

PREDICABLE

Predictive Assessment of Cable Lifetime

Programm / Ausschreibung	FORPA, Dissertaionen 2024, Industrienae Dissertationen 2026	Status	laufend
Projektstart	01.10.2026	Projektende	30.09.2029
Zeitraum	2026 - 2029	Projektlaufzeit	36 Monate
Barwert der Projektförderung	€ 109.956		
Keywords	Kabelstrang; Kontaktmodellierung; Virtual Sensing; Robuste Optimierung		

Projektbeschreibung

Kabelstränge sind in modernen mechatronischen Systemen – von der Medizintechnik über Robotik bis hin zur Fahrzeugtechnik – systemrelevante Komponenten, die im Betrieb komplexen mechanischen Belastungen ausgesetzt sind. Trotz ihrer zentralen Bedeutung erfolgt die Auslegung heute überwiegend mittels empirisch abgeleiteter Konstruktionsrichtlinien und stützt sich auf kostenintensive, zeitaufwendige Testverfahren, die erst in späten Entwicklungsphasen einsetzbar sind. Eine simulationsgestützte Absicherung in frühen Phasen ist mit den verfügbaren Methoden nicht möglich.

Ursächlich hierfür ist das Fehlen geeigneter Simulationsmethoden für das Gesamtsystem unter realen Betriebsbedingungen. Bestehende Modelle sind entweder auf Einzelkabel oder kurze Ausschnitte beschränkt und nicht auf umfangreiche Kabelbündel übertragbar, oder sie vereinfachen den Kabelstrang so stark und vernachlässigen Kontaktphänomene so weitgehend, dass reale Ausfallmechanismen simulativ nicht untersucht werden können. Kontakt- und Reibungsphänomene – gegenseitiges Nachziehen, Schleifenbildung, Relativverschiebungen im Bündel – sind wissenschaftlich nicht hinreichend verstanden, weshalb in der Praxis homogenisierte Ersatzmodelle eingesetzt werden, die genau jene Wechselwirkungen vernachlässigen, die für charakteristische Schadensmuster ursächlich sind.

Ziel des Vorhabens ist die Entwicklung, Implementierung und Validierung einer durchgängigen Simulationsmethodik mit Schwerpunkt Kontakt- und Reibungsmodellierung für Kabelstränge. Der Innovationsgehalt liegt in der systematischen Adressierung von Kabel-Kabel- und Kabel-Umgebung-Interaktionen – kombiniert mit experimenteller Parametrierung und quantitativer Bewertung des Einflusses von Modellvereinfachungen. Da Kontaktkräfte messtechnisch nicht direkt erfassbar sind, wird ein Virtual-Sensing-Ansatz auf Basis von ML-Methoden entwickelt, der nicht messbare Größen aus zugänglichen Signalen ableitet. Aufbauend darauf wird eine robuste Optimierungsmethodik für die Auslegung der Kabellagen entwickelt, die Konfigurationen identifiziert, welche gegenüber Unsicherheiten in Materialparametern, nichtlinearen Effekten und fertigungsbedingten Toleranzen unempfindlich sind.

Die angestrebten Ergebnisse umfassen validierte Kontakt- und Reibungsmodelle aus gezielten Versuchskampagnen am Kabellebensdauerprüfstand sowie eine quantifizierte Bewertung des Einflusses von Modellvereinfachungen auf die Berechnungsgenauigkeit. Der Workflow wird an Referenzbeispielen erprobt und an industriellen Use Cases demonstriert, mit

dokumentierten Anwendungsgrenzen und Praxisempfehlungen. Die robuste Optimierung liefert direkt einsetzbare Auslegungsempfehlungen. Das Projekt schafft ein fundiertes Verständnis der Kontakt- und Reibungsphänomene in Kabelsträngen und legt die Basis für weiterführende Forschung zur Schadensvermeidung und Lebensdauerprognose.

Abstract

Cable harnesses are system-critical components in modern mechatronic systems – from medical technology and robotics to automotive engineering – that are subjected to complex mechanical loads during operation. Despite their central importance, design today relies predominantly on empirically derived guidelines and cost-intensive, time-consuming test procedures that can only be applied in late development phases. Simulation-based validation in early phases is not possible with currently available methods.

The root cause is the lack of suitable simulation methods for the overall system under real operating conditions. Existing models are either limited to single cables or short segments and cannot be scaled to large cable bundles, or they simplify the cable harness so heavily and neglect contact phenomena so extensively that real failure mechanisms cannot be investigated simulatively. Contact and friction phenomena – mutual pull-through, loop formation, relative displacements within the bundle – are not sufficiently understood scientifically, which is why homogenized substitute models are used in practice, neglecting precisely those interactions that are responsible for characteristic damage patterns.

The aim of the project is the development, implementation and validation of a consistent simulation methodology focused on contact and friction modeling for cable harnesses. The novelty lies in the systematic addressing of cable-cable and cable-environment interactions – combined with experimental parameterization and quantitative assessment of the influence of model simplifications. Since contact forces cannot be measured directly, a virtual sensing approach based on ML methods is developed to derive non-measurable quantities from accessible signals. Building on this, a robust optimization methodology for the design of cable layers is developed, identifying configurations that are insensitive to uncertainties in material parameters, nonlinear effects and manufacturing tolerances.

The targeted results include validated contact and friction models from dedicated test campaigns on the cable fatigue test rig, as well as a quantified assessment of the influence of model simplifications on computational accuracy. The workflow is tested on reference examples and demonstrated on industrial use cases, with documented application limits and practical recommendations. The robust optimization delivers directly applicable design recommendations. The project establishes a sound scientific understanding of contact and friction phenomena in cable harnesses and lays the foundation for further research on damage prevention and lifetime prediction.

Projektpartner

- Virtual Vehicle Research GmbH