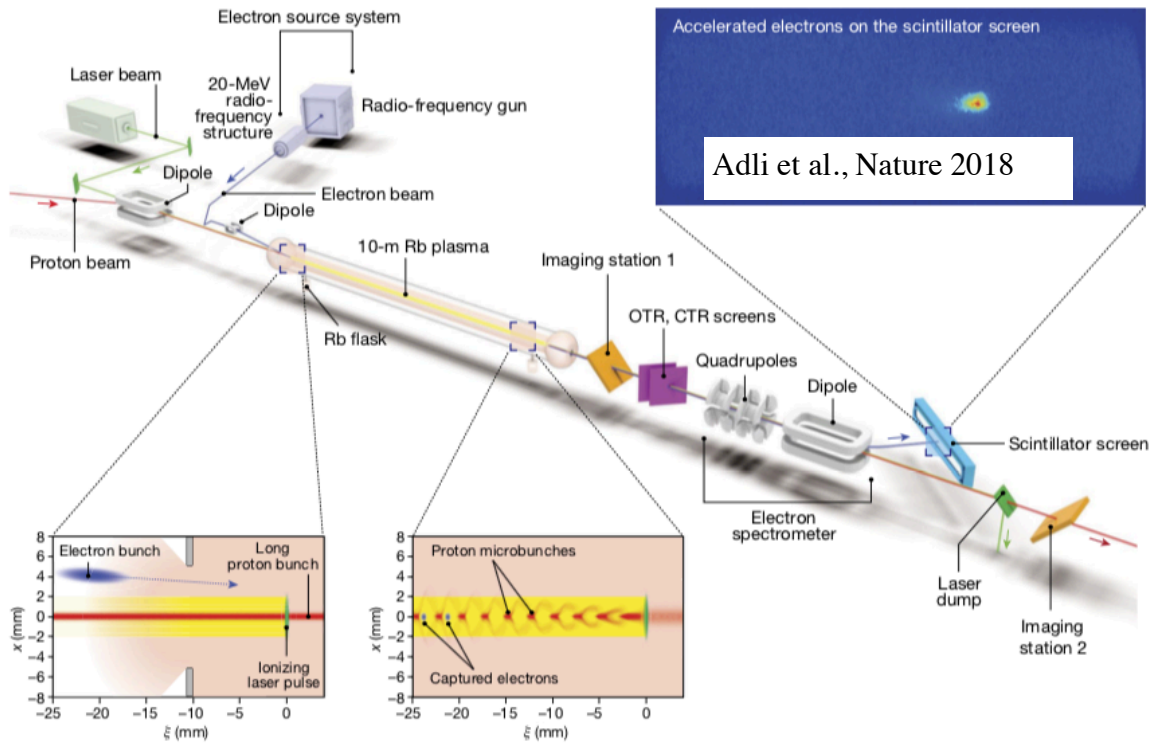


# Visualizing the plasma accelerator AWAKE at CERN using THz radiation



The Advanced Wakefield (AWAKE) experiment at CERN employs high-intensity proton bunches (400 GeV) to drive wake fields compared to intense laser fields (LWFA) to accelerate electrons to very high energies. Here long and thin proton bunches are used and they undergo a process called self-modulation (a particle-plasma interaction that splits the bunch longitudinally into a series of high-density micro-bunches), which then act resonantly to create large wake fields. Electron bunches are then injected into this wakefield which are then accelerated up to several GeV[1-3]. Optical probing technique using a secondary weaker short optical pulse is employed to visualize the plasma wakes [5]. In laser driven wakefields, the plasma density is high ( $10^{19}/\text{cm}^3$ ) enough to be probed with optical pulses. However, at AWAKE, the plasma density is several orders of magnitude lower ( $10^{14}$ - $10^{15}/\text{cm}^3$ ), hence the refractive index for optical light will be very small due to the lower plasma density resulting in lower sensitivity. Here the wavelength of the plasma wave is in the millimeter range ( $\sim 0.1$ -  $0.3$  THz) and hence longer wavelength probes are required. This requires shadowgraphic imaging in the THz spectral range.

At the Helmholtz Institute Jena, we have been developing state-of-the-art THz sources and diagnostic for a wide range of applications[5-7]. The goal of this project is to develop a THz based plasma imaging diagnostic module for the implementation at the AWAKE experiment at CERN. To be an active member of this project, we look for highly motivated students with good background in nonlinear optics, electromagnetism and basic scientific programming skills and enthusiasm to learn about advanced techniques in experimental physic.

**Contact:** Dr. Amrutha Gopal - Room no.:418 D, MaxWien Platz 1,  
Email: [amrutha.gopal@uni-jena.de](mailto:amrutha.gopal@uni-jena.de) Ph: 947210

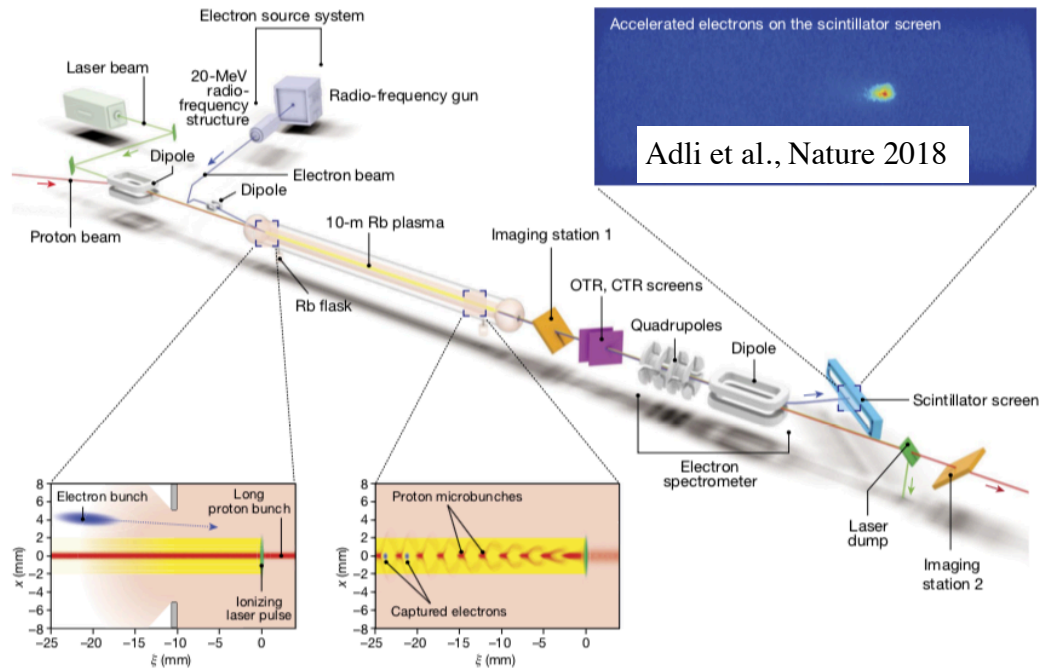
Dr. Christian Rödel, Room No: D216, Helmholtz Institute Jena, Fröbelstieg 3  
Email:[christian.roedel@uni-jena.de](mailto:christian.roedel@uni-jena.de) Ph:947610

## Bachelor / Master / PhD Thesis

### References:

1. E. Adli *et al.*, *Nature*, **561**, 363 (2018) [and references therein]
2. A. Pukhov, *et al.*, *Phys. Rev. Lett.* **107**, 145003 (2011).
3. A. Caldwell *et al.*, Path to AWAKE: evolution of the concept. *Nucl. Instrum. Methods A* **829**, 3–16 (2016)
4. Buck *et al.*, *Nature Physics*, **7**, 543 (2011)
5. A. Gopal *et al.*, *Phys. Rev. Lett.* **111**, 074802 (2013)
6. A. Woldegeorgis *et al.*, *Optica*, **21** (2018)
7. A. Woldegeorgis *et al.*, *J Infrared Milli Terahertz Waves* **39**:667–680, (2018)

# Visualisierung des Plasmabeschleunigers AWAKE am CERN mit THz-Strahlung



Das Advanced Wakefield (AWAKE) - Experiment am CERN verwendet hochintensive Protonenbündel (400 GeV) im Gegensatz zu intensiven Laserfeldern, um Kiefeld-Beschleunigung (engl. "wakefield acceleration") anzutreiben. In diesen Kiefeld-Beschleunigern können Elektronen auf sehr hohe Energien beschleunigt werden. Lange und dünne Protonenbündel werden im AWAKE Experiment moduliert, sodass die Protonen-Bündel in Längsrichtung in eine Reihe von Mikrobündeln mit hoher Dichte aufspaltet werden. Diese wirken dann resonant mit dem Plasma und können sehr große beschleunigende Felder im Kiefeld erzeugen. Die Elektronen, die in diese Kiefelder eingebracht werden, können auf mehrere GeV beschleunigt werden [1-3]. Unser neuer Ansatz ist es nun, diese Kiefelder mit ultrakurzen Lichtpulsen im THz-Bereich zu visualisieren und zu untersuchen. Beim AWAKE Experiment ist die Plasmadichte relativ gering ( $10^{14}$ - $10^{15}/\text{cm}^3$ ) und mehrere Größenordnungen niedriger als bei den Experimenten mit Hochintensitätslasern, bei denen man optische Pulse zur Visualisierung des Plasmas nutzen kann. Beim AWAKE Experiment ist der Brechungsindex des Plasmas für optisches Licht sehr gering ist und man muss THz verwenden, um eine hohe Empfindlichkeit zu erzielen.

Am Helmholtz-Institut Jena entwickeln wir modernste THz-Quellen und THz-Diagnostik für ein breites Anwendungsspektrum [5-7]. Ziel dieses Projekts ist es, ein auf THz basierendes Plasma-Diagnosemodul für die Implementierung am AWAKE-Experiments am CERN zu entwickeln. Studenten werden in eine internationale Kollaboration mit Forschern vom Max-Planck-Institut für Physik in München und vom CERN eingebunden. Wir suchen motivierte Studenten mit Talent für Physikexperimente und, wenn möglich, Kenntnissen in Nichtlinearer Optik sowie Programmierkenntnissen (Matlab, Python, Labview, etc). Am Wichtigsten ist es allerdings, mit Begeisterung fortgeschrittene Techniken der experimentellen Physik erlernen zu wollen. Wir würden uns freuen, euch dieses spannende Projekt vorstellen zu können.

Interessierte Studenten können sich gerne melden bei: Dr. Amrutha Gopal - Room no:418 D, MaxWien Platz 1, Email: [amrutha.gopal@uni-jena.de](mailto:amrutha.gopal@uni-jena.de) Ph: 947210

Dr. Christian Rödel, Room No: D216, Helmholtz Institute Jena, Fröbelstieg 3  
Email: [christian.roedel@uni-jena.de](mailto:christian.roedel@uni-jena.de) Ph:947610

## Bachelor / Master / PhD Thesis

### References:

1. E. Adli *et al.*, *Nature*, **561**, 363 (2018) [and references therein] 2. A. Pukhov, *et al.*, *Phys. Rev. Lett.* **107**, 145003 (2011).
2. A. Caldwell *et al.*, Path to AWAKE: evolution of the concept. *Nucl. Instrum. Methods A* **829**, 3–16 (2016)
3. Buck *et al.*, *Nature Physics*, **7**, 543 (2011)
4. A. Gopal *et al.*, *Phys. Rev. Lett.* **111**, 074802 (2013)
5. A. Woldegeorgis *et al.*, *Optica*, **21** (2018)
6. A. Woldegeorgis *et al.*, *J Infrared Milli Terahertz Waves* **39**:667–680, (2018)