

# Methoden und systemische Umsetzung einer Zustandsüberwachung für Überspannungsschutzgeräte für die Installation in explosionsgefährdeten Bereichen

Dr. Gernot Finis, Steffen Pförtner  
Phoenix Contact GmbH & Co.KG, Flachsmarktstraße 8, D-32825 Blomberg

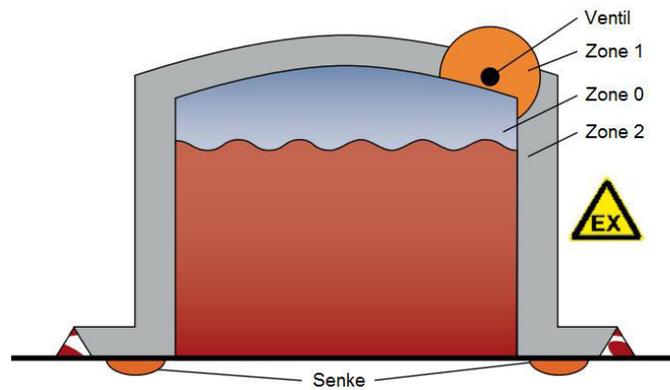
## 1. Einführung

Überspannungen können zur Zerstörung elektronischer Komponenten in Systemen der Mess-, Steuerungs- und Regelungstechnik (MSR) führen und damit deren Verfügbarkeit deutlich herabsetzen. Durch den Einsatz von Überspannungsschutzgeräten (ÜSG), mit speziell auf diese Systeme hin angepasster Schutzwirkung, können derartige Schäden wirksam vermieden und die Verfügbarkeit dieser Systeme wesentlich erhöht werden. Neben der auf das jeweilige System hin zugeschnittenen Schutzwirkung ergeben sich für ÜSG für den Einsatz in explosionsgefährdeten Bereichen (Ex-Bereiche) weitere Anforderungen. Darunter fallen u. a. die technische Auslegung der eigentlichen Schutzschaltung, das Wärmemanagement des gesamten Gerätes sowie Forderungen hinsichtlich der Energiebegrenzung von zusätzlich im ÜSG integrierten Stromkreisen, die beispielsweise für die Realisierung einer Zustandsüberwachung und -bewertung der im ÜSG eingesetzten Überspannungsschutzelemente nötig sind. Derartige Funktionen in Verbindung mit einer Fernmeldefunktion ermöglichen – insbesondere bei einem Einsatz an schwer zugänglichen Orten – eine zustandsorientierte bis hin zu einer vorausschauenden Wartungsstrategie. In diesem Zusammenhang werden Methoden und technische Lösungen für die Zustandsüberwachung und -bewertung von Überspannungsschutzelementen, die auf physikalischen und statistischen Prinzipien sowie deren Verknüpfung beruhen, aufgezeigt.

## 2. Einführung in den Explosionsschutz

In technischen Anlagen kann es, wenn sich ein explosionsfähiges Gemisch gebildet hat, zu Explosionen kommen, was eine Gefahr für Leib und Leben darstellt sowie zu hohen Sachschäden führen kann. Daher sind zwingend geeignete Maßnahmen zur Vermeidung dieser Gefährdung zu treffen. Vorrangig hierbei ist zunächst die Vermeidung von explosionsfähiger Atmosphäre. Ist jedoch das Auftreten explosionsfähiger Stoffe in einer Anlage oder einem Anlagenteil nicht zu vermeiden (z. B. durch Substitution) und die Bildung einer explosionsfähigen Atmosphäre kann nicht verhindert werden (z. B. durch Konditionierung), so werden die dadurch gefährdeten Bereiche unter Zuhilfenahme einer Gefährdungsbeurteilung in so genannte Ex-Zonen eingeteilt.

Gem. EN 60079-10-1 [1] erfolgt die Einteilung für gasexplosionsfähige Gemische in drei Zonen (0, 1, 2), die die Wahrscheinlichkeit des Vorherrschens einer explosionsfähigen Atmosphäre abbilden. Diese Klassifizierung definiert, dass in Zone 0 eine explosionsfähige Atmosphäre ständig, häufig oder über eine längere Zeit vorhanden sein kann, in Zone 1 gelegentlich und in Zone 2 selten oder kurzzeitig.



**Bild 1:** Beispiel einer Zoneneinteilung

Die Normenreihe EN 60079 greift neben dem Konzept der Zoneneinteilung technische Maßnahmen zur Vermeidung der Zündung eines vorherrschenden explosionsfähigen Gemisches auf. Diese werden als Zündschutzarten bezeichnet. Jede dieser Zündschutzarten verfolgt ein eigenständiges Konzept zur Vermeidung einer Zündung.

Die Zündung explosionsfähiger Gemische, die z.B. durch Blitzschlag erfolgen kann (Zündquelle Blitzschlag), wird durch den Einsatz geeigneter ÜSGs wirksam vermieden. In diesem Kontext stellte sich die Entwicklungsaufgabe ein neuartiges ÜSG mit folgenden, den Ex-Schutz betreffenden Eigenschaften zu realisieren:

- Installation des Überspannungsschutzsystems (Basismodul, mehrere ÜSG, Systembus) in der Ex-Zone 2
- Realisierung eines ÜSG-integrierten Monitoring-Systems zur Zustandsüberwachung und -bewertung der einzelnen Schutzelemente
- Kommunikation der einzelnen ÜSG mit einem Basismodul über eine galvanische Verbindung (Systembus)
- Statusmeldungen aus Ex-Zone 2 in nicht Ex-Bereiche („Fernmeldung“)
- Einführung der geschützten Leitungen bis in die Ex-Zone 0

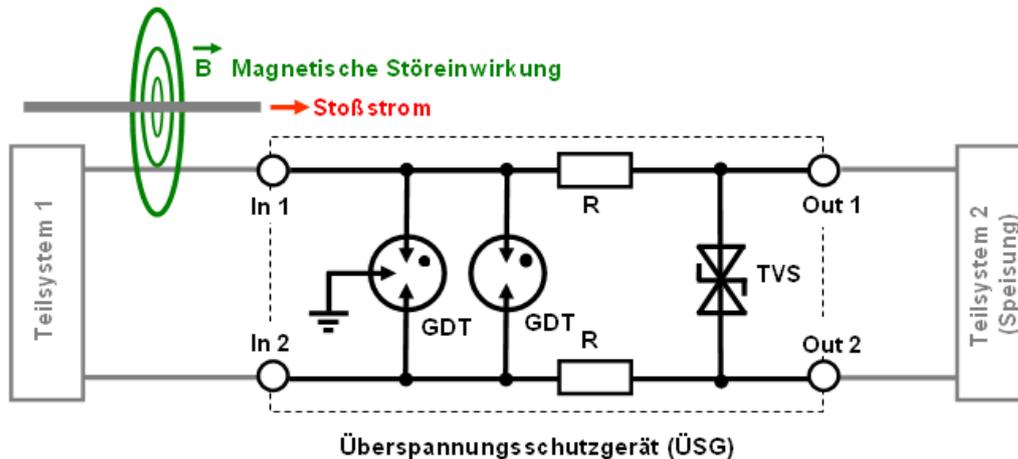
Für die Lösung dieser Entwicklungsaufgabe ist es notwendig verschiedene Zündschutzarten zugrunde zu legen. Dies sind im Wesentlichen: Geräteschutz durch Eigensicherheit „i“ und die Zündschutzart „n“.

### 3. Leistungsfähigkeit der Schutzschaltung

Die Impulsleistungsfähigkeit von ÜSG, die für die Installation in Ex-Bereichen konzipiert sind und zum Schutz eigensicherer Stromkreise (Zündschutzart Eigensicherheit) eingesetzt werden, beträgt für Stoßströme der Kurvenform 8/20  $\mu$ s i. d. R. 10 kA und der Kurvenform 10/1000  $\mu$ s i. d. R. 100 A. Die für diesen Zweck eingesetzten Schutzschaltungen sind, aufgrund des geforderten Ableitvermögens für Stoßströme und der geforderten spannungsbegrenzenden Eigenschaften, normalerweise mehrstufig aufgebaut. Dabei ist der Einsatz von Gasentladungsableitern (gas discharge tube, GDT) in Kombination mit Suppressordioden (transient voltage suppressor, TVS) gegenwärtig gängige Praxis.

Die grundlegenden Leistungsmerkmale von ÜSG für den Einsatz in Systemen der MSR werden durch Prüfungen gemäß EN 61643-21 [2] nachgewiesen – dies gilt auch im Hinblick auf besondere Installationsbedingungen, wie z. B. die Installation in Ex-Bereichen.

Die Schutzwirkung von ÜSG lässt sich im Wesentlichen durch deren spannungsbegrenzende Wirkung sowie das Ableitvermögen für impulsförmige Ströme charakterisieren. Diesbezüglich ist zwischen der Schutzwirkung gegen Überspannungen, die zwischen den Adern eines Signaladerpaares (differential mode voltage) und denen, die zwischen den einzelnen Adern und Erde (common mode voltage) auftreten können, zu differenzieren. Die im neu entwickelten ÜSG eingesetzte Schaltungsvariante zum Schutz eines Signaladerpaares und erhöhten Anforderungen an die Isolationsfestigkeit gegen Erde (Ex-Anforderung) ist in Bild 2 dargestellt.



**Bild 2:** 2-stufige Überspannungsschutzschaltung zum Schutz eines Signaladerpaares

Bei der dargestellten 2-stufig ausgeführten Schutzschaltung wird der Schutz zwischen den Signaladern durch eine TVS-Diode realisiert. Diese Bauelemente zeichnen sich durch eine sehr geringe Ansprechzeit, eine gute spannungsbegrenzende Wirkung aber vergleichsweise nur geringe Stoßstromtragfähigkeit aus. Daher wird zur Erhöhung des Ableitvermögens für Stoßströme, bei dieser Art der Beanspruchung, üblicherweise eine energetische Koordination zwischen TVS-Diode und 2-Elektroden-GDT realisiert. GDTs zeichnen sich durch ein hohes Ableitvermögen, eine geringe Kapazität aber vergleichsweise geringe Ansprechgeschwindigkeit aus. Die energetische Koordination wird dabei mittels seriell in den Signalpfad eingeschleifter Entkopplungselemente R erreicht. Der in der Schutzschaltung eingesetzte 3-Elektroden-GDT übernimmt zwei wesentliche Aufgaben. Er erfüllt Anforderungen, die an die Isolationsfestigkeit gegen Erde gestellt werden (EN 60079-14 [3]) und bildet zudem Schutz gegen Überspannungen, die zwischen den Signaladern und Erdpotential auftreten. Aufgrund der deutlich höheren Spannungsfestigkeit, der zu schützenden Systemkomponenten gegenüber dieser Art der Beanspruchung, ergeben sich diesbezüglich reduzierte Schutzziele (vgl.[4]).

Die angestrebten Eigenschaften des ÜSG, wie beispielsweise die Realisierung eines niedrigen Schutzpegels, eines hohen Ableitvermögens für Stoßströme, eines vergleichsweise hohen Nennstroms sowie guter Übertragungseigenschaften stehen aufgrund physikalischer Zusammenhänge teils im Zielkonflikt zueinander. Für die betrachtete Schutzschaltung besteht beispielsweise ein Zielkonflikt zwischen der Forderung nach einem vergleichsweise hohen Nennstrom und gleichzeitig hoher Ableitfähigkeit für Stoßströme. Dies zeigen die Zusammenhänge bei der schaltungstechnischen Auslegung der energetischen Koordination.

Bei Auftreten einer transienten Überspannung zwischen den Signaladern nimmt die TVS-Diode nach einer kurzen Ansprechzeit einen niederohmigen Zustand an. Dabei kommt es zu einem Stromfluss über die Diode und den im Signalpfad befindlichen Entkopplungselementen  $R_{ges}$ . Der Spannungsfall an der Diode wird dabei auf den Wert der so genannten „maximum clamping voltage“  $U_C$  bzw. an den Ausgangsklemmen des ÜSG auf den Wert  $U_P$  (Schutzpegel [2]) begrenzt. Bei optimaler Auslegung der Stromführung durch das ÜSG gilt näherungsweise  $U_P \approx U_C$ . Um Stoßströme ableiten zu können, die die maximale Stoßstromtragfähigkeit der TVS-Diode übersteigen, muss der GDT den Anteil des Stoßstromes abführen, der ansonsten zu einer Überlastung der TVS-Diode führen würde. Die Kommutierung des Stromes erfolgt dabei abrupt nach dem die am 2-Elektroden-GDT anliegende Spannung dessen Zündspannung  $U_Z$  erreicht. Bei Einsetzen des Stromflusses sinkt die an der Entladungsstrecke abfallende Spannung auf den Wert der Bogenbrennspannung (typabh. 10 V - 20 V) ab. Das Kommutierungsverhalten der betrachteten Schaltung wird wesentlich durch den Widerstand der Entkopplungselemente bestimmt. Dies wird aus der nachfolgenden Betrachtung deutlich.

Der Spannungsfall  $u_{GDT}(t)$  am GDT, der dessen Ansprechen bestimmt, ergibt sich aus dem Spannungsfall  $u_R(t) = R_{ges} \cdot i(t)$  entlang der Entkopplungselemente („ohmsche Betrachtung“) und dem Spannungsfall  $u_{TVS}(t)$  an der TVS-Diode, wobei während des Ableitvorganges  $u_{TVS}(t) \approx u_{TVS} = \text{const.}$  gilt. Aus der näherungsweise linearen Beziehung  $u_{GDT}(t) = R_{ges} \cdot i(t) + u_{TVS}$  wird ersichtlich, dass sich über die Variation des Widerstandswertes der Entkopplungselemente der Spannungsfall am GDT und darüber dessen Ansprechverhalten sowie der Leistungsumsatz in der TVS-Diode gezielt steuern lässt. Diesen positiven mit der Steigerung von  $R_{ges}$  verbundenen Eigenschaften, steht eine Erhöhung der Verlustleistungen in den Entkopplungselementen  $p(t) = R_{ges} \cdot i^2(t)$  entgegen. Die Eigenerwärmung, verbunden mit der Forderung nach der Einhaltung von Maximaltemperaturen (vergl. 4.2) begrenzt den maximal möglichen Nennstrom des ÜSG. Daher ist die Abstimmung und Auswahl der Bauelemente hinsichtlich der Realisierung optimaler Zündbedingungen für den GDT bei gleichzeitig hohem Nennstrom des ÜSGs wesentliche Entwicklungsaufgabe.

Zur Realisierung einer sicheren Koordination bei allen auftretenden Impulsformen, eines schnellen Ansprechverhaltens, eines niedrigen Schutzpegels und einer hohen Ableitfähigkeit für Stoßströme, sind die bewährten Schutzschaltungen optimiert worden. Durch den Einsatz leistungsfähiger TVS-Dioden und stoßstromtragfähiger Entkopplungselemente ist eine Steigerung des Ableitvermögens für Stoßströme erreicht worden. Weiterhin finden 2-Elektroden-GDTs mit einer niedrigen Zündspannung Verwendung. Dadurch wird es möglich – durch Verwendung kleiner Impedanzwerte  $R$  im Längspfad – der Forderung nach höheren Nennströmen nachzukommen und zugleich die energetische Koordination sicherzustellen. Durch diese Maßnahmen lässt sich die Verlustleistung im ÜSG wesentlich reduzieren und so die strengen Anforderungen an zulässige (Oberflächen-)Temperaturen, wie sie in der EN 60079-0 [5] gestellt werden, erfüllen. Ein weiterer Vorteil dieser Maßnahmen besteht im reduzierten Längsspannungsfall an den Entkopplungselementen des ÜSG im Normalbetrieb.

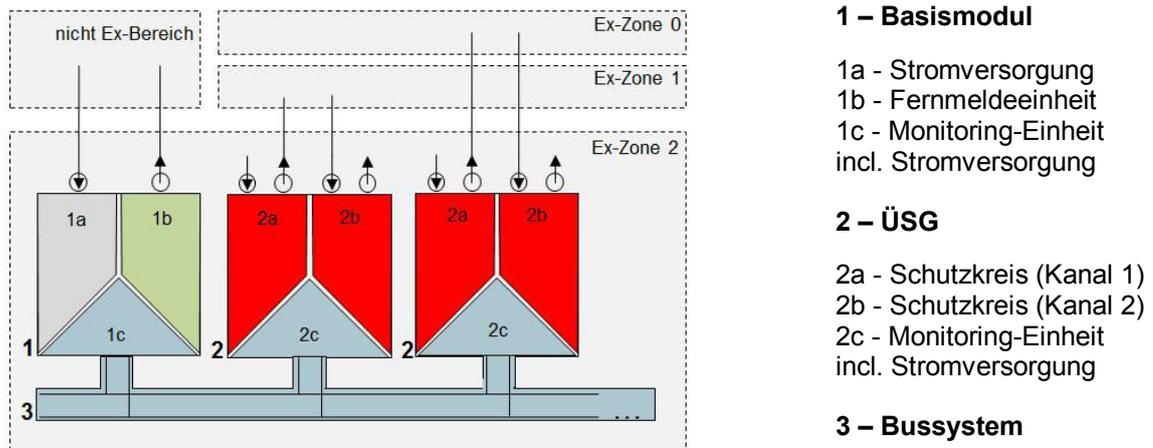
Zur Beurteilung der Leistungsfähigkeit des auf der vorgestellten 2-stufigen Schutzschaltung basierenden ÜSG hinsichtlich dessen Schutzwirkung wurden Prüfungen nach EN 61643-21 [2] durchgeführt. Dabei wurde das ÜSG eingangsseitig mit verschiedenartigen Prüfimpulsen beaufschlagt, die Signale an den entsprechenden Ausgängen gemessen und diese für eine Beurteilung mit den geforderten Schutzzielen in Beziehung gesetzt.

Die Auswahl der anzuwendenden Prüfimpulse richtet sich im Wesentlichen nach dem vorgesehenen Einsatzort des ÜSG und ist in CLC/TS 61643-22:2006 [6] näher erläutert. Beispielsweise lässt sich die vorgestellte 2-stufige Überspannungsschutzschaltung mit  $U_N = 24 \text{ V}$  in eigensicheren Stromkreisen mit einem Nennstrom von  $I_N = 350 \text{ mA}$  einsetzen. Dabei beträgt die Ableitfähigkeit für Stoßströme der Kurvenform 8/20  $\mu\text{s}$  10 kA und für Stoßströme der Kurvenform 10/1000  $\mu\text{s}$  100 A.

## 4. Wesentliche Anforderungen an ÜSG für explosionsgefährdete Bereiche

### 4.1 Energiebegrenzung

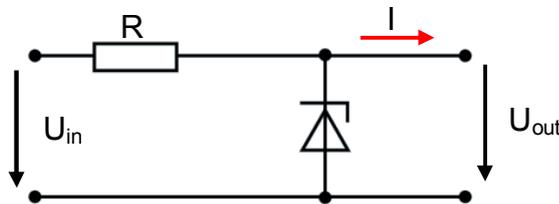
Bild 3 zeigt die Struktur des entwickelten Überspannungsschutzsystems, das aus einzelnen Schutzmodulen (ÜSG) (Bild 3, 2), einem Basismodul (Bild 3, 1) sowie einem Bussystem (Bild 3, 3) für die notwendige Energieversorgung und die Realisierung der Fernmeldefunktion besteht. Zur Erfüllung der Anforderungen hinsichtlich des Einsatzes dieses Systems in explosionsgefährdeten Bereichen fand in der Konzeptphase eine Zerlegung des Gesamtsystems in verschiedene Teilsysteme statt, denen jeweils eine geeignete Zündschutzart zugeordnet wurde. Kriterien hierfür sind die jeweilige Funktion des Teilsystems, die dabei eingesetzten Komponenten und die physikalischen Schnittstellen zu den anderen Teilsystemen sowie die in die verschiedenen Ex-Zonen/nicht Ex-Zonen führenden galvanischen Verbindungen (vgl. Bild 3).



**Bild 3:** Blockschaltbild des Überspannungsschutzsystems bestehend aus einem Basismodul (1), einzelnen ÜSG (2) mit integrierter Monitoring-Einheit (2c) und Bussystem (3), inkl. Zuordnung der Ex-Zonen

Für die Energieversorgung, die für die Monitoring-Funktion benötigt wird, war es Ziel die Zündschutzart Eigensicherheit „i“ zu erreichen. Dieser „eigensicher“ ausgeführte Stromkreis (Bild 3, 1a) versorgt über das Bussystem, das ebenfalls „eigensicher“ ausgelegt ist (Bild 3, 1c) die angeschlossenen ÜSG mit Energie. Die höchste Anforderung, die an einen eigensicheren Stromkreis gestellt wird, ist die Begrenzung der maximal auftretenden Energie auf ein unbedenkliches Maß. Dies wird üblicherweise durch die Begrenzung der im Stromkreis maximal möglichen Spannung sowie des maximal möglichen Stroms erreicht.

Hierfür sieht die EN 60079-11 [7] in der einfachsten technischen Ausführung eine Zenerdiode für die Spannungsbegrenzung und einen Serienwiderstand für die Strombegrenzung vor (vgl. Bild 4). Die Energiebegrenzung berechnet sich dabei prinzipiell aus dem maximal möglichen Strom  $I = U_{in}/R$  und der maximal möglichen Spannung  $U_{out}$ , die der Z-Spannung  $U_{Zmax}$  der Zenerdiode entspricht.



**Bild 4:** Prinzipschaltbild zur Spannungs- und Strombegrenzung

In der praktischen Entwicklungsarbeit bietet das Arbeiten mit Referenzkurven eine einfache Möglichkeit bei einer gewählten Systemspannung den maximal zulässigen Strom (ohmsche Kreise) zu bestimmen, so dass in dieser Kombination eine Zündfähigkeit der Atmosphäre durch auftretende Funken nicht erreicht wird. Die in der Norm dargestellten Referenzkurven sind mit einem standardisierten Prüfgerät, dem so genannten Funkenprüfgerät, ermittelt worden und anschließend in diese überführt. Gemäß EN 60079-11 [7] genügt ein ohmscher Stromkreis Anforderungen der Energiebegrenzung, wenn die Kombination aus Spannung und Strom (ohmsche Kreise) unterhalb der in der Norm (EN 60079-11, Anhang A) aufgeführten Referenzkurven liegt.

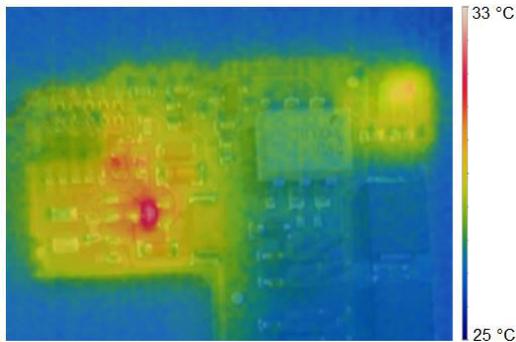
In dem hier vorgestellten Überspannungsschutzsystem wird ein integrierter DC/DC-Wandler eingesetzt, um die Eingangsspannung von 24 V auf die Systemspannung von 5 V herabzusetzen. Dieser verfügt über eine präzise Spannungsregelung sowie eine integrierte Strombegrenzung. Durch diese beiden Eigenschaften werden die an die Zündschutzart Eigensicherheit (Schutzniveau ic) gestellten Anforderungen – der Energiebegrenzung im Normalbetrieb – erfüllt. Für die Monitoring-Funktion (Bild 3, Teilsysteme 1c, 2c, 3) wurde ebenfalls die Zündschutzart Eigensicherheit gewählt, da diese im Vergleich mit anderen Zündschutzarten die Möglichkeit bietet, die modular aufgebauten Überspannungsschutzmodule im Betrieb zu wechseln ohne zuvor die Anlage außer Betrieb zu setzen. Hierdurch wird der Aufwand bei turnusmäßigen Prüfungen oder bei einem Austausch des ÜSG wesentlich reduziert. Diese Vorteile rechtfertigen den hohen technischen Aufwand, der zur Erzielung der „Eigensicherheit“ notwendig ist.

## 4.2 Wärmemanagement

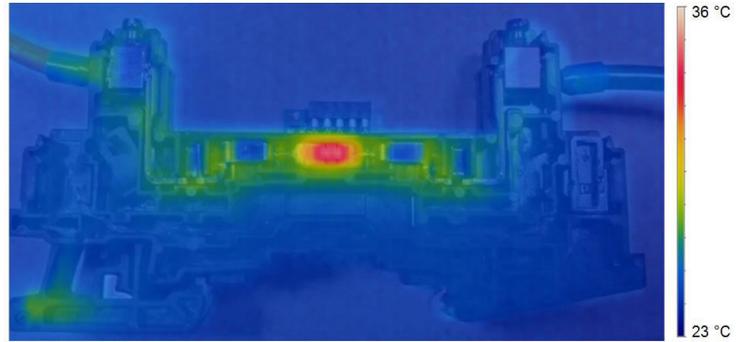
Die Normenreihe EN 60079 spezifiziert erhöhte Anforderungen an Oberflächentemperaturen. Das Schutzziel, bei der Festlegung zulässiger Oberflächentemperaturen, ist die Vermeidung einer Zündung durch heiße Oberflächen. Die maximal zulässigen Oberflächentemperaturen sind dabei unabhängig von der Wahl der Zündschutzart. Die Gase in gasexplosionsgefährdeten Bereichen werden nach Höhe ihrer Zündtemperatur in sechs Temperaturklassen eingeteilt. Diese definieren die maximal zulässigen Oberflächentemperaturen und reichen von der Temperaturklasse T1 = 450 °C bis T6 = 85 °C.

Um diesen normativen Anforderungen nachzukommen, wurde bei der Entwicklung des neuartigen Überspannungsschutzsystems auf die Auslegung verlustbehafteter Bauteile

spezielles Augenmerk gelegt. Durch den Einsatz thermografischer Verfahren wurden Bauteile identifiziert, die erhöhte Oberflächentemperaturen aufweisen. Bild 5 zeigt eine Thermografieaufnahme einer im Überspannungsschutzsystem eingesetzten Leiterplatte, die Teile der eigentlichen Überspannungsschutzschaltung (im wesentlichen Suppressordioden) sowie Teile der Monitoring-Einheit enthält. Der auf dieser Platine ermittelte „Hot-Spot“ befindet sich im Bereich des eingesetzten Spannungsreglers. Einen weiteren „Hot-Spot“ bilden die Entkopplungswiderstände wie Bild 6 zeigt.

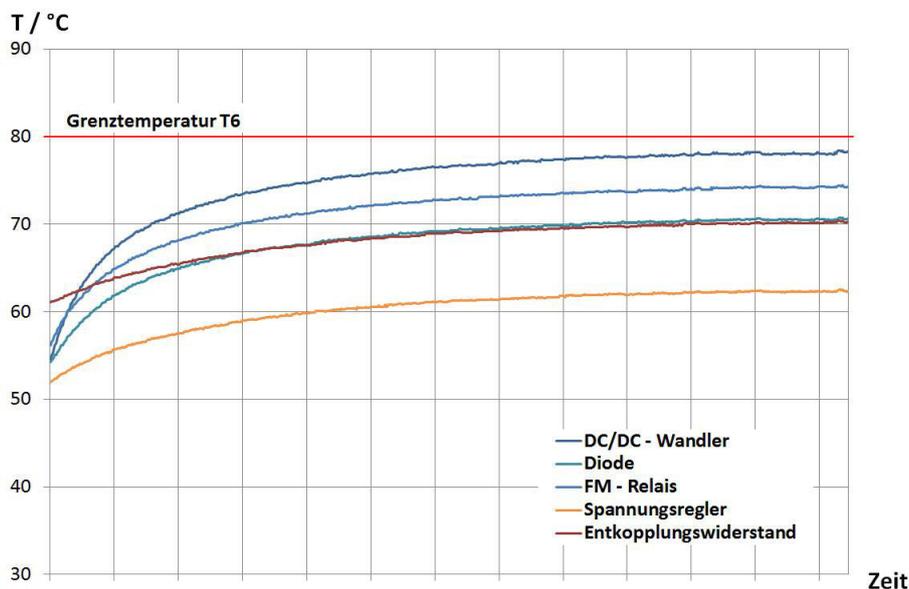


**Bild 5:** Thermografieaufnahme einer Leiterplatte des ÜSS



**Bild 6:** Thermografieaufnahme der Entkopplungswiderstände im Basiselement

Aufbauend auf dieser „Hot-Spot“-Bestimmung ist eine weitere Temperaturprüfung unter geregelten Umgebungsbedingungen in der ungünstigsten Einbaulage durchzuführen. Diese dient dem Nachweis, dass auch unter diesen Bedingungen die Anforderung an die einzuhaltenden Oberflächentemperaturen stets erfüllt ist. Im konkreten Fall wurde jedes ÜSG mit 110 % des spezifizierten Nennstromes beaufschlagt und das Temperaturprofil gemessen. Bild 7 zeigt die dabei ermittelten Temperaturprofile.

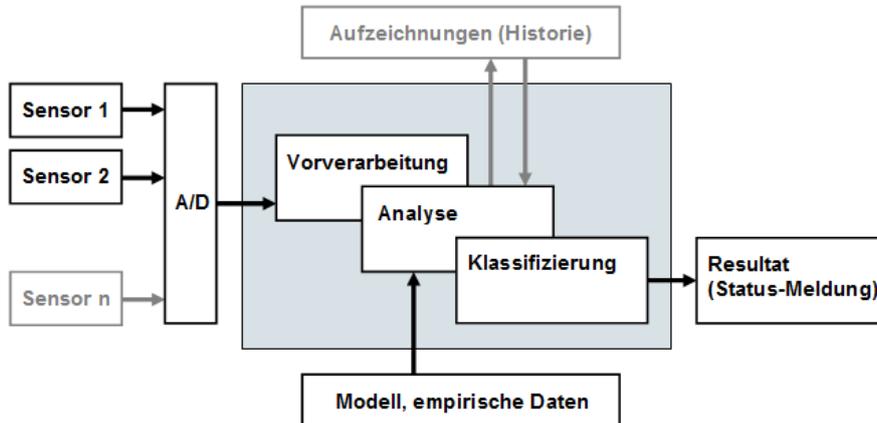


**Bild 7:** Temperaturverläufe ÜSS

Dabei zeigt sich, dass der DC/DC-Wandler, der sich als „Hot-Spot“ herausstellte, im thermischen Gleichgewicht eine Temperatur von 78 °C einnimmt. Diese, am DC/DC-Wandler gemessene Temperatur, ist somit maßgeblich für die Eingruppierung in die Temperaturklassen. Das vorgestellte modulare Überspannungssystem erfüllt diesbezüglich die höchsten Anforderungen gemäß der Temperaturklasse T6.

## 5. Kontinuierliche Zustandsbewertung und Fernmeldung

Insbesondere bei einem Einsatz von ÜSG an schwer zugänglichen Orten ist ein Monitoring der Schutzelemente in Verbindung mit einer Fernmeldefunktion sinnvoll. Durch eine kontinuierliche Zustandserfassung und -bewertung von Alterungsindikatoren wird eine zustandsorientierte bis hin zu einer vorausschauenden Wartungsstrategie möglich. Eine grundlegende Struktur für die Realisierung einer Zustandserfassung und -bewertung ist in Bild 8 dargestellt.

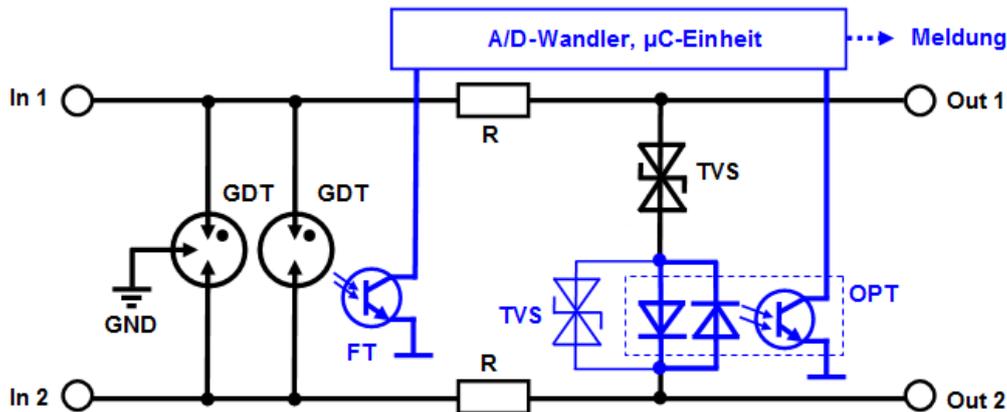


**Bild 8:** Grundlegende Struktur der Zustandserfassung und -bewertung von Alterungsindikatoren

Auf die betrachteten Bauelemente TVS-Diode und GDT der Schutzschaltung bezogen, lassen sich die nachfolgend beschriebenen Methoden für die Erfassung des Bauteilzustands und die Bewertung von Alterungsprozessen nutzen. Diese basieren auf physikalischen und statistischen Prinzipien sowie deren Verknüpfung.

- Eine „direkte“ Beurteilung des Bauteilzustandes im Sinne eines „direkten physikalischen Bewertungsverfahrens“ ist möglich, wenn ein direkter Zusammenhang zwischen der Messgröße und dem zu erfassenden Alterungszustand besteht. Ein derartiger physikalischer Zusammenhang besteht beispielsweise zwischen der Leckstromentwicklung der TVS-Diode und deren Schädigungsmaß.
- „Indirekte physikalische Bewertungsverfahren“ finden Anwendung, wenn eine direkte Messung des eigentlichen Alterungsindikators nicht möglich ist. Dieser kann über eine andere Messgröße bestimmt werden, wenn zwischen beiden Messgrößen aufgrund eines Messprinzips ein bekannter eindeutiger Zusammenhang besteht. Beispielhaft hierfür kann die Messung der Oberflächentemperaturentwicklung geschädigter Bauteile aufgrund von Leckströmen stehen. Es ist offensichtlich, dass hierbei Umgebungseinflüsse zu einer Unschärfe bei der Bewertung führen.
- Statistische Bewertungsverfahren können Anwendung finden, wenn fundiertes Wissen über das belastungsabhängige Alterungs- und Ausfallverhalten für das betrachtete Bauelement besteht. In diesem Fall lassen sich durch Erfassung von Beanspruchung und deren Vergleich mit labortechnisch ermittelten Belastungsgrenzen statistisch Aussagen zum Zustand treffen.
- Des Weiteren ermöglicht es der Vergleich aktueller mit den über die Lebensdauer aufgezeichneten Daten (vgl. Bild 8, Historie) Alterungseffekte zu erkennen.

Für die technische Realisierung der Zustandserfassung und –bewertung, für die eingesetzte 2-stufige Schutzschaltung, bietet sich beispielsweise die optische Detektion der mit einem Stromfluss durch den GDT verbundenen Gasentladung (Lichtbogen) an. So wie die Erfassung des Leckstromes durch die TVS-Diode (Bild 9). Die Erfassung der Gasentladung erfolgt dabei auf optischer Basis unter Verwendung eines Fototransistors. Die des Leckstroms im Zweig der TVS-Diode mittels Optokoppler, der einen Leckstrom oberhalb einer definierten Schwelle detektiert. Durch den Einsatz eines Optokopplers ist zudem die galvanische Trennung zwischen den Stromkreisen gewährleistet.



**Bild 9:** Konzept zur Zustandserfassung von GDT und TVS-Diode

Aus den erfassten Messsignalen lassen sich nach geeigneter Vorverarbeitung folgende Grundinformationen  $G$  gewinnen:

- Die Anzahl des Ansprechens des GDTs, d.h. die Anzahl der Ableitvorgänge  $Z_{\text{GDT},i}$
- Die Höhe des Stromes durch den GDT  $A_{\text{GDT},i}$  lässt sich in guter Näherung aus der Intensität der Leuchterscheinung (Gasentladung) gewinnen
- Die Zeitdauer der Gasentladung  $\Delta t_{\text{GDT},i}$  (innerhalb einer unteren und oberen Schwelle)
- Die Anzahl der Ableitvorgänge durch die TVS-Diode  $Z_{\text{TVS},j}$
- Überschreitung einer definierten Leckstromschwelle durch die TVS-Diode  $A_{\text{TVS},j}$
- Die Zeitdauer des Leckstromflusses  $\Delta t_{\text{TVS},j}$

Aus diesem Grunddatensatz  $G = \{Z_{\text{GDT},i}, A_{\text{GDT},i}, \Delta t_{\text{GDT},i}, Z_{\text{TVS},j}, A_{\text{TVS},j}, \Delta t_{\text{TVS},j}\}$  lassen sich durch Weiterverarbeitung mittels geeigneter Algorithmen kontinuierlich Aussagen zur erfolgten Bauteilbeanspruchung sowie zu physikalischen Bauteilparameteränderungen treffen. In einem weiteren Schritt kann eine Zuordnung des ermittelten Zustandes – im Sinne einer Klassifizierung – zu verschiedenen Status-Meldungen erfolgen (vgl. Bild 8).

## 6. Zusammenfassung

Vorgestellt wird ein modulares Überspannungsschutzsystem mit integrierter Monitoring-Funktion zum Schutz von Systemen der Mess-, Steuerungs- und Regelungstechnik, das speziell für den Einsatz in explosionsgefährdeten Bereichen konzipiert ist.

Die optimierte 2-stufige Überspannungsschutzschaltung ist bei hohem Ableitvermögen für Stoßströme in eigensicheren Stromkreisen für vergleichsweise hohe Nennströme ( $I_N = 350 \text{ mA}$ ) einsetzbar. Dies wird durch die Verwendung niederimpedanter Entkopplungselemente in Verbindung mit leistungsfähigen Überspannungsschutzelementen sowie deren energetischer Koordination erreicht.

Im Rahmen dieser Arbeit werden Methoden und technische Lösungen erarbeitet, die eine Zustandserfassung und -bewertung (Monitoring) von Überspannungsschutzelementen erlauben. Durch die Erfassung geeigneter Messgrößen, lassen sich mittels geeigneter Algorithmen kontinuierlich Aussagen zur erfolgten Bauteilbeanspruchung sowie zu physikalischen Bauteilparameteränderungen treffen. Diese Informationen lassen sich über eine Klassifizierung in Status-Meldungen abbilden. Vor dem Hintergrund hoher Sicherheits- und Verfügbarkeitsanforderungen von Systemen der MSR sind derartige Funktionen in die neuentwickelten Überspannungsschutzmodule integriert.

Darüber hinaus ergeben sich, durch die Forderung nach einem Einsatz in explosionsgefährdeten Bereichen, zusätzliche Anforderungen aus den gängigen Normen. Diese sind in die Entwicklung des Überspannungsschutzsystems eingeflossen. Auf Basis der Zielsetzung, die zu schützenden Signaladerpaare in die Ex-Zone 0 zu führen und das Überspannungsschutzsystem in Ex-Zone 2 installieren zu können, erfolgte die Festlegung der notwendigen Zündschutzarten für die einzelnen Systembestandteile. Zugrunde gelegt werden dabei die Zündschutzarten „Geräteschutz durch Eigensicherheit“ und „Geräteschutz durch Zündschutzart „n““. Für das System wird die Temperaturklasse T6, die im Vergleich die niedrigste Oberflächentemperatur fordert und damit die höchste Anforderung darstellt, gewählt, um so einen möglichst breiten Einsatzbereich gewährleisten zu können. Die Möglichkeit einzelne Überspannungsschutzmodule im Betrieb wechseln zu können ohne zuvor die Anlage außer Betrieb setzen zu müssen, wird durch die Wahl der Zündschutzart „Eigensicherheit“ für die Monitoring-Funktion erreicht.

### REFERENCES

- [1] EN 60079-10-1:2009: "Classification of areas – Explosive gas atmospheres"
- [2] EN 61643-21:2001 + A1:2009 + A2:2013: "Low voltage surge protective devices – Part 21: Surge protective devices connected to telecommunication and signalling networks – Performance requirements and testing methods".
- [3] EN 60079-14:2008: "Explosive atmospheres – Part 14: Electrical installations design, selection and erection"
- [4] G. Finis, F.-E. Brand: "Surge Protection For High Speed Data Transmission Systems With Transmission Frequencies Up To 500 MHz." 29<sup>th</sup> International Conference on Lightning Protection, Uppsala, Schweden, June 2008.
- [5] EN 60079-0:2012: "Explosive atmospheres – Part 0: Equipment – General requirements"
- [6] CLC/TS 61643-22:2006: "Low-voltage surge protective devices - Part 22: Surge protective devices connected to telecommunications and signalling networks - Selection and application principles.
- [7] EN 60079-11:2012: "Explosive atmospheres – Part 11: Equipment protection by intrinsic safe "I" "