UNIVERSITÄT ZU LÜBECK
INSTITUTE OF MATHEMATICS AND
IMAGE COMPUTING

Bachelorarbeit

Glättungsstrategien für DVH-basierte Zielkriterien in der Strahlentherapie

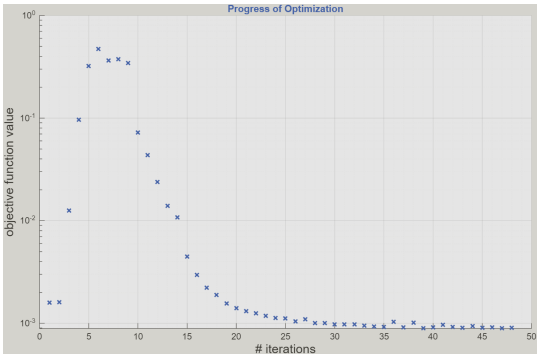
Smooth approximations for DVH-based optimization criteria in radiation therapy

Vorgelegt von: Maya Kunert
Ausgegeben und betreut von: Prof. Dr. Jan Modersitzki und Ole Gildemeister, M.Sc.

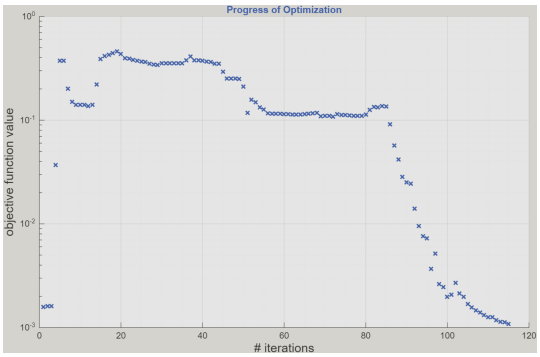
Zusammenfassung
Ziel der inversen Bestrahlungsplanung ist es, Tumorgewebe präzise mit einer ausreichend hohen Dosis zu bestrahlen und gleichzeitig die Belastung umliegender gesunder Organe zu minimieren. Klinische Ziele können über Dosis-Volumen-Histogramme (DVHs) definiert werden. Die Integration von DVH-basierten Zielfunktionen und Nebenbedingungen in gradientenbasierte Optimierungsverfahren stellt aufgrund ihrer Nichtdifferenzierbarkeit eine Herausforderung dar und erfordert geeignete Approximationen. In dieser Arbeit werden verschiedene Approximationen hinsichtlich des Optimierungsverhaltens und der Erfüllung der klinischen Ziele untersucht. Hierzu wird die Bestrahlungsplanungssoftware matRad [1] verwendet. Es wird eine logistische Approximation sowie eine Approximation mittels der Gaußschen Verteilungsfunktion betrachtet und der Einfluss des Skalierungsparameters untersucht. Dafür wird eine Methode zur adaptiven Wahl des Parameters, d.h. abhängig von der Dosisverteilung in der jeweiligen Iteration, hergeleitet und evaluiert. Zudem wird die Mean-Tail-Dose (MTD) betrachtet, die die mittlere Dosis im Volumenanteil mit der höchsten bzw. niedrigsten Strahlendosis beschreibt. Es wird untersucht, ob die Erkenntnisse zur Wahl des Skalierungsparameters auf einen MTD-basierten Optimierungsansatz übertragen werden können. Die Untersuchungen an zwei Phantomen zeigen, dass keine der beiden Approximationen über alle untersuchten Fälle hinweg hinsichtlich des Optimierungsverhaltens und der Erfüllung der klinischen Ziele bessere Ergebnisse erzielt. Die adaptive Wahl des Skalierungsparameters hat hingegen einen entscheidenden Einfluss auf Stabilität und Konvergenz der Optimierung. Die Ergebnisse des MTD-basierten Optimierungsansatzes unterstützen die Vermutung, dass eine adaptive Wahl des Skalierungsparameters von Vorteil ist.

Abstract
The aim of inverse treatment planning in radiation therapy is to deliver a sufficiently high dose to the tumor while minimizing the dose to surrounding healthy organs. Clinical objectives and constraints can be defined using dose-volume histograms (DVHs). The integration of DVH-based objectives and constraints into gradient-based optimization methods remains challenging due to their non-differentiability and therefore requires suitable approximations. In this thesis, different approximations are investigated with respect to their optimization behavior and the fulfillment of clinical objectives using the treatment planning software matRad [1]. A logistic approximation and an approximation based on the Gaussian distribution function are considered and the influence of the scaling parameter is investigated. For this purpose, an adaptive parameter selection method, i.e. a method in which the parameter is adjusted according to the dose distribution in each iteration, is derived and evaluated. Furthermore, the mean-tail-dose (MTD), which describes the mean dose within the most highly or least highly irradiated volume fraction, is considered. It is investigated whether the findings regarding the choice of the scaling parameter can be transferred to this optimization approach. The investigations

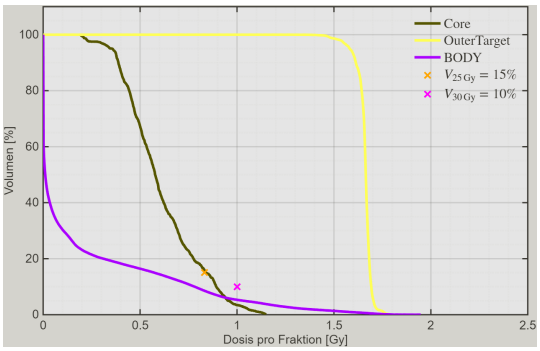
using two phantoms show that neither of the two approximations can be identified as generally superior, whereas the choice of an adaptive scaling parameter has a significant impact on the stability and convergence of the optimization process. The results of the MTD-based approach support the hypothesis that an adaptive scaling parameter is advantageous.



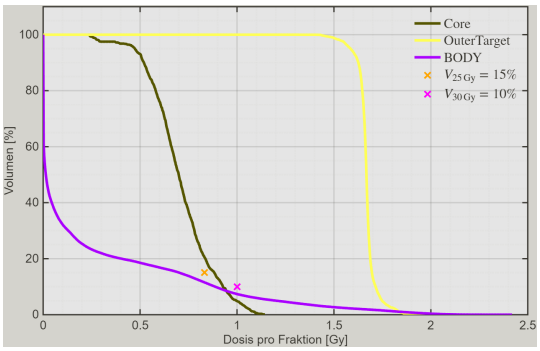
(a) Optimierungsverlauf (adaptiver Ansatz)



(b) Optimierungsverlauf (fester Ansatz)



(c) DVH des adaptiven Ansatzes



(d) DVH des festen Ansatzes

Abbildung 1: Optimierungsverläufe (**oben**) und resultierende DVHs (**unten**) bei adaptiver (**links**) und fester (**rechts**) Wahl des Skalierungsparameters zur Approximation der Nebenbedingungen $V^{\mathrm{Core}}_{25\,\mathrm{Gy}}(d) \leq 15\,\%$ und $V^{\mathrm{BODY}}_{30\,\mathrm{Gy}}(d) \leq 10\,\%$ mittels logistischer Funktionen. Die Optimierung mit adaptivem Skalierungsparameter benötigt deutlich weniger Iterationen (vgl. (a) und (b)). Die resultierenden DVHs zeigen, dass der adaptive Fall zu einer besseren Schonung der Risikoorgane führt (vgl. (c) und (d)).

Referenzen

[1] H.-P. Wieser et al. “Development of the open-source dose calculation and optimization toolkit matRad”. In: *Medical physics* 44.6 (2017), S. 2556–2568. DOI: 10.1002/mp.12251.