

# Justagestrategie zur Überlagerung von vier Lichtschnitten

N. Grubert<sup>1</sup>, C. Fu<sup>1</sup>, R. Kurth<sup>1</sup>, J. Stollenwerk<sup>1, 2</sup>, C. Holly<sup>1, 2</sup>

<sup>1</sup>Lehrstuhl für Technologie Optischer Systeme, RWTH Aachen University; <sup>2</sup>Fraunhofer-Institut für Lasertechnik, Aachen;

## Die Lichtschnittebene im 3D-Polymerdruckverfahren

In einem volumetrischen 3D-Polymerdruckverfahren wird eine Lichtschnittebene in einem Photoharz erzeugt, indem vier einzelne Lichtschnitte überlagert werden. Jeder Lichtschnitt selbst wird erzeugt durch die zeitliche und örtliche Ablenkung eines Laserstrahls mittels 1D-Galvanometerscanner. Die Homogenität und Justage der Lichtschnittebene hat einen direkten Einfluss auf den photochemischen Prozess und stellt eine Herausforderung dar, da alle vier Lichtschnitte im Verbund ausrichtbar sein müssen und die Strahlpositionen hierfür mit nur einem Detektor ausgewertet werden müssen. Um dieses Problem zu lösen, wird eine vierseitig verspiegelte Pyramide als Justageelement verwendet (Abb.1). Die verspiegelte Pyramide wird in der Mitte der Lichtschnittebene positioniert und lenkt die vier Lichtschnitte gleichzeitig um 90° auf einen Detektor. Die unterschiedlichen Dejustierungen der Lichtschnitte ergeben charakteristische Variationen eines Vierecks auf dem Detektor, anhand derer die Lichtschnitte justiert werden können. Bei einer idealen Justierung entsteht ein Quadrat. Durch die Justagemethode kann eine homogene Lichtschnittebene gewährleistet und das Druckergebnis verbessert werden.

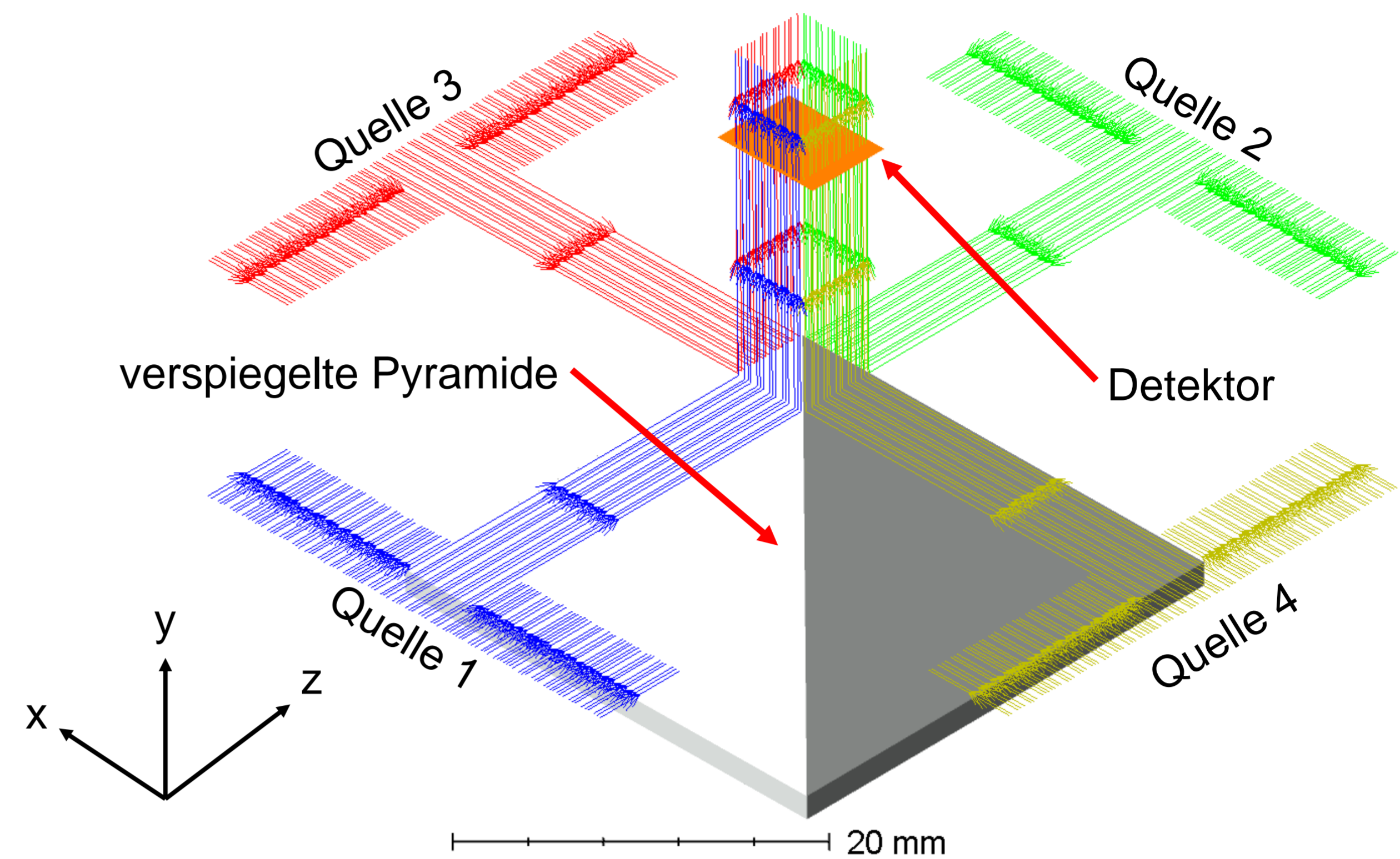


Abb. 1: Simulation des Aufbaus der Justagepyramide mit den vier Lichtschnittquellen.

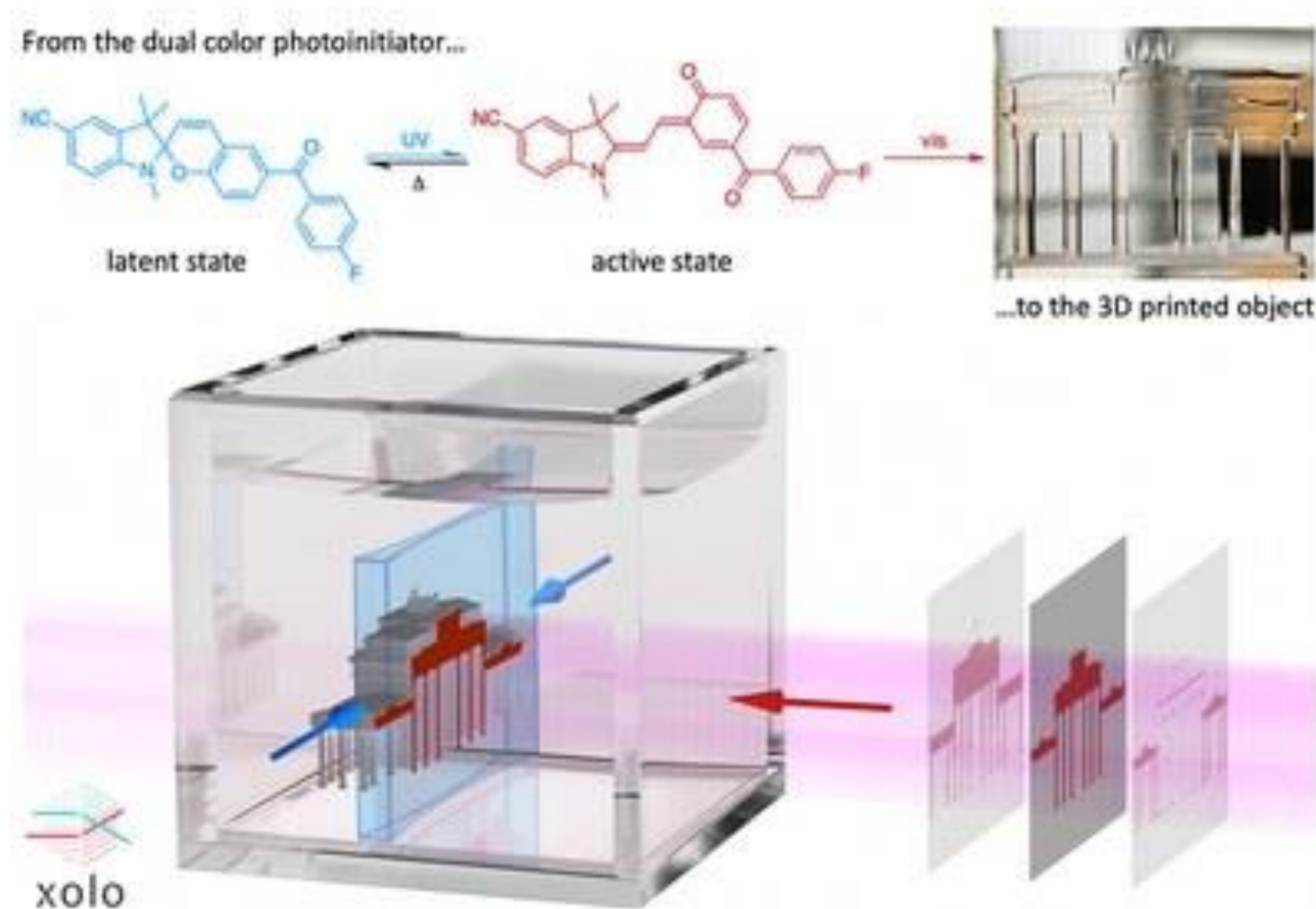


Abb. 2: Xolographie. Regehly, M., Garmshausen, Y., Reuter, M., König, N. F., Israel, E., Kelly, D. P., Chou, C.-Y., Koch, K., Asfari, B. and Hecht, S., "Xolography for linear volumetric 3D printing," Nature 588(7839), 620–624 (2020).

## Xolographie 3D-Polymerdruckverfahren

Die Xolographie ist ein harzbasiertes 3D-Polymerdruckverfahren unter Verwendung von zwei unterschiedlichen Wellenlängen. Bei der Xolographie wird eine dünne Schicht Fotoinitiator-moleküle durch Licht einer ersten Wellenlänge aktiviert. Die Aktivierung der Fotoinitiatoren erfolgt in der Lichtschnittebene. Das zu druckende 3D-Modell wird anhand eines Projektors einer zweiten Wellenlänge orthogonal auf die Lichtschnittebene projiziert. Durch diese Bildsequenzprojektion während der Bewegung des Harzvolumens entsteht das gewünschte 3D-Objekt. Nur die aktivierten Moleküle in der Lichtschnittebene bewirken die Polymerisation der aktuell beleuchteten Schicht.

## Toleranzanalyse: Wie beeinträchtigt die Lichtschnittebene das Druckergebnis?

Hohe Auflösung, homogene Intensität und kontrolliertes Gelieren sind für qualitativ hochwertigen 3D-Druck entscheidend.

Bei der Xolographie sollen die Lichtschnitte in der Lichtschnittebene in einer Breite von 70  $\mu\text{m}$  FWHM an der dünnsten Stelle überlagert werden, da ansonsten eine breitere Lichtschnittebene zu einer geringen Auflösung in der Z-Richtung führt und die Genauigkeit des Druckobjekts gemindert wird. Weiter entsteht durch eine Abweichung bei der Überlagerung der Lichtschnitte eine inhomogene Intensität im Photoharz, welche zu einer ungleichmäßigen Polymerisation führt und Defekte wie Verformungen und strukturelle Probleme im Objekt hervorruft. Wenn das Photoharz nicht gleichmäßig aushärtet, können darüber hinaus Spannungen und Verzerrungen auftreten, die die Funktionalität und Stabilität des gedruckten Objekts beeinträchtigen.

## Justagestrategie

Als Justageelement dient eine vierseitige verspiegelte Pyramide zwischen den vier Lichtschnitten. Mithilfe der Pyramide werden die vier Lichtschnitte jeweils um 90° nach oben umgelenkt, sodass alle Lichtschnitte gleichzeitig auf einem Detektor beobachtet werden können. Im idealem Justagezustand entsteht auf dem Detektor ein Quadrat.

## Auswertung des Detektorbildes

Die Variation des entstehenden Vierecks auf dem Detektor liefert Informationen über die Dejustage der Lichtschnitte. Jeder Lichtschnitt repräsentiert eine Seite des Vierecks. Das Viereck ist im idealen Zustand ein Quadrat mit gleicher Linienbreite der Seiten. Abb. 3 zeigt die Variation des Vierecks für einen dejustierten Lichtschnitt von Quelle 1 aus Abb. 1. Die Variationen werden für verschiedene Abweichungen dargestellt:

- Dezentrierung  $D_y$ : Linie wird um  $D_y$  verschoben, Linienlänge und die Position der Linie im Viereck ändert sich je nach Richtung von  $D_y$ ,
- Verkippung  $V_z$ : Rotation des Lichtschnitts, wodurch die Eckpunkte des Vierecks vom Ideal abweichen,
- Verkippung  $V_x$ : Höhenversatz auf der Pyramide, der nicht proportional zu  $V_x$  ist,
- Verkippung  $V_y$ : Lücke oder Überlappung zwischen den Seiten des Vierecks, Intensitätserhöhung durch Überlapp,
- Dezentrierung  $D_x$ : keinen Einfluss auf das Detektorbild, da der Lichtschnitt breiter als die Pyramide an der Auftreffstelle ist,
- Dezentrierung  $D_z$ : Fokusslage, hier vernachlässigbar.

Somit liefern diese Variationen des Vierecks wertvolle Informationen über die Dejustage der Lichtschnitte und ermöglichen eine Analyse und Justage des optischen Systems.

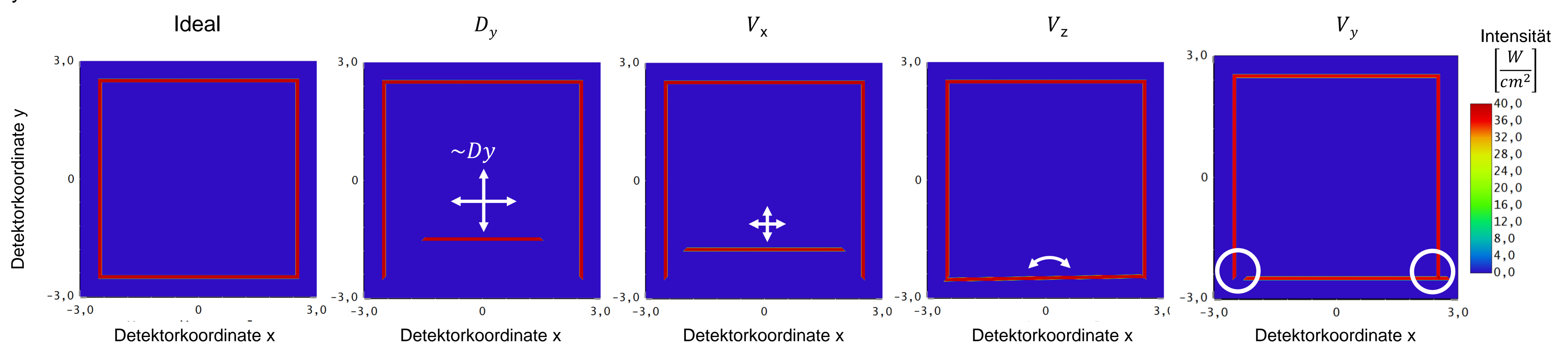


Abb. 3: Darstellung der Abweichungen des Lichtschnittes der ersten Quelle gegenüber der idealen Justage der übrigen Lichtschnitte: Höhenversatz  $D_y$ , Verkippung horizontal zur optischen Achse  $V_x$ , Drehung um die optische Achse  $V_z$  und Verkippung vertikal zur optischen Achse  $V_y$ .

