

# Umwandlung gepulster Laserstrahlung in kontinuierliche Strahlung

S. Winter, T. Fey, I. Kröger

Physikalisch-Technische Bundesanstalt, Braunschweig  
<mailto:Stefan.Winter@ptb.de>

In dieser Arbeit wird eine universelle, im Nachhinein überraschend einfache Methode beschrieben, mit der die Pulse gepulster Strahlungsquellen ausreichend hoher Repetitionsrate in un gepulste Strahlung umgewandelt werden.

## 1 Einführung

In weiten Bereichen der optischen Messtechnik ist der Einsatz von Lasern für quantitative Messungen dadurch behindert, dass nur gepulste Laserstrahlung in ausreichender Leistung und spektraler Durchstimmbarkeit vom UV-C bis ins mittlere IR vorhanden ist. In vielen wirtschaftlich bedeutenden Bereichen der Radiometrie wie der Photovoltaik oder der Photometrie sind für eine Reduzierung der Messunsicherheit kräftigere Strahlungsquellen erforderlich [1]. Denn damit können *gleichzeitig* eine hohe spektrale Auflösung, eine homogene Ausleuchtung und ein gutes Signal-Rausch-Verhältnis erreicht werden. Mit den traditionellen Strahlungsquellen wie Xenon- oder Halogenlampen lassen sich keine signifikanten Verbesserungen mehr erzielen. Cw-Laser bieten nicht in allen Wellenlängenbereichen hohe Strahlungsleistungen und bereiten zudem aufgrund ihrer ausgeprägten Kohärenz Probleme in Form von Speckle- und Interferenzstrukturen. Diese Probleme treten bei modengekoppelten gepulsten fs-Lasersystemen oder Superkontinuumsstrahlern aufgrund der kurzen Pulsdauern im fs-Bereich und der damit verbundenen Linienverbreiterung nicht auf. Während die kurze Pulsdauer und die damit verbundenen hohen Spitzenleistungen für die Erzeugung der Laserstrahlung mittels nichtlinearer optischer Effekte erwünscht bzw. unabdingbar ist, ist sie bei quantitativen Messungen unerwünscht, da sie zu Messfehlern führen kann. Denn das extrem geringe Puls-Pausen-Verhältnis von  $10^{-5}$  kann bei den zu untersuchenden Detektoren zu Sättigungseffekten und in der Folge zu einem nichtlinearen Verhalten führen.

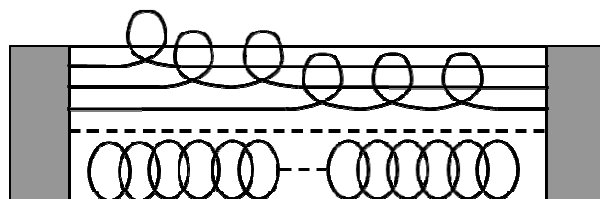
## 2 Ansatz

Es wird jeder Puls in viele kleine Teilpulse aufgeteilt, die auf unterschiedlich langen Wegstrecken unterschiedliche Laufzeiten besitzen, sodass sie anschließend zeitlich gleichmäßig verteilt am Ausgang ankommen. Realisiert wird dieser Puls-zu-cw-Konverter mit einem Glasfaserbündel bei dem jede Einzelglasfaser eine individuell festgelegte Länge besitzt (s. Abb. 1). Bei vollautomatisch durchstimmbaren fs-Lasern mit einer üblichen

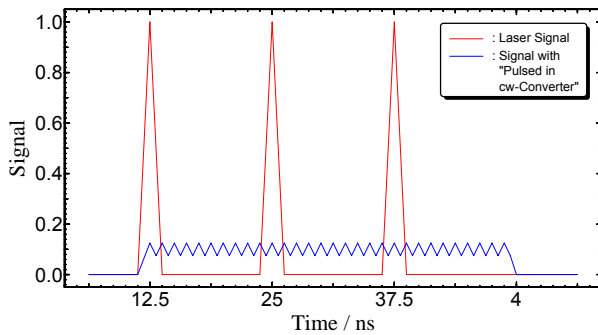
Repetitionsrate von 80 MHz werden die Pulse in einem Takt von 12,5 ns generiert. Während dieser Zeit bewegt sich das Licht 3,75 m im Vakuum und bei einer Brechzahl von 1,45 gut 2,5 m. Die Längendifferenz zwischen der längsten (Index N-1) und kürzesten Faser (Index 0) beträgt folglich ungefähr 2,5 m. Im realisierten Aufbau werden 100 Multimodefasern mit einem Kerndurchmesser von jeweils 100  $\mu\text{m}$  benutzt. Um eine hohe Packungsdichte zu erzielen werden die 100 Einzelfasern am Anfang und Ende der Strecke ohne Mantel zusammengeschmolzen, sodass der Gesamtdurchmesser 1 mm beträgt. Die am Ausgang erhaltene Repetitionsrate beträgt dann 8 GHz.

Bei dem gewählten Aufbau bewegt sich das Licht im Vakuum zwischen zwei Pulsen ca. 2,5 cm in der Faser und 3,75 cm im Vakuum. Durch Dispersion in der Faser und durch unterschiedliche Wegstrecken innerhalb des Monochromators werden die Pulse soweit verbreitert, dass die Laserstrahlung letztendlich kontinuierlich auf der Probe ankommt (s. Abb. 2).

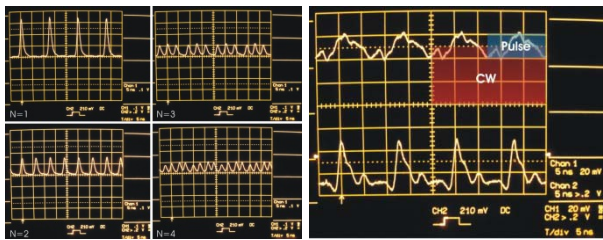
Weitere Optimierungen wären möglich: Durch etwas geringere Längendifferenzen bei den längeren Fasern könnte deren größere Dämpfung ausgeglichen werden, insbesondere wenn bei anderen Lasern mit geringeren Repetitionsraten größere Längendifferenzen zwischen kürzester und längster Faser erforderlich sind. Prinzipiell ist es möglich, zwei Puls-zu-cw Konverter zu kaskadieren.



**Abb. 1** Schematischer Aufbau des Puls-zu-cw Konverters. Die Längendifferenz zwischen der kürzesten und der längsten Faser beträgt ungefähr 2,5 m, abhängig von der Brechzahl der Glasfaser.



**Abb. 2** Prinzipieller Signalverlauf mit und ohne Puls-zu-cw Konverter



**Abb. 3** Demonstration des Puls-zu-cw Konverters mit einer, zwei, drei, vier und 100 Fasern.



**Abb. 4** Foto des Puls-zu-cw Konverters.

### 3 Ergebnisse

Das erhaltene Signal des Puls-zu-cw Konverters wurde für verschiedene Konfigurationen mit einem Oszilloskop aufgenommen (s. Abb. 3). Man sieht deutlich die mit zunehmender Zahl von Fasern besser werdende Konstanz des Signals. Mit dem fertig aufgebauten Puls-zu-cw Konverter (s. Abb. 4) wird ein cw-Anteil von 80 % erreicht (s. Abb. 3, rechte Seite). Durch eine gleichmäßigere Ausleuchtung der Einzelfasern soll dieser Anteil noch erhöht werden. In dem Messaufbau zu Kalibrierung von Solarzellen und anderen Empfängern [1] werden zwei Puls-zu-Konverter eingesetzt. Einer mit UV-optimierten Faser und einer mit IR-optimierten Fasern, sodass insgesamt der Wellenlängenbereich von 210 nm bis 2000 nm überstrichen werden kann. Diese beiden Puls-zu-cw Konverter werden mit Hilfe von Verschiebetischen wellenlängenabhängig computergesteuert ausgetauscht.

### 4 Zusammenfassung

In diesem Beitrag wurde eine universelle Methode vorgestellt mit der die Pulse gepulster Strahlungsquellen ausreichend hoher Repetitionsrate in ungepulste Strahlung umgewandelt werden. Dazu wird jeder Puls in viele kleine Teilpulse aufgeteilt, die auf unterschiedlich langen Wegstrecken unterschiedliche Laufzeiten besitzen, sodass sie anschließend zeitlich gleichmäßig verteilt am Ausgang ankommen. Realisiert wird dieser Puls-zu-cw-Konverter mit einem Glasfaserbündel bei dem jede Einzelglasfaser eine individuell festgelegte Länge besitzt. Mit der Entwicklung eines Puls-zu-cw-Konverters wurde das entscheidende Manko beim Einsatz leistungsstarker fs-Lasersysteme im Bereich der Metrologie beseitigt.

Mit der Entwicklung eines Puls-zu-cw - Konverters wurde das entscheidende Manko beim Einsatz leistungsstarker fs-Lasersysteme im Bereich der Metrologie beseitigt. Die Neuentwicklung ist der Schlüssel, um endlich auf breiter Front herkömmliche Monochromatorsysteme durch fs Lasersysteme zu ersetzen, die eine bis zu 1000-mal höhere spektrale Ausgangsleistung besitzen. Dadurch können für wirtschaftlich bedeutende Bereiche wie die Photovoltaik, die Photometrie, die UV-Strahlungsmesstechnik und die Reflektometrie die Referenz- und Transfornormale mit einer deutlich reduzierten Messunsicherheit kalibriert werden. Bislang sind hier die wesentlichen Messunsicherheitskomponenten durch eine zu geringe monochromatische Strahlungsleistung bedingt. Als konkrete Anwendung wird zurzeit mit einem fs-Lasersystem und Puls-zu-cw - Konverter ein vollständig automatisierter Messplatz zur hochgenauen spektralen Kalibrierung von Referenzsolarzellen, Photometern und UV-Empfängern aufgebaut. Bei großflächigen Referenzsolarzellen wird sich die Messunsicherheit von 1,6 % auf voraussichtlich 0,6 % reduzieren lassen, bei kleineren Referenzsolarzellen auch auf Unsicherheiten unter 0,5%. Denkbar sind aber auch Anwendungen in der Chemie, Biologie oder Medizin, wenn eine hohe mittlere Bestrahlungsstärke erforderlich ist, aber hohe Spitzenleistungen zu einer Verfälschung der quantitativen Ergebnisse oder sogar Zerstörung der Probe führen würde.

### Literatur

- [1] S. Winter, et al: „Laser-DSR: Hochgenaue spektrale Kalibrierung von Empfängern mit Hilfe von Laserstrahlung“ in: DGaO Proceedings 2013