

# Entwicklung eines autarken Alarmmoduls innerhalb der Isolierverglasung mit integriertem Solarmodul und Datenübertragung zur Gebäudesicherung

*Sebastian Walther<sup>1</sup>, Alexander Kunert<sup>1</sup>*

*<sup>1</sup>ICM - Institut Chemnitzer Maschinen- und Anlagenbau e.V.  
Otto-Schmerbach-Straße 19, 09117 Chemnitz*

## Zusammenfassung

In Deutschland werden aktuell jährlich ca. 65.000 Wohnungseinbruchdiebstähle begangen [1]. Hinzu kommen über 86.000 Fälle von schwerem Diebstahl in/aus Boden-, Kellerräumen und Waschküchen in Deutschland, die auch zu der Kategorie der Einbruchsdelikte gezählt werden können.

Das im Rahmen eines Forschungsprojektes vom ICM e.V. entwickelte kabellose Alarmmodul ist eine smarte Überwachungstechnologie für Fassadengläser. Das autarke Modul für die Integration in Isolierglasscheiben erkennt Glasbruch und Erschütterung am Fenster und alarmiert drahtlos bei Einbruch und Aushebelversuchen.

Die Besonderheit des Sensors liegt in der vollständigen und autarken Integration im Isolierglasverbund. Es wird als Teil des Abstandshalters während der Fertigung des Isolierglases eingefügt. Weiterhin ist der Sensor mit einem Funkmodul ausgestattet, was eine kabellose Informationsübertragung an eine Alarmzentrale (Smart Home) erlaubt. Die Bruchdetektion kann durch eine unsichtbare, neuartige Alarmschleife realisiert werden, welche auf der Isolierglasscheibe mittels Laserbearbeitung integriert wird. Alternativ dazu kann auf klassischem Weg die Stärke der Erschütterung als Auslöser einer Alarmierung herhalten. Zudem ist es möglich über den integrierten Beschleunigungssensor eine Öffnung / Kippung des Fensters zu überwachen.

**Keywords:** Sicherheitstechnik, Safety and Security, Autarke Sensorik, Isolierglas

## Energieversorgung

Die Energieversorgung wird über eine Kombination aus amorphen nicht-kristallinen Solarzellen und elektrischen hybriden Pufferspeichern realisiert, so dass ein vollständig kabelloser und autarker Betrieb des Alarmmoduls ermöglicht wird. Der Energiespeicher vereint dabei die Vorteile zweier Welten: Wiederaufladbare Batterie und Kondensator mit hoher Kapazität und Leistungsdichte (13 Ws/g). Dabei bietet der Energiespeicher hohe Ladezyklen und mehr Sicherheit als reine Lithium-Speicher. Dank eines speziellen Energiemanagements kann das Sensormodul bei aktiver Überwachung und Kommunikation mit der Alarmzentrale einige Wochen am Stück komplett ohne Licht autark betrieben werden. Die Schaltung wurde so gestaltet, dass auch schwaches Licht den Betrieb aufrechterhält. Selbst bei künstlicher Beleuchtung ab 200 Lux wird die Ladung des Alarmmoduls gehalten.

## Energiemanagements

Kern der Entwicklung ist das Energiemanagement-Konzept. Ein Boost-Konverter SPV1050 von STMicroelectronics mit integrierter MPPT-Regelung konvertiert effizient das einfallende Licht in die benötigte Spannungsebene und optimale Ladeleistung. Ein Mikrocontroller überwacht den Ladezustand und regelt darüber Zykluszeiten für das regelmäßige Senden der Statustelegramme.

Ein Beschleunigungssensor KX132 von KIONIX registriert Erschütterungen sowie Bewegungen und triggert darüber das Aufwachen des Controllers und die Statusabfrage innerhalb weniger Millisekunden. Bei wichtigen Änderungen des Zustandes außerhalb des Zyklus wird das Funkmodul gestartet und ein Telegramm gesendet (siehe Abb. 1). Der gesamte Prozess dauert weniger als 250 ms. Nach erfolgreichem Senden geht die Elektronik über in den Stromsparmmodus bei ca. 5  $\mu$ W.

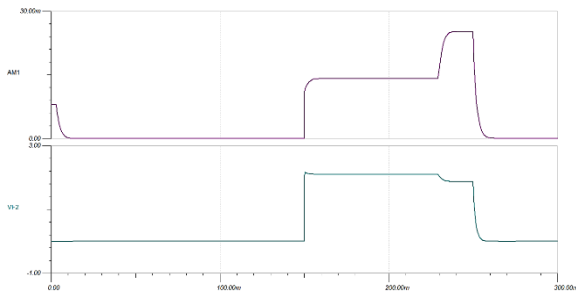


Abb. 1: Strombedarf (oben) und Spannung für Funkmodul (unten) nach Aufwachen infolge Glasbruchs

### Funkübertragung

Das Alarmmodul kommuniziert über den bereits am Markt etablierten ENOCEAN [2] Funkstandard sicher mit nahezu jeder kompatiblen Zentralsteuerung.

Um einen eigenständigen und zudem wartungsarmen Betrieb zu gewährleisten wurde ein Gateway entwickelt welches die Verteilung der Daten an eine Cloud regelt. Zudem kann auf Basis einer passenden drahtlosen Schnittstelle eine Einbindung des Sensors in die meisten Smart Home möglich gemacht werden. Darüber hinaus kann am Gateway ein potentialfreier Schaltkontakt die Einbindung des Systems in konventionelle Alarmzentralen realisiert werden.

### Lebensdauer

Bedenkt man, dass die Lebensdauer eines Isolierglases in Abhängigkeit des Füllstandes des Edelgases (z.B. Argon) über 15 Jahre beträgt, so müssen umfangreiche Tests durchgeführt werden um diese Lebensdauer sicherzustellen.

Für den Energiespeicher wurden umfangreiche Tests durchgeführt, um sicherzustellen, dass er den hohen Standards in Bezug auf Leistung, Zuverlässigkeit und Langlebigkeit entspricht.

Zunächst wurden entwicklungsbegleitend nur hochwertige und zuverlässige Materialien berücksichtigt, die den Anforderungen des Energiespeichers entsprechen.

Auch erfolgte eine detaillierte Designsimulation mithilfe von Computersoftware, um das elektronische Design zu analysieren und zu optimieren.

Der Energiespeicher wurde verschiedenen Umweltprüfungen unterzogen, um seine Belastbarkeit unter unterschiedlichen Umweltbedingungen wie Feuchtigkeit und Temperatur zu testen. Innerhalb von

Isoliergläsern können extreme Temperaturbedingungen entstehen. Es wird beispielsweise von Temperaturen zwischen  $-20^{\circ}\text{C}$  und  $70^{\circ}\text{C}$  ausgegangen.

Weiterführende Alterungstests sowie Temperaturwechseltests wurden durchgeführt, um die langfristige Stabilität und Zuverlässigkeit des Energiespeichers unter realen Bedingungen zu bewerten. Zuletzt wurden Zuverlässigkeitstests durchgeführt, um sicherzustellen, dass der Energiespeicher auch unter hoher Belastung und in Fehlerbedingungen zuverlässig funktioniert.

Einige Muster des Energiespeichers werden weiterhin über einen längeren Zeitraum beobachtet. Dadurch kann überwacht werden, ob die Leistung des Energiespeichers im Laufe der Zeit stärker abnimmt als erwartet.

### Bruchdetektion

Die Bruchdetektion erfolgt über eine in das Glas eingebrachte Alarmschleife. Eine leitfähige Schicht ist notwendig, um den Durchgang zu messen. Die einfachste und bereits am Markt verfügbare Option ist es, per leitfähigem Substrat aus Kupferverbindungen in einem kleinen sichtbaren oder unsichtbaren Teil des Glases eine mäanderförmige Struktur einzubringen. Zwingende Voraussetzung dafür ist die Verwendung von Einscheiben-Sicherheitsglas (ESG). Bei Glasbruch zerspringt das Glas in tausende kleine Schollen und zerstört somit die Schleife. Das Alarmmodul registriert unmittelbar die Erschütterung und misst den Durchgang der leitfähigen Struktur.

Eine weitere Variante ist die Verwendung von preisgünstigerem Float-Glas mit Low-E-Schicht, wobei diese Low-E-Schicht, bestehend aus einem dünnen silberhaltigen Material, selbst leitfähig ist. Es wird umlaufend ein Rand per Laser abgetrennt und dessen Durchgang analog zur Alarmschleife überwacht wird. Float-Glas bricht in allen Versuchen bis zum Rand und durchtrennt dabei den isolierten Bereich. Die Unterbrechung des Kontaktes zum Alarmmodul ist wiederum messbar. Die Kontaktierung der isolierten Randbereiche wird über Goldfederkontakte realisiert.

Die jüngste Variante des Alarmmoduls verwendet lediglich den Beschleunigungssensor zur Detektion von Erschütterungen und löst abhängig der Schwere der Erschütterung das Senden eines Alarm-Telegramms aus.

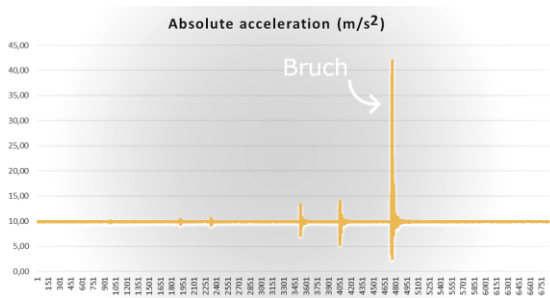


Abb. 2: Erfassung eines Einbruchsversuches und Alarmauslösung mit dem Schlag auf das Glas – vgl. letzter Impuls im Diagram

Der Großteil der registrierten Einbrüche wird laut Angaben der Glasindustrie nicht durch Glasbruch initiiert, sondern durch Aufhebeln des gesamten Fensters oder Durchbruch bzw. Aufbohren des Rahmens mit nachfolgender Manipulation des Handgriffs. Die anhaltende Vibration kann durch den integrierten Beschleunigungssensor im Muster erkannt werden und auf deren Basis ebenfalls rechtzeitig ein Alarmtelegramm versendet werden.

Es wurden im Rahmen der Entwicklung vielfältige Versuche durchgeführt, um Einbrüche nachzustellen. Dabei wurden folgende Methoden verwendet:

- Bruch des Glases mit starkem Impuls
- Bruch des Glases mit grober Krafteinwirkung
- Vandalismus ohne Bruch
- Verwendung von Glasschneidewerkzeugen
- Beipass im Randverbund mit spitzen Gegenständen
- Aufbohren mit Akkubohrer
- Aufschmelzen mit Handbrenner
- Leichte Erschütterungen durch Anklopfen und Bewegungsübertragung vom Fußboden

In allen Fällen wurde die Elektronik zuverlässig geweckt. Eine Alarmierung fand rechtzeitig in allen Einbruchsszenarien statt. Dabei konnten tatsächliche Vorfälle von Fehlalarmen getrennt werden. Sowohl mit Alarmschleife, als auch per Beschleunigungssensor konnten Glasbrüche sicher detektiert werden. In einigen Fällen ohne Glasbruch wurde auf Grund der Impulsstärke mittels Beschleunigungssensor ein Einbruchsversuch detektiert.

Weiterhin wurde ein zielgerichteter Zerstörungsversuch des Sensormoduls durch

rechtzeitiges Absenden eines alarm-auslösenden Telegramms detektiert.

### Integration

Die Integration des Sensormoduls in den Scheibenzwischenraum erfolgt über den Abstandshalter für Isolierverglasungen. Die Elektronik wird zusammen mit dem Gehäuse auf einem kurzen Stück des Abstandshalters aufgebracht und über klassische Kontaktierung mit dem Rest des Abstandshalters verbunden. Dabei kann das Modul sowohl in der Mitte eingebracht werden, als auch in Randnähe. Wichtig dabei ist die Positionierung auf dem unten liegenden Teil des Isolierglases, um ausreichend Licht auf der Gehäuseoberseite mit dort liegender Solarzelle einzufangen.

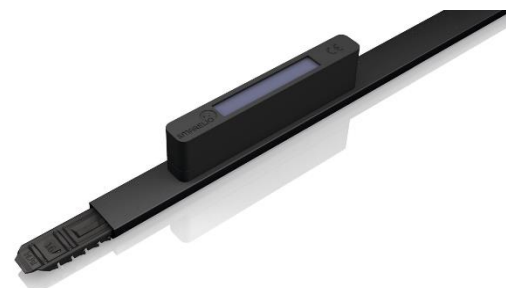


Abb. 3: kabelloses Alarmmodul auf Abstandshalter mit konventioneller Verbindungstechnik, Solarzelle in Ausschnitt sichtbar

### Zusammenfassung und Ausblick

Die Erprobung läuft nach wie vor und die Markteinführung ist für das Jahr 2025 geplant. In diesem Projekt wurde erfolgreich nachgewiesen, dass eine rechtzeitige Alarmierung bei Einbruch in allen Fällen aktueller Einbruchsmethoden über Fenster bzw. Terrassentüren unmittelbar möglich ist. Geplant ist weiterhin die Kippung und Öffnung zu detektieren und über Daten des Beschleunigungssensors zu ermöglichen, dass Nutzer bei Verlassen des Hauses hinsichtlich noch geöffneter Fenster gewarnt werden.

## Danksagung

Dieses Projekt wurde gefördert durch das Bundesministerium für Wirtschaft und Energie aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages (ZF4533201RE7).

## Literaturnachweis

- [1] Bundeskriminalamt (BKA). (2023, 20. Juli). Polizeiliche Kriminalstatistik 2022. [Online] Verfügbar unter: <https://www.polizei-deinpartner.de/themen/einbruchschutz/einbruchschutz-intensiv/detailansicht-einbruchschutz-intensiv/artikel/einbruch-statistik.html>
- [2] EnOcean GmbH. (2023, 20. Juli). EnOcean-Technologie: Funktechnologie. [Online] Verfügbar unter: <https://www.enocean.com/de/technologie/funktechnologie/>