

„Challenge the Quantum Technologies
- Wettbewerb zur Lösung realer Herausforderungen durch Quantentechnologien“

Quantum^{BW}-Programmlinie
„Anwendungsdemonstratoren“,
Maßnahme „Transfer-Booster Challenge“

Nutzer-Challenges

Inhalt

Challenge No 12

Challenge No 23

Challenge No 34

Challenge No 45

Challenge No 56

Challenge No 67

Challenge No 79

Challenge No 811

Challenge No 912

Challenge No 10.....13

Challenge No 1114

Challenge No 12.....15

Challenge No 13.....16

Einreichungsfrist Forschungs- und Entwicklungsvorhaben: 08.11.2026
Antragsunterlagen: <https://mwk.baden-wuerttemberg.de/de/service/ausschreibungen>
Start Forschungs- und Entwicklungsvorhaben: 01.03.2027

Gefördert durch:
 **Baden-Württemberg**
 **Ministerium für Wissenschaft,**
 **Forschung und Kunst**

Challenge No 1

Q-CAUSAL: Eigenzeit-Pässe für resiliente Satelliten-Quantennetze Quantenzeit nur nutzen, solange ihre Gültigkeit nachvollziehbar belegt ist.

QT-Bereich: Quantennetzwerke

Ziel und Anforderung	Technische Spezifikation(en)	Verfügbare Ressourcen
Binnen zwölf Monaten soll ein Demonstrator Zeitvergleichsergebnisse nicht nur berechnen, sondern als befristet nutzbare Dienste freigeben. Ein maschinenprüfbarer „Eigenzeit-Pass“ dokumentiert Referenz, lokale Zeitintervalle, tatsächlich eingetroffene Nachrichten, Quantenmessnachweis, Fehlerbudget und Ablaufbedingung. Ohne ausreichende Evidenz erfolgt keine Freigabe. Die mutige Forschungsfrage: Kann ein gemeinsames, kausal fortgeschriebenes Geometrieregister mehr nutzbare Quantenzeitdienste ermöglichen als eine gleich gut kalibrierte Standardsteuerung, ohne das Fehlerfreigaberisiko zu erhöhen? Ziel ist eine neue Integritätsschicht, nicht lediglich eine genauere Uhr. Geliefert werden Steuerungssoftware, unabhängiger Pass-Prüfer, Satelliten-Netzsimulation, Anbindung an einen vorhandenen realen Quantenlink und ein reproduzierbarer Abnahmedatensatz. Gleichwertige Lösungen bleiben zugelassen; weder ein bestimmter Anbieter noch TRQC/gTRQC wird als allein zulässiger Lösungsweg vorgeschrieben.	1. Dienst und Geltungsbereich. Ein Dienst vergleicht zwei Knotenuhren relativ zu einer festgelegten Referenz. Ausgegeben werden Uhrendifferenz, Unsicherheit in Sekunden und ein lokales Gültigkeitsintervall. Absolute Zeit und Position sind ohne zusätzliche Referenzen nicht bestimmbar. Eine vollständige Satellitennavigation wird in dieser Challenge nicht versprochen. 2. Relativistischer Referenzfall. Der digitale Zwilling umfasst zunächst drei, anschließend sechs Knoten: Bodenstationen und modellierte Satelliten in 400–2.000 km Höhe. Lichtlaufzeiten, Bewegung, gravitative Frequenzverschiebung und Erdrotation werden konsistent aus deklarierten Bahnen und einem terrestrischen Schwachfeldmodell berechnet. Eigenzeit bezieht sich auf Knotenuhren, nicht auf Photonen. 3. Weiterentwicklung der Geometrieregister. Ein gemeinsames endliches Register hält kalibrierte Geometrie-, Uhren- und Kanalszenarien samt linkübergreifenden und zeitlichen Korrelationen fest. Testfrage: Können gleiche gemittelte Linkgüten bei anderer Raumzeitgeschichte unterschiedliche Dienstfreigaben erfordern? Lokale Kanäle werden auf das Register konditioniert; nur eingetroffene Rückmeldungen dürfen es aktualisieren. Im Referenzfall bleibt das Register diagonal und klassisch gespeichert. Die neue Registeranwendung setzt keine quantisierte Raumzeit voraus. 4. Physikalische Trennung. Latente Winkeldefizit-Krümmung aus ist nicht die Raumzeitkrümmung des Erdmodells. Die Abbildung auf messbare Kanalparameter muss gesondert kalibriert werden. Diskrete Antwortrelationen werden nur als gesondert zu testende Regularisierung effektiver Modellparameter untersucht. Eine Entropieänderung darf weder Erdgravitation noch Bahndynamik künstlich verändern. 5. Eigenzeit-Pass. Jede Freigabe enthält Ereignis- und Kalibrierkennungen, das zulässige Szenarienregister, kausale Abhängigkeiten, den statistischen Quantenlinknachweis, eine Zeitfehlerschranke und lokale Verfallsbedingungen. Ein getrennt implementierter Prüfer muss die Freigabe aus diesen Angaben nachvollziehen. Zeitfehler, Zustandsfehler und Fehlerrisiken behalten ihre jeweiligen Einheiten; ihre Umrechnung ist zu begründen. 6. Abbruch und Vertrauensgrenze. Bei unvereinbaren Daten, nicht abgedeckter Geometrie oder abgelaufener Kalibrierung wird gesperrt, neu gemessen oder auf eine deklarierte klassische Referenz zurückgefallen. Ein Pass belegt modellbedingte Konsistenz, nicht universelle Sicherheit. Klassische Nachrichten benötigen Authentisierung; aus Verschränkung folgt weder Identitätsnachweis noch Schutz gegen jede Laufzeitmanipulation. 7. Echter Quantennetzbezug. Ein vorhandener terrestrischer Zwei-Endpunkt-Link verteilt verschränkte Photonen. Die Steuerung löst neue Messchargen aus. Zufällig abgetrennte Testpaare liefern den statistischen Verschränkungsnachweis im deklarierten Detektormodell; Koinzidenzen allein genügen nicht. Testpaare zählen als Verbrauch. Einzelpaare werden nicht zerstörungsfrei „zertifiziert“. 8. Raumfahrt bleibt Emulation. Bahnbewegung, Handover und Rückmeldeverzögerungen werden emuliert, die terrestrischen Quantenmessungen bleiben getrennt nachgewiesen. Dies ist keine Flugqualifikation. Quantencomputer, Quantenspeicher und Satellitenstart sind nicht erforderlich. 9. Vorab festgelegte Abnahmeziele. Im kalibrierten terrestrischen Pilot: Zeitfehlerschranke höchstens 1 ns bei mindestens 1 s Gültigkeit; untere einseitige 95%-Grenze der Bell-Zustandsfidelität der Testcharge größer als 0,5. Diese Schwelle belegt Verschränkung im deklarierten Modell, keinen Zeitmessvorteil. Alle Prüf- und Nachmesskosten zählen mit. 10. Integrität und Nutzen. Mindestens 10.000 unabhängige Testepisoden je Klasse: nominal, Handover, Uhrenfehler und verspätete Rückmeldung. Unzulässig bedeutet: Zeitfehlerschranke überschritten, Quantenbeleg fehlt oder Gültigkeits-/Kausalbedingung verletzt. Obere einseitige 95%-Grenze dieses Anteils: höchstens 1 % aller Freigaben. Nominal sind mindestens 50 % der Anfragen zu bedienen. Ziel: mindestens 20 % mehr gültige Dienste bei gleichem Zeit- und Ressourcenbudget als die stärkste Referenz. Effekte und Ausfälle erhalten Konfidenzintervalle. 11. Faire Referenzen und Realtest. Ein risikobewusster Scheduler erhält identische Relativitätskorrekturen, Daten und Rechenbudgets. Ablationen entfernen gemeinsames Register oder adaptive Freigabe. Quanten- und klassischer Zeittransfer werden separat verglichen. Mindestens 30 neu gestartete Messserien an drei Tagen prüfen den realen Link; Ziel der unabhängigen Zeitreferenz: höchstens 0,2 ns Unsicherheit. Dies allein belegt keine 1%-Feldzuverlässigkeit. 12. Numerische und statistische Kontrolle. Rasterverfeinerung und konsistenter Referenzsystemwechsel dürfen Ergebnisse nur im Fehlerbudget ändern. Diese Prüfung geht über latente O(d)-Invarianz hinaus. Ganze Bahn-/Fehlerverläufe bleiben für den Test gesperrt; Betriebsbereich und Freigaberegeln werden vorher fixiert. Alle Zahlen sind Entwicklungsziele.	Verfügbare Ressourcen Wissenschaftliche Basis. Öffentliche TRQC-/gTRQC-Arbeiten einschließlich Korrektur von Juni 2026 und vom Challengegeber dokumentiertes Simulationsarchiv. Rechte, Lizenzen und Reproduzierbarkeit sind zu prüfen. Ein eigener Satelliten- oder Quantenlink wird nicht als vorhanden angegeben. Vorgesehener Eigenbeitrag der UPM. Nutzerbedarf, offene Referenzszenarien, vier Reviews und getrennte Abnahme. Umfang und institutionelle Freigabe sind durch den Einreichenden vor Versand zu bestätigen; keine Drittzusage wird vorweggenommen. Die UPM beansprucht keine Zuwendung. Vom späteren Umsetzungsteam einzubringen. Quantenkommunikations- und Zeitmessexpertise, vorhandener Quantenlink, unabhängige Zeitreferenz und Softwareintegration. Partnerzugang per Fernschnittstelle ist möglich; ein neues Labor beim Challenge-Geber ist nicht nötig. Zugang und Kosten sind im Förderantrag verbindlich zu belegen. Zwölfmonatiger Ablauf. M1–2: Protokoll, Rechte und Linkzugang. M3–4: Register, Prüfer und Linkkalibrierung. M5–7: Netzsimulation und Messsteuerung; Methoden einfrieren. M8–10: gesperrte Tests. M11–12: Abnahme, Ressourcenbilanz und Transfer. Ohne realen Link ist das vollständige Abnahmeziel nicht erreicht.

Challenge No 2

MQ-Slab: Detektion kleinster Flussraten im Mikro- bis Milliliter-Bereich mit Hilfe von miniaturisierten Quantensensoren

QT-Bereich: Quantensensorik

Ziel und Anforderung	Technische Spezifikation(en)	Verfügbare Ressourcen
Konzept einer kompakten, miniaturisierten Quantensensorik, die erstmalig die direkte Durchflussmessung eines polarisierbaren Fluids durch eine Fluidikleitung im µl-Volumenbereich für den industriellen Einsatz Dazu muss die miniaturisierte Quantensensorik bei Raumtemperatur, ohne großbauende magnetische Abschirmung und ohne den Einsatz von kryogener Technik auskommen, um an Pipettier- und Dispensiereinrichtungen angebracht werden zu können. Demonstration einer kompakten, mediengetrennten Durchflussmessung, die für den Bereich von 1 — 100 ml/min ausgelegt worden ist. Bestimmung der tatsächlich am Demonstrator erreichbaren Auflösung der Durchflussmessung und Ableitung von Verbesserungsmaßnahmen, um die Zielgrößen zukünftig erreichen zu können.	Zielspezifikation: Erfassung von Durchflussraten im Bereich 1 —100 ml/min für die Adaption an Pipettentips oder Dispensiernadeln, dazu muss die Quantensensorik extrem miniaturisiert sein bzw. zukünftig miniaturisiert werden können, bei Raumtemperatur arbeiten und ohne voluminöse magnetische Abschirmung auskommen.	Bereitstellung von Pipettier- bzw. Dispensierkanälen und Prüfständen zum Nachweis der Durchflussmessung mittel NV-Magnetometer, ...

Challenge No 3

FEMTOVEC-NV: Vektoriell messendes Diamant-NV-Magnetometer mit Femto-Tesla Auflösung

QT-Bereich: Quantensensorik

Ziel und Anforderung	Technische Spezifikation(en)	Verfügbare Ressourcen
Konzeptionelle Auslegung und Realisierungskonzept für ein vektoriell messendes Di- amant NV-Magnetometer mit < 100 fT/VHz im Frequenzbereich 1 – 100 Hz.	Bandbreite: 0 – 1 kHz Messbereich: Erdmagnetfeld Gesamter elektrische Leistungsbedarf: < 10 W Miniaturisierungspotenzial: 1 cm ² (Footprint)	• Expertenwissen aus Anwendungsdomäne • Zugang zu besten verfügbaren NV-Diamant-Proben • Labor-Infrastruktur Quantenoptik • Test-Equipment

Challenge No 4

MiQuoSat: **Miniaturisierte quantenverschränkte Photonenpaarquelle** im C-band für die **Satellitenkommunikation**

QT-Bereich: Quantennetzwerke

Ziel und Anforderung	Technische Spezifikation(en)	Verfügbare Ressourcen
Das Ziel der Challenge ist eine miniaturisierte polarisationsverschränkte Photonenpaarquelle für das optische C-Band. Die Photonenpaarquelle muss ein vollständig integriertes Modul inklusive Pumplaser und Peltier-Element zur Temperaturstabilisierung sowie Trennung von Signal- und Idler-Photonen und Faserkopplung sein. Hierbei soll das Modul eine Basisfläche von 5 x 5 cm² und eine Höhe von 3 cm (ohne Fasern) nicht überschreiten. Die geringe Größe der Photonenpaarquelle als vollständig integriertes Modul ist hierbei die besondere Anforderung.	• Erzeugung von verschränkten Photonenpaaren im C-Band (1530nm – 1565nm) • Die Photonenpaare müssen polarisationsverschränkt sein • Vollständig integriertes Modul inklusive Pumplaser, Peltier-Element zur Temperaturstabilisierung, Trennung von Signal- und Idler-Photonen und Faserkopplung (2 Single-Mode-Faserausgänge) • Basisfläche maximal 5 x 5 cm², Höhe maximal 3 cm • Elektrische Leistung des Pumplasers ≤ 0,5 W • Photonenpaarrate ≥ 100 kHz • Verhältnis echte zu zufälligen Koinzidenzen (CAR) ≥ 10 • Fidelität zum Bell-Zustand ≥ 90%	Der Challengegeber verfügt im Bereich der satelliten-gestützten Kommunikation über eine tiefgehende Expertise und praktische Erfahrung. Dies inkludiert insbesondere die Laser- und Quantenkommunikation. Der Challengegeber ist gerne bereit mit diesem Wissen, in einem vertretbaren Umfang, zu unterstützen.

Challenge No 5

RyMuSat: **R**ydberg-basierter **M**ultiband-RF-Empfänger für die **S**atellitenkommunikation

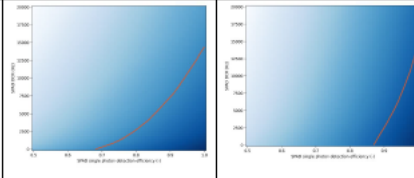
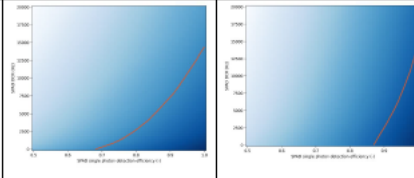
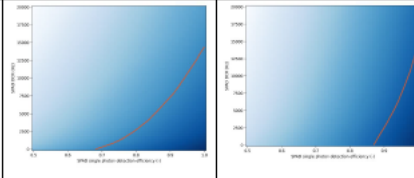
QT-Bereich: Quantensensorik

Ziel und Anforderung	Technische Spezifikation(en)	Verfügbare Ressourcen
Das Ziel der Challenge ist die Realisierung eines kompakten und robusten Rydberg-RF-Empfängers, der frequenzagil zwischen zwei wohl etablierten RF-Kommunikationsbändern umschalten kann. Besonderer Fokus liegt dabei auf der Miniaturisierung und der Robustheit der Dampfzelle inklusive des Detektions-Back-Ends. Darüber hinaus soll das Lasersystem hinsichtlich der Anzahl der Komponenten und der Multiplexverfahren optimiert werden. Die Lösung dieser Herausforderung sollte ein experimentelles Konzept liefern, das auf einer einzigen Dampfzelle basiert und das Umschalten zwischen den beiden Trägerfrequenzen aus den geforderten Frequenzbändern ermöglicht. Durch den zeitlich begrenzten Rahmen der Challenge wird hierbei auf eine Miniaturisierung der zugehörigen Lasersysteme verzichtet.	RF-Kommunikationsparameter: • Amplitudenmodulation • Bandwidth > 1 MHz • Sprung zwischen Frequenzen im Ka-Band (26.5 - 40 GHz) und Ku-Band (12 - 18 GHz) innerhalb von 10 µs Anforderung Rydberg-Empfänger (exklusive Lasersystem): • SWaP (inklusive optischer Detektion, exklusive Lasersysteme) ◦ Size: 10 L ◦ Weight: 5 kg ◦ Power: 50 W • Fasergekoppelte Dampfzelle	Der Challengegeber verfügt im Bereich der satelliten-gestützten Kommunikation über eine tiefgehende Expertise und praktische Erfahrung. Dies inkludiert insbesondere die Laser- und Quantenkommunikation. Der Challengegeber ist gerne bereit mit diesem Wissen, in einem vertretbaren Umfang, zu unterstützen.

Challenge No 6

HERALD-RT: Kryofreie Einzelphotonendetektion auf einem photonischem Chip: Machbarkeitsstudie für Heralding in photonischen Quantennetzwerken und -prozessoren

QT-Bereich: Quantennetzwerke

Ziel und Anforderung	Technische Spezifikation(en)	Verfügbare Ressourcen																																																									
Ziel: Eine Machbarkeitsstudie mit simulationsgestütztem Detektorentwurf für einen nicht-kryogenen, wellenleiterintegrierten Einzelphotonendetektor bei Telekommunikationswellenlängen, einsetzbar als Heralding-Detektor in photonischen Quantennetzwerken und modularen photonischen Quantenprozessoren. Innerhalb von 12 Monaten ist belastbar nachzuweisen, ob und mit welcher Unsicherheit ein Detektordesign die unter „Technische Spezifikation(en)“ genannten Zielwerte erreicht. Anforderungen an die Lösung: • Multiphysikalisches Modell: gekoppelte optische (z. B. FDTD/FEM) und elektrische (TCAD) Simulation von Wellenleiterkopplung, Absorption, Lawinenauslösung und Dunkelzahlmechanismen (thermische Generation, Band-zu-Band- und störstellen-unterstütztes Tunneln) bei 1550 nm im Bereich 220 K - 300 K. • Validierung: Überprüfung publizierter Messdaten vergleichbarer Bauelemente und Kalibrierung an eigenen Material- oder Bauelementmessdaten (z. B. Absorptionskoeffizient, Dunkelstromdichte); Abweichung Modell zu Messung ≤ 30 %. • Detektordesign: Entwicklung von Designvarianten, die die Zielwerte in der Simulation über die gesamte Wellenlängen- und Temperaturmatrix erfüllen. Die Detektionseffizienz ist als Produkt aus Kopplung, Absorption und Lawinenauslösewahrscheinlichkeit auszuweisen; Toleranzanalyse gegenüber Prozessabweichungen. • Fertigung: Prozessfluss in einem europäischen CMOS-kompatiblen Fertigungsweg mit Zugang möglich. • Entscheidungsgrundlage: Performance-Prognose mit Unsicherheitsbändern, Risikoanalyse, Kanalbudget (Energie, Bauraum, Kosten) im Vergleich zu SNSPD sowie Roadmap zu Fertigung, Mehrkanalbetrieb und photonenzahlauflösender Detektion. Innovation: Nach publiziertem Stand ist ein wellenleiterintegrierter Einzelphotonendetektor für 1550 nm ohne Kryotechnik weder gefertigt noch in einem Quantensystem validiert. Publiziert sind wellenleitergekoppelte Detektoren nur bei 78 K und Raumtemperaturdetektoren nur mit vertikaler Beleuchtung (12 % Effizienz bei 1310 nm). Neu ist zudem die konsequente Auslegung gegen reale Systemanforderungen: Maßgeblich ist nicht die Roh-Dunkelzählrate, sondern die Falschzählwahrscheinlichkeit im systemsynchronen Zeitfenster. Die Challenge ist materialoffen; Lösungen müssen ohne kryogene Kühlung funktionieren, CMOS-kompatibel und in Silizium-Photonik integrierbar sein.	Alle Werte sind für die Machbarkeitsstudie in der Simulation nachzuweisen. <table><tr><th>Parameter</th><th>Mindestanforderung</th><th>Zielwert</th></tr><tr><td>Wellenlänge</td><td>1545 nm bis 1555 nm</td><td></td></tr><tr><td>Betriebstemperatur, ohne Kryotechnik</td><td>≥ 233 K (-40 °C), thermoelektrisch gekühlt</td><td>≥290 K (17 °C) bei DCR und PDE Zielwerten wünschenswert</td></tr><tr><td>Lagertemperatur</td><td>283 K (10 °C) bis 305 K (+32 °C)</td><td>233 K (-40 °C) bis 323 K (+50 °C)</td></tr><tr><td>Integration</td><td>wellenleitergekoppelt, laterale Einkopplung</td><td>Optimierte Kopplung an Si₃N₄-PIC</td></tr><tr><td>Photonen Detektionseffizienz im Verhältnis zur Dunkelzählrate.</td><td colspan="2"></td></tr><tr><td colspan="3">Die Abbildungen werden nachfolgend detaillierter ausgeführt.</td></tr><tr><td>Ausgangssignal-spannung V_{out} ohne Detektionsereignis</td><td>0.0 V ≤ V_{out} ≤ V_{DETECT} - 0.1 V</td><td></td></tr><tr><td>Ausgangssignal-spannung V_{out} mit Detektionsereignis</td><td>V_{DETECT} + 0.1 V ≤ V_{out} ≤ 2.0 V</td><td></td></tr><tr><td>Dauer, während der die Ausgangsspannung die Anforderung V_{out,i} bei Detektionsereignis erfüllt</td><td>1.0 ns</td><td></td></tr><tr><td>Falschzählwahrscheinlichkeit pro Zeitfenster</td><td>≤ 10⁻³</td><td>≤ 10⁻⁴</td></tr><tr><td>Gate-Frequenz</td><td>1 GHz</td><td></td></tr><tr><td>Zeitfenster (Gate), synchron zum Systemtakt</td><td>≤ 1 ns</td><td>≤ 0,5 ns</td></tr><tr><td>Gesamtstromverbrauch des SPAD und der zugehörigen Elektronik (ohne Ausgangstreiber) bei einer Zählrate von 10⁷cps.</td><td>1.0 mW</td><td></td></tr><tr><td>Zeitjitter (FWHM)</td><td>≤ 200 ps</td><td>≤ 100 ps</td></tr><tr><td>Nachpuls-wahrscheinlichkeit</td><td>≤ 1 %</td><td>≤ 0,5 %</td></tr><tr><td>Totzeit</td><td>≤ 50 ns</td><td>≤ 20 ns</td></tr><tr><td>Kanalabstand / Skalierung</td><td>≤ 250 µm; Konzept für ≥ 16 Kanäle</td><td>≤ 127 µm</td></tr><tr><td>Fertigung</td><td>CMOS-kompatibel, kompatibel mit europäischen Lieferketten</td><td>kompatibel in Si₃N₄-Plattform</td></tr></table> Effizienzwerte sind als On-Chip-Werte auszuweisen. Die erforderliche Einzelphotonen-Detektionseffizienz und die Dunkelzählrate (einschließlich etwaiger Nachimpulse) werden in Form von zwei Konturdiagrammen dargestellt, die einen Leistungsindex zeigen. Alle Punkte auf der dargestellten Linie weisen denselben Leistungswert auf, sodass es dem SPAD-Hersteller überlassen bleibt, zu bestimmen, welche Kombination aus Photonendetektionseffizienz und Dunkelzählrate für seinen Fertigungsprozess optimal ist. SPADs mit einer höheren Detektionseffizienz oder einer geringeren Dunkelzählung als von der Kontur gefördert – d. h. solche, die den Bereich unterhalb und rechts von der Kontur einnehmen – sind ebenfalls zulässig. Es werden zwei Konturlinien dargestellt. Abbildung 1 zeigt die Mindestleistung, die den SPAD für die vorgeschlagene Anwendung geeignet machen würde und Abbildung 2 zeigt die angestrebte Leistung	Parameter	Mindestanforderung	Zielwert	Wellenlänge	1545 nm bis 1555 nm		Betriebstemperatur, ohne Kryotechnik	≥ 233 K (-40 °C), thermoelektrisch gekühlt	≥290 K (17 °C) bei DCR und PDE Zielwerten wünschenswert	Lagertemperatur	283 K (10 °C) bis 305 K (+32 °C)	233 K (-40 °C) bis 323 K (+50 °C)	Integration	wellenleitergekoppelt, laterale Einkopplung	Optimierte Kopplung an Si ₃ N ₄ -PIC	Photonen Detektionseffizienz im Verhältnis zur Dunkelzählrate.			Die Abbildungen werden nachfolgend detaillierter ausgeführt.			Ausgangssignal-spannung V _{out} ohne Detektionsereignis	0.0 V ≤ V _{out} ≤ V _{DETECT} - 0.1 V		Ausgangssignal-spannung V _{out} mit Detektionsereignis	V _{DETECT} + 0.1 V ≤ V _{out} ≤ 2.0 V		Dauer, während der die Ausgangsspannung die Anforderung V _{out,i} bei Detektionsereignis erfüllt	1.0 ns		Falschzählwahrscheinlichkeit pro Zeitfenster	≤ 10 ⁻³	≤ 10 ⁻⁴	Gate-Frequenz	1 GHz		Zeitfenster (Gate), synchron zum Systemtakt	≤ 1 ns	≤ 0,5 ns	Gesamtstromverbrauch des SPAD und der zugehörigen Elektronik (ohne Ausgangstreiber) bei einer Zählrate von 10 ⁷ cps.	1.0 mW		Zeitjitter (FWHM)	≤ 200 ps	≤ 100 ps	Nachpuls-wahrscheinlichkeit	≤ 1 %	≤ 0,5 %	Totzeit	≤ 50 ns	≤ 20 ns	Kanalabstand / Skalierung	≤ 250 µm; Konzept für ≥ 16 Kanäle	≤ 127 µm	Fertigung	CMOS-kompatibel, kompatibel mit europäischen Lieferketten	kompatibel in Si ₃ N ₄ -Plattform	Der Challengegeber stellt für die Laufzeit bereit: • Systemanforderungen und Schnittstellenspezifikation aus der eigenen Architektur: Wiederholrate, Zeitfenster, Falschzähl-, Jitter- und Latenzbudget, Kanalbedarf der Kontrollebene. • Designparameter der Si₃N₄-Wellenleiterplattform für die Kopplungssimulation (Modenprofile, Wellenleitergeometrien, Designregeln der Schnittstelle), unter Vertraulichkeitsvereinbarung. • Referenzdaten eingesetzter SNSPD (Effizienz, Dunkelzahlrate, Jitter) als Benchmark. • Vereinfachtes Systemmodell mit Näherungswerten zur Bewertung simulierter Detektorparameter hinsichtlich der Heralding-Performance. • Expertenwissen in PIC-Architektur, Packaging, Steuerung und Detektorvalidierung: Design-Reviews (z. B. quartalsweise) und Mitwirkung an der abschließenden Go/No-Go-Bewertung.
Parameter	Mindestanforderung	Zielwert																																																									
Wellenlänge	1545 nm bis 1555 nm																																																										
Betriebstemperatur, ohne Kryotechnik	≥ 233 K (-40 °C), thermoelektrisch gekühlt	≥290 K (17 °C) bei DCR und PDE Zielwerten wünschenswert																																																									
Lagertemperatur	283 K (10 °C) bis 305 K (+32 °C)	233 K (-40 °C) bis 323 K (+50 °C)																																																									
Integration	wellenleitergekoppelt, laterale Einkopplung	Optimierte Kopplung an Si ₃ N ₄ -PIC																																																									
Photonen Detektionseffizienz im Verhältnis zur Dunkelzählrate.																																																											
Die Abbildungen werden nachfolgend detaillierter ausgeführt.																																																											
Ausgangssignal-spannung V _{out} ohne Detektionsereignis	0.0 V ≤ V _{out} ≤ V _{DETECT} - 0.1 V																																																										
Ausgangssignal-spannung V _{out} mit Detektionsereignis	V _{DETECT} + 0.1 V ≤ V _{out} ≤ 2.0 V																																																										
Dauer, während der die Ausgangsspannung die Anforderung V _{out,i} bei Detektionsereignis erfüllt	1.0 ns																																																										
Falschzählwahrscheinlichkeit pro Zeitfenster	≤ 10 ⁻³	≤ 10 ⁻⁴																																																									
Gate-Frequenz	1 GHz																																																										
Zeitfenster (Gate), synchron zum Systemtakt	≤ 1 ns	≤ 0,5 ns																																																									
Gesamtstromverbrauch des SPAD und der zugehörigen Elektronik (ohne Ausgangstreiber) bei einer Zählrate von 10 ⁷ cps.	1.0 mW																																																										
Zeitjitter (FWHM)	≤ 200 ps	≤ 100 ps																																																									
Nachpuls-wahrscheinlichkeit	≤ 1 %	≤ 0,5 %																																																									
Totzeit	≤ 50 ns	≤ 20 ns																																																									
Kanalabstand / Skalierung	≤ 250 µm; Konzept für ≥ 16 Kanäle	≤ 127 µm																																																									
Fertigung	CMOS-kompatibel, kompatibel mit europäischen Lieferketten	kompatibel in Si ₃ N ₄ -Plattform																																																									

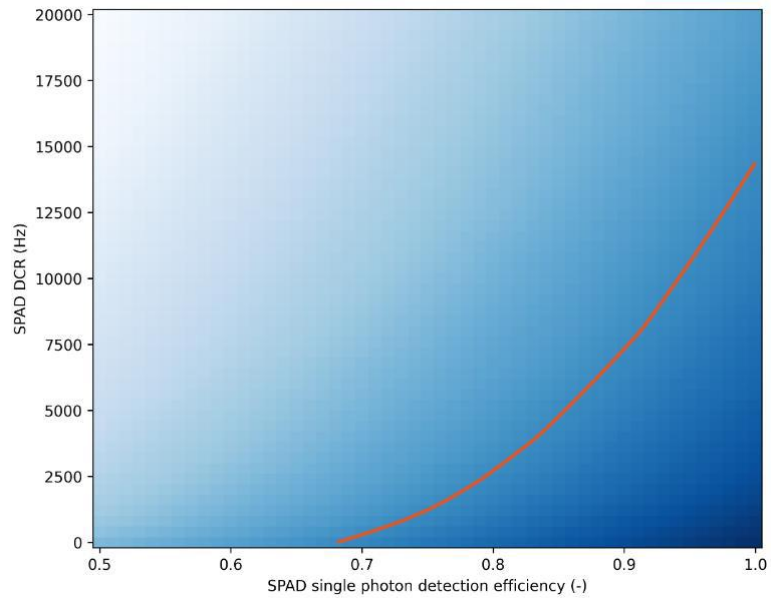


Abbildung 1: Mindestanforderungskriterium für DCR zu PDE

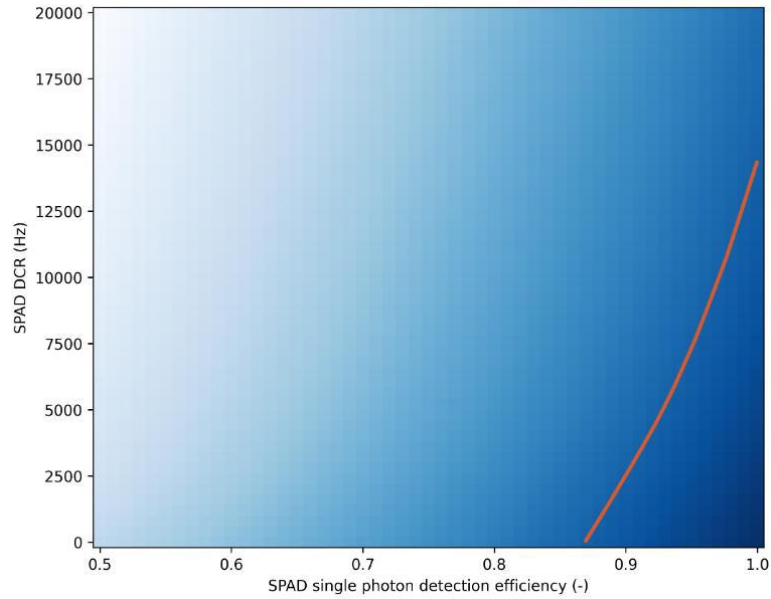


Abbildung 2: Zielforderungen für DCR zu PDE

Challenge No 7

Q-SHARP: Quantum Sensing for High-Resolution Activity Recording in Neurophysiology

QT-Bereich: Quantensensing

Ziel und Anforderung	Technische Spezifikation(en)	Verfügbare Ressourcen
Ziel der Nutzer-Challenge ist die Entwicklung und Validierung eines Quantensensorsystems zur räumlich und zeitlich hochauflösenden und markerfreien Erfassung sowie funktionellen Charakterisierung neuronaler Aktivität unter biologischen Kulturbedingungen. Ein besonderer Fokus liegt auf der Erfassung neuronaler Aktivität im Kontext elektromagnetischer Neuromodulation. Die Lösung soll auf einem quantensensorischen Messprinzip beruhen. Stickstoff-Fehlstellen-Zentren (NV-Zentren) in Diamant stellen einen besonders relevanten, jedoch nicht ausschließlichen Lösungsansatz dar. Zentrale Anforderungen sind eine optische Auslesung und eine im aktiven Messbereich metallfreie Zell-/Gewebe-Schnittstelle. Das System soll neuronale Aktivität unmittelbar nach TMS reproduzierbar und ohne anhaltende sensorspezifische Artefakte erfassen. Eine simultane Messung während der TMS stellt ein weiterführendes Ziel dar. Damit soll insbesondere eine für konventionelle elektrodenbasierte Messsysteme anspruchsvolle Anwendung adressiert werden. Die Entwicklungsaufgabe umfasst die Konzeption und technische Umsetzung geeigneter Sensorstrukturen sowie eines stabilen und reproduzierbaren Systems zur Signalakquise. Die konkrete technische Realisierung soll durch den Lösungspartner entsprechend dem gewählten quantensensorischen Messprinzip erfolgen. Die aktive Zell-/Gewebe-Schnittstelle muss eine zuverlässige Detektion neuronaler Signale unter biologischen Kulturbedingungen gewährleisten. Für die stufenweise Validierung steht ein Spektrum biologischer Modelle zunehmender Komplexität zur Verfügung. Dieses reicht von standardisierten Zelllinien und primären Zellkulturen über humane hiPSC-basierte neuronale Modelle und neuronale Organoide bis hin zu murinen organotypischen Hirnschnittkulturen und vitalem humanem Hirngewebe aus neurochirurgischen Eingriffen. Abhängig vom Entwicklungsstand des Sensorsystems können geeignete Modelle gezielt für die technische Erstvalidierung, die funktionelle Validierung und einen abschließenden translationalen Demonstrator ausgewählt werden. Als Referenzstandards dienen etablierte HD-MEA-Systeme und, soweit methodisch angezeigt, Patch-Clamp-Messungen. Ziel ist der Nachweis einer zuverlässigen Detektion und funktionellen Charakterisierung neuronaler Aktivität sowie eines spezifischen Mehrwerts der Quantensensorik in den definierten Anwendungsszenarien. Neben spontaner und evozierter Netzwerkaktivität soll die Plattform perspektivisch funktionell anspruchsvolle Parameter wie reproduzierbare Stimulus-Response-Beziehungen, Netzwerkdynamik und synaptische Plastizität erfassen können. Sensitivität, Signal-Rausch-Verhältnis sowie räumliche und zeitliche Auflösung werden anhand der gemeinsam mit dem technischen Lösungspartner definierten Zielwerte bewertet. Eine weitere Kernanforderung ist eine biokompatible aktive Zell-/Gewebe-Schnittstelle, die sich für Langzeitkultivierungen eignet und Zellvitalität, Gewebeintegrität und elektrophysiologische Funktion erhält. Darüber hinaus soll untersucht werden, ob sich durch die metallfreie Schnittstelle Vorteile hinsichtlich Biofouling und Langzeitstabilität gegenüber konventionellen elektrodenbasierten Systemen erzielen lassen. Die Bewertung erfolgt durch funktionelle Langzeitmessungen, Immunhistologie und hochauflösende Mikroskopie.	Die Lösung der Challenge muss auf einem quantensensorischen Messprinzip mit optischer Signalakquise beruhen und eine funktionelle Erfassung neuronaler Aktivität unter physiologischen Kulturbedingungen ermöglichen. Die aktive Sensoroberfläche beziehungsweise Zell-/Gewebe-Schnittstelle muss im aktiven Messbereich metallfrei und biokompatibel ausgeführt sein. Die räumliche Auflösung soll die Lokalisation neuronaler Aktivität auf Ebene einzelner Zellen oder kleiner Zellverbünde ermöglichen. Als Entwicklungsziel wird eine räumliche Auflösung im niedrigen einstelligen Mikrometerbereich angestrebt. Die zeitliche Auflösung muss schnelle neuronale Aktivitätsänderungen im Millisekundenbereich erfassen können; eine submillisekundäre beziehungsweise perspektivisch mikrosekundengenaue Detektion stellt ein weiterführendes Entwicklungsziel dar und ist insbesondere für die zeitliche Charakterisierung von Signalverläufen im Umfeld klinisch-relevanter elektromagnetischer Stimulation von Interesse. Hinsichtlich der Sensitivität ist entscheidend, dass spontane und evozierte neuronale Aktivität reproduzierbar und mit ausreichendem Signal-Rausch-Verhältnis detektiert werden kann. Der Nachweis soll anhand definierter biologischer Referenzsituationen sowie im quantitativen Vergleich mit etablierten elektrophysiologischen Verfahren wie HD-MEA und Patch-Clamp erfolgen. Konventionelle NV-basierte Widefield-Magnetometrie allein stellt dabei noch keine ausreichende Lösung dar, da bestehende Ansätze für die Detektion neuronaler Signale häufig durch unzureichende Sensitivität beziehungsweise Sensorkopplung limitiert sind. NV-basierte oder andere quantensensorische Verfahren sind jedoch ausdrücklich geeignet, sofern durch technologische Weiterentwicklungen – beispielsweise verbesserte Sensor-Gewebe-Kopplung, optimierte Defektzentren, Signalverstärkung, alternative Materialsysteme oder neuartige Auslesekonzepte – eine biologisch relevante Detektionsschwelle erreicht wird. Die Sensorplattform soll Langzeitmessungen über mindestens sieben Tage ermöglichen, ohne relevante Beeinträchtigung von Zellvitalität, Gewebeintegrität oder elektrophysiologischer Funktion. Eine besondere Zielsetzung ist die Kompatibilität mit elektromagnetischen Stimulationsverfahren wie TMS. Dabei soll neuronale Aktivität zumindest unmittelbar nach der Stimulation ohne anhaltende sensorspezifische Artefakte erfasst werden können; eine Messung während der Stimulation stellt ein weiterführendes Entwicklungsziel dar.	Für die Entwicklung und Validierung der Quantensensorplattform stellt der Challengegeber ein breites Spektrum biologischer Modelle, technologische Infrastruktur, Referenzdaten und wissenschaftliche Expertise zur Verfügung. Damit kann die Entwicklung von der biologischen Erstvalidierung über den Vergleich mit etablierten Referenzverfahren bis hin zur translationalen Anwendung begleitet werden. Als Test- und Validierungsmodelle stehen standardisierte Zelllinien, primäre Zellkulturen, humane hiPSC-basierte neuronale Modelle und neuronale Organoide sowie murine organotypische und humane Hirnschnittpräparate zur Verfügung. Eine besondere Ressource ist der etablierte Zugang zu vitalem humanem Hirngewebe aus neurochirurgischen Eingriffen. Die Nutzung ist durch bestehende Ethikvoten abgesichert. Etablierte Prozesse für Probenbereitstellung, Präparation und Kultivierung ermöglichen eine anwendungsnahe Validierung an vitalem humanem Hirngewebe unter kontrollierten Ex-vivo-Bedingungen. Damit steht für die Sensorvalidierung ein translational besonders relevantes Modellsystem zur Verfügung, dessen Integration in langfristig funktionell überwachte mikrophysiologische Systeme bislang eine wesentliche technologische Herausforderung darstellt. Für elektrophysiologische Referenz- und Vergleichsmessungen stehen HD-MEA-Systeme von MaxWell Biosystems, MulG Channel Systems und 3Brain sowie etablierte Patch-Clamp-Verfahren auf Einzelzellebene zur Verfügung. Ergänzt werden diese durch Calcium-Imaging, Immunhistologie und hochauflösende Mikroskopie. Vorhandene Referenzdaten, etablierte Analysepipelines und Expertise in der Verarbeitung elektrophysiologischer und bildgebender Daten ermöglichen eine quantitative Bewertung der Sensorleistung im Vergleich zu etablierten Verfahren. Die etablierte TMS-Infrastruktur und Expertise in der experimentellen magnetischen Neuromodulation ermöglichen die Erprobung der Quantensensorplattform unter definierten elektromagnetischen Stimulationsbedingungen. Mithilfe pharmakologischer Modulationen können zusätzlich definierte Veränderungen neuronaler Aktivität induziert und als funktionelle Referenzzustände für die Sensorvalidierung genutzt werden.

Der Neuheitswert besteht in der Kombination eines optisch ausgelesenen Quantensensorsystems mit einer biokompatiblen, metallfreien aktiven Zell-/Gewebe-Schnittstelle und dessen Validierung unter elektromagnetischen Simulationsbedingungen. Ein besonderer Mehrwert wird in der Möglichkeit gesehen, neuronale Aktivität unmittelbar nach und perspektivisch auch während TMS ohne anhaltende sensorspezifische Stimulationsartefakte zu erfassen. Die Plattform soll etablierte elektrophysiologische Verfahren dabei nicht ersetzen, sondern insbesondere dort ergänzen, wo elektrodenbasierte Systeme durch elektromagnetische Interventionen oder Anforderungen an Langzeitkultivierungen limitiert sind.		Die vorhandene Zell-, Gewebe- und Langzeitkultivierungsinfrastruktur ermöglicht darüber hinaus die Untersuchung von Biokompatibilität, Biofouling und funktionseller Stabilität über längere Zeiträume. Die Bewertung kann durch funktionelle Langzeitmessungen, Immunhistologie und hochauflösende Mikroskopie erfolgen. Die Prototypenentwicklung kann kooperativ und iterativ begleitet werden. Prototypen können frühzeitig unter standardisierten biologischen Bedingungen getestet, mit etablierten Referenzsystemen verglichen und auf Grundlage der Ergebnisse gemeinsam weiterentwickelt werden. Der Challengegeber unterstützt die Auswahl geeigneter biologischer Modelle, Versuchsplanung und Durchführung, Datenauswertung und Interpretation sowie die Definition und Überprüfung biologischer und anwendungsbezogener Anforderungen.
---	--	--

Challenge No 8

Quanten-Rohrabklopfer 2.0: Berührungslose Ablagerungsdetektion in Edelstahl-Abgasleitungen mittels NV-Diamant-Magnetometrie

QT-Bereich: Quantensensorik

Ziel und Anforderung	Technische Spezifikation(en)	Verfügbare Ressourcen
Ziel: Nachweis, ob und unter welchen Bedingungen ein NV-Diamant-Magnetometer Ablagerungen in Edelstahl-Abgasleitungen der Halbleiterfertigung berührungslos von außen erkennen kann.	Testaufbau: 2m-Rohrleitung mit 1 mm Wandstärke, definierte Referenzbeläge (Fe₃O₄ als magnetischer Belag, NH₄Cl und SiO₂ als realitätsnahe Salz-/Oxidbeläge, unbelegte Kontrolle). Störgrößen: Quantifizierung des Einflusses von Schweißnähten, Wandstärkeschwankungen und Kaltverfestigung sowie Temperaturkompensation (zunächst Raumtemperatur, danach bis ca. 150 °C). Vergleich: Gegenüberstellung mit mindestens einem Standardverfahren am selben Testobjekt.	Der Challengegeber bietet die Begleitung des Projektes und stellt Rohrmuster mit beispielhaften Ablagerungen zur Verfügung.

Challenge No 9

Q-Subsurface: Zerstörungsfreie Erkennung unterirdischer Hohlräume und Dichteanomalien unter kritischer Infrastruktur

QT-Bereich: Quantensensorik

Ziel und Anforderung	Technische Spezifikation(en)	Verfügbare Ressourcen
Ziel ist ein praxistauglicher Demonstrator, der unter realitätsnahen Bedingungen unterirdische Hohlräume oder signifikante Dichteanomalien zerstörungsfrei erkennt, lokalisiert und als georeferenzierte Entscheidungsinformation bereitstellt. Die konkrete quantentechnologische Umsetzung bleibt dem späteren Forschungsteam offen. Die Lösung soll insbesondere dort einen Zusatznutzen liefern, wo konventionelle Verfahren keine eindeutige Aussage ermöglichen. Wesentliche Anforderungen sind: • Zerstörungsfreie Messung ohne Bohrung oder direkten Zugang zum Zielobjekt; • Einsatz auf einer realen bzw. realitätsnahen Straßen-, Werks- oder Infrastrukturfläche; • Erkennung mindestens eines definierten Hohlraums bzw. einer vergleichbaren Dichteanomalie; • räumliche Eingrenzung mit dokumentierter Messunsicherheit; • georeferenzierte Darstellung der Ergebnisse in einem für Planung und Bauentscheidung nutzbaren Format; • Validierung gegen Ground-Truth-Daten und mindestens ein etabliertes Referenzverfahren; • Bewertung von Messzeit, Robustheit gegenüber Vibrationen und betrieblicher Integration. Neuheitswert ist die Überführung quantensensorischer Gravimetrie aus dem Forschungs- bzw. Spezialmessumfeld in einem konkreten Workflow der digitalen Vermessung, Infrastrukturplanung und Baudokumentation.	Für den Demonstrator werden folgende Zielwerte als quantifizierbarer Leistungsrahmen vorgeschlagen: • Detektionsrate definierter Referenzanomalie: $\geq 90\%$; • False-Positive-Rate: $\leq 10\%$; • horizontale Lokalisierungsabweichung: $\leq 0,5\text{ m}$; • räumliche Abtastung/Messraster: $\leq 0,5\text{ m}$; • Zieltiefenbereich für den Demonstrator: ca. 1-5 m; • Verfügbarkeit auswertbarer Messpunkte im Testfeld: $\geq 95\%$; • Ergebnisformat: georeferenzierte Anomalie-/Wahrscheinlichkeitskarte inkl. Unsicherheitsangabe; • Benchmark: Vergleich mit mindestens einem etablierten Verfahren, z. B. Georadar und/oder klassischer Gravimetrie; • Dokumentation der Messzeit je Messpunkt bzw. je definierter Testfläche. Die endgültigen Grenzwerte sollen vor Projektstart gemeinsam mit dem ausgewählten Forschungsteam und anhand des verfügbaren Testfelds präzisiert werden.	Die Challengegeber können – vorbehaltlich der finalen Projektabstimmung – insbesondere folgende Ressourcen und Praxisbeiträge einbringen: • Expertenwissen zu digitaler Vermessung, Geodaten, Infrastrukturplanung und -dokumentation; • Anwendungsanforderungen aus realen Tiefbau-, Glasfaser- und Infrastrukturprojekten; • Unterstützung bei der Auswahl bzw. Bereitstellung eines geeigneten realen und realitätsnahen Testfelds; • Bestands-, Vermessungs-, und Geodaten sowie Ground-Truth-Informationen, soweit projektbezogen verfügbar und freigegeben; • Georeferenzierte Referenzmessungen und digitale Dokumentationsworkflows; • Einbindung der Ergebnisse in GIS-/Geodaten- und Dokumentationsprozesse; • Praxisbewertung des Demonstrators durch Vermessungs-, Planungs- und Infrastrukturfachleute; • Zugang zu Anwendern, Kommunen und Infrastrukturprojekten über die Netzwerke der Challengegeber. Der Challengegeber übernimmt zusätzlich die Transferperspektive und unterstützt die Übertragbarkeit der Ergebnisse auf weitere Unternehmen und öffentliche Infrastrukturakteure.

Challenge No 10

Q-Nav Industrial: Resiliente Navigation autonomer mobiler Systeme ohne GNSS und externe Navigationsinfrastruktur

QT-Bereich: Quantensensorik

Ziel und Anforderung	Technische Spezifikation(en)	Verfügbare Ressourcen
Ziel ist ein Demonstrator, mit dem ein autonomes bodengebundenes Fahrzeug seine Position, Geschwindigkeit und Orientierung über einen definierten Zeitraum zuverlässig bestimmen kann, obwohl GNSS und weitere externe Ortsreferenzen während der Testphase nicht zur Verfügung stehen. Muss-Anforderungen: - Navigation ohne GNSS während der definierten Testphase. - Keine künstlichen Funkbaken oder externen Landmarken als primäre Positionsreferenz während des Tests. - Vollständige Zeitreihe von Position, Geschwindigkeit und Orientierung. - Funktionsfähigkeit unter realistischen Beschleunigungen, Bremsvorgängen, Kurvenfahrten und industrietypischen Vibrationen. - Quantitativer Vergleich mit einer konventionellen industriellen Inertialmesseinheit (IMU). - Nachweis eines messbaren Vorteils der Quantensensorik bzw. eines hybriden Quantum-Classical-Ansatzes bei der Langzeitdrift. - Test auf einer realen oder realitätsnahen AMR-/AGV-Plattform. Kann-Anforderungen: 6-DoF-Navigation und automatische Rekalibrierung klassischer Sensoren. - Sensorfusion mit vorhandener Fahrzeugtechnik. - Erkennung von GNSS-Störung oder Spoofing bei Outdoor-/Übergangsszenarien. - Modularer Ansatz für unterschiedliche mobile Industrieplattformen. Neuheitswert ist die Übertragung quantenunterstützter Inertialnavigation aus Forschungs- und Spezialanwendungen in einen bodengebundenen, industriellen AMR-/AGV-Anwendungsfall mit belastbarem Vergleich zu heutiger Technik.	Vorgeschlagene Zielwerte für den Demonstrator: - GNSS-freier Demonstrationszeitraum: ≥ 30 Minuten. - Externe Ortsreferenzen während der definierten Testphase: 0. - Verbesserung der Positionsdrift gegenüber Referenz-IMU: mindestens Faktor 3. - Endpositionsfehler nach 30 Minuten: $\leq 1\%$ der zurückgelegten Strecke. - Orientierungsfehler nach 30 Minuten: $\leq 1^\circ$. - Erfolgreiche Testfahrten: $\geq 90\%$. - Wiederinitialisierung nach definierter Störung: ≤ 60 Sekunden. - Ausgaberate der Navigationslösung: ≥ 10 Hz. - Benchmark: identischer Parcours mit konventioneller IMU und mit quantenunterstützter/hybrider Lösung; Ground Truth über ein unabhängiges Referenzsystem.	Der Challengegeber kann – vorbehaltlich der finalen Projektabstimmung – einen industriellen AMR-/Automatisierungskontext, Fachwissen zu mobilen Transportsystemen, Steuerung und Integration sowie die Unterstützung bei Testaufbau und Testfahrten einbringen. Geeignete Plattform-, Schnittstellen- und Versuchsdaten können projektspezifisch abgestimmt werden. Der Challengegeber kann Transfer- und Projektkoordination, Zugang zu Unternehmen der Region, Anforderungen aus KMU-Perspektive sowie geeignete Demonstrations- und Vernetzungsformate bereitstellen. Für die Validierung kann ein Referenzparcours mit dokumentierter Ground Truth aufgebaut bzw. mit einem unabhängigen Referenzmesssystem vermessen werden.

Challenge No 11

Q-Fatigue: Früherkennung des Ermüdungszustands realer Maschinenbauteile vor konventionell detektierbarer Rissbildung

QT-Bereich: Quantensensorik

Ziel und Anforderung	Technische Spezifikation(en)	Verfügbare Ressourcen
Ziel ist ein Mess- und Bewertungsverfahren, das den Ermüdungszustand eines zyklisch beanspruchten Maschinenbauteils erkennt und quantifiziert, bevor ein Schaden mit etablierten Rissprüfverfahren eindeutig nachweisbar ist. Muss-Anforderungen: - Untersuchung eines realen oder realitätsnahen metallischen Bauteils, nicht nur einer idealisierten Materialprobe. - Abbildung von mindestens drei definierten Ermüdungs- bzw. Schädigungszuständen. - Zerstörungsfreie quantensensorische Messung und Blindklassifikation unbekannter Prüfkörper. - Vergleich mit mindestens einem etablierten zerstörungsfreien Prüfverfahren. - Quantitative Bestimmung von Sensitivität, Spezifität und Wiederholbarkeit. - Nachweis, ob und wie früh die Quantensensorik eine signifikante Zustandsänderung gegenüber der konventionellen Referenz erkennt. - Industriell plausible Messbedingungen und reproduzierbares Prüfprotokoll. Kann-Anforderungen: - Ableitung eines Zustandsindex bzw. einer Restlebensdauerindikation. - Portable oder kompakte Sensorik. - Geringe oder keine aufwendige Vormagnetisierung/Probenpräparation. - Automatisierte Mustererkennung und Übertragbarkeit auf mehrere Werkstoff- oder Bauteilklassen. Neuheitswert ist die Verbindung quantensensorischer Zustandsinformation mit einem realen Dauerhaltbarkeitsversuch und einer verblindeten Bauteilklassifikation – mit dem Ziel, nicht erst vorhandene Risse, sondern die vorausgehende Ermüdungsentwicklung nutzbar zu machen.	Vorgeschlagene Zielwerte für den Demonstrator: - Anzahl unterscheidbarer Ermüdungszustände: ≥ 3. - Sensitivität für veränderte/geschädigte Bauteile: $\geq 90\%$. - Spezifität: $\geq 90\%$. - Korrekte Blindklassifikation: $\geq 85\%$. - Wiederholbarkeit: Variationskoeffizient $\leq 10\%$. - Messzeit: ≤ 10 Minuten pro Bauteil bzw. definierter Messposition. - Quantensensorische Challenge-Messungen: 100 % zerstörungsfrei. - Frühindikator: signifikante Zustandsänderung vor eindeutigen klassischen Rissnachweis; ambitioniertes Ziel ist mindestens eine definierte Belastungsstufe früher. - Benchmark: identische Prüfkörper/Laststufen mit quantensensorischer Messung und etablierter ZfP-Referenz; Auswertung über Confusion Matrix und zeitlichen Erstnachweis.	Der Challengegeber kann – vorbehaltlich der finalen Projektabstimmung – Prüfstands- und Testkompetenz für die realitätsnahe Belastungsprofile, Dauerhaltbarkeit, Schock und Vibration sowie Fachwissen zur Auslegung und Durchführung von Bauteilprüfungen einbringen. Geeignete Prüfkörper, Lastkollektive, Prüfstände und Referenzmessungen können projektspezifisch festgelegt werden. Der Challengegeber kann Transfer- und Projektkoordination, Zugang zu Maschinenbau- und Produktionsunternehmen der Region, Anforderungen aus KMU-Perspektive sowie Demonstrations- und Transferformate bereitstellen. Für die Challenge kann eine Serie gleichartiger Prüfkörper über definierte Laststufen beansprucht und anschließend verblindet quantensensorisch bewertet werden.

Challenge No 12

Q-Diamant-Glättwerkzeug: Diamantglättwerkzeuge mit Quantensensorik für Druck- und Temperaturmessung

QT-Bereich: Quantensensorik

Ziel und Anforderung	Technische Spezifikation(en)	Verfügbare Ressourcen
Gesucht werden innovative Konzepte zur Integration miniaturisierter Quantensensoren in bzw. nahe der Wirkzone des Diamantglättwerkzeugs, mit denen insbesondere lokale Druck- und Temperaturzustände während der Bearbeitung erfasst werden können. Die Sensorik soll möglichst robust gegenüber den extremen Bedingungen des Bearbeitungsprozesses in einer Werkzeugmaschine sein.	Gesucht werden insbesondere Lösungen für: - die Integration v. Quantensensoren in Diamantglättwerkzeugen, - die berührungsnahе bzw. lokale Erfassung von Druck [bis ca. 3000MPa] und Temperatur [190-1000K], - die Kalibrierung der Sensoren im realen Bearbeitungsprozess	- Umfassende Werkzeug- und Prozess-Know-how und Expertise in der Prozessierung und Bearbeitung von Diamanten - Definition von technischen und anwendungsspezifischen Systemanforderungen für die Integration der Quantensensorik in Diamantglättwerkzeuge - Gemeinsame Konzeption und Durchführung geeigneter Experimente

Challenge No 13

HOT-MASH: Hochtemperaturbetrieb von Magnetfeld-Messsystemen in harschen Umgebungen

QT-Bereich: Quantensensorik

Ziel und Anforderung	Technische Spezifikation(en)	Verfügbare Ressourcen
Magnetfeldmessungen in industriellen Hochtemperaturumgebungen, etwa zur Zustandsüberwachung von Stahlstrukturen oder zur Richtungs- und Lagebestimmung, erfordern Sensoren, die bei hohen Temperaturen und starken Vibrationen driftarm messen. Etablierte Magnetometer müssen dafür aufwendig temperaturkalibriert werden. NV-Diamant-Magnetometer bieten hier eine inhärent stabile, hochsensitive Alternative. Ihr Einsatz im Feld scheitert bislang jedoch am Aufbau des Sensorkopfs. Ziel ist die gemeinsame Demonstration eines praxistauglichen NV-Magnetometers bei hohen Temperaturen. Als Demonstrator soll eine fasergekoppelte Inspektionssonde für metallische Strukturen aufgebaut werden. Kern der Challenge ist die Diamant-Faser-Schnittstelle. Sie soll die NV-Fluoreszenz effizient auskoppeln und dauerhaft rauen Umgebungsbedingungen standhalten, ohne temperaturempfindliche Klebstoffe, Polymeroptiken oder vibrationsempfindliche Justage. Erwartet werden: (1) Konzept und Aufbau der Schnittstelle (2) die Integration mit Mikrowellenzuführung in einen kompakten Sensorkopf (3) die experimentelle Validierung von Auskoppelleffizienz und exemplarischer Magnetfeldsensitivität vor und nach Temperatur- und Vibrationsbelastung, gemeinsam mit der vom Challenge-Geber bereitgestellten Sensorelektronik.	• Temperaturbereich: 10-140 °C, Dauerbetrieb bei 120 °C • Optische Schnittstelle: Single- oder Multimodenfaser • Mikrowellenanschluss: Koaxialkabel mit SMA-Anschluss • Mechanische Stabilität: Verbindung vibrations- und stoßfest bis 40 g • Diamant: NV-Ensemble mit Kohärenzzeit T2* > 500 ns • Kopplungseffizienz: >80%	Messelektronik mit Laser, Mikrowellensystem und Detektion kann während der Projektlaufzeit zur Sensorintegration und Evaluierung bereitgestellt werden.