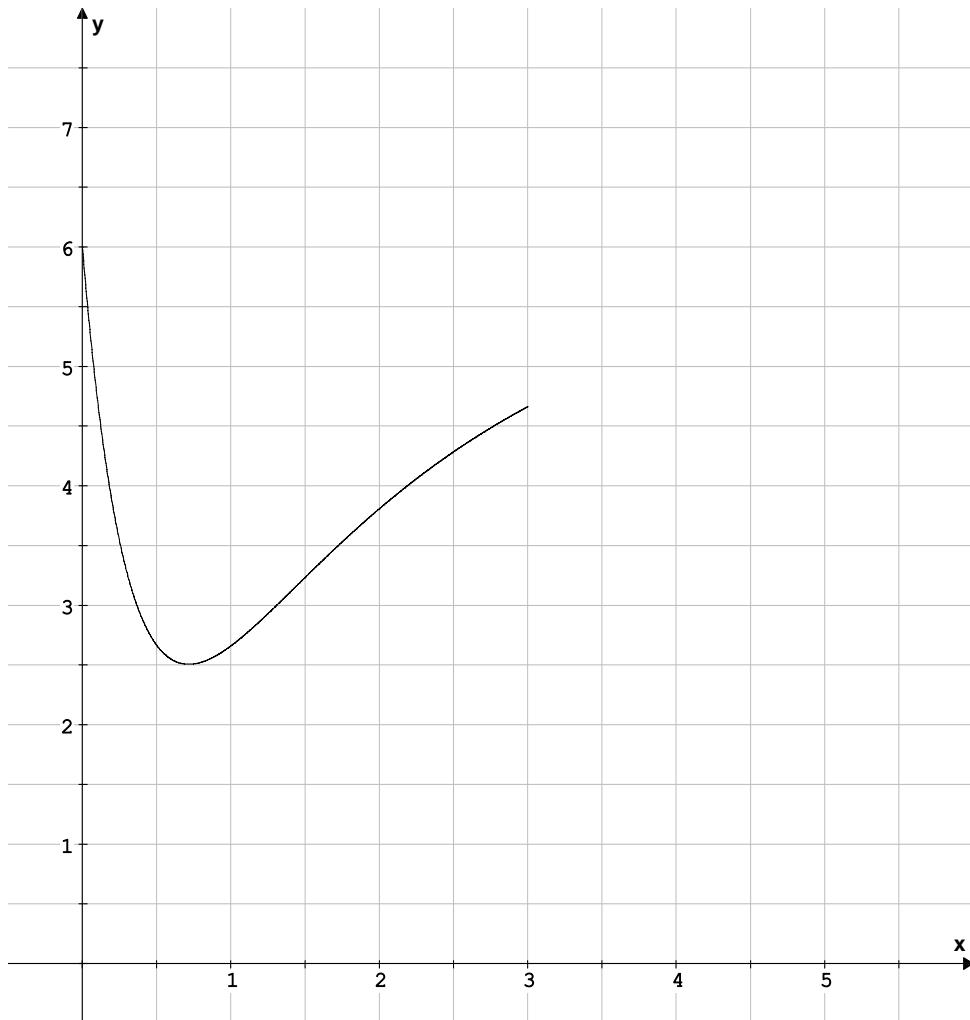
## Aufgabe 4 Bevölkerungsentwicklung

In dieser Aufgabe, die sich an eine Aufgabe aus der schriftlichen Abiturprüfung Hamburg 2005 anlehnt, geht es um eine allgemeine Exponentialfunktion und um die Frage, wie gut diese Funktion die Entwicklung einer Population darstellt.

Die Funktion  $f$  hat die Funktionsgleichung

$$f(x) = -6e^{-0.5x} + 6e^{-3x} + 6 = 6 \cdot (1 - e^{-0.5x} + e^{-3x}).$$

Für einen Teil des Definitionsbereichs ist der Graph der Funktion gegeben:



- a) Der Funktionsterm ist die Summe von drei Termen, zwei mit positivem Vorzeichen, einem mit negativem Vorzeichen.  
 Beschreiben Sie, ausgehend vom Graphen, das Verhalten der Funktion im Hinblick auf folgende Fragen:

Wie arbeiten die drei Terme für den Funktionswert bei  $x = 0$  zusammen?

Warum fällt die Funktion für kleine  $x$ ?

Warum steigt die Funktion wieder?

Warum bestimmt der Term 6 das Verhalten der Funktion für große  $x$ ?

- b) Die Gleichung  $f'(x) = 0$  ist äquivalent zu der Gleichung  $e^{-0.5x} = 6 \cdot e^{-3x}$  und damit auch äquivalent zu der Gleichung  $-0.5x = \ln(6) - 3x$ .

Untersuchen Sie unter Verwendung dieses Hinweises die Funktion  $f$  auf Extrempunkte.

- c) Untersuchen Sie die Funktion  $f$  auf Wendestellen.  
(Verwenden Sie zur Berechnung die in b) vorgestellte Methode).

Eine Situation, für die diese Funktion ein Modell liefern könnte, ist folgende:

In einer Kleinstadt hat der einzige große industrielle Arbeitgeber sein Werk geschlossen. Daraufhin ziehen viele qualifizierte Arbeitskräfte mit ihren Familien aus dieser Kleinstadt weg. Die Politiker versuchen durch Schaffung von Arbeitsplätzen in anderen Bereichen langfristig neue Bewohner zu gewinnen. Es dauert allerdings eine gewisse Zeit, bis diese Maßnahme erste Erfolge zeigt.

Die Statistiker tragen die Einwohnerzahl regelmäßig in eine Grafik ein, wobei die Einteilung der  $x$ -Achse in Jahrzehnten erfolgt und die der  $y$ -Achse in zehntausend Einwohner.

- d) Interpretieren Sie die Bedeutung des Extremwertes und die Bedeutung der Wendestelle im Sachzusammenhang der Aufgabe.
- e) Begründen Sie, warum die angegebene Funktion  $f$  zur Modellierung der beschriebenen Situation zumindest nicht ganz fern liegt.
- f) Bestimmen Sie  $k$  so, dass  $F$  mit

$$F(x) = 12 \cdot e^{-0.5x} + k \cdot e^{-3x} + 6x$$

eine Stammfunktion von  $f$  ist.

Bestimmen Sie das Integral von  $f$  über dem Intervall  $[0; 1,5]$ .

Mit diesem Wert sollen Sie folgende Aufgabe bearbeiten:

15 Jahre nach der Werkschließung konnte die Stadt Fördergelder beantragen. Diese richteten sich nach der durchschnittlichen Einwohnerzahl (auf Tausend gerundet) der Stadt in diesen 15 Jahren. Bestimmen Sie die Höhe der Fördermittel, die die Stadt damals erhielt, wenn es für jeden Einwohner 1000 DM an Fördergeldern gab.

- g) Skizzieren Sie den weiteren Verlauf des Graphen (s. Skizze) und geben Sie unter der Bedingung, dass sie weiterhin der Funktion  $f$  genügt, eine begründete Prognose über die weitere Entwicklung der Einwohnerzahl ab.

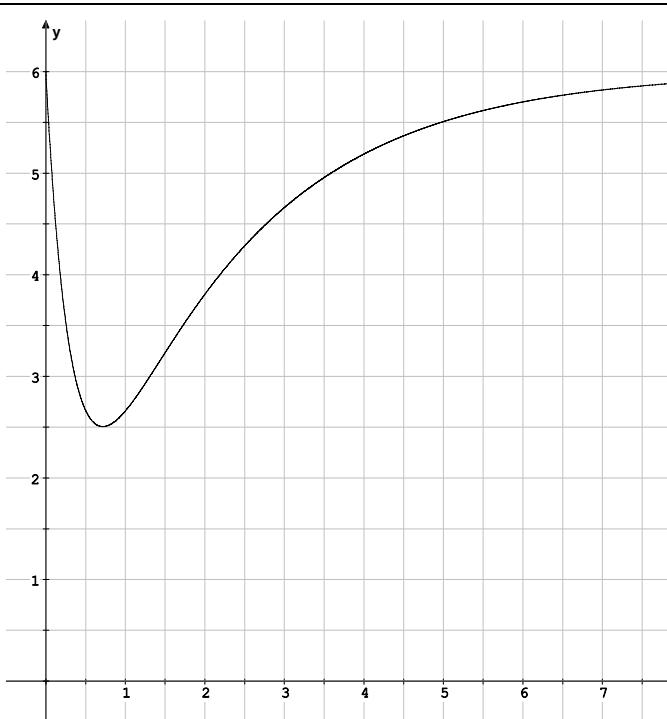
Ermitteln Sie die größtmögliche Einwohnerzahl, mit der unter diesen Bedingungen die Stadtentwickler rechnen müssten.

Beschreiben Sie Gründe, warum sich die Einwohnerzahl vermutlich anders entwickeln wird.

## Erwartungshorizont

	Lösungsskizze	Zuordnung, Bewertung		
		I	II	III
a)	<p>Der Graph beginnt bei <math>x = 0</math> mit einem Funktionswert von 6, <math>f(0) = 6</math>. Dann fällt er, läuft durch ein Minimum und nähert sich wieder (vermutlich) einem konstanten Wert an.</p> <p>Bei <math>x = 0</math> gilt <math>f(0) = 6 = 6 - 6e^0 + 6e^0</math>.</p> <p>Die beiden Exponentialterme gleichen sich also aus, und der Funktionswert wird nur vom absoluten Glied bestimmt.</p> <p>Da der Betrag des Terms <math>6e^{-3x}</math> schneller sinkt als der Betrag des Terms <math>-6e^{-1,5x}</math> steigt, werden die Funktionswerte zunächst kleiner.</p> <p>Für große <math>x</math>-Werte sind sowohl <math>-6e^{-0,5x}</math> als auch <math>+6e^{-3x}</math> (und damit auch ihre Summe) klein gegen Eins. Der Term 6 übernimmt also wieder das „Kommando“. Das Zusammenspiel von Termen, die zunächst den Funktionswert vermindern und dann immer weniger wichtig werden, führt zu einem Minimum.</p>	5	15	
b)	<p><u>Untersuchung auf Extrempunkte:</u></p> $f'(x) = 3e^{-0,5x} - 18e^{-3x}$ $f'(x) = 0 : 3e^{-0,5x} - 18e^{-3x} = 0 \Leftrightarrow 3e^{-0,5x} = 18e^{-3x}$ $\Leftrightarrow e^{-0,5x} = 6e^{-3x}$ $\Leftrightarrow -0,5x = \ln 6 - 3x$ $\Leftrightarrow 2,5x = \ln 6$ $\Leftrightarrow x = \frac{\ln 6}{2,5} = 0,7167.$ <p>Der Grafik kann entnommen werden, dass <math>f</math> an dieser Stelle ein Minimum hat. Der Nachweis kann aber auch über die 2. Ableitung erfolgen:</p> $f''\left(\frac{\ln 6}{2,5}\right) = -1,5e^{-0,5 \cdot \frac{\ln 6}{2,5}} + 54e^{-3 \cdot \frac{\ln 6}{2,5}} > 0.$ <p>Berechnung des Funktionswertes an der Minimalstelle:</p> $f\left(\frac{\ln 6}{2,5}\right) = -6e^{-0,5 \cdot \frac{\ln 6}{2,5}} + 6e^{-3 \cdot \frac{\ln 6}{2,5}} + 6 \approx 2,506.$ <p><math>f</math> hat in <math>T(0,72   2,51)</math> ein Minimum.</p>	10	10	
c)	<p><u>Untersuchung auf Wendestellen:</u></p> $f''(x) = -1,5e^{-0,5x} + 54e^{-3x}$ $f'''(x) = 0,75e^{-0,5x} - 162e^{-3x}$ $f''(x) = 0 : -1,5e^{-0,5x} + 54e^{-3x} = 0 \Leftrightarrow 1,5e^{-0,5x} = 54e^{-3x} \Leftrightarrow e^{-0,5x} = 36e^{-3x}$ $-0,5x = \ln 36 - 3x \Leftrightarrow 2,5x = \ln 36 \Leftrightarrow x = \frac{\ln 36}{2,5} \approx 1,433.$			

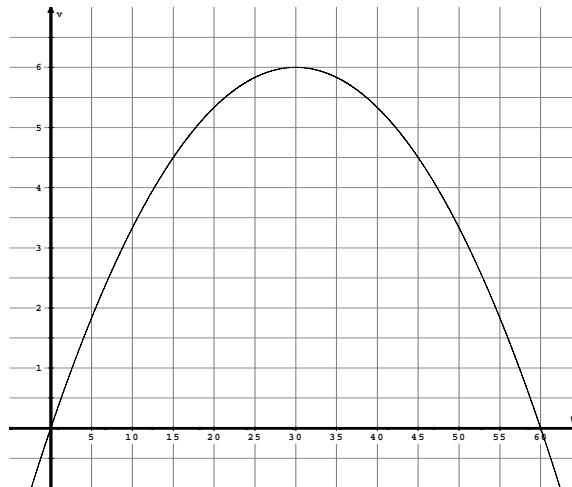
	<b>Lösungsskizze</b>	Zuordnung, Bewertung		
		I	II	III
	<p>Der Grafik kann entnommen werden, dass <math>f</math> an dieser Stelle eine Wendestelle hat. Ein hinreichendes Argument ist, dass die 2. Ableitung an dieser Stelle eine Durchgangsnullstelle hat. Der Nachweis kann aber auch über die 3. Ableitung erfolgen: <math>f'''(1,433) \approx -1,831 \neq 0</math>.</p> <p>Die Funktion <math>f</math> hat die Wendestelle (gerundet) bei 1,43.</p>		10	
d)	<p>(Zum Zeitpunkt der Werksschließung beträgt die Einwohnerzahl 60 000). Der Tiefpunkt gibt den Zeitpunkt mit der geringsten Einwohnerzahl und die dazugehörige Einwohnerzahl an. (Nach gut 7 Jahren hat die Einwohnerzahl mit etwa 25 000 Einwohnern ihr Minimum erreicht. Danach stieg sie wieder an.)</p> <p>An der Wendestelle steigt die Einwohnerzahl am stärksten. (Nach gut 14 Jahren hat das Bevölkerungswachstum seinen Höhepunkt erreicht.)</p> <p><i>Hinweis: Die Klammerpassagen werden von den Prüflingen nicht erwartet.</i></p>			5
e)	<p>Grundsätzlich beschreibt die Funktion das Zusammenwirken zweier Faktoren jeweils exponentiellen Wachstums – einmal negativen Wachstums von einem festen Wert, einmal positiven Wachstums gegen einen anderen festen Wert. Exponentielles Wachstum tritt auf, wenn die Veränderungsrate proportional zum Wert ist.</p> <p>Bei den Veränderungen der Bevölkerungszahl nach der Werkschließung, also der Bevölkerungsabnahme, bedeutet dies, dass der Bevölkerungsabbau letztlich fast proportional zur jeweiligen Bevölkerungszahl erfolgt.</p> <p>Die Wiederansiedlung arbeitet von Beginn an auf einer längeren Zeitskala. Sie hat anfangs einen größeren Erfolg als später, so dass das Bevölkerungswachstum immer langsamer steigt.</p> <p><i>Hinweis: Warum allerdings der Aufwärtstrend einer Funktion des Typs <math>f(x) = k \cdot (1 - e^{-mx})</math> folgen sollte, ist der Situation nicht zu entnehmen.</i></p>	5	5	
e)	<p><math>F(x) = 12 \cdot e^{-0,5x} + k \cdot e^{-3x} + 6x</math></p> <p>Da die Ableitung einer Stammfunktion von <math>f</math> wiederum <math>f</math> ergeben muss, wird hier <math>F'</math> gebildet und dann ein Koeffizientenvergleich durchgeführt:</p> <p><math>F'(x) = -6e^{-0,5x} - 3k \cdot e^{-3x} + 6</math></p> <p><math>f(x) = -6e^{-0,5x} + 6e^{-3x} + 6</math></p> <p>Vergleich der Koeffizienten von <math>F'</math> und <math>f</math>.</p> <p>Aus <math>-3k = 6</math> folgt <math>k = -2</math>.</p> <p>Danach gilt: <math>F(x) = 10 \cdot e^{-0,5x} - 2 \cdot e^{-3x} + 6x</math>.</p> <p><u>Berechnung des Integrals:</u></p> <p><math display="block">\int_0^{1,5} f(x) dx = \left[ 12e^{-0,5x} - 2e^{-3x} + 6x \right]_0^{1,5} \approx 4,6462</math></p> <p>Berechnung der durchschnittlichen Einwohnerzahl in diesen 15 Jahren:</p> <p><math display="block">\frac{4,6462}{1,5} \approx 3,0975</math></p>			

	<b>Lösungsskizze</b>	Zuordnung, Bewertung		
		I	II	III
	Dies entspricht einer durchschnittlichen Einwohnerzahl von etwa 31 000. Die Stadt erhielt Fördermittel in Höhe von etwa 31 Millionen DM.	5	15	
f)	 <p>Unter diesen Bedingungen prognostiziert die Funktionsvorschrift, dass die Einwohnerzahl immer langsamer steigen und nie den Wert 60 000 übersteigen würde. Die Einwohnerzahl wird sich wohl anders entwickeln, da z.B. weitere Firmen eröffnen oder schließen könnten, die Alterspyramide sich auswirkt oder wegen der schönen Lage sich die Zuwanderung verstärkt...</p>		5	10
	Insgesamt 100 BWE	20	60	20

### Aufgabe 5: Heli

In der Abbildung ist ein Ausschnitt des Graphen einer quadratischen Funktion zu sehen, der im Zeitintervall von 0 bis 60 s die Geschwindigkeit eines Heli in senkrechter Richtung  $v_{\text{vertikal}}$  (also sein Steigen bzw. Sinken) beschreibt.

Die waagerechte Achse stellt damit die Zeit  $t$  in s dar, die senkrechte Achse die Steig- bzw. Sinkgeschwindigkeit in m/s.



- a) Zeigen Sie anhand der Informationen aus dem gegebenen Diagramm, dass der gezeigte Graph zur Funktion  $v_{\text{vertikal}}(t) = -\frac{1}{150}t^2 + \frac{2}{5}t$  gehört.
- Beschreiben Sie das Flugverhalten in der Zeit von 0 s bis 60 s. Gehen Sie dabei auf die Nullstellen und den Hochpunkt von  $v_{\text{vertikal}}$  ein.
- b) Begründen Sie, dass im gegebenen Diagramm die Fläche zwischen der  $t$ -Achse und dem Graphen der Funktion die Dimension einer Länge darstellt.  
Skizzieren Sie die Form eines zu diesem Steigvorgang passenden **Höhe-Zeit-Diagramms**. Sie brauchen dabei die genaue Einteilung der senkrechten Achse (also der Höhe) nicht durchzuführen. Die von Ihnen skizzierte Funktion und die Funktion  $v_{\text{vertikal}}$  stehen in einem mathematischen Zusammenhang. Geben Sie diesen Zusammenhang an.
- c) Das abgebildete Steiggeschwindigkeit-Zeit-Diagramm kann zu vielen Flugmanövern gehören. Nennen Sie Gemeinsamkeiten und Unterschiede der Flugbahnen (also der Höhe-Zeit-Diagramme).
- d) Berechnen Sie für die Zeit von 0 s bis 60 s den Gesamthöhenunterschied, den der Heli durchfliegt und seine durchschnittliche Steiggeschwindigkeit.

Nehmen Sie jetzt an, der Heli startet im Zeitpunkt  $t = 0$  s vom Flugfeld (also  $h(0) = 0$ ). Ein kleines motorisiertes Flugobjekt (eine so genannte Drohne), die eine Kamera trägt, steigt ebenfalls vom Flugfeld nach folgender Funktionsgleichung auf:

$$h_v(t) = v \cdot (t - 30) + 120 ,$$

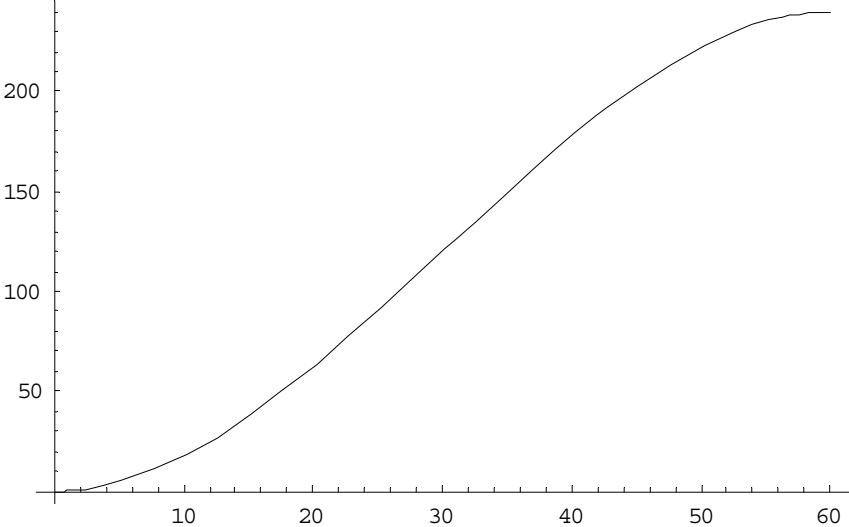
wobei wiederum  $t$  die Zeit in Sekunden beschreibt,  $h_v(t)$  die Flughöhe in Metern angibt und die Steiggeschwindigkeit  $v$  verschiedene Werte (jeweils in m/s) annehmen kann. Diese Aufsteig-Funktion ist so gewählt, dass die Drohne bei  $t = 30$  s eine Höhe von 120 m erreicht; Drohne und Heli starten nicht unbedingt gleichzeitig.

- e) Beschreiben Sie die möglichen Flugbahnen der Drohne im Vergleich / im Unterschied zum Heli-kopter.  
Interpretieren Sie die Bedeutung des Parameters  $v$ .  
Zeichnen Sie in Ihr Höhe-Zeit-Diagramm mindestens zwei mögliche Höhe-Zeit-Funktionen für die Drohne.  
Zeigen Sie, dass Helikopter und Drohne sich unabhängig von  $v$  zum Zeitpunkt  $t = 30$  s auf gleicher Höhe befinden.
- f) Geben Sie die Steiggeschwindigkeit  $v$  der Drohne an, sodass Drohne und Helikopter zu genau einem Zeitpunkt die gleiche Steiggeschwindigkeit aufweisen.  
Können die Flugobjekte auch an mehreren Zeitpunkten die gleiche Steiggeschwindigkeit haben?  
Begründen Sie Ihre Antwort.

*Alternative Teilaufgabe*

- g) Eine Drohne soll ebenfalls auf dem Flugfeld starten und sich genau nach 15 Sekunden neben dem Helikopter befinden, um den Helikopter von der Seite zu fotografieren.  
Bestimmen Sie die erforderliche Drohnen-Steiggeschwindigkeit  $v$ , den Zeitpunkt, zu dem die Drohne starten muss, sowie die Höhe, in der sich die Drohne neben dem Helikopter befindet.  
Begründen Sie: Kann diese Drohne auf ihrem Flug noch mehr Bilder liefern, bei denen sie genau neben dem Helikopter ist?

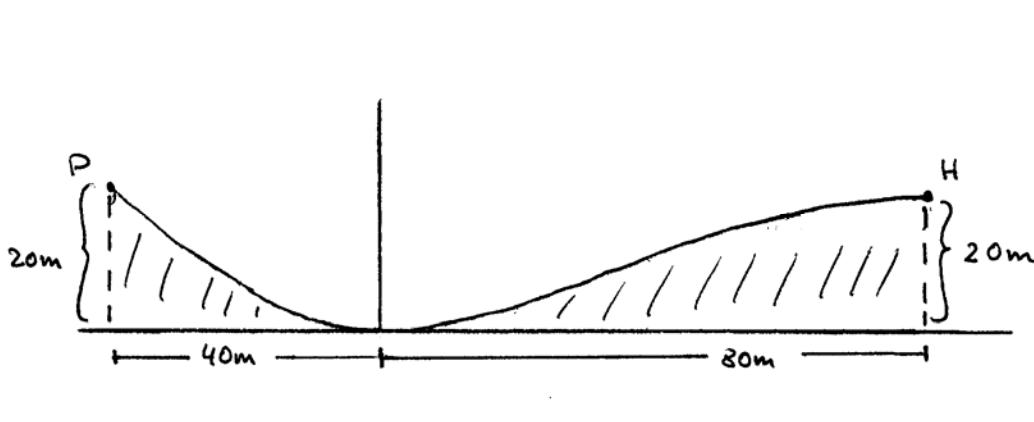
## Erwartungshorizont

	Lösungsskizze	Zuordnung, Bewertung		
		I	II	III
a)	<p>Die Funktion <math>v_{\text{vertikal}}</math> ist nach Voraussetzung eine ganzrationale Funktion 2. Grades mit Nullstellen bei <math>t = 0</math> und <math>t = 60</math> sowie dem Scheitelpunkt <math>S(30   6)</math>. Daraus ergibt sich die gegebene Funktionsgleichung.</p> <p>Der Helikopter steigt in der gesamten Zeit zwischen <math>t = 0</math> s bis <math>t = 60</math> s. An den beiden Grenzen des betrachteten Zeitintervalls ist jeweils die Steiggeschwindigkeit Null (der Helikopter beginnt und verharrt an Schluss also bei konstanter Höhe).</p> <p>Die Steiggeschwindigkeit nimmt in den ersten 30 Sekunden zu und erreicht zur Hälfte der Zeit, also bei <math>t = 30</math> s, ihren Maximalwert von 6 m/s. Danach nimmt sie symmetrisch in der Zeit wieder ab.</p> <p><i>Hinweis: Die Beschreibung „Die Änderung der Steiggeschwindigkeit, also die Steigbeschleunigung, verläuft linear, beginnt bei einem positiven Wert, ist bei <math>t = 30</math> s Null und dann negativ“ wird nicht erwartet.</i></p>			
b)	<p>Die Einheit der <math>t</math>-Achse ist 1 s, die der <math>v</math>-Achse ist 1 m/s. Eine Fläche im Diagramm hat als Einheit das Produkt der Einheiten der Achsen, also hier die Einheit 1 m; damit ist die Dimension die einer Länge.</p> <p><i>Hinweis: Eine Argumentation wie: „Die Dimension der <math>t</math>-Achse ist die der Zeit, die der <math>v</math>-Achse die einer Geschwindigkeit. Da <math>\text{Weg} = \text{Geschwindigkeit} \cdot \text{Zeit}</math>, hat die Fläche die Dimension eines Weges“ kann noch akzeptiert werden)</i></p> <p>Ein zugehöriges <math>h(t)</math>-Diagramm (das mit <math>h(0) = 0</math>) sieht so aus:</p>  <p>Der Zusammenhang ist :</p> <p>Jede mögliche Funktion <math>h</math> ist eine Stammfunktion von <math>v_{\text{vertikal}}</math>; <math>v_{\text{vertikal}}</math> – als Beschreibung der zeitlichen Änderung von <math>h</math> – ist die Ableitungsfunktion jeder möglichen <math>h</math> – Funktion.</p>	5	10	

	Lösungsskizze	Zuordnung, Bewertung		
		I	II	III
c)	<p>Alle Flugbahnen, die der gegebenen <math>v_{\text{vertikal}}(t)</math>-Funktion entsprechen, haben „dasselbe Höhenprofil“, ihre <math>h(t)</math>-Funktionen sind also bis auf die Anfangshöhe gleich.</p> <p><i>Hinweis: Insbesondere sind die Gesamthöhendifferenz zur Ausgangshöhe und die Differenz zur Ausgangshöhe zu jedem Zeitpunkt für jede der möglichen Flugbahnen gleich.</i></p>			10
d)	<p>Eine Stammfunktion zu <math>v_{\text{vertikal}}</math> ist <math>h_{\text{vertikal}}(t) = -\frac{1}{450}t^3 + \frac{1}{5}t^2</math>.</p> <p>Die Gesamthöhendifferenz ist <math>h_{\text{vertikal}}(60) - h_{\text{vertikal}}(0)</math> und ergibt sich zu 240 m.</p> <p>Damit ist die durchschnittliche Steiggeschwindigkeit <math>\overline{v_{\text{vertikal}}} = 4 \frac{\text{m}}{\text{s}}</math>.</p> <p>Wenn man mit dem Integral arbeitet, so lautet der Ansatz</p> $\overline{v_{\text{vertikal}}} = \frac{1}{t_{\text{end}} - t_{\text{anf}}} \int_{t_{\text{anf}}}^{t_{\text{end}}} v_{\text{vertikal}}(t) dt.$ <p>Da <math>t_{\text{anf}} = 0</math> und <math>t_{\text{end}} = 60</math> sowie <math>\int_{t_{\text{anf}}}^{t_{\text{end}}} v_{\text{vertikal}}(t) dt = h_{\text{vertikal}}(t_{\text{end}}) - h_{\text{vertikal}}(t_{\text{anf}})</math>, ergeben sich die oben aufgeführten Werte.</p>			15
e)	<p>Die Drohne hat grundsätzlich ein lineares Steigverhalten, ihr Höhengewinn ist also (vom Beginn des beschriebenen Vorgangs an) proportional zur vergangenen Zeit. Im <math>h(t)</math> Diagramm ist dieses Steigverhalten immer durch eine Gerade wiedergegeben.</p> <p>Der Helikopter hingegen steigert seinen Höhengewinn bis <math>t = 30</math> s, dann schwächt sich der Höhenzuwachs wieder ab, bis sich bei <math>t = 60</math> s die Höhe nicht mehr ändert.</p> <p>Die Steiggeschwindigkeit <math>v</math> ist die Steigung der die Flugbahn beschreibenden Geraden.</p> <p>Aufgrund der Aufgabenstellung ist die Geschwindigkeit <math>v</math> eine positive Größe.</p> <p>Das folgende Diagramm enthält zusätzlich zur schon gezeigten Flugbahn des Helikopters drei mögliche Flugbahnen der Drohne, und zwar für die Geschwindigkeiten <math>v = 2 \frac{\text{m}}{\text{s}}</math>, <math>v = 4 \frac{\text{m}}{\text{s}}</math> und <math>v = 5 \frac{\text{m}}{\text{s}}</math>:</p>			

	Lösungsskizze	Zuordnung, Bewertung		
		I	II	III
	Grundsätzlich gilt $h_v(30) = 120$ . Die oben gegebene Stammfunktion $h_{\text{vertikal}}$ ist genau die Stammfunktion, die den Helikopter zum Zeitpunkt $t = 0$ s auf dem Boden starten lässt, und es ergibt sich $h_{\text{vertikal}}(30) = 120$ .	5	10	5
f)	Nur beim Maximum der $v_{\text{vertikal}}$ -Funktion (Scheitelpunkt) hat der entsprechende Funktionswert nur ein Urbild; alle anderen Steiggeschwindigkeiten des Helikopters in seinem Bereich (also $v_{\text{vertikal}} \in [0, 6]$ ) tauchen zweimal auf.  Wenn die Drohne also mit $v = 6 \frac{\text{m}}{\text{s}}$ steigt, haben die beiden Objekte zu genau einem Zeitpunkt dieselbe Steiggeschwindigkeit – nämlich 6 m/s. Demzufolge hat die Drohne zweimal dieselbe Steiggeschwindigkeit wie der Helikopter, wenn ihre Steiggeschwindigkeit zwischen 0 m/s und 6 m/s liegt (letzterer Wert ist ausgeschlossen).	5	10	
g)	Hier müssen die Terme der Höhenfunktionen gleichgesetzt werden: $v \cdot (-15) + 120 = -\frac{1}{450} \cdot 15^3 + \frac{1}{5} \cdot 15^2$ .  Es ergibt sich $v = 5,5 \frac{\text{m}}{\text{s}}$ ; die Drohne muss also eine Steiggeschwindigkeit von 5,5 m/s haben. Damit ist die gefragte Höhe 37,5 m. Um die Startverzögerung zu errechnen, muss die Gleichung $0 = 5,5 \cdot (t_{\text{Start}} - 30) + 120$ gelöst werden.  Es ergibt sich $t_{\text{Start}} = 8 \frac{2}{11} \text{ s} \approx 8,18 \text{ s}$ .  Als Konsequenz aus e) wird die Drohne auch nach 30 s, in einer Höhe von 120 m, unmittelbar neben dem Helikopter sein. Sie wird – als Konsequenz der Symmetrie – aber auch noch ein drittes Bild liefern können, und zwar 45 s nach Start des Helikopters in einer Höhe von 203,5 m.	(10)	(10)	
	Insgesamt 100 BWE	20	60	20

### Aufgabe 6: Kanalbett



Ein Kanalbett soll mithilfe einer Funktion beschrieben werden. Dazu ist ein erster Ansatz gemacht worden:

$$h(x) = \begin{cases} -2 \cos\left(\frac{\pi}{8}x\right) + 2; & -4 \leq x \leq 0 \\ -\cos\left(\frac{\pi}{8}x\right) + 1; & 0 < x \leq 8 \end{cases}$$

Eine Einheit entspricht hierbei 10 m in der Natur.

- Zeigen Sie, dass der Graph von  $h$  durch die Punkte  $P$ , den Koordinatenursprung und  $H$  geht, im Koordinatenursprung einen Tiefpunkt und in  $H$  einen Hochpunkt hat.
- Zeichnen Sie den Graphen von  $h$ .
- $h(x)$  ist abschnittsweise definiert. Begründen Sie, warum **nur ein** trigonometrischer Funktionsterm vom Typ  $(-a \cdot \cos(b \cdot x) + c)$  nicht ausreicht, um das ganze Kanalbett zu beschreiben.

Ein zweiter vereinfachender Ansatz sieht so aus:

$$f(x) = -\frac{1}{128}x^3 + \frac{3}{32}x^2$$

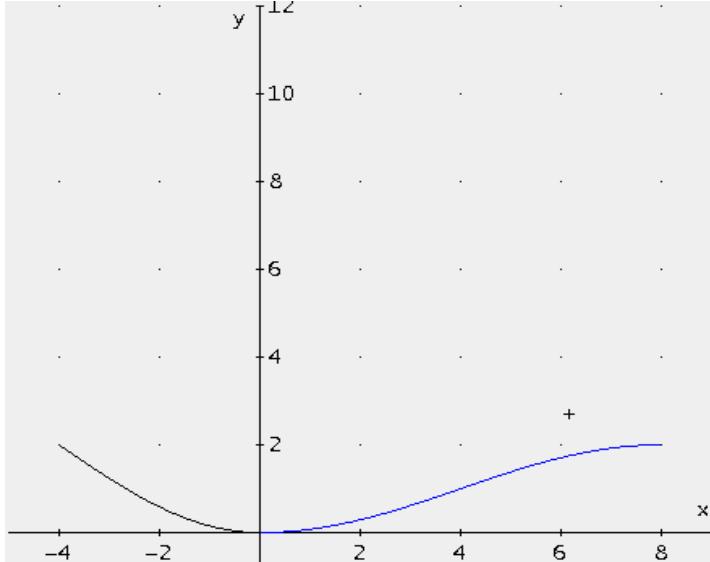
- Zeigen Sie, dass der Graph von  $f$  ebenso wie der von  $h$  durch die gegebenen Punkte geht, im Koordinatenursprung einen Tiefpunkt und in  $H$  einen Hochpunkt hat.
- Zeichnen Sie den Graphen von  $f$  in ein zweites Koordinatensystem.
- Bei einem starken Hochwasser steigt das Wasser bis zum Punkt  $H$ . Berechnen Sie mithilfe der Funktion  $f$  den Inhalt der Querschnittsfläche des dann mit Wasser gefüllten Kanals.
- Begründen Sie, warum sich für den rechten Teil des Kanalprofils bei beiden Funktionen ( $f$  und  $h$ ) der gleiche Flächeninhalt der Querschnittsfläche ergibt.  
Beziehen Sie in Ihre Argumentation die Wendepunkte beider Graphen ein.

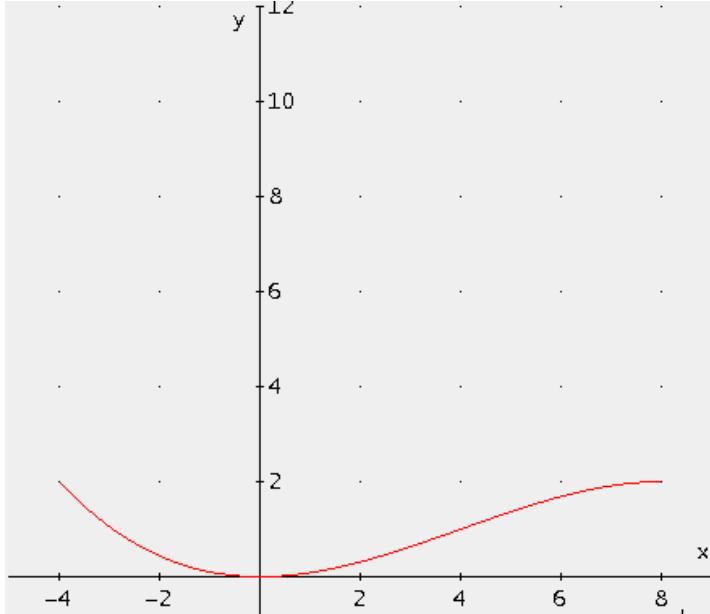
#### Alternative Teilaufgabe

- Von  $H$  soll eine unterirdische, gerade Leitung ausgehen und im Punkt  $B(u | f(u))$  mit  $0 < u < 8$  ins Kanalbett münden. Bestimmen Sie  $B$  so, dass die Leitung möglichst steil verläuft.

**Erwartungshorizont**

	<b>Lösungsskizze</b>	Zuordnung, Bewertung		
		I	II	III
a)	<p>Einsetzen der Koordinaten <math>-4</math>, <math>0</math> und <math>8</math> für <math>x</math> in die Gleichung von <math>h</math> ergibt; <math>h(-4) = 2</math>, <math>h(0) = 0</math> und <math>h(8) = 2</math>.</p> <p>Für den Nachweis der Extrempunkte gibt es mehrere Möglichkeiten: Vergleicht man die Funktion <math>h</math> mit der Kosinusfunktion, so erkennt man: Der Graph der Kosinusfunktion wird an der <math>x</math>-Achse gespiegelt und in <math>x</math>-Richtung um den Faktor <math>8</math> gestreckt. Zudem gilt</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– für <math>x \leq 0</math>: Der Graph wird um den Faktor <math>2</math> in <math>y</math>-Richtung gestreckt und um <math>2</math> Einheiten nach oben verschoben. Der Wertebereich von <math>h</math> ist hier also das Intervall <math>[0;2]</math>.</li> <li>– für <math>x &gt; 0</math>: Der Graph wird um eine Einheit nach oben verschoben. Der Wertebereich von <math>h</math> ist hier also das Intervall <math>]0;2]</math>.</li> </ul> <p>Damit ist der Koordinatenursprung der Tiefpunkt des Graphen von <math>h</math>, <math>H</math> ein Hochpunkt.</p> <p><u>Oder:</u> Man betrachtet die Ableitungsfunktionen: Eine hinreichende Bedingung für Extremstellen ist: <math>h'(0) = 0</math> und <math>h''(0) &gt; 0</math> bzw. <math>h'(8) = 0</math> und <math>h''(8) &lt; 0</math>. Die ersten zwei Ableitungen lauten:</p> $h'(x) = \begin{cases} \frac{\pi}{4} \sin\left(\frac{\pi}{8}x\right), & -4 \leq x \leq 0 \\ \frac{\pi}{8} \sin\left(\frac{\pi}{8}x\right), & 0 < x \leq 8 \end{cases} \quad \text{und} \quad h''(x) = \begin{cases} \frac{\pi^2}{32} \cos\left(\frac{\pi}{8}x\right), & -4 \leq x \leq 0 \\ \frac{\pi^2}{64} \cos\left(\frac{\pi}{8}x\right), & 0 < x \leq 8 \end{cases}.$ <p>Es gilt: <math>h'(0) = \frac{\pi}{4} \sin(0) = 0</math> bzw. <math>h'(8) = \frac{\pi}{8} \sin(\pi) = 0</math> und <math>h''(0) = \frac{\pi^2}{32} \cos(0) = \frac{\pi^2}{32} &gt; 0</math> bzw. <math>h''(8) = \frac{\pi^2}{64} \cos(\pi) = -\frac{\pi^2}{64} &lt; 0</math>.</p> <p>Auf die zweite Ableitungsfunktion kann verzichtet werden, wenn die Art der Nullstellen von <math>h'</math> betrachtet wird. Es handelt sich jeweils um einfache Nullstellen, also mit Vorzeichenwechsel.</p>	5	15	

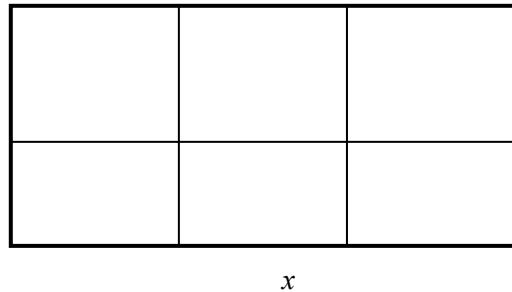
	Lösungsskizze	Zuordnung, Bewertung		
		I	II	III
b)				
				10
c)	<p>Die Graphen der trigonometrischen Funktionen vom obigen Typ sind achsensymmetrisch zur <math>y</math>-Achse. Sie gehen aus dem Graphen der Kosinusfunktion durch Vergrößerung der Periode, z. T. Vergrößerung der Amplitude, Spiegelung an der <math>x</math>-Achse und Verschiebung in Richtung der <math>y</math>-Achse hervor. Durch keine dieser Veränderungen ändert sich etwas an der Eigenschaft, dass der Graph achsensymmetrisch zur <math>y</math>-Achse ist. Das Kanalbett ist aber offensichtlich nicht achsensymmetrisch, also kann eine Funktion alleine nicht das Kanalbett beschreiben.</p>			10 5
d)	<p>Einsetzen der Koordinaten <math>-4</math>, <math>0</math> und <math>8</math> für <math>x</math> in die Gleichung von <math>f</math> ergibt:  <math>f(-4) = 2</math>, <math>f(0) = 0</math> und <math>f(8) = 2</math>.</p> <p><math>x = 0</math> ist eine doppelte Nullstelle von <math>f</math>, also berührt der Graph von <math>f</math> die <math>x</math>-Achse im Koordinatenursprung. Da <math>P</math> und <math>H</math> oberhalb der <math>x</math>-Achse liegen, muss es sich um einen Tiefpunkt handeln. Es muss, da <math>f</math> eine Funktion 3. Grades ist, noch einen Hochpunkt geben. Dieser liegt an der zweiten Nullstelle von</p> $f'(x) = -\frac{3}{128}x^2 + \frac{3}{16}x, \text{ an der Stelle } x = 8.$ <p>Oder: Mithilfe der beiden Ableitungsterme</p> $f'(x) = -\frac{3}{128}x^2 + \frac{3}{16}x \quad \text{und} \quad f''(x) = -\frac{3}{64}x + \frac{3}{16} \text{ erhält man}$ $f'(0) = 0 \text{ bzw. } f'(8) = -\frac{3}{128} \cdot 64 + \frac{3}{16} \cdot 8 = 0 \quad \text{und}$ $f''(0) = \frac{3}{16} > 0 \text{ bzw. } f''(8) = -\frac{3}{64} \cdot 8 + \frac{3}{16} = -\frac{3}{16} < 0.$ <p>Oder man betrachtet wie in Teil a) lediglich die Art der Nullstellen von <math>f</math> und verzichtet auf die Untersuchung von <math>f''</math>.</p>			15

	Lösungsskizze	Zuordnung, Bewertung		
		I	II	III
e)				5
f)	<p><math>H(8   2)</math> und <math>P(-4   2)</math> liegen beide auf der Geraden <math>y = 2</math>. Deshalb ist die Querschnittsfläche gleich dem Flächeninhalt zwischen dieser Geraden und dem Graphen von <math>f</math>.</p> $\begin{aligned} \int_{-4}^8 (2 - f(x)) dx &= \int_{-4}^8 \left( 2 + \frac{1}{128}x^3 - \frac{3}{32}x^2 \right) dx \\ &= \left[ 2x + \frac{1}{512}x^4 - \frac{1}{32}x^3 \right]_{-4}^8 \\ &= 16 + 8 - 16 - (-8 + 0,5 + 2) \\ &= 13,5 \end{aligned}$ <p>Die Querschnittsfläche hat den Inhalt 13,5 FE.</p>			15
g)	<p>Beide Graphen haben den Wendepunkt <math>W(4   1)</math> und sind bezüglich <math>W</math> punktsymmetrisch. Damit hat die Fläche zwischen den Graphen von <math>f</math> und <math>h</math> über dem Intervall <math>[0 ; 4]</math> den gleichen Inhalt wie die über dem Intervall <math>[4 ; 8]</math>. Für den Flächeninhalt der Querschnittsfläche bedeutet das also: was der Graph der Funktion <math>h</math> auf dem Intervall <math>[0 ; 4]</math> mehr an Fläche mit der Parallelen zur <math>x</math>-Achse einschließt als der Graph der Funktion <math>f</math>, schließt dieser auf dem Intervall <math>[4 ; 8]</math> mehr ein als der Graph von <math>h</math>.</p>			20
g*)	<p>Zuerst wird die Steigung der Geraden durch <math>B</math> und <math>H</math> in Abhängigkeit von <math>u</math> bestimmt. Von dieser Funktion wird anschließend das Maximum gesucht.</p> $m(u) = \frac{2 - f(u)}{8 - u} = \frac{2 - \left( -\frac{1}{128}u^3 + \frac{3}{32}u^2 \right)}{8 - u}$ <p>Die Ableitungsfunktion hat den Term:</p>			

	<b>Lösungsskizze</b>	Zuordnung, Bewertung		
		I	II	III
	$m'(u) = \frac{\left(\frac{3}{128}u^2 - \frac{3}{16}u\right) \cdot (8-u) - \left(2 + \frac{1}{128}u^3 - \frac{3}{32}u^2\right) \cdot (-1)}{(8-u)^2}$ $= \frac{-\frac{1}{64}u^3 + \frac{9}{32}u^2 - \frac{3}{2}u + 2}{(8-u)^2}$ <p>Die notwendige Bedingung für eine Maximumstelle <math>m'(u) = 0</math> führt auf die Gleichung <math>-\frac{1}{64}u^3 + \frac{9}{32}u^2 - \frac{3}{2}u + 2 = 0</math> wobei nur die Nullstellen in <math>\mathbb{R} \setminus \{8\}</math> zu beachten sind. Durch Probieren findet man <math>u_{M1} = 2</math> und kann mithilfe der Polynomdivision oder eines numerischen Verfahrens die anderen Nullstellen finden. Die weitere Rechnung zeigt, dass <math>u_{M2} = 8</math> eine doppelte Nullstelle ist. Da <math>m(8)</math> nicht definiert ist, ist <math>u_{M1} = 2</math> genauer zu untersuchen. Lässt man den Punkt <math>B</math> auf dem Graphen von <math>f</math> zum Koordinatenursprung wandern, so erhält man zunächst Leitungen mit kleinen Steigungen. Die Leitungen verlaufen dann immer steiler, um dann wieder abzuflachen. Es muss zwischendurch genau ein Maximum geben, eben an der Stelle 2.</p> <p>Oder: Eine hinreichende Bedingung ist z. B. ein Vergleich von Funktionswerten, die in der Nähe von <math>u_{M1}</math> liegen:</p> $m(1) = \frac{35}{128}, \quad m(2) = \frac{9}{32} = \frac{36}{128}, \quad m(3) = \frac{35}{128}.$ <p>Also ist <math>u_{M1}</math> eine Maximumstelle. Die Koordinaten sind: <math>B\left(2 \left  \frac{36}{128}\right.\right)</math>.</p> <p><u>Alternativer Lösungsweg:</u> Wenn man verschiedene Geraden durch <math>H</math> betrachtet, die mit dem Graphen von <math>f</math> den Punkt <math>B(u f(u))</math> <u>gemeinsam haben</u>, so ist die Gerade am steilsten, die den Graphen in <math>B</math> nur berührt, also Tangente an <math>B</math> ist. Dann lässt sich die Steigung dieser Geraden auf zwei Arten ausdrücken und es gilt: <math>\frac{f(u) - f(2)}{u - 8} = f'(u)</math>. Umgeformt ergibt sich folgende Gleichung:</p> $-\frac{1}{128}u^3 + \frac{3}{32}u^2 - 2 = \left(-\frac{3}{128}u^2 + \frac{3}{16}u\right) \cdot (u - 8).$ <p>Nach <math>u</math> aufgelöst (durch Probieren und Polynomdivision bzw. ein numerisches Verfahren) ergeben sich die Lösungen <math>u = 2</math> und <math>u = 8</math>. Da die Steigung der Geraden an der Stelle <math>u = 8</math> nicht definiert ist, folgt: <math>u = 2</math> ist die einzige Lösung und die Koordinaten von <math>B</math> lauten: <math>B\left(2 \left  \frac{36}{128}\right.\right)</math>.</p>			
	Insgesamt 100 BWE	25	50	25

### Aufgabe 7: Zäune

Ein Tierpark plant eine rechteckige Fläche als Gehege mit 6 kleineren rechteckigen Bereichen anzulegen (siehe Abbildung). Für den Außenzaun ist mit 20 € je Meter, für den Innenzaun mit 10 € je Meter Zaunlänge zu rechnen. Zunächst sollen Zugänge und Tore bei der Kalkulation unberücksichtigt bleiben.



- a) Berechnen Sie die Gesamtkosten für alle Zäune zunächst unter der Annahme, dass die Gesamtfläche quadratisch ist und einen Inhalt von 3 000 m<sup>2</sup> hat.

- b) Zeigen Sie, dass die Funktion  $K$  mit

$$K(x) = 50x + \frac{180000}{x}$$

die Gesamtkosten für alle benötigten Zäune beschreibt, wenn das rechteckige Gehege 3 000 m<sup>2</sup> groß ist.

Dabei ist  $x$  die Seite des Geheges, an die 3 Innenbereiche grenzen.

- c) Untersuchen Sie das Verhalten der Funktion  $K$  für  $x \rightarrow 0$ .

Interpretieren Sie das Ergebnis.

Legen Sie einen sinnvollen Definitionsbereich für die Funktion  $K$  fest.

Begründen Sie ohne Rechnung, warum diese Funktion keine Nullstellen haben kann, jedoch mindestens einen lokalen Extremwert haben muss.

- d) Bestimmen Sie die äußeren Abmessungen für ein 3 000 m<sup>2</sup> großes Gehege so, dass die Gesamtkosten für alle benötigten Zäune minimal werden.

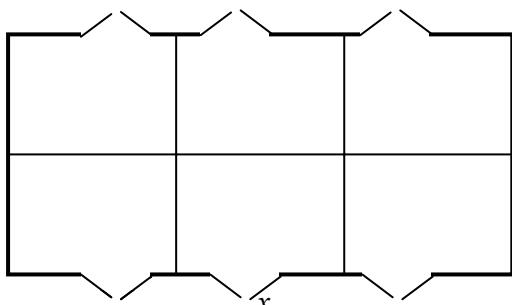
Geben Sie den Betrag an, der also mindestens für die Zäune veranschlagt werden muss.

- e) Zeichnen Sie den Graphen von  $K$  in dem von Ihnen in c) festgelegten Definitionsbereich in ein geeignetes Koordinatensystem.

Für den Kauf der Zäune stehen nur 5 000 € zur Verfügung.

- f) Berechnen Sie den maximalen Inhalt der Fläche, die eingezäunt werden könnte, wenn jegliche Tore unberücksichtigt bleiben sollen.

- g) Tatsächlich aber soll jeder Bereich ein Tor nach außen erhalten (siehe nebenstehende Skizze). Solch ein Tor ist 2 Meter breit und kostet 200 €. Bestimmen Sie, um wie viele m<sup>2</sup> dadurch die maximal einzähbare Fläche kleiner wird.



## Erwartungshorizont

	Lösungsskizze	Zuordnung, Bewertung		
		I	II	III
a)	Die Seitenlänge des Quadrats beträgt $x = \sqrt{3000}$ m. Der Außenzaun hat dann eine Länge von $4x$ , die Innenzäune von $3x$ . Die Gesamtkosten in € betragen also $4 \cdot \sqrt{3000} \cdot 20 + 3 \cdot \sqrt{3000} \cdot 10 = 110 \cdot \sqrt{3000} \approx 6024,95$	5	5	
b)	Bezeichnet man mit $y$ die Seite des Geheges, an die zwei Innenbereiche grenzen, so gilt: $x \cdot y = 3000 \Leftrightarrow y = \frac{3000}{x}$ . Für die Kosten $K$ gilt: $K(x, y) = 2 \cdot (x + y) \cdot 20 + (x + 2y) \cdot 10 = 50x + 60y$ , also $K(x) = 50x + \frac{180000}{x}$ . <i>Hinweis: Es wird nicht erwartet, dass Schülerinnen und Schüler die Schreibweise <math>K(x, y)</math> benutzen.</i>		10	5
c)	Für $x \rightarrow 0$ gilt: $K(x) \rightarrow \infty$ , da der zweite Summand beliebig groß wird. Für das Gehege bedeutet dies, dass, wenn die Seite $x$ des Rechtecks verkleinert wird, die Seite $y$ wegen des konstanten Flächeninhalts vergrößert wird. Vernachlässigt man die Dicke der Zäune, so werden die Zäune der Länge $y$ beliebig lang und damit die Kosten entsprechend riesig. Jede nachvollziehbare, auf das Gehege bezogene Festlegung kann akzeptiert werden, nicht jedoch $D_K = \mathbb{R}^*$ oder $D_K = \mathbb{R}^+$ . Da ein Gebiet eingezäunt wird, entstehen in jedem Fall Kosten. $K(x) > 0$ . Für $x \rightarrow \infty$ gilt analog zu oben: $K(x) \rightarrow \infty$ . Es muss also mindestens ein lokales Minimum geben.		10	10
d)	$K'(x) = 50 - \frac{180000}{x^2}$ . Da es nur eine positive Nullstelle der ersten Ableitung gibt und zwar bei $x = 60$ , liegt hier nach den Überlegungen aus c) das lokale Minimum. Das Gehege hat dann die Maße 60 m x 50 m. $K(60) = 6000$ . Die Kosten für die Zäune betragen also mindestens 6000 €.	10		
e)	Für den Definitionsbereich $[30; 180]$ erhält man: 	10	5	

	Lösungsskizze	Zuordnung, Bewertung		
		I	II	III
f)	<p>Die Kosten dürfen nur 5 000 € betragen. Es muss also gelten:</p> $50x + 60y = 5000 \Leftrightarrow y = \frac{500}{6} - \frac{5}{6}x.$ <p><math>A(x, y) = x \cdot y</math> bzw. <math>A(x) = \frac{500}{6}x - \frac{5}{6}x^2</math> beschreibt den Flächeninhalt des eingezäunten Rechtecks.</p> <p>Der Graph dieser Funktion ist eine nach unten geöffnete Parabel mit dem Scheitelpunkt <math>(50 2083, \bar{3})</math>. Die maximale Fläche ist also ca. <math>2083 \text{ m}^2</math> groß.</p>	10	5	
g)	<p>Durch den Einbau der 6 Tore entstehen Mehrkosten von 960 € im Vergleich zu f). Analog ergibt sich: <math>50x + 60y = 4040 \Leftrightarrow y = \frac{202}{3} - \frac{5}{6}x</math> sowie <math>A(x) = \frac{202}{3}x - \frac{5}{6}x^2</math> mit dem Scheitelpunkt <math>(40,4 1360, \bar{13})</math>.</p> <p>Jetzt können nur noch ca. <math>1360 \text{ m}^2</math> eingezäunt werden, also etwa <math>720 \text{ m}^2</math> weniger.</p>	10	5	
	Insgesamt 100 BWE	25	50	25

### Aufgabe 8: Kondensator

Ein Plattenkondensator besteht aus einem Paar gleichgroßer Metallplatten, die voneinander isoliert in einem festen Abstand montiert sind.

Verbindet man die beiden Platten je mit einem Pol einer Batterie, so lässt die Batterie Strom fließen, so dass sich die beiden Kondensatorplatten unterschiedlich aufladen. Dadurch wächst seinerseits die Spannung zwischen den Kondensatorplatten, so dass die Batterie gegen diese Spannung am Kondensator immer weniger Strom fließen lassen kann.

Während die Batterie immer eine konstante Spannung  $U_0$  liefert, ist die Spannung am Kondensator zeitabhängig: Sie lässt sich durch eine Spannungs-Funktion  $U(t)$  beschreiben. Diese Funktion hat dabei die Gleichung

$$U(t) = U_0 \cdot (1 - e^{-t/\tau}) .$$

Die Zeit  $t$  ist eine positive reelle Zahl (Es wird ab dem Augenblick des Einschaltens gezählt).

$U_0$  ist die Batteriespannung,

$\tau$  ist eine für den Kondensator charakteristische Größe.

Natürlich tragen  $U$  und  $t$  auch Einheiten (die Spannung  $U$  wird in Volt gemessen, die Zeit  $t$  in Sekunden), dies soll aber in dieser Aufgabe unberücksichtigt bleiben.

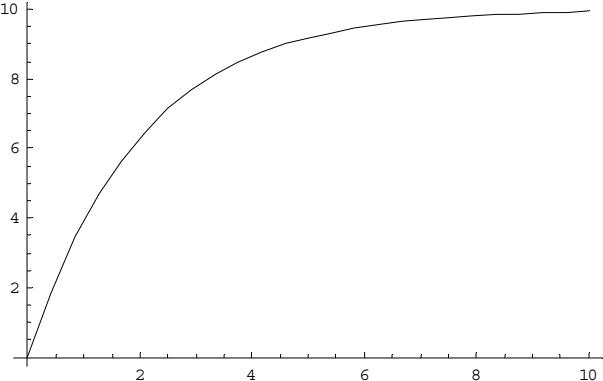
- Skizzieren Sie den Graphen von  $U(t)$  für  $U_0 = 10$  und  $\tau = 2$  im Intervall  $0 \leq t \leq 10$ . Berechnen Sie den Zeitpunkt  $t$ , bei dem am Kondensator 90% der Batteriespannung  $U_0$  herrschen.
- Begründen Sie, warum die Funktion  $U$  den oben angeführten Vorgang sinnvoll beschreibt: Gehen Sie dabei besonders auf das Wachstum von  $U$  und die Grenze dieses Wachstums ein.
- Bestimmen Sie die Änderung der Spannung am Kondensator im Moment des Einschaltens (also bei  $t = 0$ ). Weisen Sie rechnerisch nach, dass der Schnittpunkt der Tangente an die Spannungs-Funktion an dieser Stelle die Gerade  $y = U_0$  immer bei  $t = 1\tau$  schneidet.

Wie schon anfangs erläutert, lässt die Batterie Strom fließen und lädt damit den Kondensator auf. Dabei gilt: Die Stromstärke  $I(t)$  ist umso höher, je geringer die Spannung am Kondensator ist; sollte die Spannung am Kondensator die Batteriespannung erreicht haben, so kann die Batterie keinen Strom mehr fließen lassen. Die Anfangs-Stromstärke heißt  $I_0$ .

Die Stromstärke-Funktion hat die Funktionsgleichung  $I(t) = I_0 \cdot e^{-\frac{t}{\tau}}$  mit den bekannten Größen.

- Begründen Sie wiederum, warum diese Funktion den Vorgang sinnvoll beschreibt. Berechnen Sie (für  $\tau = 2$ ) den Zeitpunkt, bei dem die Stromstärke nur noch 10 % ihres anfänglichen Wertes aufweist.
- Die Menge an Ladung  $Q$ , die die Batterie bis zu einem Zeitpunkt  $t$  auf den Kondensator hat fließen lassen, wird durch die Fläche zwischen dem Graphen von  $I(t)$  und der Zeit-Achse (bis zum jeweiligen Zeitpunkt) dargestellt. Geben Sie die Gleichung der Funktion  $Q$  an. Berechnen Sie (für  $\tau = 2$  und  $I_0 = 2$ ) die Ladung auf dem Kondensator bei  $t = 2\tau$ . Bestimmen Sie die maximale Ladung, die der Kondensator bei dieser Anfangstromstärke  $I_0$  aufnehmen kann.
- Schließlich:  
Der Widerstand eines elektrischen Geräts ist der Quotient aus Spannung und Stromstärke:  $R = \frac{U}{I}$ . Dies gilt selbstverständlich auch für Kondensatoren. Beurteilen Sie, wie sich der Widerstand eines Kondensators mit der Zeit ändert.

## Erwartungshorizont

	Lösungsskizze	Zuordnung, Bewertung		
		I	II	III
a)	 <p>Es muss gelten: <math>0,9 = \frac{U(t)}{U_0} = 1 - e^{-t/2} \Leftrightarrow t = -2 \cdot \ln 0,1</math>. Damit ergibt sich <math>t \approx 4,605</math>.</p>	15	5	
b)	<p>Die Beschreibung des Vorgangs liefert:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Die Spannung am Kondensator wächst ständig.</li> <li>Sie kann aber höchstens den Wert der Batteriespannung (also <math>U_0</math>) annehmen.</li> <li>Das Wachstum wird immer langsamer und nähert sich dem Endwert an.</li> </ul> <p>Die gegebene Funktion <math>U</math> erfüllt diese Kriterien:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Da der Term <math>e^{-t/\tau}</math> monoton mit wachsenden <math>t</math> kleiner wird, wächst der Term <math>(1 - e^{-t/\tau})</math> monoton.</li> <li>Da der Term <math>e^{-t/\tau}</math> für wachsendes <math>t</math> gegen Null geht, geht der Term <math>(1 - e^{-t/\tau})</math> für wachsendes <math>t</math> gegen 1. Also geht der Funktionsterm <math>U_0 \cdot (1 - e^{-t/\tau})</math> gegen <math>U_0</math>.</li> <li>Da der Term <math>e^{-t/\tau}</math> für wachsendes <math>t</math> immer langsamer fällt, steigt der Term <math>(1 - e^{-t/\tau})</math> für wachsendes <math>t</math> immer langsamer. Also geht der Funktionsterm <math>U_0 \cdot (1 - e^{-t/\tau})</math> immer langsamer gegen <math>U_0</math>.</li> </ul> <p><i>Bemerkung: Die Beschreibung des Vorgangs sagt nicht, dass die Änderungsrate der beschreibenden Funktion proportional zum Abstand vom Endwert ist. Insofern ist aus der Beschreibung die Funktion nicht eindeutig zu gewinnen. Aber dies ist auch nicht gefordert – es ist lediglich gefordert, zu zeigen, dass die Funktion die angegebenen Eigenschaften wiedergibt.</i></p>	15		

	Lösungsskizze	Zuordnung, Bewertung		
		I	II	III
c)	<p>Der Wert der (zeitlichen) Änderung der Spannung ist der Wert der Ableitung der Funktion <math>U</math> zu dem entsprechenden Zeitpunkt.      Da im angegebenen Fall <math>U'(t) = 5 \cdot e^{-t/2}</math>, ergibt sich <math>U'(0) = 5</math>.      Allgemein gilt <math>U'(t) = \frac{U_0}{\tau} \cdot e^{-t/\tau}</math> und damit <math>U'(0) = \frac{U_0}{\tau}</math>. Die Tangente an die <math>U</math> – Funktion bei <math>t = 0</math> geht durch den Ursprung und hat die Steigung <math>U'(0)</math>. Damit hat sie die Gleichung <math>tg(t) = \frac{U_0}{\tau} \cdot t</math>, und diese Funktion erreicht den Wert <math>U_0</math> bei <math>t = 1\tau</math>.</p> <p><i>Hinweis: Dass in der Physik üblicherweise die zeitliche Ableitung mit <math>\dot{U}</math> statt mit <math>U'</math> dargestellt wird, kann hier nicht erwartet werden. Ebenso muss unberücksichtigt bleiben, dass <math>U'</math> eben keine Spannung ist, sondern eine Spannungsänderung, die die Einheit 1 V/s trägt.</i></p>			15
d)	<p>Die Beschreibung des Vorgangs liefert:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Die Stromstärke sinkt, von einem Anfangswert beginnend, ständig.</li> <li>Die Stromstärke ist an die Spannung am Kondensator so gekoppelt, dass sie direkt von der Differenz Kondensatorspannung – Batteriespannung abhängt.</li> <li>Wenn <math>U(t) = U_0</math>, ist die Stromstärke Null.</li> </ul> <p>Die gegebene Stromstärke-Funktion erfüllt diese Bedingungen:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Eine Exponential-Funktion mit negativem Exponenten für positive Argumente fällt monoton und geht für wachsende Argumente gegen Null.</li> <li>Die gegebene Funktion lässt die Stromstärke sogar proportional zur Differenz Kondensatorspannung – Batteriespannung sein.</li> </ul> <p><i>Bemerkung: Diese Proportionalität ist in der Beschreibung nicht gefordert – die Beschreibung spricht nur von je – desto. Sie liegt aber nahe, wird normalerweise unmittelbar angenommen und ist auch physikalisch korrekt.</i></p> <p>Für den Zeitpunkt <math>t_{0,1}</math>, zu dem die Stromstärke auf 10 % ihres Anfangswertes abgefallen ist, muss gelten:</p> $e^{-t_{0,1}/2} = \frac{I(t_{0,1})}{I_0} = 0,1 \Leftrightarrow t_{0,1} = -2 \cdot \ln 0,1 \approx 4,605.$			15
e)	<p>Die Aufgabe führt die Funktion <math>Q</math> als Integralfunktion ein:</p> $Q(t) = \int_0^t I(h)dh.$ <p>Mit der bekannten Stromstärke-Funktion ergibt sich</p> $\int I(t)dt = -I_0 \cdot \tau \cdot e^{-t/\tau} + c_0$ <p>und damit mit den gegebenen Werten <math>Q(t) = 4 - 4e^{-t/2} = 4 \cdot (1 - e^{-t/2})</math>.</p> <p>Der Wert der gefragten Ladung ergibt sich als <math>Q(4)</math>:</p> $Q(4) = 4 \cdot (1 - e^{-2}) \approx 3,569.$			

	Lösungsskizze	Zuordnung, Bewertung		
		I	II	III
	<p>Die maximal aufnehmbare Ladung ist der Wert für <math>Q(t)</math>, der sich ergibt, wenn man <math>t</math> über alle Grenzen wachsen lässt.</p> <p>Wenn <math>t</math> immer größer wird, so wird <math>e^{-t/2}</math> immer kleiner und konvergiert gegen Null.</p> <p>Also ist der gesuchte Wert für die maximale Ladungsmenge <math>Q_{\max} = 4</math>.</p> <p><i>Bemerkung: Diese Argumentation ist auch ohne eine streng formale Einführung des Begriffs des uneigentlichen bestimmten Integrals durchführ- und nachvollziehbar.</i></p>	5	10	5
f)	<p>Mit <math>U(t) = U_0 \cdot (1 - e^{-t/\tau})</math>, <math>I(t) = I_0 \cdot e^{-t/\tau}</math> sowie <math>R = \frac{U}{I}</math> ergibt sich</p> $R(t) = \frac{U_0(1 - e^{-t/\tau})}{I_0 e^{-t/\tau}} = \frac{U_0}{I_0} \cdot (e^{t/\tau} - 1).$ <p>Diese Funktion beginnt bei <math>t = 0</math> mit <math>R(0) = 0</math>, steigt streng monoton und verhält sich für große <math>t</math>-Werte wie eine Exponentialfunktion.</p> <p>Also:</p> <p>Beim Einschalten hat der Kondensator praktisch überhaupt keinen Widerstand. Während des Aufladens wächst der Widerstand des Kondensators stetig und steigt schließlich exponentiell an.</p>			15
	Insgesamt 100 BWE	20	60	20

### Aufgabe 9: Radioaktiver Zerfall

Beim radioaktiven Zerfall einer Substanz  $S_1$  beschreibt  $m_1(t)$  die Masse der noch nicht zerfallenen Substanz zum Zeitpunkt  $t$  mit  $m_1(t)$  in mg und  $t$  in Stunden nach Beobachtungsbeginn.

Dabei gilt:  $m_1(t) = 100 \cdot e^{-0,5t}$ .

a) Geben Sie an, wie groß die Masse der Substanz  $S_1$  am Beobachtungsbeginn war.

Berechnen Sie die Halbwertszeit dieses Zerfalls, d.h. die Zeit, nach der nur noch die Hälfte der ursprünglichen Substanz vorhanden ist.

Bestimmen Sie die nach 6 Stunden bereits zerfallene Masse.

Das Zerfallsprodukt der radioaktiven Substanz  $S_1$  ist die Substanz  $S_2$ . Auch diese Substanz ist radioaktiv und zerfällt demzufolge weiter. Für die Masse  $m_2(t)$  der noch nicht zerfallenen Substanz  $S_2$  gilt dann:

$$m_2(t) = 100 \cdot e^{-0,5t} \cdot (1 - e^{-0,5t})$$

b) Berechnen Sie, wie viel an Substanz  $S_2$  zum Zeitpunkt  $t = 0$  vorhanden ist und interpretieren Sie dieses Ergebnis.

Begründen Sie, dass es zu einem gewissen Zeitpunkt eine maximale Masse der Substanz  $S_2$  geben muss und berechnen Sie den Zeitpunkt und die zugehörige Menge.

c) Zeichnen Sie die Graphen von  $m_1$  und von  $m_2$  in ein Koordinatensystem ein.

d) Gegeben ist die Funktion  $g$  durch

$$g(x) = -50e^{-0,5x} + 100e^{-x}; x \in \mathbb{R}^+$$

Bestimmen Sie die Null- und Extremstellen von  $g$ .

Beschreiben Sie das Verhalten von  $g$  für  $x \rightarrow \infty$ ?

Zeichnen Sie auch den Graphen von  $g$  in Ihr Koordinatensystem ein.

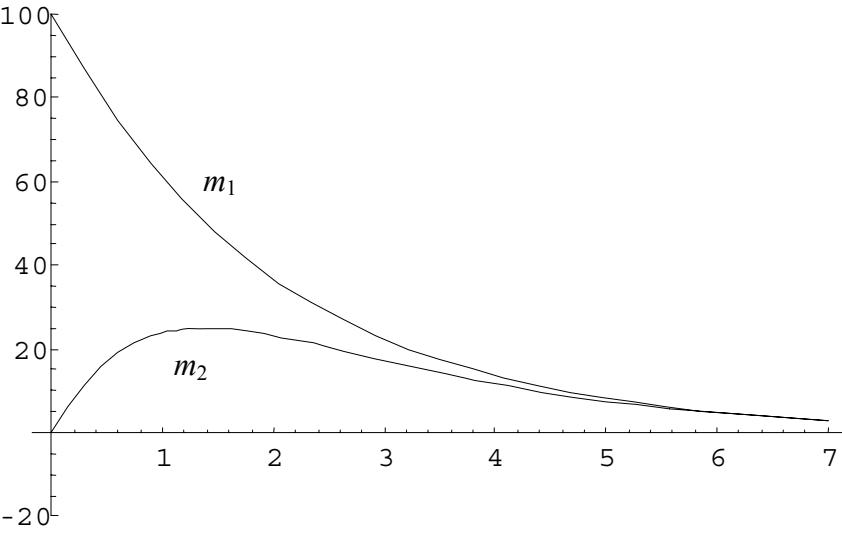
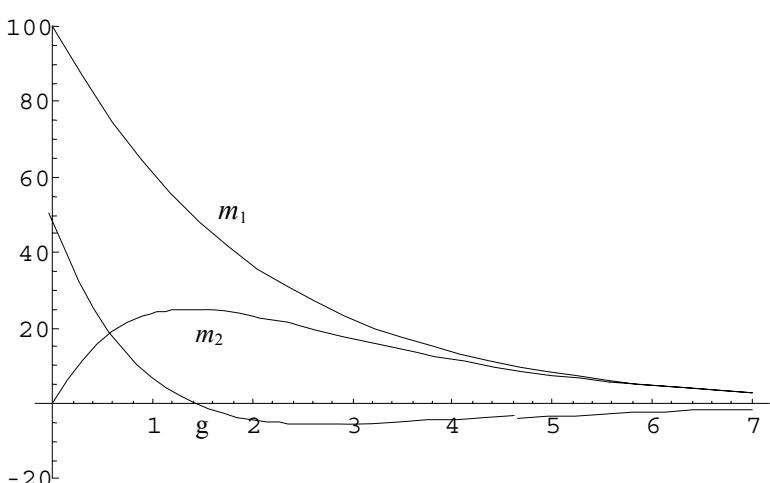
Zeigen Sie, dass die Funktion  $m_2$  eine Stammfunktion zur Funktion  $g$  ist.

e) Bestimmen Sie den Inhalt der Fläche, die von dem Graphen von  $g$ , der  $x$ -Achse und der  $y$ -Achse begrenzt wird.

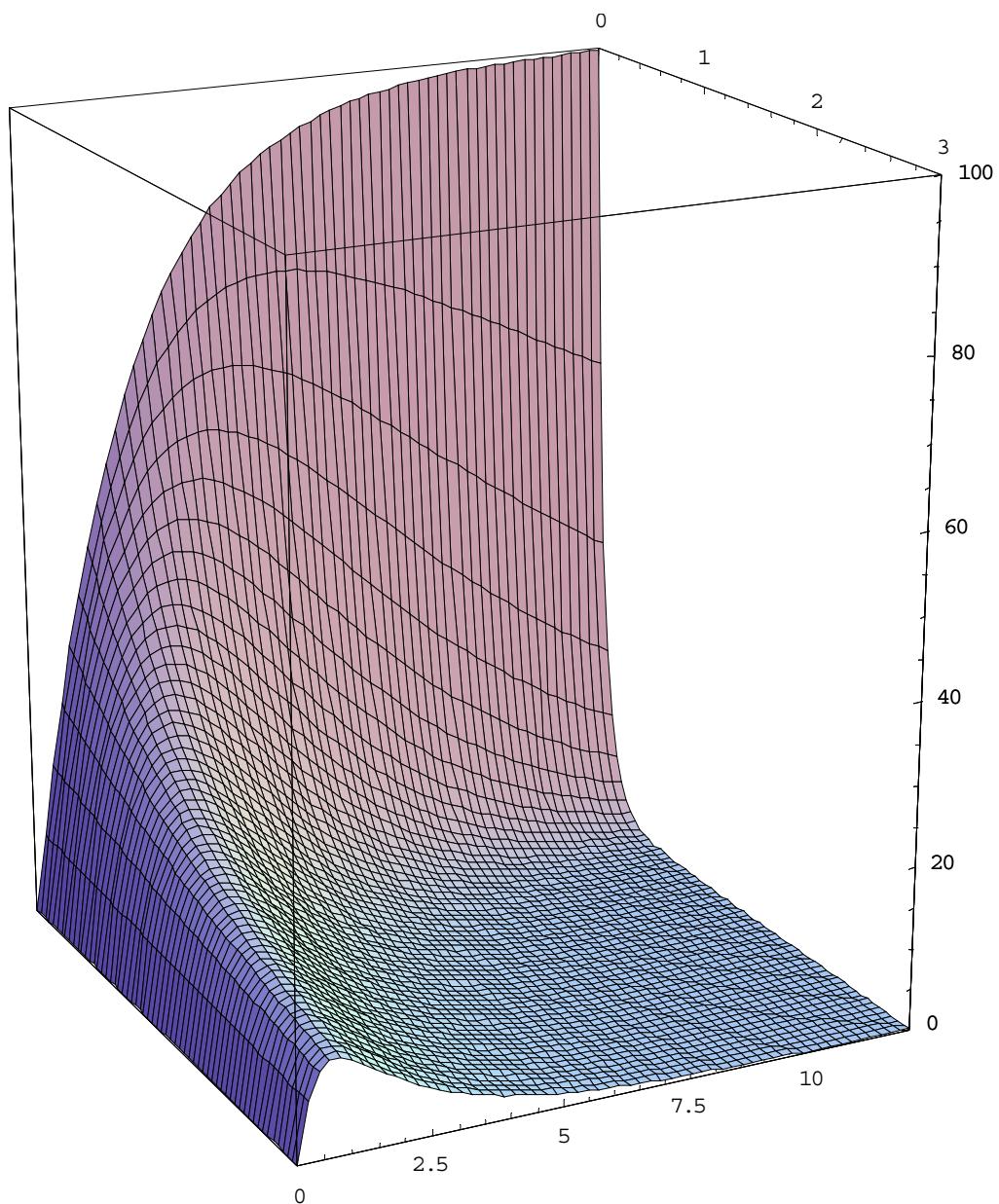
Interpretieren Sie die Bedeutung des Integrals  $\int_0^t g(x)dx$ .

**Erwartungshorizont**

	<b>Lösungsskizze</b>	Zuordnung, Bewertung		
		I	II	III
a)	<p>Am Beginn, also bei <math>t = 0</math>, muss noch die gesamte Menge vorhanden gewesen sein, also 100 mg. Dies ergibt sich auch durch Einsetzen in die Gleichung für <math>m_1</math>. Zu lösen ist die Gleichung <math>0,5 = e^{-0,5t}</math>. Die Lösung ist <math>t = 2 \cdot \ln(2) \approx 1,386</math>. Die Substanz <math>S_1</math> hat also eine Halbwertszeit von etwa 1,386 Stunden. Vorhanden sind nach 6 Stunden <math>m_1(6)</math> an Substanz, zerfallen demzufolge <math>100 \text{ mg} - m_1(6) \approx 95,02 \text{ mg}</math>.</p>	5	10	
b)	<p>Am Beginn, also bei <math>t = 0</math>, ist von der Ausgangssubstanz noch nichts zerfallen, also kann von Substanz <math>S_2</math> noch nichts vorliegen. Einsetzen von <math>t = 0</math> in die Funktionsgleichung von <math>m_2</math> bestätigt diese Überlegung.   <math>S_2</math> entsteht aus der Ausgangssubstanz <math>S_1</math>, ihre Zuwachsrate ist also gleich der Abnahmerate von <math>S_1</math>. Diese ist anfangs am größten und wird immer kleiner; die Menge an „angesammeltem“ <math>S_2</math> wächst also ständig und geht gegen den Anfangswert von <math>S_1</math>.  Andererseits ist <math>S_2</math> ja nicht stabil und zerfällt ebenfalls exponentiell. Das bedeutet, dass die Abnahme – die Zerfallsrate – von <math>S_2</math> proportional zum momentanen Wert ist.  <math>m_2</math> beginnt damit bei Null, steigt wegen der anfänglich hohen „Lieferungsrate“ aus dem Zerfall von <math>S_1</math> an und wird dann, da der eigene Zerfall irgendwann die „Nachlieferung“ überholen wird, wieder abnehmen und letztlich gegen Null gehen.   Zur <u>Berechnung</u> des Maximums ist es notwendig, die Nullstelle von <math>m_2'</math> zu bestimmen: Mit <math>m_2'(t) = -50 \cdot e^{-0,5t} + 100 \cdot e^{-t}</math> ergibt sich  <math>0 = -e^{-0,5t} + 2 \cdot e^{-t} \Leftrightarrow t_E = \ln 4 \approx 1,386</math>.  Hinreichende Argumente für die Extremaleigenschaft von <math>t_E</math> liefert z.B. die Beobachtung, dass <math>t_E</math> Durchgangsnnullstelle von <math>m_2'</math> ist, oder die Tatsache, dass <math>t_E</math> die einzige Nullstelle von <math>m_2'</math> ist, zusammen mit dem oben angefügten Argument, dass <math>m_2</math> ein Maximum haben muss.  Einsetzen liefert <math>m_2(t_E) = 25</math>.  Die maximale Menge der Substanz <math>S_2</math> tritt also nach knapp 1,4 Stunden auf, und es sind 25 mg.   <u>Hinweis</u>  Die Zerfallskonstante für den Zerfall von <math>S_2</math> ist 1, die Halbwertszeit für den Stoff <math>S_2</math> beträgt damit 0,69 Stunden.  Es ist zwar interessant, nachzuvollziehen, wie sich <math>m_2</math> aus <math>m_1</math> unter diesen Bedingungen ergibt, aber im Rahmen einer Prüfungsaufgabe ist dies ganz unmöglich. Im Diagramm im Anhang ist die Funktion <math>m_2</math> in Abhängigkeit des Zerfallsparameters wiedergegeben (Werte zwischen 0 und 3). Man sieht, dass für eine kleine Zerfallskonstante von <math>S_2</math> (also eine große Halbwertszeit) die Menge an <math>S_2</math> praktisch der Menge des zerfallenen <math>S_1</math> folgt, bei einer kleinen Halbwertszeit von <math>S_2</math> hingegen praktisch alles gelieferte <math>S_2</math> sofort zerfällt und damit die Menge an <math>S_2</math> der momentanen Lieferungsrate folgt.</p>	5	10	10

	Lösungsskizze	Zuordnung, Bewertung		
		I	II	III
c)		10	5	
d)	<p>Bestimmung der Nullstellen von <math>g</math> durch Nullsetzen des Funktionsterms:</p> $g(x) = 0 \Leftrightarrow -50e^{-0.5x} + 100e^{-x} = 0 \Leftrightarrow e^{-0.5x} = 2e^{-x}$ $\Leftrightarrow -0.5x = \ln(2) - x \Leftrightarrow x = \ln(4).$ <p>Die einzige Nullstelle von <math>g</math> liegt bei <math>x = \ln(4) \approx 1,386</math>.</p> <p>Überprüfung auf mögliche Extremstellen durch Nullstellensuche bei der ersten Ableitung:</p> $g'(x) = 25e^{-0.5x} - 100e^{-x},$ $g'(x_E) = 0 \Leftrightarrow 25e^{-0.5x_E} - 100e^{-x_E} = 0 \Leftrightarrow 1 = 4e^{-0.5x_E} \Leftrightarrow x_E = \ln(16).$ <p>Wiederum ergibt sich ein hinreichendes Argument für die Extremaleigenschaft von <math>x_E</math> daraus, dass <math>x_E</math> Durchgangsn Nullstelle von <math>g'</math> ist.</p> <p><i>Hinweis: Natürlich kann auch mit der zweiten Ableitung argumentiert werden.</i></p> <p><math>g</math> hat also ein einziges Extremum (ein Maximum) mit den Koordinaten <math>(2, 773 \mid -6,25)</math>.</p> <p>Für <math>x \rightarrow \infty</math> geht der Term <math>e^{-0.5x}</math> ebenso wie auch <math>e^{-x}</math> gegen Null und damit auch <math>g(x) \rightarrow 0</math>. Der Graph von <math>g</math> nähert sich also für zunehmende <math>x</math>-Werte der <math>x</math>-Achse.</p> 			

	<b>Lösungsskizze</b>	Zuordnung, Bewertung		
		I	II	III
	<p><math>g</math> ist die Ableitungsfunktion zu <math>m_2</math>.          Betrachtet man z.B. die Graphen, so liegen der Hochpunkt des Graphen von <math>m_2</math> und die Nullstelle von <math>g</math> bei dem gleichen <math>x</math>-Wert. Für <math>x \rightarrow \infty</math> strebt <math>g(x)</math> gegen Null.          Ein anderer Weg führt über die Ableitung von <math>m_2</math>. <math>m_2' = g</math>.</p>	10	10	5
e)	<p>Der gesuchte Flächeninhalt <math>A</math> berechnet sich als Integral über <math>g</math> im Intervall von 0 bis <math>\ln(4)</math>:</p> $A = \int_0^{\ln(4)} (-50e^{-0.5x} + 100e^{-x}) dx = \left[ 100e^{-0.5x} - 100e^{-x} \right]_0^{\ln(4)} = 25$ <p>und beträgt 25 Flächeneinheiten.          Dieser Zahlenwert ist gleich dem Bestand an <math>S_2</math> zum gleichen Zeitpunkt <math>t = \ln(4)</math>.          Dies ist nicht zufällig: Da <math>g</math> ja die Ableitungsfunktion – die zeitliche Änderungsrate – von <math>m_2</math> ist, muss <math>\int_0^t g(x) dx</math> die vorhandene Menge an <math>S_2</math> angeben.</p>	10	10	
	Insgesamt 100 BWE	30	45	25



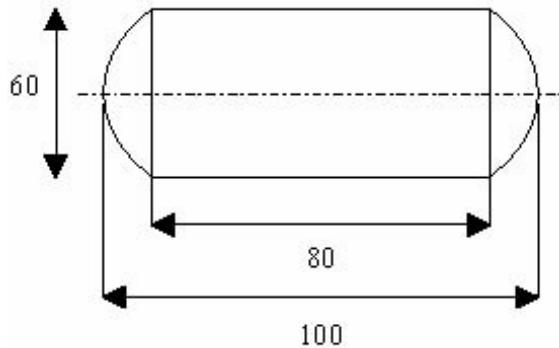
**Aufgabe 10: Wassertank**

Modellierungsaufgabe mit Volumenberechnung mittels Integration. Beispielaufgabe aus EPA Mathematik, 2002.

In dieser Aufgabe soll zunächst das Volumen eines Wassertanks näherungsweise bestimmt werden. und dann die Füllhöhenfunktion skizziert werden.

- a) Gegeben ist ein liegender Wassertank, der aus einem Zylinder mit zwei kuppelförmigen Aufsätzen besteht. Die Abmessungen sind der nebenstehenden Skizze des Querschnitts des Wassertanks zu entnehmen. Die Maße sind in Zentimetern angegeben. Die Skizze ist nicht maßstabsgetreu, stellt aber charakteristische Eigenschaften (z.B. Knicke) ausreichend gut dar.

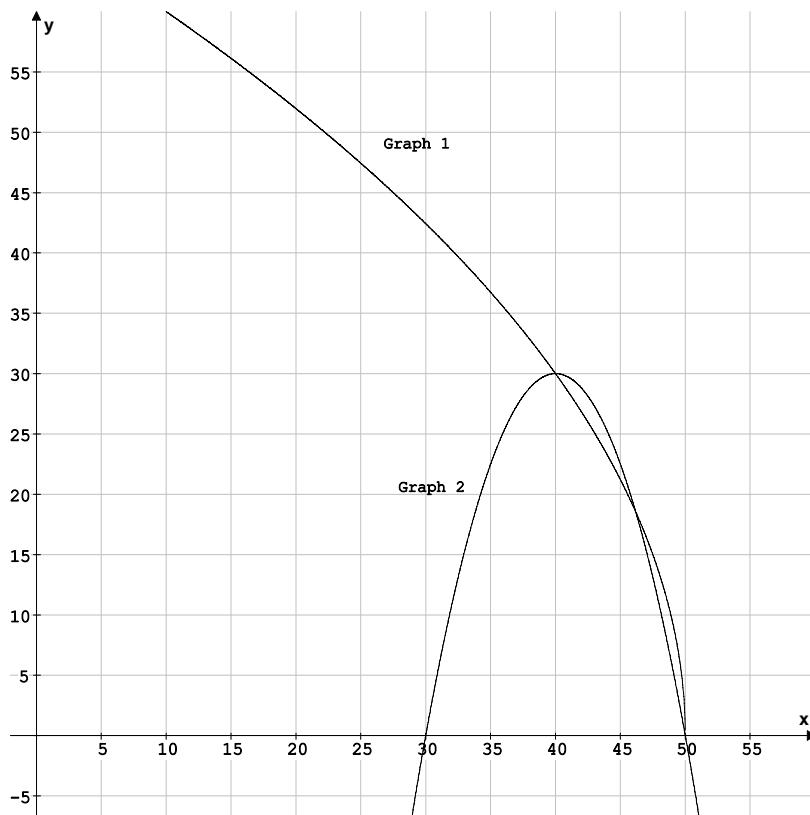
Schätzen Sie mit einfachen geometrischen Mitteln ab, dass weniger als 300 Liter in den Tank passen.



- b) Es sollen nun die kuppelförmigen Aufsätze mathematisch beschrieben werden. Betrachten Sie dazu die Funktionen  $f$  und  $g$  mit

$$f(x) = -0,3 \cdot (x - 40)^2 + 30 \quad \text{und} \quad g(x) = \sqrt{4500 - 90x}.$$

Die Graphen der beiden Funktionen sind der nachfolgenden Skizze zu entnehmen. Begründen Sie, welcher Graph zu  $f$  bzw.  $g$  gehört.



Welche Drehkörper entstehen, wenn man den Ausschnitt der Graphen jeweils im Intervall [40;50] um die  $x$ -Achse rotieren lässt?

Beschreiben Sie, dass man mit beiden Funktionen jeweils die kuppelförmigen Aufsätze des Wassertanks näherungsweise beschreiben kann. Beurteilen Sie die Qualität der Näherung.

- c) Das Volumen eines Körpers, der durch Rotation des Graphen einer Funktion  $k$  im Intervall  $[a; b]$  um die  $x$ -Achse entsteht, kann durch die Formel

$$V = \pi \cdot \int_a^b (k(x))^2 dx$$

berechnet werden.

Bestimmen Sie das Volumen einer Tankkuppel mit Hilfe von  $g(x)$ .

Berechnen Sie nun mit dieser Näherung das Volumen des gesamten Wassertanks.

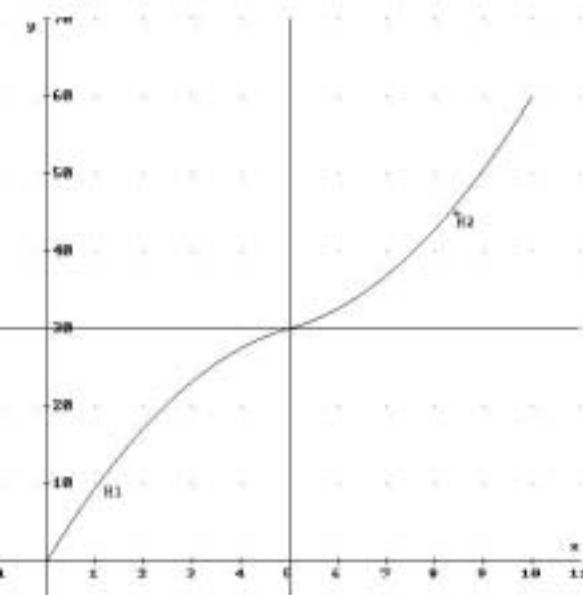
- d) Der Wassertank wird bei konstanter Zuflussrate mit Wasser gefüllt.

Beschreiben Sie den Verlauf des Graphen für die Funktion  $H$ , die die Höhe der Wasseroberfläche im Tank über dem Boden zum Zeitpunkt  $t$  angibt, wenn der Tank wie in der Skizze auf der Seite liegt.

Skizzieren Sie grob den Verlauf des Graphen.

**Erwartungshorizont**

	Lösungsskizze	Zuordnung, Bewertung		
		I	II	III
a)	<p>Legt man einen Zylinder mit einem Grundflächenradius von 30 cm und einer Höhe von 100 cm um den gesamten Tank, so erhält man eine Obergrenze für das Tankvolumen.</p> $V_{\text{Zylinder}} = \pi \cdot r^2 \cdot h = \pi \cdot 900 \cdot 100 \approx 282\,743,338\ldots$ <p>282 743 cm<sup>3</sup> sind knapp 283 Liter (da 1000 cm<sup>3</sup> = 1 l). Also gilt <math>V_{\text{Tank}} &lt; 300</math> Liter.</p>	5	5	
b)	<p>Die Funktion <math>f</math> ist quadratisch und ihr Funktionsterm in Scheitelpunktsform gegeben, ihr Graph muss eine nach unten geöffnete Parabel mit Scheitelpunkt <math>(40   30)</math> sein. Dieses trifft für den Graphen 2 zu.</p> <p>Der Graph 1 gehört zu der Wurzelfunktion <math>g</math>.</p> <p>Rotieren diese Graphenabschnitte um die <math>x</math>-Achse, so erhält man für beide Funktionen eine Kuppel. Bei der Funktion <math>f</math> weist die Kuppel eine Spitze auf, bei der Funktion <math>g</math> ist sie rund.</p> <p>Legt man ein Koordinatensystem mittig in den Wassertank, so beschreiben beide Funktionen im Intervall <math>[40; 50]</math> den Abschluss des rechten oberen Tankviertels, denn:</p> $g(40) = f(40) = 30 \quad \text{und} \quad g(50) = f(50) = 0 \quad g(50) = f(50) = 0.$ <p>Der Graph der Funktion <math>g</math> schließt an der Stelle <math>x = 40</math> mit einem Knick an den Tankkörper an, so wie in der Skizze angedeutet. Spiegelt man den Graphen von <math>g</math> an der <math>x</math>-Achse, so ergibt sich kein Knick für <math>y = 0</math>, da die Wurzelfunktion dort eine senkrechte Tangente besitzt, was ebenfalls der Skizze entspricht.</p> <p>Der Graph der Funktion <math>f</math> schließt an der Stelle <math>x = 40</math> ohne Knick an den Tankkörper an, da dort der Scheitelpunkt der Parabel liegt, die Tangente also waagerecht ist.</p> <p>Allerdings weist der Graph von <math>f</math> bei <math>y = 0</math> bei der Spiegelung an der <math>x</math>-Achse einen Knick auf, da die Steigungen endlich, aber entgegengesetzt im Vorzeichen sind.</p> <p>Die Funktion <math>g</math> gibt die in der Skizze erkennbaren charakteristischen Eigenschaften wieder und stellt damit, da Genaueres über die Tankform nicht bekannt ist, die bessere Näherung da.</p>	15	20	10
c)	<p>Um das Volumen einer Tankkuppel zu erhalten, setzen wir die Funktion 9 für <math>k</math> in die angegebene Formel ein und integrieren über das Intervall <math>[40; 50]</math>.</p> $V_{\text{Kuppel}} = \pi \cdot \int_{40}^{50} (4500 - 90x) dx = \pi \cdot [4500x - 45x^2]_{40}^{50} = 14\,137 \text{ l}.$ <p>Das Kuppelvolumen beträgt also ca. 14,14 Liter.</p> <p>Um das Volumen des gesamten Wassertanks zu berechnen, benötigen wir zwei Mal das Kuppelvolumen sowie das Volumen des Mittelzylinders mit der Höhe 80 cm.</p>			

	Lösungsskizze	Zuordnung, Bewertung		
		I	II	III
	$V_{\text{Zylinder}} = \pi \cdot r^2 \cdot h = \pi \cdot 30^2 \cdot 80 \approx 226195,$ d.h. der Mittelzylinder hat ein Volumen von ca. 226,2 Liter. Damit ergibt sich das Gesamtvolumen zu: $V \approx 254,5 \text{ l.}$	5	20	
d)	<p>Liegt der Tank auf der Seite, so setzt sich die Füllhöhenfunktion <math>H</math> aus zwei Teilstücken zusammen, wobei die Füllhöhe von <math>H_1</math> sich von 0 bis 30 cm erstreckt und die von <math>H_2</math> von 30 bis 60 cm.</p> <p>Die Zunahme von <math>H_1</math> (Ableitung) nimmt von der Füllhöhe 0 cm bis 30 cm ständig ab, da der Tankquerschnitt zunimmt.</p> <p>Bei der Funktion <math>H_2</math> nimmt die Zunahme von der Füllhöhe 30 cm bis 60 cm ständig zu, da der Tankquerschnitt nun wieder geringer wird.</p> <p>Skizze:</p> 	10	10	
	Insgesamt 100 BWE	25	55	20

### Aufgabe 11: Windanlage

Das Foto zeigt einen Darrieus-Windenergie-Konverter. Der Wind setzt die drei Blätter um die vertikale Achse in Drehung; die Blätter behalten dabei auch bei schneller Bewegung ihre Form bei.

Bei dieser Anlage – einem Forschungs-Darrieus der Sandia-Laboratories des DOE – liegen zwischen den oberen und den unteren Befestigungspunkten der Blätter 42 m, und der Durchmesser des Rotors beträgt 34 m. Die geplante Spitzenleistung dieser Anlage liegt bei 625 kW.

In den Aufgabenteilen a) bis d) soll zuerst die Form der Blätter durch zwei verschiedene Funktionen  $f$  und  $g$  näherungsweise beschrieben (modelliert) werden. Die  $x$ -Achse entspricht der vertikalen Rotationsachse

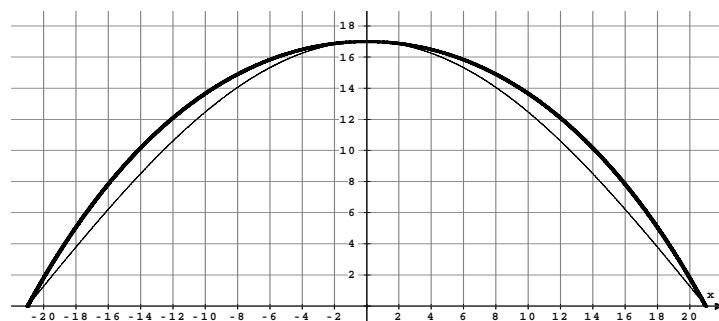


Die Funktion  $f$  soll eine Kosinusfunktion der Form  $f(x) = a \cdot \cos(bx + c)$  sein,  $g$  ist eine ganzrationale Funktion 4. Grades mit  $g(x) = -0,000015 \cdot x^4 - 0,032 \cdot x^2 + 17$ .

a)



Die Abbildung zeigt die Graphen der beiden Funktionen  $f$  und  $g$ .



Zeigen Sie, dass  $f$  die Gleichung  $f(x) = 17 \cdot \cos\left(\frac{\pi}{42}x\right)$  aufweist, und begründen Sie, dass aus den

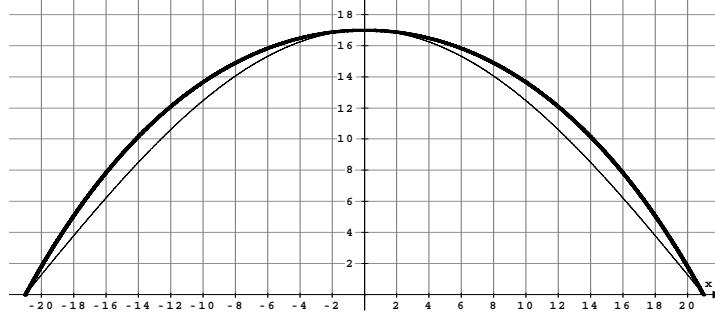
Angaben  $f$  eindeutig bestimmt ist.

Geben Sie an, welcher Graph zu welcher Funktion gehört.

- b) Untersuchen Sie  $g$  auf Symmetrie und Extrema im Bereich  $-25 \leq x \leq 25$ .  
Zeigen Sie, dass die Nullstellen von  $g$  in diesem Bereich in guter Näherung bei  $x_{N_1} = -21$  und  $x_{N_2} = 21$  liegen.
- c) Bestimmen Sie für beide Funktionen jeweils den Winkel in Grad, den die Blätter bei  $x = 21$  mit der  $x$ -Achse einschließen.  
Die Rotorachse ist in einer Höhe von 56 m über Grund durch Abspannseile mit dem Grund verbunden (siehe Abbildung). Diese Abspannseile verlaufen oben am Rotor etwa parallel zu den Blättern an deren Achsenbefestigungspunkten.  
Bestimmen Sie für beide Funktionen die Länge der Abspannseile.
- d) Entscheiden Sie, welche der beiden Funktionen jeweils welche Eigenschaften des Konverters auf dem Foto besser wiedergibt, und begründen Sie Ihre Entscheidung.
- e) Bestimmen Sie in guter Näherung die Querschnittsfläche des Rotors unter Verwendung der Funktion  $g$ .
- f) Mit den Ihnen bisher zur Verfügung stehenden Mitteln ist die Länge der Blätter nicht zu berechnen. Sie können aber den Graphen der Funktion  $g$  stückweise annähern.  
Berechnen Sie den so entstehenden Näherungswert für die Länge der Blätter.

**Erwartungshorizont**

	Lösungsskizze	Zuordnung, Bewertung		
		I	II	III
a)	<p>Eine allgemeine Kosinusfunktion hat die Gleichung <math>f(x) = a \cdot \cos(bx + c)</math>, wo bei <math>a</math> der Streckungsfaktor in <math>y</math>-Richtung ist, <math>b</math> der Streckungsfaktor in <math>x</math>-Richtung und <math>c</math>, die „Phasenverschiebung“, die Verschiebung der Maxima beschreibt.</p> <p>Hier liegt das Maximum bei <math>x = 0</math>, also ist auch <math>c = 0</math>.</p> <p>Da <math>f(0) = 17</math>, muss <math>a = 17</math> gelten.</p> <p>Schließlich: Die erste Nullstelle soll bei <math>x = 21</math> liegen, die „reine“ Kosinusfunktion hat ihre „erste“ Nullstelle bei <math>x = \frac{\pi}{2}</math>. Also muss <math>b = \frac{\pi}{42}</math> gelten.</p> <p>Alle drei Koeffizienten ergaben sich notwendig, also ist <math>f</math> eindeutig bestimmt.</p> <p>Durch Einsetzen eines Arguments, z.B. <math>x = 10</math>, in die beiden Funktionsgleichungen ergibt sich <math>g(10) = 13,66</math> und <math>f(10) \approx 12,46</math>.</p> <p>Daraus folgt, dass zu <math>f</math> der innere (dünnere) Graph gehört und zu <math>g</math> der äußere (dickere) Graph.</p>	5	15	
b)	<p><math>g</math> ist eine ganzrationale Funktion 4. Grades und weist nur Terme in gerader Ordnung in <math>x</math> auf.</p> <p>Damit ist <math>g</math> eine gerade Funktion (es gilt also für alle <math>x \in D_g : g(x) = g(-x)</math>), und damit ist der Graph von <math>g</math> achsensymmetrisch zur <math>y</math>-Achse.</p> <p>Ebenso folgt sofort, dass bei <math>x = 0</math> eine Extremstelle vorliegt.</p> <p>Zur weiteren Prüfung auf Extrema wird die erste Ableitung benötigt:</p> $g'(x) = -0,00006 \cdot x^3 - 0,064 \cdot x = -x \cdot (0,00006 \cdot x^2 + 0,064).$ <p>Notwendig für Extremstellen ist <math>g'(x_E) = 0</math>.</p> <p>Da der Term in den Klammern keine Nullstelle aufweist, ist die bereits bekannte Extremstelle bei <math>x_E = 0</math> die einzige, und aufgrund des negativen (Leit-)Koeffizienten von der höchsten Potenz von <math>g</math> (bzw. der Linearität des Nullstellenterms in <math>g'</math>) handelt es sich um eine Maximalstelle: <math>E_{\max}(0 17)</math>.</p> <p><i>Hinweis: Es gibt natürlich noch weitere Möglichkeiten des Nachweises, z. B. über die zweite Ableitung.</i></p> <p>Einsetzen von <math>x = 21</math> in die Funktionsgleichung von <math>g</math> liefert <math>g(21) \approx 0,029</math>; diese Differenz von 2,9 cm erlaubt davon zu sprechen, dass 21 „in guter Näherung“ eine Nullstelle von <math>f</math> ist.. (Aufgrund der Symmetrie von <math>g</math> gilt dies ebenso für <math>-21</math>.)</p> <p><i>Hinweis: Die Nullstellen liegen tatsächlich bei <math>\pm 20,985</math>.</i></p>	20	5	
c)	<p><u>Winkel:</u></p> <p>Der gesuchte Winkel ist mit der jeweiligen ersten Ableitung verbunden durch <math>\tan \alpha_f = f'(21)</math> bzw. <math>\tan \alpha_g = g'(21)</math>, d. h.</p> $\alpha_f = \tan^{-1}(f'(21)) \text{ bzw. } \alpha_g = \tan^{-1}(g'(21))$			

	Lösungsskizze	Zuordnung, Bewertung		
		I	II	III
	<p>Mit <math>f'(x) = -\frac{17\pi}{42} \sin\left(\frac{\pi}{42}x\right)</math> und <math>g'(x) = -0,00004 \cdot x^3 - 0,064x^2</math> ergeben sich: <math>\alpha_f \approx 52^\circ</math> und <math>\alpha_g \approx 62^\circ</math>.</p> <p><i>Hinweis: Wenn man als Ergebnis Winkel von <math>0,905</math> bzw. <math>1,086</math> herausbekommt, so sind die Winkel fälschlicherweise in Bogenmaß angegeben worden.</i></p> <p><u>Länge:</u> Da Achse, Boden und Seil ein rechtwinkliges Dreieck bilden, bei dem ein Winkel und eine Kathete bekannt sind, lässt sich die Hypotenuse berechnen, und es ergibt sich jeweils mit <math>l = \frac{56}{\cos \alpha}</math>: <math>l_f \approx 90,6 \text{ m}</math> und <math>l_g \approx 120,2 \text{ m}</math>. Wird die Funktion <math>f</math> zugrunde gelegt, ist das Abspannseil ungefähr <math>90,6 \text{ m}</math> lang, bei der Funktion <math>g</math> wäre das Abspannseil etwa <math>102,2 \text{ m}</math> lang.</p>			15
d)	<p>Zeichnet man eine Tangente ein und misst den entsprechenden Winkel, so erhält man links (am oberen Ende) etwa <math>57^\circ</math> und rechts (am unteren Ende) etwa <math>59^\circ</math>. Das spricht weder für die eine noch die andere Funktion. Die Krümmung von <math>g</math> in der Nähe des Einlaufpunkts ist deutlich zu groß; deshalb stimmt die Kosinusfunktion dort eher mit der tatsächlichen Form überein. Andererseits formen die Blätter im Bereich des Maximums der Funktion (also im Bereich des größten Abstands) deutlich einen weiteren Bogen als ihn die Kosinusfunktion aufweist. Dieser Bogen wird von der ganzrationalen Funktion <math>g</math> weitaus besser beschrieben.</p>  			10

	Lösungsskizze	Zuordnung, Bewertung		
		I	II	III
e)	<p>Wie im Aufgabenteil b) gezeigt, sind 21 und <math>-21</math> in guter Näherung als Nullstellen von <math>g</math> anzusehen.</p> <p>Die Querschnittsfläche <math>A</math> bestimmt sich über</p> $A = 2 \cdot \int_0^{21} g(x) dx$ $= 2 \cdot \left[ -0,000003x^5 - \frac{0,32}{3}x^3 + 17x \right]_0^{21}$ $\approx 2 \cdot 245,96$ $\approx 492 \text{ m}^2.$ <p>Die Querschnittsfläche ist also etwa <math>492 \text{ m}^2</math> groß.</p>	5	10	
f)	<p>Eine mögliche Lösung wäre ein Polygonzug-Verfahren, bei dem die Funktion der Blätter stückweise durch Strecken genähert wird und die Verbindungspunkte zwischen den Streckenabschnitten auf dem Graphen liegen.</p> <p>Bei einer symmetrischen Einteilung in fünf Strecken ist rechnerisch günstig, dass die mittlere waagerecht liegt, ihre Länge also einfach der Abstand ihrer Stützstellen ist.</p> <p>Für eine Einteilung in fünf Strecken ist es eine Möglichkeit, die Stützstellen (so sollen die <math>x</math>-Koordinaten der Verbindungspunkte bezeichnet werden) gleichabständig zu wählen, also mit</p> $x_1 = -12,6, x_2 = -4,2, x_3 = 4,2 \text{ und } x_4 = 12,6$ <p>zu rechnen. Der Abstand zwischen je zwei Verbindungspunkten ergibt sich dann mit <math>l_i = \sqrt{8,4^2 + (g(x_i) - g(x_{i-1}))^2}</math> und <math>l = l_1 + l_2 + l_3 + l_4 + l_5</math> zu <math>l = 56,44 \text{ m}</math>.</p> <p><i>Hinweis: Will man die Näherung verbessern, so ist es sinnvoll, die Streckenabschnitte zu verkürzen, auf denen <math>g</math> stark gekrümmmt ist, und dafür die Streckenabschnitte zu verlängern, auf denen <math>g</math> weniger stark gekrümmmt ist. Praktisch bedeutet dies, alle Stützstellen nach innen zu verlagern.</i></p> <p><i>Konkretes Nachrechnen zeigt allerdings, dass der äquidistante Ansatz bis auf etwa 4 cm die optimale Lösung für vier Stützstellen ergibt.</i></p> <p><i>Die Idee, die Steigung der Funktion auszunutzen – was letztlich zum Wegintegral <math>s = \int_a^b \sqrt{1 + (f'(x))^2} dx</math> führt – wird nicht erwartet.</i></p> <p>Die hiermit ermittelte Blattlänge ist übrigens <math>l = 56,86 \text{ m}</math>.</p> <p>Jede andere sinnvolle Lösung ist ebenfalls als richtig anzusehen.</p>	5	10	
	Insgesamt 100 BWE	30	50	20

### Aufgabe 12: Molkerei

Die Molkerei Meier hat die Rezeptur eines Joghurts mit der neuen Geschmacksrichtung „Apfelbeere“ entwickelt. Für die Produktion dieses Joghurts geht die Molkerei von einem s-förmigen Kurvenverlauf der Kostenfunktion aus, die der Produktionsmenge  $x$  die Gesamtkosten  $y$  zuordnet.

Die Fixkosten betragen 400 Geldeinheiten (GE). Außerdem ist bekannt, dass der Graph der Kostenfunktion einen Wendepunkt in  $(10 | 700)$  aufweist und die Wendetangente die Gleichung  $t_w(x) = 20x + 500$  hat. Die Kapazitätsgrenze für dieses Produkt liegt bei 50 Mengeneinheiten (ME). Eine Marktanalyse hat ergeben, dass das Produkt in dieser Menge vollständig verkauft werden kann.

Hinweis: Alle zu skizzierenden Graphen sind in einem Koordinatensystem darzustellen. Wählen Sie dabei als Maßstab für die Ordinate 500 GE  $\hat{=}$  1 cm, für die Abszisse 5 ME  $\hat{=}$  1 cm.

- Bestimmen Sie die Funktionsgleichung der „einfachsten“ Kostenfunktion  $K$ . Benutzen Sie dazu die oben gemachten Angaben. Geben Sie den ökonomisch sinnvollen Definitionsbereich an.
- Die Molkerei erwartet einen Erlös von 70 GE je ME. Bestimmen Sie die Erlösfunktion  $E$  und zeigen Sie, dass die Gewinnfunktion  $G$  die Gleichung  $G(x) = -0,1x^3 + 3x^2 + 20x - 400$  hat.  
Skizzieren Sie die Graphen der Kostenfunktion  $K$  und der Erlösfunktion  $E$ .  
Die Gewinnschwelle liegt bei 10 ME. Bestimmen Sie die Gewinngrenze.  
Bestimmen Sie die Produktionsmenge, für die sich der maximale Gewinn ergibt, und berechnen Sie diesen.
- Ein Mitglied der Geschäftsleitung schlägt vor, durch eine Reduzierung des Preises die Nachfrage zu steigern und mit erhöhtem Absatz den Gewinn des Unternehmens zu steigern.  
Beurteilen Sie diesen Vorschlag unter Berücksichtigung der oben genannten Modellannahmen.
- Zeitgleich ist eine zweite Molkerei mit diesem neuen Produkt und einem Dumpingpreis auf den Markt gekommen. Nun überlegt man bei der Molkerei Meier, wie man wirtschaftlich vertretbar reagieren soll. Dabei ermittelt ein Abteilungsleiter der Molkerei Meier richtig, dass der niedrigste verlustfreie Preis 50 GE je ME beträgt.  
Skizzieren Sie den Graphen der entsprechenden Erlösfunktion  $E_{neu}$  und ermitteln Sie, wie viele Mengeneinheiten bei diesem Preis nur noch produziert und abgesetzt werden dürfen, damit kein Verlust entsteht.

**Erwartungshorizont**

	<b>Lösungsskizze</b>	Zuordnung, Bewertung		
		I	II	III
a)	<p><u>Kostenfunktion:</u> Die „einfachste“ ganzrationale Funktion, die den gegebenen Bedingungen genügt, ist eine Funktion dritten Grades.</p> $K(x) = ax^3 + bx^2 + cx + d$ $K'(x) = 3ax^2 + 2bx + c$ $K''(x) = 6ax + 2b$ <p>fixe Kosten: 400 GE <math>d = 400</math></p> <p>Wendepunkt (10   700) <math>K(10) = 700</math></p> $K''(10) = 0$ <p>Wendetangente <math>t_w(x) = 20x + 500</math> <math>K'(10) = 20</math></p> <p>Daraus ergibt sich das folgende Gleichungssystem:</p> $1000a + 100b + 10c + 400 = 700$ $300a + 20b + c = 20$ $60a + 2b = 0$ <p>mit den Lösungen: <math>a = 0,1</math>, <math>b = -3</math>, <math>c = 50</math> und <math>d = 400</math>, also <math>K(x) = 0,1x^3 - 3x^2 + 50x + 400</math></p> <p><i>Man kann zur Ermittlung der Kostenfunktion auch ausnutzen, dass eine Entwicklung um den Wendepunkt möglich ist.</i></p> <p><u>Definitionsbereich:</u> <math>D = [0 ; 50]</math></p>	10	20	
b)	<p><u>Erlösfunktion:</u> <math>E(x) = 70x</math></p> <p><u>Gewinnfunktion:</u> <math>G(x) = E(x) - K(x)</math>, also</p> $G(x) = 70x - (0,1x^3 - 3x^2 + 50x + 400)$ $= -0,1x^3 + 3x^2 + 20x - 400$ <p><u>Skizze am Ende der Musterlösung.</u></p> <p><u>Gewinngrenze:</u> Schnittstelle von Erlös- und Kostenfunktion bzw. Nullstelle der Gewinnfunktion</p> <p>Eine Lösung ist mit <math>x = 10</math> (Gewinnschwelle) gegeben, die anderen Lösungen lassen sich durch Polynomdivision bzw. mit dem Horner Schema ermitteln:</p> $-0,1 \cdot (x^3 - 30x^2 - 200x + 4000) = -0,1 \cdot (x - 10) \cdot (x^2 - 20x - 400)$ $x^2 - 20x - 400 = 0$ <p>ergibt <math>x = 10 + \sqrt{500} \approx 32,36</math></p> <p>oder <math>x = 10 - \sqrt{500} \notin D</math></p> <p>Die Gewinngrenze liegt bei 32,36 ME.</p>			

	Lösungsskizze	Zuordnung, Bewertung		
		I	II	III
	<p><u>Maximaler Gewinn:</u> <math>G'(x) = 0 \wedge G''(x) &lt; 0</math></p> $G'(x) = -0,3x^2 + 6x + 20$ $G''(x) = -0,6x + 6$ $-0,3x^2 + 6x + 20 = 0 \text{ ergibt}$ $x = 10 + \sqrt{\frac{500}{3}} \approx 22,91$ $\text{oder } x = 10 - \sqrt{\frac{500}{3}} \notin D$ $G''(22,91) = -0,6 \cdot 22,91 + 6 < 0$ $G(22,91) = 430,33 \text{ GE.}$ <p>Bei einer Produktion von ca. 22,9 ME wird ein maximaler Gewinn von ca. 430,33 GE erzielt.</p>	10	35	
c)	<p>In dem angenommenen Modell handelt es sich bei der Erlösfunktion um eine lineare Funktion, die Steigung dieser Funktion entspricht dem Preis pro ME, dieser ist konstant und unabhängig von der Produktionsmenge <math>x</math>.</p> <p>Hier kann u.a. wie folgt argumentiert werden: Da die Produktion bei ca. 22,9 ME zu einem optimalen Gewinn führt, würde jede Veränderung des Verkaufspreises auch die absetzbare Menge verändern und eine Verringerung des Gewinns bewirken.</p>			10
d)	<p><u>1. Lösungsvariante</u> (über die Steigung der Erlösfunktion):</p> <p>Der geforderte Preis entspricht der Steigung der Erlösfunktion. Da es sich hier um den niedrigsten Preis handelt, der gerade die Gesamtkosten deckt, kann die Steigung so lange verringert werden, bis aus der Sekante eine Tangente geworden ist. Damit entspricht der Preis dem Wert der ersten Ableitung von <math>K</math> an der Stelle 20.</p> $K'(20) = 50$ <p>Bei einer Produktion von 20 ME deckt ein Mindestpreis von 50 GE die Gesamtkosten. Damit ist die Aussage des Abteilungsleiters bestätigt.</p> <p><u>2. Lösungsvariante</u> (über das Stückkostenminimum; der Mindestpreis muss das Minimum der Kosten pro ME abdecken):</p> <p>Funktion der Stückkosten: <math>k(x) = 0,1x^2 - 3x + 50 + \frac{400}{x}</math></p> <p>Berechnung des Stückkostenminimums:</p> $k'(x) = 0: 0,2x - 3 - \frac{400}{x^2} = 0$ $0,2x^3 - 3x^2 - 400 = 0$ $x^3 - 15x^2 - 2000 = 0$ $(x-20)(x^2 + 5x + 100) = 0$			

	<b>Lösungsskizze</b>	Zuordnung, Bewertung		
		I	II	III
	<p>Die Gleichung hat genau eine reelle Lösung, nämlich <math>x = 20</math>.</p> $k''(x) = 0,2 + \frac{800}{x^3} > 0 \text{ für alle } x > 0.$ <p>Mindestpreis <math>k(20) = 40 - 60 + 50 + 20 = 50</math>.</p> <p>Bei einer Produktions- bzw. Absatzmenge von 20 ME deckt ein Mindestpreis von 50 GE die Gesamtkosten. Damit ist die Aussage des Abteilungsleiters bestätigt.</p> <p><u>3. Lösungsvariante</u> (über den Berührpunkt der Graphen von <math>K</math> und <math>E</math>):</p> <p>Die Steigung des Graphen der Erlösfunktion entspricht in diesem Sachkontext dem Preis pro ME. Bei <math>x = 20</math> berühren sich die Graphen von <math>K</math> und <math>E</math>.</p> $K(20) = 0,1 \cdot 8000 - 3 \cdot 400 + 50 \cdot 20 + 400 = 1000.$ <p>Der Graph der Erlösfunktion geht also durch den Punkt <math>(20   1000)</math> und hat damit die Steigung <math>\frac{1000}{20} = 50</math>. Dieser Wert entspricht dem gesuchten Mindestpreis.</p> <p>Bei einer Produktions- bzw. Absatzmenge von 20 ME deckt ein Mindestpreis von 50 GE die Gesamtkosten. Damit ist die Aussage des Abteilungsleiters bestätigt.</p> <p><u>Skizze</u></p>			
		5	10	
	Insgesamt 100 BWE	20	60	20

### Aufgabe 13: Schiffbau

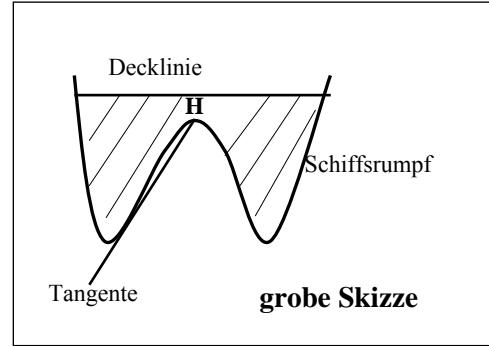
Auf einer Hamburger Werft wird eine Hochgeschwindigkeitsfähre als Doppelrumpfschiff (Katamaran) geplant. Der mittlere Teil des Schiffsrumpfes wird auf einer Länge von 12 m im Querschnitt nach der Funktion  $f$  mit  $f(x) = 0,2 \cdot x^4 - 1,8 \cdot x^2$  hergestellt.

Die waagerechte Decklinie liegt in einer Höhe von 1 Einheit über dem Hochpunkt  $H$ .

- a) - Zeigen Sie, dass die Funktion achsensymmetrisch ist.  
 - Ermitteln Sie den senkrechten Abstand der Tiefpunkte von der Decklinie.  
 - Berechnen Sie die Länge der Decklinie.  
 - Zeichnen Sie den Graphen von  $f$  zusammen mit der Decklinie in ein Koordinatensystem mit 5 Einheiten in jede  $x$ -Richtung ein.

- b) Im Hochpunkt  $H$  von  $f$  soll für Unterwasserbeobachtungen eine Kamera angebracht werden. Man möchte wissen, wie groß der Blickwinkel der Kamera in Richtung Meeresgrund ist. Hierzu muss man zwei Tangenten durch den Punkt  $H$  an den Schiffsrumpf  $f$  legen.

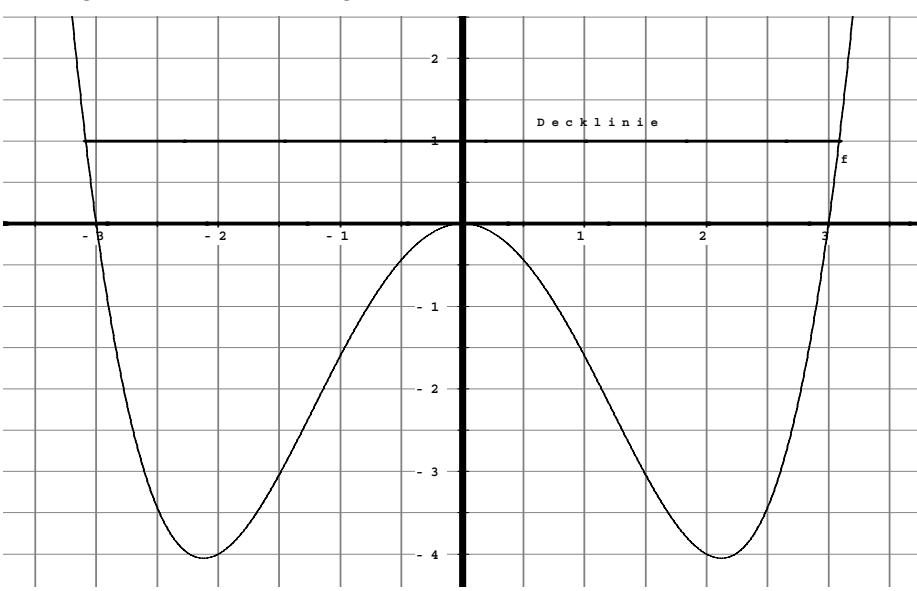
Bestimmen Sie die Gleichung einer dieser Tangenten an  $f$  und den Blickwinkel.



- c) Damit das Schiff „unsinkbar“ ist, soll der Doppelrumpf des Schiffes mit Styropor bis zur Höhe des Punktes  $H$  ausgefüllt werden.  
 Berechnen Sie das Volumen an Styropor in den mittleren 12 m des Schiffes.

- d) Die Werft plant, einen größeren Katamaran herzustellen. Die Decklinie soll dabei um 2 Einheiten verlängert werden. Die Abstände zwischen der Decklinie und dem Hochpunkt bzw. zwischen der Decklinie und den Tiefpunkten soll erhalten bleiben.  
 Ermitteln Sie die Funktionsgleichung einer der neuen Schiffsbreite angepassten Funktion  $g$  und skizzieren Sie den zugehörigen Graphen in dem bereits erstellte Koordinatensystem.

## Erwartungshorizont

	Lösungsskizze	Zuordnung, Bewertung		
		I	II	III
a)	<p><u>Achsenymmetrie</u> bedeutet, dass <math>f(x) = f(-x)</math> gilt. Bei geraden Exponenten ist diese Bedingung immer erfüllt.</p> <p><u>Ermittlung der Tiefpunkte:</u> Es sind die Lösungen von <math>f'(x) = 0</math> zu suchen. Mit Hilfe des Ableitungsterms <math>f'(x) = 0,8x^3 - 3,6x</math> ergibt sich:</p> $0,8x^3 - 3,6x = 0,8x(x^2 - \frac{9}{2}) = 0.$ <p>Also hat der Graph an den Stellen</p> $x_1 = 0 \text{ und } x_2 = \frac{3 \cdot \sqrt{2}}{2} \approx 2,12 \text{ und } x_3 = -\frac{3 \cdot \sqrt{2}}{2} \approx -2,12 \text{ waagerechte Tangenten.}$ <p>Da diese ganzrationale Funktionen 4. Grades einen positivem Leitkoeffizienten hat und demnach nach oben geöffnet ist, liegt bei <math>x_1 = 0</math> ein Maximum und jeweils bei <math>x_2</math> und <math>x_3</math> ein Minimum. Der Hochpunkt <math>H</math> hat die Koordinaten <math>(0   0)</math> und die Tiefpunkte die Koordinaten <math>(3 \cdot \frac{\sqrt{2}}{2}   \frac{81}{20}) \approx (2,12   -4,05)</math> sowie <math>(-3 \cdot \frac{\sqrt{2}}{2}   \frac{81}{20}) \approx (-2,12   -4,05)</math>.</p> <p>Da die Decklinie laut Aufgabenstellung 1 Einheit über dem Hochpunkt liegt, beträgt der Abstand zwischen Decklinie und Tiefpunkt 5,05 Einheiten.</p> <p><u>Länge der Decklinie:</u> Zu lösen ist folgende biquadratische Gleichung:  <math display="block">0,2x^4 - 1,8x^2 = 1.</math> Es sei <math>x^2 = z</math>, und man erhält die quadratische Gleichung in <math>z</math>:  <math display="block">0,2z^2 - 1,8z - 1 = 0</math> mit den Lösungen <math>z_1 \approx 9,52</math> und <math>z_2 \approx -0,52</math>.  Zurückgerechnet auf die Variable <math>x</math> ergeben sich die beiden Lösungen <math>x_1 \approx 3,09</math> und <math>x_2 \approx -3,09</math>. Da <math>z_2</math> negativ ist, gibt es keine weiteren Lösungen.  Die Länge der Decklinie beträgt also 6,18 Einheiten.</p> 	10	25	

	Lösungsskizze	Zuordnung, Bewertung		
		I	II	III
b)	<p>Die gesuchte Gerade <math>t</math> verläuft durch den Koordinatenursprung, der mit <math>H</math> identisch ist, sie hat also die Gleichung <math>t(x) = m \cdot x</math>. Gesucht ist die Gerade mit maximaler Steigung durch <math>H</math> und durch einen auf dem Graphen von <math>f</math> liegenden Punkt <math>S(s   0,2s^4 - 1,8s^2)</math>. Die Gerade durch <math>H</math> und <math>S</math> hat als Term <math>m(s) \cdot x</math>, wobei <math>m(s)</math> die von <math>s</math> abhängige Steigung der Geraden ist. Da <math>S</math> auf dem Graphen liegt, gilt <math>m(s) \cdot s = 0,2s^4 - 1,8s^2</math>. Nach Division durch <math>s \neq 0</math> ergibt sich <math>m(s) = 0,2s^3 - 1,8s</math>. Die Ableitung der Steigung der Geraden <math>m'(s) = 0,6s^2 - 1,8</math> wird Null gesetzt: <math>m'(s) = 0,6s^2 - 1,8 = 0</math>, um die maximale Steigung zu bestimmen:</p> $0,6s^2 - 1,8 = 0 \mid : 0,6$ $s^2 - 3 = 0$ <p>Damit sind <math>s_1 = \sqrt{3}</math> und <math>s_2 = -\sqrt{3}</math> Lösungen der Gleichung und diejenigen Stellen, an denen die Steigung extremal sind. Die Steigung der Geraden erhält man durch die Steigung der Funktion <math>f</math> an den Stellen <math>s_1</math> und <math>s_2</math>: eingesetzt ergibt sich <math>f'(\sqrt{3}) = 0,8\sqrt{3}^3 - 3,6\sqrt{3} \approx -2,08</math></p> <p>Eine der gesuchten Geraden hat somit die Gleichung <math>t_1(x) = -2,08x</math>.</p> <p><i>Hinweis: Eine Lösungsalternative führt über die Tangentengleichung <math>t(x) = f'(s) \cdot (x - s) + f(s)</math> zur Lösung.</i></p> <p>Der Winkel zwischen der Tangenten und der <math>x</math>-Achse berechnet sich aus <math>\tan \alpha_x = f'(\sqrt{3})</math> bzw. <math>\alpha_x = \tan^{-1}(f'(\sqrt{3})) \approx 64,3^\circ</math>. Der Winkel <math>\alpha_y</math> zwischen der <math>y</math>-Achse und der Tangente ist somit etwa <math>90^\circ - 63,4^\circ = 26,6^\circ</math> groß. Der Blickwinkel hat nun die doppelte Größe wie <math>\alpha_y</math>, er ist also etwas <math>53,2^\circ</math> groß.</p>	15	10	
c)	<p>Zu berechnen ist zuerst die Querschnittsfläche. Dazu müssen die Nullstellen von <math>f</math> ausgerechnet werden.</p> $0,2x^4 - 1,8x^2 = 0$ $0,2x^2(x^2 - 9) = 0$ <p>Die Nullstellen ergeben sich zu <math>x_{N1} = 0</math> und <math>x_{N2} = \sqrt{9} = 3</math> und <math>x_{N3} = -\sqrt{9} = -3</math></p> <p>Unter Ausnutzung der Symmetrie ergibt sich die Querschnittsfläche <math>A</math> aus:</p> $A = 2 \cdot \left  \int_0^3 (0,2x^4 - 1,8x^2) dx \right  = 12,96.$ <p>Da <math>V = A \cdot l</math> und <math>l = 12</math> m, ergibt sich ein Volumen von ca. <math>156</math> m<math>^3</math>.</p>	5	10	
d)	<p>Hier werden zwei Lösungsvarianten vorgestellt.</p> <p>1. Lösungsvorschlag:</p> <p>So wie die Aufgabe gestellt ist, besteht eine einfache Lösungsvariante darin, den Schiffsrumpf in der Mitte „aufzuschneiden“ und einen quaderförmigen Rumpfteil einzuschweißen (im Schiffsbau durchaus üblich). Dann müsste man die gesuchte neue Querschnittsfunktion stückweise definieren, also:</p>			

	<b>Lösungsskizze</b>	Zuordnung, Bewertung		
		I	II	III
	$g_1(x) = \begin{cases} f(x+1), & \text{falls } x \leq -1 \\ 0, & \text{falls } -1 < x \leq 1 \\ f(x-1), & \text{falls } 1 < x \end{cases}$ <p>Diese Lösungsvariante wird vermutlich selten von den Schülern gewählt, sie sollte aber voll anerkannt werden, obwohl sie im Gegensatz zu den folgenden Varianten keinen Rechenaufwand erfordert, da sie von inhaltlichem und nicht von formalem Denken bestimmt ist.</p>			

## 2. Lösungsvorschlag:

Da sich die Extremwerte der gesuchten neuen Funktion  $g_2$  für den Querschnitt des verbreiterten Schiffrumpfes nicht verändern sollen, bietet es sich an, die Originalfunktion  $f$  in  $x$ -Richtung zu „strecken“ also mit folgendem Ansatz zu arbeiten:  $g_2(x) = f(a \cdot x)$ . Wenn die Breite des Schiffes in Höhe der Decklinie um 2 Einheiten größer werden soll, so rücken die entsprechenden  $x$ -Werte jeweils um eine Einheit von der  $y$ -Achse weg, also z.B. von 3,08 auf 4,08 Einheiten.

Dies erreicht man, indem man  $a = \frac{3,09}{4,09} \approx 0,756$  wählt.

$$\text{Also: } g_2(x) = 0,2(0,756x)^4 - 1,8(0,756x)^2 \Leftrightarrow g_2(x) = 0,065x^4 - 1,029x^2.$$

5 10 10

	Lösungsskizze			Zuordnung, Bewertung
	I	II	III	
	Insgesamt 100 BWE	20	60	20

## 4.2 Leistungskurs

### Aufgabe 1 Funktionenschar exponentieller Funktionen

Aufgabe aus der schriftlichen Abiturprüfung Hamburg 2005.

Gegeben ist die folgende Funktionenschar  $f_n$  mit:

$$f_n(x) = \frac{3 \cdot e^x}{(1 + e^x)^n}, \quad n \in \{1; 2; \dots\}, \quad x \in \mathbb{R}.$$

- a) Die nebenstehende Abbildung zeigt die Graphen für drei Funktionen dieser Schar. Bestimmen Sie die Zahlenwerte des Parameters  $n$  für die jeweilige Funktion.

Verwenden Sie dazu die Schnittpunkte der Graphen mit der  $y$ -Achse.

Beachten Sie:

$n$  ist eine natürliche Zahl mit  
 $n \geq 1$ .

- b) Beschreiben Sie die Funktionen der Schar auf ihr Verhalten für  $x \rightarrow \infty$  und  $x \rightarrow -\infty$ .

- c) Weisen Sie nach, dass  $F_n$  mit

$$F_n(x) = \frac{3 \cdot (1 + e^x)^{1-n}}{1 - n}$$

für jedes  $n \in \{2; 3; \dots\}$  eine Stammfunktion der Funktion  $f_n$  ist.

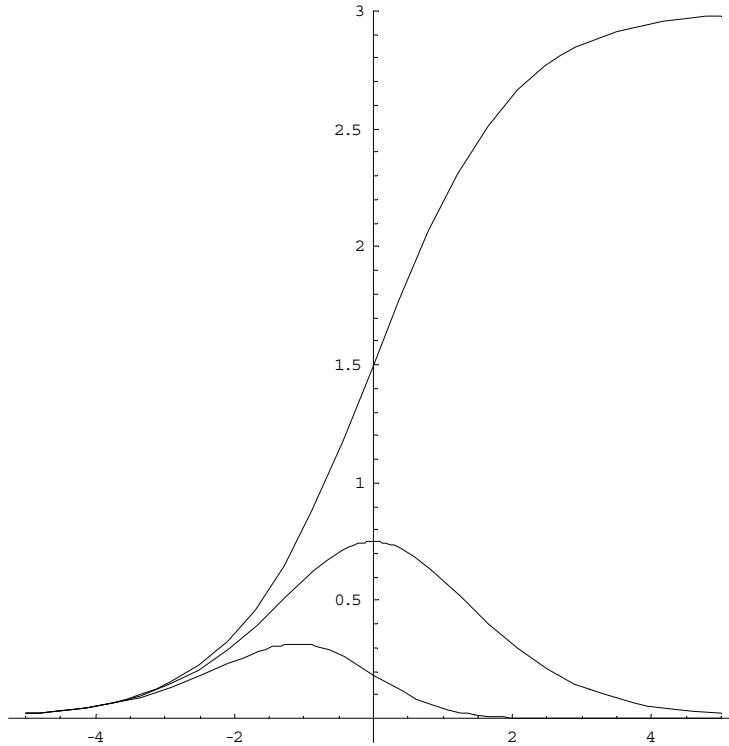
- d) Bestimmen Sie den Inhalt der Fläche zwischen den Graphen der Funktionen  $f_2$  und  $f_3$  im gesamten Bereich  $x < 0$ .

HINWEIS: Keine zwei Funktionen der Schar haben einen gemeinsamen Punkt.

- e) Zeigen Sie,

- dass  $f_2$  symmetrisch zur  $y$ -Achse ist.
- dass der Graph von  $f_1$  punktsymmetrisch zu seinem Schnittpunkt mit der  $y$ -Achse ist,

Begründen Sie, dass für  $n \geq 3$  kein weiterer Graph symmetrisch zur  $y$ -Achse ist.



**Erwartungshorizont**

	<b>Lösungsskizze</b>	Zuordnung, Bewertung		
		I	II	III
a)	<p><u>Berechnung der Nullwerte:</u></p> $n = 1: \quad f_1(0) = \frac{3 \cdot e^0}{(1+e^0)^1} = \frac{3}{2} = 1,5$ $n = 2: \quad f_2(0) = \frac{3 \cdot e^0}{(1+e^0)^2} = \frac{3}{4} = 0,75$ $n = 3: \quad f_3(0) = \frac{3 \cdot e^0}{(1+e^0)^3} = \frac{3}{8} = 0,375$ $n = 4: \quad f_4(0) = \frac{3 \cdot e^0}{(1+e^0)^4} = \frac{3}{16} = 0,1875$ $n = 5: \quad f_5(0) = \frac{3 \cdot e^0}{(1+e^0)^5} = \frac{3}{32} = 0,09375$ <p>Dargestellt sind (von oben nach unten) die Graphen der Funktionen <math>f_1(x)</math>, <math>f_2(x)</math> und <math>f_4(x)</math>.</p> <p>oder:</p> <p>Der Grafik werden die Nullwerte der drei Graphen entnommen: 1,5, 0,75 und (etwa) 0,2. Diese werden in die Funktionsgleichung eingesetzt:</p> $f_n(0) = \frac{3}{(1+1)^n} = 1,5 \quad \Leftrightarrow \quad 2^n = 2 \quad \Leftrightarrow \quad n = 1$ $f_n(0) = \frac{3}{(1+1)^n} = 0,75 \quad \Leftrightarrow \quad 2^n = 4 \quad \Leftrightarrow \quad n = 2$ $f_n(0) = \frac{3}{(1+1)^n} \approx 0,2 \quad \Leftrightarrow \quad 2^n \approx 15 \quad \Leftrightarrow \quad n \approx 4$ <p><math>f_3(0) = 0,375</math> und <math>f_5(0) \approx 0,09</math>, so dass die Ablesegenauigkeit hier keine Rolle spielen sollte.</p>			15
b)	<p><u>Fallunterscheidung:</u></p> $n = 1: \quad f_1(x) = \frac{3 \cdot e^x}{1+e^x}.$ <p>Es gilt: <math>\lim_{x \rightarrow -\infty} f_1(x) = 0</math>, da der Zähler gegen Null und der Nenner gegen 1 geht.</p>			

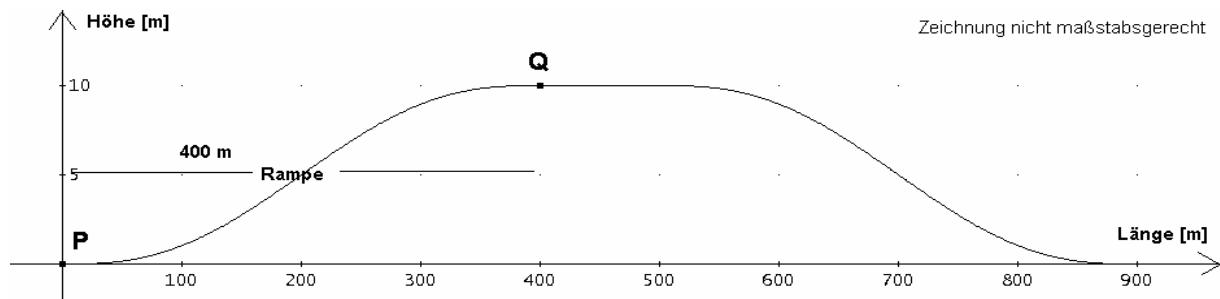
	Lösungsskizze	Zuordnung, Bewertung		
		I	II	III
	<p>Es gilt: <math>\lim_{x \rightarrow \infty} f_1(x) = 3</math>, da für große <math>x</math> der Summand 1 im Nenner zu vernachlässigen ist.</p> <p><math>n &gt; 1: f_n(x) = \frac{3 \cdot e^x}{(1 + e^x)^n}</math>.</p> <p>Das Verhalten der Funktionen der Schar im Unendlichen kann man über das Wachstum von Zähler und Nenner untersuchen.</p> <p>Der Nenner lässt sich nach unten abschätzen durch <math>e^{n \cdot x}</math>, der ganze Bruch lässt sich dann nach oben abschätzen durch <math>\frac{3}{e^{(n-1) \cdot x}}</math>, so dass <math>\lim_{x \rightarrow \infty} f(x) = 0</math>.</p> <p><math>\lim_{x \rightarrow -\infty} f(x) = 0</math>, da der Zähler gegen Null und der Nenner gegen 1 geht.</p> <p>Auch andere Argumentationen wie „der Zähler wächst mit <math>e^x</math>, während der Nenner mit <math>e^{x \cdot n}</math> wächst“, sind zulässig.</p>	10	10	5
c)	<p><math>F_n</math> ist eine Stammfunktion, wenn <math>F'_n(x) = f_n(x)</math>. <math>F_n</math> lässt sich schreiben als</p> $F_n(x) = \frac{3(1 + e^x)^{1-n}}{1-n}$ , so dass für $F'_n(x)$ folgt: $F'_n(x) = \frac{3}{1-n} \cdot (1-n) e^x \cdot (1+e^x)^{-n}$ $= f_n(x).$	5	10	
d)	<p>Da <math>f_2</math> und <math>f_3</math> keinen gemeinsamen Punkt haben und <math>f_2</math> oberhalb von <math>f_3</math> liegt (siehe Aufgabenteil a), ergibt sich der gesuchte Flächeninhalt durch Integration der Differenz der Funktionsterme.</p> $\lim_{a \rightarrow -\infty} \int_a^0 (f_2(x) - f_3(x)) dx = \lim_{a \rightarrow -\infty} \left[ \frac{3(1 + e^x)^{1-2}}{1-2} - \frac{3(1 + e^x)^{1-3}}{1-3} \right]_a^0$ $= \lim_{a \rightarrow -\infty} \left[ \frac{3(1 + e^0)^{-1}}{-1} - \frac{3(1 + e^0)^{-2}}{-2} - \left( \frac{3(1 + e^a)^{-1}}{-1} - \frac{3(1 + e^a)^{-2}}{-2} \right) \right]$ $= \lim_{a \rightarrow -\infty} \left[ -1,5 + 0,375 + 3(1 + e^a)^{-1} - 1,5(1 + e^a)^{-2} \right]$ $= 0,375.$	20		
e)	<ul style="list-style-type: none"> <li><math>f_2</math> ist symmetrisch zur <math>y</math>-Achse, wenn <math>f_2(x) = f_2(-x)</math>. Dazu führt man folgende Äquivalenzumformungen durch:</li> </ul> $f_2(x) = f_2(-x)$ $\Leftrightarrow \frac{3 \cdot e^x}{(1 + e^x)^2} = \frac{3 \cdot e^{-x}}{(1 + e^{-x})^2}$ $\Leftrightarrow \frac{3 \cdot e^x}{(1 + e^x)^2} = \frac{(e^x)^2 \cdot 3 \cdot e^{-x}}{(e^x)^2 \cdot (1 + e^{-x})^2}$			

	Lösungsskizze	Zuordnung, Bewertung		
		I	II	III
	$\Leftrightarrow \frac{3 \cdot e^x}{(1+e^x)^2} = \frac{3 \cdot e^x}{(e^x+1)^2} \quad \text{w.z.b.w.}$ <ul style="list-style-type: none"> <li>• <math>f_1</math> ist symmetrisch zu <math>(0   1,5)</math>, wenn <math>f_1(x) - 1,5 = -[f_1(-x) - 1,5]</math>.</li> </ul> <p>Dazu führt man folgende Äquivalenzumformungen durch:</p> $f_1(x) - 1,5 = -[f_1(-x) - 1,5]$ $\Leftrightarrow f_1(x) = -f_1(-x) + 3$ $\Leftrightarrow \frac{3 \cdot e^x}{1+e^x} = \frac{-3 \cdot e^{-x}}{1+e^{-x}} + 3$ $\Leftrightarrow \frac{3 \cdot e^x}{1+e^x} = \frac{-3 \cdot e^{-x} + 3 \cdot (1+e^{-x})}{1+e^{-x}}$ $\Leftrightarrow \frac{3 \cdot e^x}{1+e^x} = \frac{3}{1+e^{-x}}$ $\Leftrightarrow \frac{3 \cdot e^x}{1+e^x} = \frac{3 \cdot e^x}{e^x+1} \quad \text{w.z.b.w.}$ <ul style="list-style-type: none"> <li>• <math>f_n</math> ist für <math>n \geq 3</math> nicht symmetrisch zur <math>y</math>-Achse, da dann <math>f_n(x) = f_n(-x)</math> gelten müsste, also <math>\frac{3 \cdot e^x}{(1+e^x)^n} = \frac{3 \cdot e^{-x}}{(1+e^{-x})^n}</math>. Erweitert man die rechte Seite mit <math>(e^x)^n</math>, so ergibt sich <math>\frac{3 \cdot e^x}{(1+e^x)^n} = \frac{(e^x)^n \cdot 3 \cdot e^{-x}}{(e^x+1)^n}</math>. Wegen der Nennergleichheit müssten die Zähler <math>3 \cdot e^x</math> und <math>3 \cdot (e^x)^n \cdot (e^x)^{-1} = 3 \cdot (e^x)^{n-1}</math> identisch sein.</li> </ul> <p>Dies ist nur für <math>n = 2</math> erfüllt.</p>			
	Insgesamt 100 BWE	30	50	20

## Aufgabe 2 Überführung

Aufgabe aus der schriftlichen Prüfung 2005.

Im flachen Friesland soll eine Bahnstrecke einen Kanal auf einer Brücke überqueren. Die Strecke auf der Brücke ist 100 m lang und verläuft ebenso horizontal wie die Strecken auf dem Boden. Die Strecke auf der Brücke liegt 10 m über dem Bodenniveau. Für den Übergang vom Boden auf die Brücke, die so genannte Rampe, haben die Bauplaner zunächst eine Rampenlänge  $r = 400$  m in der Horizontalen vorgesehen. Die Steigungsstrecke links beginnt im Punkt  $P$  und endet im Punkt  $Q$ .

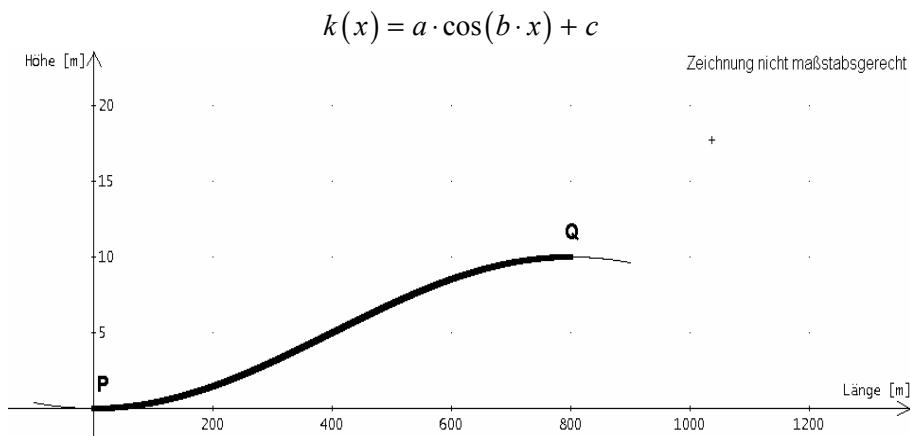


Ein Bahnexperte begutachtet die Planung und macht darauf aufmerksam, dass Eisenbahnstrecken eine maximale Steigung von 2,4 % aufweisen dürfen, damit die antreibenden Räder nicht rutschen.

- a) Begründen Sie mit Argumenten aus der Anschauung, dass dieser Wert bei einer Rampenlänge von  $r = 400$  m keinesfalls einzuhalten ist, unabhängig davon, wie die Rampentrasse geführt wird.

Die Rampenlänge  $r$  wird daraufhin in den weiteren Planungen auf **800 m** verlängert.

- b) Ein Bauplaner vertritt die Idee, die Rampe darzustellen durch eine „getrimmte“ Kosinusfunktion  $k$  vom Typ



- Ermitteln Sie die konkrete Funktionsgleichung für die Rampe.
- Bestimmen Sie die maximale Steigung dieser Rampe und interpretieren Sie das Ergebnis.

Wieder meldet der Eisenbahnexperte Bedenken an: Er behauptet, dass an den Übergangspunkten  $P$  und  $Q$  bei schneller Fahrt ein Ruck durch den Zug gehen würde, weil „Krümmungssprünge“ vorlägen. Um das zu vermeiden, müssten deshalb die 1. und 2. Ableitung der aneinander stoßenden Trassen an den Übergangsstellen übereinstimmen.

- c) Untersuchen Sie, weshalb bei dem Kosinus-Entwurf Krümmungssprünge auftreten.
- d) Damit auch diese Bedenken des Eisenbahnexperten ausgeräumt werden können, soll nun die Rampe durch eine ganzrationale Funktion  $h$  dargestellt werden.

Um deren Koeffizienten handhabbar zu machen, verkürzen Sie den Maßstab in  $x$ -Richtung um den Faktor 800. Wählen Sie also jetzt für die Punkte  $P$  und  $Q$  die Koordinaten  $P(0 | 0)$  und  $Q(1 | 10)$ . Berechnete Steigungen sind dann um den Faktor 800 zu groß, sie müssen deshalb für die tatsächliche Trasse durch 800 geteilt werden.

- Begründen Sie, dass die Funktion  $h$  mindestens den Grad 5 haben muss.
  - Untersuchen Sie, welche der Koeffizienten von  $h$  Null sein müssen.
  - Bestimmen Sie den Funktionsterm von  $h$ .
  - Bestimmen Sie die tatsächliche maximale Steigung dieser Rampe und interpretieren Sie das Ergebnis.
- e) Der Eisenbahnexperte ist nun zufrieden, aber den sparsamen Planern fällt auf, dass man die Rampe noch verkürzen könnte, ohne dass sie zu steil würde. Erläutern Sie einen mathematischen Weg, den man (bei Beibehaltung einer ganzrationalen Funktion 5. Grades) gehen könnte, um die minimal mögliche Rampenlänge  $r$  zu finden. Die Rechnungen sollen nicht ausgeführt werden.

## Erwartungshorizont

	Lösungsskizze	Zuordnung, Bewertung		
		I	II	III
a)	<p>Die Verbindung von <math>P</math> nach <math>Q</math> als <u>Strecke</u> hat die Steigung</p> $m = \frac{\Delta h}{\Delta l} = \frac{10}{400} = 2,5\%.$ <p>Der Anschauung entnimmt man, dass im Vergleich zur Strecke jede <u>gekrümmte</u> Rampenführung von <math>P</math> nach <math>Q</math> Stellen aufweisen muss, deren Steigung noch größer als 2,5 % ist. Der Maximalwert von 2,4 % auf der ganzen Rampenstrecke ist also keinesfalls einzuhalten.</p>	5	10	
b)	<ul style="list-style-type: none"> <li>Die Amplitude beträgt die Hälfte von 10 m, also <math> a  = 5</math>. Die Rampe beginnt mit dem Minimum, der Verlauf entspricht einer an der <math>x</math>-Achse gespiegelten Kosinusfunktion, also <math>a = -5</math>. Die Mittellinie ist um 5 m nach oben verschoben, also <math>c = 5</math>. Die halbe Periodenlänge beträgt 800 m, also muss in <math>x</math>-Richtung mit dem Faktor <math>\frac{1}{b} = \frac{800}{\pi}</math> gestreckt werden. Man kann auch so argumentieren: Dem <math>x</math>-Wert <math>b \cdot 800</math> entspricht <math>\pi</math>, also <math>b \cdot 800 = \pi \Leftrightarrow b = \frac{\pi}{800}</math>. Als Ergebnis erhalten wir: <math>k(x) = -5 \cdot \cos\left(\frac{\pi}{800} \cdot x\right) + 5</math>.</li> <li>Die Steigung wird durch die Ableitung von <math>k</math> dargestellt:</li> </ul> $k'(x) = \frac{\pi}{160} \cdot \sin\left(\frac{\pi}{800} \cdot x\right).$ <p>Das Steigungsmaximum liegt aus Symmetriegründen „in der Mitte“ der Rampe bei der Wendestelle von <math>k</math>:</p> $k'(400) = \frac{\pi}{160} = 0,0196... \approx 2\%.$ <p>Dies ist genügend niedrig, die Strecke ist an keiner Stelle zu steil.</p> <p><i>Man kann dieses Ergebnis natürlich auch mit Hilfe der 2. und 3. Ableitung bestätigen, das wird aber nicht erwartet.</i></p> $k''(x) = \frac{\pi^2}{128000} \cdot \cos\left(\frac{\pi}{800} \cdot x\right) = 0 \text{ führt im betrachteten Bereich zu } x = 400.$ $k'''(400) = -\frac{\pi^3}{102400000} \cdot \sin\left(\frac{\pi}{800} \cdot 400\right) < 0, \text{ also liegt hier ein Maximum vor.}$	10	10	

	Lösungsskizze	Zuordnung, Bewertung		
		I	II	III
c)	<p>Für die geraden horizontalen Streckenabschnitte ist die erste und die zweite Ableitung jeweils die konstante Funktion mit dem Funktionswert Null. Die Kosinusfunktion hat an ihren Extremstellen auch Extremstellen in der zweiten Ableitung, die Werte der zweiten Ableitung sind dort ganz bestimmt nicht Null.</p> <p>Man kann auch konkret rechnen:</p> $k''(x) = \frac{\pi^2}{128000} \cdot \cos\left(\frac{\pi}{800} \cdot x\right)$ $k''(0) = \frac{\pi^2}{128000} \neq 0, \quad k''(800) = -\frac{\pi^2}{128000} \neq 0.$ <p>Der Eisenbahnexperte hat also mit seinen Bedenken Recht in Bezug auf die 2. Ableitung.</p>			10
d)	<ul style="list-style-type: none"> <li>Die folgenden 6 Bedingungen sind zu beachten:            Punkt <math>P</math>: <math>h(0) = 0</math> ; <math>h'(0) = 0</math> ; <math>h''(0) = 0</math>            Punkt <math>Q</math>: <math>h(1) = 10</math> ; <math>h'(1) = 0</math> ; <math>h''(1) = 0</math>.            Das lässt sich nur mit einer ganzrationalen Funktion 5. Grades erreichen.</li> <li>Ansatz: <math>h(x) = a \cdot x^5 + b \cdot x^4 + c \cdot x^3 + d \cdot x^2 + e \cdot x + f</math>.            Aus den Bedingungen für den Punkt <math>P</math> folgt: <math>d = e = f = 0</math>.</li> <li>Es bleibt also: <math>h(x) = a \cdot x^5 + b \cdot x^4 + c \cdot x^3</math>            Aus den drei Bedingungen für <math>Q</math> erhält man das folgenden linearen Gleichungssystem für die Koeffizienten <math>a</math>, <math>b</math> und <math>c</math>:           <math display="block">a + b + c = 10</math> <math display="block">5 \cdot a + 4 \cdot b + 3 \cdot c = 0</math> <math display="block">10 \cdot a + 6 \cdot b + 3 \cdot c = 0</math>           Dieses Gleichungssystem hat die Lösung: <math>a = 60</math> ; <math>b = -150</math> ; <math>c = 100</math>.            Also gilt <math>h(x) = 60 \cdot x^5 - 150 \cdot x^4 + 100 \cdot x^3</math>.  <i>(Das Lösen des LGS sollte bei der Bewertung nicht mehr als 15 Punkte umfassen. Die nicht erwartete maßstabsgerechte Funktionsgleichung lautet übrigens:</i> <math display="block">\hat{h}(x) = h\left(\frac{x}{800}\right) = \frac{3}{1,6384 \cdot 10^{13}} \cdot x^5 - \frac{3}{8,192 \cdot 10^9} \cdot x^4 + \frac{1}{5,12 \cdot 10^6} \cdot x^3)</math> </li> <li>Die Steigungen der Trasse werden durch die Ableitung von <math>h</math> ausgedrückt:  <math display="block">h'(x) = 300 \cdot x^4 - 600 \cdot x^3 + 300 \cdot x^2</math>.            Aus Symmetriegründen liegt das Maximum von <math>h'</math> (der Wendepunkt von <math>h</math>) in der Mitte der Rampe, also bei <math>x = \frac{1}{2}</math>.</li> </ul>			

	Lösungsskizze	Zuordnung, Bewertung		
		I	II	III
	<p><i>Man kann dieses Ergebnis natürlich auch mit Hilfe der 2. und 3. Ableitung bestätigen, das wird aber nicht erwartet:</i></p> $h\left(\frac{1}{2}\right) = \frac{75}{4}.$ <p>Indem wir die Maßstabsveränderung rückgängig machen, erhalten wir den tatsächlichen Maximalwert für die Steigung der Rampe <math>\frac{75}{4 \cdot 800} \approx 2,34\%</math>. Dieser Wert ist noch zulässig.</p>	10	25	
e)	<p>Statt des konkreten Wertes von <math>r=1</math> (in Wirklichkeit: <math>\hat{r}=800</math>) kann man eine Variable <math>r</math> (für die Rampenlänge) einführen.</p> <p>Dann argumentiert und rechnet man entweder genau wie in d) und erhält den Maximalwert für die Steigung als Funktion <math>\max s(r)</math> von <math>r</math>. Nun löst man die Gleichung:</p> $\max s(r) = 800 \cdot 2,4\%.$ <p>Oder man kann auch direkt in das Gleichungssystem eine weitere Gleichung <math>h'\left(\frac{r}{2}\right) = 800 \cdot 0,024</math> mit der weiteren Unbekannten <math>r</math> einführen und erhält dann die minimale Rampenlänge direkt als ein Element des Lösungsvektors.</p> <p>(Zusatzzinformation für Korrektoren: Beide Wege führen auf das Ergebnis <math>r \approx 0,977</math> bzw. (<math>\hat{r} \approx 781,25</math>). Die Rampe kann also nur unwesentlich um knapp 19 m verkürzt werden.)</p>			20
	Insgesamt 100 BWE	25	55	20

### Aufgabe 3 Minigolfbahn

Aufgabe aus der schriftlichen Abiturprüfung Hamburg 2005.

Bei einer Minigolfanlage soll eine Bahn mit einer Kurve angelegt werden. Der Ball läuft bis zur Kurve geradeaus (seine Einlaufstrecke), und nach dem Verlassen der Kurve läuft er wiederum geradeaus (seine Auslaufstrecke). In der Kurve führt die Bande den Ball. Die Form dieser Bande soll modelliert werden.

Der Beginn der Bande – der Einlaufpunkt in die Kurve – heißt  $E$ , das Ende der Bande – der Auslaufpunkt aus der Kurve – entsprechend  $A$ .

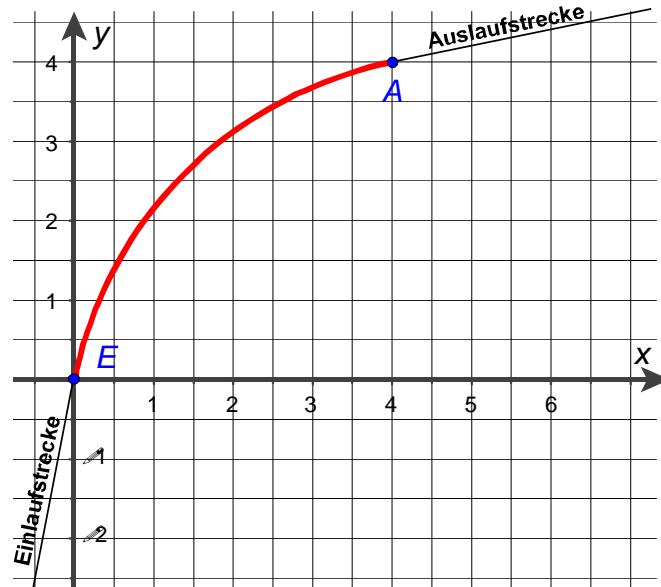
Dabei werden von den Planern zunächst folgende Forderungen gestellt:

- i) Der Einlaufpunkt  $E$  liegt im Koordinatenursprung.
- ii) Der Auslaufpunkt  $A$  hat die Koordinaten  $(4 | 4)$ .
- iii) Die Einlaufstrecke hat die Steigung 5 und läuft bei  $E$  tangential in die Bandenkurve ein, die Auslaufstrecke schließt bei  $A$  tangential an die Bandenkurve an.

- a) Als erstes wird versucht, die Bandenkurve einfach durch einen Kreisbogen zu realisieren (vgl. nebenstehende Abbildung).

Zeigen Sie mit Hilfe geeigneter Rechnungen oder geometrischer Konstruktionen, dass der Mittelpunkt dieses Kreisbogens die Koordinaten  $(5 | -1)$  haben muss und die Auslaufstrecke dann

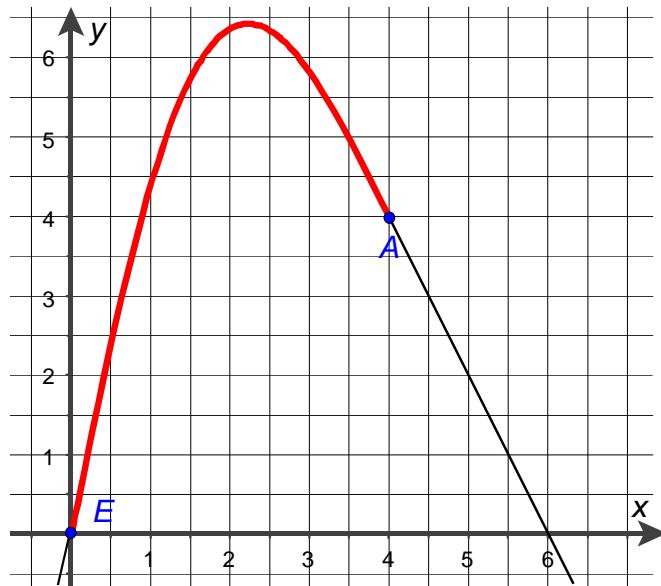
zwangsläufig die positive Steigung  $\frac{1}{5}$  hat.



Fortsetzung nächste Seite →

- b) Der Ball soll aber stärker umgelenkt werden. (vgl. nebenstehende Abbildung). Die Auslaufstrecke soll deshalb eine negative Steigung haben, so dass also der Kreisbogen aus a) nicht verwendbar ist. Die Planer wünschen:
- iv) Die Auslaufstrecke hat die Steigung  $-2$ .

- Bestimmen Sie den Winkel zwischen der gewünschten Einlauf- und Auslaufrichtung.
- Begründen Sie, dass alle vier Bedingungen i) – iv) durch eine ganzrationale Funktion 3. Grades eindeutig erfüllt werden können, und bestimmen Sie die Gleichung dieser Funktion  $f$ .
- Bestimmen Sie die Koordinaten des Hochpunktes von  $f$  und zeigen Sie, dass auf dem Graphen von  $f$  zwischen  $E$  und  $A$  kein Krümmungswechsel stattfindet.



Die Bahn wird wie in b) beschrieben gebaut. Da aber beim Einlaufpunkt  $E$  und beim Auslaufpunkt  $A$  die zweite Ableitung der Bahnkurve nicht existiert bzw. einen Sprung macht, tritt deshalb leider auch jeweils eine sprunghafte Änderung der Krümmung auf (was den Lauf des Balls stört). Darum soll die Bahn derart verändert werden, dass im Einlaufpunkt  $E$  und im Auslaufpunkt  $A$  jeweils der Sprung der zweiten Ableitung vermieden wird und trotzdem alle vier Forderungen i) – iv) erfüllt werden.

- c) Begründen Sie, dass alle diese Forderungen zusammen durch eine ganzrationale Funktion 5. Grades erfüllt werden können.

Bestimmen Sie die Gleichung dieser Funktion.

## Erwartungshorizont

	Lösungsskizze	Zuordnung, Bewertung		
		I	II	III
a)	<p>Der Mittelpunkt <math>M</math> des Kreisbogens liegt einerseits auf der Mittelsenkrechten <math>m</math> der Sehne <math>\overline{EA}</math>: Sehne <math>\overline{EA}</math>: <math>y = x</math>.</p> <p>Die Mittelsenkrechte <math>m</math> geht durch <math>(2   2)</math> und hat die Steigung <math>-1</math>. Eingesetzt in die allgemeine Gleichung linearer Funktionen erhält man:</p> $2 = -2 + b \Leftrightarrow b = 4$ <p>Damit gilt:</p> $m(x) = -x + 4$ <p>Andererseits liegt <math>M</math> auf dem Lot zur Einlaufstrecke durch <math>E</math> mit der Gleichung</p> $l(x) = -\frac{1}{5}x.$ <p>Man berechnet leicht, dass <math>M</math> als Schnittpunkt die Koordinaten <math>(5   -1)</math> hat.</p> $-\frac{1}{5}x = -x + 4 \Leftrightarrow \frac{4}{5}x = 4 \Leftrightarrow x = 5 \text{ und } y = -5 + 4 = -1.$ <p>Oder man konstruiert die beiden Geraden (mit Lineal und Geodreieck) und liest die Koordinaten des Schnittpunktes ab.</p> <p>Dann hat der Radius <math>\overline{MA}</math> die Steigung <math>\frac{y_A - y_M}{x_A - x_M} = \frac{4 - (-1)}{4 - 5} = -5</math>.</p> <p>Die Auslaufstrecke ist als Tangente senkrecht zu diesem Radius. Sie hat also die Steigung <math>\frac{1}{5}</math>.</p> <p>Oder man konstruiert (mit Lineal und Geodreieck) das Lot zum Radius <math>\overline{MA}</math> durch den Punkt <math>A</math> und liest die Steigung im Karonetz ab.</p> <p><u>Korrekturhinweis:</u> Wenn der Weg über die geometrischen Konstruktionen gewählt wurde, müssen die einzelnen Schritte explizit beschrieben werden.</p>	10	15	
b)	<ul style="list-style-type: none"> <li>Der Winkel zwischen der Einlauf- und der Auslaufrichtung ergibt sich aus den Winkeln, die die Ein- und Auslaufstrecke jeweils mit der <math>x</math>-Achse bilden. Über den Arcustangens der Steigungen erhält man diese Winkel:  <math>\alpha_E = \arctan(5) \approx 78,7^\circ</math> und <math>\alpha_A = \arctan(-2) \approx -63,4^\circ</math>.</li> </ul> <p>Für den Winkel zwischen Einlauf- und Auslaufrichtung erhält man (über die Winkelsumme im Dreieck) das Maß <math>37,9^\circ</math>.</p> <p>Oder direkte Berechnung über die Formel:</p> $\tan \alpha = \frac{m_2 - m_1}{1 + m_1 \cdot m_2} = \frac{-2 - 5}{1 - 10} = \frac{7}{9}$ $\alpha = 37,87\ldots^\circ$ <p>Einlauf- und Auslaufstrecke bilden einen Winkel von ca. <math>37,9^\circ</math>.</p>			

	Lösungsskizze	Zuordnung, Bewertung		
		I	II	III
	<ul style="list-style-type: none"> <li>Eine ganzrationale Funktion <math>f</math> dritten Grades hat die Form:</li> </ul> $f(x) = ax^3 + bx^2 + cx + d$ <p>Um die vier Koeffizienten zu bestimmen, werden 4 Bedingungen benötigt. Aus diesen lässt sich ein lineares Gleichungssystem mit vier Gleichungen und vier Unbekannten formulieren:</p> <p>aus i) folgt <math>f(0) = 0</math> und damit sofort <math>d = 0</math>.</p> <p>aus iii) folgt <math>f'(0) = 5</math> und damit sofort <math>c = 5</math>.</p> <p>aus ii) folgt <math>f(4) = 4</math></p> <p>und zusammen mit den bisherigen Ergebnissen die Gleichung</p> $64a + 16b = -16$ <p>aus iv) folgt <math>f''(4) = -2</math></p> <p>und zusammen mit den bisherigen Ergebnissen die Gleichung</p> $48a + 8b = -7$ <p>Dieses Gleichungssystem hat die Lösung <math>a = \frac{1}{16}</math> und <math>b = -\frac{5}{4}</math>.</p> <p>Die gesuchte Funktionsgleichung lautet <math>f(x) = \frac{1}{16}x^3 - \frac{5}{4}x^2 + 5x</math>.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Es gilt <math>f'(x) = \frac{3}{16}x^2 - \frac{5}{2}x + 5</math> mit den Nullstellen</li> </ul> $x_{1,2} = \frac{20}{3} \pm \frac{4}{3} \cdot \sqrt{10}$ , d.h. $x_1 \approx 10,88$ und $x_2 \approx 2,45$ . <p>Da <math>f</math> kubische Funktion mit positivem Leitkoeffizienten ist, liegt damit bei <math>x_2</math> ein Hochpunkt. Es gilt: <math>f(x_2) = -\frac{100}{27} + \frac{80}{27} \cdot \sqrt{10} \approx 5,67</math></p> <p>Der Hochpunkt liegt in diesem Bandenbereich und hat die Koordinaten <math>(2,45   5,67)</math>.</p> <p>Es ist nun noch zu zeigen, dass der Wendepunkt von <math>f</math> nicht im Bandenbereich, also nicht zwischen <math>x = 0</math> und <math>x = 4</math>, liegt:</p> <p>Es gilt <math>f''(x) = \frac{3}{8}x - \frac{5}{2}</math> mit der Nullstelle <math>x_3 = \frac{20}{3} &gt; 6</math>.</p> <p>Diese Wendestelle liegt in der Tat außerhalb des Bandenbereichs.</p>	15	20	5
c)	<ul style="list-style-type: none"> <li>Eine ganzrationale Funktion fünften Grades hat die Form:</li> </ul> $h(x) = ax^5 + bx^4 + cx^3 + dx^2 + ex + g$ <p>Um die sechs Koeffizienten zu bestimmen, werden jetzt sechs voneinander unabhängige Bedingungen benötigt. Aus diesen lässt sich ein eindeutig lösbares lineares Gleichungssystem mit sechs Gleichungen und sechs Unbekannten formulieren:</p> <p>Es gelten weiterhin die Forderungen i) bis iv).</p> <p>Daraus folgt zunächst wieder: <math>g = 0</math> und <math>e = 5</math>.</p> <p>Neu hinzu kommen die Bedingungen, dass bei <math>E</math> und <math>A</math> keine sprunghafte Änderung der Krümmung auftritt, also</p>			

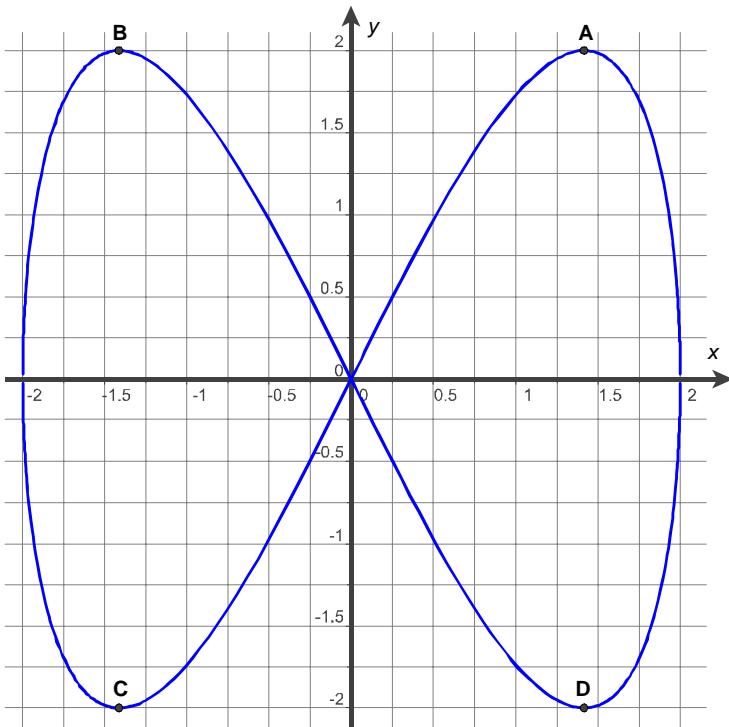
	<b>Lösungsskizze</b>	Zuordnung, Bewertung		
		I	II	III
	<p>v) <math>h''(0) = 0</math> und vi) <math>h''(4) = 0</math></p> <p>Aus v) folgt sofort <math>d = 0</math>.</p> <p>Für <math>a, b</math> und <math>c</math> ergibt sich dann folgendes lineare Gleichungssystem:</p> $\begin{array}{lll} 1024a + 256b + 64c + 20 = 4 & I & 1024a + 256b + 64c = -16 \\ 1280a + 256b + 48c + 5 = -2 \text{ bzw. } II & II & 1280a + 256b + 48c = -7 \\ 1280a + 192b + 24c = 0 & III & 1280a + 192b + 24c = 0 \end{array}$ <p>Elimination z.B. von <math>c</math>: <math>\begin{array}{ll} -3 \cdot I + 4 \cdot II : I' &amp; 2048a + 256b = 20 \\ -II + 2 \cdot III : II' &amp; 1280a + 128b = 7 \end{array}</math>,</p> <p>danach von <math>b</math>: <math>-I' + 2 \cdot II' : 512a = -6</math>, gekürzt <math>256a = -3</math>. Daraus folgt</p> <p><math>a = -\frac{3}{256}</math>. Eingesetzt in <math>I'</math>: <math>256b = 44</math> oder <math>64b = 11</math>. Damit ist</p> <p><math>b = \frac{11}{64}</math>. Eingesetzt in <math>I</math>: <math>64c = -48</math>, also gekürzt <math>c = -\frac{3}{4}</math>.</p> <p>Zusammen mit <math>e = 5</math> (s.o.) lautet die Gleichung der ganzrationalen Funktion</p> $h(x) = -\frac{3}{256}x^5 + \frac{11}{64}x^4 - \frac{3}{4}x^3 + 5x$ <p><i>Grafische Darstellung (nicht gefordert):</i></p>			
		15	20	
	Insgesamt 100 BWE	25	50	25

## Aufgabe 4 Schulhofgestaltung

Der Leistungskurs Mathematik soll im Rahmen eines Projektes Vorschläge für die Neugestaltung des Schulhofes vorlegen. Die Schüler und Schülerinnen schlagen vor, eine Fahrradbahn zu bauen. Es wird die nebenstehende Skizze vorgelegt.

(Die Breite der Bahn soll nicht berücksichtigt werden.)

Maßstab: 1 Einheit entspricht 10 m



- a) Begründen Sie, dass die Bahn durch eine Gleichung der Form  $y^2 = a \cdot x^2 - x^4$  ( $a > 0$ ) beschrieben werden kann, bestimmen Sie den Wert von  $a$  und ermitteln Sie für diesen Wert die Menge aller  $x \in \mathbb{R}$ , sodass ebenfalls  $y \in \mathbb{R}$ .
- b) Begründen Sie, warum zum Beschreiben der Bahn mit Hilfe von Funktionen zwei Funktionen  $f$  und  $g$  benötigt werden und geben Sie begründend deren Funktionsterme  $f(x)$  und  $g(x)$  an.

Die folgenden Überlegungen sollen für  $a = 4$  durchgeführt werden.

- c) Untersuchen Sie die Umgebung der gemeinsamen Punkte der Funktionen  $f$  und  $g$  im Hinblick auf „Knicks“ im Bahnverlauf.  
Begründen Sie, warum man mit dem Fahrrad die Bahn von  $A$  nach  $C$  und dann nach  $B$  und  $D$  und nicht in der Reihenfolge von  $A$  nach  $B$  und dann nach  $C$  und  $D$  durchfahren sollte, wenn man mit hoher Geschwindigkeit fahren möchte.
- d) Auf der eingeschlossenen, rechten Teilfläche soll ein Baum gepflanzt werden. Bestimmen Sie die Koordinaten des Pflanz-Punktes so, dass dieser Punkt in  $y$ -Richtung jeweils den gleichen maximalen Abstand zur Bahn hat. Berechnen Sie diesen Abstand.
- e) Die eingeschlossene Gesamtfläche soll mit Rasen eingesät werden. Wie groß ist die Samenmenge, die gekauft werden muss, wenn man pro  $\text{m}^2$  25g benötigt?
- f) Aus Platzgründen muss die Bahn doch verkleinert werden und zwar so, dass der in  $y$ -Richtung am weitesten entfernte Punkt nicht mehr 20 m sondern 15 m von der  $x$ -Achse entfernt ist. Die Form der Bahn soll beibehalten werden.  
Welche Auswirkungen hat diese Maßnahme auf die Funktionsterme von  $f$  und  $g$ , auf den Bahnverlauf in der Umgebung der gemeinsamen Punkte, auf das Pflanzloch für den Baum und auf die Größe der Rasenfläche?  
Bestimmen Sie die Veränderungen ohne viel zu rechnen und beschreiben Sie Ihr Vorgehen.

## Erwartungshorizont

	Lösungsskizze	Zuordnung, Bewertung		
		I	II	III
a)	<p>Der Graph ist symmetrisch zur <math>x</math>-Achse, d.h. bis auf die drei Nullstellen <math>(-2 0)</math>, <math>(0 0)</math> und <math>(2 0)</math> gibt es zu jeder <math>x</math>-Koordinate im Intervall <math>[-2;2]</math> zwei Punkte, die sich nur im Vorzeichen der <math>y</math>-Koordinate unterscheiden. Das trifft für die angegebene Gleichung zu, da die <math>y</math>-Koordinate quadriert ist, das Vorzeichen also keine Rolle spielt.</p> <p>Der Graph ist jedoch auch symmetrisch zur <math>y</math>-Achse, welches die rechte Seite der Gleichung garantiert, die aus einem Polynom mit nur geraden Exponenten besteht. Damit geht der Graph auch durch den Ursprung.</p> <p>Die konkrete Form des Graphen hängt von <math>a</math> ab. Aus der Nullstelle bei <math>(2 0)</math> folgt <math>0 = 4a - 16</math>, also <math>a = 4</math>.</p> <p>Die Koordinaten von <math>A</math> sind nach der Skizze etwa <math>x_A \approx 1,4</math> und <math>y_A = 2</math>. Damit erfüllt auch <math>A</math> wohl die Gleichung, denn <math>4 \approx 4 \cdot 1,96 - 3,8416 = 3,9984</math> und damit aus Symmetriegründen auch <math>B</math>, <math>C</math> und <math>D</math>.</p> <p>Für <math> x  &gt; 2</math> wird <math>4x^2 - x^4 = x^2(4 - x^2)</math> negativ, weil dann <math>x^2 &gt; 4</math> ist. In diesem Fall ist <math>y \notin \mathbb{R}</math>. Sonst ist der Term nicht negativ.</p> <p>Die gesuchte Menge ist daher <math>x \in [-2;2]</math>. Das entspricht ebenfalls dem Graphen.</p> <p><i>Hinweis: An dieser Stelle könnte auch der 1. Teil von Aufgabenteil c) bearbeitet werden, um die Übereinstimmung Term-Graph besser zu belegen.</i></p>	10	10	5
b)	<p>Bei einer Funktion ist jeder <math>x</math>-Koordinate (aus der Definitionsmenge) genau eine <math>y</math>-Koordinate zugeordnet, hier bis auf die Nullstellen zwei, die man je einer Funktion zuordnen kann, also z.B. den Graphen oberhalb der <math>x</math>-Achse der Funktion <math>f</math>, den Graphen unterhalb der <math>x</math>-Achse der Funktion <math>g</math>.</p> <p>Die Doppeldeutigkeit in der Gleichung <math>y^2 = 4x^2 - x^4</math> kann durch Radizieren beseitigt werden und bei <math>g_a</math> durch zusätzliche Multiplikation mit <math>-1</math>:</p> $f(x) = \sqrt{4x^2 - x^4} \quad \text{und} \quad g(x) = -\sqrt{4x^2 - x^4} \quad \text{mit } D_f = D_g = [-2;2].$	5	5	
c)	<p>Gemeinsame Punkte der beiden Graphen sind bei den 3 Nullstellen: <math>-2, 0, 2</math>. Die Graphen gehen an diesen Stellen jeweils stetig in einander über.</p> <p>Um das Steigungsverhalten zu untersuchen, betrachtet man die erste Ableitung. Diese bildet man mit der Kettenregel. Es folgt dann:</p> $f': x \rightarrow \frac{4x - 2x^3}{\sqrt{4x^2 - x^4}} \quad \text{mit} \quad D_{f'} = D_f \setminus \{-2; 0; 2\}.$ <p>Da der Nenner der ersten Ableitung an den Definitionsrändern nicht definiert ist, besitzt die erste Ableitung dort jeweils eine Polstelle. Der Graph von <math>f</math> trifft also senkrecht auf die <math>x</math>-Achse. Da dies auch entsprechend für <math>g(x)</math> gilt, gehen die beiden Graphen an den Rändern ohne Knick und Sprung in einander über. Auch die Nullstelle <math>x_3 = 0</math> von <math>f(x)</math> ist eine Definitionslücke von <math>f'(x)</math>.</p> <p>Im Fall <math>x &lt; 0</math> gilt: <math>\lim_{x \rightarrow 0} f'(x) = \lim_{x \rightarrow 0} \frac{x(4 - 2x^2)}{ x \sqrt{4 - x^2}} = \lim_{x \rightarrow 0} \frac{-(4 - 2x^2)}{\sqrt{4 - x^2}} = -2</math>.</p> <p>Im Fall <math>x &gt; 0</math> gilt: <math>\lim_{x \rightarrow 0} f'(x) = \lim_{x \rightarrow 0} \frac{x(4 - 2x^2)}{ x \sqrt{4 - x^2}} = \lim_{x \rightarrow 0} \frac{(4 - 2x^2)}{\sqrt{4 - x^2}} = 2</math>.</p>			

	Lösungsskizze	Zuordnung, Bewertung		
		I	II	III
	<p><math>f'(x)</math> ist somit an der Stelle <math>x = 0</math> nicht stetig ergänzbar und <math>f</math> an der Stelle <math>x = 0</math> nicht differenzierbar.</p> <p>Der Graph von <math>f</math> besitzt dort also einen Knick.</p> <p>Entsprechende Überlegungen gelten auch für <math>g(x)</math> an der Stelle 0.</p> <p>Nähert man sich nun aber der Stelle 0 von rechts und betrachtet die Steigung von <math>f</math> und ebenso der Stelle 0 von links und betrachtet <math>g(x)</math>, so erkennt man, dass die Graphen ohne Knick und Sprung an der Stelle 0 in einander übergehen. Entsprechendes gilt für die spiegelbildliche Variante.</p> <p>Nähert man sich nun von A kommend der Stelle 0, so kann man ohne die Geschwindigkeit zu vermindern über diese Stelle zum Punkt C fahren – vorausgesetzt, man ist allein auf der Bahn. Will man jedoch von A direkt nach B fahren, muss man, da der Bahnverlauf einer „spitzen Kehre“ folgt, zunächst die Geschwindigkeit deutlich verringern, um nicht aus der Bahn getragen zu werden.</p>	5	10	5
d)	<p>Wenn der Punkt für das Pflanzloch sowohl nach unten wie nach oben den gleichen maximalen Abstand zur Bahn hat, dann muss er sich auf Grund des Symmetrieverhaltens auf der <math>x</math>-Achse befinden. Die genaue Stelle wird durch den <math>x</math>-Wert des Maximums angegeben. Um diese Stelle zu bestimmen, berechnet man die Nullstellen der 1. Ableitung, die in diesem Fall die Nullstellen des Zählerpolynoms der 1. Ableitung sind. Man erhält:</p> $x \cdot (4 - 2x^2) = 0$ <p>Da 0 nicht zum Definitionsbereich der 1. Ableitung gehört, kann nur der 2. Faktor den Wert 0 annehmen. Nach einfachen Umformungen folgt für die mögliche Extremstelle: <math>x = \sqrt{2}</math>. Weitere Extremstellen gibt es nicht, da nur die rechte Teilfläche betrachtet werden soll.</p> <p>Um nachzuweisen, dass dort tatsächlich ein Maximum vorliegt, bildet man z.B. die 2. Ableitung an dieser Stelle. Dazu muss man innerhalb der Quotientenregel die Kettenregel anwenden. Mit einigen Umformungen folgt:</p> $f''(x) = \frac{2x^6 - 12x^4}{\sqrt{4x^2 - x^4}^3}.$ <p>Das Vorzeichen der 2. Ableitung wird hier bestimmt durch den Zähler, denn der Nenner kann nicht negativ werden. Setzt man in den Zähler für <math>x</math> den Wert <math>\sqrt{2}</math> ein, so erhält man <math>2 \cdot 8 - 12 \cdot 4 &lt; 0</math>. Folglich liegt dort ein Maximum.</p> <p><i>Der Nachweis für ein Maximum kann auch über einen Vorzeichenwechsel der 1. Ableitung nachgewiesen werden.</i> Das Vorzeichen im Bereich von <math>\sqrt{2}</math> wird bestimmt durch den Faktor <math>(4 - 2x^2)</math> im Zähler: für <math>0 &lt; x &lt; \sqrt{2}</math> ist der Faktor positiv, der Graph steigt also monoton. Für <math>x &gt; \sqrt{2}</math> ist der Faktor negativ, der Graph fällt. Damit liegt ein Maximum vor.</p> <p>Der Pflanzpunkt <math>P</math> liegt also bei <math>P(\sqrt{2}   0)</math>.</p> <p>Um den Abstand in <math>y</math>-Richtung zu berechnen, bestimmt man <math>f(\sqrt{2})</math> und erhält den Wert 2.</p>	5	10	5

	Lösungsskizze	Zuordnung, Bewertung		
		I	II	III
e)	<p>Aus Symmetriegründen gilt für den gesuchten Flächeninhalt <math>A</math>:</p> $A = 4 \int_0^2 f(x) dx = 4 \int_0^2 \sqrt{4x^2 - x^4} dx = 4 \int_0^2 \sqrt{x^2(4 - x^2)} dx.$ <p>Die Berechnung des Integrals erfolgt mit Hilfe der Substitutionsregel unter Verwendung der Substitution <math>t = 4 - x^2</math>.</p> $A = 4 \cdot \left( -2 \int_4^0 \sqrt{t} dt \right) = -8 \cdot \left[ \frac{2}{3} \sqrt{t^3} \right]_4^0 = \frac{16}{3} \sqrt{4^3} = \frac{128}{3}.$ <p>Da eine Längeneinheit 10 m entspricht, benötigt man ungefähr 106,7 kg Samen.</p>		10	5
f)	<p>Wenn die Bahn wie angegeben unter Beibehaltung der Form verkleinert werden soll, so bedeutet dies eine Stauchung um den Faktor <math>\frac{3}{4}</math>.</p> <p>Also folgt für den Funktionsterm des Graphen im 1. Quadranten:</p> $f(x) = \frac{3}{4} \cdot \sqrt{4x^2 - x^4}.$ <p>Die Multiplikation mit einem konstanten Faktor hat keine Auswirkungen die Lage der Extremstelle und damit auf die Lage des Pflanzloches. Die „spitze Kehre“ wird etwas abgeflacht. Die Größe der Rasenfläche wird um diesen Faktor verändert, so dass man nun eine Fläche von <math>3200 \text{ m}^2</math> einsäen kann, also 80 kg Samen kaufen muss.</p>		5	5
	Insgesamt 100 BWE			25 50 25

## Aufgabe 5 Tumorwachstum

Quelle: Jahnke/Wuttke, Mathematik - Analysis, Cornelsen.

Für viele Tumorarten kann das Wachstum der Größe eines Tumors durch die folgenden beiden Gleichungen beschrieben werden:

$$(1) \quad V'(t) = r(t) \cdot V(t) \quad \text{und} \quad (2) \quad r'(t) = -c \cdot r(t).$$

Dabei stehen  $t$  für die Zeit ( $t \geq 0$ ),  $V(t)$  für das Tumorvolumen zur Zeit  $t$  und  $r(t)$  für die Wachstumsrate des Tumors zur Zeit  $t$ .  $c$  ist eine positive Konstante.

a) Ermitteln Sie diejenigen Funktionen  $r$ , die Lösungen der Gleichung (2) sind.

Zeigen Sie, dass die Funktion  $V(t) = V(0) \cdot e^{\frac{b}{c} \cdot (1 - e^{-ct})}$  eine Lösung der Gleichung (1) ist, wenn  $b$  die anfängliche Wachstumsrate bezeichnet ( $b = r(0)$  mit  $b > 0$ ).

b) Nun sollen Sie einige Eigenschaften der Funktion  $V$  erforschen.

- Sei zunächst  $V(0) = 5$ ,  $b = 1$  und  $c = 0,8$ .

Untersuchen Sie diese spezielle Funktion mit geeigneten Mitteln so, dass Sie eine Skizze des Graphen der Funktion  $V$  anfertigen können und skizzieren Sie den Graphen.

- Untersuchen Sie unter Bezugnahme auf Ihre eben gewonnenen Erkenntnisse, welche Eigenschaften eine beliebige Funktion  $V$  in Abhängigkeit von  $b$  und  $c$  hat.

c) Interpretieren Sie die Gleichungen (2) und (1).

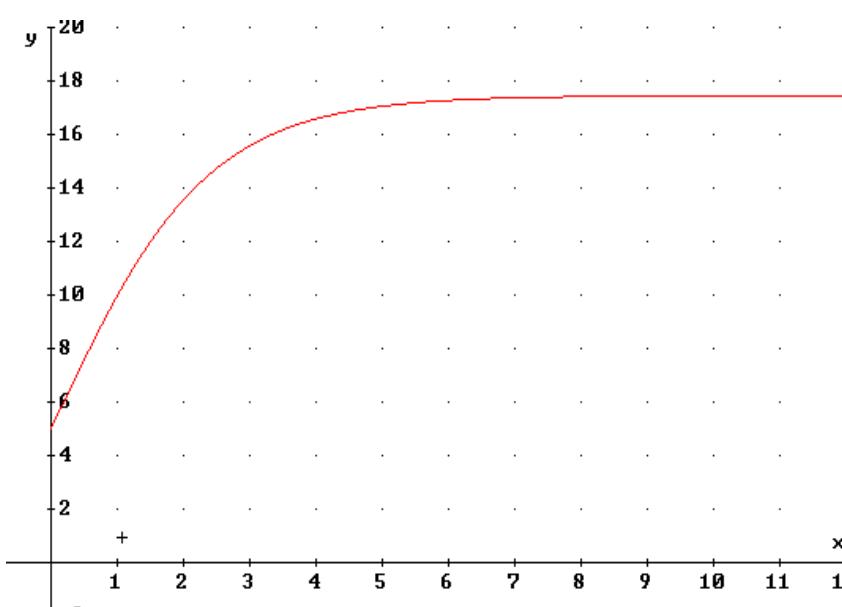
Welche Aussagen kann man über das Tumorwachstum nach diesem Modell machen?

d) Die Modellierung des Tumorwachstums mit der Funktion  $V$  von Aufgabenteil a) beginnt mit der Entdeckung des Tumors. Für diesen Zeitpunkt wird  $t = 0$  festgesetzt.

Will man feststellen, ob das Modell auch bei einer besonders frühen Entdeckung noch die Realität hinreichend genau beschreibt, muss man Kenntnisse über Eigenschaften der Funktion  $V$  für  $t < 0$  haben.

Beschreiben Sie diese Eigenschaften auch unter Verwendung Ihrer Erkenntnisse von Aufgabenteil b).

## Erwartungshorizont

	Lösungsskizze	Zuordnung, Bewertung		
		I	II	III
a)	<p>Lösung der Gleichung (2):  <math>r(t) = k \cdot e^{-c \cdot t}</math>, denn <math>r'(t) = k \cdot (-c) \cdot e^{-c \cdot t} = -c \cdot r(t)</math>.</p> <p>Es reicht als Lösung auch <math>r(t) = e^{-c \cdot t}</math>, da der „Fehler“ bei der Berechnung von <math>V'</math> bemerkt wird und <math>k</math> als Faktor ergänzt werden kann.</p> <p>Vorgegebene Funktion <math>V</math> erfüllt (1):  <math>V</math> wird (nach <math>t</math>) abgeleitet:</p> $V'(t) = V(0) \cdot \left[ \frac{b}{c} \cdot (1 - e^{-c \cdot t}) \right]' \cdot e^{\frac{b}{c} \cdot (1 - e^{-c \cdot t})} = V(t) \cdot b \cdot e^{-c \cdot t}.$ <p>Dies entspricht der Behauptung  (mit der speziellen Lösung von <math>r(t) = b \cdot e^{-c \cdot t}</math>, also <math>k = r(0) = b</math>).</p>		10	5
b)	<p><u>Untersuchung der speziellen Funktion</u> <math>V_{\text{speziell}}(t) = 5 \cdot e^{1,25 \cdot (1 - e^{-0,8 \cdot t})}</math></p> <p>Definitionsbereich nach dem Text der Aufgabe <math>\mathbb{R}_0^+</math>, Wertebereich <math>V(t) &gt; 0</math> für alle <math>t \in \mathbb{D}</math>, da <math>e^x &gt; 0</math> für alle <math>x \in \mathbb{R}</math>.</p> <p>Rechter Rand (<math>t \rightarrow \infty</math>): <math>e^{-0,8 \cdot t}</math> strebt gegen 0, daher gilt: <math>V(t) \rightarrow 5 \cdot e^{1,25} \approx 17,45</math>.</p> <p>Extrema:  <math>V(0) = 5</math> (Startwert gegeben).  <math>V'(t) = V(t) \cdot e^{-0,8 \cdot t}</math> stets <math>&gt; 0</math> für alle <math>t</math>, also keine Extremwerte.  <math>V'(0) = 5</math>: Steigung an der <math>y</math>-Achse beträgt fast <math>80^\circ</math>.</p> <p>Wendepunkt:  <math>V''(t) = V'(t) \cdot e^{-0,8 \cdot t} - 0,8 \cdot V(t) \cdot e^{-0,8 \cdot t} = V(t) \cdot e^{-0,8 \cdot t} \cdot (e^{-0,8 \cdot t} - 0,8)</math>.  <math>V''(t)</math> kann nur 0 werden, wenn die rechte Klammer 0 ist, denn die anderen beiden Faktoren sind stets positiv:  <math>e^{-0,8 \cdot t} - 0,8 = 0 \Leftrightarrow -0,8 \cdot t_W = \ln 0,8 \Leftrightarrow t_W \approx 0,28</math>, <math>V(t_W) = 5 \cdot e^{0,25} \approx 6,42</math>.  Also Wendepunkt in <math>W(0,28   6,42)</math>, da Vorzeichenwechsel von <math>V''</math> bei <math>t_W</math>.</p> 			

	Lösungsskizze	Zuordnung, Bewertung		
		I	II	III
	<p><u>Verallgemeinerung:</u> Definitions- und Wertebereich unverändert.</p> <p>Rechter Rand analog: <math>V(t) \rightarrow V(0) \cdot e^{\frac{b}{c}t}</math>.</p> <p><math>V(0)</math> gegebener Startwert.</p> <p>Extrema: <math>V'(t) = V(t) \cdot b \cdot e^{-ct} &gt; 0</math>, daher keine Extremwerte.</p> <p><math>V'(0) = V(0) \cdot b</math>: Steigung an der <math>y</math>-Achse.</p> <p>Wendepunkt: <math>V''(t) = V'(t) \cdot b \cdot e^{-ct} - c \cdot V(t) \cdot b \cdot e^{-ct} = V(t) \cdot b \cdot e^{-ct} \cdot (b \cdot e^{-ct} - c)</math></p> <p><math>V''(t)</math> kann analog nur 0 werden, wenn die rechte Klammer 0 ist: <math>b \cdot e^{-ct} - c = 0 \Rightarrow t_w = -\frac{1}{c} \cdot \ln \frac{c}{b}</math>.</p> <p>Fall 1: <math>b &gt; c \Rightarrow t_w</math> ist negativ und daher nicht im Definitionsbereich. Keine Wendepunkte.</p> <p>Fall 2: <math>b \leq c \Rightarrow W \left( -\frac{1}{c} \cdot \ln \frac{c}{b} \mid V(0) \cdot e^{\frac{b}{c} \cdot (1 - \frac{b}{c})} \right)</math>,</p> <p>Begründung wie bei b1).</p> <p>Der Graph der allgemeinen Funktion <math>V</math> verläuft daher prinzipiell so wie in b1).</p>	20	35	
c)	<p>Gleichung (2) drückt aus, dass die Wachstumsrate exponentiell abnimmt (<math>c &gt; 0</math>, also <math>-c &lt; 0</math> und <math>e^x &gt; 0</math> für alle <math>x \in \mathbb{R}</math>).</p> <p>Gleichung (1) bedeutet, dass das Volumen des Tumors entsprechend der Wachstumsrate wächst: Volumenänderung (<i>lokal</i>) = Wachstumsrate · Volumen.</p> <p>Die Untersuchungen in b) haben gezeigt, dass das Wachstum nach dem Modell nicht nur stets langsamer wird, sondern dass der Tumor gegen ein maximales Ausmaß strebt, welches nicht überschritten wird (<i>Verhalten am rechten Rand</i>).</p>	5	10	
d)	<p>Zu untersuchen bleibt das Verhalten am linken Rand, also <math>t \rightarrow -\infty</math>. <math>e^{-\text{große Zahl}} \rightarrow 0</math>, damit geht der gesamte Exponent gegen <math>-\infty</math>, also <math>V(t) \rightarrow 0</math>.</p> <p>Die <math>x</math>-Achse ist daher Asymptote am linken Rand des Definitionsbereiches.</p> <p>Nach b2) liegt in Abhängigkeit von der Größe der Parameter <math>b</math> und <math>c</math> mit <math>b &gt; c</math> noch der Wendepunkt links von der <math>y</math>-Achse.</p> <p>(Auch eine Untersuchung der konkreten Funktion von b1) wäre angemessen.)</p>	15		
	Insgesamt 100 BWE	20	65	15

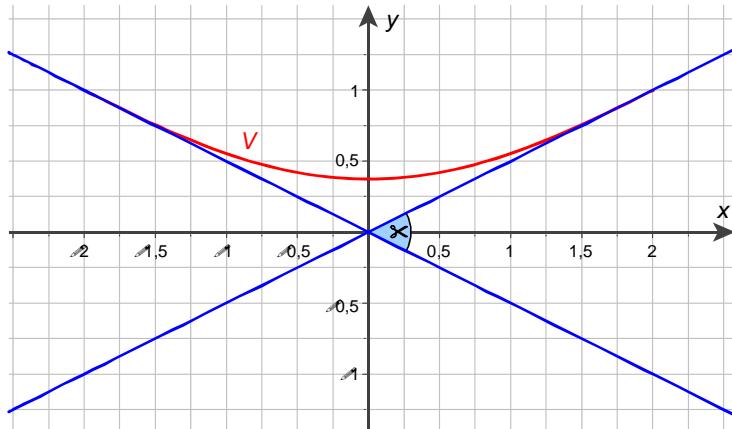
## Aufgabe 6 Straßenkreuzung

Die Aufgabe entspricht mit kleinen Veränderungen der Abituraufgabe LK 2001/3 aus Baden-Württemberg.

Zwei geradlinig verlaufende Straßen bilden an ihrer Kreuzung einen Winkel  $\alpha$  von etwa  $53^\circ$ . Diese Kreuzung soll durch ein zusätzliches Straßenstück entlastet werden. Die Situation kann in einem geeigneten Koordinatensystem durch zwei Geraden und eine Verbindungskurve  $V$  dargestellt werden. (Siehe Skizze, Maßstab: 1 Einheit entspricht 1 km.) Dabei soll die Verbindungskurve  $V$  durch den Graphen einer Funktion  $f$  beschrieben werden.

$V$  mündet an den Stellen  $-2$  und  $2$  ohne Knick und ohne Krümmungssprung in die Geraden ein und endet dort.

Hinweis: Ohne Krümmungssprung bedeutet, dass die Bedingungen  $f''(-2) = f''(2) = 0$  gelten.



- Zeigen Sie, dass man für die beiden Geraden der Straßenkreuzung die beiden Funktionen  $g_1$  mit  $g_1(x) = \frac{1}{2}x$  und  $g_2$  mit  $g_2(x) = -\frac{1}{2}x$  verwenden kann.
  - Welchen Bedingungen muss die Funktion  $f$  genügen, damit gewährleistet ist, dass die Verbindungskurve  $V$  ohne Knick und ohne Krümmungssprung in die Geraden  $g_1$  und  $g_2$  übergeht? Erläutern Sie Ihre Ansätze.
  - Zeigen Sie nun, dass  $f(x) = ax^4 + bx^2 + c$  einen möglichen Ansatz darstellt, wenn alle eben geforderten Bedingungen erfüllt sein sollen, und bestimmen Sie  $f$  für den vorliegenden Fall.
- Ein weiterer Vorschlag sieht als Verbindungskurve den Graphen der Funktion  $h$  vor mit  $h(x) = 1 + \ln(\frac{1}{8}x^2 + \frac{1}{2})$ . Prüfen Sie, ob diese Verbindungsfunktion  $h$  ebenfalls die Bedingungen aus Aufgabenteil a) erfüllt. Zeichnen Sie den Graphen der Funktion  $h$  als Verbindungskurve und die Geraden  $g_1$  und  $g_2$  aus dem Aufgabenteil a) in ein geeignetes Koordinatensystem.
- Die beiden Vorschläge aus den Teilaufgaben a) und b) sollen hinsichtlich des Landschaftsverbrauchs verglichen werden, indem jeweils der Inhalt des Flächenstücks, das von den beiden Geraden  $g_1$  und  $g_2$  und der Verbindungskurve eingeschlossen wird, bestimmt wird.
  - Berechnen Sie für den Vorschlag mit der Verbindungsfunktion  $f$  aus dem Aufgabenteil a) den Inhalt dieses Flächenstücks exakt.
  - Berechnen Sie für den Vorschlag mit der Verbindungsfunktion  $h$  aus dem Aufgabenteil b) den Inhalt dieses Flächenstücks numerisch (8 Teilintervalle reichen).
- Erstellen Sie einen dritten Vorschlag für eine Verbindungsfunktion  $t$  auf der Grundlage einer trigonometrischen Funktion.

## Erwartungshorizont

	Lösungsskizze	Zuordnung, Bewertung		
		I	II	III
a)	<p>Die Gerade <math>g_1</math> schließt mit der positiven <math>x</math>-Achse den Winkel <math>\alpha = \tan^{-1}(\frac{1}{2}) \approx 26,6^\circ</math> ein. Da <math>g_1</math> und <math>g_2</math> achsensymmetrisch zueinander sind, schließen sie einen Winkel von etwa <math>2 \cdot 26,6^\circ = 53,2^\circ</math> ein, also etwa <math>53^\circ</math>.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li><u>Bedingungen für <math>f</math>:</u> Die Funktion <math>f</math> muss an der Stelle <math>-2</math> den gleichen Funktionswert wie <math>g_2</math> haben, d. h. <math>f(-2) = g_2(-2) = 1</math>. Entsprechend gilt: <math>f(2) = g_1(2) = 1</math>. Außerdem muss <math>f</math> in den Punkten <math>P(-2 1)</math> bzw. <math>Q(2 1)</math> die Geraden nur berühren, also die gleiche Steigung wie die Geraden haben. D. h. <math>f'(-2) = g_2'(-2) = -\frac{1}{2}</math> und <math>f'(2) = g_1'(2) = \frac{1}{2}</math>. Zum Krümmungssprung siehe Hinweis in der Aufgabe.</li> <li><u>Nachweis des Ansatzes <math>f(x) = ax^4 + bx^2 + c</math>:</u> Die beiden Geraden <math>g_1</math> und <math>g_2</math> sowie die beiden Berührpunkte liegen symmetrisch zur <math>y</math>-Achse. Wählt man einen ganzrationalen Ansatz mit einer Funktion vierten Grades, so treten nur gerade Potenzen von <math>x</math> auf. Auf Grund der Symmetrie müssen nur noch die Bedingungen <math>f(2) = 1</math>, <math>f''(2) = \frac{1}{2}</math> und <math>f''(2) = 0</math> erfüllt werden. Diese drei Bedingungen führen auf drei lineare Gleichungen für die Koeffizienten der ganzrationalen Funktion <math>f</math>. Für eine eindeutige Lösung benötigt man also als Ansatzfunktion eine ganz rationale Funktion mit drei Koeffizienten, z. B. <math display="block">f(x) = ax^4 + bx^2 + c.</math>Es gilt mit diesem Ansatz: <math display="block">f'(x) = 4ax^3 + 2bx \text{ und}</math><math display="block">f''(x) = 12ax^2 + 2b.</math>Man erhält nun die drei Bedingungen: <math display="block">f(2) = 1 = 16a + 4b + c \quad (I)</math><math display="block">f'(2) = \frac{1}{2} = 32a + 4b \quad (II)</math><math display="block">f''(2) = 0 = 48a + 2b \quad (III)</math><math display="block">(32a + 4b) - 2(48a + 2b) = \frac{1}{2} - 2 \cdot 0 \quad \text{folgt aus II} - 2 \cdot \text{III}</math><math display="block">-64a = \frac{1}{2}</math><math display="block">a = -\frac{1}{128}.</math>Dieses Ergebnis eingesetzt in (II) ergibt <math>32 \cdot \left(-\frac{1}{128}\right) + 4b = \frac{1}{2}</math>, also <math>b = \frac{3}{16}</math>.Dieses Ergebnis in I eingesetzt ergibt <math>c = \frac{3}{8}</math>.Also erhält man: <math>f(x) = -\frac{1}{128}x^4 + \frac{3}{16}x^2 + \frac{3}{8}.</math></li> </ul>	15	15	

	<b>Lösungsskizze</b>	Zuordnung, Bewertung		
		I	II	III
b)	<p>Die Bedingungen werden nacheinander überprüft.</p> $h(-2) = 1 + \ln\left(\frac{1}{8}(-2)^2 + \frac{1}{2}\right) = 1 + \ln(1) = 1 \text{ . Entsprechend } h(2)=1.$ $h'(x) = \frac{\frac{1}{8}2x}{\frac{1}{8}x^2 + \frac{1}{2}} = \frac{2x}{x^2 + 4}.$ <p>Damit folgt <math>h'(-2) = \frac{2 \cdot (-2)}{(-2)^2 + 4} = -\frac{4}{8} = -\frac{1}{2}</math> und entsprechend <math>h'(2) = \frac{1}{2}.</math></p> $h''(x) = \frac{2(x^2 + 4) - 2x \cdot 2x}{(x^2 + 4)^2} = \frac{-2x^2 + 8}{(x^2 + 4)^2}.$ <p>Damit folgt <math>h''(-2) = \frac{-2(-2)^2 + 8}{((-2)^2 + 4)^2} = 0</math> und entsprechend <math>h''(2) = 0.</math></p> <p>Hinweis: Hier wäre auch eine Symmetrieverlegung zur Abkürzung der Rechnungen möglich.</p>			
c)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <u>Fläche mit Vorschlag aus Teil a):</u>            Auf Grund der Symmetrie von <math>f</math> und von <math>g_1</math> und <math>g_2</math> zueinander reicht es, die Berechnung des Integrals auf dem Intervall <math>[0;2]</math> vorzunehmen. Alle Funktionen sind im untersuchten Intervall nicht negativ und haben dort nur den Schnittpunkt <math>Q(2 1).</math></li> </ul> $FL_f = 2 \int_0^2 (f(x) - g_1(x)) dx = 2 \int_0^2 \left( -\frac{1}{128}x^4 + \frac{3}{16}x^2 + \frac{3}{8} - \frac{1}{2}x \right) dx$ $= 2 \left[ -\frac{1}{640}x^5 + \frac{1}{16}x^3 - \frac{1}{4}x^2 + \frac{3}{8}x \right]_0^2 = \frac{2}{5} = 0,4$ <p>Der gesamte verbrauchte Flächeninhalt <math>FL_f</math> bei der Streckenführung mit der Funktion <math>f</math> beträgt 0,4 FE.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• <u>Fläche mit Vorschlag aus Teil b):</u>  <math>h</math> ist symmetrisch zur <math>y</math>-Achse, weil <math>x</math> im Funktionsterm nur quadratisch auftritt. Entsprechend zum Vorschlag aus Teil a) kann man sich wieder auf das Intervall <math>[0;2]</math> beschränken.            Da insgesamt 8 Unterteilungen zu berücksichtigen sind, kann man nun das Intervall in 4 Teile unterteilen. Als numerische Integrationsmethode wird hier die Rechteckmethode genommen.</li> </ul>	10	10	

	<b>Lösungsskizze</b>	Zuordnung, Bewertung		
		I	II	III
	$FL_h \approx 2 \cdot \frac{2}{4} \left( (h - g_1)(\frac{1}{4}) + (h - g_1)(\frac{3}{4}) + (h - g_1)(\frac{5}{4}) + (h - g_1)(\frac{7}{4}) \right)$ $= 0,1974 + 0,0634 + 0,0116 + 0,0004$ $= 0,2728.$ <p>Der gesamte verbrauchte Flächeninhalt <math>FL_h</math> bei der Streckenführung mit der Funktion <math>h</math> beträgt 0,2728 FE.</p>	10	15	
d)	<p>Von den üblichen trigonometrischen Funktionen ist nur die Kosinusfunktion symmetrisch zur <math>y</math>-Achse. Deshalb wird der Einfachheit halber diese Funktion angepasst. Dazu muss der Graph an der <math>x</math>-Achse gespiegelt (<math>\cos(x) \rightarrow -\cos(x)</math>) und nach oben verschoben werden (<math>-\cos(x) \rightarrow -\cos(x) + v</math>). Zusätzlich müssen die Periode (<math>-\cos(x) + v \rightarrow -\cos(p \cdot x) + v</math>) und die Amplitude (<math>-\cos(p \cdot x) + v \rightarrow -a \cdot \cos(p \cdot x) + v</math>) angepasst werden.</p> <p>Es wird nun der Ansatz <math>t(x) = -a \cdot \cos(p \cdot x) + v</math>, mit <math>a, p \neq 0</math> untersucht. (I)</p> <p><math>t'(x) = a \cdot p \cdot \sin(p \cdot x)</math> und (II)</p> <p><math>t''(x) = a \cdot p^2 \cdot \cos(p \cdot x)</math>. (III)</p> <p>Die Bedingungen aus Teil a) müssen erfüllt werden.</p> <p><math>t(2) = 1 = -a \cdot \cos(p \cdot 2) + v</math> (IV)</p> <p><math>t'(2) = \frac{1}{2} = a \cdot p \cdot \sin(p \cdot 2)</math> (V)</p> <p><math>t''(2) = 0 = a \cdot p^2 \cos(p \cdot 2)</math> (VI)</p> <p>Aus (VI) folgt <math>\cos(p \cdot 2) = 0</math> und damit <math>p \cdot 2 = \frac{1}{2}\pi + 2\pi \cdot z</math> mit <math>z \in \mathbb{Z}</math>. Dem Straßenverlauf gemäß ist <math>z = 0</math> zu wählen, so dass <math>p = \frac{1}{4}\pi</math> folgt.</p> <p>Dieses Ergebnis wird in (V) eingesetzt:</p> <p><math>\frac{1}{2} = a \cdot \frac{1}{4}\pi \cdot \sin(\frac{1}{2}\pi)</math>. Da <math>\sin(\frac{1}{2}\pi) = 1</math> gilt, erhält man <math>\frac{1}{2} = a \cdot \frac{1}{4}\pi</math>, also <math>a = \frac{2}{\pi}</math>.</p> <p>Die beiden Ergebnisse für <math>p</math> und <math>a</math> werden nun in (IV) eingesetzt:</p> <p><math>1 = -\frac{2}{\pi} \cdot \cos(\frac{1}{2}\pi) + v</math>. Da <math>\cos(\frac{1}{2}\pi) = 0</math> ist, folgt <math>v = 1</math>.</p> <p>Insgesamt erhält man <math>t(x) = 1 - \frac{2}{\pi} \cdot \cos\left(\frac{1}{4}\pi \cdot x\right)</math>.</p>	10	15	
	Insgesamt 100 BWE	35	50	15

## Aufgabe 7 Energiebedarf

Die Aufgabe entspricht inhaltlich der Abituraufgabe LK 2001/2 aus Baden-Württemberg.

Gegeben sind die Funktionen  $g$  und  $f$  durch

$$g(x) = \frac{2}{1+e^{1-x}} \quad \text{und} \quad f(x) = \frac{2}{1+e^x}, \quad \text{jeweils } x \in \mathbb{R}.$$

a) Weisen Sie nach, dass die Funktion  $g$  die Differentialgleichung

$$g'(x) = \frac{1}{2}g(x) \cdot [2 - g(x)] \quad \text{erfüllt.}$$

Beschreiben Sie die Form des Wachstums, das durch die Funktion  $g$  dargestellt wird?

Geben Sie dabei charakteristische Eigenschaften dieser Wachstumsform an.

b) Untersuchungen haben ergeben, dass die momentane Änderungsrate des Energiebedarfs (in  $10^8 \text{ kWh/Jahr}$ ) eines Landes seit 1990 in guter Näherung durch  $g(x)$  mit  $x \geq 0$  ( $x$ : Zeit in Jahren ab Anfang 1990) beschrieben werden kann.

Zu welchem Zeitpunkt erreicht diese momentane Änderungsrate 98 % ihres Sättigungswertes?

In welchem Jahr verlangsamt sich erstmals die Zunahme der momentanen Änderungsrate des Energiebedarfs?

Berechnen Sie den gesamten Energiebedarf im Zeitraum von Anfang 1990 bis Ende 2000.

Nun werden Eigenschaften der Funktion  $f$  und ihre Beziehung zu  $g$  untersucht.

c) Ermitteln Sie die Asymptoten und den Wendepunkt des Graphen von  $f$ .

Untersuchen Sie das Monotonieverhalten und geben Sie den Wertebereich von  $f$  an.

Zeichnen Sie den Graphen von  $f$  samt Asymptoten.

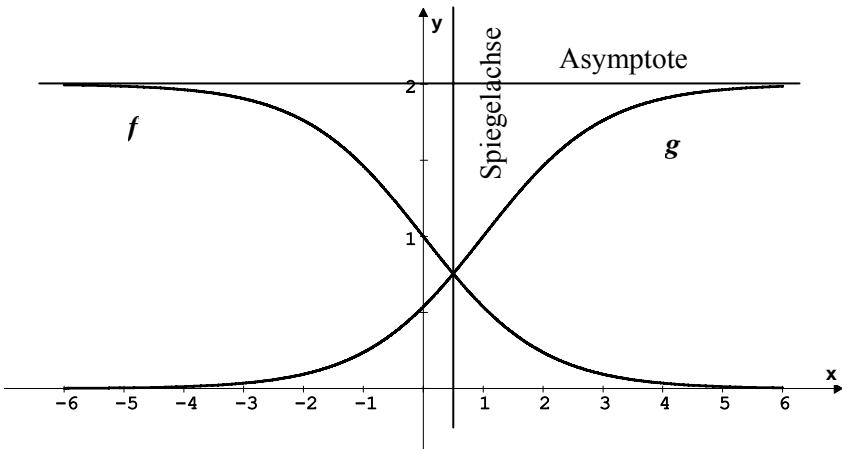
d) Zeigen Sie, dass der Graph von  $g$  aus dem Graphen von  $f$  durch Spiegelung an der Geraden  $x = \frac{1}{2}$  entsteht.

Fügen Sie eine Skizze des Graphen von  $g$  in Ihr Koordinatensystem aus Teilaufgabe c) ein.

Bestimmen Sie den Wertebereich und das Monotonieverhalten von  $g$  sowie den Wendepunkt des Graphen von  $g$ .

## Erwartungshorizont

	Lösungsskizze	Zuordnung, Bewertung		
		I	II	III
a)	<p>Einsetzen des Funktionsterms von <math>g</math> in die rechte Seite der Differentialgleichung und einfache Termumformungen ergeben:</p> $\begin{aligned}\frac{1}{2}g(x) \cdot [2 - g(x)] &= \frac{1}{2} \cdot \frac{2}{1+e^{1-x}} \cdot \left(2 - \frac{2}{1+e^{1-x}}\right) = \frac{1}{1+e^{1-x}} \cdot \frac{2+2e^{1-x}-2}{1+e^{1-x}} \\ &= \frac{2e^{1-x}}{(1+e^{1-x})^2} = g'(x)\end{aligned}$ <p>für alle <math>x \in \mathbb{R}</math>, also erfüllt <math>g</math> die Differentialgleichung.</p> <p>Diese Differentialgleichung beschreibt ein logistisches Wachstum mit Sättigungsgrenze 2.</p> <p>Logistisches Wachstum, das durch eine Funktion <math>h</math> beschrieben wird, erfüllt die Differentialgleichung <math>h'(x) = k \cdot h(x) \cdot (S - h(x))</math>. Bei zunehmendem Argument nähert sich <math>h(x)</math> der Sättigungsgrenze <math>S</math>, bleibt aber stets darunter. Die momentane Änderungsrate von <math>h(x)</math>, d.h. <math>h'(x)</math>, nimmt zu, wenn <math>h(x) &lt; \frac{1}{2}S</math> ist und nimmt ab, wenn <math>h(x) &gt; \frac{1}{2}S</math> gilt. Ihr Maximum ist bei <math>h(x) = \frac{1}{2}S</math>.</p> <p>Für kleine Argumente wird <math>h</math> näherungsweise durch ein exponentielles Wachstum beschrieben.</p> <p>Für große Argumente wird <math>h</math> näherungsweise durch ein beschränktes Wachstum mit Sättigungsgrenze <math>S</math> beschrieben.</p>			
b)	<p>Der Sättigungswert von <math>g</math> ist 2. Zu berechnen ist das Argument <math>x_1</math>, für das der Funktionswert 1,96 beträgt.</p> $\begin{aligned}1,96 &= \frac{2}{1+e^{1-x_1}} \Leftrightarrow 1,96 + 1,96e^{1-x_1} = 2 \Leftrightarrow e^{1-x_1} = \frac{1}{49} \Leftrightarrow 1-x_1 = \ln(\frac{1}{49}) \\ &\Leftrightarrow x_1 = 1 - \ln(\frac{1}{49}) \Rightarrow x_1 \approx 4,89\end{aligned}$ <p>98% der Sättigungsgrenze wird also gegen Ende des Jahres 1994 erreicht.</p> <p>Die Zunahme der momentanen Änderungsrate verlangsamt sich ab dem Zeitpunkt <math>x_2</math>, für den der Funktionswert gleich der Hälfte des Sättigungswertes ist.</p> $g(x_2) = 0,5 \cdot 2 \Leftrightarrow \frac{2}{1+e^{1-x_2}} = 1 \Leftrightarrow 1 = e^{1-x_2} \Leftrightarrow 0 = 1 - x_2 \Leftrightarrow x_2 = 1$ <p>Ab dem Beginn des Jahres 1991 verlangsamt sich die momentane Änderungsrate des Energiebedarfs.</p> <p>Der gesamte Energiebedarf <math>E</math> wird als Integral von <math>g</math> über den Zeitraum von 0 bis 11 Jahren berechnet.</p> $\begin{aligned}E &= \int_0^{11} g(x) dx = \int_0^{11} \frac{2}{1+e^{1-x}} dx = 2 \cdot \int_0^{11} \frac{e^x}{e^x + e} dx = 2 \cdot \left[ \ln(e^x + e) \right]_0^{11} \\ &= 2 \cdot (\ln(e^{11} + e) - \ln(e^0 + e)) \approx 19,37\end{aligned}$ <p>Der gesamte Energiebedarf zwischen Anfang 1990 und Ende 2000 beträgt ca. <math>19,4 \cdot 10^8</math> kWh.</p>	22		

	Lösungsskizze	Zuordnung, Bewertung		
		I	II	III
c)	<p>Da <math>f</math> in ganz <math>\mathbb{R}</math> definiert ist, kann der Graph von <math>f</math> keine senkrechten Asymptoten besitzen.</p> $\lim_{x \rightarrow \infty} \frac{2}{1+e^x} = 0$ , da die Exponentialfunktion für $x \rightarrow \infty$ auch gegen $\infty$ geht. Die $x$ -Achse ist also waagerechte Asymptote für $x \rightarrow \infty$ . $\lim_{x \rightarrow -\infty} \frac{2}{1+e^x} = 2$ , da die Exponentialfunktion für $x \rightarrow -\infty$ gegen 0 geht. Die Gerade mit der Gleichung $y = 2$ ist also waagerechte Asymptote für $x \rightarrow -\infty$ . Die Ableitungen der Funktion $f$ erhält man mit der Quotienten- und der Kettenregel: $f'(x) = \frac{-2e^x}{(1+e^x)^2}, \quad f''(x) = \frac{2e^x(e^x-1)}{(1+e^x)^3}, \quad f'''(x) = \frac{-2e^{3x}+8e^{2x}-2e^x}{(1+e^x)^4}.$ <p>Die notwendige Bedingung für die Existenz einer Wendestelle ist <math>f''(x) = 0</math>.  <math>\frac{2e^x(e^x-1)}{(1+e^x)^3} = 0 \Leftrightarrow 2e^x(e^x-1) = 0 \Leftrightarrow e^x = 1 \Leftrightarrow x = 0</math>, da <math>e^x &gt; 0</math> für alle <math>x \in \mathbb{R}</math> gilt.  Da <math>f'''(0) = \frac{1}{4} \neq 0</math> und <math>f(0) = 1</math> gilt, besitzt der Graph von <math>f</math> den Wendepunkt <math>(0   1)</math>.</p> <p>(Alternativ kann auf die Berechnung von <math>f'''(x)</math> verzichtet werden, wenn der Vorzeichenwechsel von <math>f''(x)</math> an der Stelle 0 gezeigt wird.)</p> <p>Da die erste Ableitung von <math>f</math> für alle <math>x \in \mathbb{R}</math> negativ ist, ist die Funktion <math>f</math> streng monoton fallend.</p> <p>Der Wertebereich von <math>f</math> ist <math>]0; 2[</math>, da die waagerechten Asymptoten den Gleichungen <math>y = 2</math> und <math>y = 0</math> genügen und die Funktion <math>f</math> streng monoton fallend ist.</p> 	16	20	

	<b>Lösungsskizze</b>	Zuordnung, Bewertung		
		I	II	III
d)	<p>Um die Achsensymmetrie zur Geraden <math>x = \frac{1}{2}</math> nachzuweisen, zeigt man, dass für alle <math>x \in \mathbb{R}</math> die Gleichung <math>f(\frac{1}{2} - x) = g(\frac{1}{2} + x)</math> erfüllt ist.</p> $f\left(\frac{1}{2} - x\right) = \frac{2}{1 + e^{\frac{1-x}{2}}} = \frac{2}{1 + e^{1 - \frac{1+x}{2}}} = g\left(\frac{1}{2} + x\right).$ <p>Skizze siehe Lösung Teil c)</p> <p>Der Wertebereich von <math>g</math> entspricht dem von <math>f</math>, da der Graph von <math>g</math> durch Spiegelung an der Geraden <math>x = \frac{1}{2}</math> aus dem Graphen von <math>f</math> entsteht.</p> <p>Die Funktion <math>g</math> ist streng monoton steigend, da <math>f</math> streng monoton fallend ist.</p> <p>Der Wendepunkt <math>(0   1)</math> des Graphen von <math>f</math> wird durch die beschriebene Achsenspiegelung auf den Wendepunkt <math>(1   1)</math> des Graphen von <math>g</math> abgebildet.</p>			
	Insgesamt 100 BWE	16	68	16

## Aufgabe 8 Schimmelpilz

Dieser Aufgabe liegt die Leistungskurs-Aufgabe 2002/2 aus dem Zentralabitur Baden-Württemberg zu Grunde.

Für jedes  $a \neq 0$  ist eine Funktion  $f_a$  gegeben durch

$$f_a(x) = \frac{a \cdot e^x}{(1+e^x)^2}, \quad x \in \mathbb{R}.$$

Die nebenstehende Abbildung zeigt den Graphen einer Funktion  $f_a$ .

a) Bestimmen Sie den Zahlenwert des zugehörigen Parameters  $a$ .

b) Gegeben ist die Funktion  $g$  mit  $g(x) = e^x, \quad x \in \mathbb{R}$ .

Bestimmen Sie die Koordinaten des gemeinsamen Punktes der Graphen von  $f_{36}$  und  $g$ .

Für welche Werte von  $a$  hat der Graph von  $f_a$  mit dem Graphen der Funktion  $g$  einen Punkt gemeinsam?

Begründen Sie Ihre Antwort und geben Sie diesen Punkt an.

c) Zeigen Sie: Für jedes  $a \neq 0$  gilt:  $f_a(x) = f_a(-x), \quad x \in \mathbb{R}$ .

Der Graph von  $f_a$  und die  $x$ -Achse begrenzen eine beidseitig ins Unendliche reichende Fläche. Zeigen Sie, dass diese Fläche einen endlichen Flächeninhalt hat.

d) Durch  $F(t) = \frac{36e^t}{1+e^t}$  wird der Inhalt der Fläche beschrieben, die ein Schimmelpilz auf einer Brotscheibe bedeckt. Dabei wird  $t$  in Tagen seit Beobachtungsbeginn und  $F(t)$  in  $\text{cm}^2$  gemessen.

Ermitteln Sie den Zeitpunkt, an welchem sich der Schimmelpilz am schnellsten ausbreitet.

Bestimmen Sie die maximale Ausbreitungsgeschwindigkeit.

Weisen Sie nach, dass  $F$  eine Differentialgleichung der Form

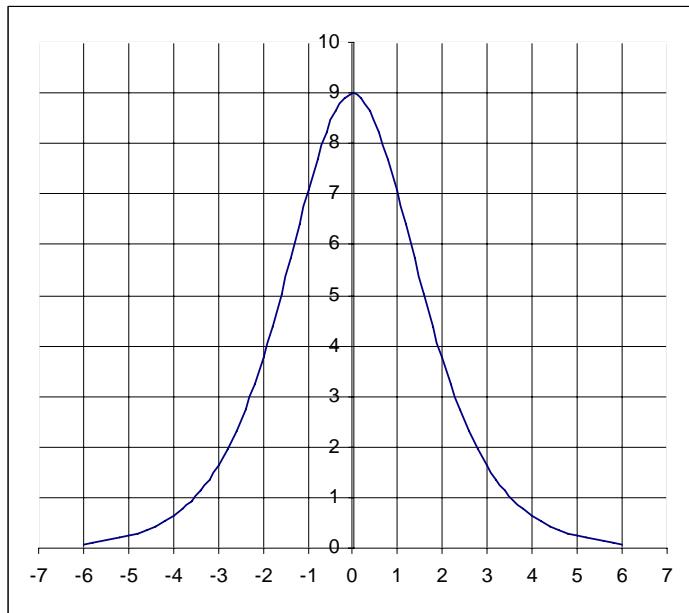
$$F'(t) = k \cdot F(t) \cdot [G - F(t)]$$

erfüllt.

Skizzieren Sie den Graphen von  $F$  für  $-5 \leq t \leq 5$ .

Beschreiben Sie die Form des Wachstums, das durch die Funktion  $F$  dargestellt wird.

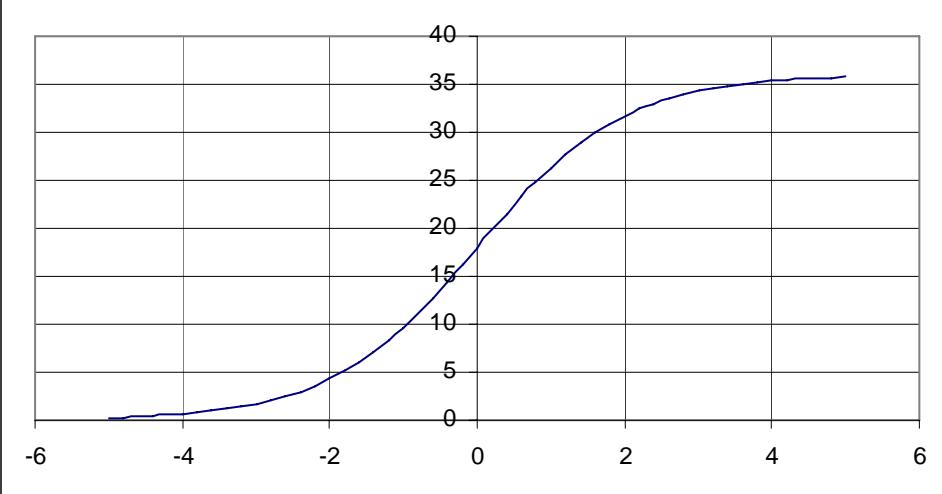
Geben Sie dabei charakteristische Eigenschaften dieser Wachstumsform an.



**Erwartungshorizont**

	<b>Lösungsskizze</b>	Zuordnung, Bewertung		
		I	II	III
a)	<p>Bestimmung des Parameters <math>a</math>: Der in der Aufgabe dargestellte Graph der Funktion <math>f_a</math> verläuft durch den Punkt <math>(0   9)</math>. Damit gilt:</p> $f_a(0) = 9 \Leftrightarrow \frac{a \cdot e^0}{(1 + e^0)^2} = 9$ $\Leftrightarrow \frac{a}{4} = 9$ $\Leftrightarrow a = 36.$			5
b)	<p>Bestimmung des gemeinsamen Punktes der Graphen von <math>g</math> und <math>f_{36}</math>: Die Schnittstellen der Graphen von <math>g</math> und <math>f_{36}</math> sind die Lösungen der Gleichung <math>f_{36}(x_s) = g(x_s)</math>. Dieser Ansatz ergibt:</p> $\frac{36e^{x_s}}{(1 + e^{x_s})^2} = e^{x_s} \Leftrightarrow 36 = (1 + e^{x_s})^2, \quad da \quad e^{x_s} > 0$ $\Leftrightarrow 1 + e^{x_s} = 6, \quad da \quad 1 + e^{x_s} > 1$ $\Leftrightarrow e^{x_s} = 5$ $\Leftrightarrow x_s = \ln(5).$ <p>Wegen <math>g(\ln(5)) = 5</math> haben <math>f_{36}</math> und <math>g</math> den Punkt <math>(\ln(5)   5)</math> gemeinsam. Bedingung für gemeinsame Punkte: Eine beliebige Schnittstelle <math>x_T</math> der Graphen von <math>g</math> und <math>f_a</math> ist eine Lösung der Gleichung <math>f_a(x_T) = g(x_T)</math>. Dies liefert:</p> $\frac{ae^{x_T}}{(1 + e^{x_T})^2} = e^{x_T} \Leftrightarrow a = (1 + e^{x_T})^2.$ <p>Aus <math>e^{x_T} &gt; 0</math> für alle <math>x \in \mathbb{R}</math> folgt <math>(1 + e^{x_T})^2 &gt; 1</math>. Daher ist die Gleichung <math>a = (1 + e^{x_T})^2</math> nur lösbar für <math>a &gt; 1</math>. Es gilt dann <math>1 + e^{x_T} = \sqrt{a}</math> und man erhält schließlich <math>x_T = \ln(\sqrt{a} - 1)</math>. Nur im Fall <math>a &gt; 1</math> besitzen die Graphen von <math>f_a</math> und <math>g</math> einen gemeinsamen Punkt und dies ist dann der Punkt <math>(\ln(\sqrt{a} - 1)   \sqrt{a} - 1)</math>.</p>	5	30	
c)	<p><u>Untersuchung der Symmetrie:</u> Für jedes <math>a \neq 0</math> und für alle <math>x \in \mathbb{R}</math> gilt:</p> $f_a(-x) = \frac{ae^{-x}}{(1 + e^{-x})^2} = \frac{ae^{-x}}{(1 + e^{-x})^2} \cdot \frac{e^{2x}}{e^{2x}} = \frac{ae^x}{((1 + e^{-x})e^x)^2} = \frac{ae^x}{(e^x + 1)^2} = f_a(x).$ <p>Der Graph von <math>f_a</math> ist somit für jedes <math>a \neq 0</math> symmetrisch zur <math>y</math>-Achse.</p> <p><u>Flächeninhaltsberechnung:</u> Der gesuchte Flächeninhalt der beidseitig bis ins Unendliche reichenden Fläche zwischen dem Graphen von <math>f_a</math> und der <math>x</math>-Achse sei <math>A</math>. Aufgrund der Achsen-Symmetrie zur <math>y</math>-Achse gilt:</p>			

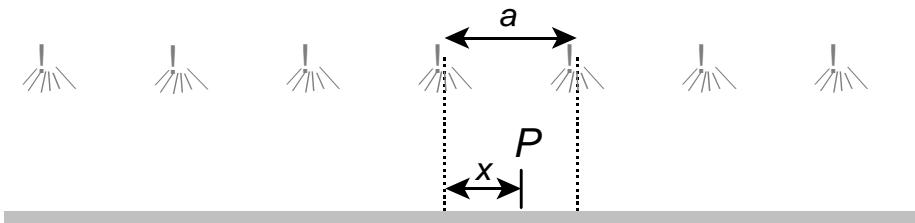
	Lösungsskizze	Zuordnung, Bewertung		
		I	II	III
	$A = \left  2 \cdot \int_0^{\infty} f_a(x) dx \right  = 2 \cdot \left  \lim_{z \rightarrow \infty} \int_0^z f_a(x) dx \right  = 2 a  \cdot \lim_{z \rightarrow \infty} \int_0^z \frac{e^x}{(1+e^x)^2} dx.$ <p>Somit wird zunächst eine Stammfunktion für <math>\frac{e^x}{(1+e^x)^2}</math> ermittelt. Hierzu wird die Substitutionsregel mit der Substitution <math>t = 1 + e^x</math> verwendet. Wenige leichte Umformungsschritte ergeben:</p> $\int \frac{e^x}{(1+e^x)^2} dx = \int \frac{1}{t^2} dt = -\frac{1}{t} = \frac{-1}{1+e^x}.$ <p>Damit ergibt die Flächenberechnung:</p> $A = 2 a  \lim_{z \rightarrow \infty} \int_0^z \frac{e^x}{(1+e^x)^2} dx = 2 a  \lim_{z \rightarrow \infty} \left[ \frac{-1}{1+e^x} \right]_0^z = 2 a  \lim_{z \rightarrow \infty} \left( \frac{1}{2} - \frac{1}{1+e^z} \right) = 2 a  \cdot \frac{1}{2} =  a .$			
d)	<p>Die Funktion <math>F</math> mit <math>F(t) = \frac{36e^t}{1+e^t}</math> gibt die zum Zeitpunkt <math>t</math> bedeckte Fläche an. Dann ist <math>F'(t)</math> die momentane Ausbreitungsgeschwindigkeit (oder Änderungsrate). Da die maximale Ausbreitungsgeschwindigkeit des Schimmelpilzes ermittelt werden soll, muss <math>F'</math> auf lokale Extremstellen untersucht werden. Es gilt:</p> $F'(t) = 36 \frac{e^t(1+e^t) - e^t e^t}{(1+e^t)^2} = 36 \frac{e^t}{(1+e^t)^2} = f_{36}(t).$ <p>Zu dieser Funktion gehört der in der Aufgabenstellung angegebene Graph. Damit besitzt <math>F'</math> offensichtlich ein lokales Maximum an der Stelle <math>t = 0</math>. Ferner gilt: <math>F'(0) = 9</math>. Damit hat der Schimmelpilz zum Zeitpunkt <math>t = 0</math> die größte Ausbreitungsgeschwindigkeit von <math>9 \frac{\text{cm}^2}{\text{Tag}}</math>.</p> <p>Der Nachweis der Differentialgleichung erfolgt durch Einsetzen. Man erhält:</p> $\begin{aligned} k \cdot F(t) \cdot [G - F(t)] &= k \cdot \frac{36e^t}{1+e^t} \cdot \left[ G - \frac{36e^t}{1+e^t} \right] \\ &= 36k \cdot \frac{e^t}{1+e^t} \cdot \left[ \frac{G(1+e^t) - 36e^t}{1+e^t} \right] \\ &= 36k \cdot \frac{e^t}{1+e^t} \cdot \left[ \frac{G + (G-36)e^t}{1+e^t} \right] \end{aligned}$ <p>Wählt man nun <math>G = 36</math> und <math>k = \frac{1}{36}</math>, erhält man <math>k \cdot F(t) \cdot [G - F(t)] = F'(t)</math>.</p> <p>Offenbar handelt es sich um logistisches Wachstum. Zu Beginn des Beobachtungszeitraumes (<math>t = 0</math>) hat sich der Schimmelpilz bereits so weit ausgedehnt, dass 50 % der Brotscheibenfläche vom Schimmel befallen ist. Allerdings verlangsamt sich dann die Ausbreitungsgeschwindigkeit des Schimmels. Nach ca. 5 Tagen nach Beobachtungsbeginn ist praktisch die gesamte Brotfläche mit</p>	10	20	

	Lösungsskizze	Zuordnung, Bewertung		
		I	II	III
	<p>Schimmel befallen. Der Beginn der Schimmelbildung lässt sich etwa auf den 5. Tag vor Beobachtungsbeginn festlegen. Das Modell kann den exakten Beginn und das exakte Ende der Schimmel ausbreitung nicht wiedergeben, da sich die Funktion <math>F</math> asymptotisch an den Rändern der mathematischen (maximalen) Definitionsmenge verhält.</p> 			
	Insgesamt 100 BWE	10	70	20

## Aufgabe 9 Beleuchtung

Aus der Aufgabe 3 „Centralexamen 1998, Wiskunde A“, 1. Termin, (Niederlande), abgeleitete Aufgabe.

Bei der Installation einer Straßenbeleuchtung soll zumeist sicher gestellt sein, dass es überall entlang des erleuchteten Weges ungefähr gleich hell und zwischen zwei Leuchten nicht erheblich dunkler als direkt unter einer Leuchte ist. Um dies zu erreichen, könnte man die Leuchten in besonders kurzen Abständen aufstellen, was dann aber zu unvertretbar hohen Kosten führen würde.

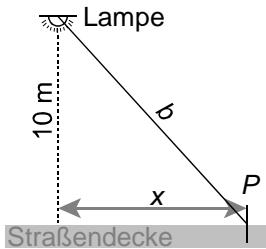


Für einen neu anzulegenden Weg möchte man optimale Lichtverhältnisse zu vertretbaren Kosten schaffen. Die Leuchten sollen in gleichen Abständen stehen, der Abstand zwischen zwei Leuchten ist  $a$  (in Meter). Eine Person im Punkt  $P$  zwischen den Leuchten hat vom Lot der linken Leuchte auf die Straße den Abstand  $x$  Meter (siehe Skizze).

Die Person im Punkt  $P$  bekommt Anteile vom Licht der beiden benachbarten Leuchten, aber auch etwas von weiter entfernten.

Der Abstand der Lampe zu einem Punkt  $P$  auf der Straßendecke ist  $b$  (in Meter). In unserem Modell sollen die Lampen jeweils 10m über der Straßendecke montiert sein. Die nebenstehende Skizze beschreibt also pro Lampe die geometrischen Verhältnisse.

Die Beleuchtungsstärke im Punkt  $P$  bezogen auf eine Lampe nennen wir  $S$  (in Lux).



$$\text{Für } S \text{ gilt: } S(b) = \frac{100.000}{b^3}$$

- Bestimmen Sie den Definitions- und Wertebereich von  $S(b)$  und geben Sie begründend an, wie sich  $S(b)$  in diesem Intervall verhält.
  - Berechnen Sie den Abstand  $x$ , falls die Beleuchtungsstärke  $S$  (bezogen auf eine Lampe) im Punkt  $P$  halb so groß ist wie direkt unter der Lampe.
  - Für Berechnungen zur Ausleuchtung der Straße ist die Angabe der Beleuchtungsstärke in Abhängigkeit von  $x$  sinnvoller. Leiten Sie einen Term  $S_2(x)$  her, der diesen Sachverhalt beschreibt.
  - Der Abstand  $a$  zwischen je zwei Leuchten soll  $a = 20$  m betragen. Der Punkt  $P$  soll sich – wie in der Skizze oben auf der Straßendecke befinden und vom Fußpunkt des Lotes einer Leuchte auf die Straßendecke den Abstand 6 m haben.
- Bestimmen Sie einen sinnvollen Näherungswert für die Gesamtbeleuchtungsstärke im Punkt  $P$ . Ermitteln Sie verschiedene Näherungswerte, indem Sie die Anzahl der Leuchten sinnvoll variieren.

Fortsetzung nächste Seite →

e) Leiten Sie für die Baubehörde einen konkreten Vorschlag für eine 200 m lange Straße mit Begrünungen für Ihre Lösung her. Dabei soll die Straße überall hinreichend hell beleuchtet sein – dies ist der Fall, wenn die Beleuchtungsstärke zwischen 90 Lux und 100 Lux beträgt - und die Kosten vertretbar bleiben.

f) Bestimmen Sie mit Hilfe einer numerischen Integration eine Näherung für  $\int_0^{20} S_2(x)dx$ .

$$\int_0^{20} S_2(x)dx$$

g) Welche Bedeutung hat der Zahlenwert  $2 \cdot \frac{0}{20}$  ?

## Erwartungshorizont

	Lösungsskizze	Zuordnung, Bewertung		
		I	II	III
a)	Da sich der Beobachter im einfachsten Fall direkt unter der Lampe befindet bzw. unendlich weit von diesem Punkt befinden kann, folgt: $D = [10; \infty]$ . Damit folgt für den Wertebereich: $W = [1000; 0]$ . Da $S(b)$ umgekehrt proportional zu $b^3$ ist, nimmt die Beleuchtungsstärke sehr rasch mit größerer werdendem Abstand ab.	5		
b)	Aus a) folgt für die Beleuchtungsstärke unter der Lampe: $S(10) = 100$ . Die halb so große Beleuchtungsstärke beträgt also 50 Lux. Setzt man diesen Wert in die gegebene Festlegung für $S$ ein, so folgt nach einigen elementaren Umformungen: $b = \sqrt[3]{2000} \approx 12,6$ . Wendet man den Satz des Pythagoras auf die gegebene Skizze an, so folgt: $x^2 = b^2 - 100$ , also $x \approx 7,7$ . Da wir Abstände berechnen, kommen jeweils nur die nichtnegativen Lösungen in Frage. Bezogen auf eine Lampe ist die Lichtstärke bei einem Abstand von etwa 7,7 m von der Lampe etwa halb so groß wie direkt unter der Lampe.	10		
c)	Wie schon oben angegeben ist $b^2 = x^2 + 100$ , also $b = \sqrt{x^2 + 100}$ . Setzt man diesen Term für $b$ in die gegebene Festlegung ein, so folgt: $S_2(x) = S(\sqrt{x^2 + 100}) = \frac{100000}{(x^2 + 100)^{1.5}}$ .	10		
d)	Nach Voraussetzung befindet sich der Punkt $P$ 6 m vom Fußpunkt des Lotes der linken und daher 14 m vom Fußpunkt des Lotes der rechten Lampe entfernt. Berechnet man die Beleuchtungsstärken in $P$ in Abhängigkeit von diesen Entfernungen, so folgt: $S_2(6) \approx 63,05$ und $S_2(14) \approx 19,64$ . Hinzu kommt aber auch noch Licht von weiter entfernten Lampen. Zunächst wird noch die nächste linke Lampe ( $x_3 = 26$ ) und die nächste rechte ( $x_4 = 34$ ) berücksichtigt. Berechnet man hierzu die Beleuchtungsstärken, so folgt: $S_2(26) \approx 4,63$ und $S_2(34) \approx 2,25$ . Die Gesamtbeleuchtungsstärke im Punkt $P$ durch diese 4 Lampen beträgt also 89,57 Lux. Auch von den noch weiter entfernten Lampen kommt noch etwas Licht hinzu. Berechnet man die Werte für die folgenden Lampen, so erhält man für $S(46) \approx 0,96$ und $S(54) \approx 0,60$ . Daher beträgt die Gesamtbeleuchtungsstärke bei 6 Lampen im Punkt $P$ : 91,7 Lux. Die Berücksichtigung weiterer Lampen ist nicht mehr sinnvoll, da die Zunahme der Beleuchtungsstärke unter 1 % liegt.		20	5
e)	Man kann beispielsweise den Lampenabstand $a$ und eine Stelle zwischen zwei Lampen mit dem Abstand $x$ von der linken Lampe betrachten und den funktionalen Zusammenhang $S_3(x, a)$ untersuchen zwischen $x$ und $a$ als Argumenten und der an der Stelle herrschenden Beleuchtungsstärke $S_3$ als zugehörigem Wert.			

	Lösungsskizze	Zuordnung, Bewertung																															
		I	II	III																													
	<p>Bei Berücksichtigung von 4 benachbarten Lampen (vgl. d) erhält man folgenden Funktionsterm:</p> $S_3(x,a) = S_2(x) + S_2(a-x) + S_2(a+x) + S_2(2a-x).$ <p>Addiert die Beleuchtungsstärken der direkt benachbarten Lampen, so weicht der Wert um etwa 10% vom obigen Wert ab. Daher könnte man auch nur diese beiden Lampen berücksichtigen und käme zu</p> $\widetilde{S}_3(x,a) = S_2(x) + S_2(a-x).$ <p>Am dunkelsten wird es dann genau in der Mitte zwischen zwei Lampen sein, also für <math>x = \frac{a}{2}</math>.</p> <p>Darum berechnen wir einige für verschiedene Abstände <math>a</math> und für <math>x = 0</math> und <math>x = \frac{a}{2}</math> zugehörige Werte von <math>S_3</math> bzw. <math>\widetilde{S}_3</math>.</p> <p>Wir berechnen einige Werte von <math>S_3(x,a)</math> und <math>\widetilde{S}_3(x,a)</math>:</p> <table border="1" style="margin-left: auto; margin-right: auto;"> <tr> <td><math>a</math></td><td>15</td><td>17</td><td>20</td><td>25</td></tr> <tr> <td><math>x = 0</math></td><td>137</td><td>128</td><td>119</td><td>110</td></tr> <tr> <td><math>x = \frac{a}{2}</math></td><td>116</td><td>98</td><td>77</td><td>52</td></tr> </table> <table border="1" style="margin-left: auto; margin-right: auto;"> <tr> <td><math>a</math></td><td>15</td><td>16</td><td>20</td><td>25</td></tr> <tr> <td><math>x = 0</math></td><td>117</td><td>115</td><td>109</td><td>105</td></tr> <tr> <td><math>x = \frac{a}{2}</math></td><td>102</td><td>95</td><td>71</td><td>49</td></tr> </table> <p>Wenn wir davon ausgehen, dass der Wert 100 Lux unter einer einzelnen Lampe dort gut genug ausleuchtet, so hätte man für <math>a = 17</math> (<math>a = 16</math>) in der Mitte (Minimum) zwischen 2 Lampen noch 98 (95) Lux, also fast 100 Lux.</p> <p>Man käme dann für die 200 m mit 12 (13) Lampen aus.</p> <p>Die Offenheit der Aufgabenstellung bringt es mit sich, dass natürlich auch ganz andere Argumentationen und Formalisierungen zu erfolgreichen Darstellungen führen können.</p>	$a$	15	17	20	25	$x = 0$	137	128	119	110	$x = \frac{a}{2}$	116	98	77	52	$a$	15	16	20	25	$x = 0$	117	115	109	105	$x = \frac{a}{2}$	102	95	71	49	15	15
$a$	15	17	20	25																													
$x = 0$	137	128	119	110																													
$x = \frac{a}{2}$	116	98	77	52																													
$a$	15	16	20	25																													
$x = 0$	117	115	109	105																													
$x = \frac{a}{2}$	102	95	71	49																													
f)	$\int_0^{20} S_2(x)dx \approx 4 \cdot \sum_{k=0}^4 S_2((2k+1) \cdot 2) \approx 895.$	10																															
g)	$\int_0^{20} S_2(x)dx$ $2 \cdot \frac{0}{20} \approx 89,5.$ <p>Bei einem Lampenabstand von 20 m hat man zwischen 2 Lampen ohne Berücksichtigung weiterer Lampen noch eine mittlere Ausleuchtung von ca. 90 Lux.</p>	5	5																														
	Insgesamt 100 BWE	25	50	25																													

## Aufgabe 10 Luftvolumen der Lunge

Die Aufgabe basiert auf einer Beispielaufgabe in den Einheitlichen Prüfungsanforderungen der KMK (EPA vom Mai 2002).

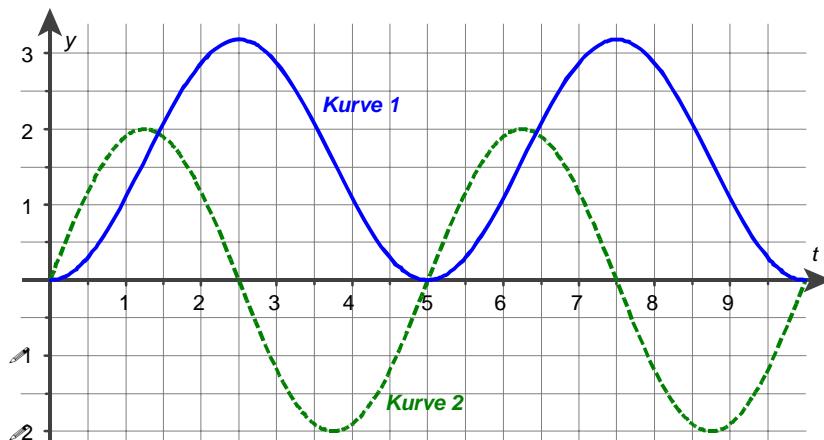
Die momentane Änderungsrate des Luftvolumens in der Lunge eines Menschen kann durch die Funktion  $f$  mit  $f(t) = 2 \cdot \sin(\frac{2}{5}\pi \cdot t)$  modelliert werden (dabei ist  $t$  Zeit in Sekunden,  $f(t)$  in Liter pro Sekunde angegeben).

Wir nehmen vereinfachend an, dass zur Zeit  $t = 0$  keine Luft in der Lunge ist.

- a) Geben Sie die Bedeutung der Funktion  $F$  mit  $F(t) = \int_0^t f(x)dx$  im Kontext der Aufgabe an.

Bestimmen Sie das Integral und damit  $F(t)$ .

- b) Das nachfolgende Diagramm zeigt den zeitlichen Verlauf des Luftvolumens in der Lunge und den zeitlichen Verlauf der momentanen Änderungsrate des Luftvolumens.



Geben Sie an, welche der beiden Kurven den zeitlichen Verlauf des Luftvolumens in der Lunge beschreibt. Begründen Sie Ihre Wahl im Sachkontext der Aufgabenstellung.

Bestimmen Sie das maximale und das minimale Luftvolumen in der Lunge.

Bestimmen Sie die Zeitpunkte, zu denen die Lunge jeweils die Hälfte des maximalen Luftvolumens enthält.

- c) Bestimmen Sie das durchschnittliche Luftvolumen in der Lunge während des Zeitintervalls  $[0;5]$ .

- d) Entgegen obiger Annahme bleibt immer Luft in der Lunge. Erneut vereinfachend nehmen wir an, dass dieses minimale Luftvolumen in der Lunge konstant 0,8 Liter sei.

Der Atemvorgang laufe ansonsten wie in Aufgabenteil b) ermittelt ab.

Beschreiben Sie die Änderungen, die sich in den Kurven 1 und 2 (siehe obige Abbildung) ergeben, und ermitteln Sie die zugehörigen Funktionsterme.

Skizzieren Sie den Verlauf der geänderten Kurven in einem Koordinatensystem.

## Erwartungshorizont

	Lösungsskizze	Zuordnung, Bewertung		
		I	II	III
a)	<p>Als Umkehrung der Differentialrechnung ist das Integral dann der Weg zurück zum „Bestand“, d.h. <math>F(t)</math> beschreibt das Luftvolumen.</p> $2 \cdot \int_0^t \sin\left(\frac{2}{5}\pi \cdot x\right) dx = 2 \cdot \left[ -\cos\left(\frac{2}{5}\pi \cdot x\right) \cdot \frac{1}{\frac{2}{5}\pi} \right]_0^t = \frac{5}{\pi} \cdot \left[ -\cos\left(\frac{2}{5}\pi \cdot x\right) \right]_0^t = \frac{5}{\pi} \cdot \left( 1 - \cos\left(\frac{2}{5}\pi \cdot t\right) \right)$		15	15
b)	<p>Das Luftvolumen nimmt beim Einatmen zu und beim Ausatmen ab. Es kann jedoch nicht negativ werden, also kommt nur Kurve 1 in Frage.</p> <p>Die Kurve 2 beschreibt dazu die lokale Änderung, ist also die Ableitung der Kurve 1.</p> <p>Das Intervall <math>[0;5]</math> beschreibt eine vollständige Periode.</p> <p>An der Stelle <math>t = 0</math> ist nach Vereinbarung das Luftvolumen 0, also minimal, daher wegen der Periodizität auch bei <math>t = 5</math>.</p> <p>An der Stelle <math>t = 2,5</math> hat <math>f</math> eine Nullstelle (von plus nach minus), daher hat <math>F</math> dort ein Maximum.</p> $\text{Es ist } 2 \cdot \int_0^{2,5} \sin\left(\frac{2}{5}\pi \cdot t\right) dt = \frac{5}{\pi} \cdot (1 - \cos \pi) = \frac{5}{\pi} \cdot 2 = \frac{10}{\pi} \approx 3,2.$ <p>Das maximale Luftvolumen tritt im Modell nach 2,5 Sekunden ein und beträgt etwa 3,2 Liter.</p> <p>Das zum Zeitintervall <math>[0 ; 2,5]</math> gehörende Kurvenstück von <math>f</math> ist symmetrisch zu <math>t = 1,25</math>. Die Lunge ist also 1,25 Sekunden nach Beginn des Einatmens halb gefüllt, was analog auch für <math>t = 3,75</math> oder 1,25 Sekunden vor dem Ende des Ausatmens gilt.</p>		15	15
c)	<p>Die Berechnung des mittleren Luftvolumens kann mittels Integrieren gelöst werden:</p> $\frac{1}{5} \cdot \frac{5}{\pi} \int_0^5 \left( 1 - \cos\left(\frac{2}{5}\pi \cdot x\right) \right) dx = \frac{1}{\pi} \cdot 5 - \frac{1}{\pi} \cdot \int_0^5 \cos\left(\frac{2}{5}\pi \cdot x\right) dx = \frac{5}{\pi} - 0 = \frac{5}{\pi} \approx 1,6.$ <p>Das mittlere Luftvolumen beträgt also etwa 1,6 Liter.</p>		15	
d)	<p><u>Beschreiben der Änderungen:</u></p> <p>Kurve 1 verschiebt sich um 0,8 in <math>y</math>-Richtung und wird so gestaucht, dass das maximale Luftvolumen beim Wert <math>\frac{10}{\pi}</math> aus Teilaufgabe b) bleibt.</p> <p>Kurve 2 wird ebenfalls gestaucht, weil der Bereich der Änderung verringert wurde.</p> <p><u>Ermitteln des neuen Terms zu Kurve 1:</u></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>(1) Verschieben: Bisheriger Term + 0,8 = <math>\frac{5}{\pi} \cdot \left( 1 - \cos\left(\frac{2}{5}\pi \cdot t\right) \right) + 0,8</math></li> <li>(2) Stauchen, sodass Maximum bleibt.</li> </ol>			

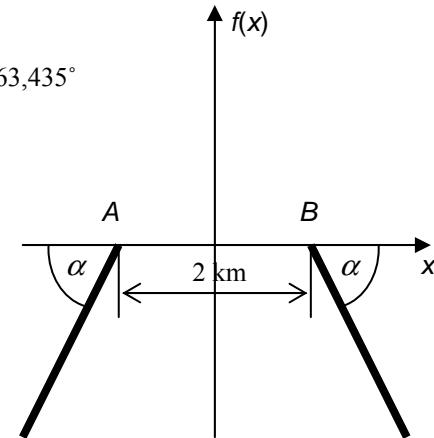
	<b>Lösungsskizze</b>	Zuordnung, Bewertung		
		I	II	III
	$a \cdot \frac{5}{\pi} \cdot \left(1 - \cos\left(\frac{2\pi}{5} \cdot \frac{5}{2}\right)\right) + 0,8 = \frac{10}{\pi} \Leftrightarrow a \cdot \frac{10}{\pi} = \frac{10}{\pi} - \frac{4}{5} \Leftrightarrow a = 1 - \frac{2}{25}\pi.$ <p>Die geänderte Funktionsgleichung lautet daher</p> $F_2(t) = \left(\frac{5}{\pi} - \frac{2}{5}\right) \cdot \left(1 - \cos\left(\frac{2\pi}{5} \cdot t\right)\right) + 0,8.$ <p><u>Ermitteln des neuen Terms zu Kurve 2:</u></p> <p>Mit der Ableitung von <math>F_2</math> erhält man <math>f_2(t) = (2 - \frac{4}{25}\pi) \cdot \sin(\frac{2}{5}\pi t)</math>.</p> <p><u>Graphische Darstellung:</u></p>			
	Insgesamt 100 BWE	5	20	

### Aufgabe 11 ICE-Trasse

Für eine ICE-Trasse müssen zwei gerade Streckenabschnitte miteinander verbunden werden.

Es stehen 4 verschiedene Funktionsvarianten zur Diskussion:

1. Eine ganzrationale Funktion möglichst niedrigen Grades
2. Eine Funktion, deren Graph ein Kreisbogen ist
3. Eine Winkelfunktion der Form  $x \rightarrow a \cdot \cos(b \cdot x) + c$
4. Eine Exponentialfunktion der Form  $x \rightarrow a \cdot e^{-b \cdot x^2} + c$



- a) Beschreiben Sie die Anforderungen, die an den Verbindungsgraphen gestellt werden müssen, und geben Sie die mathematischen Bedingungen an.  
Gehen Sie dabei davon aus, dass die  $y$ -Achse die Strecke zwischen  $A$  und  $B$  halbiert und im Koordinatensystem 1 Längeneinheit 1 km entspricht.
- b) Eine der angegebenen Funktionsarten kann nicht alle erforderlichen Bedingungen erfüllen und kommt daher nicht in Frage.  
Geben Sie an, welche Funktion das ist und begründen Sie Ihre Entscheidung.
- c) Bestimmen Sie die Funktionsgleichungen der drei anderen Funktionen.  
Gehen Sie dabei davon aus, dass die Graphen dieser Funktionen symmetrisch zur  $y$ -Achse sind.
- d) Um die Verbindungstrasse mit möglichst hoher Geschwindigkeit durchfahren zu können, soll von den drei Funktionen die Variante gewählt werden, welche an der Stelle  $x = 0$  den größten Krümmungsradius hat.  
Der Krümmungsradius einer Funktion kann mit Hilfe folgender Formel berechnet werden:

$$r = \left| \frac{\sqrt{(1+f'(x)^2)^3}}{f''(x)} \right|.$$

Weisen Sie nach, dass die ganzrationale Funktion diese Forderung am besten erfüllt.

- e) Um die Bahntrasse realisieren zu können, muss die Fläche zwischen der Verbindungstrasse und der Geraden zwischen den Anschlusspunkten  $A$  und  $B$  von einem Landwirt gekauft werden.  
Berechnen Sie diese Fläche für die ganzrationale Funktion.

**Erwartungshorizont**

	<b>Lösungsskizze</b>	Zuordnung, Bewertung		
		I	II	III
a)	<p>Die Verbindungstrasse muss die Anschlusspunkte <math>A</math> und <math>B</math> mit der gleichen Steigung wie die Geraden und ohne Krümmungsruhr verbinden.</p> <p>Daraus ergeben sich folgende Bedingungen:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. <math>f(-1) = f(1) = 0</math></li> <li>2. <math>f'(-1) = \tan 63,435 = 2, \quad f'(1) = -2</math></li> <li>3. <math>f''(-1) = f''(1) = 0</math></li> </ol>		10	10
b)	<p>Ein Kreisbogen kann die Bedingung 3.) nicht erfüllen, da die 2. Ableitung konstant ungleich Null ist, und scheidet daher aus.</p>		10	
c)	<p><u>1. Ganzrationale Funktion:</u></p> <p>Da die Verbindungstrasse achsensymmetrisch ist, hat die Funktion nur gerade Exponenten. Eine quadratische Funktion kann die dritte Bedingung nicht erfüllen (keine Wendepunkte). Die Funktion hat daher die Form</p> $f_1(x) = a_4 x^4 + a_2 x^2 + a_0$ $f_1(1) = 0 : \quad 0 = a_4 + a_2 + a_0$ $f'_1(1) = -2 : \quad -2 = 4a_4 + 2a_2 + a_0$ $f''_1(1) = 0 : \quad 0 = 12a_4 + 2a_2 .$ <p>Durch Lösen des LGS ergeben sich die Koeffizienten:</p> $a_4 = \frac{1}{4}, \quad a_2 = -\frac{3}{2}, \quad a_0 = \frac{5}{4}$ $f_1(x) = \frac{1}{4}x^4 - \frac{3}{2}x^2 + \frac{5}{4} .$ <p><u>3. Winkelfunktion:</u></p> $f(x) = a \cdot \cos(b \cdot x) + c$ <p>Da die Kosinusfunktion in ihren Wendepunkten den Funktionswert <math>f(x) = 0</math> hat, ist <math>c = 0</math>.</p> <p>Die Nullstellen der Funktion liegen bei <math>x = -1</math> und <math>x = 1</math>, daher ist <math>b = \frac{\pi}{2}</math>.</p> $f'(x) = -\frac{\pi}{2}a \cdot \sin\left(\frac{\pi}{2}x\right)$ $f'(1) = -\frac{\pi}{2}a = -2 \quad \Rightarrow \quad a = \frac{4}{\pi}$ $f(x) = \frac{4}{\pi} \cos\left(\frac{\pi}{2}x\right)$ <p><u>4. Exponentialfunktion:</u></p> $f(x) = a \cdot e^{-b \cdot x^2} + c$ $f(1) = 0: \quad 0 = a \cdot e^{-b} + c$			

	Lösungsskizze	Zuordnung, Bewertung		
		I	II	III
	$f'(1) = -2: \quad -2 = -2abe^{-b}$ $f'(x) = a(-2bx) \cdot e^{-bx^2}$ $f''(x) = e^{-bx^2} (-2ab + 4ab^2 x^2)$ $f''(1) = e^{-b} (-2ab + 4ab^2) = 0 \quad \Rightarrow \quad 2ab = 4ab^2$ $\Rightarrow \quad b = \frac{1}{2} \quad \Rightarrow \quad a = 2\sqrt{e} \quad \Rightarrow \quad c = -2$ $f(x) = 2\sqrt{e} \cdot e^{-\frac{1}{2}x^2} - 2$		15	15
d)	<p>Die Krümmungsradien an der Stelle <math>x = 0</math> betragen:</p> <p>1. Ganzrationale Funktion: <math>r = \frac{1}{3}</math></p> <p>2. Winkelfunktion: <math>r = \frac{1}{\pi} = 0,318</math></p> <p>3. Exponentialfunktion: <math>r = \frac{1}{2\sqrt{e}} = 0,303</math></p> <p>Da die ganzrationale Funktion an der Stelle <math>x = 0</math> den größten Radius aufweist, kann diese Variante mit der größten Geschwindigkeit durchfahren werden und sollte aus dieser Sicht gewählt werden.</p>		30	
e)	$A = \int_{-1}^1 f(x) dx = 2 \cdot \left[ \frac{1}{20}x^5 - \frac{1}{2}x^3 + \frac{5}{4}x + C \right]_0^1 = 1,6$ <p>Die Fläche beträgt <math>1,6 \text{ km}^2</math>.</p>	10		
	Insgesamt 100 BWE	10	65	25

## Aufgabe 12 Preispolitik

Ein Industrieunternehmen  $A$ , das nur ein Produkt herstellt, entnimmt seiner Betriebsbuchhaltung (Kosten- und Leistungsrechnung) folgende Angaben:

Der Kostenverlauf ist gekennzeichnet durch ständig steigende Gesamtkosten, wobei der Kostenzuwachs mit jeder produzierten Einheit unterschiedlich ist. Anfänglich nimmt der Kostenzuwachs bedingt durch effizienteren Arbeitskräfte- und Maschineneinsatz ab. Von einer bestimmten Produktionsmenge an ist der Kostenzuwachs jedoch durch höheren Energieverbrauch und Maschinenverschleiß steigend. Von den Gesamtkosten des Unternehmens sind die folgenden Zahlen bekannt:

Die fixen Kosten belaufen sich auf 20 GE, der Graph der Gesamtkostenfunktion hat im Punkt  $P(3|56)$  einen Wendepunkt und bei einer Produktionsmenge von 1 ME entstehen Kosten in Höhe von 42 GE. Die Kapazitätsgrenze des Betriebes liegt bei 9 ME und es wird beliebige Teilbarkeit der Mengeneinheiten (ME) unterstellt.

*Hinweis: Alle zu skizzierenden Funktionsgraphen sind in einem Koordinatensystem darzustellen. Wählen Sie dabei für die Ordinate 20 GE = 1 cm und für die Abszisse 1 ME = 1 cm.*

- a) Ermitteln Sie aus obigen Angaben den Term der „einfachsten“ Gesamtkostenfunktion  $K_A$  des Unternehmens  $A$ .  
Geben Sie den ökonomisch sinnvollen Definitionsbereich  $D_{\text{ök}}$  an und skizzieren Sie den Graphen der Gesamtkostenfunktion  $K_A$ .

Das Industrieunternehmen  $A$  ist einer von vielen Anbietern auf dem Markt. Die Preisfunktion  $p$  ist demnach eine Konstante und sie lautet:  $p(x) = 26$ .

- b) Bestimmen Sie die Gleichung der Gewinnfunktion  $G_A$ .

Ermitteln Sie damit folgende für das Unternehmen wichtige Informationen:

- die Gewinnschwelle und die Gewinngrenze,
- die Produktions-/ Absatzmenge, bei der maximaler Gewinn erzielt wird,
- den maximalen Gewinn.

Skizzieren Sie den Graphen der Gewinnfunktion  $G_A$ .

Ein Konkurrenzunternehmen  $B$  hat in seinem Betrieb durch Beobachtung der Kostenentwicklung in Abhängigkeit von der produzierten Menge folgende Grenzkostenfunktion  $K'_B$  bestimmt:

$$K'_B : K'_B(x) = \frac{1}{x+e} + \frac{1}{8}x^3.$$

- c) Bestimmen Sie bei fixen Kosten von 30 GE die Gesamtkostenfunktion von  $K_B$ .
- d) Zeigen Sie durch geeignete Rechnungen, dass sich bei der vorliegenden Kostensituation des Unternehmens  $B$  die Graphen der Grenzkosten  $K'_B$  und der Stückkosten  $k_B$  im Minimum der Stückkosten schneiden. Die entsprechende Produktionsmenge soll nicht errechnet werden.
- e) Bestimmen Sie für den gegebenen Marktpreis  $p$  von 26 GE mit Hilfe eines geeigneten Näherungsverfahrens die Gewinnschwelle des Unternehmens  $B$  und führen Sie das Verfahren solange durch, bis sich die dritte Nachkommastelle nicht mehr ändert.

**Erwartungshorizont**

	<b>Lösungsskizze</b>	Zuordnung, Bewertung		
		I	II	III
a)	<p>Die „einfachste“ Funktion, die den vorgegebenen Kostenverlauf mit einem Wendepunkt erfüllt, wäre eine ganzrationale Funktion 3. Grades:</p> $K_A(x) = ax^3 + bx^2 + cx + d$ $K'_A(x) = 3ax^2 + 2bx + c$ $K''_A(x) = 6ax + 2b$ $K_A(0) = 20 : \quad \text{I.} \quad \quad \quad d = 20$ $K_A(3) = 56 : \quad \text{II.} \quad \quad \quad 27a + 9b + 3c + d = 56$ $K''_A(3) = 0 : \quad \text{III.} \quad \quad \quad 18a + 2b = 0$ $K_A(1) = 42 : \quad \text{IV.} \quad \quad \quad a + b + c + d = 42$ <p>Nach Lösen des LGS erhält man:</p> $a = 1; \quad b = -9; \quad c = 30; \quad d = 20$ <p>Also gilt: <math>K_A : K_A(x) = x^3 - 9x^2 + 30x + 20</math></p> $D_{\partial K} = [0; 9]$ <p>(Funktionsgraph von <math>K_A</math> siehe Abbildung)</p>	10	10	
b)	<p>Der Gewinn errechnet sich aus der Differenz der Erlöse und der Kosten.</p> $G_A(x) = E(x) - K_A(x)$ $E(x) = p(x) \cdot x = 26x$ $\Rightarrow G_A : G_A(x) = 26x - (x^3 - 9x^2 + 30x + 20) = -x^3 + 9x^2 - 4x - 20$ <p><u>Gewinnschwelle und Gewinngrenze:</u></p> $\text{Bed : } G_A(x) = 0$ $-x^3 + 9x^2 - 4x - 20 = 0 \quad / \cdot (-1)$ $x^3 - 9x^2 + 4x + 20 = 0 \quad (\text{durch Probieren } x_1 = 2)$ <p>Horner Schema:</p> $\begin{array}{r} 1 \quad -9 \quad 4 \quad 20 \\ \hline 0 \quad 2 \quad -14 \quad -20 \\ x = 2 \quad \quad 1 \quad -7 \quad -10 \quad 0 \quad \Rightarrow x_1 = 2 \end{array}$ $x^2 - 7x - 10 = 0$ $x_{2,3} = \frac{7}{2} \pm \sqrt{\frac{89}{4}}$ $x_2 \approx 8,22; \quad x_3 \approx -1,22 \notin D_{\partial K}$ <p>Die Gewinnschwelle liegt bei 2 ME und die Gewinngrenze bei rund 8,22 ME.</p> <p><u>oder:</u> <math>GS(2 0); GG(8,22 0)</math></p>			

	<b>Lösungsskizze</b>	Zuordnung, Bewertung		
		I	II	III
	<p><u>Gewinnmaximum:</u></p> <p>Bed: <math>G'(x) = 0</math> und <math>G''(x) \neq 0</math></p> $G_A'(x) = -3x^2 + 18x - 4$ $G_A''(x) = -6x + 18$ $\Rightarrow -3x^2 + 18x - 4 = 0$ $x^2 - 6x + \frac{4}{3} = 0$ $x_{1,2} = 3 \pm \sqrt{\frac{23}{3}}$ $x_1 \approx 5,77 \quad G_A''(5,77) < 0 \Rightarrow \text{Max.} \quad G_A(5,77) \approx 64,46$ <p><math>[x_2 \approx 0,23 \quad \text{nicht relevant, da der Wert kleiner als die Gewinnschwelle ist.}]</math></p> <p>Die gewinnmaximale Absatzmenge beträgt 5,77 ME und erbringt einen maximalen Gewinn von 64,46 GE.</p>			
		10	20	5
c)	<p>Die Kostenfunktion ist die Stammfunktion von <math>K_B'</math>, die durch den Punkt <math>P(0 30)</math> verläuft. Der Nachweis kann alternativ über das Integrieren oder das Differenzieren erfolgen:</p> <p><u>Integrieren:</u></p> $K_B(x) = \int \left( \frac{1}{x+e} + \frac{1}{8}x^3 \right) dx + c \Rightarrow K_B(x) = \ln(x+e) + \frac{1}{32}x^4 + c$ $K_B(0) = 30 \Leftrightarrow \ln(e) + c = 30 \Leftrightarrow c = 29$ $K_B(x) = \ln(x+e) + \frac{1}{32}x^4 + 29$			

	Lösungsskizze	Zuordnung, Bewertung		
		I	II	III
	<u>Differenzieren:</u> $K_B'(x) = \frac{1}{x+e} + \frac{1}{8}x^3 \quad \wedge \quad \text{Nachweis von } K_B(0) = 30$			5
d)	<p>Bed.: <math>K_B'(x) = k_B(x) \Leftrightarrow k_B'(x) = 0</math></p> $K_B'(x) = \frac{1}{x+e} + \frac{1}{8}x^3$ $k_B(x) = \frac{K_B(x)}{x} = \frac{\ln(x+e) + \frac{1}{32}x^4 + 29}{x} = \frac{\ln(x+e)}{x} + \frac{1}{32}x^3 + \frac{29}{x}$ $k_B'(x) = \frac{\frac{1}{x+e} \cdot x - \ln(x+e)}{x^2} + \frac{3}{32}x^2 - \frac{29}{x^2}$ $= \frac{\frac{1}{x+e}}{x} - \frac{\ln(x+e)}{x^2} + \frac{3}{32}x^2 - \frac{29}{x^2}$ <p>(1) <math>K_B'(x) = k_B(x) \Leftrightarrow \frac{1}{x+e} + \frac{1}{8}x^3 = \frac{\ln(x+e)}{x} + \frac{1}{32}x^3 + \frac{29}{x}</math></p> $\frac{1}{x+e} + \frac{1}{8}x^3 - \frac{\ln(x+e)}{x} - \frac{1}{32}x^3 - \frac{29}{x} = 0$ $\frac{1}{x+e} - \frac{\ln(x+e)}{x} + \frac{3}{32}x^3 - \frac{29}{x} = 0$ <p>(2) <math>k_B'(x) = 0 \Leftrightarrow \frac{\frac{1}{x+e}}{x} - \frac{\ln(x+e)}{x^2} + \frac{3}{32}x^2 - \frac{29}{x^2} = 0 \quad   \cdot (x)</math></p> $\frac{1}{x+e} - \frac{\ln(x+e)}{x} + \frac{3}{32}x^3 - \frac{29}{x} = 0$ <p>Die Bestimmungsgleichungen (1) und (2) stimmen überein; folglich werden sie auch von demselben <math>x</math>-Wert erfüllt. Damit ist gezeigt, dass sich die Graphen der Grenzkosten und der Stückkosten im Minimum der Stückkosten schneiden.</p>	5	15	
e)	<p>Bed.: <math>G_B(x) = 0</math></p> $G_B(x) = E(x) - K_B(x)$ $G_B(x) = 26x - \ln(x+e) - \frac{1}{32}x^4 - 29$ $26x - \ln(x+e) - \frac{1}{32}x^4 - 29 = 0 \quad (\text{keine ganzzahlige Lösung!})$ $\left. \begin{array}{l} G_B(1) \approx -4,34 \\ G_B(2) \approx 20,95 \end{array} \right\} x_0 = 1,1$ <p>Newton-Verfahren:</p> $x_1 = x_0 - \frac{f(x_0)}{f'(x_0)}$			

	Lösungsskizze	Zuordnung, Bewertung		
		I	II	III
	$f(x) = G_B(x) = 26x - \ln(x+e) - \frac{1}{32}x^4 - 29$ $f'(x) = G_B'(x) = 26 - \frac{1}{x+e} - \frac{1}{8}x^3$ $x_1 = 1,1 - \frac{f(1,1)}{f'(1,1)} \approx 1,1 - \frac{-1,7855537}{25,571727} \approx 1,1698253$ $x_2 = x_1 - \frac{f(x_1)}{f'(x_1)} \approx 1,1698253 - \frac{-0,0009886}{25,542693} \approx 1,169864$ $\Rightarrow GS(1,170 0)$			
	Insgesamt 100 BWE	20	60	20

### Aufgabe 13 In-Funktion und Verknüpfungen

In der Anlage sind die Graphen zweier Funktionen  $g$  und  $f$  dargestellt.

Gegeben sind weiterhin zwei Funktionen  $h_1$  und  $h_2$ , mit  $h_1(x) = x$  und  $h_2(x) = \ln x$ .

- a) Skizzieren Sie die Graphen von  $h_1$  und  $h_2$  in das Koordinatensystem in der Anlage, in dem bereits  $f$  und  $g$  dargestellt sind.

Die Funktionsgleichungen der Funktionen  $g$  und  $f$  sind aus den Termen der Funktionen  $h_1$  und  $h_2$  bzw. einem der Terme gebildet.

Ermitteln Sie die Funktionsgleichungen. Argumentieren Sie dabei, warum jeweils Ihre gewählten Verknüpfungen die Funktionen  $g$  bzw.  $f$  darstellen.

- b) Weisen Sie nach, dass  $g$  und  $f$  im selben Punkt ein Minimum besitzen.

Gegeben ist die Funktionenschar  $f_t(x) = t \cdot x \cdot (\ln x)^2$  mit  $t \in \mathbb{R} \setminus \{0\}$ .

- c) Bestimmen Sie die Extrempunkte dieser Funktionenschar in Abhängigkeit von  $t$ . Formulieren Sie eine Aussage zur Lage aller Extrempunkte in Abhängigkeit von  $t$ .

- d) Bestimmen Sie die Wendepunkte von  $f_t$ .

Formulieren Sie eine Aussage zur Lage aller Wendepunkte in Abhängigkeit von  $t$ .

- e) Skizzieren Sie den Graphen der Funktion  $\tilde{f}_3(x) = 3 \cdot (x+1) \cdot (\ln(x+1))^2$  im wesentlichen Intervall unter Berücksichtigung der bisher gesammelten Erkenntnisse. Legen Sie für diese Skizze ein neues Koordinatensystem an. (1 Längeneinheit  $\equiv 4$  cm)

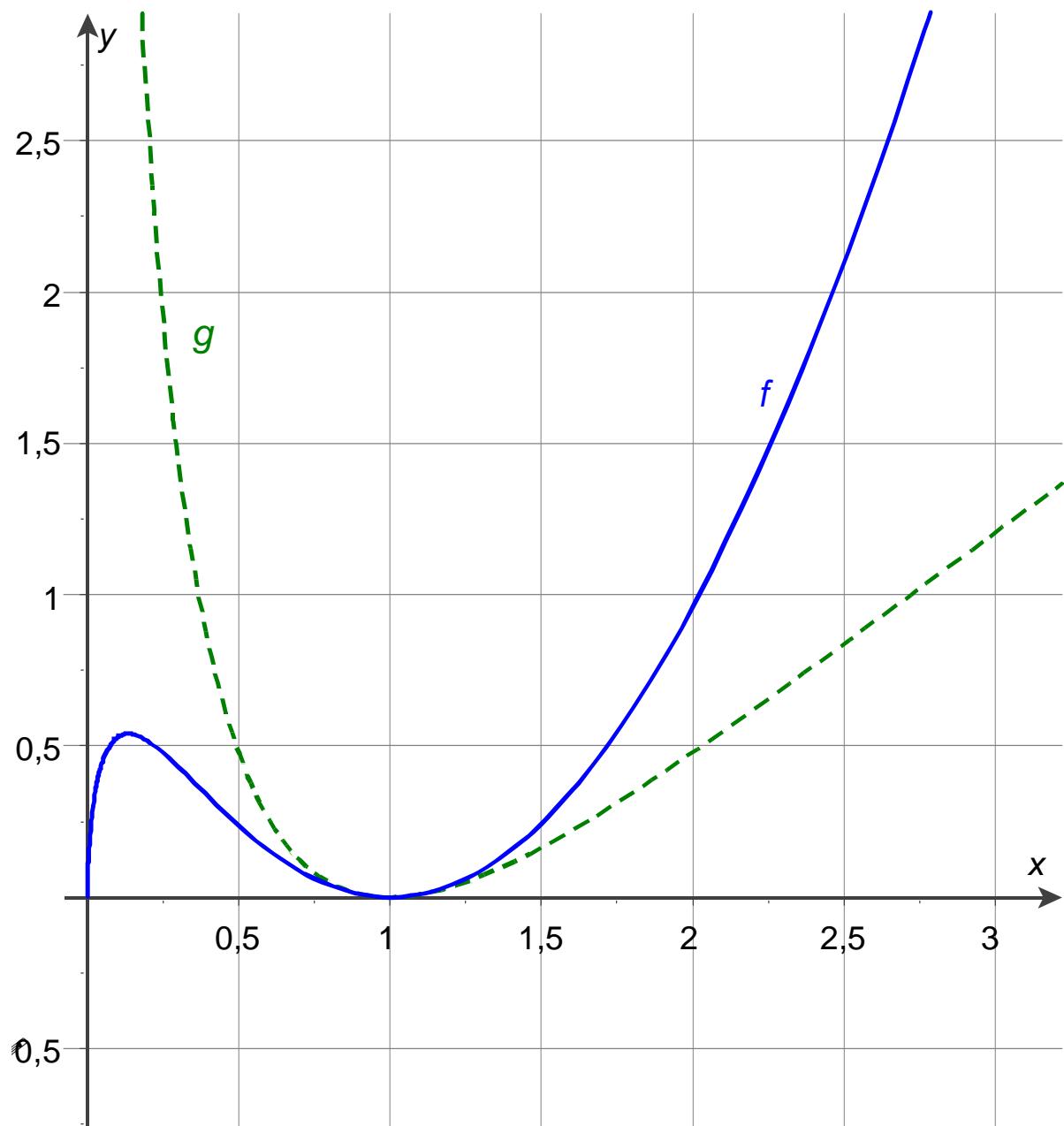
- f) Zeigen Sie durch geeignete Rechnungen, dass eine Stammfunktion von  $f_1(x) = x \cdot (\ln x)^2$  wie folgt lautet:

$$F_1(x) = \frac{1}{2} x^2 \cdot \left[ (\ln x)^2 + \left( \frac{1}{2} - \ln x \right) \right] + C, \quad C \in \mathbb{R}.$$

- g)  $h_1$  bildet zusammen mit der Geraden  $x = e$  und der  $x$ -Achse ein rechtwinkliges Dreieck.

Zeigen Sie mit Hilfe des uneigentlichen Integrals, dass die vom Graphen von  $f_1$  und den beiden Katheten des Dreiecks eingeschlossene Fläche halb so groß ist wie das beschriebene Dreieck.

## Anlage zur Aufgabe 13 In - Funktion und Verknüpfungen

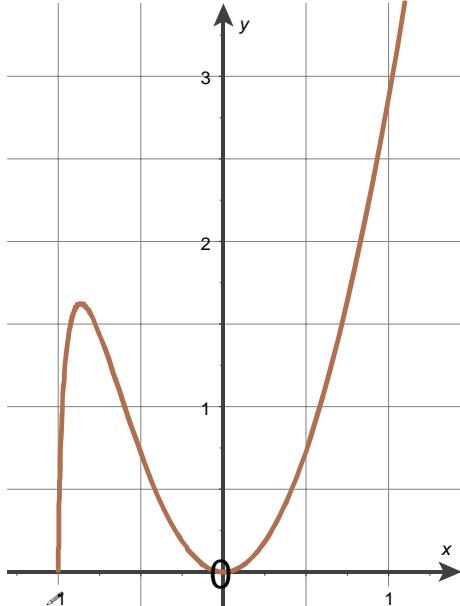


## Erwartungshorizont

	Lösungsskizze	Zuordnung, Bewertung		
		I	II	III
a)	<p><u>Ermittlung der Funktionen <math>g</math> und <math>f</math></u></p> <p><math>g</math> entsteht durch Produktbildung aus <math>h_2</math> mit sich selbst: <math>g(x) = h_2(x) \cdot h_2(x)</math>. Es ergibt sich <math>g(x) = (\ln x)^2</math>. Durch Produktbildung ändern sich die Nullstellen nicht. Ein Schnittpunkt von <math>h_2</math> und <math>g</math> liegt bei <math>(e; 1)</math>, über dem Intervall <math>] 1; e [</math> gilt <math>g(x) = a^2</math> mit <math>a \in ] 0; 1 [</math>, daher liegt <math>g</math> unterhalb von <math>h_2</math>. Über dem Intervall <math>] 0; 1 [</math> bildet sich das Quadrat zweier negativer Zahlen, sodass hier der Graph von <math>g</math> für <math>x \rightarrow 0</math> gegen <math>+\infty</math> läuft.</p> <p><math>f</math> entsteht durch Produktbildung aus <math>g</math> und <math>h_1</math> zu <math>f(x) = x \cdot (\ln x)^2</math>. In <math>] 1; \infty [</math> liegt <math>f</math> oberhalb von <math>g</math>, weil für den Faktor <math>h_1(x)</math> gilt: <math>h_1(x) \geq 1</math>. Über dem Intervall <math>] 0; 1 [</math> liegt <math>f</math> unterhalb von <math>g</math>, aber oberhalb der <math>x</math>-Achse, weil für den Faktor <math>h_1(x)</math> gilt: <math>0 \leq h_1(x) \leq 1</math>. <math>f</math> weist außerdem in diesem Bereich ein Maximum auf, weil schließlich für <math>x</math> gegen 0 von rechts <math>h_1(x)</math> schneller gegen 0 läuft als <math>g(x)</math> gegen <math>+\infty</math> und damit auch <math>f</math> gegen 0 läuft.</p> <p>Es gilt <math>D_f = D_g = \mathbb{R}^+</math>, da der logarithmische Faktor nur für positive reelle Zahlen definiert ist.</p>	5	10	

	<b>Lösungsskizze</b>	Zuordnung, Bewertung		
		I	II	III
b)	<p><u>Minima der beiden Funktionen <math>g</math> und <math>f</math>:</u></p> <p>Zunächst muss die notwendige Bedingung für Extrema erfüllt sein.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Für <math>g</math> ergibt sich:</li> </ul> $g'(x)=0 \Leftrightarrow \frac{2}{x} \cdot \ln x = 0$ $x = 1$ <p>Weiter ergibt sich mit <math>g''(x) = \frac{-2 \cdot \ln x}{x^2} + \frac{2}{x^2}</math> und <math>g''(1) &gt; 0</math>, dass <math>g</math> im Punkt <math>(1/0)</math> ein Minimum besitzt.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Für <math>f</math> ergibt sich:</li> </ul> $f'(x)=0 \Leftrightarrow \ln x \cdot (\ln x + 2) = 0$ $x = 1 \quad \vee \quad x = e^{-2}$ <p>Verfolgt wird nur die Stelle 1:</p> <p>Für diese Stelle ergibt sich mit <math>f''(x) = \frac{2 \cdot \ln x + 2}{x}</math> und <math>f''(1) &gt; 0</math>, dass <math>f</math> im Punkt <math>(1/0)</math> ebenfalls ein Minimum besitzt.</p>	5	15	
c)	<p><u>Extrempunkte der Funktionenschar <math>f_t</math></u></p> <p>Zunächst wird die Ableitung von <math>f_t</math> nach Nullstellen untersucht. Hierbei lassen sich schnell die Ausführungen für die Funktion <math>f</math> aus dem Aufgabenteil b) auf diesen Aufgabenteil für die Funktionenschar <math>f_t</math> übertragen. Man erkennt, dass die möglichen Extremstellen nicht vom Parameter <math>t</math> abhängen.</p> $f_t'(x) = t(\ln x)^2 + 2t(\ln x)$ $= t \ln x (2 + \ln x)$ $t \ln x (2 + \ln x) = 0$ $t \ln x = 0 \quad \vee \quad 2 + \ln x = 0$ $x = 1 \quad \vee \quad \ln x = -2$ $x = 1 \quad \vee \quad x = e^{-2}$ <p>Nun wird die zweite Ableitung an den Nullstellen der ersten Ableitung untersucht, um die Art der Extrema zu ermitteln.</p> <p>Es gilt: <math>f_t''(x) &gt; 0 \Rightarrow</math> In <math>x</math> hat <math>f_t</math> ein Minimum.  <math>f_t''(x) &lt; 0 \Rightarrow</math> In <math>x</math> hat <math>f_t</math> ein Maximum.</p> $f_t''(x) = \frac{t}{x} (2 + \ln x) + \frac{t}{x} \ln x$ $= 2t \frac{1 + \ln x}{x}$ $f_t''(1) = 2t \quad \Rightarrow \quad \begin{cases} \text{Min. in } x = 1 \text{ für } t > 0 \\ \text{Max. in } x = 1 \text{ für } t < 0 \end{cases}$ $f_t''(e^{-2}) = -2t e^2 \quad \Rightarrow \quad \begin{cases} \text{Max. in } x = e^{-2} \text{ für } t > 0 \\ \text{Min. in } x = e^{-2} \text{ für } t < 0 \end{cases}$			

	<b>Lösungsskizze</b>	Zuordnung, Bewertung		
		I	II	III
	$f_t(1) = 0 \Rightarrow \begin{cases} E_{\min}(1/0) & \text{für } t > 0 \\ E_{\max}(1/0) & \text{für } t < 0 \end{cases}$ $f_t(e^{-2}) = \frac{4t}{e^2} \Rightarrow \begin{cases} E_{\max}(\frac{1}{e^2}/\frac{4t}{e^2}) & \text{für } t > 0 \\ E_{\min}(\frac{1}{e^2}/\frac{4t}{e^2}) & \text{für } t < 0 \end{cases}$ <p>Das Maximum aller Funktionen von <math>f_t</math> für <math>t &gt; 0</math> und das Minimum aller Funktionen <math>f_t</math> für <math>t &lt; 0</math> liegen an derselben Stelle <math>\frac{1}{e^2}</math>.</p> <p>Ebenso gilt: Das Minimum aller Funktionen <math>f_t</math> für <math>t &gt; 0</math> und das Maximum aller Funktionen <math>f_t</math> für <math>t &lt; 0</math> liegen an derselben Stelle 1.</p>			
d)	<p><u>Wendepunkte der Funktionenschar <math>f_t</math></u></p> <p>Notwendige Bedingung für Wendepunkte: <math>f_t''(x) = 0</math></p> $f_t''(x) = 2t \cdot \frac{1 + \ln x}{x}$ $1 + \ln x = 0$ $\ln x = -1$ $x = e^{-1}$ <p>Mit der Untersuchung der dritten Ableitung an der Stelle <math>e^{-1}</math> werden die Wendepunkte mit Wenderichtung ermittelt.</p> $f_t'''(x) > 0: W_{R/L}$ $f_t'''(x) < 0: W_{L/R}$ <p><i>Natürlich lässt sich an dieser Stelle auch aus anderen Zusammenhängen verbal für die Existenz von Wendestellen argumentieren.</i></p> $f_t'''(x) = 2t \cdot \frac{1 - (1 + \ln x)}{x^2}$ $= -2t \cdot \frac{\ln x}{x^2}$ $f_t'''(e^{-1}) = 2t \cdot e^2: W_{R/L} \text{ in } x = e^{-1} \text{ für } t > 0 \text{ bzw. } W_{L/R} \text{ in } x = e^{-1} \text{ für } t < 0.$ <p>Wendepunkte ergeben sich mit <math>f_t(e^{-1}) = \frac{t}{e}</math> zu</p> $\begin{cases} W_{R/L}(\frac{1}{e}/\frac{t}{e}) & \text{für } t > 0 \\ W_{L/R}(\frac{1}{e}/\frac{t}{e}) & \text{für } t < 0 \end{cases}$ <p>Die Wendepunkte aller Funktionen der Funktionenschar liegen unabhängig von dem Parameter <math>t</math> an derselben Stelle <math>\frac{1}{e}</math>.</p>	15	5	

	<b>Lösungsskizze</b>	Zuordnung, Bewertung		
		I	II	III
e)	<u>Skizze für <math>\tilde{f}_3</math></u> <p>Die Skizze entsteht durch Streckung der Funktion <math>f_1</math> um den Faktor 3 und Verschiebung nach links um eine Einheit</p> 	5	5	
f)	<p>Es ist zu zeigen, dass gilt: <math>F'_1(x) = f_1(x)</math>.</p> $  \begin{aligned}  F'_1(x) &= x \cdot \left[ (\ln x)^2 + \frac{1}{2} - \ln x \right] + \frac{1}{2} x^2 \cdot \left( \frac{2}{x} \cdot \ln x - \frac{1}{x} \right) \\  &= x \cdot (\ln x)^2 + \frac{1}{2} x - x \cdot \ln x + x \cdot \ln x - \frac{1}{2} x \\  &= x \cdot (\ln x)^2 \\  &= f_1(x) \quad \text{w.z.b.w.}  \end{aligned}  $	5		
g)	<u>Flächenvergleich Dreieck / Fläche unter der Kurve <math>f_1</math></u> <p>Der Flächeninhalt der Dreiecksfläche beträgt mit <math>f_1(e) = e</math>: <math>A = \frac{1}{2} \cdot e^2</math>.</p> <p>Behauptung: <math>\frac{1}{2} \cdot A = \lim_{k \rightarrow 0} \int_k^e x \cdot (\ln x)^2 dx</math></p> $  \begin{aligned}  \int_k^e x \cdot (\ln x)^2 dx &= \left[ \frac{1}{2} x^2 \cdot \left[ (\ln x)^2 + \frac{1}{2} - \ln x \right] \right]_k^e \\  &= \left[ \frac{1}{2} e^2 \cdot \left( 1 + \frac{1}{2} - 1 \right) \right] - \left[ \frac{1}{2} k^2 \cdot \left( (\ln k)^2 + \frac{1}{2} - \ln k \right) \right]  \end{aligned}  $ $  \begin{aligned}  \lim_{k \rightarrow 0} \int_k^e x \cdot (\ln x)^2 dx &= \lim_{k \rightarrow 0} \left[ \frac{1}{4} e^2 \right] - \left[ \frac{1}{2} k^2 \cdot \left( (\ln k)^2 + \frac{1}{2} - \ln k \right) \right] \\  &= \frac{1}{4} e^2 = \frac{1}{2} A \quad \text{w.z.b.w.}  \end{aligned}  $	10	5	
	Insgesamt 100 BWE	10	60	30

## Aufgabe 14 Produktionsumstellung

Aufgabe aus der schriftlichen Abiturprüfung Hamburg 2005.

Hinweis: Für die zu zeichnenden Funktionsgraphen kann es sinnvoll sein, eine Wertetabelle zu erstellen. Alle Funktionsgraphen sind in einem gemeinsamen Koordinatensystem darzustellen.

Für einen Betrieb soll eine Kostenfunktion ermittelt werden. Die zugehörigen Fixkosten belaufen sich auf 12 GE. Weiterhin ist bekannt, dass die Kosten für die Produktion von 2 ME 28 GE betragen. Bei einer Produktion von 3 ME betragen die Kosten 30 GE und der Graph der Funktion ändert dort seine Krümmungsrichtung.

- Bestimmen Sie aus obigen Angaben eine Kostenfunktion  $K$  und zeichnen Sie ihren Graphen in ein geeignetes Koordinatensystem.
- Interpretieren Sie die wirtschaftliche Bedeutung des Ordinatenschnittpunktes und des Wendepunktes.
- Eine Marktanalyse hat ergeben, dass die Produkte unabhängig von der Absatzmenge zu einem Stückpreis von 10 GE an den Markt abgegeben werden können. Bestimmen Sie die Gleichungen der Preisabsatzfunktion  $p$ , der Erlösfunktion  $E$  und der Gewinnfunktion  $G$ . Ermitteln Sie die Gewinnschwelle und die Gewinngrenze. Bestimmen Sie die gewinnmaximale Absatzmenge und den dazugehörigen maximalen Gewinn. Zeichnen Sie die Graphen der Erlösfunktion  $E$  und der Gewinnfunktion  $G$ .

Die Betriebsleitung beabsichtigt, die Produktion zum Zwecke einer Gewinnmaximierung auf ein anderes Produkt umzustellen.

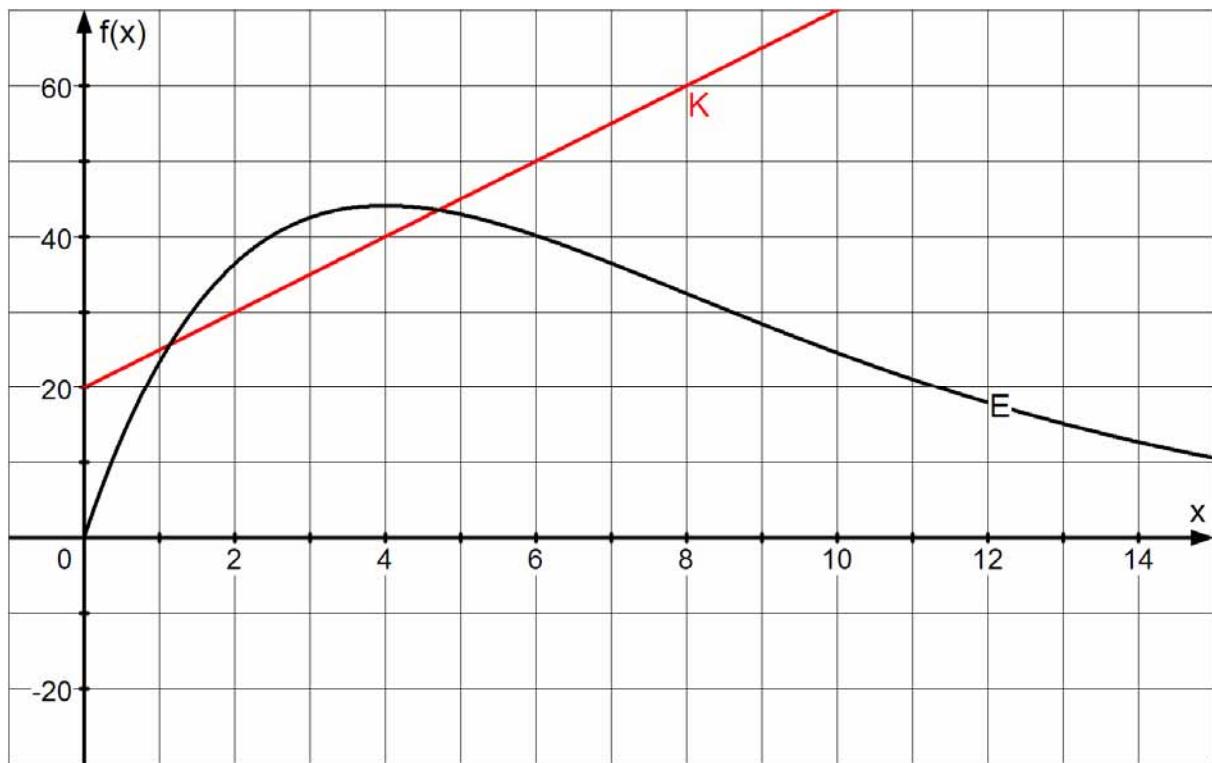
Für die Herstellung des neuen Produktes wird von einem linearen Kostenverlauf ausgegangen. Eine Marktanalyse hat weiterhin ergeben, dass der Preis, der für die Produkte zu erzielen ist, sich exponentiell zur Absatzmenge verhält. Die neue Kostenfunktion und die neue Preisabsatzfunktion lassen sich näherungsweise wie folgt beschreiben:

$$K_{neu} : K(x) = 5x + 20 \quad p_{neu} : p(x) = 30 \cdot e^{-\frac{x}{4}}$$

- Bestimmen Sie die neue Erlösfunktion  $E_{neu}$  und untersuchen Sie, wie sich die Erlöse bei sehr hohen Absatzmengen verhalten.

Fortsetzung nächste Seite →

Gegeben seien im Folgenden die Graphen der neuen Kosten- und der neuen Erlösfunktion:

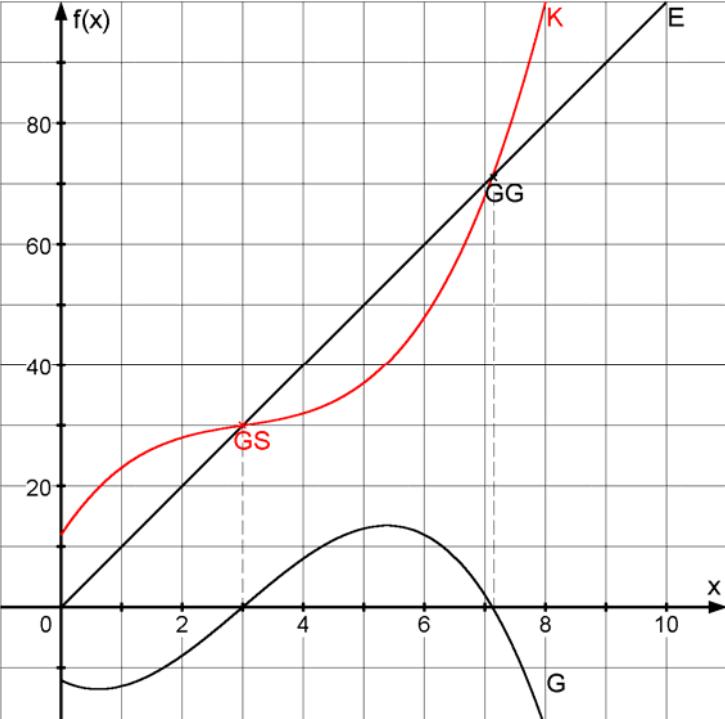


- e) Stellen Sie im obigen Koordinatensystem die neue Gewinnfunktion  $G_{neu}$  als Differenz der gegebenen Graphen dar.
- f) Ermitteln Sie für die neue Gewinnfunktion  $G_{neu}$  die gewinnmaximale Absatzmenge mit Hilfe eines geeigneten Näherungsverfahrens auf eine Nachkommastelle gerundet.

Bestimmen Sie den dazugehörigen maximalen Gewinn und interpretieren Sie die Ergebnisse hinsichtlich der angestrebten Gewinnmaximierung.

## Erwartungshorizont

	<b>Lösungsskizze</b>	Zuordnung, Bewertung		
		I	II	III
a)	$K(x) = a_3x^3 + a_2x^2 + a_1x + a_0$ $K'(x) = 3a_3x^2 + 2a_2x + a_1$ $K''(x) = 6a_3x + 2a_2$ $K(0) = 12 \Rightarrow a_0 = 12$ $K(2) = 28 \Rightarrow 8a_3 + 4a_2 + 2a_1 + a_0 = 28 \quad (\text{a}_0 \text{ einsetzen})$ $K(3) = 30 \Rightarrow 27a_3 + 9a_2 + 3a_1 + a_0 = 30$ $K''(3) = 0 \Rightarrow 18a_3 + 2a_2 = 0$ $\left[ \begin{array}{ccc c} 8 & 4 & 2 & 16 \\ 27 & 9 & 3 & 18 \\ 18 & 2 & 0 & 0 \end{array} \right] \Leftrightarrow \left[ \begin{array}{ccc c} 8 & 4 & 2 & 16 \\ 30 & 6 & 0 & -12 \\ 18 & 2 & 0 & 0 \end{array} \right] \Leftrightarrow \left[ \begin{array}{ccc c} 8 & 4 & 2 & 16 \\ 48 & 8 & 0 & -12 \\ -24 & 0 & 0 & -12 \end{array} \right]$ <p>Durch Einsetzen ergibt sich: <math>a_3 = 0,5</math>; <math>a_2 = -4,5</math>; <math>a_1 = 15</math>.</p> <p>Damit gilt: <math>K(x) = 0,5x^3 - 4,5x^2 + 15x + 12</math></p> <p>Funktionsgraph der Kostenfunktion <math>K</math>: siehe Aufgabenteil c).</p>	5	15	
b)	<p><u>Wirtschaftliche Bedeutung des Ordinatenschnittpunktes <math>(0 12)</math>:</u> Die fixen Kosten der Produktion betragen 12 GE. Das sind Kosten, die unabhängig von der Produktion entstehen und die man Fixkosten nennt.</p> <p><u>Wirtschaftliche Bedeutung des Wendepunktes von <math>K</math>:</u> Im Wendepunkt der Kostenkurve sind die Grenzkosten am geringsten, d.h. die Zunahme der Kosten bei Ausweitung der Produktionsmenge ist am geringsten.</p>		10	
c)	<p><u>Preisabsatzfunktion <math>p</math>:</u> <math>p(x) = 10</math></p> <p><u>Erlösfunktion <math>E</math>:</u> <math>E(x) = p(x) \cdot x = 10x</math></p> <p><u>Gewinnfunktion <math>G</math>:</u> <math>G(x) = E(x) - K(x) = -0,5x^3 + 4,5x^2 - 5x - 12</math></p> <p><u>Gewinnschwelle und Gewinngrenze:</u> Grafische Lösung siehe unten</p> $-0,5x^3 + 4,5x^2 - 5x - 12 = 0$ $x^3 - 9x^2 + 10x + 24 = 0$ <p>Horner-Schema: <math>x_1 = 3</math>.</p> $\begin{array}{r} 1 & -9 & 10 & 24 \\ \hline 0 & 3 & -18 & -24 \\ \hline 1 & -6 & -8 & 0 \end{array}$ $x^3 - 9x^2 + 10x + 24 = (x - 3) \cdot (x^2 - 6x - 8)$			

	<b>Lösungsskizze</b>	Zuordnung, Bewertung		
		I	II	III
	$x^2 - 6x - 8 = 0$ $x_2 = 3 + \sqrt{17} \approx 7,12$ $x_3 = 3 - \sqrt{17} \approx -1,12 \notin D$ <p>Gewinnschwelle: <math>x_1 = 3</math></p> <p>Gewinngrenze: <math>x_2 \approx 7,12</math></p> <p><u>Gewinnmaximum:</u> <math>G'(x) = 0 \wedge G''(x) &lt; 0</math></p> $G'(x) = -1,5x^2 + 9x - 5$ $G''(x) = -3x + 9$ $-1,5x^2 + 9x - 5 = 0$ $x^2 - 6x + \frac{10}{3} = 0$ $x_{1,2} = 3 \pm \sqrt{9 - \frac{10}{3}}$ $x_1 \approx 5,38$ $x_2 \approx 0,62$ $G''(5,38) = -7,14 < 0$ $G''(0,63) = 7,14 > 0$ $G(5,38) = 13,49$ <p>Die gewinnmaximale Menge beträgt 5,38 ME, das Gewinnmaximum 13,49 GE.</p> <p>Grafische Lösung siehe unten.</p> <p><u>Grafische Darstellungen:</u></p> 	10	25	5

	<b>Lösungsskizze</b>	Zuordnung, Bewertung		
		I	II	III
d)	<p><u>Kostenfunktion <math>K</math>:</u>  <math>K(x) = 5x + 20</math></p> <p><u>Erlösfunktion <math>E_{neu}</math>:</u>  <math>E_{neu}(x) = p(x) \cdot x = 30x \cdot e^{-\frac{x}{4}}</math></p> <p><u>Verhalten bei sehr hohen Ausbringungsmengen:</u>  <math>\lim_{x \rightarrow \infty} (30x \cdot e^{-\frac{x}{4}}) = 0</math>.</p> <p>Zähler- und Nennerterm gehen zwar beide mit wachsendem <math>x</math> gegen 0, der Nennerterm aber deutlich schneller, d.h. der Erlös geht bei hohen Ausbringungsmengen gegen 0.</p> <p><u>oder:</u> Nachweis über L'Hospital</p> $\lim_{x \rightarrow \infty} (30x \cdot e^{-\frac{x}{4}}) = \lim_{x \rightarrow \infty} \frac{30x}{e^{\frac{x}{4}}} \stackrel{H}{=} \lim_{x \rightarrow \infty} \frac{30}{\frac{1}{4}e^{\frac{x}{4}}} = 0$ <p>Der Erlös strebt gegen Null.</p>	5	5	
e)	<p>Grafische Ermittlung der Gewinnfunktion:</p>			10
f)	<p><u>Gewinnmaximum:</u></p> <p>Bedingung: <math>G'_{neu}(x) = 0 \wedge G''_{neu}(x) &lt; 0</math></p> $G_{neu}(x) = 30x \cdot e^{-\frac{x}{4}} - 5x - 20$ $G'_{neu}(x) = (30 - 7,5x) \cdot e^{-\frac{x}{4}} - 5$ $G''_{neu}(x) = (\frac{15}{8}x - 15) \cdot e^{-\frac{x}{4}}$			

	<b>Lösungsskizze</b>	Zuordnung, Bewertung		
		I	II	III
	<p>Das Newtonsche Näherungsverfahren liefert: <math>x \approx 2,7</math></p> $G''(2,7) = -5,06 < 0, \text{ Max.}$ $G(2,7) \approx 7,74$ <p>Die gewinnmaximale Absatzmenge bei dem neuen Produkt liegt bei 2,7 ME und der maximale Gewinn beträgt 7,74 GE.</p> <p>Die Umstellung der Produktion ist unter dem Gesichtspunkt der Gewinnmaximierung nicht sinnvoll, da mit dem neuen Produkt nur ein geringerer maximaler Gewinn erzielt werden kann.</p> <p>Alternativ könnte bei diesem Aufgabenteil die gewinnmaximale Absatzmenge durch geschicktes Einsetzen in die neue Gewinnfunktion gefunden werden. Die graphische Lösung liefert dafür einen guten Näherungswert.</p>			
	Insgesamt 100 BWE	20	60	20

**Aufgabe 15 Kurbeltrieb eines Motorradmotors****TG**

In Abbildung 1 ist der Kurbeltrieb eines Motorradmotors dargestellt.

Der Pleuel überträgt die Kraft des Kolbens auf die Kurbelwelle und wandelt die geradlinige Bewegung des Kolbens in die Drehbewegung der Kurbelwelle um.

Für die Untersuchung des Kurbeltriebes wird die Anordnung um  $90^\circ$  gedreht und auf die wesentlichen Zusammenhänge reduziert dargestellt (siehe Abb. 2).

Der Radius der Kurbelwelle sei  $r$ , die Länge der Pleuelstange sei  $p$ . Die Kurbelwelle drehe sich gleichförmig im Uhrzeigersinn mit der Winkelgeschwindigkeit  $\omega$ .

Bei dem Drehwinkel  $\alpha = 0$  liegen Pleuelstange und Kurbel auf einer gemeinsamen Geraden. Der Kolbenbolzen  $K$  befindet sich an der Stelle  $s = 0$ .

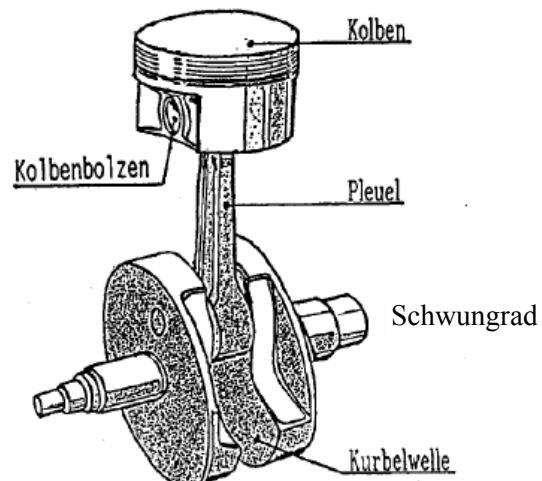


Abb. 1

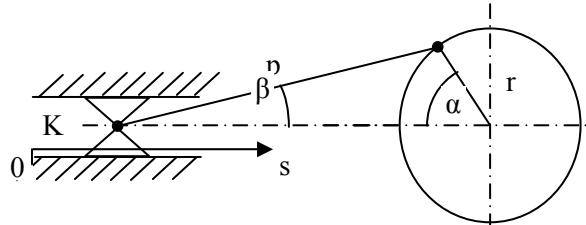


Abb. 2

a) Zeigen Sie, dass der Ort  $s$  durch die Funktion mit der Gleichung

$$s = f(\alpha) = r \cdot (1 - \cos \alpha) + p \cdot \sqrt{1 - \left(\frac{r}{p}\right)^2 \cdot \sin^2 \alpha}$$

beschrieben wird.

Bei dem abgebildeten Motorradmotor beträgt das so genannte Schubstangenverhältnis  $\lambda = \frac{r}{p} = 0,2$ .

Der Kolbenbolzen  $K$  bewegt sich zwischen seinen beiden Totpunkten auf einer Geraden hin und her.

- Bestimmen Sie den Kurbelwinkel  $\alpha$  so, dass sich der Kolbenbolzen  $K$  genau zwischen den beiden Totpunkten befindet.
- Berechnen Sie den Kurbelwinkel  $\alpha$  so, dass die Pleuelstange das Schwungrad tangiert.

Benutzen Sie im Folgenden die Näherungsfunktion  $s^*$  als Ortsfunktion für den Kolbenbolzen:

$$s^* = r \cdot (1 - \cos \alpha) + \frac{r^2}{2p} \cdot \sin^2 \alpha$$

d) Beschreiben Sie den Bewegungsablauf des Kolbens.

Bestimmen Sie die Gleichung der Funktion der Kolbengeschwindigkeit in Abhängigkeit vom Drehwinkel  $\alpha$ .

e) Bestimmen Sie den Kurbelwinkel  $\alpha$ , bei dem sich der Kolben mit maximaler Geschwindigkeit  $v_{\max}$  bewegt.

Die Überprüfung des Maximums mit Hilfe der 2. Ableitung ist nicht erforderlich!

Allgemeine Hinweise: (1)  $\sin^2 \alpha + \cos^2 \alpha = 1$

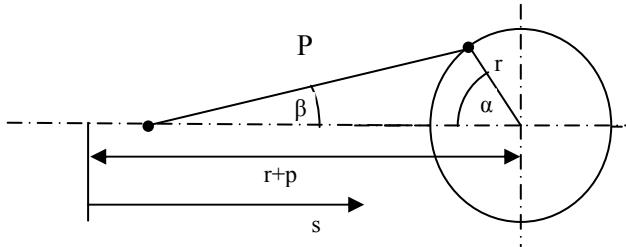
$$(2) \quad \frac{\sin \alpha}{\sin \beta} = \frac{p}{r} \quad (\text{Sinussatz})$$

$$(3) \quad \cos(2\alpha) = 2\cos^2 \alpha - 1$$

$$(4) \quad \text{Kolbengeschwindigkeit: } v = \frac{ds}{dt} = \frac{ds}{d\alpha} \cdot \frac{d\alpha}{dt}$$

$$\text{mit } \frac{d\alpha}{dt} = \varpi \quad (\text{konstante Winkelgeschwindigkeit!})$$

## Erwartungshorizont

	Lösungsskizze	Zuordnung, Bewertung		
		I	II	III
a)	<p>Es gibt zwei Möglichkeiten dafür, dass Kurbel und Pleuelstange auf einer Geraden liegen: Totpunkte.</p> <p>Bei <math>\alpha = 0^\circ</math> ist der Abstand zwischen Kurbellager und Kolbenbolzen <math>K</math> maximal.</p>  <p>Aus der Skizze ist abzulesen: <math>s = r + p - (r \cdot \cos \alpha + p \cdot \cos \beta)</math>.</p> <p>Sinussatz und „trigonometrischer Pythagoras“ eliminieren den Winkel <math>\beta</math>:</p> $\frac{r}{\sin \beta} = \frac{p}{\sin \alpha} \Leftrightarrow \sin \beta = \frac{r}{p} \cdot \sin \alpha ; \quad \cos \beta = \sqrt{1 - \sin^2 \beta} ;$ $f(\alpha) = r \cdot (1 - \cos \alpha) + p \cdot \left( 1 - \sqrt{1 - \left( \frac{r}{p} \right)^2 \cdot \sin^2 \alpha} \right)$	10	20	
b)	<p>Die Totpunkte sind durch <math>s = 0</math> und <math>s = 2r</math> bestimmt, der Mitte zwischen den beiden Totpunkten entspricht demnach <math>s = r</math>.</p> $r = r \cdot (1 - \cos \alpha) + p \cdot \left( 1 - \sqrt{1 - \left( \frac{r}{p} \right)^2 \cdot \sin^2 \alpha} \right)$ $r - r \cdot (1 - \cos \alpha) = p \cdot \left( 1 - \sqrt{1 - \left( \frac{r}{p} \right)^2 \cdot \sin^2 \alpha} \right)$ $r \cdot \cos \alpha = p \cdot \left( 1 - \sqrt{1 - \left( \frac{r}{p} \right)^2 \cdot \sin^2 \alpha} \right)$ $1 - \left( \frac{r}{p} \right) \cos \alpha = \sqrt{1 - \left( \frac{r}{p} \right)^2 \cdot \sin^2 \alpha}$ $(1 - \left( \frac{r}{p} \right) \cos \alpha)^2 = 1 - \left( \frac{r}{p} \right)^2 \cdot \sin^2 \alpha \quad \text{mit} \quad \sin^2 \alpha = 1 - \cos^2 \alpha$			

	<b>Lösungsskizze</b>	Zuordnung, Bewertung		
		I	II	III
	$(1 - \left(\frac{r}{p}\right) \cos \alpha)^2 = 1 - \left(\frac{r}{p}\right)^2 \cdot \sin^2 \alpha \quad \text{mit} \quad \sin^2 \alpha = 1 - \cos^2 \alpha$ $1 - 2\left(\frac{r}{p}\right) \cos \alpha + \left(\frac{r}{p}\right)^2 \cos^2 \alpha = 1 - \left(\frac{r}{p}\right)^2 + \left(\frac{r}{p}\right)^2 \cdot \cos^2 \alpha$ $\cos \alpha = \frac{r}{2p}$ $\alpha = \arccos \frac{r}{2p}$ <p>Für <math>\lambda = r/p = 0,2</math> befindet sich der Kolbenbolzen <math>K</math> bei <math>\alpha = 84,26^\circ</math> und <math>\alpha = 275,74^\circ</math> genau zwischen den beiden Totpunkten.</p>			20
c)	<p>Die Pleuelstange tangiert das Schwungrad genau dann, wenn Kurbel und Pleuelstange aufeinander senkrecht stehen. Dies führt auf die Bedingung:</p> $\cot \alpha = \frac{r}{p} \quad \text{und daraus:} \quad \alpha = \operatorname{arc cot} \frac{r}{p}$ <p>Für <math>\lambda = \frac{r}{p} = 0,2</math> tangiert die Pleuelstange das Schwungrad bei <math>\alpha = 78,69^\circ</math> und <math>\alpha = 281,31^\circ</math>.</p>			10
d)	<p>Der Kolben bewegt sich zwischen den beiden Totpunkten hin und her. Seine Geschwindigkeit ist in den beiden Totpunkten <math>v = 0</math> und erreicht zwischen ihnen ihr Maximum.</p> $v = \frac{ds^*}{dt} = \frac{ds^*}{d\alpha} \cdot \frac{d\alpha}{dt} = r \cdot \sin \alpha \cdot \frac{d\alpha}{dt} + \frac{r}{2} \cdot \frac{r}{p} \cdot 2 \cdot \sin \alpha \cdot \cos \alpha \cdot \frac{d\alpha}{dt}$ <p>setzt man <math>\frac{d\alpha}{dt} = \omega</math>, so wird</p> $v = s^{**} \cdot \omega = r \cdot \omega \cdot \sin \alpha + \frac{r^2}{2p} \cdot \omega \cdot \sin(2\alpha) = r \cdot \omega \cdot (\sin \alpha + \frac{r}{2p} \cdot \sin(2\alpha)) .$			10
e)	<p>Bei der maximalen Kolbengeschwindigkeit muss die Beschleunigung des Kolbens den Wert <math>a = 0</math> haben. Es genügt hier auch, mit der 1. Ableitung <math>v'(\alpha)</math> zu argumentieren!</p> $a = v' \cdot \omega = \frac{dv}{d\alpha} \cdot \frac{d\alpha}{dt} = r \cdot \omega^2 \cdot (\cos \alpha + \frac{r}{p} \cdot \cos(2\alpha)) = 0$ $\cos \alpha + \frac{r}{p} \cdot \cos(2\alpha) = 0 \quad \text{mit} \quad \cos(2\alpha) = 2 \cos^2 \alpha - 1$ $\cos \alpha + \frac{r}{p} \cdot (2 \cos^2 \alpha - 1) = 0$			

	<b>Lösungsskizze</b>	Zuordnung, Bewertung		
		I	II	III
	$\cos \alpha + \frac{2r}{p} \cdot \cos^2 \alpha - \frac{r}{p} = 0$ $\cos^2 \alpha + \frac{p}{2r} \cdot \cos \alpha - \frac{1}{2} = 0$ $\cos \alpha = -\frac{p}{4r} \pm \sqrt{\frac{p^2}{16r^2} + \frac{1}{2}} \quad \text{mit } \frac{r}{p} = 0,2$ $\cos \alpha = -\frac{5}{4} \pm \sqrt{\frac{25}{16} + \frac{1}{2}} = -\frac{5}{4} \pm \frac{\sqrt{33}}{4}$ $\cos \alpha_1 = 0,18615 \quad \cos \alpha_2 = -2,68215 \text{ entfällt, da } \cos \alpha \leq 1 !$ $\alpha = \arccos 0,18615 = 79,27^\circ \text{ für den Hinweg}$ $\alpha = 360^\circ - 79,27^\circ = 280,73^\circ \text{ für den Rückweg}$			
	Insgesamt 100 BWE	10	70	20

**Aufgabe 16 Holzträger****TG**

Die Bearbeitung der Aufgabe erfordert Grundkenntnisse in der Festigkeitslehre und eine sichere Orientierung im Anschauungsraum. Der mathematische Schwerpunkt liegt in der Integralrechnung. Im Verlauf der Aufgabe müssen geeignete algebraische und numerische Integrationsverfahren ausgewählt und angewendet werden. Zur Herleitung der Integrationsformel in Aufgabenteil b.1 ist darüber hinaus ein fundiertes Verständnis des Integralbegriffes erforderlich.

Theoretischer Hintergrund aus der Festigkeitslehre:

Erzeugt eine Kraft ein Biegemoment  $M_b$ , so bewirkt sie eine Biegespannung  $\sigma_b$ .

Die erzeugte Biegespannung  $\sigma_b$  verläuft linear, die maximale Biegespannung beträgt  $\sigma_b = \frac{M_b}{W_b} \left[ \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \right]$ ,

wobei  $W_b$  das so genannte Widerstandsmoment gegen Biegung ist.

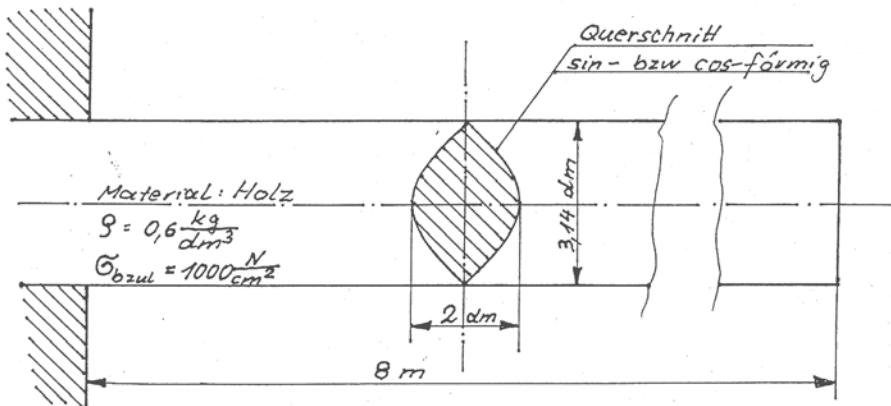
Es gilt  $W_b = \frac{I}{e} [\text{mm}^3]$  bzw.  $[\text{cm}^3]$ , wobei

$I$  das axiale Flächenträgheitsmoment bezüglich der  $x$ -Achse (in  $\text{mm}^4$  bzw.  $\text{cm}^4$ ),  $e$  der Randfaserabstand (Abstand des Querschnitts, der am weitesten von der Biegeachse entfernt ist) ist.

Axiales Flächenträgheitsmoment bzgl. der  $x$ -Achse:  $I_x = \int y^2 \cdot dA = \int y^2 \cdot b \cdot dy$

**Aufgabenstellung**

Ein sinus- bzw. kosinusförmiger Träger aus Holz ist waagerecht einseitig eingespannt (siehe Skizze). Die Dichte beträgt  $\rho = 0,6 \text{ kg} / \text{dm}^3$ . Die zulässige Biegespannung beträgt  $1000 \text{ N} / \text{cm}^2$ .



- a) Bestimmen Sie die durch das Eigengewicht des Trägers auftretende Biegespannung und vergleichen Sie Ihr Ergebnis mit der zulässigen Biegespannung.

b) Der Träger soll gestrichen werden.

b.1 Die Bogenlänge eines Funktionsgraphen kann nach der Formel  $l_B = \int_a^b \sqrt{1 + (f'(x))^2} dx$

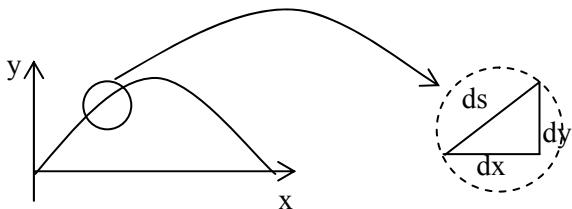
berechnet werden. Leiten Sie diese Formel her.

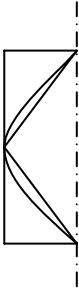
b.2 Bestimmen Sie die Bogenlänge des Trägerquerschnitts durch numerische Integration. Dabei ist  $n = 6$  ausreichend.

b.3 Berechnen Sie die Oberfläche des Trägers.

c) Zeigen Sie durch eine grobe Abschätzung, dass ihre Ergebnisse in einem realistischen Bereich liegen.

## Erwartungshorizont

	Lösungsskizze	Zuordnung, Bewertung		
		I	II	III
a)	<p><u>Biegemoment:</u></p> $A = 2 \int_0^{\pi} \sin(x) dx = [2(-\cos(x))]_0^{\pi} = 4dm^2$ $m = A \cdot l \cdot \rho = 4dm^2 \cdot 80dm \cdot 0,6 \frac{kg}{dm^3} = 192kg$ $F_G = m \cdot g = 192kg \cdot 9,81 \frac{m}{s^2} = 1883,5N$ $M_b = F \cdot \frac{l}{2} = 1883,5N \cdot 4m = 7534Nm$ <p><u>Widerstandsmoment:</u></p> $I = 2 \cdot 2 \int_0^{\frac{\pi}{2}} y^2 \cdot \cos y dy = 4(y^2 \cdot \sin y - \int_0^{\frac{\pi}{2}} 2y \cdot \sin y dy) =$ $I = \left[ 4(y^2 \cdot \sin y + 2y \cdot \cos y - 2 \sin y) \right]_0^{\frac{\pi}{2}} = 1,868dm^4$ $W_b = \frac{I}{e} = \frac{I}{\frac{\pi}{2} dm} = 1,19dm^3$ $M_b = \sigma_b \cdot W_b \Rightarrow \sigma_b = \frac{M_b}{W_b} = \frac{75340 Ndm}{1,19dm^3} = 63311 \frac{N}{dm^2} = 633 \frac{N}{cm^2} < \sigma_{zul}$			
b)	<p>1. Herleitung:</p>  $ds = \lim_{s \rightarrow 0} \Delta s \quad l_B = \sum_a^b ds$ $l_B = \int_a^b \sqrt{(dx)^2 + (dy)^2} = \int_a^b \sqrt{1 + \frac{(dy)^2}{(dx)^2}} dx = \int_a^b \sqrt{1 + (f'(x))^2} dx$ <p>2. z.B. Numerische Integration nach Simpson</p> $l_B = \frac{b}{3} [y_0 + y_n + 2(y_2 + y_4) + 4(y_1 + y_3 + y_5)]$	10	20	

	Lösungsskizze	Zuordnung, Bewertung		
		I	II	III
	$y_0 = y_n = \sqrt{2}$ $y_2 = y_4 = \sqrt{1 + (\cos \frac{\pi}{3})^2} = 1,19$ $y_1 = y_5 = \sqrt{1 + (\cos \frac{\pi}{6})^2} = 1,32$ $y_3 = \sqrt{1} = 1, \quad \frac{b}{3} = \frac{\pi}{6 \cdot 3}$ $l_B = 3,866 \text{ dm}$  3. Oberfläche $A = 2 \cdot l_B \cdot l_{Tr} = 7,73 \cdot 80 = 6,19 \text{ [dm}^2\text{]}$			
		2	15	30
c)	<p>Abschätzung:</p>  <p><math>\text{Fr} &gt; 0 &gt; \text{Fr}_0</math></p> <p>Volumen / Querschnittsfläche:</p> $A_{\text{Fr}} = 2 \cdot \pi = 6,28 \text{ dm}^2 > 4 \text{ dm}^2$ $A_0 = 0,5 \cdot A_{\text{Fr}} = 3,14 \text{ dm}^2 < 4 \text{ dm}^2$ <p>Widerstandsmoment:</p> $W_{\text{Fr}} = \frac{bh^2}{6} = \frac{1}{3} \pi^2 dm^3 = 3,3 dm^3 > 1,19 \text{ dm}^3$ $W_0 = \frac{bh^2}{24} = \frac{1}{12} \pi^2 dm^3 = 0,8 dm^3 < 1,19 \text{ dm}^3$ <p>Oberfläche / Bogenlänge:</p> $l_{\text{Fr}} = (2 + \pi) \text{ dm} = 5,14 \text{ dm} > 3,866 \text{ dm}$ $l_0 = 2 \sqrt{1 + \left(\frac{\pi}{2}\right)^2} \text{ dm} = 3,7 \text{ dm} < 3,866 \text{ dm}$ <p>Die errechneten Werte liegen also in einem realistischen Bereich!</p>	15	8	
	Insgesamt 100 BWE	27	43	30