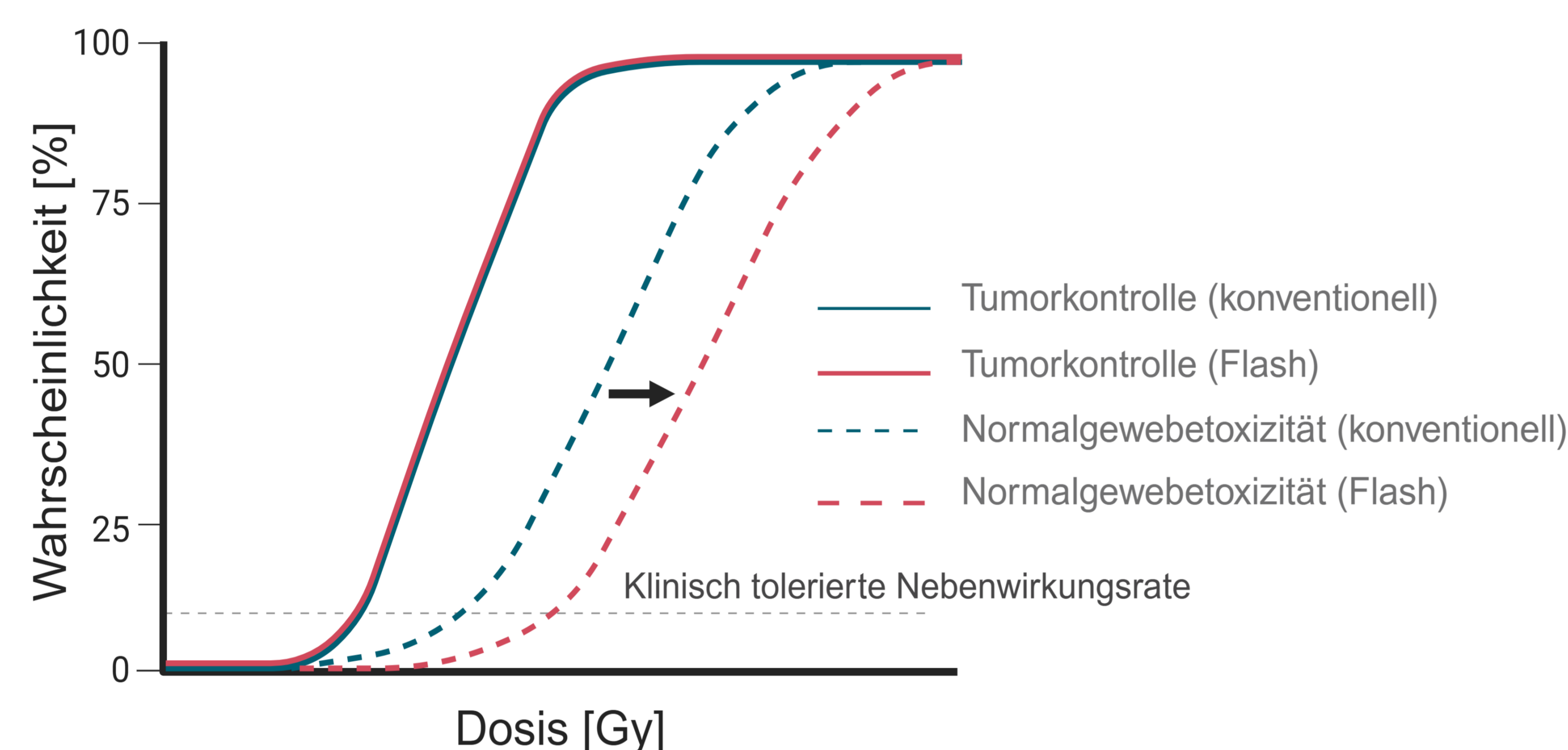


# Entwicklung eines Messaufbaus für Flash-Effekt-Untersuchungen am Elektronenbeschleuniger FLUTE

Johanna Pehlivan<sup>1</sup>, Michael J. Nasse<sup>2</sup>, Miriam Brosi<sup>2</sup>, Till Borkowski<sup>2</sup>, Dieter Leichtle<sup>1</sup>, Anton Malygin<sup>2</sup>, Hans Nordmeyer<sup>2</sup>, Robert Ruprecht<sup>2</sup>, Arkady Serikov<sup>1</sup>, Nigel J. Smale<sup>2</sup>, Oliver Jäkel<sup>3,4</sup>, Bernhard Holzapfel<sup>5</sup>

<sup>1</sup>Karlsruher Institut für Technologie, Institut für Neutronenphysik und Reaktortechnik, Eggenstein-Leopoldshafen; <sup>2</sup>Karlsruher Institut für Technologie, Institut für Beschleunigerphysik und Technologie, Eggenstein-Leopoldshafen; <sup>3</sup>Deutsches Krebsforschungszentrum, Abteilung Medizinische Physik in der Strahlentherapie, Heidelberg; <sup>4</sup>Heidelberger Ionenstrahl-Therapiezentrum am Universitätsklinikum Heidelberg, Heidelberg; <sup>5</sup>Karlsruher Institut für Technologie, Institut für Technische Physik, Eggenstein-Leopoldshafen

- ⚡ Flash-Strahlentherapie ist ein vielversprechender neuer Ansatz, bei dem ultra-hohe Dosisleistungen (UHDR) ( $> 40 \text{ Gy/s}$ ) eingesetzt werden. Präklinische Studien zeigen eine vergleichbare Tumorkontrolle wie die konventionelle Strahlentherapie ( $\sim 0.1 \text{ Gy/s}$ ), jedoch mit deutlich geringeren Nebenwirkungen im gesunden Gewebe.
- 🔍 Am Linearbeschleuniger FLUTE (Ferninfrarot Linac- und Test-Experiment) wird ein Messaufbau für Bestrahlungsversuche mit variablen Strahlparametern entwickelt mit besonderem Fokus auf UHDR.
- 🎯 Ziel ist es, Versuche zur Dosimetrie unter FLASH-Bedingungen durchzuführen und erste radiochemische sowie radiobiologische Experimente mit Wasser, Zellmedien und Zellkulturen zu realisieren.

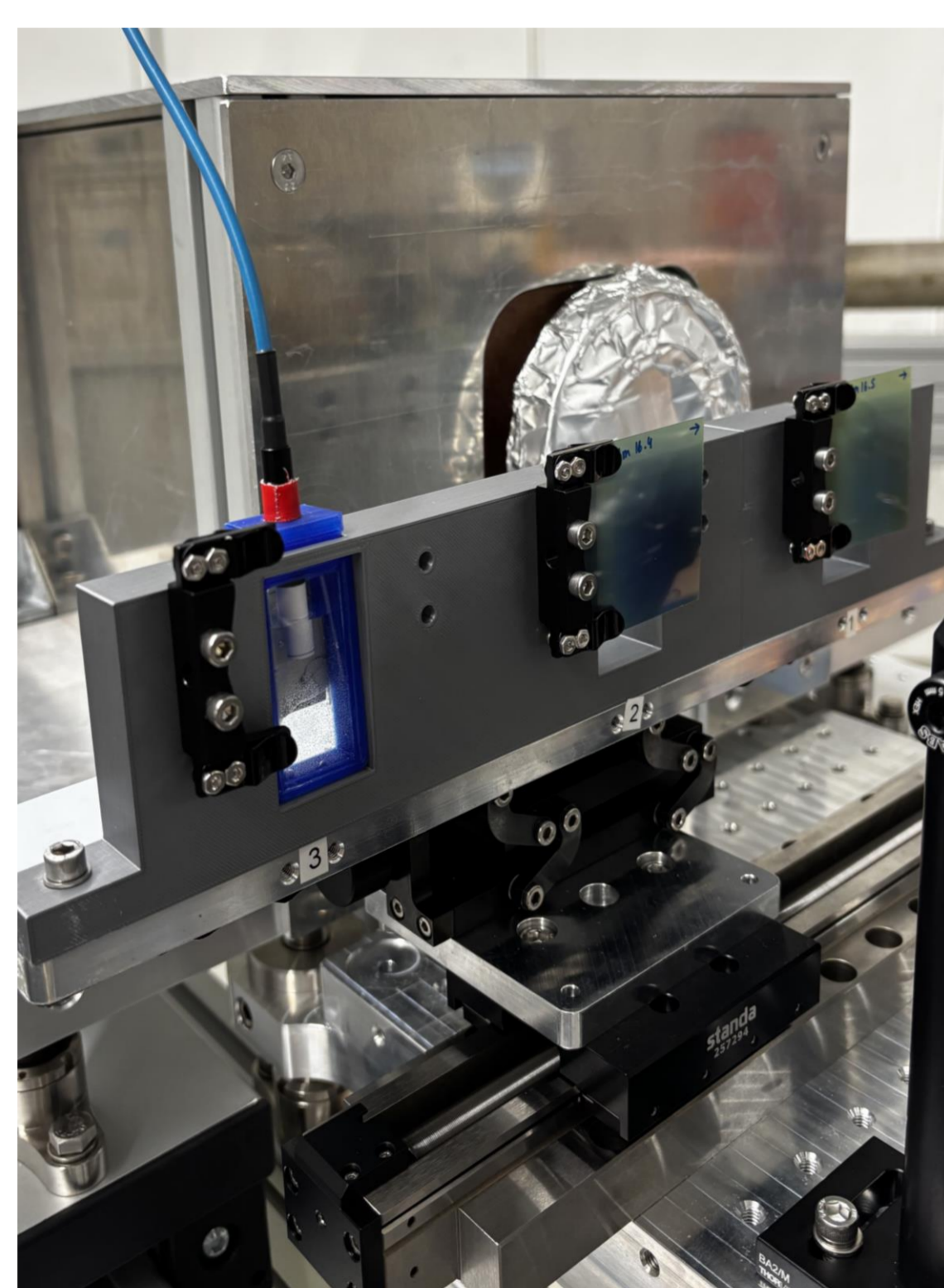


**Abbildung 1:** Schematischer Vergleich von Tumorkontrolle und Normalgewebetoxizität bei konventioneller vs. FLASH-Bestrahlung (modifiziert nach Vozenin et al., Nat Rev Clin Oncol 2022). Erstellt mit BioRender.

Parameter	Bisher getestet	Zukünftig möglich Upgrade in 2026
Energie	bis 30 MeV	bis 90 MeV
Bunchladung	bis 200 pC	bis 1 nC
Pulslänge	$\sim 10 \text{ ps}$	$\sim 10 \text{ fs}$
Pulsrate	5-25 Hz	bis 50 Hz
Dosisleistungsbereich	0,05 – 4 Gy/s	$> 70 \text{ Gy/s}$
Maximale Pulsdosis	0,4 Gy	$> 1 \text{ Gy}$

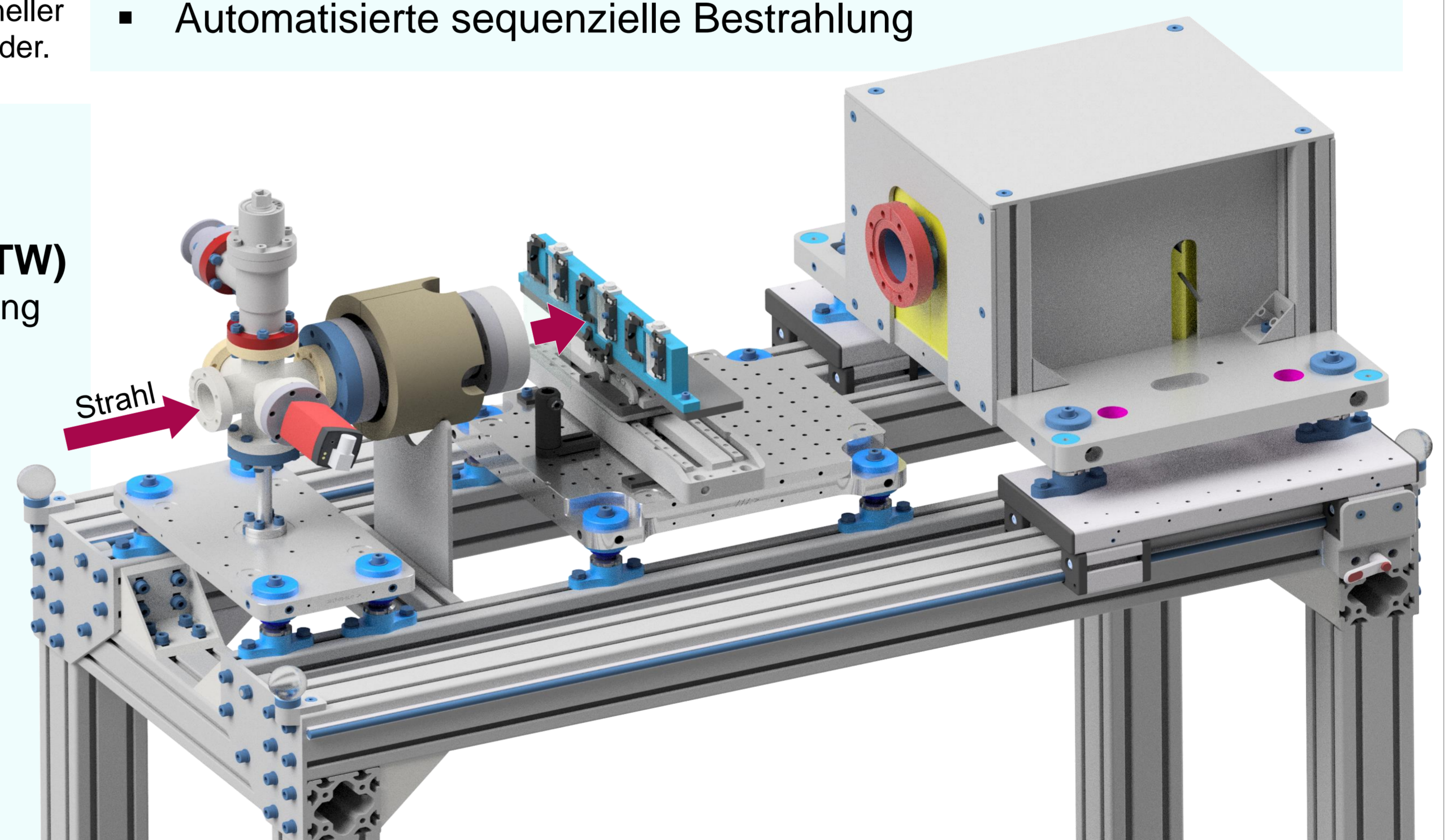
## Messaufbau für Flash-Untersuchungen

- Variable Konfiguration
- Flexible Platzierung von Proben und Detektoren
- Automatisierte sequenzielle Bestrahlung



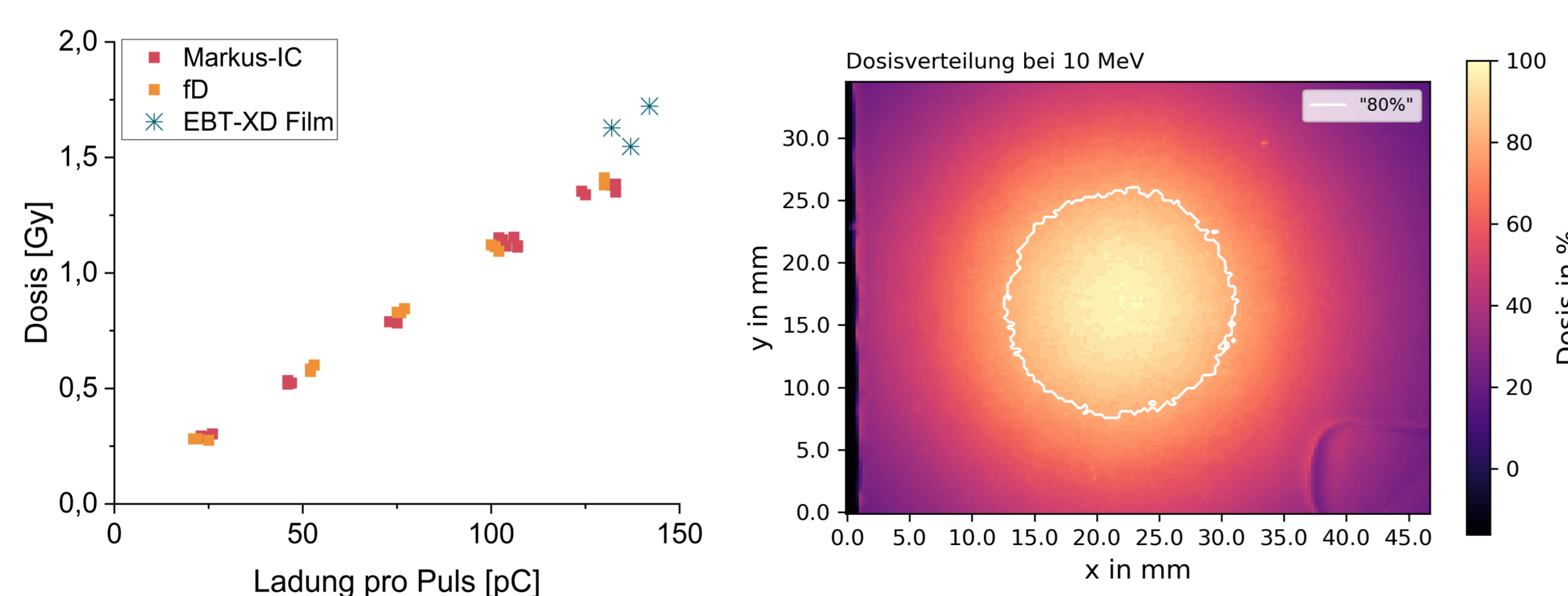
## Dosimetrie an FLUTE

- **Advanced Markus Electron Chamber (PTW)**
  - Referenz, absolute Dosis, niedrige Dosisleistung
- **FlashDiamond-Detektor (PTW)**
  - hohe Zeitauflösung, geeignet für UHDR
- **EBT-XD Filme (Gafchromic, Ashland)**
  - 2D-Verteilungen, hohe Ortsauflösung
- **Optisch stimulierte Lumineszenz Dosimeter (Mirion Technologies)**
  - Integrierend, empfindlich bei niedrigen Dosen

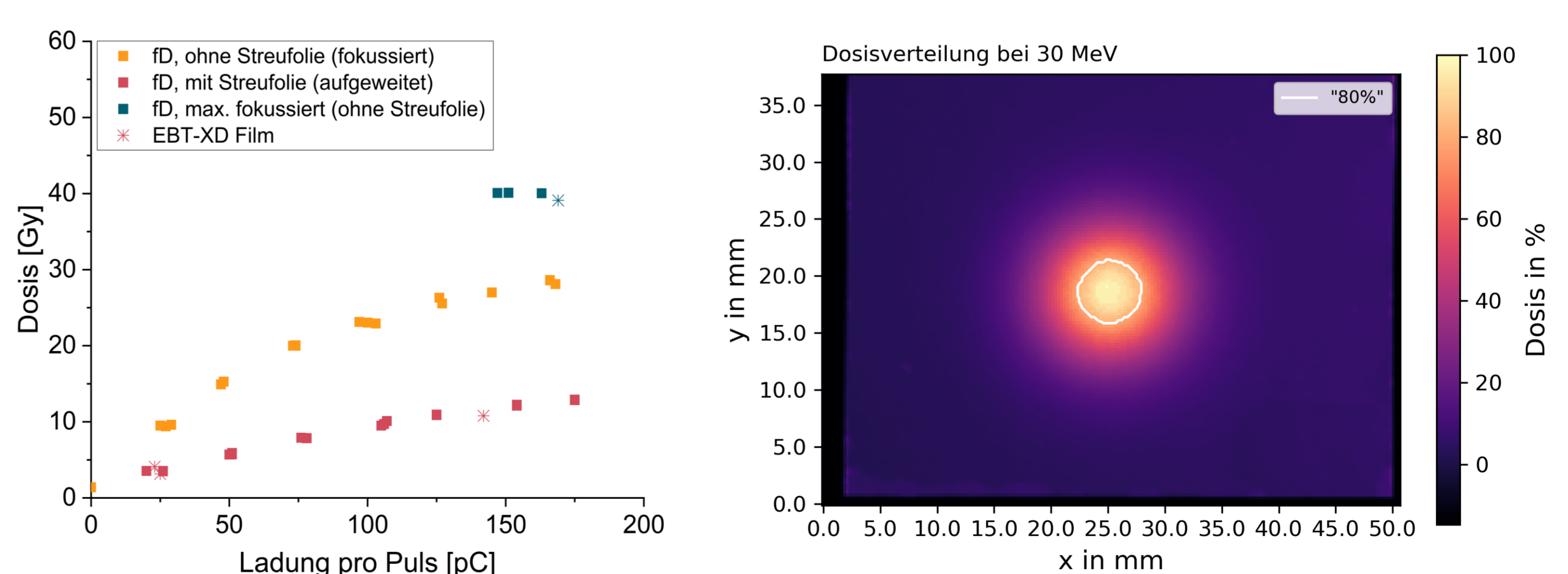


**Abbildung 2:** FlashDiamond und EBT-XD Filme im FLUTE-Messaufbau.

**Abbildung 3:** FLUTE-Messaufbau zur Durchführung von UHDR Bestrahlungen in Luft.



**Abbildung 4:** Messungen bei 10 MeV, 10 Hz, 10 s Bestrahlung mit aufgeweiteten Strahl.  
**Links:** Dosis vs. Pulsladung. Vergleich zwischen Markus-IC, FlashDiamond (fD) und EBT-XD Film. Die Filmdosiswerte wurden über eine Fläche von  $5 \text{ mm} \times 5 \text{ mm}$  gemittelt.  
**Rechts:** 2D-Dosisverteilung des EBT-XD Films.



**Abbildung 5:** Messungen bei 30 MeV, 10 Hz und 10 s Bestrahlzeit.  
**Links:** Dosis vs. Pulsladung für verschiedene Strahldurchmesser, gemessen mit dem FlashDiamond (fD) und EBT-XD Filmen. Die Filmdosiswerte wurden über eine Fläche von  $3 \text{ mm} \times 3 \text{ mm}$  um das Dosismaximum gemittelt.  
**Rechts:** 2D-Dosisverteilung des EBT-XD Films bei fokussiertem Strahldurchmesser.