

# RFID & Sensorik

## Ein AIM White-Paper zum Thema RFID & Sensorik

Version 1.1.3 – Stand 01. Oktober 2024

Veröffentlicht von:

AIM-D e.V. (Germany – Austria – Switzerland)

D-68623 Lampertheim (Germany), Richard-Weber-Str. 29

[info@AIM-D.de](mailto:info@AIM-D.de) – [www.AIM-D.de](http://www.AIM-D.de)

Erstellt von den Experten der AIM-Experts Group „RFID & Sensorik“. Leiter der Experts Group ist Olaf Wilmsmeier von Wilmsmeier Solutions. Haupt-Editoren und Mitwirkende: Thorsten Enthöfer von Turck, Johannes Becker von Schreiner, Thorben Greuter vom Fraunhofer IMS, Peter Peitsch von Microsensus, Oliver Pütz-Gerbig von Leuze, Gerd vom Bögel vom Fraunhofer IMS, Günther Trautzi von INPAQ Europa, Tobias Dräger vom Fraunhofer IIS; René Fachberger von SensiDeon, Alex Decker von smart-TEC, Michael Kaiser von Kathrein Solutions.

Weitere mitwirkende Firmen: Pepperl+Fuchs, HellermannTyton, Logopak, Sato.

## Inhaltsverzeichnis

1.	Über dieses Dokument.....	4
2.	Zielgruppe .....	4
3.	Normen und Verweise .....	4
4.	Definition und Abgrenzung .....	4
5.	Standards.....	4
6.	Allgemeine bestimmungsgemäße Verwendung.....	5
7.	Namenskonvention .....	5
8.	Einleitung .....	5
9.	Funktionsprinzip passiver Sensor-Transponder (ohne eigene Energiespeicher)...	6
10.	Funktionsprinzip semi-passiver Sensor-Transponder (mit eigenem Energiespeicher).....	6
11.	Grundsätzlicher Aufbau eines RFID-Sensor-Transponders .....	7
12.	Grundsätzlicher Aufbau eines RFID-Systems.....	8
13.	Grundsätzlicher Aufbau eines SAW basierten RFID-Sensorsystems.....	8
14.	Reichweite der Übertragung.....	9
15.	Schutzart.....	9
16.	Temperatur.....	10
17.	Technische Aspekte.....	10
18.	Binäre Zustandserfassung.....	13
19.	Temperatur-, Druckmessung in Rührwerken / Zentrifugen.....	14
20.	Temperaturmessung an Kühl- oder Heizwalzen in Papier und Stahlindustrie .....	15
21.	Temperaturüberwachung einer Siegelbacke.....	16
22.	Vakuumdurchführung .....	17
23.	Feuchtigkeitserfassung .....	18
24.	Anwendungsbeispiel für SAW RFID-Sensorsysteme.....	19
25.	Anlage.....	20
I.	Referenz-Projekte RFID-Sensordatenträger.....	20
II.	Fragen für das Vertriebsteam .....	23
III.	FAQ-Liste, um unnötigen Support-Aufwand zu vermeiden .....	25

## Abbildungsverzeichnis

ABBILDUNG 1, GRUNDSÄTZLICHER AUFBAU EINES RFID-SENSOR-TRANSPONDERS .....	7
ABBILDUNG 2, GRUNDSÄTZLICHER AUFBAU EINES RFID-SYSTEMS .....	8
ABBILDUNG 3, GRUNDSÄTZLICHER AUFBAU EINES SAW BASIERTEN RFID-SENSORSYSTEMS.....	8
ABBILDUNG 4, PASSIVER SENSOR-TAG.....	10
ABBILDUNG 5, PASSIVER SENSOR-TAG MIT ZUSTANDSSPEICHER .....	11
ABBILDUNG 6, SEMIPASSIVER ODER BATTERIEGESTÜTZTER SENSOR-TAG .....	11
ABBILDUNG 7, APPLIKATIONSBEISPIEL BINÄRER SENSOR KUPPLUNGSÜBERWACHUNG.....	13
ABBILDUNG 8, APPLIKATIONSBEISPIEL RÜHRWERK .....	14
ABBILDUNG 9, APPLIKATIONSBEISPIEL WALZENTEMPERATURÜBERWACHUNG .....	15
ABBILDUNG 10, APPLIKATIONSBEISPIEL SIEGELBACKE .....	16
ABBILDUNG 11, APPLIKATIONSBEISPIEL VAKUUMDURCHFÜHRUNG .....	17
ABBILDUNG 12, APPLIKATIONSBEISPIEL FEUCHTIGKEITSERFASSUNG.....	18
ABBILDUNG 13, APPLIKATIONSBEISPIEL SAW-TEMPERATURÜBERWACHUNG.....	19

### Dokumentenhistorie

Version	Date	Comment
1.0.2	13/12/2022	Final Review
1.0.3	04/01/2023	Erste veröffentlichte Version in deutscher Sprache
1.0.4	27/05/2024	Ergänzung des Dokuments durch die Arbeitspapiere Referenzprojekte, Fragen für das Vertriebsteam, FAQ-Liste, um unnötigen Support-Aufwand zu vermeiden
1.1.2	12/09/2024	Final Review der neuen Version – welche nun auch in Englisch verfügbar ist.
1.1.3	01/10/2024	Finale Version (erstmals auch in Englisch verfügbar)

## 1. Über dieses Dokument

Dieses Dokument beschreibt den grundsätzlichen Aufbau eines RFID-Transponders mit Sensorfunktionalität (Sensor-Transponder), die benötigten Peripheriegeräte (RFID-Systeme) und soll Interessenten eine Hilfestellung geben, das System zu planen, zu projektieren und einzusetzen.

Des Weiteren enthält das Papier Applikationsbeispiele sowie Best-Practices des Einsatzes von RFID-Transpondern mit Sensorfunktion und soll als Inspiration dienen, um Problemstellungen aus vielen Bereichen der Industrie sowie Logistik / Intralogistik mit Hilfe der Technologie „RFID mit Sensorfunktionalität“ zu lösen.

## 2. Zielgruppe

Interessierte, mögliche Anwender und alle, die die Möglichkeiten und Vorteile dieser Technologie für sich und Ihr Unternehmen nutzen möchten.

## 3. Normen und Verweise

ISO/IEC 18000-2

ISO/IEC 18000-3

ISO/IEC 18000-4:2018

ISO/IEC 18000-63

EPCglobal Class 1 Gen 2

ISO/IEC 15693 und ISO/IEC 14443

## 4. Definition und Abgrenzung

In diesem Papier wird explizit nur die Kombination von RFID-Transpondern mit Sensorik betrachtet. Andere Übertragungsmedien und -technologien (z.B. batteriegestütztes BLE, LoRaWan, etc.) sind durch andere Anforderungen und Randbedingungen gekennzeichnet und außerhalb der Betrachtung. Sehr wohl sind ähnliche Anwendungen mit diesen Technologien realisierbar.

## 5. Standards

RFID-Anwendungen werden in mehreren Frequenzbändern betrieben, die international harmonisiert sind. Die technischen Anforderungen sind in Standards festgelegt, die unterschiedlichen Voraussetzungen entsprechend, getrennt für den LF-, den HF- und den UHF-Bereich.

Die Luftschnittstelle und die Protokolle für Transponder im LF-Bereich (120...134 kHz) sind im Standard ISO/IEC 18000-2 beschrieben. Für die Tierkennzeichnung gelten ferner die Normen ISO 11784 und ISO 11785. Während die Identifikationsfunktion hier standardisiert ist, herrschen bisher bei der zusätzlichen Integration von Sensoren, z.B. zur Erfassung der Körpertemperatur bei Tieren, proprietäre Lösungen vor.

Für HF (13,56 MHz) sind die Übertragungsnormen ISO/IEC 15693 sowie ISO/IEC 14443 bzw. ISO/IEC 18000-3 maßgeblich.

Für UHF (840...960 MHz) und im Besonderen für Sensor-Transponder ist der weltweit gültige Standard ISO/IEC 18000-63 (letzte Aktualisierung 11/2021) verfügbar. In Kapitel 8 dieses Standards werden die unterschiedlichen Komplexitätsgrade der Sensoren beschrieben.

Für RFID-Systeme, die im 2.4 GHz Band funken, steht der Standard ISO/IEC 18000-4:2018 zur Verfügung (insbesondere für Item-Management).

## 6. Allgemeine bestimmungsgemäße Verwendung

Ein Sensor-Transponder basiert auf der Kombination von RFID-Technologie (LF, HF oder UHF) und angeschlossener Sensorik. Der Sensor erfasst hierbei Messwerte von physikalischen Größen wie z.B. Druck oder Temperatur oder im einfachsten Fall binäre Signale von (z.B. induktiven) Sensoren oder mechanischen Schaltern.

Die gemessenen Werte können auf dem RFID-Transponder gespeichert und über RFID-Lesegeräte ausgelesen werden.

Der große Vorteil dieser Kombination liegt darin begründet, dass die grundlegende Funktion der RFID-Technologie, nämlich die Objekt-Identifizierung, mitgenutzt werden kann (Multi-Use) und einen echten Mehrwert bietet.

Darüber hinaus lässt sich der Speicher des RFID-Transponders für eine Hinterlegung von teilebasierter Information (elektronisches Typenschild), Kalibrierdaten für die Sensorik oder auch für eine Produktions- oder Wartungshistorie verwenden. Typische Anwendungsbereiche für Sensor-Transponder sind Fertigungsprozesse, in denen Prozess-Parameter an rotierenden oder ortsveränderlichen Komponenten kontrolliert werden müssen oder widrige Umgebungsbedingungen wie Vibration, Schock, Temperatur eine drahtgebundene Übertragung schwierig oder gar unmöglich machen.

In der Logistik / Intralogistik bieten Sensor-Transponder die Möglichkeit, Prozesse zu überwachen, um z.B. eine gleichbleibende Qualität gewährleisten zu können (z.B. in der Kühlkettenüberwachung).

Die berührungs- und sichtkontaktlose Übertragung der Sensorwerte mittels RFID stellt somit eine robuste, wartungsarme und langlebige Lösung dar.

## 7. Namenskonvention

Gängige Synonyme für „RFID-Transponder“ sind „Tag“ und „mobiler Datenspeicher“. RFID-Schreib- / Lesegeräte werden auch als „Transceiver“ oder „Reader“ bezeichnet. In diesem Dokument werden diese Schreibweisen gleichwertig verwendet.

## 8. Einleitung

RFID (**R**adio **F**requency **I**Dentification) ist aus einer modernen Fertigung im industriellen Bereich, aber auch aus der Logistik / Intralogistik und aus unserem privaten Alltag nicht mehr wegzudenken.

Die Vorteile von RFID liegen auf der Hand.

Die berührungslose, gegen viele Umwelteinflüsse unempfindliche Identifikationstechnologie, funktioniert ohne Sichtkontakt zwischen einem RFID-Transponder und Reader und ermöglicht so die Realisierung von Identifikation auch in Umgebungen mit widrigen Bedingungen wo z.B. ein hoher Verschmutzungsgrad, Feuchtigkeit, Vibration etc. vorherrschen.

Der zweite große Vorteil gegenüber optischen Identifikationstechnologien wie 1D-Barcode, QR-Code und Data-Matrix-Code liegt in der Wiederbeschreibbarkeit des Speichers. So lässt sich eine objektbasierte Identifizierung zusammen mit objektbezogener, dezentraler Datenvorhaltung kombinieren.

Das Werkstück trägt somit nicht nur seine Kennung in sich, sondern kann auch weitergehende Daten wie erforderliche Fertigungsschritte, Prozessdaten oder eben auch Sensordaten mitliefern.

RFID ist somit DER Enabler für IoT / IIoT in der Industrie und Logistik.

Sensoren sind Stützpfiler einer modernen Fertigung; sie erfassen Betriebszustände (Condition Monitoring), nehmen digitale oder analoge Messwerte auf und ermöglichen es so, schnell Prozessparameter anzupassen und auf wechselnde Anforderungen zu reagieren sowie einen Anlagenstillstand zu vermeiden (Predictive Maintenance).

Die Intention ist, die berührungslose RFID-Technologie und Sensoren miteinander in einem Gerät zu vereinen und die drahtgebundene Daten-Übertragungsstrecke durch eine sogenannte Luftschnittstelle zu ersetzen.

Durch diese Kombination kann zum einen ein Objekt mit einer unveränderbaren Nummer zur Identifizierung verknüpft werden, während der Datenspeicher für weitere Anwendungsszenarien wie z.B. die Hinterlegung einer Wartungshistorie genutzt wird und zeitgleich die Sensordaten über die Luftschnittstelle übertragen werden.

## 9. Funktionsprinzip passiver Sensor-Transponder (ohne eigene Energiespeicher)

Ein Sensor-Transponder ohne eigenen Energiespeicher benötigt das (elektro-) magnetische Wechselfeld des Readers, um mit Energie versorgt zu werden. Hierbei werden die Messwerte aufgenommen und an den Reader transferiert.

Es ist möglich, den Ort der Messwertaufnahme räumlich vom Ort der Messwertübertragung zu trennen. Das heißt, am Ort der Messwertaufnahme befindet sich ein Reader der sein (elektro-) magnetisches Feld nur für die Versorgung des Sensor-Datenträgers bereitstellt. Die Messwerte werden im Speicher des Datenträgers abgelegt.

Am Punkt der Messwertübergabe ist dann ein Reader vorhanden, der die hinterlegten Daten ausliest.

Es wird empfohlen, wenn die Applikationsanforderungen dies zulassen, die Messwertaufnahme mit passiven Sensor-Transpondern vorzunehmen. Gründe hierfür sind z.B. die einfachere Implementierung sowie der kostengünstigere und wartungsärmere Aufbau des Sensor-Transponders gegenüber semi-passiven RFID-Transpondern.

## 10. Funktionsprinzip semi-passiver Sensor-Transponder (mit eigenem Energiespeicher)

Ein Sensor-Transponder mit eigenem Energiespeicher benötigt für die Messwertaufnahme keine Energie aus dem Übertragungsfeld des Readers (autarker Betrieb). Die Messwerte werden aufgenommen, gespeichert und zu einem späteren Zeitpunkt an den Reader transferiert.

Je nach Art des Energiespeichers zur Versorgung eines semi-passiven Sensor-Transponders (z.B. Kondensator, Gold-Cap, Akkumulator) kann dieser aufgeladen werden, während sich der Sensor-Transponder im Erfassungsbereich des Readers befindet. Dieses Verfahren ist eher bei induktiv gekoppelten Systemen in LF- und HF-Bereich gebräuchlich, während dafür bei UHF der mögliche Energietransfer des elektromagnetischen Wechselfeldes meist zu gering ist.

Es können auch weitere Energiequellen zum Aufladen des Energiespeichers verwendet werden: mit der Nutzung vorhandener, umgebender Energie wie z.B. Temperatur (-unterschiede), Bewegung, Druck oder Licht (Energy Harvesting).

Die Art der Energiequelle sowohl für den Betrieb des Sensor-Transponders, als auch die Energiequelle, welche zum Aufladen genutzt wird, bestimmen die Dauer des Aufladevorgangs.

## 11. Grundsätzlicher Aufbau eines RFID –Sensor-Transponders

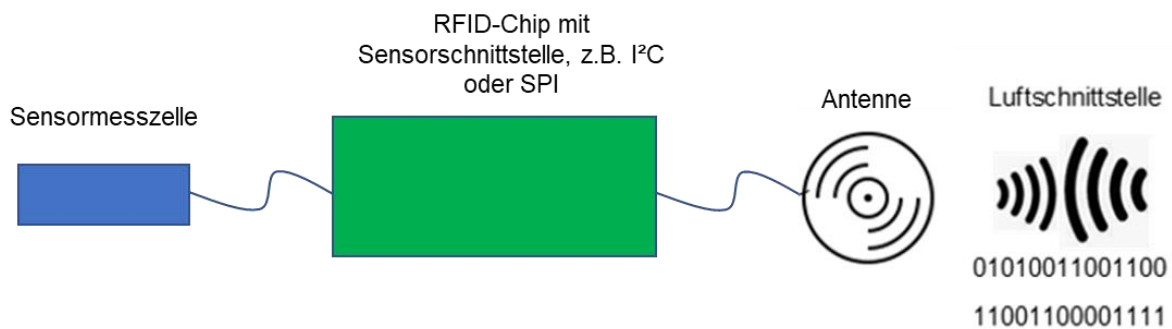


Abbildung 1, Grundsätzlicher Aufbau eines RFID-Sensor-Transponders

Der Sensor kann ein einfaches binäres Element sein (z.B. Schließkontakt, induktiver Sensor) zur Erfassung von „Target vorhanden“ oder aber eine Messzelle sein, die z.B. Temperaturen oder Drücke erfasst. Bei UHF besteht auch die Möglichkeit, über die Verstimmung der Antenne des Transponders Messwerte zu generieren.

## 12. Grundsätzlicher Aufbau eines RFID-Systems

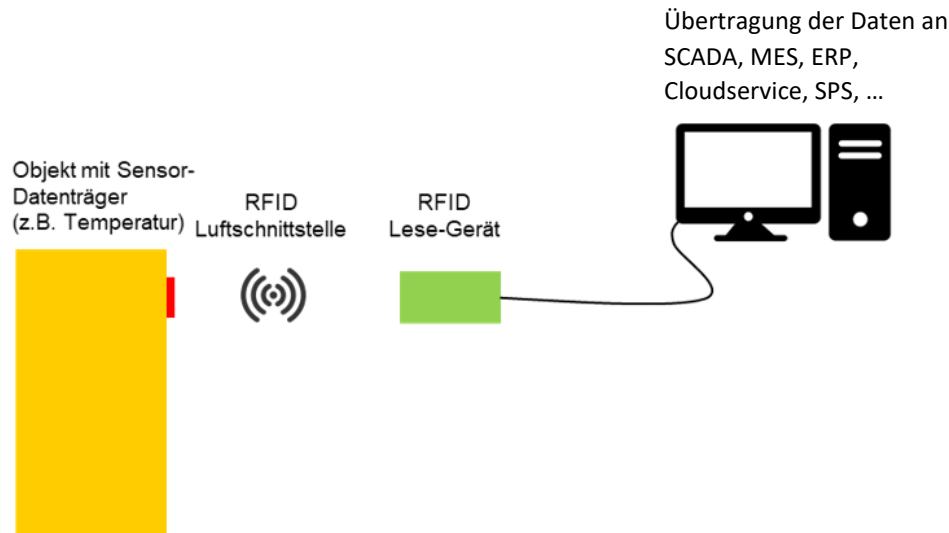


Abbildung 2, Grundsätzlicher Aufbau eines RFID-Systems

Der Sensor-Datenträger erfasst die Messwerte, die über die Luftschnittstelle zu einem RFID-Lese-Gerät übertragen werden. Die Daten werden weiter an eine Applikation zur Verarbeitung oder Darstellung gesendet.

## 13. Grundsätzlicher Aufbau eines SAW basierten RFID-Sensorsystems

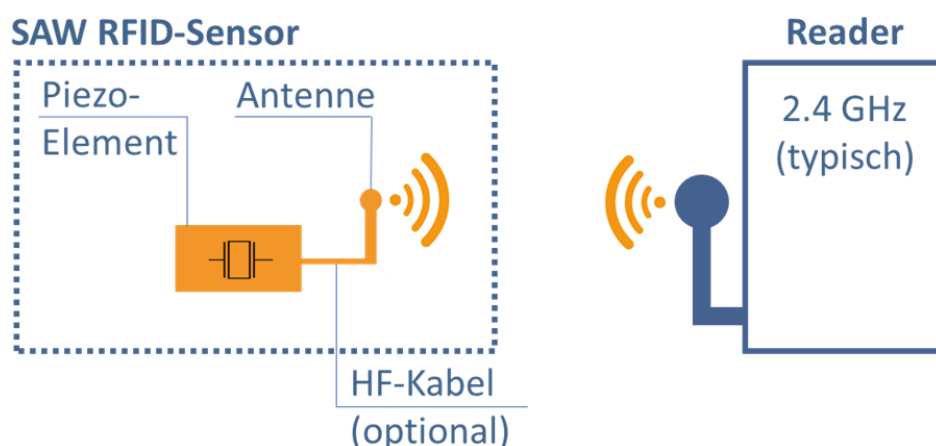


Abbildung 3, Grundsätzlicher Aufbau eines SAW basierten RFID-Sensorsystems

Ein SAW RFID-Sensor besteht aus einem charakteristisch schwingendem Piezo-Element (auch ID-Tag genannt), das galvanisch an eine Antenne angebunden ist. Das elektromagnetische Reader-Signal wird im Sensor in eine akustische Welle (Surface Acoustics Wave: SAW) umgewandelt, mit dem Messsignal moduliert und rückgewandelt als elektromagnetisches Signal reflektiert. Optional kann



zwischen dem Sensor und der Antenne auch ein HF-Kabel mit variabler Länge angeschlossen werden. Der SAW-Resonator oszilliert in Abhängigkeit von Temperatur, Druck, Dehnung, etc. Dieses Sensorprinzip zeichnet sich durch eine sehr kompakte und leichte Bauweise aus. Der Transponder ist robust, passiv und analog, d.h. er kommt ohne Schaltkreise aus. Zusammengefasst haben SAW RFID-Sensoren folgende Eigenschaften:

- Kompakt und leicht
- Passiv und analog
- Robust und besonders temperaturstabil
- Keine Latenz, sehr schnelle Abfrage
- Koexistenz mit Bluetooth und WLAN
- Read Only RFID

SAW RFID-Sensoren werden typischerweise im breitbandigen ISM-Band bei 2.4 GHz abgefragt. Es gibt auch SAW-Sensorsysteme, die bei 433 MHz bzw. 868 MHz und 960 MHz arbeiten, wobei bei diesen Frequenzen ausschließlich der Sensorwert übertragen wird (ohne Identifikationsnummer).

## 14. Reichweite der Übertragung

Die Größe des Übertragungsbereichs reicht – in Abhängigkeit von Leistung und Frequenz – im LF und HF-Band von wenigen mm bis zu weniger als einem Meter und im UHF-Bereich bis zu mehreren Metern.

Durch Bauteiltoleranzen, Einbausituation in der Applikation, Umgebungsbedingungen und die Beeinflussung durch Materialien (insbesondere Metall und Flüssigkeiten) können die erreichbaren Abstände jedoch stark variieren.

Frequenz:	LF (weltweit verfügbar, kleinere nationale Einschränkungen)	HF (weltweit verfügbar, kleinere nationale Einschränkungen)	UHF (weltweit verfügbar, Achtung es gibt unterschiedliche Frequenzregularien je Region)
Reichweite	bis typ. 10 cm	bis 1 m	bis einige m
Übertragungsprinzip	Induktiv	Induktiv	Fernfeld
Antennen	Spulen, oft viele Windungen mit Ferrit	Spulen, oft Luftspulen mit größerem Durchmesser	Abh. von Anwendung und Umgebung, gängige Antennen (Patch, Dipol...)
Einfluss Umgebung	Eher gering	Gering bis mäßig	Mäßig bis hoch

## 15. Schutzart

Die Umgebungsbedingungen haben einen direkten Einfluss auf die Schutzart des Sensor-Transponders. Eine Applikation in trockener, sauberer Umgebung kann eventuell mit einer offenen oder abgedeckten flexiblen Antennenstruktur bewerkstelligt werden wie sie z.B. bei Inlays oder Labeln verwendet wird. Eine Anwendung in rauem industriellem Umfeld erfordert Geräte mit

höheren Schutzarten (z.B. IP67, IP69k) die u.U. nur durch einen Vollverguss oder Kapselung sichergestellt werden kann.

## 16. Temperatur

Hierbei muss ggf. zwischen dem Sensorelement und dem RFID-Teil unterschieden werden. Berücksichtigt werden muss, ob sich Sensor und RFID-Teil in einem Gehäuse befinden oder durch eine Leitung miteinander verbunden sind und so räumlich voneinander getrennt installiert werden können.

Handelt es sich bei dem Sensor um ein passives Element (z.B. PT100 zur Temperaturmessung), kann dieser bei höheren Temperaturen eingesetzt werden. Handelt es sich bei dem Sensor um ein aktives Element (digitale Messzelle), müssen die maximal zulässigen Temperaturen gemäß Spezifikation, genau wie beim RFID-Teil, berücksichtigt werden. Gängige Grenzen für mikroelektronische Bauteile sind hierbei Temperaturen bis 85°C bzw. bis 125°C.

SAW RFID-Sensoren können aktuell je nach Bauform bis zu Temperaturen von 250°C bis 400°C ausgelesen werden. Das gilt sowohl für das Sensorelement als auch das Übertragungselement.

## 17. Technische Aspekte

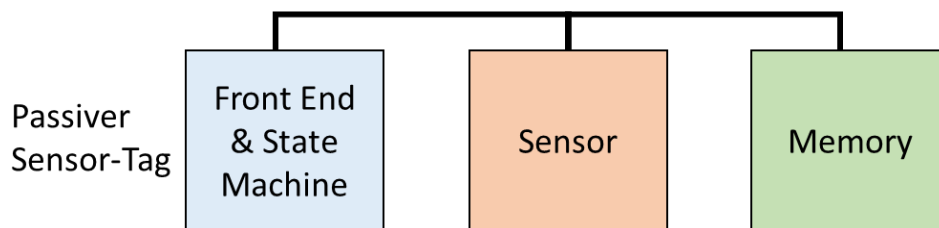


Abbildung 4, passiver Sensor-Tag

Der Eingangsblock (Front End) eines RFID-Transponders ist mit der Antenne verbunden und wandelt das vom RFID-Lesegerät ausgesendete elektromagnetische Wechselfeld in eine Gleichspannung zur Versorgung der Elektronik um. Die Elektronik demoduliert auch die vom Reader über das Wechselfeld übertragenden Informationen und führt die entsprechenden Befehle aus. In umgekehrter Richtung antwortet der Transponder im LF- und HF-Band mit einer "Lastmodulation", in dem das ausgestrahlte Magnetfeld (induktive Kopplung) des Readers moduliert wird. Im UHF-Band bei elektromagnetischen Fernfeldbedingungen wird die Transponderantwort im rückgestreuten Signal (backscatter) übertragen.

Bei einem passiven Sensor-Tag werden sowohl der Transponderblock als auch die angeschlossenen Sensoren aus dem Feld gespeist. Ein Energiespeicher ist nicht vorhanden. Nur in Gegenwart eines RFID-Lesegerätes ist die Energie verfügbar, um Messwerte zu erfassen, zu speichern und an das Lesegerät zu übertragen. Das funktioniert gut bei einfachen Sensoren und bei permanenten Installationen, bei denen sich der Sensor-Tag ständig in dem vom Lesegerät generierten Feld befindet. Die Ausführung der vom Reader empfangenen Befehle erfolgt häufig in einer speziellen stromsparenden Logikeinheit (state machine).

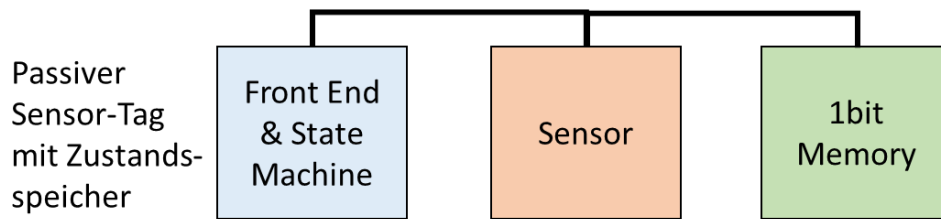


Abbildung 5, passiver Sensor-Tag mit Zustandsspeicher

In vielen Fällen ist auch nur von Bedeutung, festzuhalten, ob bei einer Messung bestimmte Grenzwerte verletzt werden, also eine definierte Schwelle über- oder unterschritten wurde. Dann braucht nur ein Zustandswert gespeichert werden. Man spricht hier auch von einem remanenten Sensor.

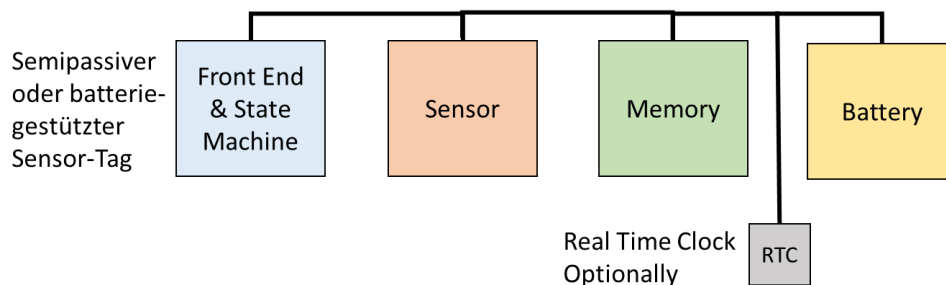


Abbildung 6, Semipassiver oder batteriegestützter Sensor-Tag

Werden die Ansprüche an den Sensor und damit in der Regel auch der Energiebedarf größer, reicht die mögliche Energiezufuhr aus dem Feld meist nicht mehr aus. Es wird ein Sensor-Transponder mit einem eingebauten Energiespeicher notwendig. Bezieht der Transponderteil weiterhin die Energie aus dem Reader-Feld und werden lediglich weitere Funktionsblöcke wie Sensor und Speicher aus dem internen Energiespeicher versorgt, spricht man von einem semi-passiven Sensor-Transponder. Semi-passive Transponder sind das Mittel der Wahl, wenn eine regelmäßige Messwerterfassung bei einer ortsveränderlichen Anwendung verlangt wird, wo sich der Transponder nur zum Auslesen in einem Reader-Feld befindet. Ein Beispiel hierfür ist die Kühlkettenüberwachung, bei der die Sensortransponder auf dem Weg nur an einzelnen Stationen (gates) mit Readern ausgelesen werden. Die Messungen müssen jedoch in viel kürzeren und regelmäßigen Abständen erfolgen. In vielen Fällen greift man für den Energiespeicher zu einer Batterie, die gerade bei extremen Umweltbedingungen und Messungen über einen längeren Zeitraum hinweg anderen zuvor schon erwähnten Energiespeichern in Kapazität und Zuverlässigkeit überlegen ist. Bei aufwendigen und teuren Sensor-Tags ist die Batterie oft austauschbar. Ist sie es nicht, ist der Gebrauch des Sensor-Tags durch die Lebenszeit der Batterie begrenzt.

Bei semi-passiven Transpondern werden in der Logikeinheit neben einer State Machine auch stromsparende Microcontroller ( $\mu\text{C}$ ) eingesetzt, die einen größeren Funktionsumfang aufweisen und auch die Verarbeitung der vom Sensor gelieferten Messdaten übernehmen.

Gerade wenn eine Vielzahl von Messungen über einen längeren Zeitraum durchgeführt wird – z.B. in der Kühlkettenüberwachung, die typischerweise bis zu 4 Wochen dauert – und die Messwerte gespeichert werden müssen, ist oft auch der genaue Zeitpunkt der Erhebung jedes einzelnen Messwertes von Interesse. Hier reichen einfache Taktgeneratoren wie RC-Oszillatoren in der Genauigkeit nicht aus und es sollte eine quarzstabilisierte Zeitbasis (Real Time Clock RTC) integriert

sein. Auch diese würde dann aus der internen Stromversorgung eines semi-passiven Sensor-Transponders gespeist.

Anzustreben ist, dass auch Sensor-Transponder mit den gängigen RFID-Lesegeräten betrieben werden können. Während die ID-Funktion eines Transponders ausreichend standardisiert ist, ist dies für die Sensorfunktion bis heute nur teilweise erfolgt. Dies mag an der dynamischen Entwicklung einer stets wachsenden Anzahl von Sensoren zur Erfassung von überwiegend physikalischen Größen liegen, aber auch an den umfangreichen Daten, die einen solchen Wandler beschreiben. Es reicht meist nicht, nur die digitalen Messwerte in Rohform abzulegen, ohne dass auch Informationen zur physikalischen Größe (Einheit), Messbereich und Zeitstempel der Messwerte vorliegen.

Die Validität der Messwerte des Sensors ist von verschiedenen Faktoren abhängig. Interne Spannungsschwankungen, besonders bei passiven Sensor-Tags vorkommend, können die Messdaten beeinflussen oder die Aussagekraft der Daten gar komplett korrumpieren. Solche Fehler müssen durch geeignete Maßnahmen abgefangen werden.

Oftmals sind gerade bei Halbleitersensoren die durch den Herstellungsprozess vorgegebenen typischen Genauigkeiten nicht ausreichend, so dass die Sensoren zusätzlich kalibriert werden müssen. Die entsprechenden Kalibrierdaten sollten im Sensor-Transponder gespeichert werden können, mit der Möglichkeit, auch Rekalibrierungen durchführen zu können, um z.B. einer Alterung der Sensoren zu begegnen. Wenn die digitalen Messwerte im Speicher mit einem CRC versehen sind, können z.B. „Bitkipper“ erkannt und ggf. auch korrigiert werden. „Ausreißer“ lassen sich durch Vergleich mit dem zulässigen Messbereich durch eine Plausibilitätsprüfung erkennen.

Geht es im weitesten Sinne um sicherheitsrelevante Anwendungen von Sensor-Transpondern, sollten die Sensordaten gegen Verfälschung und auch die Übertragung der Daten geschützt sein. Die Verschlüsselung der Daten bereits im Transponder und das Übertragen der verschlüsselten Daten zum Reader – ggf. durchgehend bis zur End-Applikation – schützt den Übertragungsweg. Digitale Signaturen können sicherstellen, dass die Messdaten auch tatsächlich vom gewünschten Sensor-Transponder stammen. Ein unberechtigter Zugang, z.B. zu den Kalibrierdaten, lässt sich durch Passwörter erschweren, die auf dem Transponder gespeichert sind.

## 18. Binäre Zustandserfassung

### Ringtransponder Kupplung mit Sensor

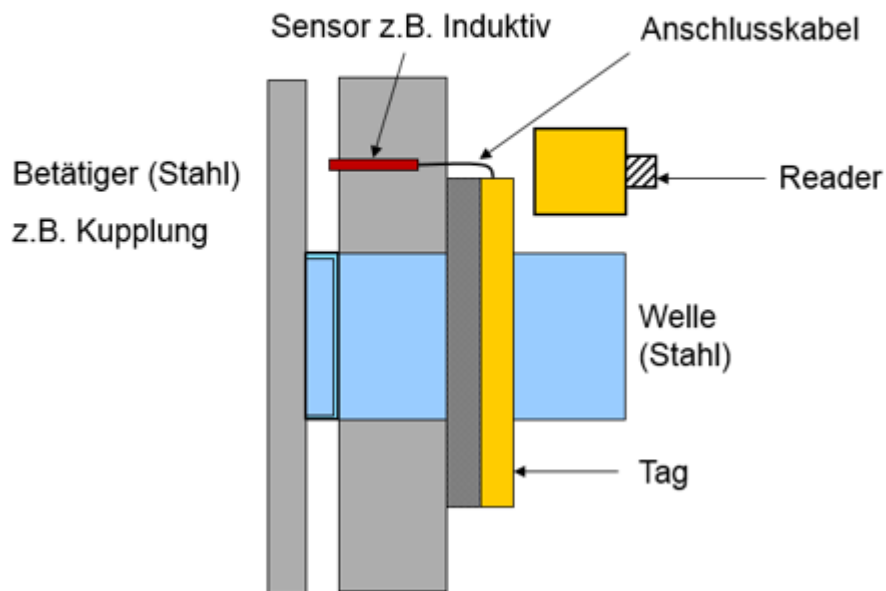


Abbildung 7, Applikationsbeispiel binärer Sensor Kupplungsüberwachung

In diesem Beispiel erfasst der induktive Sensor die Betätigungsplatte einer Kupplung. Diese 1-Bit-Information wird über den RFID-Teil berührungslos an den Reader übermittelt.

Weitere Beispiele für binäre Zustandserfassung sind:

- Füllstandserfassung an Behältern
- Überwachung von korrekt betätigten Verriegelungen
- "Digitale" Versiegelung, tamper proof

## 19. Temperatur-, Druckmessung in Rührwerken / Zentrifugen

### Datenträger Rührwerk mit Sensor

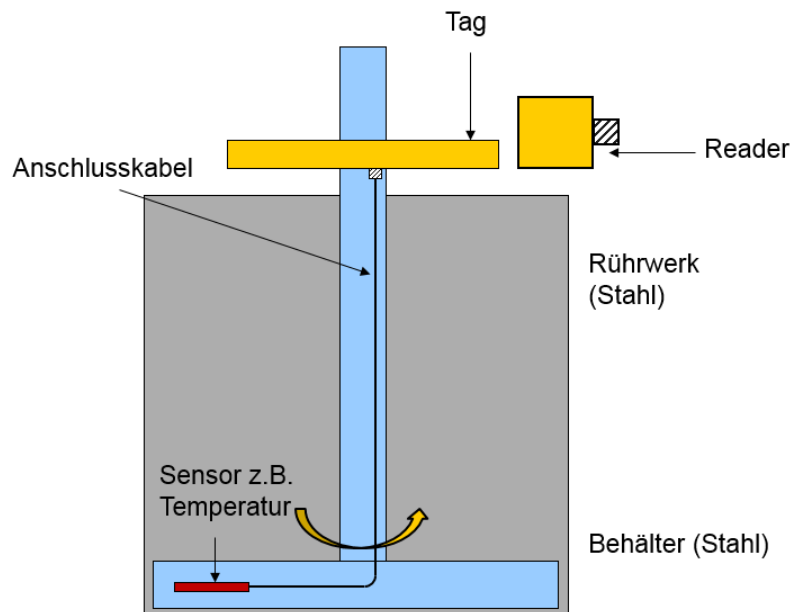


Abbildung 8, Applikationsbeispiel Rührwerk

In diesem Beispiel erfasst der Sensor die Temperatur bzw. Druck in einem Rührwerk / Medium.

## 20. Temperaturmessung an Kühl- oder Heizwalzen in Papier und Stahlindustrie

### Ringtransponder Walze mit Sensor

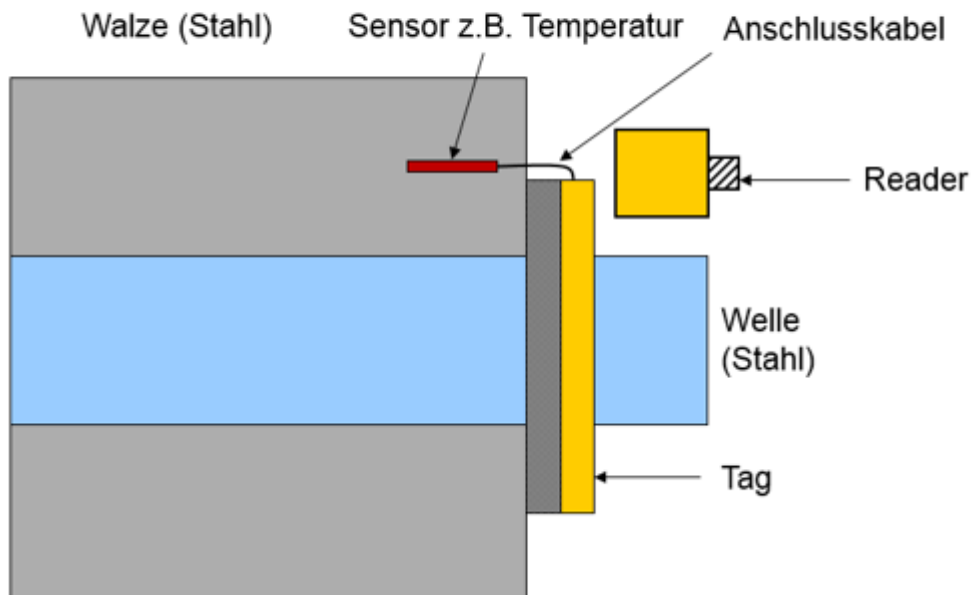


Abbildung 9, Applikationsbeispiel Walzentemperaturüberwachung

*In diesem Beispiel erfasst der Temperatursensor die Temperatur der Walze; allgemein ersetzt der Sensordatenträger teure und anfällige Schleifringe zur Übertragung jeglicher Messwerte. Die Einhaltung eines korrekten Temperaturbereichs ist in vielen Applikationen mit gekühlten oder beheizten Walzen enorm wichtig.*

## 21. Temperaturüberwachung einer Siegelbacke

### Datenträger an Siegelbacke mit Sensor

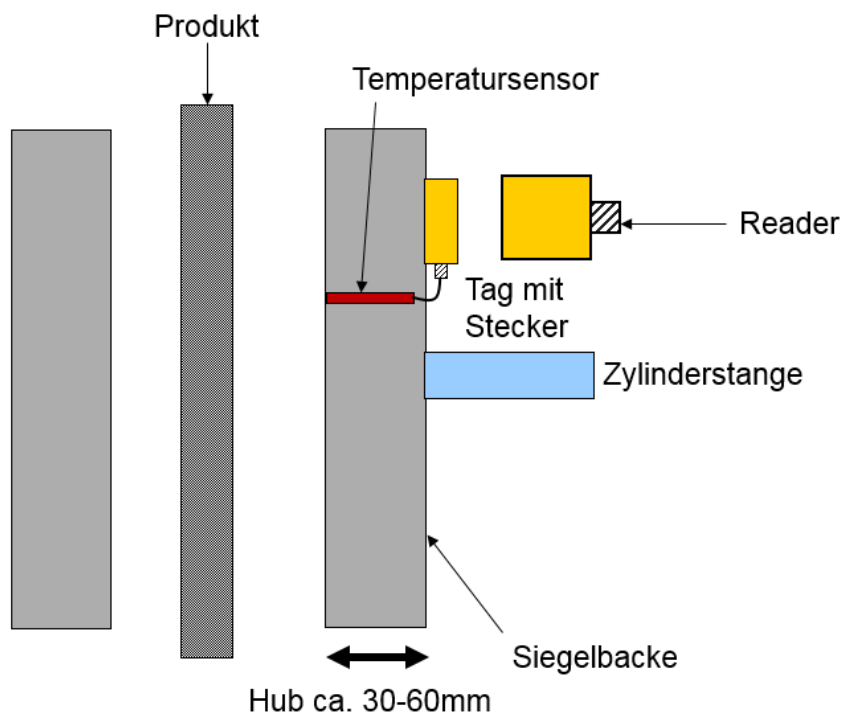


Abbildung 10, Applikationsbeispiel Siegelbacke

In diesem Beispiel erfasst der Sensordatenträger die Temperatur einer Siegelbacke. Diese Applikation ist bei der Verwendung von Standardsensoren (kabelgebunden) durch einen hohen Ausfall gekennzeichnet. Grund ist der Hub und die Belastung der Leitungsverbindung.



## 22. Vakuumdurchführung

### Vakuumdurchführung mit Sensor

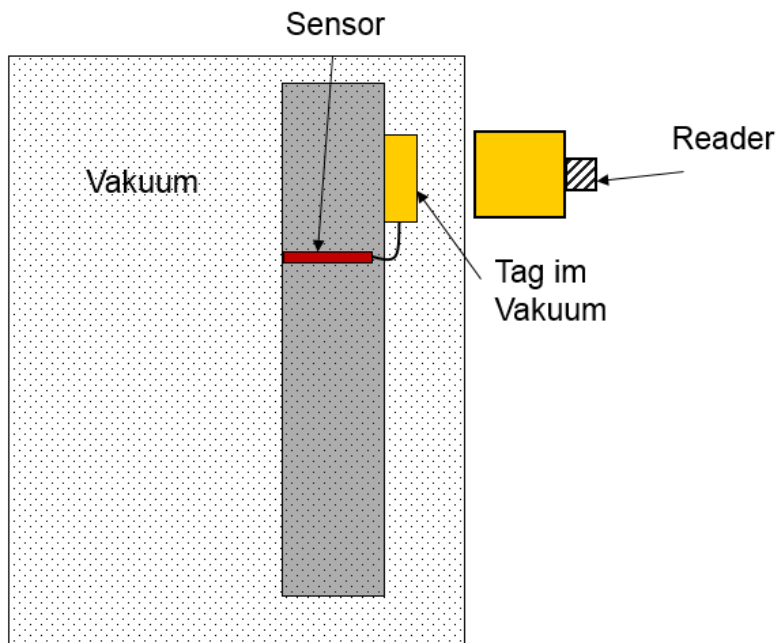


Abbildung 11, Applikationsbeispiel Vakuumdurchführung

*In diesem Beispiel erfasst der Sensordatenträger eine beliebige physikalische Größe (z.B. Druck, Temperatur) innerhalb eines geschlossenen, nicht zugänglichen Raumes. Dies kann auch ein Raum / Behälter sein, der nach dem Beladen und Verschließen nicht mehr zugänglich ist (z.B. Autoklaven, Vakuum-Vergussanlagen).*

## 23. Feuchtigkeitserfassung



Abbildung 12, Applikationsbeispiel Feuchtigkeitserfassung

Bild: Avery-Dennison

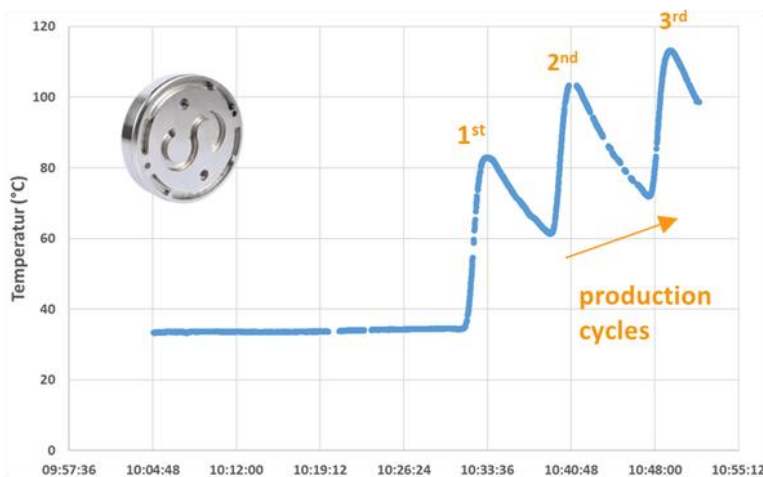
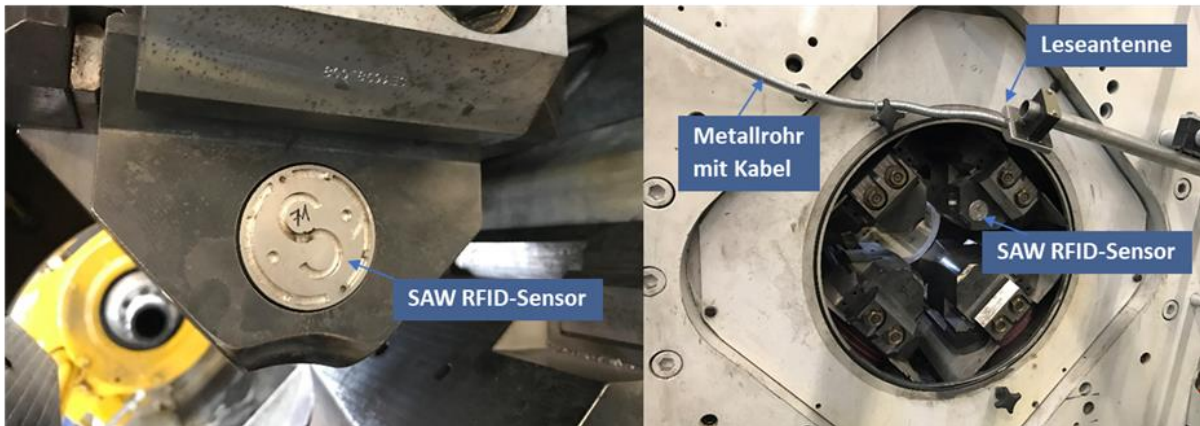
*In diesem Beispiel erfasst ein passiver UHF-Datenträger durch resistive Messung über die Antenne des Tags bzw. die kapazitive Verstimmung vorhandene Feuchtigkeit.*

*Anwendungsbeispiele:*

- *Dichtheitsprüfung im Automobilbereich (Karosserie)*
- *Bauzustandsüberwachung (z.B. Dächer)*

## 24. Anwendungsbeispiel für SAW RFID-Sensorsysteme

### SAW-RFID: Anwendungsbeispiel Rotational Forging



#### Charakteristika:

- Enabler für Industrial IoT in der Schwerindustrie
- Condition Monitoring
- Predictive Maintenance

#### Einsatzgebiete:

- Schmieden, Gießereien
- Durchlauföfen und Lötöfen
- Aushärtung/Trocknung von elektronischen Bauteilen

Abbildung 13, Applikationsbeispiel SAW-Temperaturüberwachung

In diesem Beispiel wird via In-situ-Messung die Temperatur von rotierenden Schmiedewerkzeugen (Rotationsschmiede) mittels SAW basierendem RFID-Sensor realisiert.

## 25. Anlage

### I. Referenz-Projekte RFID-Sensordatenträger

Im folgenden Abschnitt sind einige Referenzprojekte dargestellt, die nach den folgenden Kriterien kategorisiert wurden:

1. Klassifikation / Marksegment
2. HF / UHF?
3. Funk-, und Protokollstandard (z.B. ISO15693, ISO 18000-63 EPC global Gen 2)
4. Welche physikalische Größe wird erfasst (z.B. Druck, Temperatur, binärer Zustand)?
5. Applikationsbeschreibung
6. Welche Technologien wurden bisher eingesetzt?
7. Konzept, Proof of Concept (PoC)?
8. Welches Problem wird durch den Einsatz der drahtlosen Übertragung gelöst?
9. Software-Aufwand / Integration in bestehende / zu schaffende Systeme / Infrastruktur

#### **Referenz-Projekt 1: Qualitätsüberwachung Saatgut**

1. Industrie / produzierendes Gewerbe / Saatguthersteller
2. HF
3. ISO15693
4. Temperatur
5. In einem chaotischen und dynamischen Hochregallager wird ein sensibles Produkt, in diesem Fall Saatgut, in Edelstahlcontainern zwischengelagert. Zur Sicherung des hohen Qualitätsstandards muss das Saatgut unter gesicherten klimatischen Bedingungen gelagert werden. Ein zentrales Kriterium hierbei ist die Temperatur innerhalb der Edelstahlcontainer. Hierfür muss die Temperatur des Saatgutes direkt in den Containern gemessen werden.
6. Bisher wurden die Sensorwerte mit Kontaktstiften des Sensors am Container und einem am Lagerplatz befindlichem Kontaktpad übertragen. Durch den entsprechenden mechanischen Verschleiß war jedoch keine zuverlässige dauerhafte Übertragung möglich. Des Weiteren fand bei nicht 100%iger Positionierung des Containers keine Kontaktierung statt und es konnten keine Messwerte übertragen werden. Bei Verschmutzung der Kontakte war ebenfalls keine Funktionssicherheit gegeben.
7. Es wurde eine berührungs- und sichtkontaktlose Identifizierung der Objekte bei gleichzeitiger Messwertübertragung gefordert.
8. Der Sensordatenträger garantiert eine hohe Verfügbarkeit der Identifikation ohne händisches Eingreifen und durch die berührungslose Energie- und Messwertübertragung eine dauerhafte und nachvollziehbare Qualitätssicherung. Darüber hinaus kann durch den RFID-Sensordatenträger das Produkt identifiziert werden und unterstützt so die chaotische Lagerhaltung. Es kann immer der kürzeste Weg innerhalb des vollautomatischen Lagers ausgewählt werden.
9. Neben höchster Verfügbarkeit ist ebenfalls Datensicherheit gefordert. Denn fällt eine Steuerung inkl. Datenbank aus, ist womöglich das Saatgut nicht mehr nutzbar. Aus diesem Grunde nutzt man eine zweite Steuerung, die eine Profinet-S2-Systemredundanz zur Verfügung stellen. Fällt eine SPS aus, übernimmt automatisch die zweite Steuerung die Steuerung des Prozesses.

Die Sensor-Datenträger werden vorkonfiguriert geliefert, um durch standardisierte Schreib- und Lesebefehle in dem Speicherbereich des RFID-Datenträgers die Messungen zu initialisieren und Temperaturwerte auszulesen.

## Referenz-Projekt 2: Undichtigkeitsmessung am Fahrzeug

1. Industrie / produzierendes Gewerbe / Automobilhersteller
2. UHF
3. ISO 18000-63 EPC global Gen 2
4. Detektion von Feuchtigkeit
5. Nach der Endmontage eines Fahrzeugs in der Automobilproduktion wird eine sogenannte Regenprobe durchgeführt. Hierbei sollen eventuelle Undichtigkeiten am Fahrzeug erkannt werden.

Dazu wird die Karosse im Produktionsprozess an relevanten Stellen mit selbstklebenden Datenträgern versehen, die auf Feuchtigkeit reagieren. Die Feuchtigkeit wird durch eine relative Impedanz-Änderung des Datenträgers erkannt.

Bevor das Fahrzeug im Rahmen der Endkontrolle in die Beregnungskammer einfährt, durchläuft es zunächst ein RFID-Gate, das sämtliche Datenträger erfasst. Nach der Beregnung erfolgt die Ausfahrt durch ein zweites RFID-Gate, das wiederum alle Datenträger einliest. Sollte an einer Stelle Feuchtigkeit eingedrungen sein, erkennt das System eine Diskrepanz zwischen beiden Lesungen und gibt eine entsprechende Fehlermeldung an das MES-System des Anwenders. Betroffene Karossen können so direkt ausgeschleust und nachgearbeitet werden.

6. Bisher führte ein Werker mit einem entsprechendem Handgerät Messungen durch. Hierbei werden Mess-Spitzen an den tiefsten Stellen im Fußbereich / Bodenraum in den Teppich gedrückt um Feuchtigkeit zu erkennen. Dieser händische Prozess erforderte entsprechende Erfahrung des Werkers, an welchen Stellen in der Karosserie sich Wasser ansammeln könnte.

7. Eine automatisierte Erfassung gewährleistet eine Eindeutigkeit sowie Reproduzierbarkeit des Ergebnisses. Hierfür wird eine definierte Anzahl von Sensordatenträgern an den tiefsten Stellen im Fußraum vor Verlegung des Teppichs aufgeklebt.

8. Der automatisierte Prozess gewährleistet ein gleichbleibendes Resultat hinsichtlich Auswertbarkeit des Ergebnisses bzw. eine hohe Wiederholgenauigkeit. Der händische Prozess war zu unsicher, um weitergehende Rückschlüsse auf Fertigungsmängel zuzulassen. Durch den Einsatz der Sensordatenträger konnten durchgeführte Qualitätsmaßnahmen eindeutig verifiziert werden.

9. Die Reproduzierbarkeit wurde zunächst mittels Handlesegeräten, d.h. ohne die Einbindung in übergeordnete Systeme überprüft. Im Anschluss erfolgte der PoC mittels fest installierten UHF-Readern (Gate), um die Feuchtigkeit zu detektieren.

### Referenzprojekt 3: Temperaturmessung am beweglichen Objekt

1. Industrie / Anlagenbau
2. SAW 2.4 GHz
3. ETSI EN 300 328
4. Temperatur
5. Die Sensoren werden an rotierende Objektträger innerhalb von PVD-Plasmakammern angeschlossen und drahtlos abgefragt. Das sehr kompakte und modulare Design ermöglicht den Einsatz in jeder Art und Geometrie von Plasmakammern, auch als Nachrüstung in bestehenden Anlagen. Im Gegensatz zu herkömmlichen Temperaturmarkern erhält man die Temperaturinformationen direkt während des Prozesses, so dass der Prozess überwacht und geregelt werden kann.
6. Bisher wurde die Temperatur des Prozesses mit den Temperaturmarkern im Nachhinein überprüft. Manche Anlagenbauer verwenden auch Schleifringssysteme, um das Sensorsignal am drehenden Teil in der Anlage abgreifen zu können. Damit kann aber nur an Systemen mit einer Rotationsachse gemessen werden (Einfachrotation).
7. Das System basiert auf der SAW Sensortechnologie bei 2.4 GHz. Die passive und analoge Technologie bietet höchste Zuverlässigkeit und Präzision. Das Messsystem ist extrem robust, es ist gegen elektrostatische Entladung (ESD) geschützt und verfügt über eine ausgezeichnete elektromagnetische Verträglichkeit (EMV).
8. Bisher konnte die Temperatur der mehrfach rotierenden Teile, die beschichtet werden sollen, nicht in-situ, also während des Prozesses gemessen werden. Eine Überprüfung im Nachhinein erfordert für die Prozessentwicklung viele experimentelle Versuche. Eine Messung am äußeren Karussell ist ungenau. Mit dem Funksensorsystem kann erstmals präzise und genau die Temperatur des zu beschichtenden Objekts erfasst werden. Damit kann der Prozess überwacht, optimiert und kontrolliert werden.
9. Es müssen Parameter eingestellt werden, insbesondere zur Überwachung der Signalstärke und Filterung der Daten. Erfolgsfaktoren sind auch die korrekte Positionierung der Sensorantenne, der Leseantenne sowie eine gute thermische Anbindung des Sensors an das zu beschichtende Objekt. Die notwendigen Komponenten sind ein Stabsensor mit Sensorantenne, optional als Modul mit Kabeladapter ausgeführt, eine Leseantenne, eine SMA-Vakuumdurchführung sowie ein SAW-Reader für 2.4 GHz und ein SMA-Kabel. Die Anbindung an die Steuerung erfolgt z.B. mit Modbus.

## II. Fragen für das Vertriebsteam

Erläuterung:

Wenn ein Erst-Gespräch mit einem potentiellen Anwender geführt wird, dann sollte nach diesem Schema vorgegangen und für den Projektleiter wichtige Information gesammelt werden.

Diese Tabelle ist als Vorschlag gedacht und kann bei Bedarf gerne modifiziert bzw. erweitert werden.

Frage	Ja / Nein	Kommentar
Haben Sie schon eine Anwendung, die drahtgebunden funktioniert?		Ja: Möchten Sie diese jetzt drahtlos realisieren? Nein: Welche Daten möchten Sie erfassen? Vorteile der drahtlosen Nutzung herausstellen
Wie sieht die Anwendung aus?		
Sind Ihnen die Reichweiten der verschiedenen Funktechnologien bekannt?		Die Technik hat physikalische Grenzen. Einordnung der Reichweiten je Technologie (die Sensorübertragung kann die angegebenen Reichweiten deutlich reduzieren): LF < ~0,15 m HF < ~1,0 m SAW (2,4 GHz) < ~15 m UHF / BLE < ~30 m
Welche Daten möchten Sie erfassen?		Derzeit verbreitete Lösungen: Temperatur, Druck, Feuchtigkeit, Drehmoment. Weitere Sensoren auf Anfrage
In welchem Bereich liegen diese Daten (min/max)?		Abhängig vom jeweiligen Sensor
Welche Genauigkeit benötigen Sie für die Datenerfassung?		Produktspezifisch – Angabe vom Kunden ist wichtig für die Produktauswahl
Wie oft sollen die Daten erfasst werden?		Je höher die Erfassungshäufigkeit bzw. die Übertragungshäufigkeit, desto höher der Energiebedarf
Welche Reichweite soll erzielt werden?		Sinnvolle Reichweiten eingrenzen; größere Entfernungen, über 10 Meter, verlangen vermutlich andere Technologien



Wie viele Daten sollen erfasst werden, wie viele Sensoren sind vorhanden?		Mit einer Empfangsantenne können einige zig-Sensoren gleichzeitig erfasst werden = "Pulk-Erfassung". Sind mehrere Sensoren gleichzeitig zu erfassen?
Ist Metall in der Nähe?		Radiowellen haben Einschränkungen/Verstimmungen in der Nähe von Metall. Eingrenzen der physikalisch möglichen Anwendungsfälle
Welche Lebensdauer ist geplant?		10 Jahre ist ein sinnvoller Wert bei „normalen“ Temperaturen. Berücksichtigt werden müssen Aspekte wie: Lebensdauer des Sensors, der Batterie, des Gesamtsystems.? Ist eine Nachkalibrierung notwendig?
Wo liegt der Mehrwert einer drahtlosen Lösung gegenüber einer drahtgebundenen Lösung?		Im Idealfall sollte die Drahtloslösung ja einen Mehrwert bringen, z.B. Erfassen von Sensorwerten an rotierenden, beweglichen oder schwer zugänglichen Teilen. Höhere Flexibilität, Erweiterbarkeit der Sensoren ist ein weiterer Vorteil. Wenn eine drahtgebundene Lösung möglich ist, ist diese vermutlich kosteneffizienter.
Ist eine Lösung ohne externe Energieversorgung möglich?		Nicht jedes Sensorsystem benötigt eine zusätzliche Energieversorgung. Je nach Typ, kann das komplette Sensorsystem auch durch die UHF / HF Energie über die Luftschnittstelle versorgt werden. Die Laufzeit von Systemen mit zusätzlicher Energieversorgung hängt von vielen Faktoren ab; z. B. Übertragungszyklen, Messzyklen, Umgebungsbedingungen, etc.
Kostenrahmen?		Wirtschaftlichkeitsbetrachtung!



### III. FAQ-Liste, um unnötigen Support-Aufwand zu vermeiden

Es hat sich gezeigt, dass in einem Erstgespräch mit einem potentiell künftigen Anwender Fragen gestellt werden, die immer wieder in die gleiche Richtung gehen. Daher wurden die typisch auftretenden Fragen gesammelt und mit den empfohlenen Antworten versehen.

1. Frage: Wie genau ist die Sensorik?

Antwort: Wie bei jeder Sensoranwendung, unabhängig ob drahtgebunden oder nicht, kommt es auf das Sensorprodukt an. Die Details können Sie der Produktspezifikation entnehmen.

2. Frage: Muss sich der Sensordatenträger für die Übertragung des Sensorwertes im Bereich der Lesezone befinden?

Antwort: Ja, für die Übertragung auf der Luftschnittstelle muss sich der Sensordatenträger im Bereich der Lesezone des Antennenfeldes befinden. Je nach Bauart, kann der eigentliche Sensor, eventuell mit einem Kabel am Sensordatenträger verbunden, räumlich woanders befinden.

3. Frage: Wie groß darf der maximale Abstand zwischen Sensorsystem und Antenne sein?

Antwort: Generell kann davon ausgegangen werden, dass Übertragungsrreichweiten von BLE, UHF-RFID und SAW Systemen größer sind als von HF RFID Systemen. Typischerweise werden Entfernungen bei BLE, UHF und SAW Anwendungen im einstelligen Meter-Bereich liegen. HF-Anwendungen sind typischerweise im Zentimeter-Bereich.

4. Frage: Wie viele Messwerte kann das Sensorsystem puffern / speichern?

Antwort: Dies hängt von mehreren Faktoren ab, wie z. B.: Auflösung / Art des Sensorsystems, Energieversorgung, Anzahl Messzyklen, Speichergröße, etc.

5. Frage: Können mehrere Sensoren im Pulk ausgelesen werden?

Antwort: Ja, prinzipiell ist dies möglich. Final ist die Anzahl der Sensordatenträger, die gleichzeitig mit einem Lesegerät ausgelesen werden können, von der finalen Applikation abhängig. Typischerweise kann ein solche Pulk-Erfassung mittels UHF-RFID gut realisiert werden. Im HF RFID-Bereich ist dies eher die Ausnahme.

6. Frage: Wie schnell können Messwerte ausgelesen werden und wie schnell ist die Wiederholungsrate?

Antwort: Die Übertragungsrate auf der Luftschnittstelle ist in Abhängigkeit von der Technologie limitiert. Eine Wiederholungsrate im einstelligen Millisekunden-Bereich ist in der Praxis typischerweise nicht möglich.

7. Frage: Kann ich mehrere Sensoriken an einen RFID-Transponder anschließen?

Antwort: Ja, je nach Typ und Bauart gibt es entsprechende Lösungen am Markt.

8. Frage: Wie lange hält die Energieversorgung des Sensorsystems?

Antwort: Nicht jedes Sensorsystem benötigt eine zusätzliche Energieversorgung. Je nach Typ, kann das komplette Sensorsystem auch durch die UHF-/ HF-Energie über die Luftschnittstelle versorgt werden. Die Laufzeit von Systemen mit zusätzlicher Energieversorgung hängt von vielen Faktoren ab z. B. Übertragungszyklen, Messzyklen, Umgebungsbedingungen, etc.

9. Frage: Benötige ich Sicht zwischen Sensor / Transponder zur Antenne?

Antwort: Ein Sichtkontakt ist nicht erforderlich. Allerdings können je nach Technologie verschiedenste Materialien Einfluss auf die Übertragungreichweite haben. Typischerweise beschränken metallische / HF-Leitfähige Materialien und im UHF-Bereich auch Flüssigkeiten die Übertragung signifikant.

10. Frage: Funktioniert das Sensorsystem mit jedem Lesegerät oder ist dies eine Hersteller spezifische Lösung?

Antwort: Generell ist die UHF- und HF-Technologie herstellerunabhängig durch internationale Normen standardisiert. Das Zusammenspiel von verschiedensten Sensordatenträgern und Lesegeräten (inkl. Antennen) hängt jedoch von mehreren applikationsspezifischen Parametern ab und sollte daher im Einzelfall mit dem Hersteller abgeklärt werden.