

**Zeitschrift:** Helvetica Physica Acta  
**Band:** 24 (1951)  
**Heft:** V

**Artikel:** Das Abklingen latenter Bilder in bromsilberreichen Schichten  
**Autor:** Hälg, W. / Jenny, L.  
**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-112229>

#### 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:** 25.01.2026

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

# **Das Abklingen latenter Bilder in bromsilberreichen Schichten**

von **W. Hälg und L. Jenny** (Basel).

(22. VIII. 1951).

**Zusammenfassung:** In einer zum Nachweis von Partikeln geeigneten Bromsilberemulsion wird das Abklingen der latenten Bilder von Alphateilchen und Protonen untersucht. Die Analyse der zeitlichen Änderung der Korndichten ergibt ein Vorhandensein eines langlebigen und eines kurzlebigen Bildanteils. Vergleiche mit Licht verschiedener Expositionen zeigen eine Zunahme der langlebigen Komponente mit wachsender vom Korn absorberter Energiemenge. Das kurzlebige Bild wird durch chemische Einflüsse stärker abgebaut als das langlebige. Ein Zusammenhang mit den durch photochemische Untersuchungsmethoden nachgewiesenen verschiedenenartigen latenten Bildzentren wird diskutiert.

Die Verwendung der photographischen Emulsion zum Nachweis geladener Teilchen erfordert neben der Kenntnis von Energie-Reichweitebeziehungen für verschiedene Partikel auch Angaben über die zeitliche Haltbarkeit der latenten Bilder. Das Wissen um die Stabilität der latenten Spuren ist besonders für Untersuchungen der kosmischen Strahlung von Bedeutung, wo man oft lange Zeitintervalle zwischen Erzeugung und Entwicklung des Bildes nicht vermeiden kann. Wir haben daher an der von uns beschriebenen neutralen Emulsion<sup>1)</sup>, für welche, da darin keine Stabilisatoren enthalten sind, die Fadingeffekte ungestört zutage treten können, Versuche über das zeitliche Abklingen der durch  $\alpha$ -Teilchen und Protonen erzeugten latenten Bilder angestellt\*). Die Beobachtungen sind an einzelnen Spuren vorgenommen, wobei durch Ausmessen der Länge und Abzählen der Körner die Korndichte ( $d$ ) ermittelt wird. Diese Methode ist besonders bei grossen Latenzzeiten einer Schwärzungsbestimmung, wie sie z. B. von YAGODA und KAPLAN<sup>2)</sup> angewendet worden ist, vorzuziehen. Bei geringen Korndichten kann man oft nicht mehr von einer Teilchenspur sprechen, gleichwohl würden solche Körner aber bei der Schwärzungsmessung einen Beitrag liefern. Die Auszählung von Einzelkörnern bestätigt auch die Vermutung, wonach beim Fading keine Bevorzugung gewisser Körner in bezug auf deren Lage in der Spur vorhanden ist. Da die Abklingerscheinungen vom Ort der Körner in der Emulsion abhängig sein könnten, sind auszumessende Spuren aus Zonen nahe der Plattenoberfläche gewählt (Tiefenschärfe des Objektivs  $0,5 \mu$ ). Während der Abklingzeit betrug die Raumtemperatur  $20^\circ C$ , die relative Luftfeuchtigkeit  $50\text{--}55\%$ .

\*) Vgl. vorläufige Mitteilung Helv. Phys. Acta. **21**, 183 (1948).

### 1. Das Abklingen von Protonen und $\alpha$ -Spuren.

Bei den Untersuchungen mit  $\alpha$ -Teilchen wurde eine Platte zu bestimmten Zeiten mit einer durch Polonium aktivierten Nadel geimpft und am Ende der Versuchsreihe bei 18° C während 10 Minuten mit 1:2 verdünntem Ilford D19 entwickelt. Nach einem Zwischenbad in 2% Essigsäure von 5 Minuten Dauer wird mit neutralem Fixierbad fixiert. Wiederholte Untersuchungen an Emulsionen, welche zu verschiedenen Zeiten hergestellt wurden, zeigen

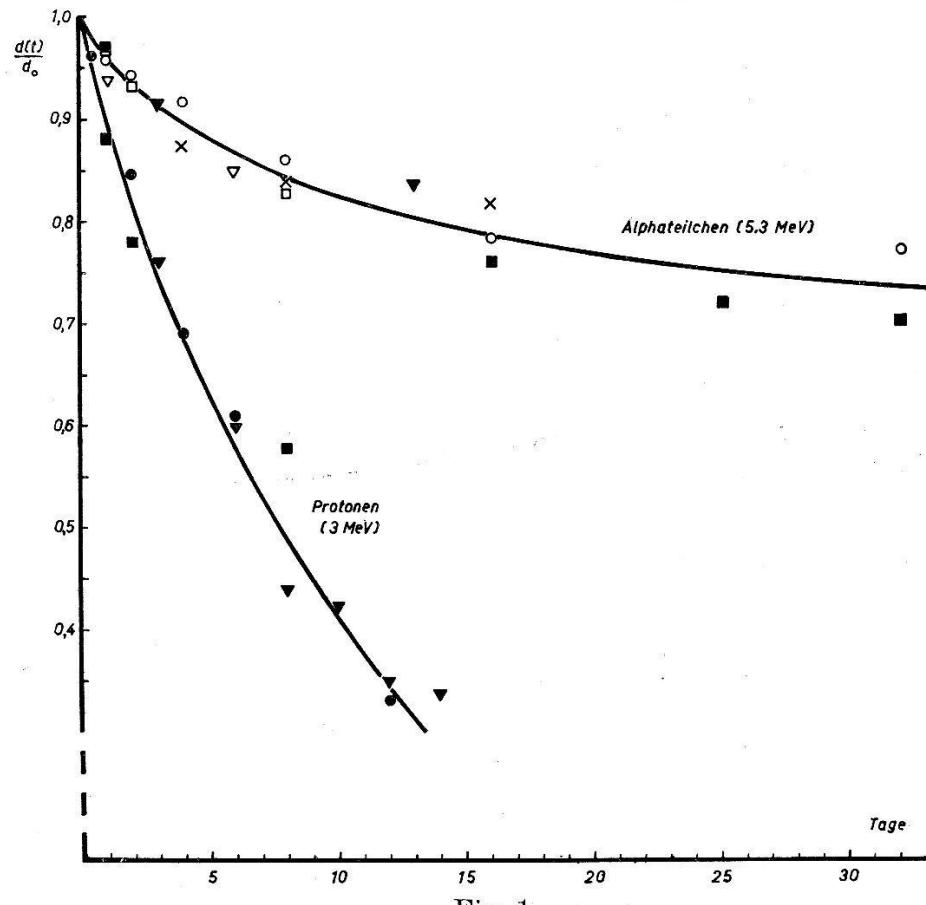


Fig. 1.

Zeitliche Änderungen der relativen Korndichten für Protonen und  $\alpha$ -Teilchen. (Gleiche Symbole kennzeichnen dieselben Plattengüsse, ferner gehören ausgefüllte Zeichen zur 20-Min.-Entwicklungsduer. Ein weiterer Messpunkt für  $\alpha$ -Teilchen bei 96 Tagen ist in der Zeichnung weggelassen.)

innerhalb der Messgenauigkeit, die etwa 10% beträgt, dieselben Korndichten. Ferner führten Versuchsreihen, wobei wir mehrere Platten gleichzeitig impften und unter Einhaltung derselben Bedingungen nach Ablauf verschiedener Zeiten entwickelten, zu identischen Resultaten. Die Auswertung beschränkt sich auf solche Spuren, die zur Zeit des Nadelstiches und nicht etwa bei einem späteren Zerfall eines in der Schicht befindlichen Po-Atoms erzeugt worden sind.

Für die Untersuchung an Protonen benützten wir eine im Vergleich zu unserer Standard-Emulsion mehr AgJ enthaltende Schicht. An Stelle von zwei  $\text{cm}^3$  10% KJ werden bei der Herstellung  $3 \text{ cm}^3$  verwendet, die Reifungsduer beträgt statt 45 Minuten nur 10 Minuten. Die so erhaltene Emulsion ist sehr feinkörnig und für Protonen besonders empfindlich. Eine grössere Platte wird zur Erzeugung von Rückstossprotonen mit 3 MeV Neutronen bestrahlt,

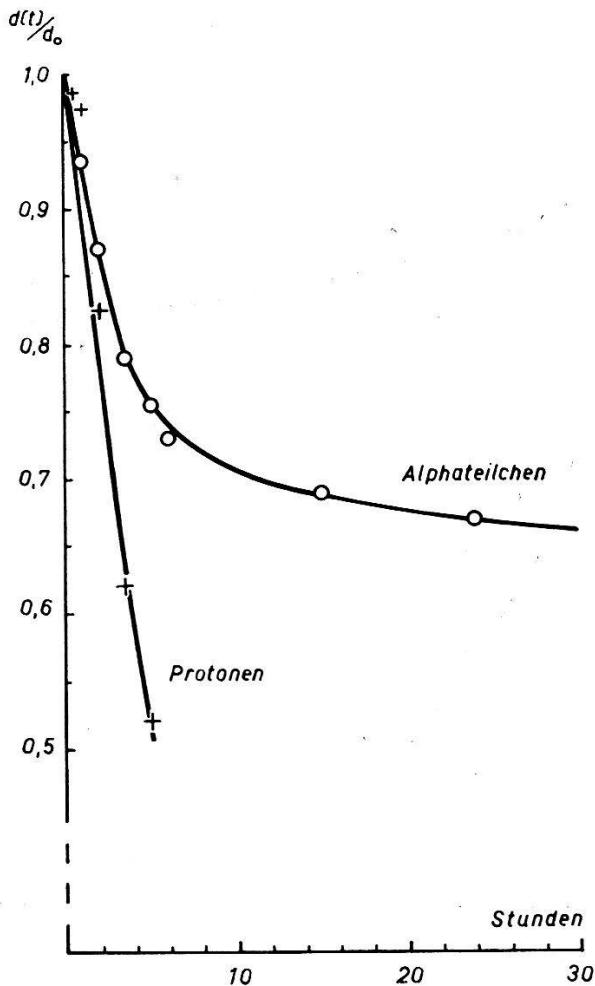


Fig. 2.

Beschleunigtes Fading durch Einwirken von  $\text{H}_2\text{O}_2$ -Dampf auf Protonen und Alphaspuren.

worauf man Teile zu bestimmten Zeiten unter Einhaltung derselben Bedingungen 20 Minuten lang entwickelt.

In Figur 1 sind für Protonen und  $\alpha$ -Teilchen die zeitlichen Änderungen der relativen Korndichten zusammengestellt.

Nachträglich vorgenommene Kontrollen über das Abklingen der latenten Bilder der  $\alpha$ -Teilchen in der modifizierten Emulsion, mit 20 Minuten Entwicklung, führen zur gleichen relativen Abklingkurve, obschon die Korndichte selbst verändert ist. (Anfangskorn-

dichte  $d_0$  für  $\alpha$ -Spuren in der Standardemulsion  $1,2/\mu$ ; in der Emulsion mit mehr Jodid  $1,55/\mu$ ; Vergrösserung 1200.)

Durch Einwirkung von  $H_2O_2$ -Dampf auf die Emulsion konnten YAGODA und KAPLAN<sup>3)</sup> das Fading von  $\alpha$ -Teilchen in Kodakplatten stark beschleunigen. Analoge Versuche\*) an unsren Platten ergeben ebenfalls ein rascheres Abklingen der latenten Partikelspuren. Figur 2 zeigt das beschleunigte Fading an Emulsionen, welche nach der Exposition im Exsiccator über 3%  $H_2O_2$  aufbewahrt worden sind. Das verschiedene Verhalten der  $\alpha$ -Teilchen und der Protonen gestattet eine Entfernung von Protonenspuren auf Platten, ohne dass gleichzeitig vorhandene  $\alpha$ -Spuren wesentlich geschwächt werden.

Wird der Fading-Effekt der als voneinander unabhängig gedachten Silberbromatkörner statistisch betrachtet, dann ist man versucht, diesen eine Lebensdauer zuzuordnen. In der Tat lassen sich die normierten Korndichten in Abhängigkeit von der Zeit durch Exponentialfunktionen darstellen. Die Analyse solcher Abklingkurven, welche analog dem beim radioaktiven Zerfall bekannten Verfahren durchgeführt worden ist, ergibt für die  $\alpha$ -Teilchen eine langlebige und eine kurzlebige Komponente. Bei den Protonen ist ausser einem kurzlebigen Anteil ein schwacher langlebiger vorhanden, welcher aber nicht ausgewertet werden konnte, da die Protonenspuren bereits nach wenigen Tagen Latenzzeit nur noch aus einzelnen Körnern bestehen, die nicht mehr als Spur zu identifizieren sind.

Es sei  $d(t)$  die Korndichte zur Zeit  $t$  und  $d_0$  die Anfangskorndichte, dann gilt für die normierten Dichten:

$$\frac{d(t)}{d_0} = A_L(0) e^{-\frac{\ln 2}{T_L} t} + A_K(0) e^{-\frac{\ln 2}{T_K} t}; \quad A_L(0) + A_K(0) = 1$$

wobei  $A_L(0)$  bzw.  $A_K(0)$  die normierten Anfangskorndichten der langlebigen und kurzlebigen Komponente des latenten Bildes und  $T_L$  bzw.  $T_K$  die zugehörigen Halbwertszeiten bedeuten.

Aus unseren Versuchsreihen ermittelten wir folgende Werte für  $\alpha$ -Teilchen und Protonen.

**Tabelle 1.**

		$T_L$	$T_K$	$A_L$	$A_K$
Normales Fading.	$\alpha$	140 d	3 d	0,85	0,15
	$p$		8 d		1
Durch $H_2O_2$ . . . beschl. Fading	$\alpha$	230 h	2 h	0,75	0,25
	$p$		5 h		1

\*) Auf das freundliche Anraten von Herrn YAGODA haben wir ebenfalls solche Untersuchungen angestellt.

Die Tabelle enthält ausser den Werten, welche für den normalen Fadingeffekt gefunden wurden, Daten, wie sie sich aus den mit  $H_2O_2$ -Dampf beschleunigten Versuchsreihen ergaben.

## 2. Untersuchungen mit Licht.

Unsere Ergebnisse lassen vermuten, dass die aufgefundenen Fadingscheinungen durch einen grundsätzlichen Mechanismus mit der Erzeugungsart der latenten Bilder im AgBr-Korn verknüpft sind. Wird auf das Korn verhältnismässig wenig Energie übertragen, so erhält man hauptsächlich ein kurzlebiges latentes Bild; bei grösseren absorbierten Energiebeträgen entsteht ein wesentlich haltbarerer langlebiger Anteil. Um diese Hypothese zu prüfen,

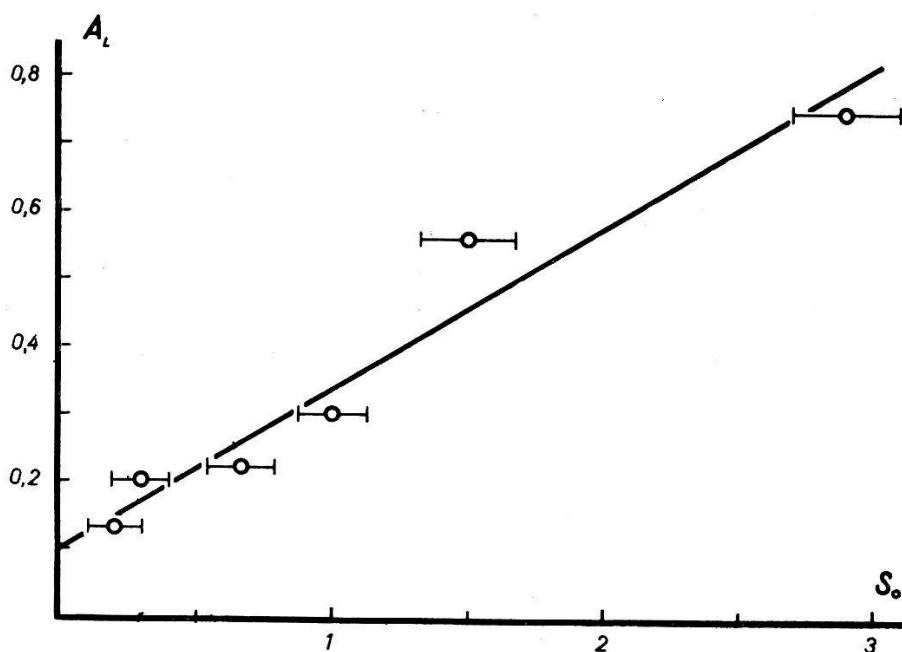


Fig. 3.

Langlebiger Anteil am latenten Bild von Licht in Abhängigkeit von der Schwärzung.

haben wir mit derselben Emulsion Versuche über das Fading von mittels Licht erzeugten latenten Bildern angestellt. Durch Variation der Exposition lässt sich die pro Korn absorbierte Energie menge ändern. Mit der violetten Quecksilberlinie (4300 ÅE) belichtete Platten wurden in Teile zerschnitten und nach verschiedenen Zeitintervallen gleichartig entwickelt. Man erhält die zugehörigen photographischen Dichten durch Vergleich mit einem Graukeil in Goldbergschen Densitometer. Die Auswertung der zeitlichen Änderung der Schwärzung  $S$  liefert ganz ähnliche Ergebnisse, wie wir bei den Korndichten von durch  $\alpha$ -Teilchen erzeugten Spuren

fanden. Wiederum ist ein langlebiger und ein kurzlebiger Anteil des latenten Bildes nachweisbar. Die der Tabelle 1 entsprechenden Daten sind:  $T_L$  ca. 140 d,  $T_K$  variiert bei den verschiedenen Messreihen zwischen 2,8 und 4 Tagen. Je nach der verwendeten Exposition ändern die Werte  $A_L(0)$  (bzw.  $A_K(0) = 1 - A_L(0)$ ), welche jetzt sinngemäss die relativen Anfangsschwärzungen der einzelnen Komponenten bedeuten. Figur 3 gibt einen linearen Zusammenhang von  $A_L(0)$  mit der totalen Anfangsschwärzung  $S_0$ , d. h. der Exposition. Je grösser die Anfangsschwärzung, d. h. je mehr Energie pro Korn absorbiert wurde, desto mehr überwiegt der langlebige Anteil  $A_L(0)$  am latenten Bild.

Die bis dahin ausgewerteten Versuchsreihen beziehen sich ausschliesslich auf Expositionen mit verhältnismässig langen Belichtungszeiten und schwachen Intensitäten. Erzeugt man jedoch dieselbe Schwärzung  $S_0$  durch einen kurzen Lichtblitz hoher Intensität, so ist eine Veränderung der Anteile der Bildkomponenten zu erwarten\*). Tatsächlich ergibt bei  $S_0 = 2,2$  ein Lichtblitz von  $1/6000$  sec nur noch einen Beitrag von 34% an das 140tägige latente Bild, wo hingegen eine 22 sec dauernde Belichtung einen 60%igen Anteil dieser Komponente erzeugt. Da die Vergleichsmessungen der photographischen Dichte mit dem Goldberg'schen Densitometer bei einer bestimmten Minimalschwärzung unmöglich werden, beschränken sich solche Messungen auf Expositionen, wobei die von einem Korn absorbierten Energien Mengen noch relativ beträchtlich sind. Die Analyse der Fadingkurven ergibt daher überall einen merklichen Anteil von  $A_L(0)$ . Wir haben an einer Messreihe mit der gerade noch densitometrisch feststellbaren Anfangsschwärzung  $S_0 = 0,2$  durch mikroskopisches Auszählen der AgBr-Körner eine Abklingkurve erhalten, welche zu Beginn nur ca. 10% langlebigen Bildanteil ergibt (der Messpunkt ist ebenfalls in Fig. 3 aufgeführt). Dies zeigt, dass unsere schwächste Lichtexposition immer noch ein latentes Bild hervorruft, dessen Eigenschaften denjenigen eines durch  $\alpha$ -Teilchen kleiner Energie erzeugten entspricht. Um hierüber einige Klarheit zu bekommen, sei versucht, die Energie menge eines Protons und diejenige der schwächsten Lichtexposition, welche die Körner unserer Emulsion überhaupt noch entwickelbar machen würde, miteinander zu vergleichen.

---

\*) Auf die Möglichkeit einer solchen Abhängigkeit wurden wir von Herrn Dr. W. F. BERG, Kodak Laboratory, Harrow, (Mdsx), aufmerksam gemacht, wofür wir auch an dieser Stelle bestens danken.

### 3. Vergleich zwischen latenten Bildern von Partikeln und Licht.

Der Energiebetrag, den ein Proton — bei unseren Versuchen hatte dies eine Anfangsenergie von 3 MeV — an das einzelne Korn abgibt, ändert sich entlang der Spur, da das Proton abgebremst wird. Den Energieverlust pro Korn AgBr erhält man aus dem Energieverlust pro cm Luft ( $dE/dx$ ) durch Multiplikation mit dem relativen Bremsvermögen des Bromsilbers ( $s_{AgBr}$ ) und dem Kordurchmesser ( $d$ ).

$$\text{Energieverlust/AgBr-Korn} = dE/dx \cdot s_{AgBr} \cdot d$$

Die folgende Tabelle gibt für einen Korndurchmesser von  $0,3 \mu$  Werte für einige Protonenenergien, wobei die  $s_{AgBr}$  Angaben von WEBB<sup>4)</sup> und die  $dE/dx$  einer Zusammenstellung von BETHE<sup>5)</sup> entnommen sind.

**Tabelle 2.**

Protonenenergie (MeV)	0,5	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0
$dE/dx$ (MeV/cm)	0,472	0,292	0,218	0,176	0,151	0,130
$s_{AgBr}$	1760	2300	2500	2640	2710	2780
Energieverlust keV/AgBr-Korn	25	20	16	14	12	11

Um zu einer Abschätzung der durch Licht auf ein Korn übertragenen Energiemenge zu gelangen, wäre es notwendig die Quantenausbeute für unsere Emulsion bei den für die Fadingmessungen zugrunde gelegten Expositionen zu ermitteln. In der Literatur liegen einige Messungen an photographischen Schichten vor, welche man für einen Vergleich benutzen kann. So hat WEBB<sup>6)</sup> an einer als Einkornsicht gegossenen Kodak Positive Emulsion für Licht der Wellenlänge 4500 Å bestimmt, dass mindestens  $25 \text{ erg/cm}^2$  eingestrahlt werden müssen, damit die Körner der Schicht sicher entwickelbar gemacht werden. Nach äusserst präzisen Messungen von SLADE und TOY<sup>7)</sup> über den Absorptionskoeffizienten ( $\mu$ ) des Silberbromids würde eine Schicht von der Dicke  $0,3 \mu$  bei 4300 Å  $3\%$  des auffallenden Lichtes absorbieren. In der Grenze (für  $\mu d \rightarrow 0$ ) kann man für die Absorption einer Kugel mit  $0,3 \mu$  Durchmesser, wofür die AgBr-Körner der Emulsion angenehrt angesehen werden können,  $\frac{2}{3}$  des Wertes der Absorption einer parallelen Schicht setzen. Da unsere Emulsion ferner bei 4300 Å etwa 16mal unempfindlicher ist als ein Kodak Positive Film, erhalten wir schliesslich für die minimale Energiemenge, welche von einem Korn der

Emulsion absorbiert werden muss, damit es sicher entwickelbar gemacht wird,  $5,6 \cdot 10^{-9}$  erg/Korn oder 3,5 keV/Korn.

Diese Abschätzung stimmt mit der Partikelempfindlichkeit unserer Emulsion, mit welcher wie bei der Kodak NTA-Platte langsame Elektronen nicht registriert werden können, gut überein. Die Empfindlichkeitsgrenze für Protonen liegt bei ca. 15 MeV, was einem Energieverlust pro Korn von 3,3 keV entspricht.

Bei den Experimenten mit Licht sind auch die schwächsten Expositionen immer noch mit einer solchen Energiemenge durchgeführt worden, welche sowohl eine densitometrische Messung der Anfangsschwärzung, als auch eine Bestimmung der Abklingkurve ermöglichte. Es scheint berechtigt anzunehmen, dass die absorbierte Energiemenge etwa dem 5- bis 10fachen Betrag der oben abgeschätzten Minimalmenge entspricht, also ca. 17,5 bis 35 keV pro Korn. Vergleichen wir diese Zahl mit den Werten der Tabelle 2, so lässt sich das Verhalten des latenten Bildes eines Protons — bei der kleinsten Lichtexposition konnte gerade noch ein langlebiger Bildanteil festgestellt werden, während beim Proton eine solche Komponente nicht mehr messbar nachgewiesen ist — verstehen. Ferner ergeben die Messungen mit dem Lichtblitz eine Verarmung des langlebigen latenten Bildes, dies muss bei Protonen noch stärker zum Vorschein kommen, da die Energieabgabe dort in einer sehr kurzen Zeit und nicht in Form von kleinen wiederholten Portionen wie bei den optischen Versuchen eintritt.

Eine weitere Kontrolle unserer Anschauungen würde die Abklinganalyse des latenten Bildes sehr schneller  $\alpha$ -Teilchen bilden. Alpha-Teilchen von 50 MeV müssten wie 3 MeV Protonen nur noch einen sehr geringen Anteil an langlebigem latenter Bild ergeben, da die Energieabgabe an ein Korn zur Erzeugung dieses Anteils zu klein wäre.

Eine Diskussion über die Ursachen des Abklingens der latenten Bilder wird notgedrungener Weise immer etwas spekulativer Art sein. Trotzdem scheint es uns vernünftig auf einen möglichen Zusammenhang zwischen unseren Ergebnissen und denjenigen, wie sie aus photochemischen Untersuchungen hervorgehen, hinzuweisen. Versuche mit verschiedenen Entwicklungstechniken führten zur Annahme von räumlich getrennten Bildkeimen innerhalb eines Kernes. So soll bei kleinen Lichtintensitäten und langen Expositionszeiten das latente Bild vorwiegend an der Kornoberfläche liegen, während hohe Intensitäten und entsprechend kurze Belichtungszeiten einen grösseren Anteil im Korninneren erzeugen<sup>8)</sup>. Andere Autoren sind der Ansicht, es handle sich um eine Differenzierung,

nicht nach der Lage, sondern nach dem Verteilungsgrad der Bildkeime. Kleine absorbierte Energiemengen ergeben ein fein disperses latentes Bild, grosse Energiemengen grob disperse Zentren<sup>9)</sup>. Unabhängig von der jeweiligen Auffassung wird man vermuten, dass die erstere Bildart (äusseres bzw. fein disperses latentes Bild) sowohl physikalischen wie auch chemischen Einflüssen, welche deren Abbau bewirken, eher ausgesetzt sein wird als die zweite Art (inneres bzw. grob disperses latentes Bild). Man erwartet daher eine kurze Abklingzeit für die Bilder der einen Sorte und eine grössere Stabilität der anderen. Das beschleunigte Fading von Protonenspuren unter Einwirkung chemischer Substanzen kann als eine Bestätigung dieser Auffassung betrachtet werden. In letzter Zeit bekannt gewordene Untersuchungen von LOENING<sup>10)</sup> über das Fading des latenten Bildes in einem Silberbromid-Sol weisen in ähnlicher Richtung. An der Kornoberfläche lokalisierte latente Bilder zeigen ein verhältnismässig rasches Abklingen, während ein im Innern befindliches Zentrum wesentlich beständiger erscheint.

Wir danken Herrn Prof. Dr. P. HUBER für sein reges Interesse an diesen Arbeiten, sowie der AG. BROWN BOVERI & Cie. Baden, die dem einen von uns die Durchführung der Untersuchungen am physikalischen Institut der Universität Basel ermöglichte. Herrn cand. phil. TH. HÜRLIMANN danken wir für seine Hilfe bei den Messungen und der Herstellung der Zeichnungen.

Basel, Physikalische Anstalt der Universität.

### Literaturverzeichnis.

- <sup>1)</sup> W. HÄLG und L. JENNY, Helv. Phys. Acta **21**, 131 (1948).
- <sup>2)</sup> H. YAGODA und N. KAPLAN, Phys. Rev. **71**, 910 (1947).
- <sup>3)</sup> H. YAGODA und N. KAPLAN, Phys. Rev. **73**, 634 (1948).
- <sup>4)</sup> J. H. WEBB, Phys. Rev. **74**, 511 (1948).
- <sup>5)</sup> H. A. BETHE, The Properties of Atomic Nuclei II, Range-Energy Curves, Brookhaven National Laboratory 1949.
- <sup>6)</sup> J. H. WEBB, J. Opt. Soc. Am. **38**, 312 (1948).
- <sup>7)</sup> R. E. SLADE und F. C. TOY, Proc. Roy. Soc. A **97**, 188 (1920).
- <sup>8)</sup> Vgl. z. B. W. F. BERG, Reports on Progress in Physics **11**, 248 (1946—47).
- <sup>9)</sup> Persönliche Mitteilung von Prof. J. W. MITCHELL, H. H. Wills Physical Laboratory, University of Bristol.
- <sup>10)</sup> E. E. LOENING, Fundamental Mechanism of Photographic Sensitivity. Proc. of a Symposium at Bristol 1950, p. 149, London, Butterworths Scientific Publication 1951.