

T. SPIELBÖCK, Institut für den Wissenschaftlichen Film, Göttingen

Eine Tageslichtzeitrafferanlage

Daylight-Timelapse-Equipment. Description of a shooting arrangement which allows in the field of botany time lapse shots under constant light conditions during the daylight and night phase without any disturbance of the growth of plants. The essential parts of this installation are three Xenon flash bulbs in connection with a magneto-optical Faraday-shutter.

Arrangement d'accélération de lumière naturelle. Une installation photographique est décrite qui rend possible des prises à accélérateur dans la domaine botanique sous des conditions d'éclairage constantes pendant des phases de jour et de nuit sans perturber la croissance des plants. Les parties essentielles de cette installation ce sont trois Xenon flashes liées à un obturateur ultra-rapide.

Eine Tageslichtzeitrafferanlage. Es wird eine Aufnahmeeinrichtung beschrieben, die es ermöglicht, im Bereich Botanik unter konstanten Beleuchtungsverhältnissen sowie während der Tages- und Nachtphasen Zeitrafferaufnahmen zu machen, ohne das Wachstum der Pflanzen zu stören. Kernstück der Anlage sind drei Xenon-Blitzlampen in Verbindung mit einem magneto-optischen Kurzzeitverschluss.

Einleitung

Bei Zeitrafferaufnahmen muß während des Aufnahmezeitpunktes für exakt konstante Beleuchtungsverhältnisse gesorgt werden. Für Aufnahmen, bei denen das Objekt, etwa eine Pflanze, das Tageslicht für das Wachstum benötigt, wurde früher in unserem Institut ein Gewächshaus verwendet, welches automatisch verdunkelt werden konnte. Vor jeder Aufnahme wurde das Gewächshaus verdunkelt, und Scheinwerfer sorgten im Moment der Aufnahme für konstante Beleuchtungsverhältnisse.

Für Freilandaufnahmen wurde ein verdunkelbares Miniaturgewächshaus gebaut. Solche mechanischen Anlagen sind jedoch teuer, störanfällig und benötigen viel Wartung. Aufnahmen während der Nachtphasen sind nur bedingt möglich, da viele Pflanzen durch die Scheinwerferbeleuchtung physiologisch gestört würden. Botaniker stellten fest, daß Pflanzen auf Lichtimpulse, deren Pulsdauer $< 10^{-4}$ s beträgt, nicht mehr photo-synthetisch reagieren. Als Alternative zur Verdunkelungsmethode bietet sich die Blitzlichtmethode an, bei der mittels Xenon-Blitzröhren Beleuchtungsstärken erzielt werden, die für den Zeitraum von 10^{-4} s mehrere hundertmal stärker als die Sonnen-Beleuchtungsstärke sind. Die Filmbeleuchtung erfolgt somit nur durch das reflektierte Blitzröhrenlicht, das Tageslicht wird bis auf einen unwesentlichen Betrag unterdrückt. Eine solche Anlage erfordert einen Kurzzeitverschluss, welcher vor das Kameraobjektiv montiert wird und völlig synchron nur während der Blitzdauer öffnet.

Mechanische Verschlüsse mit 10^{-4} s Öffnungszeit gibt es nicht. Für einen solchen Kurzzeitverschluß bietet sich z.B. der magneto-optische Faraday-Effekt an. Nachfolgend ist eine Tageslichtzeitrafferanlage mit einem Kurzzeit-Faradayverschluß beschrieben.

Der Faradayverschluß

FARADAY entdeckte 1845, daß die Polarisationsenebene des linear polarisierten Lichtes im Magnetfeld bei Anwesenheit eines materiellen Stoffes gedreht wird. Der Betrag der Drehung ist proportional einer Materialkonstanten ω , der magnetischen Feldstärke H und der Weglänge l in dem durchstrahlten Körper.

$$\alpha = \omega \cdot H \cdot l$$

Die Intensität des Lichtes, das den Verschluß verläßt, ist gegeben durch

$$E = E_0 \sin^2 \alpha$$

wobei E_0 der in den Verschluß eintretende Lichtstrom ist. Das Maximum für E ist bei $\alpha = 90^\circ$ erreicht.

Der von uns gebaute Verschluß besteht aus einem Glaszylinder der Materialsorte SF 14 mit den beiden Polfiltern des Typs KS-DEM der Fa. Spindler & Hoyer. Bei einer Verschlußgeometrie von 4,5 cm Durchmesser und 5 cm Länge ist für eine 90° -Drehung eine magnetische Feldstärke von $1,6 \cdot 10^6$ A/m erforderlich, welche bei einer Spulenwindungszahl von 15 und einem Spulenstrom von 4500 A erreicht wird (Abb. 1).

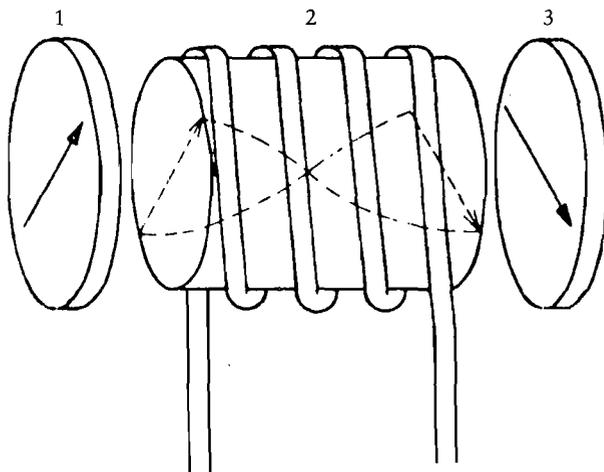


Abb. 1. Prinzip des Faraday-Verschlusses:
1 Polarisator, 2 Flintglaszylinder mit Spule, 3 Analysator

Induktionsarme Kondensatoren können solche hohen Ströme liefern. Diese Kondensatoren werden aber auch als Energiequelle für Xenon-Blitzröhren verwendet. Da die Brennströme der von uns benutzten Blitzröhren in der oben geforderten Größenordnung liegen, bot sich eine Reihenschaltung von Verschluss-Magnetspule und Blitzröhre an. Das Öffnen des Faraday-Verschlusses verläuft synchron mit dem Entladestrom des Kondensators. Das gleiche gilt für das Leuchten der Blitzröhren. Die Synchronität von Verschlussöffnung und Leuchten der Blitzröhren ist somit zwangsläufig gegeben.

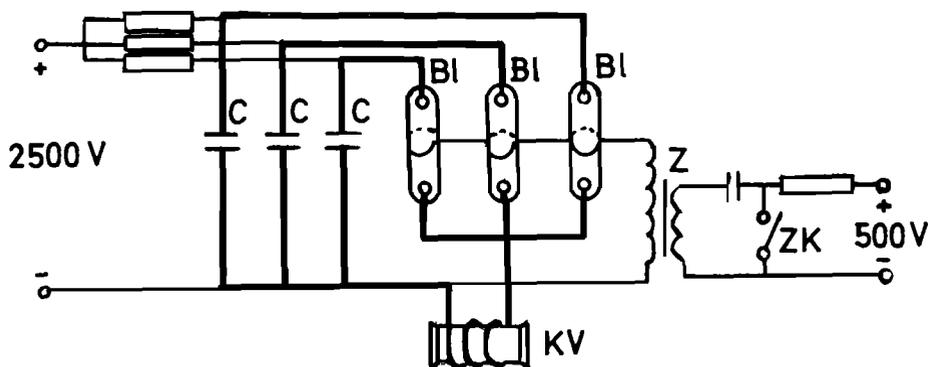


Abb.2. Schaltplan der Anlage

Funktion der Schaltung (Abb. 2)

Die Kondensatoren C werden auf 2500 V aufgeladen. Durch Kontaktgabe bei Schalter ZK (betätigt durch Rafferkamera im Moment der Aufnahmebereitschaft) werden über die Zündspule Z die Blitzröhren B gezündet. Die Blitzröhren leuchten und wirken mit ihrem Gesamtstrom von 4500 A als Schalter für den Kurzzeitverschuß KV.

Durch Zusammenwirken der Kapazitäten C und der Stromkreisinduktivitäten ergibt sich eine Leuchtdauer (Öffnungsdauer) von 10^{-4} s. Die drei Kondensatoren C mit je $80 \mu\text{F}$ benötigen eine Aufladezeit von ca. 40 s. Die Anlage kann also alle 60 s sicher gezündet werden.

Lichttechnische Betrachtung:

Es soll kurz auf die störende Belichtung durch Sonnenlicht hingewiesen werden:

1. während der Kurzzeitverschußöffnung
2. während der Zeitrafferkameraöffnung.

1. Durch Vergleichsmessung wurde ermittelt, daß die Durchlässigkeit des Kurzzeitverschlusses im geöffneten Zustand nur 6 % beträgt.

Für die Deckung eines Filmnegatives mittlerer Empfindlichkeit werden eine Belichtung von 20 lxs benötigt bei einer Objektivöffnung von 1:2.

Die höchste bei uns bei klarem Himmel und Sonnenschein auftretende Beleuchtungsstärke beträgt ca. 80000 lx. Bei einer Verschlusszeit von 10^{-4} s beträgt die Belichtung durch Sonnenlicht 8 lxs. Aufgrund der Durchlässigkeit von nur 6 % des Verschlusses reduziert sich die Belichtung auf 0,48 lxs. Zur weiteren Unterdrückung des Tageslichtes und zur Erhöhung der Schärfentiefe wird mit einer Objektivblende von 1:11 gearbeitet. Dadurch vermindert sich die Negativbelichtung durch das Tageslicht auf 0,013 lxs. Bezogen auf die Normalbelichtung von 20 lxs wären das nur 0,7 %.

2. Die Belichtungszeit der verwendeten Rafferkamera beträgt 0,25s. Der Kurzzeitverschluß ist während dieser Zeit bis auf 10^{-4} s geschlossen. Trotz Auswahl der Polarisationsfilter hat der Kurzzeitverschluß im geschlossenen Zustand eine Durchlässigkeit von 0,1 %. Somit erfährt das Filmnegativ bei 80000 lx, einer Belichtungszeit von 0,25s und einer Objektivöffnung von 1:2 eine Belichtung von 2 lxs. Bei Blende 11 wäre die Belichtung nur noch 0,6 lxs, entsprechend 0,3 % auf die Normalbelichtung bezogen.

Bei diesem ungünstigen Fall beträgt der Anteil der Filmbelichtung hervorgerufen durch das Sonnenlicht nur 0,37 %, d.h. zwischen Tag- und Nachtbelichtung treten maximal 0,37 % Belichtungsunterschiede auf, die jedoch erfahrungsgemäß nicht wahrgenommen werden.

Die Xenon-Blitzröhren als Beleuchtungsquelle des Aufnahmeobjektes müssen nun in der Lage sein, eine normale Deckung des Filmnegatives zu gewährleisten. Zurückgerechnet müssen Beleuchtungsstärken vorhanden sein von

$$20 \text{ lxs} \cdot k_1 \cdot k_2 \cdot \frac{10^4}{\text{s}} = 109 \cdot 10^6 \text{ lx,}$$

wobei $k_1 = 32$ bedingt durch Blende 11
und $k_2 = 17$ bedingt durch die Verschlussdämpfung ist.

Mit allen drei Lampen zusammen und einem Abstand von 1 m zum Aufnahmeobjekt ließ sich tatsächlich eine ausreichende Negativdeckung erzielen.

Aufbau der Anlage (Abb. 3)

Das Gerät 1 beinhaltet die Speicherkondensatoren $3 \times 80 \mu\text{F}$, eine stabilisierte 2500 V Spannungsquelle, die Blitzröhrenzündeinrichtung sowie notwendige Sicherheitsschaltungen. Gerät 2 dient als programmierbares Zeitsteuergerät, welches nach richtigem zeitlichen Ablauf die Kondensatoren lädt, den Kameramotor einschaltet, der über dem Kameraverschluß die Blitzröhren zündet. Es lassen sich Wiederholzeiten von 1 bis 99 Minuten einstellen.

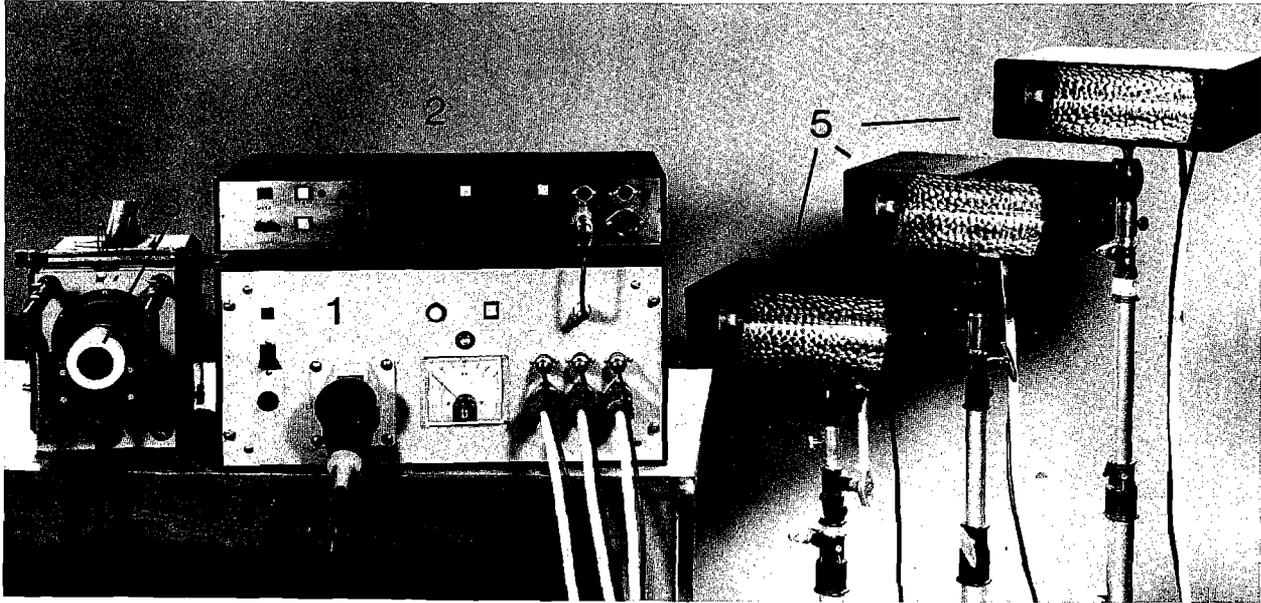


Abb.3. Tageslichtzeitrafferanlage

1 Hochspannungsgerät, 2 Steuergerät, 3 Faradayverschluss, 4 Zeitraffer-Kamera, 5 Blitzlampen

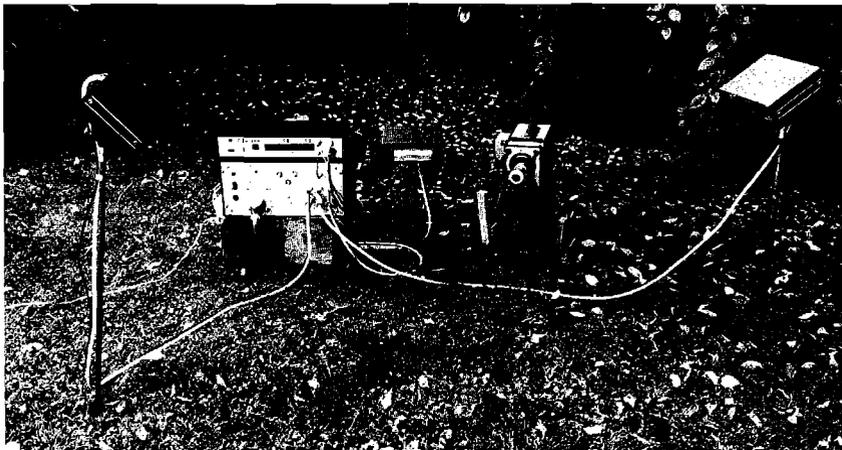


Abb.4. Freiland-Aufnahmeanordnung

Für die Blitzlampen wurden spezielle diffus-reflektierende Parabolreflektoren verwendet. Bei 1 m Lampenabstand beträgt die gleichmäßig ausgeleuchtete Fläche $> 1 \text{ m}^2$.

Als Blitzröhre wurde der Typ FX-45C-6 der Fa. Polytec benutzt. Die Lebensdauer in unserem Betriebsfall ist $> 10^6$ Blitze.

Erfahrungswerte

Die in unserem Hause entwickelte Anlage wurde im Dauerversuch erprobt. Folgende Pflanzen dienen als Aufnahmeobjekt: Mimose, Bohne, Wegerich, Klee. Nach dem 1. Aufnahmetag wurden beim Klee Schädigungen festgestellt (Braunfärbung der Blätter, starke Trockenschäden). Diese Schädigungen waren auf den hohen UV-Anteil der Blitzröhren zurückzuführen, der im Bereich von 200 nm bis 380 nm immerhin 30 % ausmacht. Nach dem Anbringen von UV-Absorptionsfiltern direkt vor den Lampen traten keine Pflanzenschädigungen mehr auf.

Die Anlage lief 13 Tage und 13 Nächte bei 40 bis 95 % rel. Luftfeuchtigkeit und Temperaturen von 7 bis 30° C. Bei einer Aufnahme Frequenz von 1 Bild/2 min wurden über 7500 Bilder belichtet. Trotz ungünstiger klimatischer Bedingungen wurden keine Ausfälle der Anlage festgestellt. Die Auswertung des Filmes erbrachte eine völlig gleichmäßige Filmbelichtung, trotz Beleuchtungsstärkeschwankungen von 0 bis 30000 lx.

Ein weiterer Versuch sollte zeigen, ob das Blitzlicht die Pflanzen so schädigt, daß ihre Tag-Nacht-Bewegungen verändert werden. Mit einer Infrarot-TV-Kamera wurden dazu zwei Pflanzen parallel nebeneinander während 24 h aufgezeichnet,

wobei durch eine Pappwand getrennt nur eine Pflanze mit dem Blitzlicht beleuchtet wurde. Die Auswertung des zeitgerafften Films auf einem TV-Monitor zeigte identische Tag-Nacht-Bewegungen bei beiden Pflanzen.

Ungeklärt ist bisher, ob bei Kurztag- und Langtagpflanzen das Blitzlicht während der Nacht als Störlicht wirkt.

Für den Bau der Anlage wurden modernste Technologien angewandt. Der Einsatz spezieller Kunststoffe ermöglichten die absolute Isolation kritischer elektrischer Stellen, wodurch die Anlage langfristig witterungsfest ist und somit auch für Freilandaufnahmen ideal einsetzbar ist (Abb. 4).

Dem ersten Versuchsgerät wird der Bau von zwei weiteren Geräten folgen, die dann für zahlreiche Forschungsfilm-aufnahmen eingesetzt werden sollen.

Literatur

VOLLRATH, K. und G. THOMER: *Kurzzeitphysik* 258–266 (1967).