



## WHITEPAPER

### Transparente Antennen für die drahtlose Kommunikation

Eine Kooperation von der inotec group und der Kundisch GmbH & Co. KG

Dr. Conrad Clauss, Head of RFID Development

Dipl. Ing. MBA Sebastian Gepp, Head of Development Printed Electronics

## INHALTSVERZEICHNIS

INHALTSVERZEICHNIS .....	2
1 EINFÜHRUNG .....	3
2 TECHNOLOGIE .....	4
3 APPLIKATIONEN .....	7
3.1 Aktive Sendeempfänger Antennen.....	7
3.2 Passive RFID Antennen.....	7
4 FAZIT .....	9

## 1 EINFÜHRUNG

Es ist kein Geheimnis, dass Kommunikation schon immer ein Schlüsselement des Lebens war - vom grundlegenden Konzept bis hin zur Voraussetzung funktionierender Gesellschaften.

In unserer modernen Welt kommunizieren nicht nur Menschen (und Tiere) miteinander, sondern auch alle möglichen Geräte und Dinge (Internet of Things). Zudem ist heutzutage keine physische Verbindung zwischen den Kommunikationspartnern mehr notwendig. Stattdessen erfolgt die Kommunikation über die Luftschnittstelle – Geräte können direkt über kurze Distanzen oder mittels Zwischenstationen über größere Entfernungen miteinander kommunizieren. Drahtlose Kommunikation ist zu einem integralen Bestandteil unseres Lebens geworden – so sehr, dass ein schlechter Handyempfang automatisch zu Verärgerung führt.

Andererseits möchten wir nicht ständig an unser Bedürfnis erinnert werden, permanent verbunden zu sein - wir wollen nicht überall Handytürme, Router, Signalverstärker usw. sehen. Die Technik sollte verborgen sein oder sich gut in die Umgebung einfügen. Hier präsentieren wir eine Technologie, die dazu verwendet werden kann, Antennen für die drahtlose Kommunikation unauffällig zu integrieren. Diese transparenten Antennenstrukturen können auf Fenstern oder Displays angebracht werden, ohne die Sicht zu beeinträchtigen, oder auf jedes beliebige Objekt aufgebracht werden, sodass der kommunizierende Teil (fast) unsichtbar bleibt.

### **In diesem White Paper wollen wir die folgenden Aspekte ansprechen:**

- Einführung der Technologie transparenter Antennen für drahtlose Kommunikation
- Anwendung als aktive Sender- und Empfängerantennen für WLAN, Mobiltelefone oder TV/Radio
- Nutzung als passive RFID-Transponderantennen
- Vorteile transparenter Antennen und mögliche Anwendungsfälle/Märkte

Die inotec group verfügt über langjährige Erfahrung in der Etikettenherstellung für Anwendungen in anspruchsvollen Umgebungen und ist führend bei Innovationen in der RFID- und AutoID-Technologie.

Kundisch ist in verschiedenen Bereichen spezialisiert, wie beispielsweise Mensch-Maschine-Schnittstellen, Sensortechnik und hybriden elektronischen Systemen, um nur einige zu nennen. Kundisch hat sich der ständigen Innovation verpflichtet und setzt neue Maßstäbe in den Bereichen gedruckte Elektronik, Membrantastaturen und Touch-Systeme (HMI) für intelligente Lösungen.

## 2 TECHNOLOGIE

Die zugrunde liegende Technologie basiert nicht auf einem neu entdeckten Material mit außergewöhnlichen Eigenschaften, sondern nutzt die menschliche Wahrnehmung, um die leitfähige Struktur nahezu unsichtbar erscheinen zu lassen. Genauer gesagt besteht der funktionale Teil aus einem Metallgitter, das aus extrem feinen Kupferdrähten besteht, die durch Abstände getrennt sind, welche wesentlich größer sind als der Durchmesser eines einzelnen Drahts. Die typischen Abmessungen der hier vorgestellten Strukturen betragen etwa 5  $\mu\text{m}$  Drahtdurchmesser und Drahtabstände von ca. 100  $\mu\text{m}$  bis 1000  $\mu\text{m}$ , je nach Anwendung.

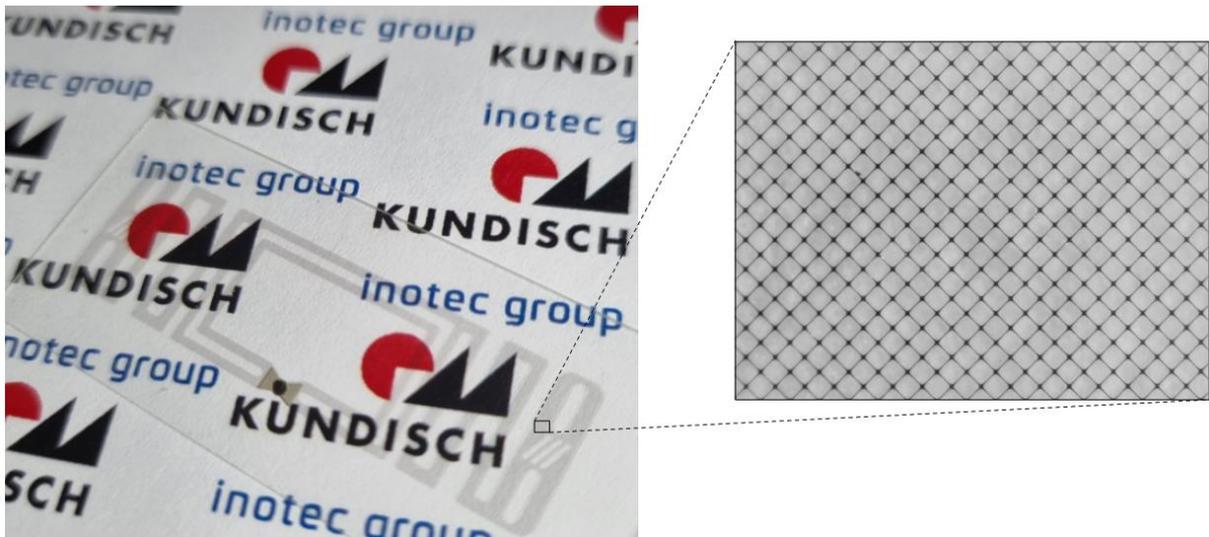


Abb. 1: Transparente, leitfähige Struktur auf einem bedruckten Papier (links) und stark vergrößerte Ansicht des Metallgitters (rechtes Bild).

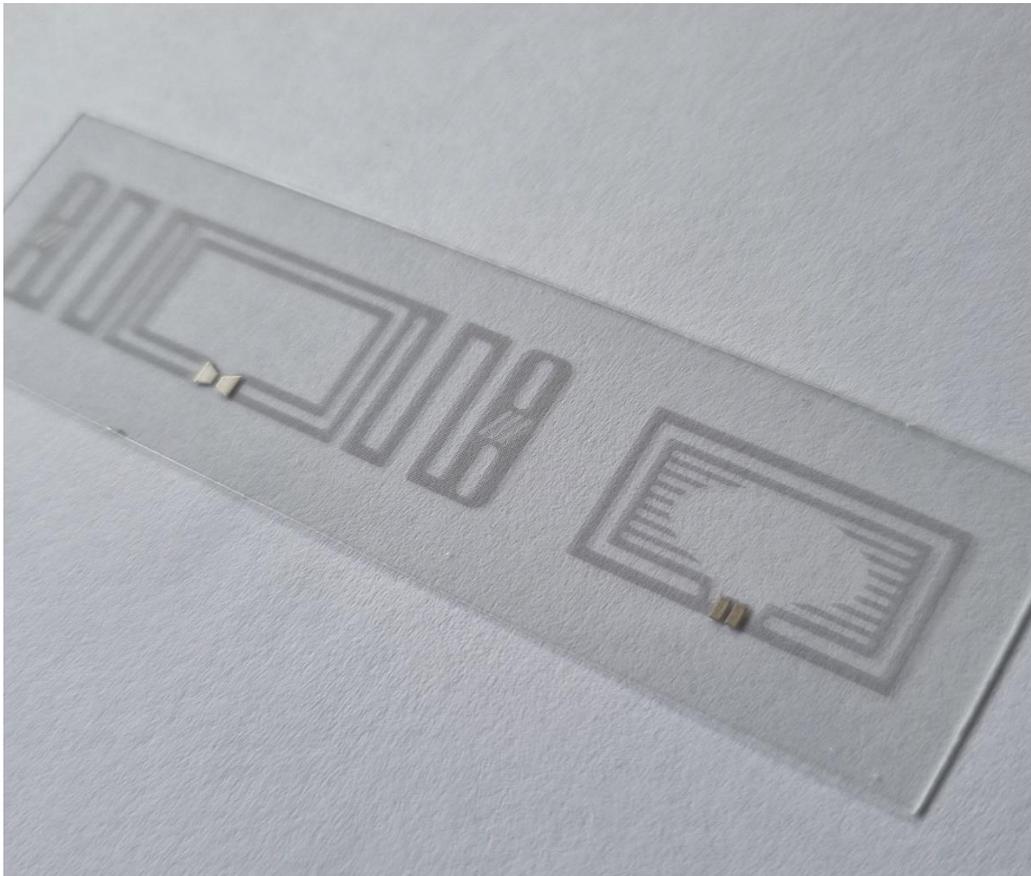
Mit dieser Konfiguration wird das Metallgitter nahezu unsichtbar. Vor hellen Hintergründen erscheint die leitfähige Schicht leicht gräulich, während das Gitter vor dunkleren oder farbigen Hintergründen nahezu nicht wahrnehmbar ist. Tatsächlich wird mit dieser Art von Gitter eine optische Transparenz im sichtbaren Spektrum von 85 % bis 90 % erreicht.

Das Metallgitter wird durch eine sehr dünne Schicht aus Kohlenstoff-Nanoröhren (CNT) ergänzt. Diese sind leitfähig und dennoch unsichtbar. Das Vorhandensein der CNTs ist entscheidend für Anwendungen im Hochfrequenzbereich. Diese hybride Struktur aus Metallgitter und CNT in jeglicher strukturierter Form, realisiert über ein Druck- und hoch skalierbares Fertigungsverfahren, ermöglicht eine unerreichte Transparenz und Leitfähigkeit bei gestalterischer Freiheit.

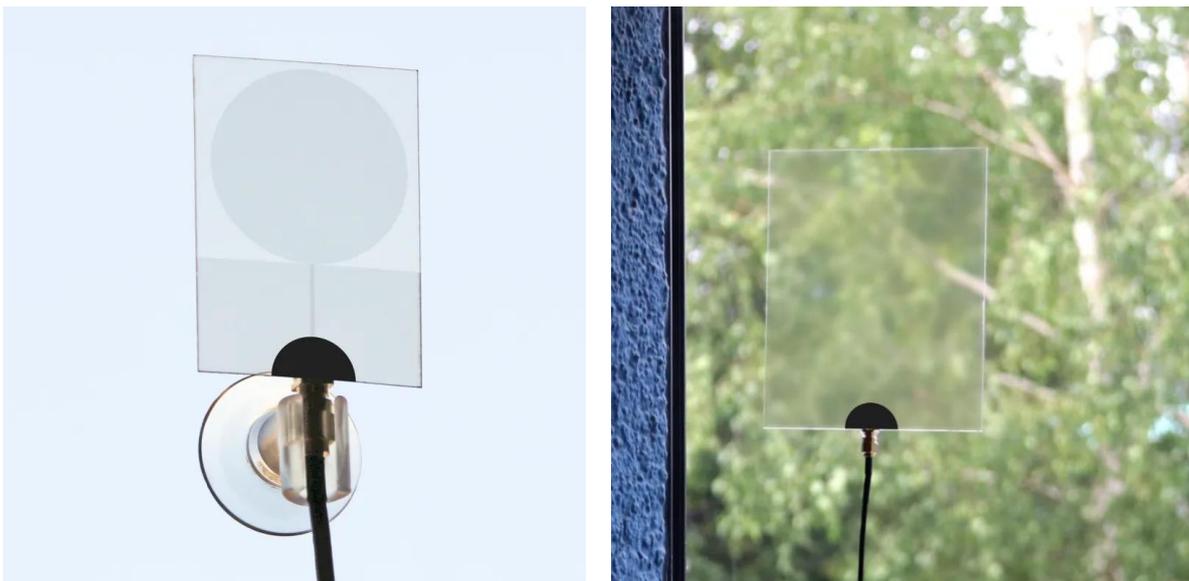
Neben einer guten optischen Transparenz spielen auch die elektrischen Eigenschaften eine entscheidende Rolle, wenn es darum geht, diese Metallgitter für Anwendungen in den Bereichen Elektronik und Hochfrequenztechnologie zu funktionalisieren. Insbesondere bei der Verwendung dieser Strukturen als Antennen führt ein möglichst niedriger Flächenwiderstand zu besseren Leistungswerten. Hier werden typische Flächenwiderstände von  $0,2 \text{ Ohm}/\square$  erreicht. Verglichen mit dem Flächenwiderstand einer dünnen Kupferschicht aus Vollmaterial (ca.  $0,5 \text{ mOhm}/\square$ ) ist der Wert des Metallgitters deutlich höher, liegt jedoch dennoch im Bereich typischer leitfähiger Tinten, die häufig in der gedruckten Elektronikschaltung eingesetzt werden.

Für Hochfrequenzanwendungen müssen auch weitere Aspekte berücksichtigt werden. Abhängig von der Frequenz kann sich das Metallgitter unterschiedlich verhalten. Bei sehr niedrigen Frequenzen ( $\lambda \gg d$ , wobei  $d$  der Abstand zwischen den Drähten im Gitter ist) kann das Gitter als eine geschlossene metallische Dünnschicht betrachtet werden. Bei sehr hohen Frequenzen mit  $\lambda \ll d$  wird hingegen der optische Bereich erreicht und das Gitter wird transparent. Hier betrachten wir ausschließlich Fälle im Radio- und Mikrowellenfrequenzbereich und können das Gitter daher als geschlossene Oberfläche mit einer effektiven Dicke ansehen, welche deutlich geringer ist als die eines einzelnen Gitterdrahts. Die resultierende effektive Dicke liegt zudem unter der Eindringtiefe von Kupfer (ca.  $2 \mu\text{m}$  bei einer Frequenz von  $1 \text{ GHz}$ ). Folglich wird nicht die gesamte Signalstärke von der Antenne „aufgefangen“, sondern ein gewisser Anteil passiert die Struktur einfach. Aufgrund dessen sowie des höheren Oberflächenwiderstands ist es nicht verwunderlich, dass transparente Antennen nicht das gleiche Leistungsniveau erreichen wie Antennen aus Vollmaterial.

Obwohl die Leistung reduziert sein kann, ist sie für viele Anwendungen dennoch mehr als ausreichend. Im Falle aktiver Antennen lässt sich die Leistung zudem erheblich steigern, indem man Stapel aus strukturierten, leitfähigen transparenten Schichten verwendet.



*Abb. 2: Beispiel zweier transparenter RFID-Antennen.*



*Abb. 3: Beispiel zweier transparenter WLAN-Antennen.*

### 3 APPLIKATIONEN

#### 3.1 Aktive Sendeempfänger Antennen

Antennen für WLAN-Zugangspunkte und Mobilfunkantennen (Radioantennen) sind in nahezu jedem Gebäude präsent. Mit der steigenden Nachfrage nach hoher Bandbreite und konstantem Datentransfer müssen diese Geräte sehr gute - in manchen Fällen auch sehr schnelle - Internetverbindungen gewährleisten. Das bedeutet, dass in einem Gebäude viele Antennen erforderlich sind, und idealerweise sollten diese Antennen im Außenbereich oder in direkter Sichtlinie zur Mobilfunkbasisstation installiert werden. Aufgrund der minimalinvasiven Natur transparenter Folien liegt der Einsatz von transparenten Antennen, die auf der Metal Mesh-Technologie basieren, nahe.

Die einfachste Anwendung besteht darin, einen Mobilfunk zu WLAN-Router in einem Wohnmobil, Boot oder in Ihrem regulären Zuhause zu installieren. Dieser kann als redundantes System für Ihre Hausautomation oder das Bürogebäude dienen. In erster Linie handelt es sich jedoch um ein Internet-Gateway, das kaum sichtbar und gleichzeitig sehr leistungsfähig ist.

Antennen, die mit dieser Technologie hergestellt werden, haben sich für Frequenzen bis zu 8 GHz als zuverlässig erwiesen, was sie ideal für Hochgeschwindigkeits-Datenübertragungen, GNSS-Systeme, WLAN in allen Frequenzbereichen und sogar für den Empfang von Rundfunk/Fernsehen macht. Diese Antennen werden je nach Anforderungen konfiguriert - von einem haftenden Stück Kunststoff bis hin zu einem robusten Multilayer-Stack.

#### 3.2 Passive RFID Antennen

Abgesehen von aktiven Antennen, die ein Kommunikationsfeld bereitstellen, kann diese Technologie auch für passive Sendeempfänger wie RFID-Tags eingesetzt werden. Diese Tags, bestehend aus einer Antennenstruktur und einem Mikrochip, sind selbstversorgend, da sie die benötigte Energie aus dem umgebenden Feld beziehen - wodurch sie effektiv zu passiven Kommunikationsgeräten werden. Es gibt verschiedene Klassen von RFID-Tags, die bei unterschiedlichen Frequenzen arbeiten und verschiedene Kommunikationsprotokolle verwenden. Hier konzentrieren wir uns auf UHF-RFID-Tags mit Betriebsfrequenzen von etwa 866 MHz und 915 MHz (regional abhängig) sowie typischen Lesereichweiten von mehreren Metern.

Ein direkter Vergleich von zwei strukturell identischen RFID-Antennen mit den Gesamtmaßen 41 × 12 mm, ausgestattet mit einem RAIN RFID Chip der neuesten Generation (NXP UCODE 9), ergibt maximale Lesereichweiten von ca. 8,5 m bei geätztem Vollaluminium und 4,5 m bei dem Metallgitter (siehe Abb. 4). Obwohl dies fast einen Unterschied von dem Faktor zwei darstellt, ist eine Lesereichweite von 4 bis 5 m für einen Tag dieser Größe für viele Anwendungen mehr als ausreichend.

RFID-Tags werden sehr häufig in Form von selbstklebenden Etiketten angeboten, bei denen der funktionale Teil - bestehend aus Antenne und Chip, dem sogenannten Inlay - in den Etikettenaufbau integriert ist. Oft liefert das Etikett zudem zusätzliche Informationen in gedruckter Form über das Produkt, an dem es angebracht werden soll. Für viele Anwendungen besteht das Etikett aus undurchsichtigen weißen oder farbigen (bedruckten) Kunststofffolien, sodass das Inlay nicht direkt sichtbar ist - ebenso wie alles, was sich hinter dem Etikett befindet.

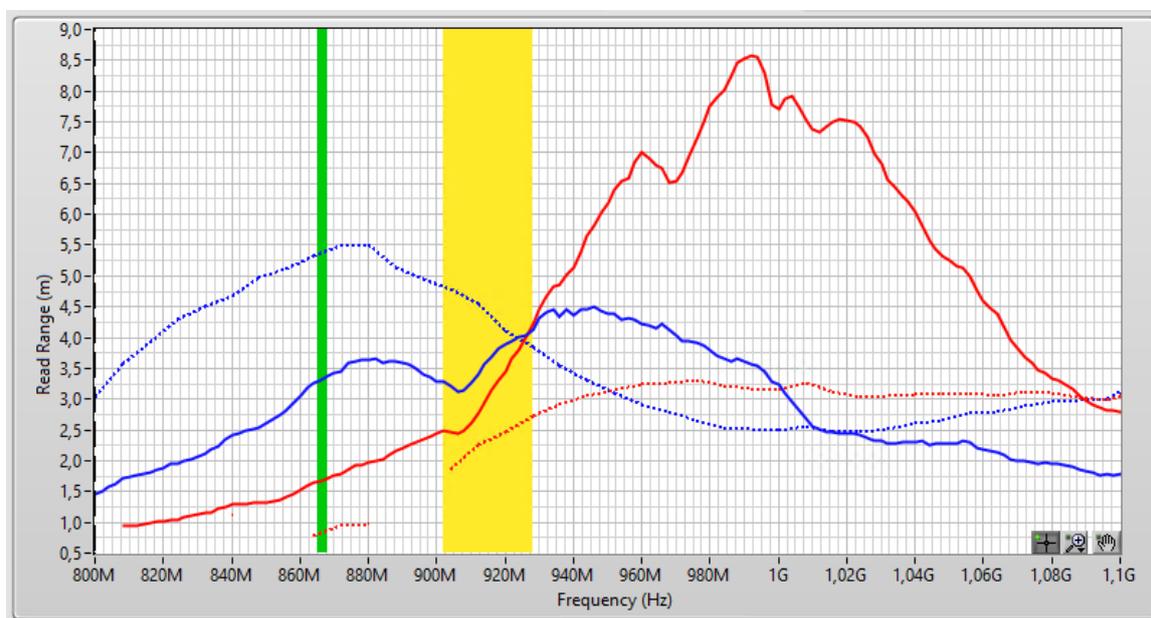


Abb. 4: Lesereichweiten konventioneller (rot) und transparenter (blau) RFID-Tags in Luft (durchgezogene Linie) und auf einer Glasoberfläche (gestrichelte Linie). Da diese Antenne für das transparente Material und für die Anwendung auf Glas konzipiert wurde, ist die Lesereichweite für diese Kombination optimiert. Die grün und gelb schattierten Bereiche kennzeichnen jeweils die ETSI- und FCC-Frequenzbänder.



*Abb. 5: Transparente NFC-Tags. Die hohe Leitfähigkeit bei gleichzeitig hoher Transparenz ermöglicht die Herstellung transparenter NFC-Tags. Die Frequenz von 13,56 MHz wird erreicht, obwohl der Spulenwiderstand deutlich höher ist als bei Aluminium-geätzten Antennen. Transparente NFC-Tags können mit gedruckten NFC-Tags, die Silber- oder Kupfertinten verwenden, vergleichbar sein, sofern das Design die neuartigen Materialparameter von CNT + Metal Mesh berücksichtigt.*

Für einige Anwendungen kann es jedoch nützlich oder sogar notwendig sein, die Sicht auf das, was sich hinter dem Etikett befindet, nicht zu verdecken - oder sogar den Eindruck zu erwecken, dass überhaupt kein Etikett vorhanden ist - während dennoch jedes einzelne Produkt eindeutig identifiziert werden kann. Für diese Art von Anwendungen bietet ein RFID-Etikett, das aus klaren Kunststofffolien, optisch klarem Klebstoff (OCA) und einer (fast) unsichtbaren RFID-Antenne besteht, die perfekte Lösung.

Solche Anwendungen finden sich beispielsweise im pharmazeutischen Markt, wo Primärbehälter wie Fläschchen oder Spritzen etikettiert werden, im Kosmetik- und Beautybereich zur unauffälligen Kennzeichnung oder zur diskreten Markierung von Wein und Spirituosen - um nur einige Beispiele zu nennen.

#### 4 FAZIT

Zusammenfassend haben Fortschritte in der transparenten Antennentechnologie das Potenzial, die Landschaft der drahtlosen Kommunikation auf ganz unauffällige Art zu erweitern. Durch den Einsatz von Metallgitterstrukturen in Kombination mit Kohlenstoff-Nanoröhren bewahren diese nahezu unsichtbaren Antennen eine hohe Transparenz, ohne an Funktionalität einzubüßen. Diese Innovation ermöglicht die nahtlose Integration von Antennen in Umgebungen, in denen der Erhalt der Ästhetik entscheidend ist - etwa bei

Fenstern, Displays und verschiedenen Konsumgütern. Ob bei aktiven Transceivern für Hochgeschwindigkeitsdaten oder in passiven RFID-Anwendungen, diese Antennen erfüllen die wachsende Nachfrage nach unauffälliger Konnektivität. Die potenziellen Einsatzbereiche erstrecken sich von der Gesundheitsversorgung bis zum Einzelhandel und markieren einen bedeutenden Schritt zur Vereinigung von Funktionalität und Design in der modernen Technologie



*Abb. 6: Sicht auf (und durch) eine transparente RFID-Antenne*