

**Zeitschrift:** Helvetica Physica Acta  
**Band:** 41 (1968)  
**Heft:** 6-7

**Artikel:** Spontane elektrische Polarisation im kristallisierten Schwefeldioxid : vorläufige Mitteilung  
**Autor:** Salis, G.A. von / Brüning, D.M. von / Labhart, H.  
**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-113998>

#### Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

#### Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

#### Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

**Download PDF:** 17.01.2026

**ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>**

Frl. I. SCHNEIDER hat mit ausserordentlicher Sorgfalt die Kristalle hergestellt und auch die magnetischen Messungen ausgeführt. Ich möchte ihr an dieser Stelle dafür herzlich danken.

Die magnetischen Messungen an den Pniktiden der Seltenen Erden gehören zu einem generellen Programm unseres Laboratoriums, das die Erforschung der Wechselwirkung von Elektronen mit magnetischen Ionen zum Gegenstand hat. Noch nicht abgeklärt ist die Frage, ob die Pniktide eventuelle Halbleiter sind, welche es uns gestatten würden, die Elektronenkonzentration in weitem Masse zu variieren, eine Grundidee, die Prof. BUSCH seit einigen Jahren konsequent verfolgt. Es scheint mir typisch zu sein für seine wissenschaftlich kompromisslose Gründlichkeit, dass er bereit war, den Rahmen des oben erwähnten Projektes zu sprengen und die vorliegenden rein magnetischen Untersuchungen mit allen Mittel zu fördern. Vielleicht werden die Erkenntnisse, die wir an einfachen Systemen gewonnen haben, einmal nützlich sein, um kompliziertere Fälle zu verstehen. Es bleibt mir die schöne Pflicht, meinem verehrten Lehrer für seine immerwährende Unterstützung und für zahlreiche Anregungen zu danken und mich gleichzeitig den besten Wünschen der Festkörperphysiker aus aller Welt anzuschliessen.

### Literaturverzeichnis

- [1] G. T. TRAMMELL, Phys. Rev. *131*, 932 (1963).
- [2] G. BUSCH, P. SCHWOB und O. VOGT, Phys. Lett. *23*, 636 (1966).
- [3] G. BUSCH und O. VOGT, Phys. Lett. *25A*, 449 (1967).
- [4] G. BUSCH und O. VOGT, J. appl. Phys. *39*, 1334 (1968).
- [5] B. R. COOPER, Phys. Lett. *22*, 24 (1966).
- [6] O. VOGT und B. R. COOPER, J. appl. Phys. *39*, 1202 (1968).
- [7] P. JUNOD und A. MENTH, Phys. Lett. *25A*, 602 (1967).
- [8] B. R. COOPER, Phys. Rev. *163*, 444 (1967).
- [9] G. BUSCH und O. VOGT, Phys. Lett. *20*, 152 (1966).
- [10] V. E. ADAMYAN und G. M. LOGINOV, Sov. Phys. JETP *24*, 696 (1967).

## Spontane elektrische Polarisation im kristallisierten Schwefeldioxid (vorläufige Mitteilung)

von **G. A. von Salis, D. M. von Brüning und H. Labhart**

Physikalisch-chemisches Institut der Universität Zürich

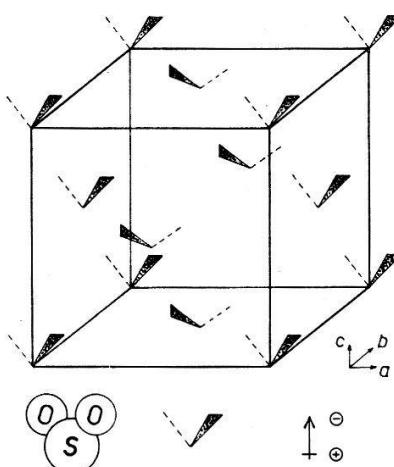
(6. V. 68)

*Abstract.* It is found that SO<sub>2</sub> shows reversible changes of spontaneous electric polarization with temperature. Sign and magnitude of this effect are strongly influenced by an external electric field applied during crystallization.

### Einleitung

Herr Dr. H. WYLER machte uns auf folgende Beobachtung aufmerksam: Sobald in ein Glasröhrchen gefülltes, flüssiges Schwefeldioxid (es wird häufig als Lösungsmittel verwendet) in der Nähe der versilberten Wand eines Dewargefäßes durch

Abkühlen in flüssiger Luft kristallisiert ist, wirkt zwischen dem Glasröhrchen und der Dewarwand eine anziehende, offenbar elektrostatische Kraft.



Figur 1

Schematische Darstellung der Kristallstruktur von Schwefeldioxid.

Die Elementarzelle enthält 4 Moleküle. Zellkonstanten:  $a_0 = 6,07 \pm 0,01 \text{ \AA}$ ;  $b_0 = 5,94 \pm 0,01 \text{ \AA}$ ;  
 $c_0 = 6,14 \pm 0,01 \text{ \AA}$ . Raumgruppe:  $C_{2V}^{17}$  = Aba.

Die von POST, SCHWARTZ und FANKUCHEN [1] bestimmte Kristallstruktur des  $\text{SO}_2$  (bei  $143^\circ\text{K}$ ) lässt auf eine starke elektrische Polarisation des Eindomänenkristalls schliessen (vgl. die schematisch dargestellte Kristallstruktur in Figur 1), da alle Moleküldipole innerhalb einer Domäne parallel orientiert sind. Eigenschaften des  $\text{SO}_2$ , welche in Beziehung zu einer spontanen Polarisation stehen, wie etwa Polarisationsänderung mit der Temperatur, sind unseres Wissens bisher nicht untersucht worden. Da eine Substanz, welche aus dem flüssigen Zustand bei relativ niedriger Temperatur spontan polarisiert kristallisiert kann, in verschiedener Hinsicht von Interesse ist, haben wir begonnen, ihre Eigenschaften zu studieren.

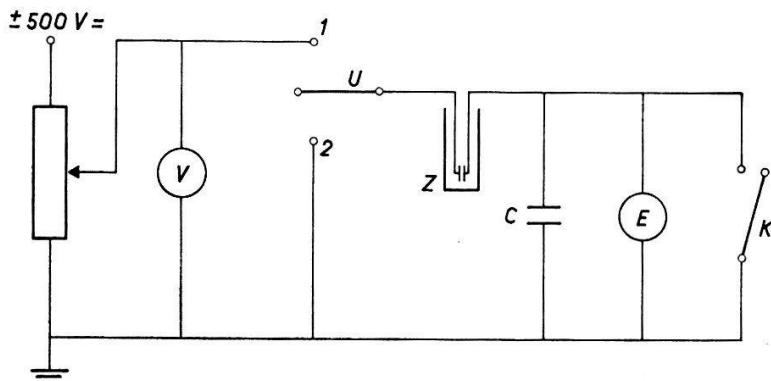
### Bisherige Experimente und Messergebnisse

Die Versuchsanordnung ist aus Figur 2 ersichtlich.

Die Messzelle besteht aus zwei parallelen Nickel- oder Platinelektroden von je  $2,7 \text{ cm}^2$  Fläche im Abstand von 2 mm, welche in einem zylindrischen Glasgefäß (Pyrex) eingeschmolzen sind. Die Temperatur wird durch verschieden tiefe Ein-tauchen der Zelle in den Gasraum eines teilweise mit flüssigem Stickstoff gefüllten Dewargefäßes geregelt und mit einem Thermoelement (Kupfer-Konstantan) gemessen. Das Thermoelement ist durch ein dünnwandiges, gegen den Zellinhalt zugeschmolzenes Glasrohr in das Messgut dicht neben die Zellelektroden geführt. Die Temperatur in der Zelle konnte im Gebiet zwischen dem Tripelpunkt des  $\text{SO}_2$  und der Siedetemperatur des  $\text{N}_2$  während ca. 5 min. auf  $\pm 1/2^\circ$  konstant gehalten werden. Während des Kristallisierens des flüssigen  $\text{SO}_2$  in der Zelle wurden Spannungen zwischen 0 (Kurzschluss) und  $\pm 100 \text{ V}$  über den Umschalter U in Stellung 1 an die Zellelektrode gelegt (Erdschlüssel K geschlossen).

Zur Messung der Polarisationsänderung des  $\text{SO}_2$  mit der Temperatur stand der Umschalter U in Stellung 2. Die Spannung am Elektrometer wurde in Funktion der

Temperatur registriert und jeweils durch kurzes Betätigen des Erdschlüssels K nach Erreichen von 50 Volt auf 0 zurückgestellt. Normalerweise wurde mit einer Temperaturdrift von ca.  $1^\circ$  pro Minute gemessen. Das SO<sub>2</sub> (Reinheit 99,97% von Fluka) wurde direkt aus der Vorratsflasche in die vorher evakuierte Zelle einkondensiert.



Figur 2

Darstellung der Messanordnung.

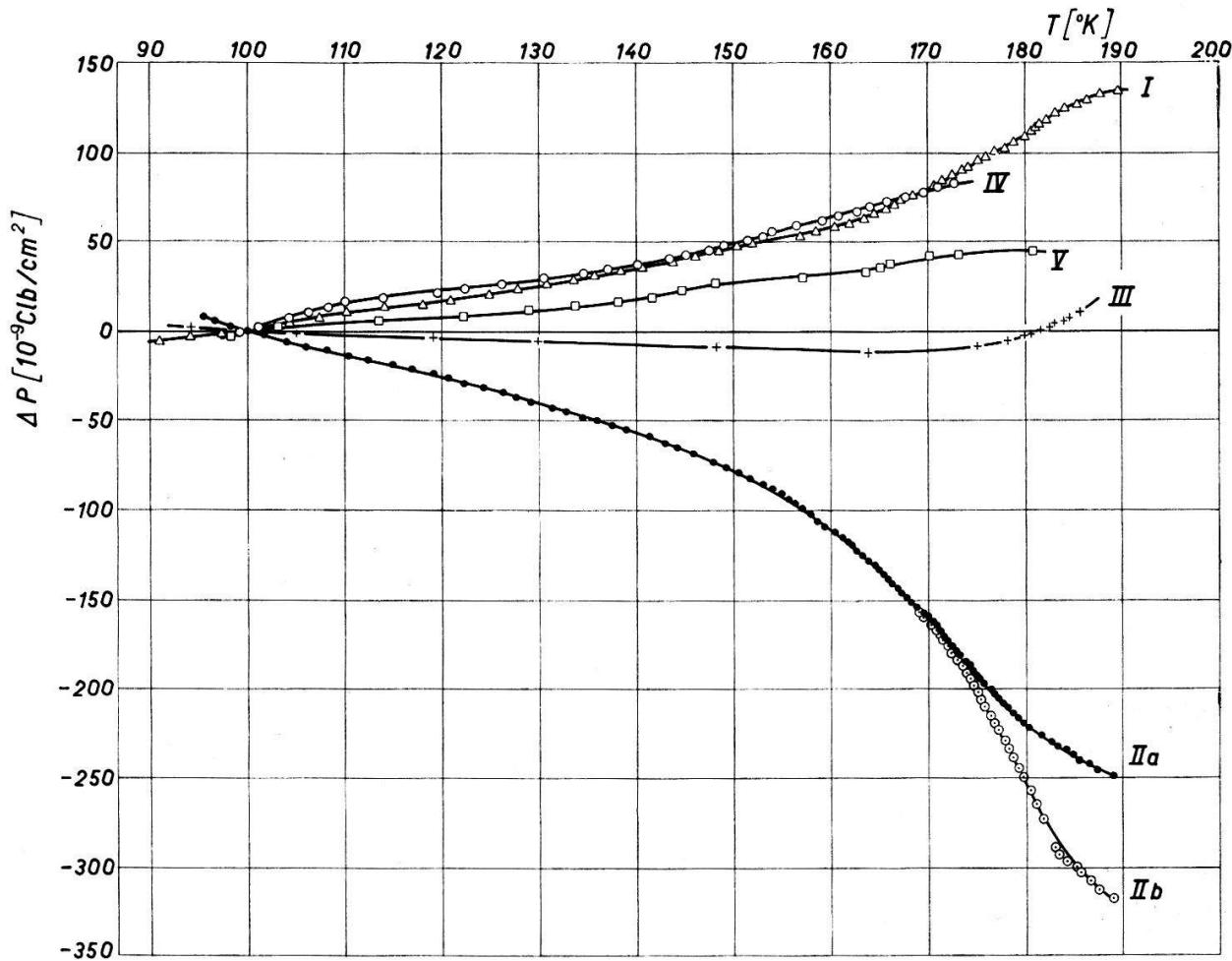
$V$  = Voltmeter;  $U$  = Umschalter;  $Z$  = Messzelle;  $E$  = Elektrometer (Keithley; Modell 610);  $K$  = Erdschlüssel;  $C$  = Summe der Kapazitäten von Messzelle, Leitungen und Elektrometer = 147 pF.

Wir beobachteten eine spezifische elektrische Leitfähigkeit des flüssigen SO<sub>2</sub> von ca.  $5 \cdot 10^{-6} \text{ ohm}^{-1} \cdot \text{cm}^{-1}$  oberhalb seiner Tripelpunktstemperatur ( $197,6^\circ\text{K}$ ). Sie zeigte am Tripelpunkt scheinbar ein Maximum, fiel aber mit dem Erstarren des SO<sub>2</sub> sprungartig und im festen SO<sub>2</sub> rasch weiter ab und erreichte bei  $160^\circ\text{K}$  die Grössenordnung von  $10^{-12} \text{ ohm}^{-1} \cdot \text{cm}^{-1}$ . Im Bereich oberhalb  $160^\circ$  werden folglich mit steigender Temperatur zunehmend zu kleine Polarisationsänderungen beobachtet, weil während der Messung ein Teil der Ladung durch das elektrisch leitende SO<sub>2</sub> abfliesst. Unterhalb  $190^\circ\text{K}$  war es möglich, diesen systematischen Fehler auf Grund der bei kleinen Spannungen gemessenen Aufladegeschwindigkeit weitgehend zu korrigieren (Kurve IIb in Figur 3).

In Figur 3 ist die Differenz  $\Delta P$  der Polarisation beim Erwärmen des SO<sub>2</sub> zu der unbekannten Polarisation bei  $100^\circ\text{K}$  in Funktion der Temperatur aufgetragen. Der Verlauf ist von Grösse und Vorzeichen der beim Einkristallisieren zwischen den Elektroden liegenden elektrischen Spannung abhängig. Offenbar wird er aber auch vom Oberflächenzustand der Elektroden beeinflusst, zwischen denen nach dem Schmelzen des Schwefeldioxids stets eine kleine elektrische Restspannung besteht.

Unterhalb von  $150^\circ\text{K}$  war die Polarisationsänderung des SO<sub>2</sub> beim Abkühlen und Erwärmern innerhalb der Messfehler entgegengesetzt gleich gross. Oberhalb  $150^\circ\text{K}$  haben wir beim Abkühlen stets eine absolut kleinere Polarisationsänderung gefunden als beim Erwärmen. Im Gegensatz dazu zeigte in einem starken elektrischen Feld (ca.  $5 \cdot 10^4 \text{ Volt/cm}$ ) glasig erstarrtes Äthanol beim Erwärmen und Abkühlen stets gleichsinnige Polarisationsänderungen, welche schliesslich verschwanden. In Chloroform, das unter denselben Bedingungen wie Äthanol kristallisiert war, konnte beim Aufwärmen erst knapp unterhalb der Schmelztemperatur eine relativ schwache Polarisationsänderung (15mal kleiner als in Äthanol) beobachtet werden.

Mit Feldern bis zu  $5 \cdot 10^3$  Volt/cm gelang es  $15^\circ$  unterhalb der Tripelpunkts-temperatur von  $\text{SO}_2$  nicht, seine spontane Polarisation umzuklappen. Die Dielektrizitätskonstante des festen  $\text{SO}_2$  beträgt  $\epsilon \approx 3,8$  (gemessen mit  $10^3$  Hertz, ca. 0,3 Volt). Sie ist oberhalb  $90^\circ\text{K}$  praktisch konstant und nimmt erst knapp unterhalb der Tripelpunktstemperatur mit steigender Temperatur etwas zu.



Figur 3

Unterschied der Polarisation gegenüber der unbekannten Polarisation bei  $100^\circ\text{K}$ . Aufgenommen mit dem Elektrometer (Figur 2) während Erwärmung (ca.  $1^\circ/\text{min}$ ).

$\Delta P = \Delta u \cdot C/F$ ;  $\Delta u$  = Spannungsänderung am Elektrometer E;  $F$  = Fläche einer Zellelektrode.  
 △ Kurve I: Kristallisationsspannung  $-100$  V; ● Kurve IIa: Kristallisationsspannung  $+100$  V;  
 ○ Kurve IIb: Für Leitfähigkeitsverluste korrigierte Kurve; + Kurve III: Kristallisation bei kurzgeschlossenen Elektroden; ○ Kurve IV: Kristallisationsspannung  $-50$  V; □ Kurve V: Kristallisationsspannung  $-5$  V.

### Diskussion

Da es nicht gelang, durch ein äusseres elektrisches Feld die spontane Polarisation des  $\text{SO}_2$  umzuklappen, und weil es infolge der zu hohen elektrischen Leitfähigkeit am Tripelpunkt nicht möglich war, ihre Änderung beim Schmelzen festzustellen, können wir vorläufig für unsere Probe keinen Messwert der absoluten Grösse der Polarisation angeben.

Die Polarisation  $P_{max}$  eines Eindomänenkristalls lässt sich abschätzen, wenn man annimmt, dass sich die Dipolmomente der  $\text{SO}_2$ -Moleküle ohne gegenseitige Beeinflussung addieren. Aus der Kristallstruktur [1] und der Dichte  $\rho = 1,928 \text{ g/cm}^3$  bei

82°K (2) erhält man bei Verwendung des Dipolmomentes von  $1,60 \pm 0,02$  D (3) des freien SO<sub>2</sub>-Moleküls  $P_{max} = 9,65 \cdot 10^{-6}$  Clb/cm<sup>2</sup>.

Die in dem uns zugänglichen Temperaturbereich gemessenen Polarisationsänderungen betragen höchstens ca.  $0,3 \cdot 10^{-6}$  Clb/cm<sup>2</sup>, also rund 3% der geschätzten Polarisierung des Eindomänenkristalls. Diese Tatsache lässt sich auf verschiedene Weise deuten:

Erstens kann man annehmen, dass auch bei Kristallisation in den höchsten von uns angelegten Feldern die Ausrichtung der verschiedenen Kristallite oder Domänen sehr unvollständig ist, so dass die resultierende Polarisierung der Probe nur einen kleinen Bruchteil der Polarisierung des Eindomänenkristalls beträgt. Die beobachtete reversible Änderung der Polarisierung zwischen 95° und 150°K würde dann im Verhältnis zur Gesamtpolarisation beträchtlich sein. Die Reversibilität schliesst Rekristallisierungsprozesse oder Wandverschiebungen zwischen Domänen aus. Dies bedeutet, dass sich in diesem Fall die Polarisierung des Eindomänenkristalls zwischen 95° und 150°K um denselben beträchtlichen Bruchteil ändern müsste. Dies ist so weit unterhalb des Tripelpunktes unwahrscheinlich.

Nimmt man anderseits an, dass nach dem Kristallisieren unter Spannungen von 50–100 Volt die gebildeten Domänen weitgehend parallel orientiert sind, so ist zu folgern, dass sich der grösste Teil der Polarisierung innerhalb weniger Grad unterhalb des Tripelpunktes ausgebildet haben muss und sich im Bereich der Reversibilität nur noch um wenige Prozente ändert.

Da die Kurven I und II von Figur 3, welche Kristallisationen bei – 100 V bzw. + 100 V entsprechen, nicht symmetrisch zur Temperaturachse verlaufen, muss – wie im experimentellen Teil erwähnt – in Betracht gezogen werden, dass nicht nur das elektrische Feld, sondern auch die etwas verschiedene Beschaffenheit der Elektroden die Orientierung der Kristallkeime beeinflusst. Die nach Kristallisation zwischen kurzgeschlossenen Elektroden aufgenommene Kurve III zeigt denn auch eine nicht verschwindende Polarisationsänderung. In bezug auf diese Kurve liegen die Kurven I und II innerhalb der Messfehler im reversiblen Gebiet symmetrisch. Dass die Kurve IV (Kristallisation bei – 50 V) sehr nahe bei Kurve I (Kristallisation bei – 100 V) verläuft, stützt die zweite Deutung. Die Kurve V (Kristallisation bei – 5 V) deutet an, dass die Orientierung unter dieser Bedingung noch merklich geringer ist. Im Gebiet oberhalb 150° ist die Änderung der Polarisierung beim Abkühlen (nicht abgebildet) stets kleiner als beim Aufwärmen. Diese Erscheinung können wir nicht auf den Einfluss der elektrischen Leitfähigkeit des SO<sub>2</sub> zurückführen.

Wir betrachten es als wahrscheinlich, dass in diesem Temperaturgebiet Rekristallisationserscheinungen oder Wandverschiebungen zwischen Domänen das irreversible Verhalten bedingen. Insbesondere könnte die Änderung des Vorzeichens bei Kurve III dadurch zustandekommen.

Die Arbeiten an dieser Substanz werden von uns weiter verfolgt. Wir beabsichtigen auch, das Verhalten anderer Molekülkristalle mit polarer Elementarzelle zu untersuchen.

#### Literaturverzeichnis

- [1] B. POST, R. S. SCHWARTZ, J. FANKUCHEN, Acta crystallog. 5, 372 (1952).
- [2] W. BILTZ, O. HÜLSMANN, Z. anorg. Chem. 207, 377 (1932).
- [3] A. SMITS, N. F. MOERMAN, J. C. PATHIUS, Z. phys. Chem. B 35, 60 (1937).