

Untersuchungen zur drahtlosen Kommunikation für „Smart Tunnel Linings“

Lechner Robert Bsc
Institut für Hochfrequenztechnik
Technische Universität Graz

Einleitung

Die als Machbarkeitsstudie durchgeführte Masterarbeit in Kooperation mit dem Institut für Felsmechanik und Tunnelbau an der Technischen Universität Graz beschäftigt sich mit der Frage nach geeigneten Technologien zur drahtlosen Daten- und Energieübertragung von und zu Sensoren, welche in Beton eingebettet werden sollen.

Die Energieversorgung ist der wichtigste Punkt, da eine Wartung der Sensoren nicht möglich ist und die Lebensdauer von Sensoren in Tunnelwänden mehrere Jahrzehnte betragen soll. Aus diesem Grund kommen aktiv betriebene Sensoren nicht in Frage, da ein Batterietausch nicht möglich ist. Batterielose Sensoren können im Beton nur als Sensortransponder (Tags) in passiven RFID-Systemen verwendet werden.

Die Daten müssen zwischen den Sensoren und dem Lesegerät mit einer für Stahlbeton geeigneten Technologie übertragen werden.

Im Tunnelbau gibt es mit passiven Sensoren kaum Erfahrungen. Die vorhandene Literatur beschränkt sich auf Gebäude, Brücken und Straßen. Die Sensoren müssen also drahtlos und passiv sein, und sollen wenn möglich von einem vorbeifahrenden Fahrzeug ausgelesen werden können. Bei der Recherche wurde festgestellt, ob Erfahrungen aus den herkömmlichen RFID Bereichen wie z.B. Instandhaltung, Identifikation und Produktverfolgung für die aktuelle Problemstellung anwendbar sind.

Eine wichtige Frage ist, ob die notwendigen Antennen, Lesegeräte, Software und Sensortransponder im Handel erhältlich sind, und wenn, ob Gesamtsysteme existieren, oder immer individuelle Lösungen aus Einzelkomponenten zu erstellen sind.

Hierbei muss beachtet werden, dass für die EU und die USA unterschiedliche gesetzliche Regelungen gelten, die es unmöglich machen, ein für einen Frequenzbereich optimiertes System problemlos in einem anderen Geltungsbereich einzusetzen.

Technologievergleich (HF und UHF)

Ein Teil der Arbeit war der Vergleich der verfügbaren Technologien (HF und UHF) zur Datenübertragung und deren Vor- und Nachteile, sowie möglichen Einsatz.

High Frequency (HF)

Die Lesereichweite beträgt bis zu einem Meter und solche Systeme werden als remote coupling Systeme bezeichnet. Sie arbeiten mit induktiver Kopplung durch magnetische Felder. Bei solchen

Systemen wird die Energie durch das elektromagnetische Nahfeld übertragen. Die Reichweite hängt von der Frequenz und damit von der Wellenlänge ab. Die Sendefrequenzen für HF-Systeme befinden sich im Bereich von 3 MHz bis 30 MHz. Bei der für RFID Systeme verwendeten Frequenz von 13,56 MHz beträgt die Wellenlänge $\lambda = \frac{c}{f} = 22,1$ m, wobei c die Lichtgeschwindigkeit und f die verwendete Frequenz ist, und die das Fernfeld beginnt bei $\frac{\lambda}{2 \cdot \pi} = 3,5$ m. Die Antenne des Lesegerätes erzeugt ein magnetisches Feld. Durch Induktion wird in der Antenne des sich im Feld befindlichen Transponders eine Spannung erzeugt, die nach dem Gleichrichten der Energieversorgung des Transponders dient.

Ultra High Frequency (UHF)

Die Sendefrequenzen für UHF-Systeme befinden sich im Bereich von 865 MHz bis 868 MHz in Europa. Außerhalb Europas wird hauptsächlich die Frequenz mit 915 MHz verwendet.

UHF hat eine theoretische Reichweite von bis zu 15 Meter. Solche Systeme werden als Long range Systeme bezeichnet und arbeiten mit elektromagnetischen Wellen. Die Kopplung und Datenübertragung findet im Fernfeld statt. Das Fernfeld beginnt üblicherweise bei $\frac{\lambda}{2 \cdot \pi}$. Bei 868 MHz beträgt die Wellenlänge 0,3456 m und das Fernfeld beginnt bei 0,055 m. Die sich im freien Raum ausbreitenden Wellen stehen dem Transponder nur teilweise zur Verfügung. Am Transponder steht die von der Antenne des Lesegerätes abgestrahlte Leistung teilweise als HF-Spannung zur Verfügung. Diese wird gleichgerichtet und dient der Energieversorgung. Die vom Transponder reflektierte Leistung wird abgestrahlt und ein Teil von der Antenne des Lesegerätes aufgenommen. Durch Demodulation des empfangenen Signals erfolgt die Interpretation der Daten.

Ergebnisse

Die für die Labortests ausgewählten und benutzten Kabel und Lesegeräte wurden am Institut für Hochfrequenztechnik überprüft und verifiziert. Die Antennen wurden in der Antennenkammer am Institut vermessen. Alle Geräte und Bauteile haben den von den Herstellern angegebenen Spezifikationen entsprochen.

Die Sensortransponder von Microsensys und ASYGN wurden in Betonwürfel eingegossen. Es wurden mit dem mobilen Lesegerät von Microsensys und dem stationären Modul von FEIG in verschiedenen Konfigurationen mit diversen Patch-Antennen Zuverlässigkeitstests durchgeführt.



Abbildung 1: Mobile Erfassung der Sensordaten

Mit diesen Messungen sollte festgestellt werden ob und ab welchem Zeitpunkt ab Fertigung der Probewürfel Sensordaten von den Lesegeräten empfangen werden können (da je nach Trockenprozesses der Wassergehalt Einfluss auf die Übertragung hat).

Während des Aushärteprozesses wurde die Temperatur am Transponder aufgezeichnet. Anschließend wurde der Temperaturverlauf am Transponder demjenigen der Raumtemperatur gegenübergestellt, um darzustellen, wie sich beide Kurven zueinander verhalten.

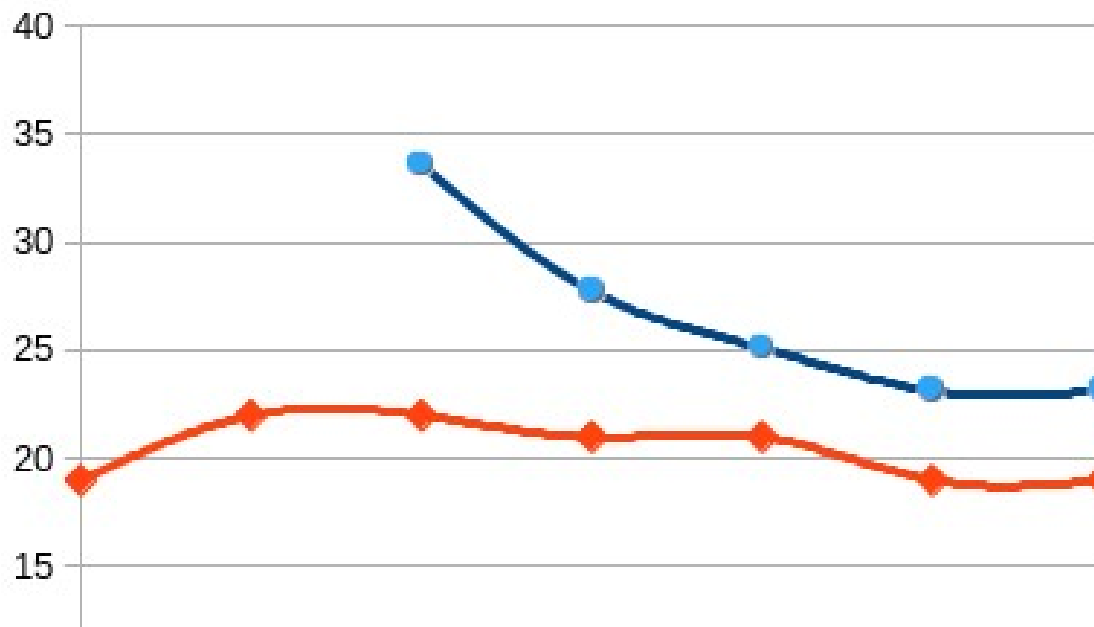


Abbildung 2: Vergleich bei unterschiedlicher Temperatur am Transponder

Mit Temperatursensoren wurden Reichweiten bis zu einem Meter erzielt. Daher ist es möglich Versuche mit Druck-, Feuchtigkeits-, oder Dehnungssensoren durchzuführen. Diese Sensoren werden von ASYGN ebenfalls angeboten.

Die ausgewählten RFID-Systeme wurden auf ihre Eignung bezüglich maximaler Lesereichweite sowohl in Freiraumtests, als auch im Labor überprüft. Untersucht wurden die Möglichkeiten und Einschränkungen der verschiedenen Frequenzbereiche HF (13,56 MHz) und UHF (865 – 868 MHz).

In Experimenten wurde der UHF-Bereich als besser geeignet eingestuft, da nach dem Aushärten des Betons Lesereichweiten bis zu 1m erreicht werden.

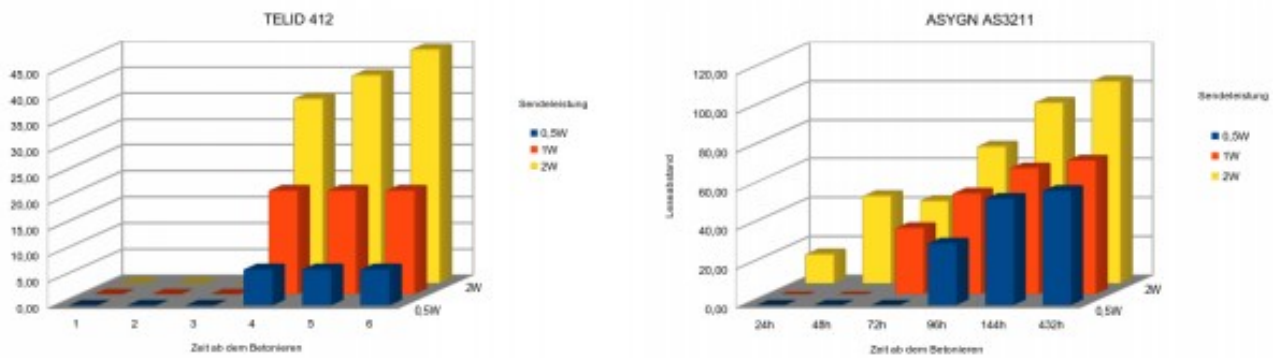


Abbildung 3: Vergleich von 2 Modulen