

Zentralabitur 2021	Physik	Material für Prüflinge
Aufgabe II a	eA	Prüfungszeit*: 300 min

*Die Prüfungszeit setzt sich zusammen aus 270 min Bearbeitungszeit und 30 min Auswahlzeit.

Thema: Versuche und Anwendungen mit LEDs und Lasern

In Aufgabe 1 soll der Wellenlängenbereich des Lichtes einer LED mit der subjektiven Methode bestimmt werden. Interferenzeffekte am Michelson-Interferometer und beim Auslesen einer CD werden in Aufgabe 2 behandelt. Die Bestimmung der planckschen Konstanten h mit LEDs steht im Mittelpunkt von Aufgabe 3.

Aufgabenstellung

Aufgabe 1

Mit einem Gitter soll der Wellenlängenbereich des Lichtes einer LED bestimmt werden. Danach werden Unterschiede in den Interferenzbildern eines Doppelspaltes und eines Vierfachspaltes thematisiert.

In diesem Zusammenhang gilt die Gleichung $n \cdot \lambda = g \cdot \sin\left(\arctan\left(\frac{a_n}{e}\right)\right)$.

n : Ordnung des Maximums; λ : Wellenlänge; g : Gitterkonstante bzw. Spaltabstand;

a_n : Abstand Maximum 0. Ordnung – Maximum n -ter Ordnung; e : Abstand Gitter – Bildebene

1.1 Material 1a (M1a) zeigt den Aufbau eines Experiments zur Bestimmung des Wellenlängenbereichs des Spektrums einer grün leuchtenden LED mit der subjektiven Methode.

Erklären Sie das Zustandekommen der seitlich von der Blendenöffnung wahrnehmbaren Maxima bei der subjektiven Methode anhand des dargestellten Versuchsaufbaus.

Leiten Sie die gegebene Gleichung her, wobei Sie die Skizze in M1b ergänzen.

Hinweis: Sie können die Herleitung auf zwei benachbarte Spalte beschränken.

[10 BE]

1.2 Im Folgenden wird das Licht einer grün leuchtenden LED untersucht. Informationen zum Aufbau, zur Durchführung und die Beobachtung finden sich in M1c.

Ermitteln Sie auf Grundlage der Daten und der Abbildungen in M1c den Wellenlängenbereich des Lichtes dieser LED.

Ermitteln Sie auf der Basis einer Abschätzung für die Messunsicherheit von a_n die absolute Messunsicherheit der kurzwelligen Grenze des Wellenlängenbereichs. Nehmen Sie dabei die Gitterkonstante g als einzige Größe ohne Messunsicherheit an.

[7 BE]

1.3 M1d zeigt Interferenzbilder bei Beleuchtung eines Doppelspaltes und eines Vierfachspaltes mit dem Licht eines grün leuchtenden Lasers. Alle Spalte haben die gleiche Spaltbreite und den gleichen Abstand. Für den Doppelspalt zeigt das Material die Lage des Maximums 0. Ordnung sowie der beiden Maxima erster Ordnung und der dazwischenliegenden Minima.

Vergleichen Sie die Lage der Minima in den Interferenzbildern in M1d.

Erklären Sie für den Vierfachspalt die Entstehung der Minima (A) und (B) mit einem geeigneten Modell aus dem Unterricht.

[7 BE]

Zentralabitur 2021	Physik	Material für Prüflinge
Aufgabe II a	eA	Prüfungszeit*: 300 min

Aufgabe 2

Die Interferenz von monochromatischem Licht wird mithilfe eines Interferometers untersucht und beim Auslesen einer CD technisch genutzt.

Der in dieser Aufgabe verwendete Strahlteiler reflektiert und transmittiert jeweils 50 % des auftreffenden Lichts.

2.1 M2a zeigt den Aufbau eines Michelson-Interferometers.

Skizzieren Sie in M2a alle auftretenden Lichtwege, wobei Sie die Richtungen jeweils durch Pfeilspitzen markieren.

M2b zeigt ein Diagramm der Messwerte für die Lichtintensität, welche der Lichtsensor registriert, wenn der Spiegel SP_1 längs des Lichtweges verschoben wird.

Erläutern Sie das Zustandekommen der in M2b gemessenen Intensitätsänderung in Bezug auf das Experiment, wobei Sie auch die Wellenlänge des verwendeten Lichts bestimmen.

Skizzieren Sie in M2b einen möglichen Verlauf für die Intensität, wenn man die Wellenlänge des verwendeten Lichts verdoppelt. **[11 BE]**

2.2 Der in M2c stark vereinfacht dargestellte Aufbau wird verwendet, um die Datenspur einer CD auszulesen. Dabei verhält sich die CD wie ein Spiegel. Der Laser emittiert Licht der Frequenz $f = 3,843 \cdot 10^{14}$ Hz, welche unabhängig vom Medium ist. Für die Ausbreitungsgeschwindigkeit c_K innerhalb der Kunststoffschicht der CD gilt $\frac{c}{c_K} = 1,55$ (c : Vakuumlichtgeschwindigkeit).

Berechnen Sie die Wellenlänge λ_K des Lichts innerhalb der Kunststoffschicht.

Die Höhendifferenz Δs zwischen den Erhebungen und Vertiefungen in der Kunststoffschicht ist so gewählt, dass die Intensität des reflektierten Lichts am Sensor Null beträgt, wenn der Auftreffbereich zu gleichen Teilen auf einer Erhebung und einer Vertiefung liegt (siehe M2c Detailansicht). Wenn er nur auf einer Erhebung liegt, ist die Intensität hingegen maximal.

Ermitteln Sie die kleinstmögliche Höhendifferenz Δs . **[6 BE]**

2.3 Vergleichen Sie die Aufbauten aus M2a und M2c hinsichtlich der Anordnung, der Funktionsweise und der maximalen Lichtintensität am Sensor relativ zur Intensität des jeweiligen Lasers. **[5 BE]**

Zentralabitur 2021	Physik	Material für Prüflinge
Aufgabe II a	eA	Prüfungszeit*: 300 min

Aufgabe 3

Die plancksche Konstante h soll mithilfe verschiedener LEDs und der in M3a dargestellten Schaltung bestimmt werden. Dazu wird bei mehreren LEDs (M3b) die jeweils an der LED anliegende charakteristische Spannung U_c ermittelt, bei welcher der Stromfluss deutlich messbar einsetzt.

3.1 Ist die Spannung an der LED groß genug, leuchtet sie wahrnehmbar.

Deuten Sie diese Beobachtung mithilfe des Photonenmodells. **[4 BE]**

3.2 Anhand der Daten in M3b lässt sich der Zusammenhang zwischen der Frequenz f des von den LEDs emittierten Lichts und der jeweils zugeführten elektrischen Energie E untersuchen.

Ermitteln Sie den funktionalen Zusammenhang $E = f(f)$, wobei Sie Ihr Vorgehen in der im Unterricht vereinbarten Form dokumentieren und den sich daraus ergebenden Wert für die plancksche Konstante h angeben.

Beurteilen Sie die Aussage, dass der experimentell bestimmte Wert für h zu hoch ausfällt, da die betriebsbedingte Erwärmung der LED zu einem Energieverlust führt. **[10 BE]**

3.3 Für eine weitere LED sind Messwerte in M3c angegeben. Die grafische Darstellung in einem U - I -Diagramm (Kennlinie) ist für Stromstärken ab 30 mA in guter Näherung linear. Der Schnittpunkt der entsprechenden Ausgleichsgeraden mit der Spannungsachse liefert einen guten Schätzwert für die Spannung U_c der LED.

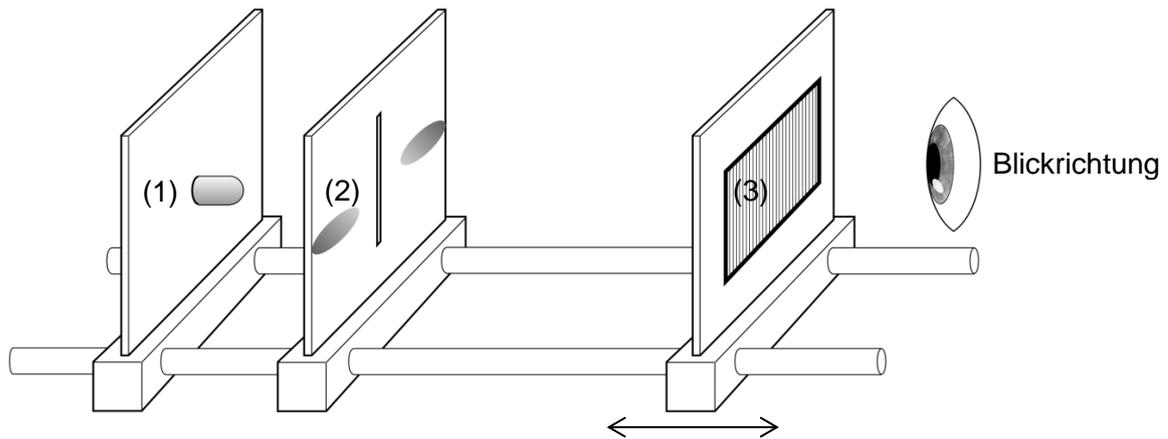
Ermitteln Sie zeichnerisch einen Wert für die Spannung U_c dieser LED, indem Sie das oben beschriebene Verfahren anwenden und dafür alle geeigneten Messwerte aus M3c nutzen.

Bestätigen Sie, dass das Licht dieser LED nicht zum sichtbaren Spektralbereich gehört. **[8 BE]**

3.4 Für eine bestimmte grün leuchtende LED ergibt sich bei einer angegebenen Wellenlänge größter Intensität von $\lambda = 570 \text{ nm}$ ein gemessener Spannungswert von $U_c = 1,97 \text{ V}$.

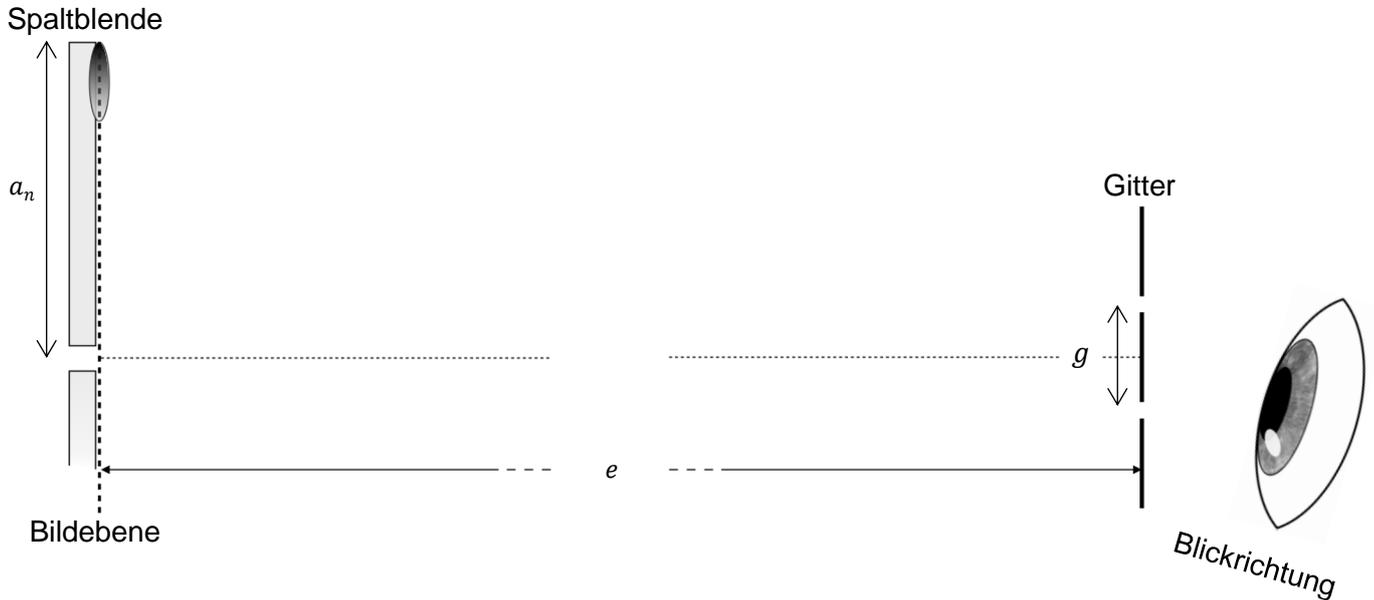
Stellen Sie eine Hypothese auf, wie ein mögliches Spektrum der LED beschaffen sein könnte, um die Unvereinbarkeit dieser Werte mit den Werten aus M3b zu erklären. **[4 BE]**

Material



(1) grün leuchtende LED; (2) Spaltblende mit subjektivem Bild; (3) Gitter (verschiebbar)

M1a: Vereinfacht dargestellter Aufbau des Experiments zur subjektiven Beobachtungsmethode
Die Beobachtungen sind farbig in M1c dargestellt.



M1b: Nicht maßstabsgerechte Skizze zur Herleitung der gegebenen Gleichung

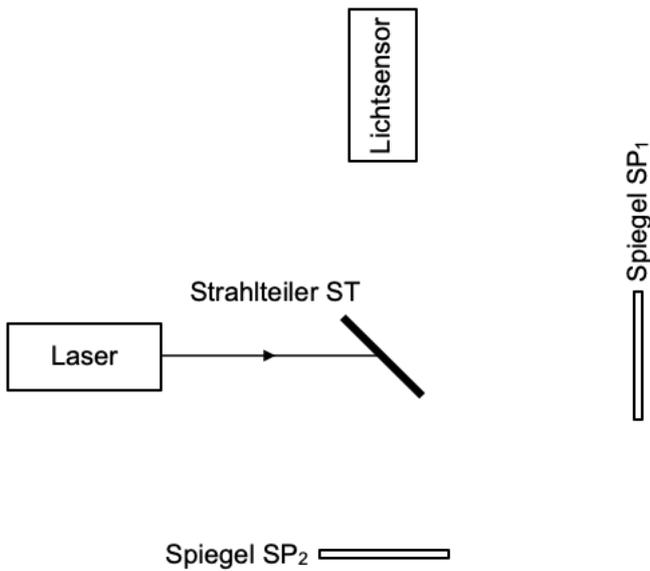
a_n : Abstand zwischen Maximum 0. Ordnung und Maximum n -ter Ordnung

e : Abstand vom Gitter zur Bildebene (bzw. zur Ebene der Messung)

g : Spaltabstand

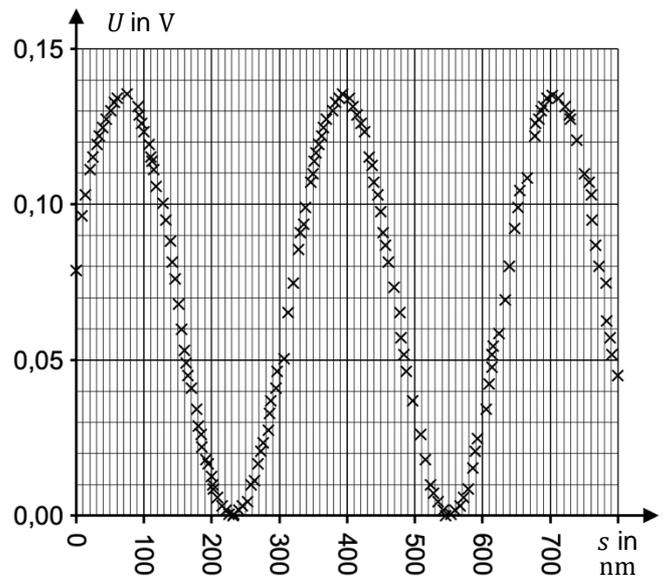
Der Abstand e ist viel größer als der Spaltabstand g .

M1c und M1d: Die Materialien folgen als Farbausdrucke auf der letzten Seite.



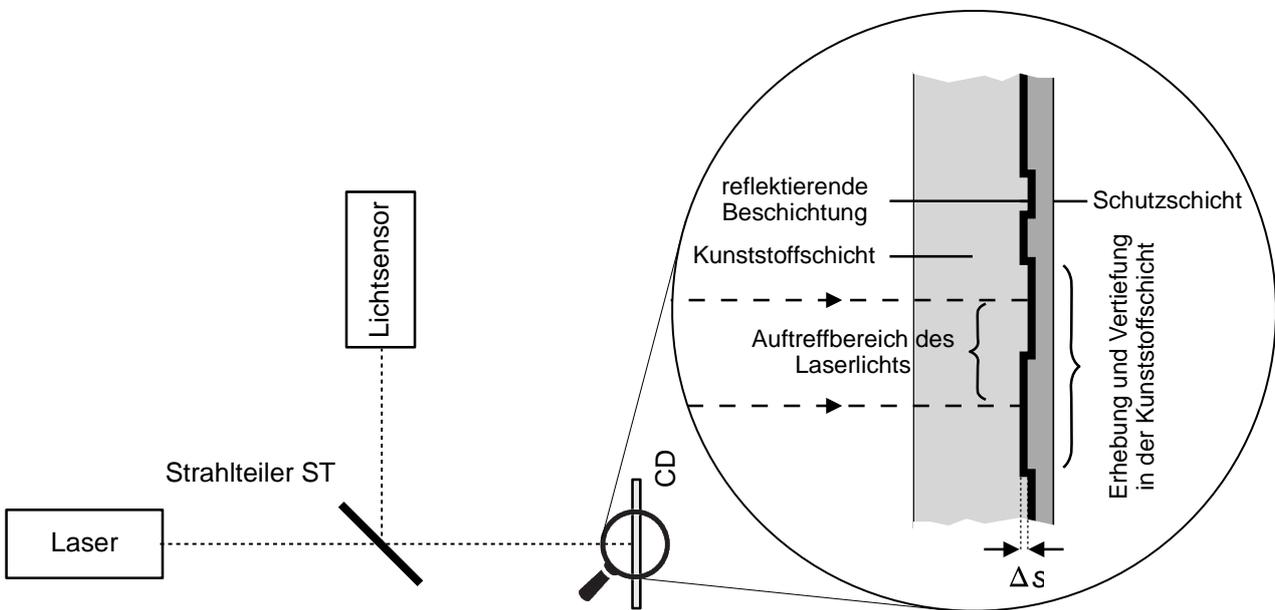
M2a: Aufbau eines Michelson-Interferometers

Nach Durchlaufen des Interferometers wird die Intensität des Lichts mit einem Lichtsensor untersucht, der als Maß für die Lichtintensität eine Spannung ausgibt.



M2b: Messwerte zur Lichtintensität im Zentrum des Interferenzbildes beim Verschieben von SP_1

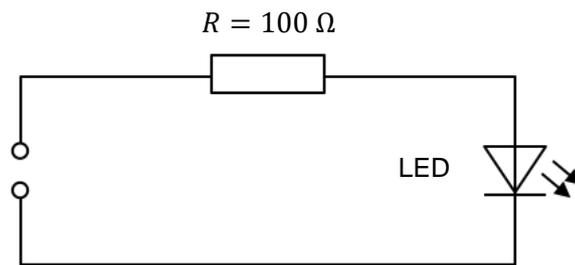
U : Spannung am Lichtsensor als Maß für die Lichtintensität
 s : Verschiebung des Spiegels SP_1 längs des Lichtweges



M2c: *links:* Stark vereinfachter Aufbau zum Auslesen einer CD mit ausgewählten Lichtwegen
rechts: Detailansicht der CD (nicht maßstabsgetreu) und Auftreffbereich des Laserlichts

Die Datenspur einer CD besteht aus Erhebungen und Vertiefungen in einer transparenten Kunststoffschicht, welche mit einer reflektierenden Beschichtung versehen ist.

Δs : Höhendifferenz zwischen Erhebung und Vertiefung



M3a: Unvollständige Schaltskizze zur Bestimmung von U_c einer LED sowie von I

LED	rot	orange	blau
λ in nm	630	596	463
U_c in V	2,02	2,15	2,75

M3b: Messwerte der verwendeten LEDs

λ : Wellenlänge größter Intensität im Spektrum der LED

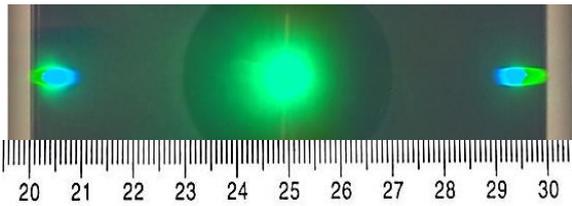
U_c : an der LED anliegende Spannung, bei welcher der Stromfluss deutlich erkennbar einsetzt

U in V	0,00	0,25	0,50	0,75	1,00	1,05	1,10	1,15	1,20	1,25	1,30	1,35
I in mA	0	0	0	0	0	1	3	9	21	39	67	99

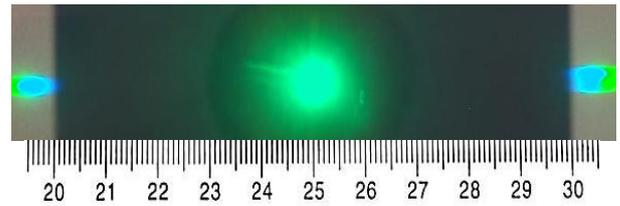
M3c: Messwerte für die an der LED anliegende Spannung U und die Stromstärke I

Das nächste Material folgt auf Seite 7.

Zentralabitur 2021	Physik	Material für Prüflinge
Aufgabe II a	eA	Prüfungszeit*: 300 min



(i): Interferenzbild in Position 1
 $e = 16,5 \text{ cm} \pm 3 \text{ mm}$



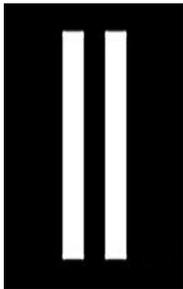
(ii): Interferenzbild in Position 2
 $e = 20,1 \text{ cm} \pm 3 \text{ mm}$

Die grün leuchtende LED zeigt kein monochromatisches Spektrum, sondern ein ausgedehntes Spektrum verschiedener Wellenlängenanteile.

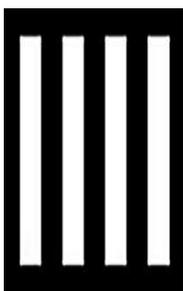
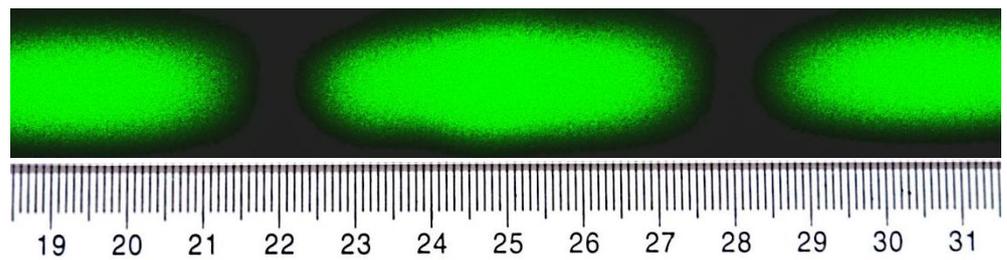
Durchführung: Der Abstand e vom Gitter zur Spaltblende wird durch Verschieben so eingestellt, dass einmal die grünen Grenzen (Position 1) und einmal die blauen Grenzen (Position 2) der beiden Maxima 1. Ordnung möglichst genau auf den Rändern der Spaltblende liegen.

Das Lineal zeigt eine Einteilung in der Einheit cm, der Spaltabstand ist $g = \frac{1}{500} \text{ mm}$.

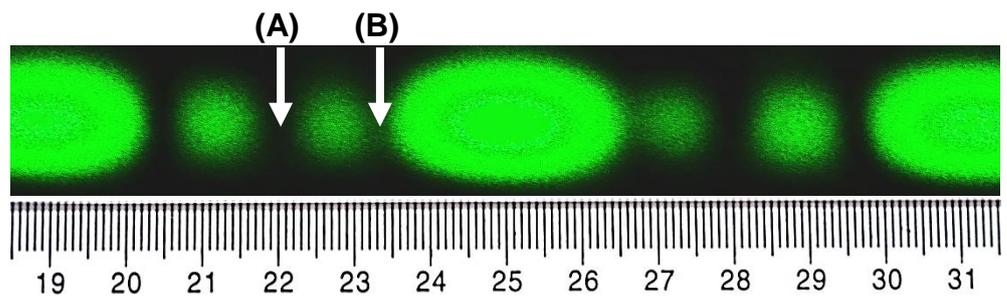
M1c: Informationen zur Durchführung und Beobachtungen zum Experiment



Doppelspalt



Vierfachspalt



M1d: Interferenzbilder für Doppelspalt und Vierfachspalt

Das Lineal zeigt eine Einteilung in der Einheit cm.

Hilfsmittel

- Taschenrechner
- Eine von der Schule eingeführte für das Abitur zugelassene physikalische Formelsammlung
- Eine von der Schule eingeführte für das Abitur zugelassene mathematische Formelsammlung