

## 10. Elektro-optische Modulatoren



Elektro-optische Modulatoren basieren auf dem Effekt der spannungsinduzierten Doppelbrechung. **Pockels-Zellen** stellen einen Typ der EOM's dar, die über eine angelegte Spannung an die Zelle eine linear abhängige steuerbare Doppelbrechung ermöglichen. Die Zelle enthält einen uniaxialen Kristall, der biaxial wird, sofern ein elektrisches Feld angelegt wird. Ist die neue induzierte Achse 45° ausgerichtet zu der Polarisationssebene eines einfallenden Lichtstrahls, dann wird der Lichtstrahl in zwei senkrecht zueinander polarisierte Teilstrahlen aufgesplittet. Die Teilstrahlen passieren den Kristall auf Grund der induzierten unterschiedlichen Brechungsindizes mit unterschiedlicher Geschwindigkeit. Diese induzierte Doppelbrechung  $\Delta n$  ist proportional zum angelegten elektrischen Feld. Über die Kristalllänge  $l$  gibt es somit eine gesteuerte Faserverschiebung  $\Gamma$  zwischen den beiden Teilstrahlen, die für die Strahlmodulation genutzt wird.

$$\Gamma = \frac{2\pi}{\lambda} \Delta n l$$

$\lambda$  ist dabei die Wellenlänge des einfallenden Strahls.

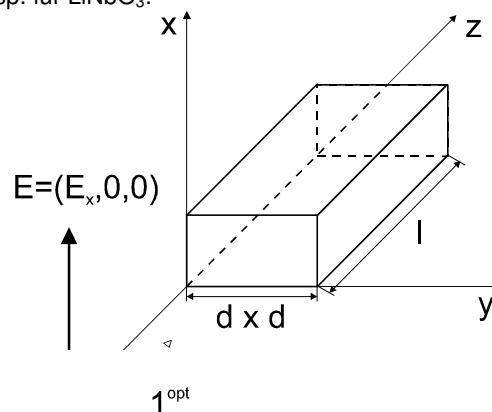
Die Spannungsempfindlichkeit der Pockels Zellen ist durch die Halbwellenspannung  $U_{\lambda/2}$  gegeben. Das ist die Spannung, die erforderlich ist um eine Phasenverschiebung von  $\Gamma=180^\circ$  zu erhalten. Für  $\Gamma=90^\circ$  wird die sogenannte Viertelwellenspannung  $U_{\lambda/4}$  benötigt.

Es gibt zwei grundlegende Konfigurationsarten für die Pockels Zellen, transversal und longitudinal:

1. Pockels Zellen, die einen **longitudinalen elektro-optischen Effekt** nutzen. In diesem Fall verläuft das angelegte elektrische Feld parallel zur Richtung des einfallenden Lichtstrahls.

2. Pockels Zellen, die einen **transversalen elektro-optischen Effekt** nutzen. In diesem Fall verläuft das angelegte elektrische Feld senkrecht zur Richtung des einfallenden Lichtstrahls. Für diesen Modulator-typ ist die Halbwellenspannung indirekt proportional zur Kristalllänge und direkt proportional zum Abstand der Elektroden.

Bsp. für LiNbO<sub>3</sub>:



Es gilt für die Halbwellenspannung:

$$U_{\frac{\lambda}{2}} = \frac{\lambda}{2n_o^3 r_{22}} \cdot \frac{d}{l}$$

$r_{22}$  – elektro-optischer Koeffizient

## 10.1. KDDP Pockels Zellen

KDDP-Kristalle sind ein häufig verwendetes Material für Pockels-Zellen, die im UV, VIS und NIR-Bereich eingesetzt werden. Der große elektro-optische Koeffizient resultiert in der geringsten Betriebsspannung aller Kristalle der [x]DP-Familie. Die relativ große Dielektrizitätskonstante führt zu einer homogenen Feldverteilung über der Kristallapertur. KDDP-Kristalle sind im Bereich 350 – 1500 nm transparent und können bei sehr hohen optischen Leistungsdichten eingesetzt werden, so dass KDDP ein Basismaterial für Pockels Zellen im Hochleistungslaserbereich ist.

Bezüglich der standardmäßig genutzten longitudinalen Feldkonfiguration ist die Betriebsspannung

unabhängig von der Kristallapertur. Die Kontrastverhältnisse betragen >1000:1.

Die Serien C100[x] und C2002 werden aus hochqualitativem z-0°-KDDP-Kristallen hergestellt. Sie beinhalten Einzel- und Doppelkristall-Zellen. Um ein longitudinales elektrisches Feld hoher Uniformität zu erhalten werden ringförmige Gold-Chrom-Elektroden verwandt. Alle Zellen sind zum Schutz gegen atmosphärisches Wasser und zur Vermeidung von Reflexionsverlusten mit einer Brechungsindex angepassten Suspension (index-matching liquid) gefüllt. Die Quarzglasfenster werden optional mit einer äußeren AR-Schicht versehen.

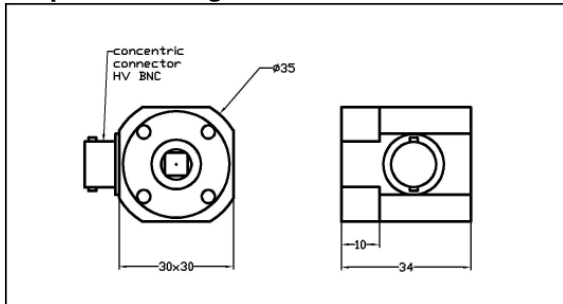
Daten der KDDP Pockels Zellen Serie		
Material	KDDP	
Spektralbereich	350 – 1500 nm	
Kontrastverhältnis	C 100(x)	1000:1
	C 2002	800:1
Maximale Leistungsdichte	600 MW/cm <sup>2</sup>	
Anstiegszeit	< 1 ns	
Minimale Pulsdauer	2 ns	
Wellenfrontdeformation	Standard	λ/5
	Spezial	λ/10

Technische Spezifikation – KDDP Pockels Zellen					
Typ		C 1001	C 1002	C 1003	C 2002
Kristall		KDDP			
Apertur [mm]		8	10 – 12	10	10
Viertelwellenspannung [kV]	630 nm	1.9	1.9	1.9	0.95
	1064 nm	3.2	3.2	3.2	1.6
Maximale Spannung [kV]		7.5	7.5	7.5	5.0
Kapazität [pF]		10	11	11	12
Anschlussstecker		konzentrisch		Doppelt konzentrisch	konzentrisch
		H.V.BNC			BNC
Zellen-Durchmesser [mm]		35	35	35	36
Zellen-Länge [mm]		35	40	35	53
Maximale Transmission mit AR-Beschichtung [%]		> 98	> 98	> 98	> 97

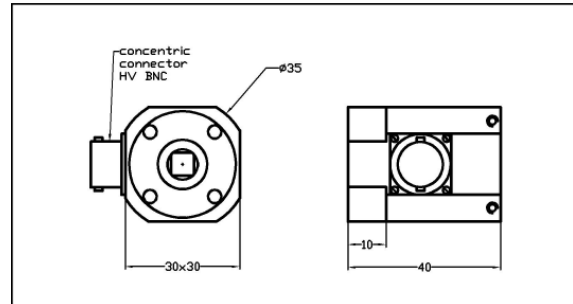
### Optionen:

- Modifikation der Standardtypen nach Kundenspezifikation
- Integrierter Q-switch (feste Verbindung mit justierbarem Polarisator)
- Ausführung als Trockenzelle (d.h. ohne Verwendung der index matching liquid)

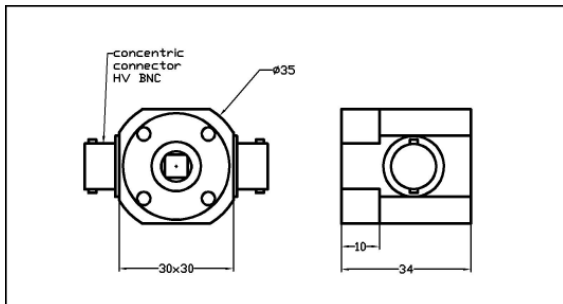
## Hauptabmessungen:



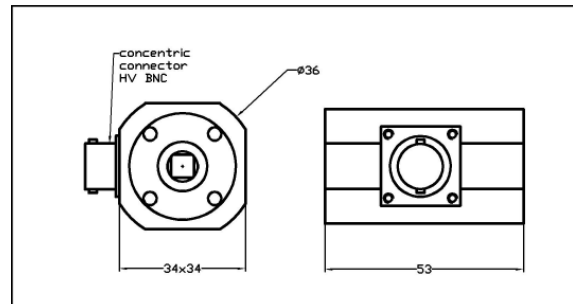
C 1001



C 1002



C 1003



C 2002

## 10.2. LiNbO<sub>3</sub> Pockels Zellen

Lithiumniobat ist mit seinen speziellen Eigenschaften ein bevorzugtes Material für die Pockels Zellen. Das betrifft insbesondere den großen elektro-optischen Koeffizienten, die Transparenz im Bereich 400 nm bis 4,5 µm und den hohen Schmelzpunkt von 1250°C. Auf Grund der Kristallhärte und seiner Resistenz benötigt der Kristall im Gegensatz zu den KDDP-Zellen keinen zusätzlichen Schutz,

Die Serie C104[x] basiert auf einer transversalen E-Feld-Konfiguration mit einer relativ geringen Viertelwellenspannung. Gold-Chrom-Elektroden längs zweier Seitenflächen liefern eine homogene Feldverteilung über der Apertur. Die Kristalle sind so orientiert, dass die Ausbreitung des transmittierten

Laserstrahls in Richtung der z-Achse erfolgt.

Auf Grund des hohen Brechungsindex von LiNbO<sub>3</sub> (für 1064 nm gilt :  $n_o=2,20$  und  $n_e=2,15$ ) empfiehlt sich eine AR-Beschichtung der Eintritts- und Austrittsfläche.

Die Kristallflächen der Zellen C1045 und C1045S sind im Brewsterwinkel konfiguriert, so dass eine AR-Schicht nicht notwendig ist. Durch den polarisierenden Effekt der Brewster-Flächen ist kein separater Polarisator erforderlich.

C1045S ist speziell für den Er:YAG-Laser konzipiert. Die Zelle wird durch Saphirfenster abgeschlossen und ist mit Stickstoff gefüllt.

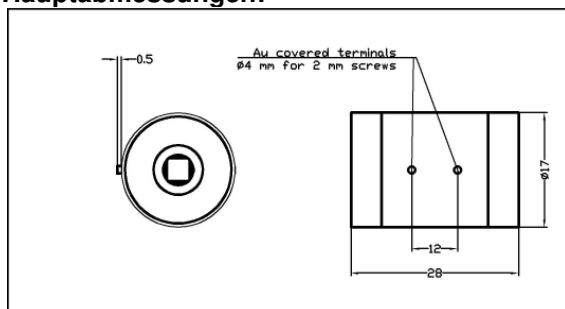
Daten der LiNbO <sub>3</sub> Pockels Zellen Serie		
Material	LiNbO <sub>3</sub>	
Spektralbereich	400 nm – 4500 nm	
Kontrastverhältnis	200:1	
Transmission mit AR-Beschichtung	98%	
Maximale Leistungsdichte	200 MW/cm <sup>2</sup> , (1 Hz)	
Anstiegszeit	ca. 2 ns	
Minimale Pulslänge	5 ns	
Wellenfrontdeformation	Standard / Spezial	λ/4 / λ/8

Technische Spezifikation – LiNbO <sub>3</sub> Pockels Zellen						
Typ	C 1041	C 1043	C 1044A	C 1044B	C 1045	C 1045S
Kristall	LiNbO <sub>3</sub>					
Apertur [mm]	4	6	8	8	5	5
Viertelwellen- spannung [kV]	633 nm	0,350	0,400	0,575	0,575	0,400
	1064 nm	0,700	0,800	1,150	1,150	0,800
	3000 nm					1,650
Max. Spannung [kV]	3.0	2.5		5		
Kapazität [pF]	20	25				
Anschluss-Stecker	terminals	concentric		2 concentric	concentric	
	M2	HV BNC				
Zellen-Durchmesser [mm]	17	36	36	24 x 40	24 x 50	35
Zellen-Länge [mm]	28	34	35	35	36	44
Kristalloberfläche	plan / plan				Brewster	

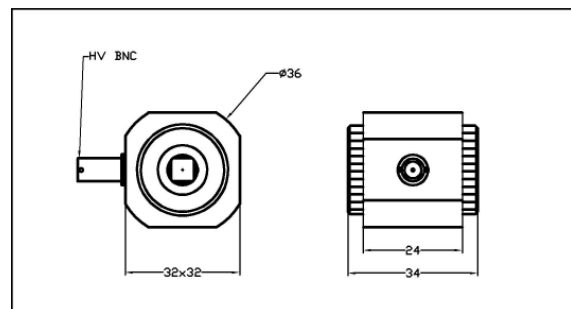
#### Optionen:

- Modifikation der Standardtypen nach Kundenspezifikation
- Integrierter Q-switch (feste Verbindung mit justierbarem Polarisator)
- Ausführung als Fasen-Modulator
- Doppel-Kristall-Version

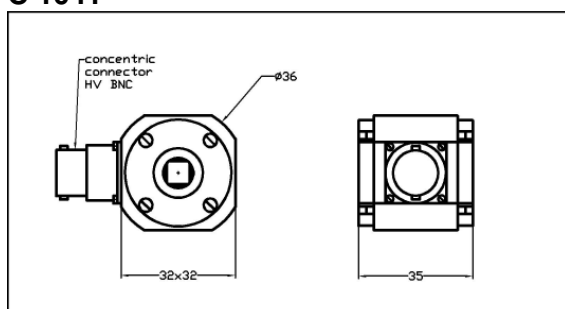
#### Hauptabmessungen:



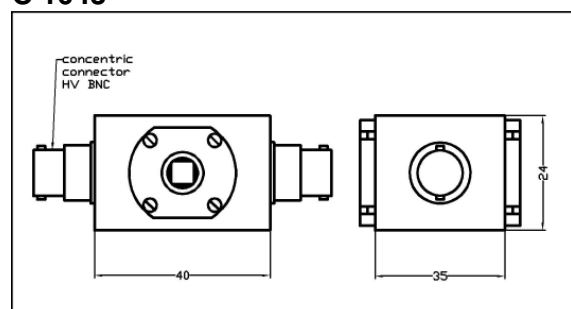
C 1041



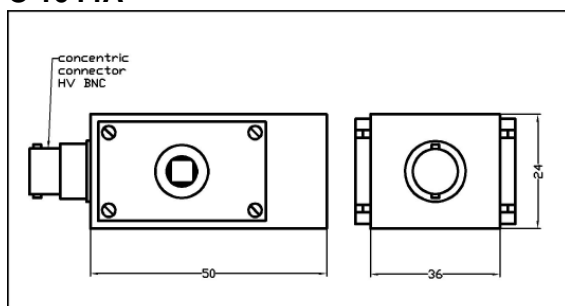
C 1043



C 1044A



C 1044B



C 1045