

Liste von Prüfungsfragen der Kapitel 1-7 zur Vorlesung 141.A71, „Physikalische Messtechnik I“ aus dem Wintersemester 2020/2021

Für einige Fragen sind in blau die Wissensbits angegeben, also jene Elemente, welche die Antwort beinhalten sollte, und mit wie vielen Punkten sie gewertet werden. Dies soll zur Orientierung beim Lernen dienen, insbesondere bis zu welchen Details der Stoff beherrscht werden sollte.

VO1-Einführung.pdf:

S.4: Erklären Sie was systematische und was zufällige Fehler sind und geben Sie Beispiele.

S.4: Ist die Unterscheidung systematisch/zufällig immer eindeutig?

S.4: Welche lassen sich im Prinzip korrigieren und wie?

S.5: Erklären Sie, wie durch mehrmalige Messungen und Mittelung der Ergebnisse der Messfehler reduziert werden kann. Und wie hängt die Reduktion des Messfehlers mit der Zahl der Messungen zusammen?

S.5: Für welche Arten von Fehler funktioniert das?

S.6: Wie lautet die Gauss'sche Wahrscheinlichkeitsverteilung $W(x)$ und was ist die Bedeutung der darin enthaltenen Parameter?

S.7: Wie groß ist die Wahrscheinlichkeit, dass bei Vorliegen einer Gauss'schen Wahrscheinlichkeitsverteilung die Einzelmessung um weniger als 1, 2, bzw. 3 Standardabweichungen vom Mittelwert abweicht?

S.8: Unter welchen Bedingungen kann man erwarten, dass der Messfehler einer Gauss'schen Wahrscheinlichkeitsverteilung unterliegt? (3)

Wissensbits: gleich große positive und negative Fehler gleich häufig (1), kleine Fehler wahrscheinlicher als große (1), beides liegt meist vor wenn Fehler auf viele unabhängigen Störquellen zurückgehen (1)

S.9: Einfache Fehlerfortpflanzung: Wie lautet der Fehler einer Größe $G(x,y,z)$, die aus den verschiedenen Messgrößen x,y,z errechnet wird? Was ist Voraussetzung für die Gültigkeit dieses Gesetzes?

S.11: Temperaturmessung mittels Thermoelement, Messverstärker und Analog-Digital-Converter (ADC): Nennen Sie die möglichen Fehlerquellen auf dem Weg vom Thermoelement bis zur digitalen Anzeige. Unterscheiden Sie auch, welche Fehler zufällig und welche systematisch sind. (7)

Wissensbits: Schlechter therm. Kontakt von Probe zu Thermo-Element, systematisch (1), Spannung von Thermoelement: Rausch und Brumm (1.5), Messverstärker: verstärkt auch rauschen und Brumm von Eingang, gibt selber Rauschen dazu, evtl auch Brumm (1.5), Analog-Digital-Converter: Rauschen und Brumm an Eingang (1), digitale Übertragungsfehler (eher systematisch) (1). Brumm (Netzbrumm) ist systematischer Fehler (1)

S.15/16: Was ist der Effekt der Digitalisierung der Spannung? Unter welchen Bedingungen kann durch Mittelung digitaler Messwerte eine Verbesserung der Genauigkeit erreicht werden?

S.10: Was ist ein Sensor? Und was ist ein Aktor?

S.20: Was ist die Empfindlichkeit eines Sensors?

Wissensbits: Mess-Signaländerung bezogen auf kleine Messwertänderung (1,5), entspricht Steigung der Tangente der umgekehrten Sensorfunktion (0,5)

S.20: Was ist die „dynamic range“ eines Sensors?

Wissensbits: Verhältnis von Messbereich und Auflösung (1,5), das entspricht der Anzahl der wirklich unterscheidbaren Messwerte im Messbereich (0,5)

S.21: Was versteht man unter Hysterese eines Sensors? (Auch Skizze)

Wissensbits: Skizze (3), Erklärung: Sensor-Signal hängt von Messgeschichte des Sensors ab: War Messgröße vorher grösser, bekommt man anderen Wert, als wenn es vorher kleiner war (2)

VO1-Fehlerfortpflanzung2017.pdf:

S.2: Wie ist der Erwartungswert (=Mittelwert) einer Messgröße definiert?

S.2: Wie ist die Varianz einer Messgröße definiert? Was ist die Standardabweichung?

S.5: Bestimmung einer Größe y durch Messung einer Größe x bei bekanntem Zusammenhang $y(x)$: Wie geht die Methode der Gauss'schen Fehlerfortpflanzung vor, um auch für nichtlineare Funktionen $y(x)$ die Varianz bestimmen zu können? (Wichtigste Schritte der Herleitung) (5)

Wissensbits: Definition der Varianz von y (1), Gauss'sche Fehlerfortpflanzung macht Näherung für Mittelwert von y (0.5) und für die Funktion $y(x)$ mittels Taylor-Reihe (Angabe der Formel und Details) (1.5), Ergebnis für $V(y)$ und/oder Standardabweichung von y (2)

S.5: Welcher Zusammenhang besteht dann zwischen der Standardabweichung von y und jener von x ?

S.6: Was ist die Kovarianz?

Wissensbits: Formel (2), Erklärung in Worten, mit Unterscheidung der drei Fälle (2)

S.6: Was sagt die Kovarianz über die Korrelation zwischen zwei verschiedenen Messgrößen aus?

S.13-15: Was ist eine Hauptkomponenten-Transformation und wie beeinflusst sie die Kovarianz?

VO2-Laengenmessung.pdf:

S.1: Wie funktioniert die momentan genaueste Methode um kleinste Längenänderungen zu messen? (Auch Skizze)

S.2: Wie funktioniert ein Widerstandsgeber und in welchem Längenbereich wird er zur Längenmessung herangezogen?

S.4-5: Erklären Sie die Grundlagen des Dehnmessstreifens. In welchem Bereich *relativer* Längenänderung wird er eingesetzt? Wie sollte ein Dehnmessstreifen auf Temperaturänderung reagieren? (6)

Wissensbits: Basis: $R = \rho \cdot l / A$ (1), Bei kleiner Dehnung/Quetschung gilt: $V = \text{const} \rightarrow$ wenn l grösser, dann A kleiner (1), ergibt $dR/R = K \cdot dl/l$ mit $K = 2 \dots 200$ (2); anwendbar bis $dl/l = 10^{-3}$ (1); sollte T-UNabhängig sein (1)

S.6: Was ist das Messprinzip eines induktiven Weggebers? Für welchen Längenbereich wird er eingesetzt? (5)

Wissensbits: Spule mit ferromagnetischem Kern (1), Änderung der Induktivität bei dessen Verschiebung (1), el. Schwingkreis (1), Änderung von Resonanzfrequenz (0.5) oder Spannungsamplitude bei fester Frequenz (0.5), Bereich mm – cm (1) **Möglicher Bonus: Auflösung 10^{-4} des Messbereichs(+0.5), Induktivitätsformel (+1)**

S.7-10: Wie funktionieren kapazitive Weggeber? Welche drei wesentlichen Typen gibt es, und welchen Parameter der Basisformel variieren sie? (8)

Wissensbits: Basisformel (2), Skizze und/oder Beschreibung in Worten jeden Typs (je 2)

S.12: Was kann man mit einer Lateraldiode messen? Wie funktioniert sie? (10)

Wissensbits: Langgestreckte pin-Diode (2) (Länge L), frontseitig Strom an den Seiten abgenommen (1), rückseitig ganzflächig (1), Diode in Sperrrichtung geschaltet (1), Licht oder Röntgenstrahl setzt lokal Elektron-Loch-Paare frei (2), dieser Strompuls in p-Schichte (Front) aufgeteilt invers proportional zu Abstand von den Seiten (2), Auflösung $L/1000$ (1). (Formeln: Bonuspunkte)

S.14: Wie funktioniert ein Stylometer und für welche Zwecke wird es eingesetzt? (5)

Wissensbits: Diamantspitze wird über Film oder Oberfläche geführt (1), Auslenkung wird in elektrisches Signal umgesetzt (1), Einsatz für dünne Schichten (1) und Messung von Rauigkeiten $< 1 \mu\text{m}$ (1), auch Oberflächenprofile (0.5), für Distanzen/Flächen bis ca. $10\text{cm}/10 \times 10\text{cm}^2$ (0.5)

S.14/15: Raster-Kraftmikroskop: Wie funktioniert die genaueste Methode, nämlich der Tapping mode? Wie wird die Höhenänderung gemessen? Welche Auflösung wird erreicht? Welche Kräfte spielen eine Rolle? (7)

Wissensbits: Hebelarm mit Spitze schwingt in Resonanz bei konstanter Amplitude (1.5), Annäherung an Oberfläche so nahe, dass 50-60% der freien Amplitude gehalten wird (1), Messung der Höhe über reflektierten Lichtstrahl detektiert an 4-geteilter Diode (1). Kräfte: van der Waals (anziehend) und overlap der Orbitale (abstoßend) (2), sowie el.stat. und magn. möglich (0.5), atomare Auflösung (1)

S.16: Erklären Sie zwei Methoden zur Schichtdickenmessung für Beschichtungsvorgänge und welche Auflösung jede erreicht. (7)

Wissensbits: Methode A: Substrat der Fläche A wird vor und nach Beschichtung gewogen (1.5); $d = \Delta m / (\rho A)$ (1); Auflösung gering (50-400nm) weil... (1); Methode B: Schwingquarz wird mitbeschichtet (1), zusätzliche Masse verringert Resonanzfrequenz des Quarzes (1.5), Auflösung hinunter bis 0.01 nm, entspricht weniger als 1 atomarer Lage (1)

S.17: Welche zwei optischen Methoden werden zur Dickenmessung schwach absorbierender bzw. transparenter Schichten eingesetzt. Welche physikalischen Effekte werden jeweils genutzt? (11)

Wissensbits: **I.** Fotometer: Messung der transmittierten Intensität (1.5), um Reflexionsverlust zu korrigieren Vergleich mit Schichte bekannter Dicke (1) unter Nutzung des Beer'schen Gesetzes (Formel) (2). μ in Formel erklären (0.5). Gesamt (5). **II.** Ellipsometer: Details zu Funktionsweise: Licht fixer Wellenlänge (1) und Polarisation (1) fällt ein, Reflexion an beiden Grenzflächen (1), Interferenz der beiden Strahlen(1), Polarisationsanalyse(1), Bestimmung von Brechungsindex und Schichtdicke mittels Fresnel'scher Formeln (1) (müssen nicht angegeben werden). Gesamt (6).

VO3-KraftUndDruck.pdf:

S.f3: Wie lautet das Gesetz das in der Federwaage zur Anwendung kommt? In welche andere Größe wird die Kraft umgewandelt?

S.f8: Wie funktioniert eine DMS Kraftmessdose?

Wissensbits: Zylinder (1), Kraft wirkt axial (1), führt zu Umfangsänderung (1), DMS (Dehnmessstreifen) daher entlang Umfang (1). Bonus: Basisformel für DMS (+1)

S.f8: Was ist das Prinzip eines Drehmomentmessers zwischen Kraft gebender und Kraft nehmender rotierender Achse? (3)

Wissensbits: Kraft gebende und Kraft nehmende Achse über Spiralfeder verbunden (1). Bei Antrieb verdrillt sich Feder proportional dem Drehmoment (1). Verdrillung wird auf Potentiometer übertragen (1).

S.f9/f11: Quarz-Kristall als Piezo-Druckwandler: Erklären Sie wie durch Druck ein elektrisches Dipolmoment entsteht. (8)

Wissensbits: Skizze hex. Gitter mit Anordnung der Ladungen (2) und Skizze mit verschobenen Ladungen (2); Erklärung zu Verschiebung und Entstehung des Dipolmoments (2), Formel Dipolmoment (1), wie viel Ladungen pro Si und O₂ (1)

S.f12: Skizzieren Sie die Anordnungen zur Kraftmessung mittels longitudinalem und transversalem Piezoeffekt, und beachten Sie insbesondere wo die elektrische Messspannung abgenommen wird. (5)

Wissensbits: Skizzen jeweils mit Krafrichtung und Richtung des entstehenden elektrischen Feldes, Einzeichnen der Kontakte zur Spannungsabnahme

VO3-Temperatur.pdf:

Allgemein:

Nennen Sie mindestens drei verschiedene Methoden der Temperaturmessung und das jeweils verwendete physikalische Prinzip. (3)

Wissensbits: jeweils Nennung (je 0.5) und genutztes physikalisches Prinzip (je 0.5), z.B: Widerstandsthermometer (el. Wid. In Metallen nimmt mit T zu), Thermoelement (Seebeck-Spannung bei Kontakt zwischen zwei verschiedenen Metallen), Strahlungspyrometer (Planck'sches Strahlungsgesetz, Wien'sches Verschiebungsgesetz)

Wie messen Sie tiefe Temperaturen unter 50 K?

Wie messen Sie hohe Temperaturen über 1500 K?

Spezifisch:

S.f9: Wie ist der Zusammenhang zwischen elektrischem Widerstand und Temperatur in einem Platin-Widerstandsthermometer? (2)

S.f10: Welcher systematische Fehler ist beim Widerstandsthermometer zu berücksichtigen? (2)

Wissensbits: Erwärmung des Widerstandes durch den Messstrom (1.5) Formel Leistung $\Leftrightarrow \Delta T$ (0.5)

S.f11: Thermoelemente: Was ist die Ursache des Seebeckeffekts?

S.f13: Skizzieren und erklären Sie den Aufbau eines Thermoelements und wie damit die Temperatur gemessen werden kann. Welche elektrische Größe wird gemessen? Wie ist der funktionale Zusammenhang mit der Temperatur? In welchem Temperaturbereich werden Thermoelemente angewendet? (9)

Wissensbits: Skizze (2), Nutzung des Seebeck-Effekts (1), phys. Grundlage Seebeck: kalte, warme Seite. An zu messender Stelle *zwei verschiedene Metalldrähte* verbunden. Elektronen diffundieren von heisser Seite weg, diese wird positiv, *aber unterschiedlich für die zwei Metalle* \rightarrow Spannungsdifferenz an den zwei Enden (4), $U_{th} = \sigma \cdot \Delta T$ (1), bis einige hundert K (1)

S.f15-f17: Erklären Sie Gesamtstrahlungspyrometer und Teilstrahlungspyrometer. In welchem Temperaturbereich werden sie eingesetzt? (8)

S.f17: Wie funktioniert ein Farbpyrometer? Welchen besonderen Vorteil hat es gegenüber anderen Strahlungspyrometern? (5)

Wissensbits: Theor. Basis ist Planck'sche Strahlungskurve bzw Wien'sches Verschiebungsgesetz (1), Misst bei mindestens 2 verschiedenen Wellenlängen (0.5), Selektion mittels Interferenzfilter und Messung mit Photodioden (1), misst Verhältnis der Strahlungsleistungen (1), Vorteil: bei technischen Flächen ist $\varepsilon < 1$ und meist unbekannt. Aber ε kaum wellenlängenabhängig, daher Verhältnis der Leistungen, wie von Farbpyrometer gemessen, praktisch unabhängig von ε (1.5). **Möglicher Bonus: Formel Wien'sches Gesetz (+1)**

S.f18: Wie funktioniert ein Gasthermometer und welches physikalische Gesetz wird genutzt? Auf welche physikalische Größe wird die Temperatur abgebildet? Welche absolute Genauigkeit wird erreicht?

Wissensbits: Bildet T auf p ab (1), mittels realem Gasgesetz (2), Skizze des Instruments (3), Erklärung in Worten (2), Genauigkeit (1)

S.f22: Zeichnen Sie den funktionalen Zusammenhang zwischen der jeweils genutzten elektrischen Messgröße und der absoluten Temperatur im Bereich 0-300 K für a) ein Germanium-Widerstandsthermometer, b) Platin-Widerstandsthermometer und c) ein Thermoelement (AuFe-CrNi). Welches ist im Bereich unter 100 K am empfindlichsten? (10)

Wissensbits: jede Kurve 3 Punkte (Kurvenform, Achsenbeschriftung und Skalen), am empfindlichsten? (1Punkt)

VO4-Magnetfeldmessung.pdf:

S.9-11: Skizzieren und beschreiben Sie die vorgestellten Methoden zur Erzeugung von Magnetfeldern und geben Sie die dazugehörigen maximalen Feldstärken an.

S.12 (und nachfolgende): Welche physikalischen Effekte werden zur Magnetfeldmessung genutzt? Nennen Sie zu jedem Effekt mindestens zwei Sensortypen in denen er zur Anwendung kommt. (5)

Wissensbits: Galvanomagnetisch (Lorentzkraft) (1): Hallsonde, Magnetowiderstand (1.5), Faradaysches Induktionsgesetz (1): Induktionsspule, Fluxgate Sensor (1.5)

S.13: Wie funktioniert eine Feldmessspule? Wie misst man damit Wechselfelder und wie konstante Felder? Was sind ihre Vor- und Nachteile?

S.15: Wie ist die Empfindlichkeit einer Feldmessspule definiert? (In Worten und als Formel.)

S.16: Wie kann die Empfindlichkeit einer Feldmessspule erhöht werden? Welche Vorteile gewinnt man, welche Nachteile treten auf?

S.16: Was sind zwei typische galvanomagnetische Effekte und worauf beruhen sie?

S.17: Skizzieren und erklären Sie das Messprinzip des Halleffekts. Was ist der typische Messbereich in Luft (~Vakuum) in Tesla? Wie lautet die Formel für die Hallspannung? Welche Halbleiter werden eingesetzt? (9)

Wissensbits: Skizze (3), Erklärung in Worten (2), $U_H = R_H \cdot B \cdot I / d$ (1) (Achtung: d in Skizze richtig kennzeichnen), Halbleiter: InSb, InAs, Si, GaAs (je 0.5), Messbereich μT bis einige 10 T (1)

S.17/18: Welche zwei typischen Bauformen für Hallsonden gibt es? Skizzieren Sie wie das Hallplättchen jeweils eingebaut sein muss.

S.19: Was versteht man unter dem Magnetowiderstandseffekt? Welche zwei Arten unterscheidet man und wie hängen sie vom Magnetfeld ab?

Wissensbits: elektrischer Widerstand nimmt mit Magnetfeld zu (2), Formel transversal (2), Formel longitudinal (2)

S.20: Wie lautet die relative Änderung des elektrischen Widerstands für den Fall dass das Magnetfeld normal auf die Stromrichtung ist, wie wenn es parallel dazu ist? Welches Problem ergibt sich wenn man – wie meistens – Halbleiter einsetzt?

S.21: Für welchen Feldstärkebereich werden Halleffekt-Sensoren eingesetzt, wie weit reichen Magnetowiderstand-Sensoren? Was ist etwa die untere Grenze in beiden Fällen?

S.21/22: Wie ist ein Sensor aufgebaut, der den Giant Magneto Resistance Effekt ausnutzt? Was ist die Ursache für diesen Effekt?

S.23/24: Wo wird der GMR-Effekt heute eingesetzt?

S.29/30: Wie ist ein Fluxgate-Sensor aufgebaut? Erklären Sie seine Funktionsweise. Für welche Feldstärken wird er eingesetzt? (7)

Wissensbits: hochpermeabler Kern (1), Magnetisierungsspule erzeugt periodisches Feld (sinus, Rechteck,..)(1), treibt Kern periodisch in Sättigung (1), pick-up Spule (1), ohne ext Feld ist

Signal in pick-up periodisch und symmetrisch (1), mit Feld kommt es zur Verschiebung, Signal wird unsymmetrisch und ext Feld ist im wesentlichen proportional 2. Fourierkomponente (1), Messbereich 0.1 nT bis 1 mT (1)

S.28: Welche typischen kommerziellen Anwendungen gibt es für den Fluxgate-Sensor und welches Magnetfeld messen diese?

S.31/32: Welche Effekte nutzt ein SQUID? Skizzieren Sie den Aufbau eines SQUIDs und kennzeichnen Sie auch Zu- und Abführung des Stroms sowie die Punkte zur Spannungsmessung. Welche Feldstärken kann man damit messen? (7)

Wissensbits: Flussquantisierung, d.h. magn. Fluss durch supraleitenden Ring nur in ganzen Flussquanten möglich (1), Josephson-Effekt, d.h. Cooper-Paare können durch Isolator/Normalleiter Tunneln (1), Skizze von Ring mit Josephsonkontakten und Stromzu-/abführung(2), Spannungsmesspunkte (1), Josephsonkontakt ist dünner Isolator/Normalleiter (0.5), Messprinzip: SQUID zählt Flussquanten bei Erhöhung des magn.Flusses (1) [eine Spannungszillation pro Flussquant], Messen bis 10^{-15} Wb (0.5) **Möglicher Bonus: Flusstransformator (+1)**

S.33: Skizzieren Sie die funktionale Abhängigkeit des magnetischen Flusses durch ein SQUID als Funktion des externen Flusses. Erklären Sie wie es dazu kommt.

S.33: Wie wird die Empfindlichkeit eines SQUIDS noch weiter gesteigert?

VO5-1-Volumendurchfluss.pdf:

S.f2: Skizzieren Sie einen Ultraschall-Durchflussmesser. Welche zwei Messprinzipien gibt es? Bei welchem, und wie, ist es möglich die mittlere Durchflussgeschwindigkeit ohne Kenntnis der Schallgeschwindigkeit zu bestimmen?

Wissensbits: Skizze (Rohr, Fluid mit Richtung, 2 Wandler/Sensoren schräg mit Winkel ϕ) (4), Messung nach Doppler, braucht Streukörper (1), Messung nach Laufzeit (1), diese erlaubt Auswertung ohne c_{schall} , Formel dazu (2)

S.f3: Skizzieren Sie das Schema des magnetisch-induktiven Durchflussmessers. Welches Prinzip nutzt er? Welche Eigenschaft muss die gemessene Flüssigkeit besitzen? (7)

Wissensbits: Skizze (3), nutzt Lorentzkraft analog zum Hall-Effekt (1), Formel für induzierte Spannung (U als Funktion von Magnetfeld, Rohrdurchmesser, Volumendurchfluss) (2), Flüssigkeit muss zumindest schwach leitfähig sein (1)

VO5-2-Fotowiderstand-FotoDiode.pdf:

S.1: Woraus besteht ein Fotowiderstand und warum kann seine Leitfähigkeit durch Licht beeinflusst werden? Was sind seine Nachteile? Welchen Typ würden Sie für sichtbares Licht einsetzen? (7)

Wissensbits: homogener Halbleiter (also KEINE Diode) (1), Photonen mit $E > E_g$ erzeugen Elektron-Loch-Paar über den inneren Photoeffekt (2), dies erhöht Leitfähigkeit (1), Nachteil: stark T-abhängig (1), träge (einige ms) (1), für sichtbares Licht: CdS (Kadmiumsulfid) (1)

S.2: Wie ist eine Fotodiode aufgebaut? Welche Halbleiter werden eingesetzt? Wie hängt der Strom von der einfallenden Lichtintensität ab? Wie wird sie meist geschaltet und wie wird der Strom gemessen? (8)

Wissensbits: pn oder pin-Diode (1.5), Si, GaAs, Ge (1.5), Formel $I(U, I_{ph})$ oder Skizze der Kennlinien (1), Strom linear mit Intensität (1), Schaltung in Sperrrichtung mit Lastwiderstand R_L (2). I wird als U über R_L gemessen (1) (oder andere Möglichkeit der Messung von I angeben)

VO6-Roentgen-Neutronenbeugung.pdf:

S.1: In welchem Energiebereich müssen Röntgenstrahlen, Elektronen bzw. Neutronen sein, damit die zugehörige Wellenlänge im Bereich atomarer Abstände von Flüssigkeiten und Festkörpern liegt (0.1-0.3 nm)?

S.3: Warum werden Teilchen an einem periodischen Kristallgitter hauptsächlich nur in bestimmte Richtungen gestreut? Welches Gesetz beschreibt den Fall der elastischen Streuung? (4)

Wissensbits: konstruktive Interferenz der von jedem Atom ausgehenden Kugelwelle (1), tritt auf bei Einfall des Strahl unter Braggwinkel (1). „Bragg-Gesetz“ (1). $n\lambda = 2d \sin \Theta$ oder $\lambda = 2d_{hkl} \sin \Theta$ (1). Skizze nicht nötig. Aber wenn gute Skizze bis zu +2 Bonus.

S.3: Skizzieren Sie die wesentlichen Elemente eines Streuexperimentes und schreiben Sie die Bragg-Gleichung für elastische Kristallbeugung an. Was ist die wesentliche Information über den Kristall, die man aus einem elastischen Beugungsexperiment gewinnt? (Elastisch heißt: Energie der gestreuten Elektronen, Neutronen oder Röntgenquanten ist unverändert)

S.4: Beschreiben Sie wie Elektronen, Röntgenstrahlung und Neutronen mit Atomen wechselwirken.

S.6/7: Beschreiben Sie die zwei Methoden der Erzeugung von Röntgenstrahlung und die Eigenschaften der resultierenden Spektren. (7)

Wissensbits: Röntgenröhre: Elektronen beschleunigt (keV-Bereich)(1), in Anode abgebremst (0.5) ergibt kontinuierlich Bremsstrahlung(1), zusätzlich Anregung innerer Elektronen, Nachbesetzung aus höheren Schalen ergibt Linienspektren (1.5); Synchrotron: magnetische Bremsstrahlung (0.5), Elektronen im GeV-Bereich (0.5) werden über Magnetfeld auf Kreisbahn gehalten und dadurch permanent zentripetal beschleunigt (1) Abstrahlung tangential in engen Raumwinkel (1)

S.8: Wie funktionieren folgende Röntgendetektoren: Zählrohr, Szintillator, Halbleiterdetektor?

Wissensbits: **Zählrohr:** zylindrischer Metallkörper (Kathode), dünner Draht in Achse ist Anode, Füllgas, Röntgen-durchlässiges Fenster. Röntgen-Photon ionisiert Gas-Atome, Ionen zu Kathode, Elektronen zu Anode, Strompuls (4). **HL-Detektor:** pn-Übergang wo Spannung in Sperrrichtung angelegt ist wie bei Photodiode (2.5), ein Röntgenquant erzeugt *viele* Elektron-Loch-Paare → kurzer Strompuls (1.5)

S.9/10: Schreiben Sie die Bragg-Bedingung an und erklären Sie, jeweils mit Skizze, wie die drei Methoden der elastischen Röntgenbeugung funktionieren, welche diese Gleichung benutzen. Erklären Sie auch für jede Methode, welche Beschaffenheit die Probe haben muss. (11)

Wissensbits: Bragg-Gleichung (2), Diffraktometeranordnung: Skizze (1.5), Einfallsstrahl monochromatisch, Probe Poly- oder Einkristall (1.5); Debye-Scherrer: Skizze (1.5), Einfallsstrahl

monochromatisch, Probe Pulver-Kristallite (1.5); Laue-Methode: Skizze (1.5), Einfallstrahl polychromatisch, Probe Einkristall (1.5)

S.11: Welche Charakteristika hat Neutronenstrahlung? Welche Vorteile bieten insbesondere Neutronen mit thermischen Geschwindigkeiten?

S.12: Wie werden Neutronen in einem Kernreaktor erzeugt, und wie in einer Spallationsquelle?

S.13/14: Was versteht man unter Moderation von Neutronen? Mittels welcher Moderatoren erhält man kalte, thermische und heiße Neutronen? Was sind die jeweils typischen de Broglie Wellenlängen?

S.15: Beschreiben Sie die Funktionsweise der zwei gebräuchlichen Methoden zur Wellenlängenauswahl (Monochromatisierung) von Neutronen.

S.16: Was ist das Prinzip der Neutronendetektion mittels eines Proportionalzählrohres?

S.17/18: Skizzieren Sie die Messanordnung eines Neutronen-2-Achsen Spektrometers mit Kristall-Monochromator. Nützt dieses Instrument elastische oder inelastische Neutronenbeugung? Wie sieht ein typisches Ergebnis der Vermessung einer Probe als Funktion des Streuwinkels aus? (7)

Wissensbits: Skizze Aufbau (3) (davon: eingezeichneter Streuwinkel: 0.5). Skizze Ergebniskurve (3) (Achsenbeschriftung je 0.5). „Elastisch“ (1)

S.20: Skizzieren Sie die Messanordnung eines Neutronen-3-Achsen Spektrometers, und beschreiben Sie was an den drei Orten der Streuung geschieht (Monochromator, Probe, Analysator). Welche zusätzliche Information gegenüber einem 2-Achsen Spektrometer kann man erhalten?

Wissensbits: Skizze (3), Beschreibung (Monochromatisieren, Streuung an Probe unter Änderung von Impuls und Energie, elastische Streuung an Analysator nur für eine Energie) (3), Zusatzinfo: Energieübertrag, daraus Phononenspektrum der Probe (2)

S.20: Skizzieren Sie ein Neutronenflugzeitspektrometer. Wie werden hier, im Gegensatz zum 3-Achsen Spektrometer, die Richtung des Impulses und die Energie der von der Probe kommenden Neutronen gemessen? (7)

Wissensbits: Skizze mit Details (Monochromator, Chopper, Probe, verschiebbarer Detektor, oder Detektor-array) (4), Erklärung in Worten (3)

S.23: Wie unterscheiden sich die Streuquerschnitte der Elemente als Funktion der Kernladungszahl für Röntgenstreuung und für Neutronenstreuung? Sind Isotope desselben Elements mit Röntgenstreuung unterscheidbar? Sind benachbarte Elemente tendenziell leichter mittels Neutronenstreuung oder mittels Röntgenstreuung unterscheidbar?

S.24/25: Warum kann man mit Neutronen magnetische Strukturen untersuchen? Skizzieren und erklären Sie die Neutronenstremethoden zur Trennung der atomaren (nuklearen) und magnetischen Struktur eines Kristalls.

VO7-1-Fehlerquadrate_Konkret.pdf

S.2/3: Erklären Sie das Prinzip der Methode der kleinsten Fehlerquadrate. (8)

Wissensbits: Minimum der Summe der Quadrate der gewichteten Differenzen (1), Wie wird gewichtet (1), Vorgabe einer theoretischen Funktion mit zu bestimmenden Parametern (1), Anpassung durch Variation der Parameter (1). WICHTIG eigentliche Methode, da zumeist nichtlineare Funktionen: Linearisierung um gute Anfangsschätzung der Parameter (2), lin Gl.syst. lösbar, Lösung wegen Linearisierung aber nicht exakt (1), Notwendigkeit der Wiederholung bis keine Änderung der Parameter mehr (1)

S.4: Wie kann man die Methode der kleinsten Fehlerquadrate auch für nichtlineare Fitfunktionen anwenden? Beschreiben Sie den formalen Ausdruck, der dann minimiert werden soll. Wie erkennt man ob die gefundene Lösung ausreicht?

S.5: Nach einem Fit einer theoretischen Kurve an Messdaten: Woran erkennt man, dass die Fitfunktion die Daten gut beschreibt? (5)

Wissensbits: Wenn Fehler Gauss-verteilt sind (0.5), sollte S der χ^2 -Verteilung mit n-p Freiheitsgraden folgen, n...Zahl der Messpunkte, p...Zahl der Parameter (1.5), Formel für S ... (2); d.h. Minimum von S sollte circa n-p sein (1)

S.5: Was ist die Kovarianzmatrix, und was ist die Gewichtsmatrix?

VO7-2-DiverseSensoren.pdf

S.5/6: Erklären Sie den Zweck und die Funktion eines Pulsoxymeters

S.7/8: Skizzieren Sie die zwei gebräuchlichen Methoden die in Brandmeldern angewendet werden und erklären Sie das jeweilige Funktionsprinzip.