

## Projekt

### Einzelvorhaben: Photonenanzahl-auflösende und Totzeit-freie RTD-Einzelphotonendetektion (Photon-N)

Koordinator:

Prof. Dr. Sven Höfling  
Julius-Maximilians-Universität Würzburg  
Am Hubland  
97074 Würzburg  
Tel.: +49 931 31-83613  
E-Mail: sven.hoefling@physik.uni-wuerzburg.de

Projektvolumen:

ca. 349.000 € (Förderquote 100%)

Projektlaufzeit:

01.04.2019 – 31.12.2021

Projektpartner:

➔ Julius-Maximilians-Universität Würzburg

### Wissenschaftliche Vorprojekte – Erkenne die Anfänge: Wer frühzeitig innovative Ideen testet, ist später ganz vorn dabei!

Grundlage technologischer Innovationen sind der Entdecker- und Erfindergeist des Menschen. Die naturwissenschaftliche Grundlagenforschung erschließt der menschlichen Erkenntnis permanent vormals unbekannt und unverstandene Wirkungsweisen der Natur. Viele dieser naturwissenschaftlichen Erkenntnisse lassen sich für technische Zwecke nutzen. Mit der Förderinitiative „Wissenschaftliche Vorprojekte (WiVoPro)“ innerhalb der Förderprogramme „Photonik Forschung Deutschland“ sowie „Quantentechnologien – von den Grundlagen zum Markt“ verfolgt das Bundesministerium für Bildung und Forschung das Ziel, diejenigen neuen Erkenntnisse aufzugreifen, die mittelfristig eine Verwertbarkeit für neue Technologien versprechen. Beispiele hierfür sind die Quantenoptik oder photonische Metamaterialien, die gerade beginnen, der reinen Grundlagenforschung zu entwachsen und Potenziale für konkrete Anwendungen aufzeigen.

Neue Ergebnisse der Grundlagenforschung sind hinsichtlich ihres späteren Marktpotenzials oft kaum zu beurteilen. Es besteht somit die Notwendigkeit, durch wissenschaftlich-technische Vorarbeiten eine Grundlage zu schaffen, die eine Bewertung ermöglicht, welches Potenzial in der neuen Erfindung bzw. der neuen wissenschaftlichen Erkenntnis tatsächlich steckt. Oft muss dabei schnell reagiert werden, denn je früher den interessierten Unternehmen die Bedeutung des neuen Themas plausibel gemacht werden kann, desto eher werden diese in das neue Thema investieren und versuchen ihre Marktchancen zu nutzen.

Wissenschaftliche Vorprojekte leisten somit einen wichtigen Beitrag zu einem schnellen Transfer neuer wissenschaftlicher Erkenntnisse in innovative Produkte.

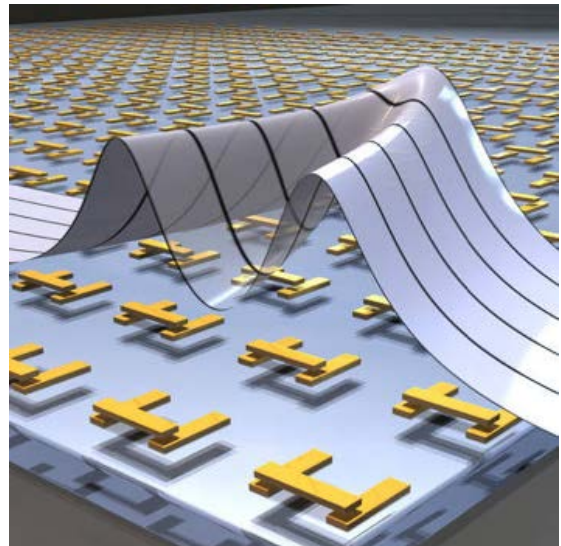


Bild 1: Photonische Metamaterialien (Quelle: Universität Stuttgart)

## Einzelnen Photonen auf der Spur

Aktuell vollzieht sich eine enorme Entwicklung der Quantentechnologien von Forschungsergebnissen hin zu realen Anwendungen. Besonders vielversprechend für zukünftige Anwendungen sind dabei optische Verfahren, die einzelne Lichtteilchen (Photonen) als Informationsträger nutzen. Konkrete Anwendungen sind vielseitig und reichen von Einzelmolekülspektroskopie und Fluoreszenzlebensdauer-Bildgebung in den Lebenswissenschaften bis zu optischem Quanten-Computing in integrierten photonischen Schaltkreisen. Unabhängig vom Anwendungsszenario ist es unerlässlich, einzelne Photonen gezielt erzeugen und detektieren zu können. Performante Einzelphotonen-Emitter und Einzelphotonendetektoren zählen daher zu den zukünftigen Schlüsselkomponenten. Besonders herausfordernd ist es, die genaue Photonenanzahl innerhalb eines Lichtpulses zu bestimmen.

Herkömmliche Einzelphotonendetektoren wie Lawinendurchbruch-Photodioden, oder supraleitende Nanodraht-Einzelphotonendetektoren sind sogenannte „Klick“-Detektoren, welche auf Pulse von einem oder mehreren Photonen reagieren. Hierbei wird beispielsweise ausgenutzt, dass die Absorption eines Photons den Supraleiter lokal über die Sprungtemperatur erwärmt und es zu einem Zusammenbruch der Supraleitung kommt. Die genaue Photonenzahl lässt sich mit ihnen jedoch nicht, beziehungsweise nur indirekt über Umwege abbilden. Zudem leiden unter einer Totzeit, da der Detektor nach erfolgreicher Detektion zunächst wieder in den Ausgangszustand zurückgesetzt werden muss.

Der im Projekt verfolgte, innovative Ansatz erlaubt Photonenzahl-auflösende und totzeit-freie Photonendetektion bei vergleichsweise hohen Temperaturen und Quanteneffizienzen. Bisherigen Detektortechnologien fehlt jedoch in der Regel mindestens eine dieser Qualifikationen.

## Halbleiter-Resonanztunneldioden zählen Photonen

Im Projekt werden so genannte Resonanztunneldioden (RTD) als Photonenzahl-auflösende Einzelphotonendetektoren untersucht. Dabei wird ausgenutzt, dass der elektrische Strom äußerst sensitiv auf Änderungen der lokalen elektrischen Spannung anspricht. Solch eine Änderung wird beispielsweise durch die Bestrahlung mit Licht hervorgerufen. Durch entsprechende Nanostrukturierung der Halbleiterschichten ist es möglich, Licht bis an die Quantengrenze, d.h. einzelne Photonen, zu detektieren. Sichtbar wird dies durch den stufenförmigen Anstieg des Stroms, wobei die Höhe proportional zur Anzahl der Photonen im Lichtpuls ist.

Im Erfolgsfall wird dadurch eine schnellere und effizientere Detektion einzelner Photonen möglich. Der Betrieb bei höheren Temperaturen erleichtert zudem die Einsatzfähigkeit. Die erforschte Detektortechnologie stellt somit eine wichtige Schlüsselkomponente der optischen Quantentechnologien dar.

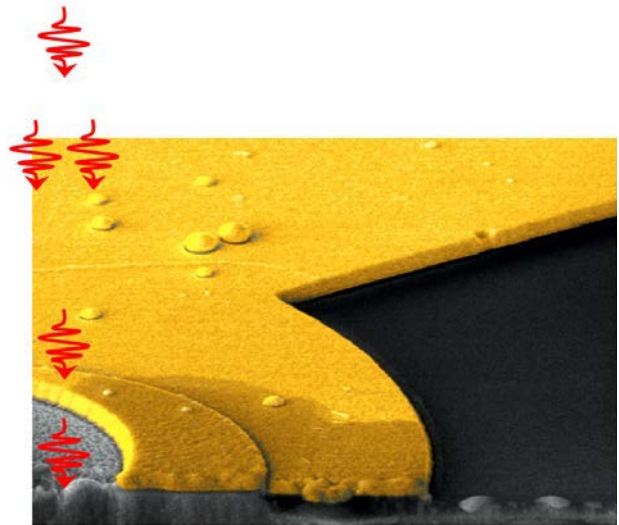


Bild 2: In Resonanztunneldioden (Elektronenmikroskopie Abbildung oben) wird der Strom mittels photogenerierter Ladungsträger gesteuert. Da Licht (Photonen) und Ladung (Elektronen) quantisiert sind, kommt es zur diskreten, stufenförmigen Änderung des Stroms. (Quelle: Lehrstuhl für Technische Physik, Julius-Maximilians-Universität Würzburg)