

3.3. Dosiserträge am N. optikus und an der Linse

Ergänzend zu den Dosis-Volumen-Histogrammen werden für Protonen- und Photonentherapie die Minimal- und Maximalwerte des Dosisertrages und die Strecke des Dosisertrages für den augennahen Anteil des Nervus optikus in der Tabelle 5 vergleichend gegenübergestellt.

Pat. No:	Dosis- und Längenbelastung des N.optikus in Prozent der Referenzdosis bzw. mm						
	Stereotaktische Bestrahlung			68 MeV-Protonentherapie			
	mit 6 MeV Photonen						
	Min	Max	Länge	Min	Max	Länge	
	[%]	[%]	[mm]	[%]	[%]	[mm]	
1	23	84	10	0	100	1,2	
2	5	13	10	0	0	0	
3	5	19	10	0	0	0	
4	5	11	10	0	0	0	
5	7	24	10	0	0	0	
6	4	45	10	0	100	2,7	
7	8	91	10	0	100	2,4	
8	5	20	10	0	100	3,9	
9	6	9	10	0	5	0	
10	21	90	10	0	100	3,7	

Tabelle 5: Die Dosis- und Längenbelastung des Nervus optikus im Vergleich

Methodisch bedingt kommt es bei der Protonentherapie zu keiner Belastung der augenfernen Abschnitte N. optikus, von der Belastung der Strecke des Sehnervens kann die stereotaktische Photonen-Bestrahlung hier nur schlechter ausfallen. Eine komparative Bewertung einer höheren Längen- gegenüber einer höheren Maximalbelastung ist infolge fehlender Datenlage nicht zuverlässig möglich.

Bei annähernd gleicher Maximalbelastung ist bei einer jedoch wesentlich geringeren Integralbelastung bei den Patienten No. 1 und 9 der Therapieplan mit Protonen besser.

Insgesamt sind damit bei den Pat. No. 1, 2, 3, 4, 5, 7 und 9 die Protonen-Therapie Pläne überlegen, bei Patient 10 die Pläne gleichwertig und bei Pat. 6 und 8 der Stereotaxie-Plan mit Photonen günstiger.

Der Ziliarkörper ist im CT nicht ausreichend abgrenzbar, kann daher nicht mit hinreichender Genauigkeit konturiert werden. Der im „Eyeplan“-Modell zugrunde liegende Darstellungsmodus basiert auf einer vereinfachten flächenhaften Darstellung, welche eine Dosisabschätzung nur für einen homogenen Strahldurchtritt von ventral gestattet.

Eine Übertragung dieses Modells auf die CT-Planung der stereotaktischen Behandlung mit Photonen hätte daher eine vergleichende Beurteilung nicht zuverlässig erlaubt und ist daher nicht durchgeführt worden. Die aus den jeweiligen Behandlungsplänen resultierenden Belastungen für die Linse werden in der Tabelle 6 aufgeführt.

Pat. No:	Dosis- und Volumenbelastung der Linse in Prozent der Referenzdosis bzw. in Prozent des erfassten Gesamtvolumens					
	Stereotaktische Bestrahlung			68 MeV-Protonentherapie		
	mit 6 MeV Photonen					
	Min	Max	Volumen	Min	Max	Volumen
	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]
1	7	67	100	0	67	37
2	4	21	100	0	7	5
3	6	19	100	0	18	28
4	6	25	100	0	72	28
5	5	28	100	0	91	48
6	3	5	100	0	2	2
7	7	34	100	0	98	69
8	3	4	100	0	0	0
9	3	6	100	0	0	0
10	4	23	100	0	22	23

Tabelle 6: Die Dosis- und Volumenbelastung der Linse im Vergleich

Zur Bewertung der Ergebnisse der Linsenbelastung ist, ähnlich wie bei der Analyse der Belastungen des N. optikus geschildert, anzumerken, daß keine eindeutigen Daten vorliegen, die unter den Bedingungen einer Therapie mit wenigen Fraktionen und hoher Gesamtdosis eine Abschätzung der differentiellen Relevanz von Maximaldosis versus Flächenbelastung gestatten. Nach den Analysen von Egger und Mitarbeitern (Egger et al., 1993) ist in einer Belastung von mehr als 30% der Linsenperipherie ein signifikanter Risikofaktor für die Kataraktentstehung zu sehen. Dies ist jedoch nicht uneingeschränkt auf die stereotaktische Therapie mit Photonen

zu übertragen, die summarisch eine größere Volumenbelastung mit geringeren Hochdosisanteilen erzielt. Auch niedrige Organ-Dosen von 2 Gy Einzeldosis und 4 bis 8 Gy Gesamtdosis sind in der Lage, langfristig Katarakte zu induzieren (Cogan et al., 1952; Freire et al., 2004; Gordon et al., 1995; Ham, 1953; Merriam und Focht, 1962; Nguyen und Ang, 2003). Als überlegen werden Protonentherapie-Pläne nur dann angesehen, wenn überhaupt keine Linsenbelastung vorhanden ist, bei den Photonen-Plänen aber eine Belastung auftritt. Dies ist bei den Patienten 8 und 9 der Fall. Eine deutliche Entlastung im Dosismaximum wird in Anlehnung an die o.g. Ergebnisse (Egger et al., 1993) ebenfalls als relevantes Kriterium gewertet, die stereotaktischen Photonen-Pläne für die Patienten No. 4, 5 und 7 sind daher besser. Für die übrigen Patienten No. 1, 2, 3, 6 und 10 sind die Ergebnisse gleichwertig.

3.3. Dosishomogenität der Behandlungspläne

Die Dosishomogenität im Planning Target Volume der stereotaktischen Bestrahlung mit Photonen und für das Tumormodell in der Protonentherapie ist in der folgenden Tabelle 7 aufgelistet. Im Therapieplanungsprozess wird in „Eyeplan“ das Tumormodell generiert und der Sicherheitssaum anschließend addiert. Ein PTV-Konzept im eigentlichen Sinne existiert nicht. Daher kann für die Planung der Protonenbehandlung nur die Dosishomogenität im Tumor, bzw. an der durch Polynome definierten Tumeroberfläche angegeben werden. Die Homogenität des Strahls gewährleistet auch die gleichmäßige Dosisapplikation im Bereich des Sicherheitssaumes, allerdings können durch im Strahlengang vor dem Tumor gelegene Tantal-Clips und durch Anwendung von Keilfiltern Unterschreitungen des Sicherheitssaumes in „Schatten“ der Clips bzw. an der Tumorflanke im Bereich des durch den Keil induzierten Dosisabfalls zustande kommen, die vom Programm „Eyeplan“ nicht erkannt werden und daher visuell kontrolliert und ggf. korrigiert wurden.

Pat. No:	Dosishomogenität der Behandlungspläne in Prozent der Referenzdosis					
	für das PTV			für das Tumervolumen		
	Stereotaktische Bestrahlung			68 MeV-Protonentherapie		
	mit 6 MeV Photonen					
	Min [%]	Max [%]	Volumen außerhalb 90 - 110% [%]	Min [%]	Max [%]	Volumen außerhalb 100% [%]
1	88	109	2	100	100	0
2	97	106	0	100	100	0
3	86	107	1	100	100	0
4	94	107	0	100	100	0
5	90	112	3	100	100	0
6	101	106	0	100	100	0
7	94	108	0	100	100	0
8	99	107	0	100	100	0
9	95	107	0	100	100	0
10	97	107	0	100	100	0

Tabelle 7: Die Dosishomogenität der Behandlungspläne im Vergleich

Die Dosishomogenität ist damit sowohl für die Protonen- als auch für die Photonenbehandlungspläne gut und bleibt bei allen Planungen mit Photonen innerhalb der gesetzten Dosislimitierungen. Die Behandlungspläne werden daher alle als gleichwertig in Bezug auf die Dosishomogenität beurteilt.