

## 4.2. Energieübertragung in Flüssigszintillatorlösungen

Entscheidend für die Eignung eines Flüssigszintillators als "Konzentrationsmeßsonde" ist das Verständnis der Energieübertragung in einer Flüssigszintillatorlösung, die außerdem weitere gelöste Stoffe (übergangskomponenten) enthalten kann. Grundlegende Untersuchungen finden sich in (7). Der Mechanismus der Energieübertragung in Flüssigszintillatorlösungen ist in Abb. 4.1. skizziert.

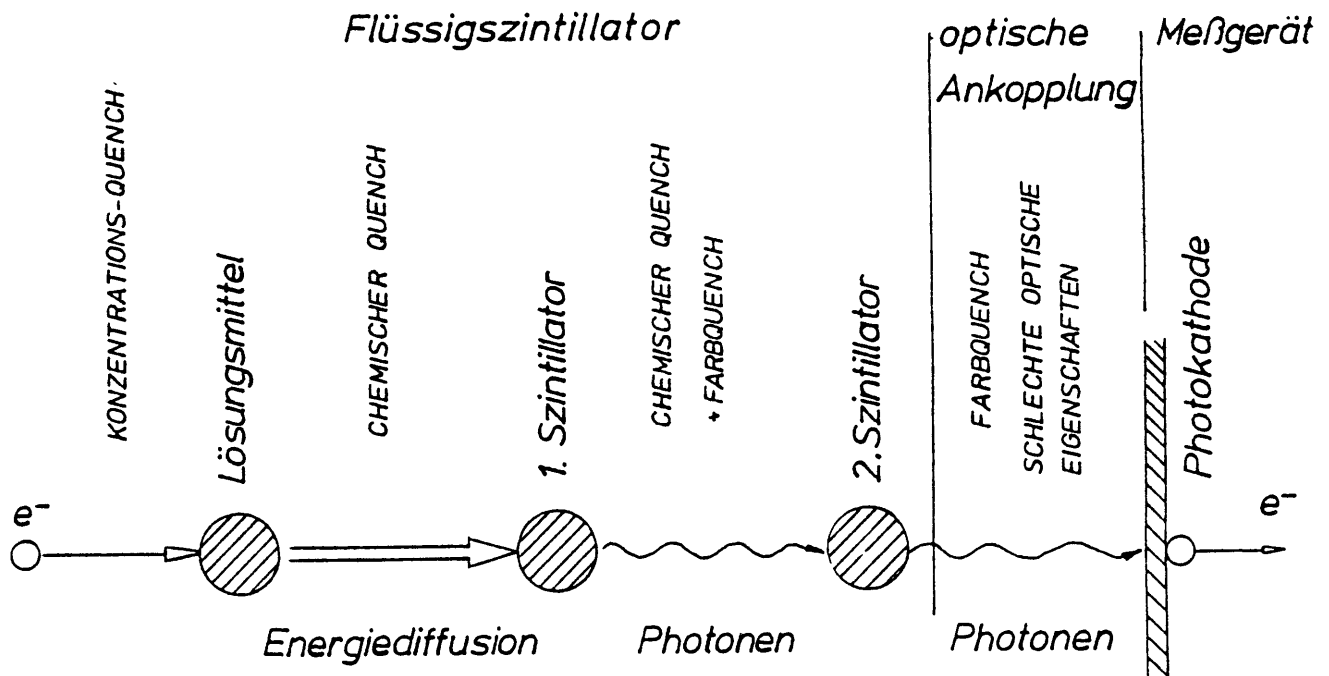


Abb. 4.1.: Energietransport in einer Flüssigszintillatorlösung

Primärprozeß ist in jedem Fall die Stoßionisation des Lösungsmittels durch eindringende  $\alpha$ - oder  $\beta$ -Teilchen bzw.  $\gamma$ -Quanten. Letztere erzeugen freie Elektronen im Lösungsmittel über den Photo- bzw. Compton-Effekt. In allen drei Fällen wird ein ganzes Spektrum von Elektronen unterschiedlicher Energie freigesetzt. Jedes der so erzeugten Elektronen überträgt seine Energie auf einzelne Lösungsmittelmoleküle, die ihrerseits in einen schwingungsangeregten Zustand übergehen. Nach verschiedenen Relaxationsvorgängen kann diese Energie an ein Szintillatormolekül weitergegeben und von diesem in Form eines Lichtquants abgestrahlt werden:

### 1. Energietransfer durch Strahlung:

Gemäß Birks (7) tritt bei Szintillatorkonzentrationen oberhalb  $10^{-2}$  mol/l kein nennenswerter Beitrag zur Energieübertragung durch Strahlung auf. Da herkömmliche Szintillatorkonzentrationen im Bereich von 1-5 g/l liegen (bei Molekulargewichten zwischen 200-300 g/mol) kann die Energieübertragung durch Strahlung vernachlässigt werden.

### 2. Strahlungsloser Energietransfer:

#### a) Resonanzprozesse:

Resonanzkopplung zwischen Szintillatormolekülen tritt nur auf bei freien Weglängen im Bereich von  $10^{-8}$  cm und darunter. Im praktischen Einsatz der Flüssigszintillationsmeßtechnik mit Szintillatorkonzentrationen im Bereich von 10 mmol/l ist die freie Weglänge jedoch in etwa um den Faktor 100 größer, so daß auch Energieübertragung durch Resonanzkopplung entfällt.

b) Massendiffusion:

Ein vergleichsweise geringer Anteil der eingestrahlten Energie wird vom angeregten Lösungsmittelmolekül direkt auf den Szintillator übertragen.

c) Energiediffusion:

Der größte Teil des Transfers eingestrahlter Energie erfolgt durch Energiediffusion über mehrere Lösungsmittelmoleküle (s.a. Abb.4.1.), da die Lebensdauer der Anregungszustände von Lösungsmittelmolekülen nur im Bereich von  $10^{-9}$  -  $10^{-13}$  sek beträgt. Für ein einzelnes Lösungsmittelmolekül ist die Wahrscheinlichkeit sehr gering, innerhalb dieser kurzen Relaxationszeit nach Anregung zu einem Szintillatormolekül diffundieren zu können und mit diesem in Wechselwirkung zu treten.

Im Anschluß an die Energiediffusion und die Übertragung der eingestrahlten Energie auf den Primärszintillator erfolgt die Abstrahlung eines kurzwelligigen Photons im Bereich zwischen 300 und 400 nm, das seinerseits den sekundären Szintillator zur Immission im gewünschten Wellenlängenbereich anregt. Die optische Ankopplung der Flüssigszintillatorlösung an die Photokathode kann sich insofern negativ auf die Effizienz der gemessenen Szintillationseignisse auswirken, als ungeeignete Plastikmaterialien Verwendung finden, die die abgestrahlten Photonen durch Absorption vernichten. Ganz allgemein werden Übertragungsverluste bei der Energiediffusion, der Übertragung von Photonen vom primären auf den sekundären Szintillator und vom sekundären Szintillator über die optische Ankopplung auf die Photokathode als Löschung oder Quench bezeichnet. Man unterscheidet im wesentlichen drei Phänomene:

1. Konzentrationsquenchen:

Dieser Effekt wird in erster Linie durch einen Mangel an Szintillatormolekülen, also eine zu geringe Szintillatorkonzentration verursacht. Er tritt jedoch in geringerem Ausmaß auch bei einem hohen Überschuß von Szintillatormolekülen auf.

2. Chemischer Quench:

Chemische Verbindungen mit bestimmten funktionellen Gruppen fungieren als Fluoreszenzlöcher und absorbieren die Anregungsenergie des Lösungsmittelmoleküls oder des Szintillators. Der Relaxationsvorgang erfolgt strahlungslos. Bei den besagten Verbindungen handelt es sich in erster Linie um Alkohole, insbesondere Polyole und Wasser, andere hydroxylhaltige Verbindungen wie Phenole, aber auch Carbonsäuren, Amine, Halogenide usw.

3. Optischer Quench:

Als optischer Quench wird die Absorption von Photonen des primären Szintillators durch gelöste Stoffe bezeichnet. Die Photonen treten hierbei mit entsprechenden Chromophoren in den Molekülen in Wechselwirkung. Der Wellenlängenbereich erstreckt sich hierbei analog zur UV/VIS-Spektroskopie über den Bereich von 300-800 nm. Auch die schlechte optische Ankopplung des Flüssigszintillatorsystems an die Photokathode kann durch ungenügende Transparenz einen optischen Quench hervorrufen.

Im Hinblick auf die in dieser Arbeit verwendete Experimentiertechnik ist der chemische Quench hier von herausragender Bedeutung. Die Intensität des chemischen Quenches hängt von der Konzentration des Fluoreszenzlöschers ab. Diese Zusammenhänge werden in Abschnitt 4.4. noch eingehend erörtert. Bei Konzentrationsmessungen, die nicht über den Quench-Effekt erfolgen muß dieser Störeinfluß natürlich durch eine Korrekturrechnung berücksichtigt werden. Andere Störeinflüsse wie den Quench verursacht durch fehlerhafte optische Ankopplung erfaßt man in der sog. Effektivität des Meßplatzes.