# Verwendungsnachweis ThinKIsense NXP (Inhaltlicher Teil)

## Teil I: Kurzdarstellung (öffentlich)

Das Verbundprojekt ThinKIsense hat neue Wege untersucht, um Sensordaten in industriellen Anwendungen energieeffizienter auszuwerten. Ausgangspunkt war die Beobachtung, dass moderne Multisensoren große Mengen an Rohdaten erzeugen, die bislang überwiegend in die Cloud übertragen und dort verarbeitet werden. Dieser Ansatz führt zu hohem Energiebedarf, kurzen Batterielaufzeiten und zusätzlichen Kosten für Kommunikation und Datenhaltung. Ziel des Projekts war es daher, die Datenverarbeitung von der Cloud in den Sensor zu verlagern und damit den Kommunikationsaufwand zu reduzieren. So sollte die Batterielaufzeit deutlich verlängert und der Betrieb vereinfacht werden. Im Mittelpunkt standen Methoden der künstlichen Intelligenz zur vorausschauenden Wartung von Pumpensystemen. Dazu wurden Vibrations- und Akustikdaten einer Exzenterschneckenpumpe aufgenommen und mit verschiedenen KI-Verfahren analysiert. Das Konsortium verfolgte drei technologische Pfade: klassische Mikrocontroller-basierte Verfahren, spezialisierte RISC-V-Beschleuniger sowie neuromorphe Ansätze auf Basis von Spiking Neural Networks. Alle drei Varianten wurden so entwickelt, dass sie direkt im Sensor arbeiten können.

Zu Beginn definierten die Partner die Zielanwendung, die Anforderungen an Sensorik, Datenformate, Algorithmen und Schnittstellen sowie eine modulare Systemarchitektur. Anschließend wurde ein mehrstufiger Datenerfassungsprozess durchgeführt. In den ersten Versuchen kamen batteriebetriebene drahtlose Sensoren zum Einsatz. Später wurde ein neuer Prüfstand aufgebaut, der stabile Messreihen und eine präzise Synchronisation von Vibrationsdaten und Betriebsparametern ermöglichte. Die so gewonnenen Daten dienten der Entwicklung und Bewertung der KI-Modelle. Im weiteren Verlauf wurden mehrere KI-Varianten implementiert, optimiert und auf unterschiedliche Hardwareplattformen übertragen. Bei den klassischen Modellen konnten die Genauigkeiten durch eine verbesserte Feature-Extraktion gesteigert und gleichzeitig der Speicherbedarf reduziert werden. Neuromorphe Modelle wurden experimentell untersucht, wobei verschiedene Spike-Encoding-Methoden getestet wurden. Alle KI-Ansätze wurden schließlich in eine vollständige Inferenz-Pipeline integriert, die auf einem energieeffizienten Mikrocontroller ausgeführt werden kann. Ein weiterer Schwerpunkt war die Kommunikations- und IT-Sicherheit. Dafür wurde ein ganzheitliches Sicherheitskonzept entwickelt, das unter anderem sichere Boot-Mechanismen, signierte Firmware, die Absicherung von ML-Modellen sowie eine Ende-zu-Ende-verschlüsselte Übertragung der Ergebnisdaten umfasst. Die Netzwerkkommunikation über NB-IoT wurde technisch umgesetzt und hinsichtlich Energieverbrauch analysiert. Die Ergebnisse zeigen klar, dass die lokale KI-Verarbeitung den Energiebedarf für die Kommunikation erheblich reduzieren kann. Zum Projektende wurde ein Demonstrator aufgebaut, der die vollständige Kette von der Datenerfassung bis zur KI-gestützten Zustandsüberwachung im realen Betrieb zeigt. Der Demonstrator umfasst eine industrielle Pumpe, Referenzsensorik, den ThinKIsense-Sensor mit integrierter Inferenz und eine Cloud-Anbindung für das Senden der kompakten Ergebnisdaten. Damit konnte die technische Machbarkeit nachgewiesen und der Nutzen der dezentralen Verarbeitung demonstriert werden.

Die erzielten Ergebnisse bilden eine fundierte Basis für zukünftige Entwicklungen in den Bereichen energieeffiziente Edge-KI, sichere Sensorknoten und intelligente industrielle Überwachungssysteme. Das Projekt zeigt, dass durch die Kombination moderner KI-Verfahren, geeigneter Hardware und einer sicheren Kommunikationsarchitektur deutliche Fortschritte bei Batterielaufzeit, Datenverarbeitung und Zuverlässigkeit möglich sind.

ThinKIsense wurde von einem interdisziplinären Konsortium durchgeführt. Die Partner ergänzten sich in ihren fachlichen Schwerpunkten und brachten unterschiedliche Perspektiven aus Industrie und Forschung ein. NXP Semiconductors verantwortete die Systemarchitektur, die Mikrocontroller-Plattform sowie zentrale Bereiche der Security und der energieeffizienten Signalverarbeitung. Siemens brachte seine langjährige Erfahrung in der industriellen Sensorik und im Bereich der datenbasierten Zustandsüberwachung ein. NETZSCH stellte das Anwendungsszenario bereit und unterstützte die Datenerfassung sowie den Aufbau des Demonstrators im realen Pumpenumfeld. Das FZI Forschungszentrum Informatik konzentrierte sich auf neuromorphe Hardware und innovative KI-Verfahren. Die Technische Universität Darmstadt ergänzte das Projekt durch ihre Expertise in RISC-V-basierten Beschleunigern und eingebetteten KI-Plattformen. Gemeinsam deckten die Partner die gesamte Kette von der Grundlagenentwicklung bis zur praktischen Umsetzung ab.