

Einzelphotonenquellen – Schlüsselkomponenten für die Quantenwelt

Stefan Pfenning, Michael Möckel, Thorsten Döhring

Fakultät Ingenieurwissenschaften, Technische Hochschule Aschaffenburg, Deutschland
mailto:thorsten.doehring@th-ab.de

Deutschland investiert stark in Quantentechnologien und möchte seine aktuelle Vorreiterrolle in diesem Markt behaupten. Einzelphotonenquellen werden als Schlüsselkomponenten vieler Quantentechnologien dabei zukünftig große Bedeutung erlangen. Dieser Beitrag gibt als Markt- und Technologiestudie einen Überblick über diese junge Hochtechnologiebranche.

1 Einführung

Im Studiengang "Internationales Technisches Vertriebsmanagement" werden an der Fakultät Ingenieurwissenschaften der Technischen Hochschule Aschaffenburg Vertriebsingenieure für den globalen Markt ausgebildet [1]. Diese Studie über Einzelphotonenquellen wurde im Rahmen einer Bachelorarbeit erstellt [2] und verdeutlicht beispielhaft die interdisziplinäre Ausbildung in diesem modernen Studiengang an der Schnittstelle von Markt und Technologie.

2 Patentsituation

Die Analyse der weltweiten Patentanmeldungen zum Thema Einzelphotonenquellen [Abb. 1] ergab, dass diese seit der ersten Anmeldung im Jahr 2000 nun auf über 100 Anmeldungen angewachsen sind. Hierbei ist zu berücksichtigen, dass zum Redaktionsschluss im Juni 2019 wahrscheinlich noch nicht alle in 2017 und 2018 eingereichten Patentanmeldungen auch bereits offengelegt waren.

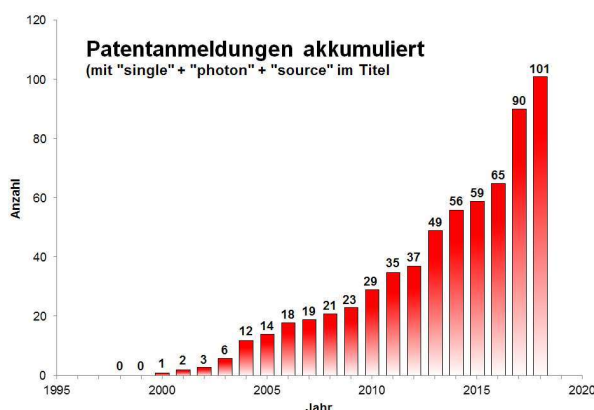


Abb. 1: Zeitliche Entwicklung der Patentanmeldungen zu Einzelphotonenquellen (weltweit bis einschl. 2018).

3 Technologien zur Einzelphotonenerzeugung

Verschiedene Verfahren werden für Einzelphotonenquellen verwendet [3]. Mehrere physikalische Prinzipien zur Einzelphotonenerzeugung sind in der folgenden Zusammenstellung aufgelistet.

- Parametrische Fluoreszenz (engl. Spontaneous Parametric Down Conversion)
- Vier-Wellen-Mischung in optischen Fasern
- Farbzentren (meist Stickstoffvakanzstellen in Diamant)
- Atome oder Ionen in optischen Fallen
- Einzelne Moleküle
- Kolloidale Quantenpunkte und epitaxiale Quantenpunkte
- Ensembles von Cs- oder Rb-Atomen

4 Veröffentlichungen zu Einzelphotonenquellen

Eine Analyse der in der Datenbank „Web of Science (WoS)“ gelisteten wissenschaftlichen Veröffentlichungen zu Einzelphotonenquellen ergab, dass zu diesem Thema seit 1994 publiziert wurde [Abb. 3]. Bis zum Jahr 2018 ist die Zahl der wissenschaftlichen Veröffentlichungen recht kontinuierlich auf bereits über 100 Publikationen pro Jahr angestiegen. Durch die weltweiten Investitionen in die Erforschung von Quantentechnologien wird eine weiterhin steigende Publikationsrate auf diesem Gebiet prognostiziert.

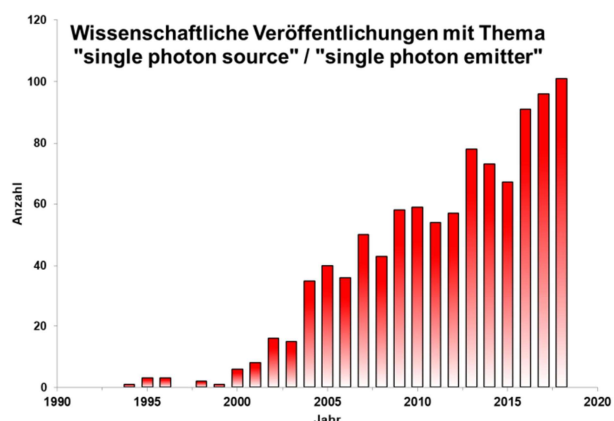


Abb. 2: Zeitliche Entwicklung der wissenschaftlichen Publikationen zu Einzelphotonenquellen

Eine detailliertere Analyse der Länderzugehörigkeit der Autoren dieser Veröffentlichungen [Abb. 4] zeigt, dass sich Deutschland, die USA und China bei Veröffentlichungen zu Einzelphotonenquellen

im internationalen Vergleich in der Spitzengruppe befinden.

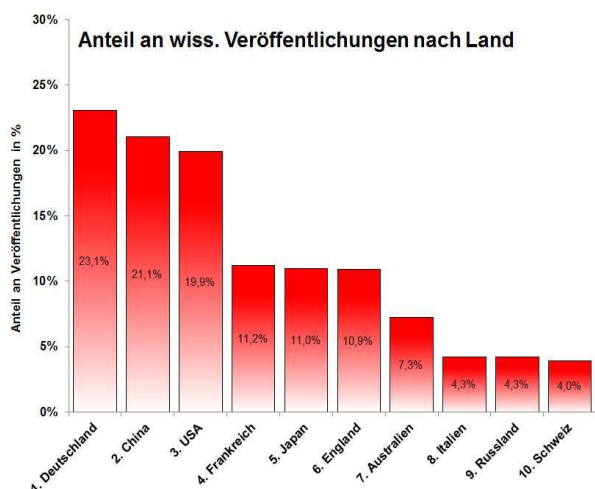


Abb. 3: Auflistung der wissenschaftlichen Veröffentlichungen nach Länderzugehörigkeit der Autoren.

5 Anwendungsgebiete

Einzelphotonenquellen für moderne Quantentechnologien finden überwiegend in den folgenden drei Gebieten Anwendung.

- Quantenkommunikation (besonders in der Quantenschlüsselverteilung)
- Quantencomputer und Quantensimulation
- Quantenmetrologie

6 Kommerzielle Akteure

Hersteller von Einzelphotonenquellen (EPQ) stammen oft aus dem universitären Umfeld. Häufig werden die Quellen für eigene Versuche in den Universitätslaboren selbst hergestellt. Der Markt für Einzelphotonenquellen ist derzeit noch ein Nischenmarkt und es gibt bislang nur wenige kommerzielle Anbieter. Die identifizierten kommerziellen Anbieter in Europa sind in der folgenden Zusammenstellung aufgelistet [Tab. 1].

Unternehmen mit EP-Technologie	Land	Produkte
Quandela	FRA	EPQ auf Halbleiterquantenpunkt-Basis
Sparrow Quantum	DNK	EPQ auf Halbleiterquantenpunkt-Basis
Single Quantum	NDL	EPQ
Qutools	DEU	Einzelphotonenemittercharakterisierung, Zeit-korrelierte Einzelphotonendetektoren, Verschränkte Photonenpaarquellen
Aurea Technologie	FRA	Photonenpaarquellen
id Quantique	CH	Quantenschlüsselverteilung, Einzelphotonendetektoren
PicoQuant GmbH	DEU	Zeit-korrelierte EP-Detektoren, Messsysteme für Quantenkorrelation, Quantenschlüsselverteilung

Tab. 1: Liste kommerzieller Lieferanten von Einzelphotonenquellen

7 Zusammenfassung und Ausblick

Deutschland investiert stark in Quantentechnologien und möchte seine aktuelle Vorreiterrolle in diesem Markt behaupten. Einzelphotonenquellen werden als Schlüsselkomponenten vieler Quantentechnologien dabei zukünftig große Bedeutung erlangen. Dieser Beitrag gibt als Markt- und Technologiestudie einen Überblick über diese junge Hochtechnologiebranche, mit besonderem Fokus auf Deutschland. Hierzu wurden die Technologien für Einzelphotonenquellen aufgezeigt, die Anzahl der einschlägigen wissenschaftlichen Veröffentlichungen analysiert, sowie die wichtigsten Marktteilnehmer und die wesentlichen Anwendungen vorgestellt.

Es ist davon auszugehen, dass mit der weiteren Entwicklung viele Anwendungen und Märkte neu erschlossen werden, beziehungsweise Veränderungen erfahren werden. Die Breite der möglichen Märkte umfasst hierbei Rechenzentren, die Bereiche Pharmazie, Chemie und Medizin, aber auch das Finanzwesen und Regierungen [4] [5]. Für den langfristigen Erfolg von Quantentechnologien und damit von Einzelphotonenquellen in Deutschland ist es notwendig, dass der Übergang von der Forschung zur kommerziellen Anwendung in der Industrie gelingt. Darauf arbeiten derzeit sowohl die Forschung, als auch die Bundesregierung und zahlreiche Unternehmen hin.

Danksagung

Besonderer Dank gilt den im Rahmen der Recherche zur Bachelorarbeit kontaktierten Experten aus Forschung und Wirtschaft, insbesondere Dr. Tobias Heindel, Dr. Andreas Pfenning und Dr. Henning Weier.

Literatur

[1] Thorsten Döhring, Ludger Schneider-Störmann, Sylvana Krauß: „Der Studiengang Internationales Technisches Vertriebsmanagement an der Hochschule Aschaffenburg – Ausbildung von Vertriebsingenieuren für einen globalen Markt“, in: Angela Ittel, Anja Meyer N. Pereira (Hg.): „Internationalisierung der Curricula in den MINT-Fächern“, wbv Publikation, Bielefeld 2018, S. 161-170

[2] Stefan Pfenning: „Anwendungen, Technologien und potentielle Märkte für Einzelphotonenquellen mit Fokus Deutschland“, Bachelorarbeit an der Hochschule Aschaffenburg, November 2018

[3] M. D. Eisaman, J. Fan, A. Migdal, S.V. Polyakov: „Single-photon sources and detectors“, Rev. Sci. Instrum. 82, 07110, 2011

[4] Bundesministerium für Bildung und Forschung: „Quantentechnologien - von den Grundlagen zum Markt,“ 2018

[5] European Commission: „European Quantum Flagship Community Organization Terms of Reference,“ 2018