

A 10 AVOGADRO-Konstante

1 Aufgabenstellung

Bestimmen Sie die AVOGADRO-Konstante

- a. mittels Röntgenbeugung
- b. mittels Ölfleckversuch

2 Theoretische Grundlagen

Stichworte zu Vorbereitung:

AVOGADRO-Konstante, Erzeugung von Röntgenstrahlen, Bremsstrahlung, charakteristische Röntgenstrahlung, BRAGG-Gleichung, Kristallaufbau von Kochsalz, GEIGER-MÜLLER-Zählrohr

Literatur:

- | | |
|------------------|---|
| Haken, Wolf | Atom- und Quantenphysik,
Auflage
Kap. 2.3, 2.4,
Springer Verlag 1994 |
| E.W. Schpolski | Atomphysik
Teil 1, Kap. 4
Verlag der Wissenschaften 1971 |
| Bergmann Schäfer | Lehrbuch der Experimentalphysik
Bd. 4, Teil 1, Kap. 9
de Gruyter (1981)
Bd. 6, Kap. 2
de Gruyter (1992) |

Die Einheit der Stoffmenge ist das Mol. Es ist wie folgt definiert:

"1 mol ist die Stoffmenge eines Systems, das aus so vielen gleichartigen Teilchen besteht, wie Atome in 0,012 Kg des Nukleides ^{12}C enthalten sind".

Die Art der Teilchen (Atome, Moleküle, Ionen, Elektronen oder auch spezielle Gruppierungen) muss jeweils angegeben werden. Die Teilchenzahl je Mol ist eine Naturkonstante und wird als AVOGADRO-Konstante N_A bezeichnet. Der zur Zeit beste experimentell bestimmte Wert ist $N_A = (6,0221367 \pm 0000036) \cdot 10^{+23} \text{ mol}^{-1}$.

Entsprechend der obigen Definition folgt für die Berechnung der AVOGADRO-Konstanten

$$N_A = \frac{V_{\text{mol}}}{V} \quad (1)$$

wobei V_{mol} das Molvolumen und V das Volumen eines Teilchen des Systems ist.

Wird das Molvolumen durch den Quotienten von Molmasse M und Dichte ρ ersetzt, so geht Gl(1) über in

$$N_A = \frac{M}{\rho V} \quad (2)$$

Die Molmasse kann für Elemente aus dem Periodensystem entnommen werden. Für Verbindungen berechnet sie sich additiv aus den einzelnen Komponenten entsprechend ihrer Häufigkeit

$$M(A_a B_b C_c) = aM(A) + bM(B) + cM(C) . \quad (3)$$

Die Dichte ρ des betrachteten Stoffes ist in der Regel hinreichend gut bekannt (Tabellenbuch). Als wesentlich problematischer erweist es sich, das Volumen eines Teilchens des betrachteten Stoffsystems zu bestimmen.

Ziel dieses Praktikumversuches ist es, die AVOGADRO-Konstante mit zwei unterschiedlichen Verfahren experimentell zu bestimmen, wobei in einem ersten Teilexperiment das Volumen eines Kochsalzmoleküls mittels Röntgenbeugung und

in einem zweiten Teilexperiment das Volumen eines Ölmoleküls mittels Ölfleckversuch bestimmt werden soll.

2.1 Röntgenbeugung an Kochsalz

In Abb. 1 ist der Aufbau eines Natriumchloridkristalls schematisch dargestellt.

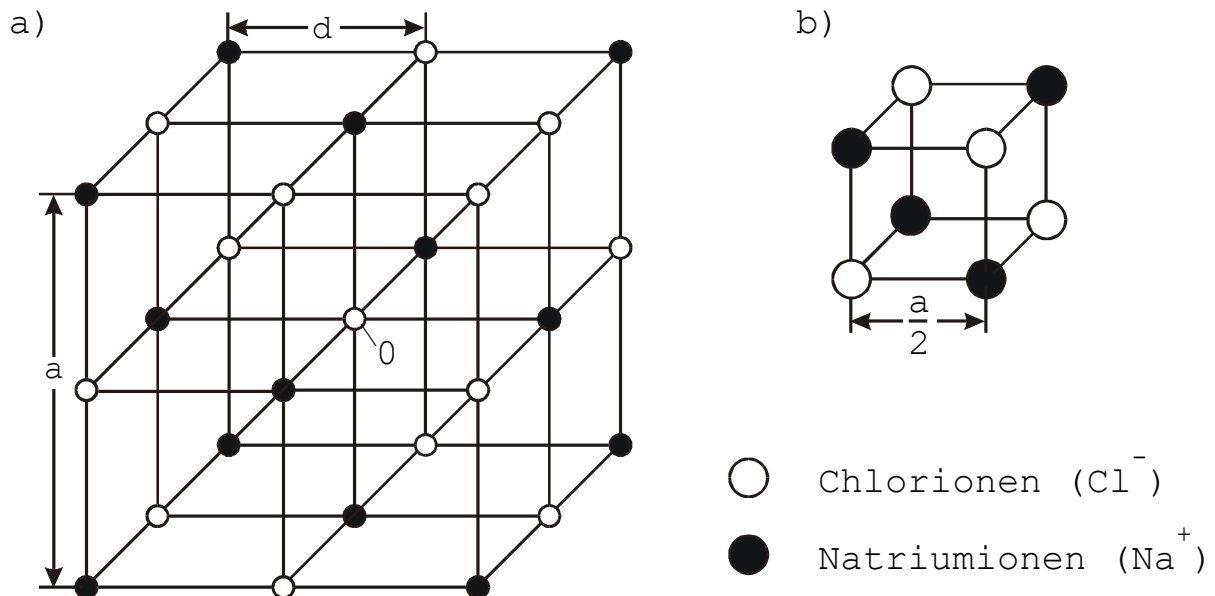


Abb.1 : Kristallgitter des Natriumchlorides

a: Einheitszelle, b: Teilausschnitt des NaCl-Gitters

NaCl besitzt ein so genanntes flächenzentriertes kubisches (fcc) Gitter, wobei sich NaCl nicht als Molekül auf einen Gitterplatz befindet, sondern die Na^+ - und Cl^- -Ionen einen Abstand von d haben (Ionenkristall). In einfacher Weise kann man sich das NaCl-Gitter auch aus 2 getrennten kubisch flächenzentrierten Gittern aufgebaut vorstellen, d.h. jeweils ein separates für die Na^+ -bzw. die Cl^- -Ionen, die gegeneinander um $d = a/2$ versetzt angeordnet sind. Im NaCl-Kristallgitter besetzen dann die Na^+ - und die Cl^- -Ionen abwechselnd die Ecken eines Würfels mit der Kantenlänge $a/2$, wobei a die Gitterkonstante der Na^+ - bzw. der Cl^- -Einheitszelle ist. Unter der Einheitszelle (Abb. 1) versteht man die kleinste Einheit eines Kristalls, die eine identische Fortsetzung dieses kleinsten Elementes in alle 3 Raumrichtungen in gleicher Weise gestattet, d.h. damit der Aufbau eines unendlich

ausgedehnten Kristalls realisiert werden kann. Die im betrachteten Würfelvolumen $(a/2)^3$ enthaltene Anzahl von NaCl-Molekülen kann in einfacher Weise aus Abb.1 abgeleitet werden. Da jedes Ionen (z.B. das Ionen (O) im Zentrum der Einheitszelle der Abb.1a) zu gleichen Anteilen zu 8 dieser Teilwürfel (Abb.1b) beiträgt, sind in jedem Teilwürfel $1/8$ der 4 NaCl-Moleküle der Einheitszelle enthalten. Entsprechend Gl (2) folgt für die AVOGADRO-Konstante

$$N_A = \frac{1}{8} \cdot 4 \cdot \frac{M}{\rho d^3} = \frac{1}{2} \frac{M}{\rho d^3} \quad (4)$$

Mittels Röntgenbeugung kann das Molekülvolumen von NaCl bestimmt werden. Ähnlich wie bei der Interferenz an planparallelen Platten kann auch bei der Röntgenbeugung davon ausgegangen werden, dass die einfallende Strahlung an den verschiedenen parallelen Netzebenen (Abb. 2, I, II etc) teilweise reflektiert wird und diese reflektierten Anteile anschließend untereinander interferieren. Für das Maximum n-ter Ordnung gilt dann die BRAGG'sche Gleichung

$$n \lambda = 2 d \sin(\vartheta) \quad (5)$$

wobei λ die Wellenlänge der verwendeten Röntgenstrahlung, ϑ der Beugungswinkel und d der Abstand der Netzebenen ist.

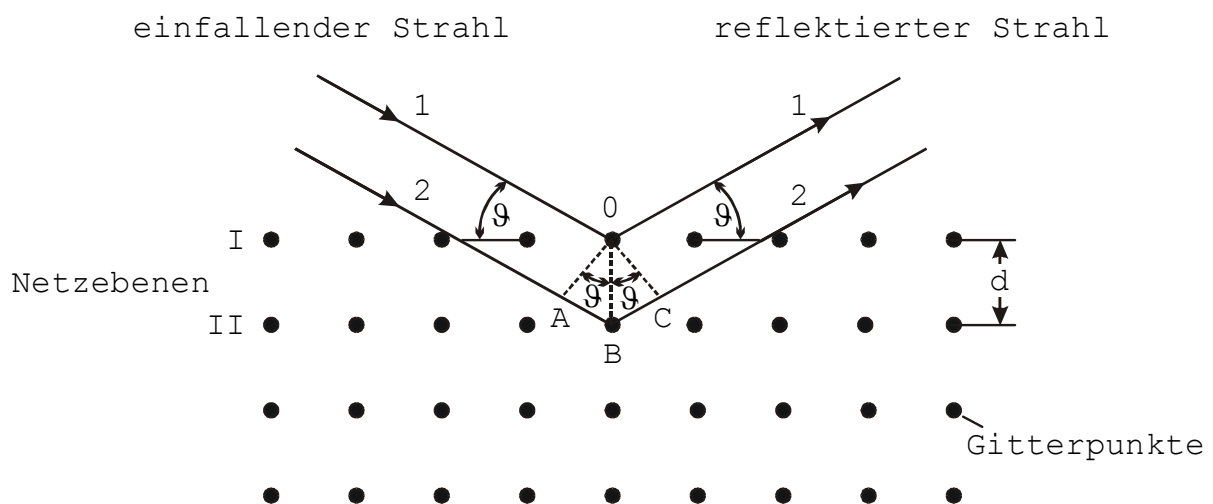


Abb. 2 : Ableitung der BRAGG-Reflexion

Zur Erzeugung einer nahezu monochromatischen Strahlung der Wellenlänge λ wird ein Absorptionsfilter benutzt. Dies ist eine Folie eines Materials dessen Absorptionskante zwischen der K_{α} - und der K_{β} -Strahlung des Anodenmaterials liegt. Die K_{β} -Strahlung und ein großer Teil der Brennstrahlung werden absorbiert.

2.2 Ölfleckversuch

Bei diesem Versuch geht man davon aus, dass sich ein Öltropfen auf einer Wasseroberfläche monoatomar verteilt, d.h. die Schichtdicke dieses dünnen Ölfilms ist gleich dem Durchmesser eines Moleküls. Aus dem Radius des Ölflecks R und dem Volumen des Öltropfens V_{Tr} folgt für die Schichtdicke

$$d = \frac{V_{Tr}}{\pi R^2} \quad (6)$$

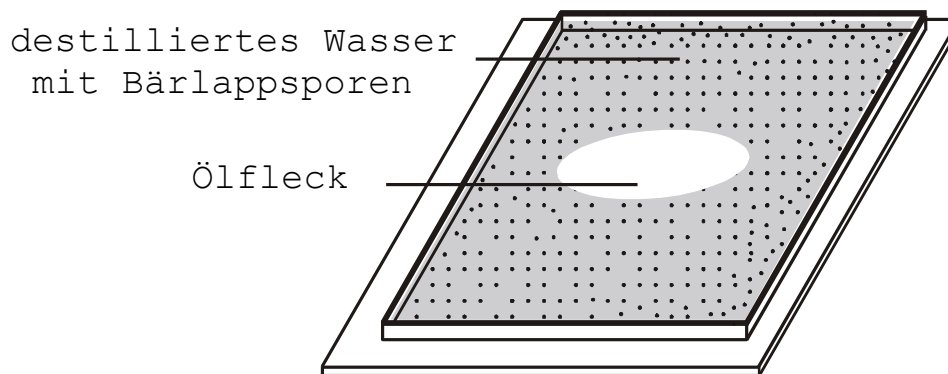


Abb.3 : Ölfleck auf einer Wasseroberfläche

Für die Berechnung der AVOGADRO-Konstanten nach Gl (2) wird weiterhin angenommen, dass das Ölmolekül ein würfelförmiges Volumen mit der Kantenlänge $L_{\text{Ö1}} = d$ einnimmt

$$N_A = \frac{M}{\rho d^3} = \frac{M (\pi R^2)^3}{\rho (V_{Tr})^3} \quad (7)$$

Sind K Atome in einem Ölmolekül enthalten, so kann der Durchmesser d_A eines

Atoms nach folgender Gleichung

$$d_A = \sqrt[3]{\frac{V_{mol}}{K}} \quad (8)$$

abgeschätzt werden.

3. Versuchsdurchführung/Auswertung

3.1 Röntgenbeugung an NaCl

Die Messungen werden in dem sogenannten BRAGG-BRENTANO Verfahren durchgeführt, d. h. bei einer konstanten Wellenlänge wird der Einkristall (2) und das Zählrohr (3) im Verhältnis $\vartheta : 2\vartheta$ gedreht. In Abb. 4 ist dieses Messprinzip skizziert und Abb. 5 zeigt den Versuchsaufbau.

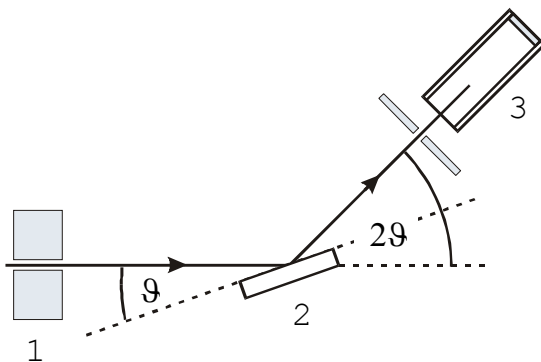


Abb. 4 : Prinzipskizze zur Beugung von Röntgenstrahlen an einem Einkristall

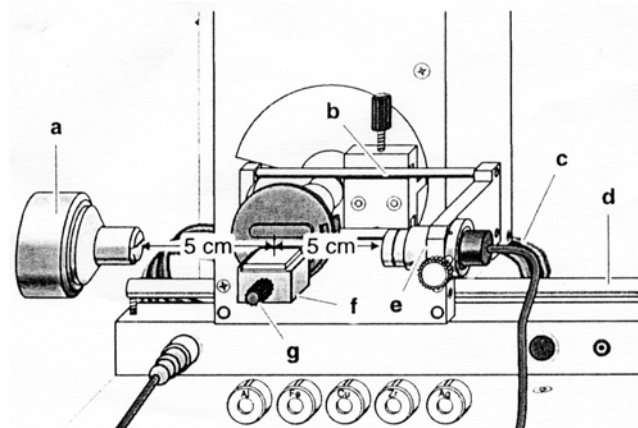


Abb. 5 : Versuchsaufbau der BRAGG'schen Anordnung
a Kollimatorlauf,
b Zählrohrhalter
c Flachbandkabel für Goniometersteuerung
d Führungsstange,
e Zählrohraufnahme
f Probenstisch,
g Befestigungsschraube für Probe

In diesem Versuchsteil wird die K_{α} - Strahlung ($\lambda = 71 \text{ pm}$) einer Röntgenröhre mit Molybdänanode und Zr-Filter genutzt. Als Spektrometer dient ein Goniometer mit einem NaCl - Einkristall und einem GEIGER – MÜLLER – Zählrohr in BRAGG ´scher Anordnung (Abb. 4, 5).

Durch Verschieben des Zählrohrhalters (b) kann der Abstand zwischen Probe und Zählrohr (ca. 6 cm) bzw. durch Verschieben des Goniometers auf der Führungsstange (d) kann der Abstand zwischen der Spaltblende des Kollimators und der Probe (ca. 5 cm) eingestellt werden. Der NaCl – Kristall wird flach auf den Proben­tisch (f) gelegt, der Proben­tisch mit dem Kristall vorsichtig bis zum Anschlag angehoben und die Befestigungsschraube (g) gefühlvoll angezogen.

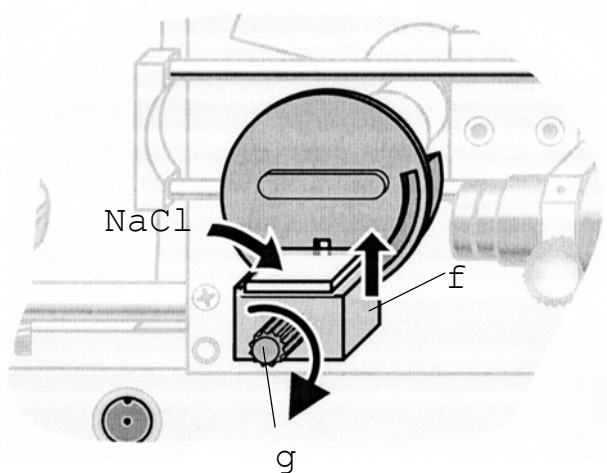


Abb. 6 : Einbau des NaCl-Kristalls

Beachte:

NaCl – Kristalle sind hygroskopisch und zerbrechlich, daher den Kristall nach der Messung ausbauen und im Exsikkator aufbewahren, mechanische Belastungen des Kristalls vermeiden, nur die Stirnseiten des Kristalls anfassen.

Entsprechend der Bedienungsanleitung des Leybold – Röntgengerätes (Kap.5) werden die folgenden Messparameter voreingestellt:

Beschleunigungsspannung	$U = 35 \text{ kV}$
Emissionsstrom	$I = 1,0 \text{ mA}$
Winkelschrittweite	$\Delta \vartheta = 0,1^\circ$

Für die Aufnahme eines Übersichtsspektrums mit und ohne Zr – Filter sind weiterhin folgende Parameter zu nutzen:

ohne Zr – Filter	Messzeit	$\Delta t = 1 \text{ s}$
	Winkelbereich	$2,5^\circ \leq \vartheta \leq 12,5^\circ$
mit Zr – Filter	Messzeit	$\Delta t = 1 \text{ s}$
	Winkelbereich	$5^\circ \leq \vartheta \leq 35^\circ$

Die Aufzeichnung der Spektren erfolgt mit dem PC – Programm “Röntgengerät” (Kap. 5). Diskutieren Sie die Unterschiede dieser beiden Spektren. Ermitteln Sie aus dem Übersichtsspektrum mit dem Zr – Filter grob die Lage der ersten 4 Beugungsreflexe. Nehmen Sie anschließend im Winkelbereich von $\pm 1^\circ$ der ermittelten Peaklage die Intensitätsverteilung dieser Peaks mit folgenden Parametern auf:

1. Peak	$\Delta t = 5 \text{ s}$
2. Peak	$\Delta t = 20 \text{ s}$
3. Peak	$\Delta t = 40 \text{ s}$
4. Peak	$\Delta t = 50 \text{ s}$

Bestimmen Sie die Peakschwerpunkte der einzelnen Peaks und berechnen Sie entsprechend der BRAGG`schen Gleichung (5) die mittlere Gitterkonstante von NaCl. Entsprechend Gl.(4) kann die AVOGADRO-Konstante ermittelt werden. Für NaCl ist die Dichte $\rho = 2,165 \text{ g/cm}^3$ und die Molmasse $m = 58,45 \text{ g/mol}$. Führen Sie für Ihre Berechnungen eine Größtfehlerberechnung durch.

3.2 Öltröpfchenversuch

Der Versuch gelingt nur dann zufriedenstellend, wenn alle eingesetzten Versuchsteile (Kristallisierschale, Messzylinder, Bürette und Hahn) absolut fettfrei sind. Dies wird dadurch erreicht, dass alle Glasteile zunächst mit Wasser (Spülmittel benutzen) abgewaschen und nachfolgend mit Leichtbenzin gereinigt werden.

Hinweis: Das Innere der Kristallisierschale nicht mit den Fingern berühren, Fettverunreinigungen verfälschen das Ergebnis sehr stark, es wird daher empfohlen die am Versuchsplatz ausliegenden Einweghandschuhe zu tragen.

Die fettfreie Kristallisierschale wird auf Millimeterpapier gesetzt und ca. 1 cm hoch mit Wasser gefüllt. Anschließend wird auf die Wasseroberfläche Bärlappsporen

(Lycopodium) so dünn aufgebracht, dass sich der Öltropfen ungehindert ausbreiten kann.

Das im Versuch genutzte Öl (Ölsäure $C_{17}H_{33}COOH$, $\rho_{\text{öl}} = 0,9 \text{ g/cm}^3$, $M = 282 \text{ g/mol}$) wurde bereits in Leichtbenzin im Verhältnis 1: 2000 gelöst und wird in dieser Form für den Versuch bereitgestellt. Das Öl-Leichtbenzingemisch wird in eine Bürette gefüllt und über die Stellung des Schliffhahnes eine Tropfgeschwindigkeit von etwa 1 Tropfen pro Sekunde eingestellt. Um das Volumen eines Tropfens zu ermitteln, lässt man das Öl-Leichtbenzingemisch zunächst in ein Becherglas tropfen und bestimmt die Anzahl von Tropfen, die 1 ml Öl-Leichtbenzingemisch entsprechen. Danach, ohne die Stellung des Hahn zu verändern, wird eine Uhrglasschale unter die Bürette gehalten, der gesamte Aufbau über die mit Bärlapp bedeckte Wasseroberfläche gebracht und **ein Tropfen** durch Wegnehmen der Uhrglasschale auf die vorbereitete Wasseroberfläche fallen gelassen. Der Hahn wird dann zugedreht und der Aufbau zur Seite weggeschwenkt. Der durch das Gemisch entstehende Fleck wird nach dem Verdunsten des Leichtbenzins nicht wesentlich kleiner. Der Ölfleckdurchmessers wird nun mittels Lineal oder Millimeterpapierteilung mehrmals in unterschiedliche Richtungen ermittelt.

Berechnen Sie die AVOGADRO-Konstante und führen Sie dazu eine Größtfehlerberechnung durch. Schätzen Sie weiterhin den Durchmesser eines Atoms entsprechend Gl.(8) ab.

4. Kontrollfragen

- 4.1 Erläutern Sie weitere Verfahren zur Bestimmung der AVOGADRO-Konstante.
- 4.2 Was besagt die AVOGADRO´sche Regel?
- 4.3 Wie können Röntgenstrahlen erzeugt werden? Welche Arten können dabei auftreten?
- 4.4 Erläutern Sie den Aufbau und die Funktionsweise eines GEIGER-MÜLLER-Zählrohres

5. Bedienungsanleitung des Röntgengerätes

Die Bedienung des Röntgengerätes erfolgt mit Hilfe mehrerer Taster zur Auswahl der Parameter und der Betriebsart, eines Dreheinstellers zur Einstellung des gewünschten Wertes für den ausgewählten Parameter und eines Anzeigefeldes, in dem der eingestellte Wert angezeigt wird. Jedem Taster ist eine LED zugeordnet, die die getroffene Wahl anzeigt. Einige Taster können je nach Bedienungszustand des Röntgengerätes nicht betätigt werden. Insbesondere ohne Anschluss des Goniometers haben einige Taster keine Funktion.

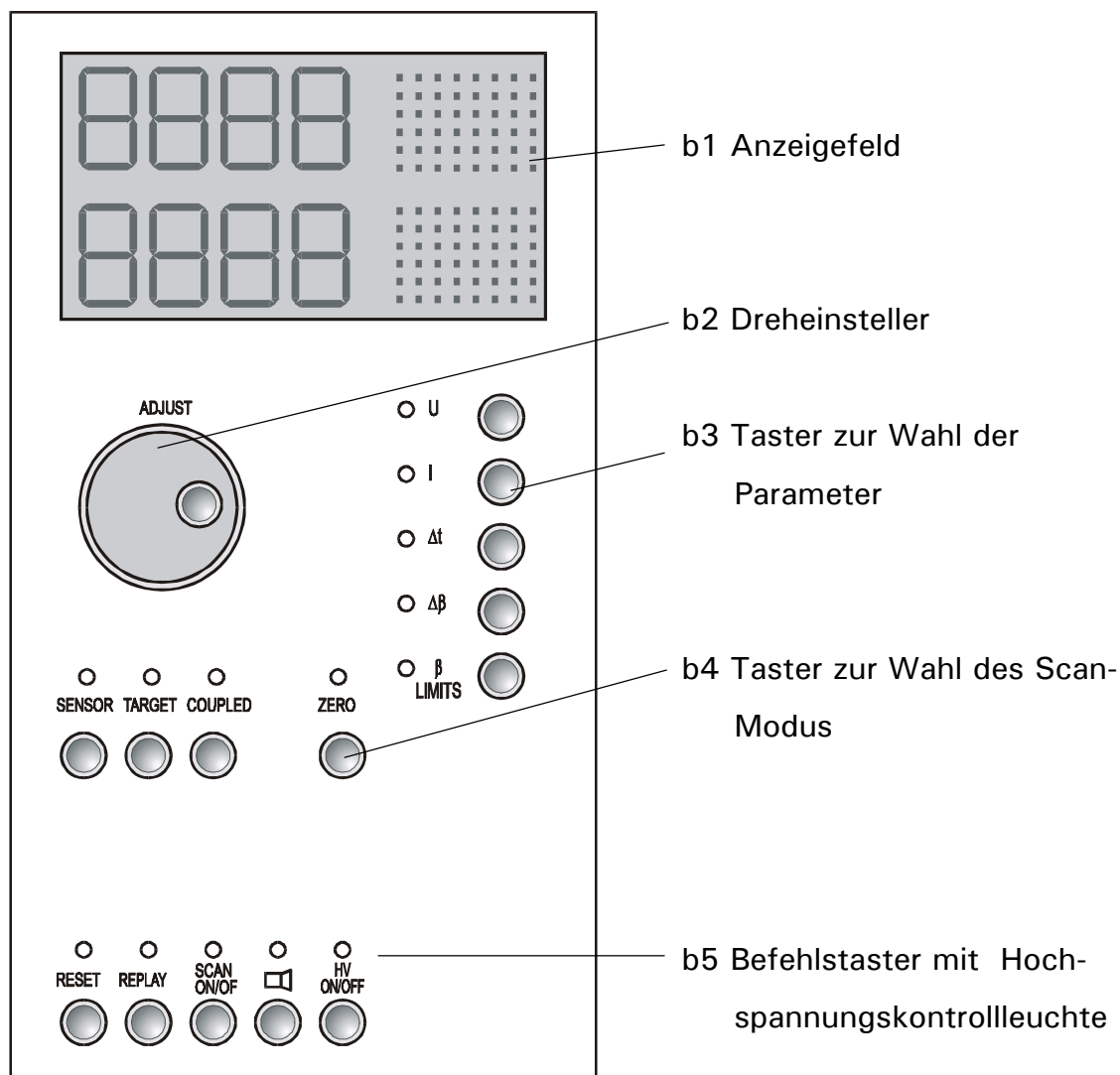


Abb. 7 : Bedienfeld des Röntgengerätes

b1) Anzeigefeld:

oberes Anzeigefeld:

zeigt die aktuelle Zählrate an (Ziffernhöhe: 25 mm, Maßeinheit: LED-Punktmatrix)

unteres Anzeigefeld:

zeigt die mit einem Taster gewählte Größe an (Ziffernhöhe: 25 mm, Maßeinheit: LED-Punktmatrix).

Im Scan-Modus "Coupled" wird im unteren Anzeigefeld die Winkelposition des Targets und im oberen Anzeigefeld bei wiederholtem Drücken des Tasters COUPLED abwechselnd die Zählrate und die Winkelposition des Sensors angezeigt.

b2) Dreheinsteller ADJUST:

ermöglicht die Einstellung der gewünschten Werte. Der Inkrementalgeber kann vor- und rückwärts gedreht werden und hat ein dynamisches Verhalten, d.h. bei schnellem Drehen ist die Schrittweite größer als bei langsamem Drehen. Die Werte werden nach Drücken eines Tasters übernommen.

b3) Taster zur Wahl der Parameter:

Taster U:

aktiviert die Anzeige und Einstellung der Röhren-Hochspannung U.

Wertebereich: 0,0-35,0 kV

Schrittweite: 0,1 kV

Voreinstellung: 5,0 kV

Angezeigt wird der eingestellte Wert unabhängig davon, ob die Röhren-Hochspannung eingeschaltet ist oder nicht (siehe Taster SCAN ON/OFF und HV ON/OFF).

Taster I:

aktiviert die Anzeige und Einstellung des Emissionsstroms I.

Wertebereich: 0,00-1,00 mA

Schrittweite: 0,01 mA

Voreinstellung: 0,00 mA

Angezeigt wird der eingestellte Wert unabhängig davon, ob der Emissionsstrom fließt oder nicht.

Taster Δt :

aktiviert die Anzeige und Einstellung der Messzeit (pro Winkelschritt) Δt .

Wertebereich: 1-9999 s

Schrittweite: 1 s

Voreinstellung: 1 s

Taster $\Delta\theta$

aktiviert bei eingebautem Goniometer die Anzeige und Einstellung der Winkelschrittweite $\Delta\theta$ für die Betriebsart „automatischer Scan“.

Wertebereich: 0,0°-20,0°

Schrittweite: 0,1°

Voreinstellung: 0,1°

Mit der Einstellung $\Delta\theta = 0,0^\circ$ wird die Betriebsart „automatischer Scan“ deaktiviert und die Betriebsart „Belichtungsuhr“ aktiviert.

Taster β LIMITS:

aktiviert bei eingebautem Goniometer die Anzeige und Einstellung der unteren bzw. oberen Winkelgrenze für die Betriebsart „automatischer Scan“. Wird die obere Grenze kleiner als die untere gewählt, kann eine Messung nicht gestartet werden. Die Anzeige blinkt solange, bis dieser Zustand geändert wird.

Nach dem ersten Drücken des Tasters erscheint im Anzeigefeld das Symbol \downarrow . Die untere Winkelgrenze kann eingestellt werden. Nach dem zweiten Drücken des Tasters erscheint im Anzeigefeld das Symbol \uparrow . Die obere Winkelgrenze kann eingestellt werden. Das Symbol \updownarrow im Anzeigefeld weist auf die Einstellung $\Delta\theta = 0,0^\circ$ hin. Die Betriebsart „automatischer Scan“ ist deaktiviert.

b4) Taster zur Wahl des Scan-Modus:

Taster SENSOR:

aktiviert bei eingebautem Goniometer den Scan-Modus „Sensor“ in den Betriebsarten „automatischer Scan“ oder „manueller Scan“.

Die Winkelgrenzen des Sensorarms für den „automatischen Scan“ können festgelegt werden. Der Sensorarm kann manuell oder automatisch bewegt werden. Im unteren Anzeigefeld wird die Winkelposition des Sensors angezeigt.

Taster TARGET:

aktiviert bei eingebautem Goniometer den Scan-Modus „Target“ in den Betriebsarten „automatischer Scan“ oder „manueller Scan“. Die Winkelgrenzen des Targetarms für den „automatischen Scan“ können festgelegt werden. Der Targetarm kann manuell oder automatisch bewegt werden. Im unteren Anzeigefeld wird die Winkelposition des Targets angezeigt.

Taster COUPLED:

aktiviert bei eingebautem Goniometer den Scan-Modus „Coupled“ in den Betriebsarten „automatischer Scan“ oder „manueller Scan“. Die Winkelgrenzen des Targetarms für den „automatischen Scan“ können festgelegt werden. Sensor- und Targetarm können mit der Winkelkopplung 2:1 manuell oder automatisch bewegt werden. Bezugspunkt für die 2:1-Kopplung ist bei der manuellen Bewegung die Winkelposition von Target und Sensor vor Drücken der Taste COUPLED und bei der automatischen Bewegung die messtechnische Nullposition. Im unteren Anzeigefeld wird die Winkelposition des Targets angezeigt. Im oberen Anzeigefeld erscheint bei wiederholtem Drücken des Tasters COUPLED abwechselnd die Zählrate und die Winkelposition des Sensors.

Taster ZERO:

bewegt bei eingebautem Goniometer Target- und Sensorarm in die messtechnische Nullposition.

b5) Befehls-Taster:

Taster RESET:

bewegt bei eingebautem Goniometer Target- und Sensorarm in die messtechnische Nullposition und setzt alle Parameter auf die Werkseinstellungen zurück. Die Röhren-Hochspannung wird abgeschaltet.

Taster REPLAY:

aktiviert das Auslesen des Messwertespeichers. Die manuell mit dem Dreheinsteller

ADJUST abgefragten Winkelpositionen und die zugehörigen über die Messzeit Δt gemittelten Zählraten werden im Anzeigefeld dargestellt und über die serielle Schnittstelle RS232 ausgegeben. An den Ausgangsbuchsen ANGLE und RATE werden die korrespondierenden Spannungen ausgegeben. Die Stellung der Goniometerarme bleibt bei eingebautem Goniometer unverändert. Die Messwerte können beliebig oft abgerufen werden, solange die Taster RESET oder SCAN nicht gedrückt werden und das Röntgengerät nicht ausgeschaltet wird.

Taster SCAN ON/OFF:

schaltet bei geschlossenem Sicherheitskreis die Röhren-Hochspannung ein und aktiviert den Start des Messprogramms. Die Messwerte werden im Messwertespeicher abgelegt. Der Taster kann nur in Kombination mit einem der Taster SENSOR, TARGET oder COUPLED (Betriebsart: "automatischer Scan") oder bei $\Delta\beta = 0.0^\circ$ (Betriebsart: "Belichtungsuhr") betätigt werden. In der Betriebsart "automatischer Scan" wird zuerst die messtechnische Nullposition und dann die untere Winkelgrenze angefahren. Danach wird die Röhren-Hochspannung eingeschaltet. Sobald die Röhren-Hochspannung anliegt und ein Emissionsstrom fließt, beginnt der Scan. Start- und Endpunkt sind die mit β LIMITS festgelegte untere bzw. obere Winkelgrenze. In der Betriebsart "Belichtungsuhr" wird die Röhrenhochspannung eingeschaltet. Sobald die Röhrenhochspannung anliegt und ein Emissionsstrom fließt, läuft die Stoppuhr rückwärts zur Anzeige der verbleibenden Belichtungszeit.

Taster: 

schaltet die akustische Impulsanzeige für den Sensor ein und aus.

Taster HV ON/OFF:

schaltet die Röhren-Hochspannung ein und aus. Das Einschalten der Röhren-Hochspannung ist nur möglich, wenn die Sicherheitskreise geschlossen sind.

b6) Hochspannungs-Kontrolleuchte:

blinkt bei eingeschalteter Röhren-Hochspannung. Die Röhren-Hochspannung kann mit den Tastern SCAN oder HV ON/OFF eingeschaltet werden.

c) Anschlußfeld:

Ausgang RS232:

Die RS232-Schnittstelle ist vom Röntgengerät galvanisch (optoelektronisch) getrennt. Der Anschluss an den Computer erfolgt über ein 1:1-Kabel, in dem nur die drei Leitungen RxD, TxD und Masse verwendet werden.

Eingang HV IN:

Hochspannungs-Eingang, verbunden mit dem Hochspannungsausgang HV OUT in der Anschlussleiste des Experimentierraumes. Der Hochspannungs-Eingang ermöglicht z.B. Experimente mit einem Geiger-Müller-Zählrohr, das an einem externen Zähler betrieben wird.

Ausgang SIGNAL OUT:

BNC-Ausgang, verbunden mit dem BNC-Eingang SIGNAL IN in der Anschlussleiste des Experimentierraumes. Der BNC-Ausgang ermöglicht z.B. Experimente mit Sensoren mit BNC-Anschluß.

Ausgang ANGLE:

analoger Ausgang zum Anschluss eines XY-Schreibers. Nach Drücken der Taster SCAN oder REPLAY wird eine winkelproportionale Spannung von $0,5 \text{ V}/10 \text{ Grad}$ für den Targetarm des Goniometers ausgegeben.

Ausgang RATE:

analoger Ausgang zum Anschluss eines XY-Schreibers. Nach Drücken der Taster SCAN oder REPLAY wird eine zählratenproportionale Spannung von $0,5 \text{ V}/1000 \text{ s}$ ausgegeben.

Messdatenerfassung und -auswertung

a) Ratenmessung:

Das Röntgengerät erzeugt intern eine Hochspannung für ein Geiger-Müller-Zählrohr, misst kontinuierlich dessen Impulszahlen und zeigt diese (unabhängig von der gewählten Messzeit (Δt)) nach jeder Sekunde als Zählrate ($1/\text{s}$) im oberen Anzeigefeld an. Falls kein Zählrohr angeschlossen ist, ist die Anzeige 0. Alle gemessenen Zählraten werden kontinuierlich über die serielle Schnittstelle RS232 ausgegeben. Nach Drücken des Tasters Scan werden alle gemessenen Zählraten in

einem Messwertespeicher abgelegt.

b) Datenausgabe während eines Scans:

Die Winkelposition des im Scan-Modus festgelegten Goniometerarms und die Zählrate werden im Anzeigefeld des Röntgengerätes dargestellt. Dabei wird die Winkelanzeige mit jeder neuen Winkelposition des Goniometerarms und die Zählrate nach jeder Sekunde aktualisiert. Zur Aufzeichnung mit einem Computer werden nach jeder Sekunde alle Parameter, die Winkelposition und die Zählrate über die serielle Schnittstelle RS232 gesendet. Nach Ablauf der Messzeit Δt pro Winkelschritt wird zusätzlich die Impulszahl während der gesamten Messzeit ausgegeben. Die Elemente sind durch Leerzeichen getrennt, um die Übertragung zu Auswerteprogrammen zu erleichtern. Zur Aufzeichnung mit einem Schreiber stehen an den Ausgangsbuchsen ANGLE und RATE winkel- bzw. zählratenproportionale Spannungen zur Verfügung. Die Spannungen ändern sich jeweils nach Ablauf der gewählten Messzeit Δt pro Winkelschritt. Dabei entspricht die Spannung am Ausgang RATE dem Mittelwert der Zählrate über die Messzeit Δt .

c) Datenausgabe nach einem Scan:

Nach Beendigung eines Scan-Durchgangs kann der Inhalt des gesamten Messwertespeichers mit dem Taster REPLAY abgerufen werden. Dazu werden mit dem Dreheinsteller ADJUST von Hand nacheinander die Winkelpositionen des im Scan-Modus festgelegten Goniometerarms angefahren. Im Anzeigefeld erscheint die Winkelposition und die über die Messzeit Δt pro Winkelschritt gemittelte Zählrate. Über die Ausgangsbuchsen ANGLE und RATE werden proportionale Spannungen ausgegeben. Der Datenstrom über die serielle Schnittstelle RS232 enthält die Impulszahl während der Messzeit $N(\Delta t)$.

d) Datenerfassung mit dem Computer:

Der Datenstrom über die serielle Schnittstelle kann mit dem im Lieferumfang des Röntgengerätes enthaltenen Windows 95-Programm "Röntgengerät" erfasst, dargestellt und ausgewertet werden.

Hinweise zur Verwendung dieses Übertragungsprogramm entnehmen Sie bitte den Handbüchern der Betriebssysteme oder den Online-Hilfen.

e) Programm „Röntgengerät“:

Das Programm enthält eine ausführliche Hilfe zu allen seinen Funktionen, sowie zahlreiche Tipps und Experimentierhinweise. Diese Hilfe kann nach dem Start des Programms mit F1 aufgerufen und auch ausgedruckt werden. Die gesamte Hilfedatei "Xray.hlp" befindet sich im gleichen Verzeichnis wie das Programm Röntgengerät. Sie lässt sich unter Windows95 im Explorer mit einem Doppelklick aufrufen und ausdrucken.

Wenn beim Start des Programms die Fehlermeldung „Röntgengerät nicht gefunden“ erscheint, sind folgende Ursachen möglich:

- das Röntgengerät ist ausgeschaltet,
- das serielle Kabel zwischen Röntgengerät und Computer ist nicht ordnungsgemäß angeschlossen,
- die serielle Schnittstelle ist falsch eingestellt,
- der Taster REPLAY ist gedrückt.