

# Integriertes SAW RF-ID & Sensorsystem für hohe Temperaturen

Jochen Bardong, Alfred Binder  
CTR Carinthian Tech Research  
9500 Villach, Österreich  
jochen.bardong@ctr.at

## Abstract

Während für Raumtemperaturanwendungen eine Vielzahl an fernabfragbaren Identifikationssystemen (RF-ID) verfügbar ist, teilweise sogar mit integrierter Sensorik, versagen diese meist halbleiterbasierten Systeme bei Umgebungstemperaturen  $> 200^{\circ}\text{C}$  rasch den Dienst. Inhalt dieser Arbeit war die Entwicklung eines kombinierten RF-ID & Temperatur-Sensor-Systems basierend auf akustischen Oberflächenwellenelementen (SAW, surface acoustic waves). Es wurden potentiell geeignete Substratmaterialien, wie Lithiumniobat, Langasit, und Galliumorthophosphat untersucht und für Hochtemperatureinsätze geeignete Metallisierungen und Hausungstechnologien entwickelt und erprobt und die resultierenden Systeme Lebensdauerests bei Temperaturen bis  $350^{\circ}\text{C}$  unterzogen. Für das Abfragen des SAW Transponders über Funk wurde ein kosteneffizientes FSCW (frequency stepped continuous wave) Lesegerät entwickelt. Die Lesereichweite des Gerätes wurde für mehrere exemplarische Konfigurationen als Funktion der Transpondertemperatur gemessen. Abschließend wird als industrierelevante Beispielapplikation die Identifikation und Überwachung von Schlackentiegeln in der Stahlproduktion vorgestellt.

## 1 Einleitung

Ein funkabfragbares, auf Oberflächenwellen basierendes RF-ID System besteht grundlegend aus einem Lesegerät mit Sende- und Empfangsantenne(n), einem SAW Transponder, welcher als reflektive Verzögerungsleitung ausgeführt ist und einer Transponderantenne (Abb. 1). Die Messsignale sind in der Frequenzantwort des SAW Transponders enthalten, die vom Lesegerät aufgenommen und ausgewertet wird.

Je nach Gestaltung des im SAW Transponder enthaltenen Piezokristalls kann dieser mit einer inhärenten Sensitivität, beispielsweise auf Temperatur- oder mechanische Spannungsänderungen, ausgestattet werden. Diese Eigenart kann in Folge für die Realisierung eines vollständig passiven, fernabfragbaren Sensors genutzt werden [1]. Ergänzend können den Kristallen eindeutige Reflexionsmuster aufgeprägt werden, die als Identifikationsmarken dienen können. Strukturell als reflektive Verzögerungsleitung umgesetzt, ermöglicht dies eine Unterscheidung im Zeitbereich und somit eine Puls-Positions-Kodierung.

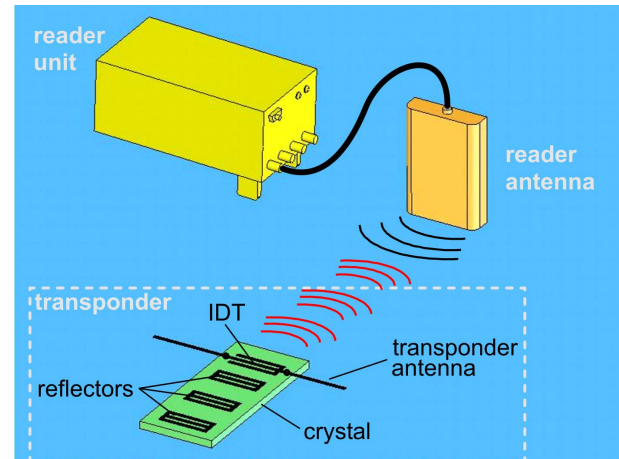


Abb. 1 Prinzipdarstellung eines SAW Systems

Ziel der vorliegenden Arbeit war, diese Ansätze zu kombinieren und daraus ein RF-ID/Temperatursensor-System für hohe Einsatztemperaturen zu entwickeln. Wesentliche Entwicklungsschritte umfassen dabei die Substratauswahl und das Design der Verzögerungsleitung. Weitere relevante Entwicklungsschritte umfassen die Entwicklung einer geeigneten, hochtemperaturtauglichen Aufbau- und Verbindungstechnik und die Charakterisierung der Leistungsfähigkeit des Systems unter Realbedingungen.

Grundlegender Gedanke bei den Entwicklungen war, ein passives, fernabfragbares kombiniertes RF-ID & Sensor-System für hohe Temperaturen (vgl. Tabelle 1) oder chemisch aggressive Einsatzbedingungen zu schaffen. Beispiele für solche Bedingungen sind Durchlauföfen, Prozesskammern und Autoklaven oder die Erfassung von rotierenden bzw. beweglichen Objekten in Maschinen. Jeweils kann eine eindeutige Identifikationsnummer und die Temperatur des Transponders ausgelesen werden. Die (Dauer-) Einsatztemperatur des Transponders muss deutlich über  $200^{\circ}\text{C}$  liegen, um sich von konkurrierenden Halbleiterkomponenten abzuheben. SAW Systeme wurden unter Laborbedingungen prinzipiell bis zu  $1000^{\circ}\text{C}$  demonstriert [2].

Während SAW Elemente über einen weiten Frequenzbereich (typ. 30 MHz bis  $> 2,45$  GHz) angeregt werden können, ist der für eine Funk-Fernabfrage zugängliche Frequenzbereich durch gesetzliche Vorgaben sehr stark eingeschränkt. Für die hier beschriebene Anwendung wurde das freie ISM Band im Bereich von 2,4 GHz bis 2,4835 GHz ausgewählt, da es über eine adäquate Bandbreite (83,5 MHz) verfügt und weltweit von

den Funkregulierungsbehörden zugelassen ist. Im Vergleich zu HF (13,56 MHz) und UHF (866 MHz – 960 MHz) RF-ID Systemen erlaubt die Wahl dieses Frequenzbandes zudem die Verwendung von Antennen mit kleinerer Bauform, ein weiterer praktischer Vorteil für industrielle Anwendungen. Mögliche Ausführungsformen der Transponder-Antennen reichen dabei von Dipol- über Schlitz- bis zu Patch-Antennen.

**Tabelle 1** Zielspezifikationen für das RF-ID System

Einsatztemperatur	-200°C - + 400°C   +1000°C
Messgenauigkeit Temperatur-sensor	< ± 0,02°C
Lesedistanz (RF-ID + Temperatur)	einige Meter
Art des SAW Elements	reflektive Verzögerungsleitung
Transpondergröße (inklusive Antenne)	< 10 x 10 cm <sup>2</sup>
Frequenzband	ISM, 2,4 – 2,4835 GHz
RF-Radar Prinzip	FSCW

Als Lesegerät wurde ein FSCW Radar (frequency stepped continuous wave radar, moduliertes Dauerstrich-Radar) umgesetzt. Es bietet die Vorteile eines einfachen HF Designs und kann mit kostengünstigen Bauteilen realisiert werden.

## 2 Auswahl des Substratmaterials

Die Substratwahl ist die primäre, das System festlegende Entscheidung zu Beginn der Entwicklung eines Hochtemperatur-SAW-Elements. Kommerziell erhältliche Substrate sind vorwiegend Quarz (SiO<sub>2</sub>), Lithiumtantalat (LiTaO<sub>3</sub>) und Lithiumniobat (LiNbO<sub>3</sub>). Auf Quarz ist die Ausbreitungsdämpfung<sup>1</sup> im betrachteten Frequenzband zu hoch [3]. Weitere Nachteile sind ein geringer Kopplungskoeffizient (< 0.1 %) und ein Phasenübergang von  $\alpha$ -Quarz zu  $\beta$ -Quarz bei 573°C, wodurch sich die piezoelektrischen Eigenschaften signifikant verschlechtern. LiTaO<sub>3</sub> wird bei GHz-Duplexern verwendet, ist aber aufgrund ausgeprägter pyroelektrischer Effekte und einer hohen Ausbreitungsdämpfung ungeeignet. LiNbO<sub>3</sub> weist eine geringe Pyroelektrizität und vergleichsweise geringe Ausbreitungsdämpfung auf. Es wurde erfolgreich in HF-SAW Sensorsystemen eingesetzt [4,5], beginnt sich gemäß Literatur bei 300°C zu zersetzen und erscheint deshalb für Hochtemperaturanwendungen als nur bedingt geeignet [6]. Andere Substratmaterialien, wie Langasit (LGS, La<sub>3</sub>Ga<sub>5</sub>SiO<sub>14</sub>) oder Galliumorthophosphat (GaPO<sub>4</sub>) sind prinzipiell bis 1000°C einsetzbar [2,7]. Allerdings sind diese Materialien hinsichtlich ihrer SAW-Parameter bislang nur schlecht charakterisiert.

<sup>1</sup> Dämpfung der Amplitude der Oberflächenwellenwelle über die Laufstrecke, normiert auf eine  $\mu$ s; Einheit dB/ $\mu$ s.

In einem ersten Schritt wurden die SAW- Ausbreitungsdämpfungen von LiNbO<sub>3</sub>, LGS und GaPO<sub>4</sub> in Abhängigkeit von Temperatur und Frequenz untersucht [8]. Die Untersuchungen ergaben, dass die Verluste in LGS und GaPO<sub>4</sub> im interessierenden Frequenzbereich von 2,45 GHz bereits zu groß sind. Ferner steigt die Dämpfung mit ansteigender Temperatur [9,10] und limitiert LGS und GaPO<sub>4</sub> somit auf Frequenzen unterhalb von 1 GHz. Aus diesen Gründen wurde für die vorliegende Anwendung LiNbO<sub>3</sub> als SAW Substrat favorisiert.

## 3 Transponder Design

Die RF-ID Transponder wurden wegen des guten elektro-akustischen Kopplungskoeffizienten auf einem YZ-Schnitt eines LiNbO<sub>3</sub>-Kristalls realisiert. Diese Kristallorientierung wurde auch aufgrund der geringen SAW Beugungseffekte und der speziellen Ausrichtung des pyroelektrischen Vektors in der Waferebene gewählt. Zusätzlich erlaubt der große TCD Wert (temperature coefficient of delay, vgl. Kapitel 5) von -94 ppm/°C das Design eines präzisen Temperatursensors. Eine nachteilige Auswirkung des YZ-Schnitts ist allerdings eine stärkere Volumenwellenkonversion im Vergleich zu LiNbO<sub>3</sub> mit einem Schnittwinkel von 128° rot Y.

Eine reflektive Verzögerungsleitung besteht aus einem Interdigitalwandler (IDT – interdigital transducer) und einer Reihe von Reflexionsgittern (siehe Abb. 1, links unten). Für die Metallisierung wurde ein getemperter Ti/Al Schichtstapel mit einer Gesamthöhe von 70 nm verwendet. Der IDT wurde für das System mit einer Mittenfrequenz von 2,45 GHz ausgelegt, wobei der TCD Wert von Lithiumniobat eine Frequenzverschiebung von -20 MHz pro 100°C (-200 kHz/°C) erwarten lässt. Somit wurde der IDT mit einer 6 dB Bandbreite von 107 MHz ausgelegt. Der Impedanz des Wandlers liegt im Bereich von 50  $\Omega$ , um der Standardanpassung von kommerziellen HF Geräten zu entsprechen, wobei für eine ideale Anpassung der kapazitive Anteil des IDT berücksichtigt werden muss.

Die resultierenden charakteristischen Eigenschaften des SAW Elements sind in Tabelle 2 wiedergegeben.

**Tabelle 2** Eigenschaften des SAW Elements

Substratkristall	LiNbO <sub>3</sub> , YZ-Schnitt
Metallisierung	Ti/Al, 70 nm
Frequenzband	ISM, 2,4 – 2,4835 GHz
Mittenfrequenz bei RT	2,45 GHz
Bereich der Zeitanwort	1,0 – 2,5 $\mu$ s
Insertionsverluste bei RT	45 – 50 dB
Insertionsverluste bei 400°C	55 – 70 dB
ID-Codetiefe	typ. 10 <sup>8</sup>

Die eindeutige Identifikationsnummer (ID) und die Temperatursensor-Funktion werden über ein Design mit typischerweise acht Reflektoren realisiert. Der erste Reflektor sollte dabei einen ausreichenden zeitlichen Abstand zum Abfrageimpuls haben, um die elektromagnetischen Umgebungsechos abklingen zu lassen. Ein üblicher Wert für diese Vorlaufzeit ist  $1.0 \mu\text{s}$ . In Abb. 2 ist eine typische Impulsantwort des entwickelten SAW Elements gezeigt. Dem zeitlichen Verlauf folgend kann man bei ca.  $0.4 \mu\text{s}$  eine Kantenreflexion des SAW Elements erkennen. Die Umgebungsechos sind nach  $0.5 \mu\text{s}$  weitgehend auf das Rauschniveau abgeklungen, die acht Reflektorantworten ( $1 \mu\text{s}$  bis  $2.25 \mu\text{s}$ ) heben sich klar vom Hintergrund ab. Der erste und letzte Puls haben in Analogie zu Übertragungsprotokollen die Funktion eines Start- und Stoppbits zur Kompensation von Temperaturänderungen. Der zweite Puls wird für die Temperaturmessung verwendet. Die Änderung der Wellengeschwindigkeit und der Ausdehnung des Kristalls in Abhängigkeit der Temperatur führt zu einer Änderung des Laufzeitverhaltens der SAW, welche für die Temperaturmessung ausgewertet wird. Die restlichen Pulse dienen zur Realisierung eines eindeutigen Identifikationscodes mit Hilfe eines Puls-Positions-Kodierungsverfahrens [1].

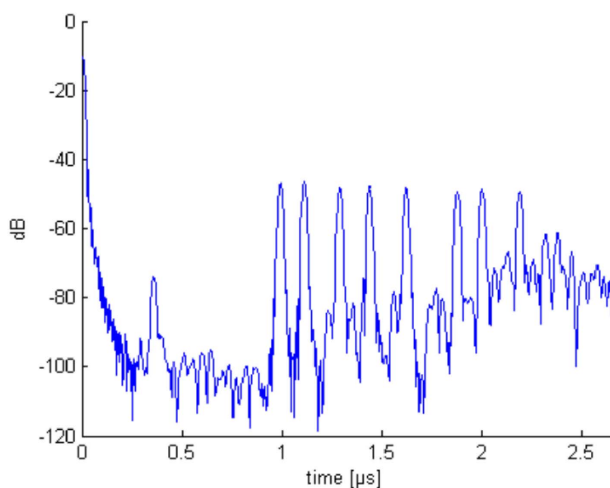


Abb. 2. Impulsantwort der SAW Verzögerungsleitung bei 2.45 GHz (ISM Band)

#### 4 Aufbau- und Verbindungstechnik

Ein wichtiger Aspekt in der Entwicklung eines temperaturbeständigen Transponders ist die Gehäusetechnik. Ein Metallgehäuse mit Glasdurchführungen, wie in Abb. 3 dargestellt, kann für die elektrische Kontaktierung bis zu einer Temperatur von  $400^\circ\text{C}$  eingesetzt werden. Das SAW-Element wird elektrisch mittels Al-Bondedrähten zu den Pins der Glasdurchführung kontaktiert. Die mechanische Fixierung des SAW Elements im Gehäuse wurde mit einem temperaturbeständigen Polyimid-Kleber bewerkstelligt. In Abb. 4 ist ein kompletter Transponder gezeigt, welcher mit einer einfachen Monopolantenne bereits voll funktionsfähig und insbesondere für Anwendungen mit kleinem Bauraum geeignet ist.

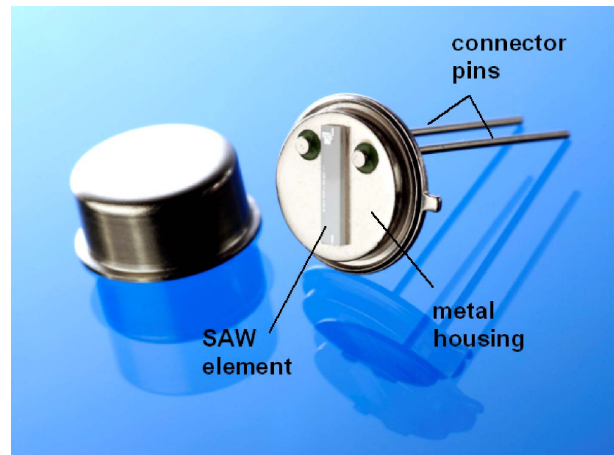


Abb. 3 SAW Element im Metallgehäuse; © CTR AG, Villach; reproduziert mit Erlaubnis



Abb. 4 Monopol-Tag in flachem Gehäuse; © CTR AG, Villach; reproduziert mit Erlaubnis

In einer alternativen Bauform (Abb. 5) besteht der SAW Transponder aus dem Metallgehäuse mit dem Transponder-Chip, einer robusten Schlitzantenne aus Edelstahl und einer Zwischenscheibe aus Keramik.

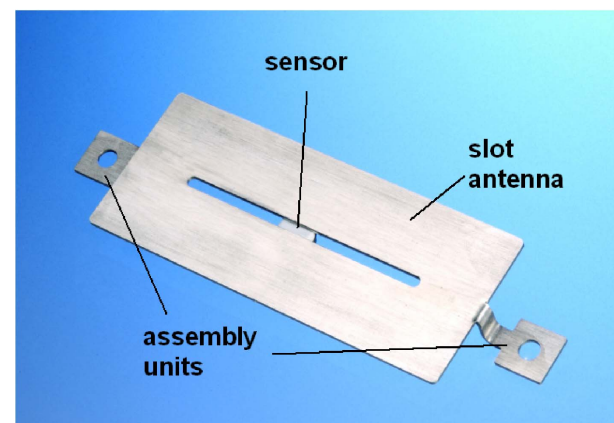


Abb. 5 SAW Transponder mit Schlitzantenne; © CTR AG, Villach; reproduziert mit Erlaubnis

Die Verbindung zwischen Gehäuse und Antenne erfolgt mittels Laserschweißen, woaus im Vergleich zu Lötverfahren eine besonders hohe thermische Belastbarkeit resultiert. Die Schlitzantenne wird über die Befestigungslaschen montiert. Bei Montage auf metallischen Oberflächen ergibt sich durch dieses Design aufgrund der zusätzlichen Reflexionsfläche ein Antennengewinn, der die effektive Auslesereichweite fast verdoppelt.

## 5 Lesegerät

Prinzipiell kann ein SAW Transponder mit einem Abfrageimpuls vollständig ausgelesen werden, die dafür erforderliche Hardware ist aber aufgrund der notwendigen hohen Dynamik der Schaltung komplex und teuer. Als Alternative wurde ein Dauerstrich Radar (FSCW, frequency stepped continuous wave Radar; Blockdiagramm s. Abb. 6) entwickelt.

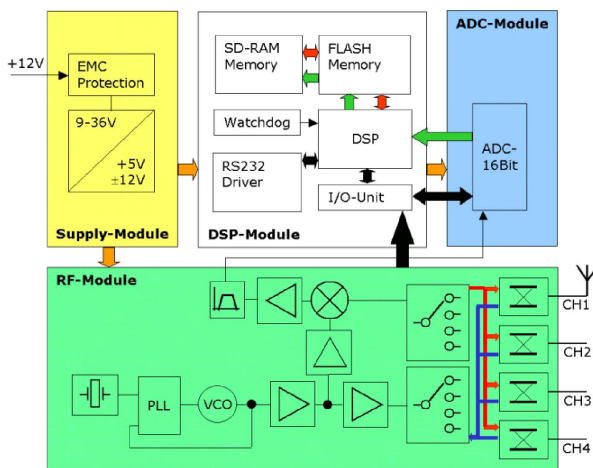


Abb. 6 Blockdiagramm des FSCW Lesegeräts

Eine PLL generiert eine stufenförmige Frequenzrampe, die aufgespalten und über die Antenne zum SAW Transponder gesendet wird. Das reflektierte Antwortsignal ist zeitverzögert und somit eine phasenverschobene Version des Abfragesignals des Lesegeräts, welche am Mischer anliegt [11,12].

Die Datenauswertung ist im Lesegerät integriert und wird von einem DSP übernommen. Für die Datenübertragung und Systemeinstellungen mittels PC steht eine RS232 Schnittstelle zur Verfügung. Abb. 7 zeigt das inzwischen auch kommerziell erhältliche Lesegerät „RadFIT“ in einer typischen Konfiguration mit einer 9 dBi Sende/ Empfangsantenne und einem Transponder mit Schlitzantenne. Die Leistung des Antennenausgangs kann zwischen -12dBm und 4dBm eingestellt werden, um den Gewinn unterschiedlicher Antennen, auch in Hinblick auf einzuhaltende Sendeleistungen, zu berücksichtigen.



Abb. 7. RF-ID & Sensor-System, bestehend aus Lesegerät, Sende-/Empfangsantenne und Transponder mit Schlitzantenne; © CTR AG, Villach; reproduziert mit Erlaubnis

Die vier Kanäle des oben gezeigten Lesegeräts können frei konfiguriert werden. Die einfachste Konfiguration verwendet jeden Kanal für sich, sodass vier Transponder nacheinander ausgelesen werden können. In einer anderen Konfiguration werden 2 Kanäle verwendet um einen Transponder auszulesen. In diesem Fall ist ein Kanal als Sende- und der zweite als Empfangskanal in Verwendung. Dies verbessert die Entkopplung von Eingangs- und Ausgangskanal und somit die Signalqualität und ist so für längere Übertragungsstrecken bzw. Anwendungen mit erhöhter Signaldämpfung durch im Funkpfad befindliche Medien interessant. In speziellen Anwendungen werden auch Antennen mit unterschiedlichem Gewinn eingesetzt, um die Sende- bzw. Empfangsleistung innerhalb der erlaubten Limits im ISM Band zu optimieren.

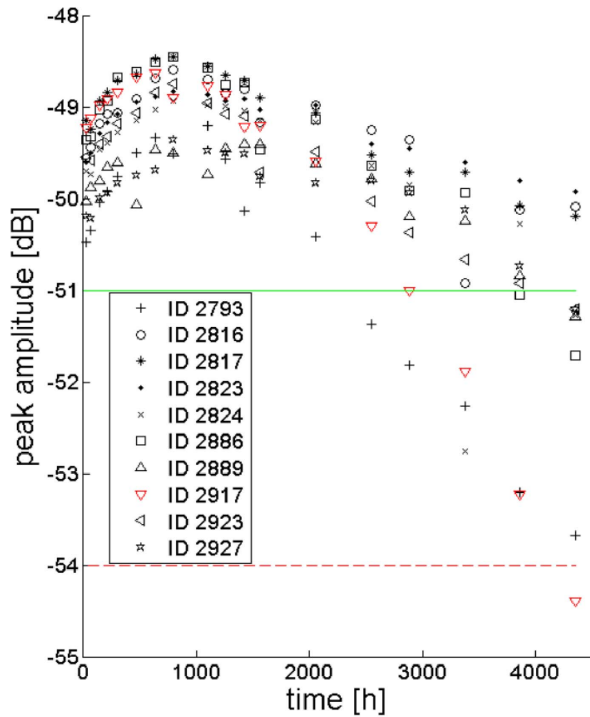
## 6 Leistungsfähigkeit des Systems

### 6.1 Temperaturbeständigkeit

Die Lebensdauer eines SAW Elements hängt stark von der Einsatztemperatur ab. Zur Bestimmung der Lebensdauer wurden thermische Alterungstests durchgeführt. Als Ausfallskriterium wurde eine Pulsdegradation auf die Hälfte, entsprechend einer Degradation um 3 dB zum Ausgangswert, definiert. Fällt ein Bauteil unter diese Grenze funktioniert es noch, allerdings mit einer deutlich geringeren Reichweite. Dauertests bei 300°C ergaben eine Lebensdauer von etwa einem halben Jahr bevor das erste von zehn Testbauteilen unter das Degradationslimit fiel. In Abb. 8 wird der jeweils schwächste Signalpuls der acht Pulse der getesteten SAW-Tags gezeigt.

Zehn SAW Transponder wurden bei 300°C in einem Rohröfen gelagert, zu bestimmten Zeiten aus dem Ofen entnommen, in einer klimatisierten Kammer bei 22°C vermessen und im Anschluss in den Ofen zurückgelegt. Wie aus Abb. 8 ersichtlich, hielten die SAW-Tags den Temperaturschocks bei der Entnahme bzw. Zurücklegen in den heißen Ofen problemlos stand. Weiters war über die ersten 1000 Stunden ein „Run-In-Effekt“ zu beo-

bachten, der sich durch eine Verbesserung der Signalqualität auszeichnet. Dies ist auf eine Verbesserung der Metallisierung durch Tempern zurückzuführen. Im weiteren Zeitverlauf degradierte die metallische Beschichtung in Folge der anhaltenden thermischen Belastung, was zu der in Abb. 8 dargestellten Abnahme der Peakamplituden über die Zeit führte.



**Abb. 8** Amplituden des jeweils schwächsten Pulses einer ID über den Verlauf des Dauerlagertests bei 300°C; (—): normaler Insertionsverlust; (---): definiertes Ausfallkriterium

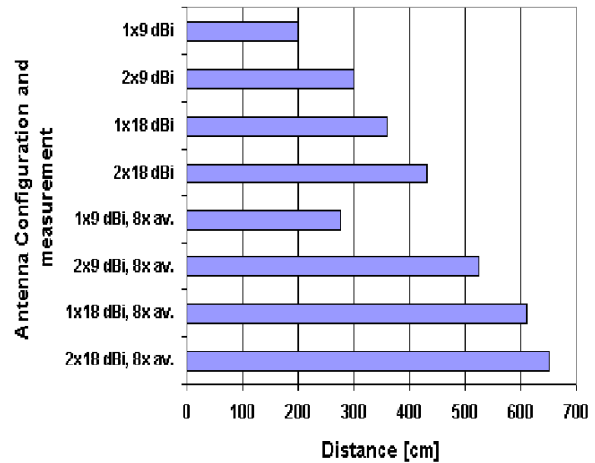
Das Ausfallkriterium eines Transponders wurde nach 4350 Stunden erreicht, ein zweiter versagte kurz danach; andere Bauteile zeigten im Vergleich dazu eine deutlich höhere Temperatur-Zeitstandfestigkeit. Analoge Versuche bei 350°C ergaben eine Mindestlebensdauer von 200 h. Bei 400°C kann zumindest mit einigen Stunden gerechnet werden.

In [13] wurde für 350°C eine Lebensdauer von mehreren Jahren vorausgesagt. Diese Bauteile wurden aber, im Gegensatz zu 2.45 GHz in den vorliegenden Messungen, für 869 MHz ausgelegt, was mit dickeren Metallisierungsschichten und breiteren Fingerstrukturen verbunden ist. Die richtige Auswahl von Metallen, deren Kombination und Schichtdicke sind ausschlaggebend um bei 300°C und darüber stabile Bauteile zu erhalten.

## 6.2 Reichweite

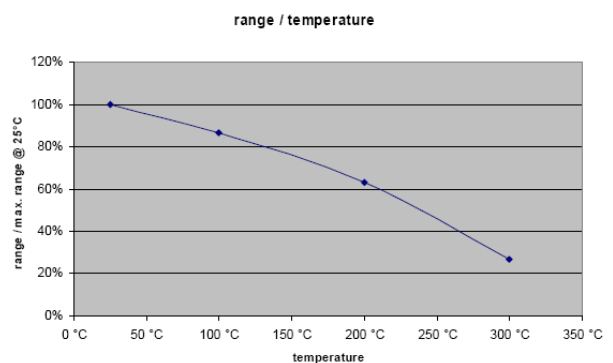
Die Reichweite, für Anwender die interessante und häufig mitentscheidende Systemeigenschaft, wurde mit verschiedenen Konfigurationen gemessen. Je nach verwendetem Antennengewinn, Ausgangsleistung und Rauschreduktion durch Mittelung ergeben sich Reich-

weiten von über 5 m. Alle Messungen wurden mit dem RadFIT Lesegerät und einem Transponder mit Schlitzantenne bei 25°C und Ausgangsleistung 10 mW EIRP durchgeführt. Der Gewinn und die Konfiguration der Sende-/Empfangsantennen wurden variiert. Eine Einzelmessung besteht aus einer Aufnahme von 636 Datenpunkten innerhalb von etwa 125 ms. Die Ergebnisse aus den Reichweitenmessungen sind in Abb. 9 zusammengefasst.



**Abb. 9** Reichweite bei verschiedenen Antennen-Konfigurationen und Anzahl Mittelungen

Die maximale Reichweite wurde über jene Signalstärke definiert, die 80% der Referenz-Signalstärke beträgt. 1x9 dBi oder 1x18 dBi bedeutet einen Ein-Antennen Sende-/Empfangsbetrieb auf einem der vier Kanäle, während 2x9/18 dBi einen Zwei-Antennen-Betrieb mit einem Sende- und einem Empfangskanal bezeichnet. Zusätzlich wurden Messungen mit mehreren Mittelungen durchgeführt, womit man Reichweite auf Kosten längerer Lesezeit gewinnt. Mit einer Konfiguration von 2x18dBi und einer Mittelung von 8 konnte beispielsweise eine Reichweite von 6,5 m erreicht werden.



**Abb. 10** Thermische Abhängigkeit der Reichweite

Abb. 10 zeigt den Zusammenhang zwischen Lese-Reichweite und Temperatur zwischen RT und 300°C. Die Reichweite bei RT wurde hier als Referenz angenommen. Bei 300°C ergab sich eine Reduktion der Reich-

weite auf 30% gegenüber der Referenz. Aufgrund der Änderung der Dämpfungsparameter des Substrats steigen die Signalverluste mit der Temperatur. Im Bereich zwischen RT und 300°C sind die Dämpfungsverluste fast linear (typ. 0,05dB/μs°C). In etwa die Hälfte des Wertes ist der Änderung der Ausbreitungsdämpfung des Kristalls zuzuschreiben, die andere Hälfte der Frequenzverschiebung von Wandler und Transponderantenne relativ zum ISM Band.

### 6.3 Beständigkeit gegen ionisierende Strahlung

Für Sterilisationsanwendungen wurden die Transponder starker Gammastrahlen Belastung ausgesetzt. Die Dosis wurde von anfangs 6 kGy (Gray, 1 Gray = 1 Joule pro kg Masse absorbierender Strahlung) auf 100 kGy gesteigert. Jeder Transponder wurde somit kumulativ mit mehr als 500 kGy beaufschlagt. Tabelle 3 listet zum Vergleich einige spezifische Strahlungsdosen auf. Während des Tests traten keinerlei Ausfälle auf, die SAW-Systeme können daher auch bei wiederholter starker Strahlenbelastung, wie z.B. in Sterilisationsanlagen, eingesetzt werden.

**Tabelle 3** Strahlungsdosen einiger Einsatzbereiche oder Umweltbedingungen

Strahlungsdosis	Anwendung / Effekt
0,1 mGy	stratosphärischer Flug
1,2 – 2 mGy	natürliche Radioaktivität
4,5 – 5 Gy	für Menschen akut letale Dosis
40 – 70 Gy (fokussiert)	Tumorbehandlung
bis 10 kGy	Lebensmittelsterilisation
bis 50 kGy	Sterilisation von Arzneimitteln und Chirurgiebesteck

## 7 Anwendungsbeispiel: Taggen von Schlackebehältern in der Stahlindustrie

Die bei der Stahlerzeugung anfallende Schlacke wird vom Konverter in spezielle Schlackentiegel abgegossen und anschließend zur Weiterverarbeitung auf Halde gelegt (Abb. 11). Die wirtschaftliche Verwertung der Schlacke ist stark von der Qualität abhängig. Für den Verwerter ist somit eine logistische Zuordnung von Abguss und Schlackentiegel notwendig. Für die Automatisierung der Logistik der Schlackentiegel wird eine hochtemperaturtaugliche RF-ID Lösung angestrebt. Neben Temperaturen von bis zu 350 °C wird der SAW Transponder starker mechanischer Stoßbelastung beim Entleeren ausgesetzt. Eine beispielhafte Anbringung des Transponders ist in Abb. 12 dargestellt.



**Abb. 11** Anwendungsbeispiel des HT RF-ID Systems bei Schlackentiegeln



**Abb. 12** SAW Transponder auf einem Schlackentiegel montiert (roter Kreis)

## 8 Zusammenfassung

Ein Hochtemperatur RF-ID System mit integriertem Temperatursensor, bestehend aus einer reflektiven Verzögerungsleitung auf LiNbO<sub>3</sub>, YZ-Schnitt, mit einer Ti/Al Schichtstapelmetallisierung und einem FSCW Lesegerät im ISM Band bei 2.45 GHz, wurde entwickelt. Der Aufbau verschiedener hochtemperaturtauglicher SAW-Tags wurde beschrieben. Beschleunigte Alterungstests ergaben eine Lebensdauer von 4350 Stunden bei 300°C Einsatztemperatur. Die maximale Reichweite wurde für bestimmte Systemkonfigurationen bestimmt. Dabei wurde eine Reichweite von 6,5 m mit der optimalen Antennenkonfiguration und Messwertmittelung erreicht. Die Reichweite wurde auch unter dem Einfluss eines Temperaturanstiegs untersucht. Bei 300°C ergibt sich eine Reduktion auf 30% der nominalen Reichweite. Weiters wurden Tests mit Gammastrahlenbelastung durchgeführt. Eine Dosis von mehr als 500 kGy zog keine Änderung im Signalverhalten nach sich. Als Anwendungsbeispiel für das Hochtemperatur RF-ID System wurde die Logistik von Schlackentiegeln in der Stahlerzeugung angeführt.

## Dank

Die Autoren danken dem Entwicklungsteam der CTR, insbesondere A. Frank, M. Lenzhofer, C. Werner, R. Fachberger, G. Bruckner sowie S. Scheiblhofer, S. Schuster und A. Stelzer vom ICIE der JKU Linz.

Dieses Projekt wurde teilweise von der Österreichischen Forschungsförderungsgesellschaft FFG co-finanziert.

## Literatur

- [1] L. Reindl, G. Scholl, T. Ostertag, A. Pohl, and R. Weigel, "Wireless remote identification and sensing with SAW devices," Proc. of IEEE Int. workshop on commercial radio sensor and commun. techniques, pp. 83-96, 1998.
- [2] J. Hornsteiner, E. Born, and E. Riha, "Langasite for high temperature surface acoustic wave applications," Physica Status Solidi A, vol. 163, pp. R3-4, 1997.
- [3] A. J. Slobodnik, "Materials and their influence on performance" New York: Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 1978.
- [4] C. S. Hartmann, "A global SAW ID tag with large data capacity," Proc. of IEEE Ultrasonics Symposium, pp. 63-7, 2002.
- [5] R. Peter and C. S. Hartmann, "Passive long range and high temperature ID systems based on SAW technology," Proc. of Sensor, pp. 335-40, 2003.
- [6] O. L. Svaasand, M. Eriksrud, G. Nakken, P. A. Grande, „Solid Solution Range in  $\text{LiNbO}_3$ “ J. Cryst. Growth, vol. 22, pp. 230, 1974.
- [7] P. Krempel, G. Schleinzner, and W. Wallnöfer, "Gallium phosphate,  $\text{GaPO}_4$ : a new piezoelectric crystal material for high -temperature sensorics," Sensors and Actuators, vol. A 61, pp. 361-3, 1997.
- [8] R. Fachberger, G. Bruckner, R. Hauser, L. Reindl „Wireless SAW based high-temperature measurement systems“, Proc. IEEE Frequency Control Symposium, pp. 358-367, 2006.
- [9] R. Fachberger, G. Bruckner, G. Knoll, R. Hauser, L. Reindl, "Applicability of  $\text{LiNbO}_3$ , Langasite and  $\text{GaPO}_4$  in high temperature SAW sensors operating at radio frequencies", IEEE Trans. Ultrason. Ferroel. Freq. Control, 51, No.11, pp. 1427-1431, 2004.
- [10] R. Fachberger, G. Bruckner, R. Hauser, C. Ruppel, J. Biniash, L. Reindl, „Properties of radio frequency Rayleigh waves on Langasite at elevated temperatures,“ Proc. of IEEE Ultrasonics Symposium, pp 1223-1226, 2004.
- [11] S. Schuster, S. Scheiblhofer, L. Reindl and A. Stelzer, "Performance evaluation of algorithms for SAW based temperature measurements" IEEE Trans. Ultrason. Ferroel. Freq. Control, 53, No.6, pp. 1177-1185, 2006.
- [12] A. Stelzer, S. Schuster, S. Scheiblhofer "Readout Unit for Wireless SAW Sensors and ID-Tags" in Proc. 2nd Int. Symp. Acoust. Wave Dev. for Future Mobile Commun. Syst. Chiba, Japan, Mar. 3-5, pp 37-44, 2004.
- [13] R. Hauser, L. Reindl, and J. Biniash, "High-temperature stability of  $\text{LiNbO}_3$  based SAW devices," Proc. of IEEE Ultrasonics Symposium, pp. 192-5, 2003.