



Behandlungsraum mit Patiententisch und eingefahrenem Verifikationssystem an der Decke

Beckhoff Embedded-PC und TwinCAT CNC steuern komplexe Bewegungsmechanik

Patientenpositionierung mit hoher Genauigkeit von $\pm 0,3$ mm

Zu den lokalen Krebsbehandlungsmethoden zählt, neben der Röntgenbestrahlung mit Photonen, die Bestrahlung mit Protonen. Bei beiden Verfahren lässt sich die Richtung des Strahls zielgenau bestimmen. Mit der Protonenbestrahlung ist es jedoch möglich, auch die Reichweite der Bestrahlung präzise zu kontrollieren, sodass das umliegende, gesunde Körpergewebe nur gering belastet wird. Bei der punktgenauen Bestrahlung kommt der Lagerung des Patienten eine Schlüsselstellung zu.

Beschleunigt werden die Protonen mithilfe eines Synchrotrons auf 60 % der Lichtgeschwindigkeit (180.000 km/s entsprechend 250 MeV kinetische Energie) und können bis zu 38 cm in den Körper eindringen. Liegt das Bestrahlungsziel, also der Tumor, näher an der Oberfläche, müssen die Protonen abgebremst werden. Sie stoppen genau im Tumolvolumen, wo sie ihre maximale Dosis deponieren und ihre zerstörerische Wirkung entfalten. Durch die gezielte Bündelung der Protonenenergie verringert sich die Gesamtstrahlendosis im gesunden Gewebe, in Abhängigkeit von der jeweiligen Tumorgeometrie, auf ein Drittel oder weniger, im Vergleich zu einer Röntgenbestrahlung mit gleicher Tumordosis. D. h. vor dem Tumor ist die Strahlendosis niedrig, und hinter dem Tumor bleibt der Patient strahlungsfrei. Voraussetzung hierfür ist die exakte und wiederholgenaue Positionierung des Patienten.

Embedded-PC als Steuerung, Control Panel als Bedieneinheit

Im Auftrag des nationalen Zentrum für onkologische Hadronentherapie (CNAO) in Pavia, in Italien, entwickelte die Schweizer Schär Engineering AG, einen mit sechs Freiheitsgraden beweglichen Patiententisch. Dieser erlaubt die Positionierung des Patienten in den Fix-Strahl-Behandlungsräumen mit einer Genauigkeit von $\pm 0,3$ mm.

Die Realisierung des Projektes erfolgte in Zusammenarbeit der Schär AG, die für die mechanische Planung und Ausführung zuständig war, und der Odevis Automation AG, die die Entwicklung des elektrischen Konzeptes und der Steuerungssoftware übernahm. „Ein Entscheidungsgrund für Beckhoff war die komplexe Umsetzung der Bewegung der Mechanik auf die entsprechenden Achsen. Das Projekt startete im Jahr 2007, und im Oktober 2011 wurde nun der erste Patient erfolgreich behandelt.“, erläutert Thomas Niederhammer von Odevis Automation.

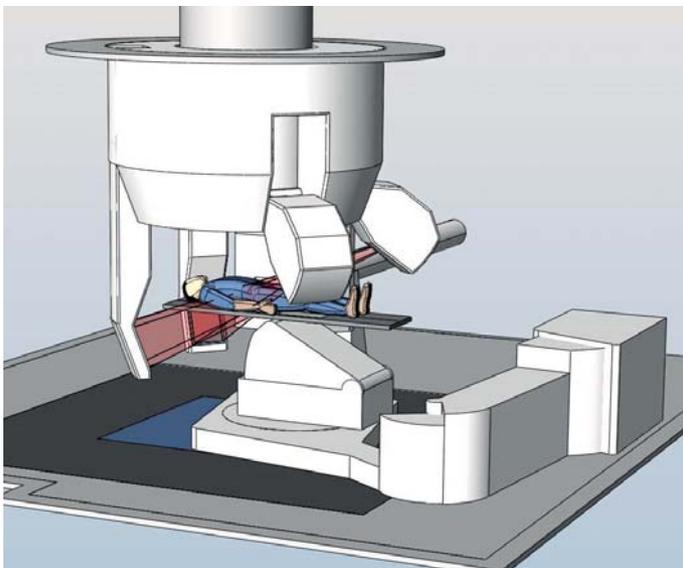
Um die komplexen Steuerungsaufgaben und die Transformation der Mechanik in die Bewegungen der einzelnen Achsen realisieren zu können, wurde ein Beckhoff-Embedded-PC CX1030 mit TwinCAT-CNC-Funktionalität verwendet. Das Steuerungsprogramm wurde in der Programmiersprache ST (Strukturierter Text) – als einer der vielen verfügbaren IEC 61131-3 Sprachen – geschrieben.

Als Bedienoberfläche ist ein Control Panel CP7911 mit DVI-/USB-Interface im Einsatz, dessen Tastenbedienfeld nach speziellen Kundenvorgaben von Beckhoff erstellt wurde. Die von Odevis in C# geschriebene HMI-Applikationssoftware nutzt die TwinCAT-ADS-Kommunikationsschnittstelle als Datenverbindung zur Steuerung. Die Verbindung zum Panel im Behandlungsraum mit einem DVI-/USB-Interface und einer Kabellänge von über 20 m wurde mit dem DVI-Splitter CU8810 von Beckhoff realisiert. Ebenfalls über TwinCAT ADS wurde eine zweite Bedienoberfläche im lokalen Kontrollraum an den CX1030 angekoppelt.

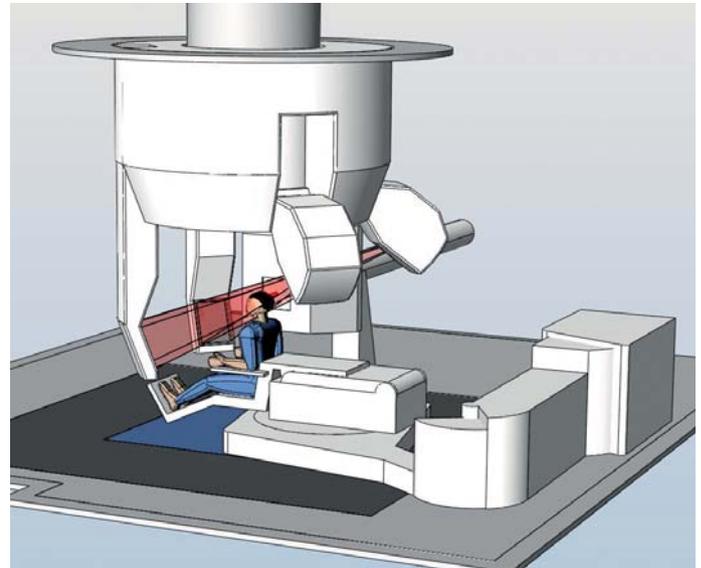
Der hutschienenmontierbare CX-Controller erlaubt den unmittelbaren Anschluss aller Signale über die EtherCAT-Klemmen. Auch die Kommunikation mit den Antrieben erfolgt über EtherCAT. Verwendet werden, neben verschiedenen digitalen und analogen Baugruppen, auch die EtherCAT-Klemmen EL6021, zur seriellen Kommunikation für einen Barcode-Leser, EL500-SSI-Encoder, zur Messung der Achsenposition, sowie Klemmen zur Gewichtsmessung.

TwinCAT CNC Transformation mit Simulation

Die Erstellung der sehr aufwändigen kinematischen Vorwärts- und Rückwärts-transformationen für die Positionierung wurde nach Kundenvorgabe durch Beckhoff erstellt und als CNC-Transformation zur Verfügung gestellt. Dadurch kann ein definierter Punkt auf der Patientenliege durch kartesische Zielpunkt-



Röntgen-Verifikation mit Liege



Röntgen-Verifikation mit Stuhl

vorgabe in Position und Orientierung in das Iso-Strahlzentrum des Raumkoordinatensystems des Behandlungsraumes gefahren werden. Zusätzlich wurde für interne Softwaretests eine entsprechende Simulation entwickelt, die die Mechanik nachbildet.

Exakte Positionierung des Patienten zum Behandlungsstrahl

Für die Protonentherapie ist eine genaue Positionierung des Patienten unabdingbar und wird durch verschiedene Faktoren sichergestellt: eine individuelle, körpergerechte Liege, die hochgenaue Positionierung des Patiententisches im ISO-Zentrum des Behandlungsstrahls und die röntgengestützte Positionskontrolle. Durch die robuste Konstruktion des Patiententisches können Patienten mit einem Gewicht bis zu 200 kg sowohl liegend auf einer „Couch“ als auch sitzend auf einem Stuhl behandelt werden. Hier muss eine Vorgabe von unter $\pm 0,3$ mm Raumabweichung der zu bestrahlenden Position eingehalten werden.

Um diese Genauigkeit in jeder anfahrbaren Position zu erreichen, wird die Patientenliege bzw. der Patientenstuhl genau eingemessen. Dabei wird die Position der Mechanik so korrigiert, dass sie absolut identisch mit der Position im Koordinatensystem des Raumes ist. Abhängig von der Lage des Patienten auf der Liege oder dem Stuhl und seinem Gewicht ergeben sich unterschiedliche Einfederungen, die ebenfalls über die Software korrigiert werden müssen.

Das ausfahrbare Röntgen-Verifikationssystem befindet sich ebenfalls in einem Genauigkeitsfenster von unter $\pm 0,1$ mm. Als zusätzliche, optische Überwachung der genauen Position wird ein mit drei Kameras ausgestattetes System verwendet, das über Marker die Lage des Patienten überprüft.

Behandlungsablauf mit Remote-Bedieninterface

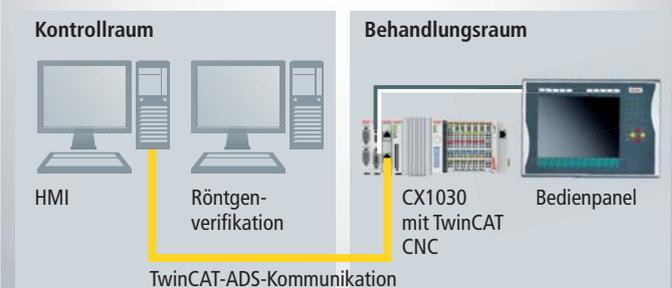
Vor der Bestrahlung werden mit Hilfe eines Verifikationssystems Abweichungen des Tumors im Vergleich zum CT erkannt und durch den Patiententisch ausgeglichen. Dazu müssen die angebrachten Röntgenpanels über das Bedienpanel ausgefahren werden. Nach erfolgter Freigabe werden Aufnahmen des Patienten durchgeführt und in einer externen Software ein Korrekturvektor des Tumors berechnet. Diese Abweichung wird dann vom Patiententisch ausgeglichen. Ein Teil des Behandlungsablaufes wird von einem gegenüber dem Behandlungsraum gelegenen Kontrollraum durchgeführt. Das medizinische Personal ist über Kameras und Sprechfunk jederzeit mit dem Patienten im Kontakt. Die Bedienung im Kontrollraum erfolgt über das HMI auf einem Standard-PC, der über ADS mit der Steuerung kommuniziert, und eine Bedienbox mit Zweihandbedienung, analog zur Zweihandbedienung auf dem Bedienpanel im Behandlungsraum.

Zahlreiche Überwachungsfunktionen in der Embedded-PC-Steuerung

Neben dem Einsatz einer Sicherheitssteuerung von Pilz sind in der Embedded-PC-Steuerung zahlreiche Überwachungsfunktionen implementiert. Alle Drehgeber an den einzelnen Achsen sind redundant ausgeführt und werden auf verschiedene Funktionen hin überwacht. Als Kollisionsüberwachung gibt es, neben digitalen Signalgebern, auch eine programmierte 3D-Objekt- und Raumüberwachung, die zur Sicherheit der Anlage dient.



Beckhoff Control Panel CP7911 mit Notaus-Taster und kundenspezifischem Tastenfeld



Schematischer Systemaufbau mit Kontrollraum und Behandlungsraum.

weitere Infos unter:

www.odevis.com

www.cnao.it

www.schaer-engineering.ch