

OPTIMIERUNG DER LEISTUNG UND LANGLEBIGKEIT VON OUTDOOR-ELEKTRONIK:

FELDSTUDIE BEWEIST LANGZEITSCHUTZ DURCH GORE® PROTECTIVE VENTS

Von **Georg Hofer** und **Timo Seybel**

Damit elektronische Geräte im Freien zuverlässig funktionieren, ist eine intakte Gehäuseabdichtung von entscheidender Bedeutung. Durch Temperaturschwankungen hervorgerufene Druckunterschiede können genau diese Dichtungen beschädigen, was zu Beschädigungen und Ausfällen der empfindlichen Elektronik führen kann.

Eine zuverlässige Belüftung des Gehäuses durch GORE® Protective Vents sorgt für einen raschen Druckausgleich, minimiert potenzielle Druckspitzen und trägt damit zur Erhöhung der Lebensdauer bei. Gleichzeitig schützt die patentierte Membrantechnologie verlässlich vor Wasser, Staub, Salzpartikeln sowie anderen Flüssigkeiten und hilft, Kondensation im Inneren des Gehäuses zu reduzieren oder zu eliminieren.

Zusätzlich zu Laborversuchen führt Gore regelmäßige Feldversuche durch, um durch Witterung und UV-Einstrahlung eine realistische Materialalterung zu erreichen. Diese Tests haben ein gemeinsames Ziel: Sie sollen zeigen, dass GORE® Protective Vents das Gehäuse dauerhaft und zuverlässig vor Schmutz und Wassereintritt schützen und keine Leistungsverluste auftreten.

In diesem Whitepaper fassen wir die Ergebnisse unserer aktuellen Studie aus dem Jahr 2024 zusammen, die seit mittlerweile 8 Jahren ununterbrochen auf dem Betriebsgelände von Gore in Putzbrunn südlich von München durchgeführt wird.



Abb. 1: Standort der Studie

Konzept der aktuellen Studie

Vierzehn identische Elektronikgehäuse aus Aluminium mit Neopren-Dichtungen und IP65 Klassifizierung (geschützt gegen Staubeintritt (staubdicht), vollständiger Schutz gegen Berührung und geschützt gegen Strahlwasser aus allen Richtungen) wurden auf der Dachterrasse des Gore Werks in Putzbrunn installiert.

Die Gehäuse wurden mit unterschiedlichen GORE® Protective Vents ausgestattet (siehe Abb. 3: Zuordnung der Vents), wobei bewusst ein Gehäuse ohne Vent montiert wurde, um Vergleichswerte zu einem unbelüfteten Gehäuse zu generieren.

Im Inneren der Gehäuse zeichnen Datenlogger permanent relative Feuchte, Temperatur und Druck auf. Als Referenz wurde zusätzlich ein Außensensor zur Aufzeichnung der meteorologischen Umgebungswerte angebracht.

Dabei waren die GORE® Protective Vents einer Temperaturspanne von -15 °C bis $+50\text{ °C}$ ausgesetzt (gemessene Werte am Außensensor). Diese Temperaturunterschiede verursachen in einem unbelüfteten Gehäuse Druckschwankungen, die zu einer Schädigung der Dichtung führen können.

In regelmäßigen Abständen wurden die Gehäuse inspiziert und die Sensordaten ausgewertet. Die Vents wurden begutachtet und die zur Sicherstellung des Druckausgleichs und Dichtigkeit relevanten Daten, wie Luftdurchsatz (Airflow) und Wassereintrittsdruck (WEP) gemessen.

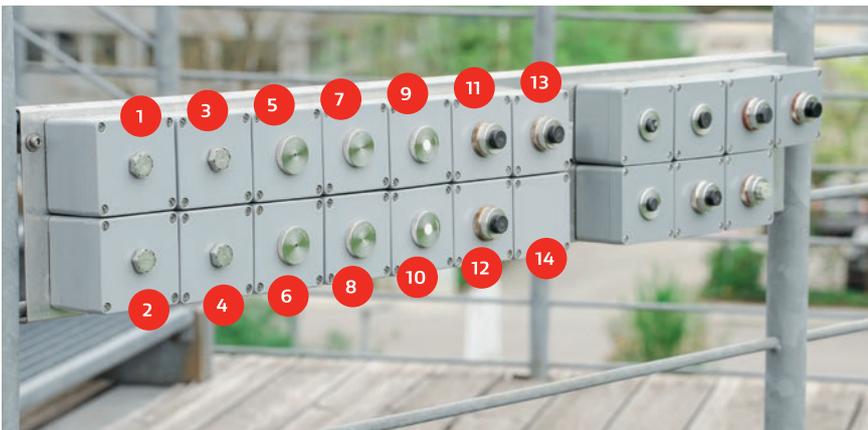


Abb. 2: Bestückte Gehäuse mit verschiedenen GORE® Protective Vents

Nummer	Beschreibung
1–4	GORE® Protective Vents – Screw-In Series (PolyVent Stainless Steel)
5–10	GORE® Protective Vents - Adhesive Series (PolyVent Standard)
11–13	GORE® Protective Vents – Snap-In Series (Serie VE7, VE8, VE9)
14	Reference Box (No Vent)

Abb. 3: Zuordnung der Vents

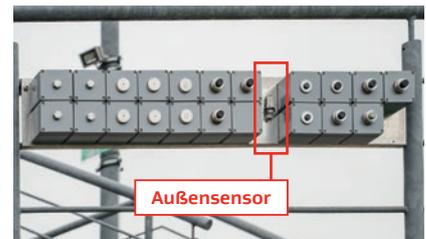


Abb. 4: Platzierung des Außensensors

Die Ergebnisse

Druckausgleich

Grundsätzlich kann man aufgrund der ausgelesenen Daten feststellen, dass die Belüftung von Gehäusen mit GORE® Protective Vents nur Vorteile bringt.

Der Druck im Inneren der belüfteten Gehäuse folgt nahezu dem Luftdruck der Atmosphäre (Abb.5) – und dies gleichbleibend gut seit 2016. Hierdurch bleiben sowohl das Dichtungssystem als auch die im Inneren verbaute Elektronik nahezu unbelastet.

Die Sensoren zeichneten in den belüfteten Gehäusen Differenzdrücke von max. 19 mbar auf. Im Gegensatz hierzu stieg der Differenzdruck in unbelüfteten Gehäusen auf bis zu 168 mbar an.

Die Dichtungssysteme der belüfteten Gehäuse wurden demnach kaum belastet. Damit wurde das Risiko eines Feuchteintritts durch defekte Dichtungen minimiert.

Im Gegensatz dazu traten bei der unbelüfteten Variante hohe Druckspitzen auf, die eine erhebliche Belastung der Dichtungen darstellten und das Risiko von Undichtigkeiten über die Lebensdauer deutlich erhöhen.

Die untere Grafik (Abb. 6) zeigt den Vergleich der Druckdifferenzen von belüfteten zu unbelüfteten Gehäusen.

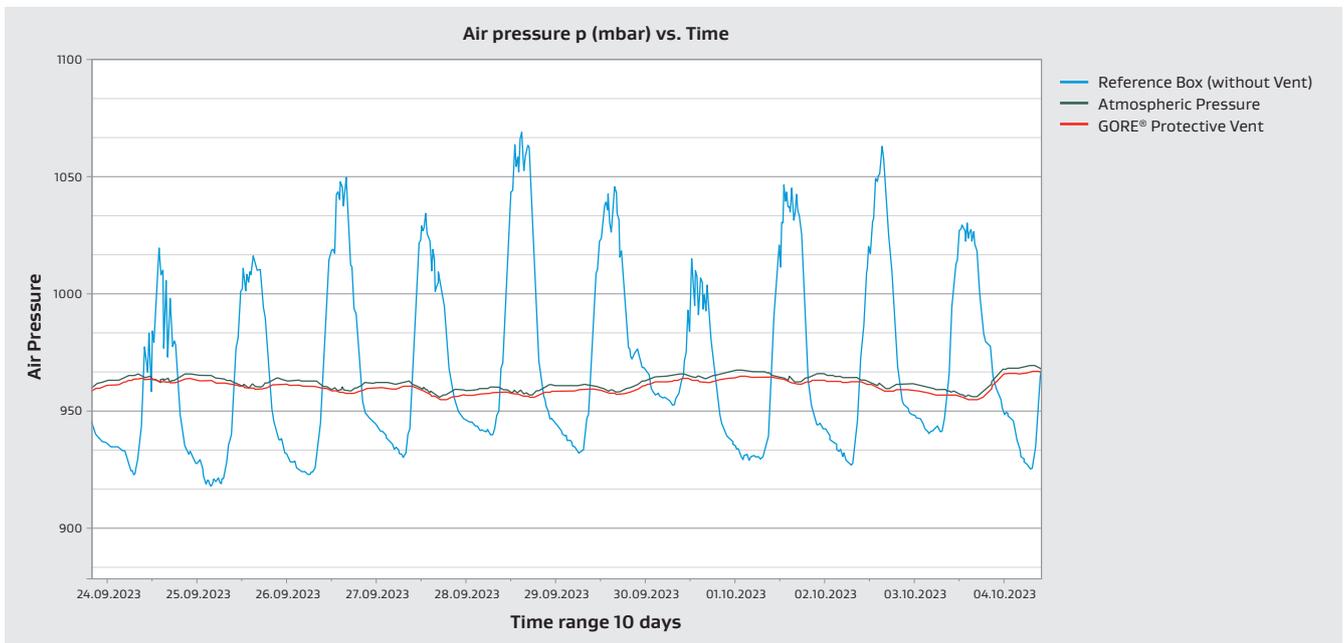


Abb. 5: Beispiel Datenaufzeichnung des Luftdrucks im Gehäuse ohne Vent (blau), im Vergleich zu einem Gehäuse mit GORE® Protective Vent (rot) und der Außenumgebung (grün). Der Druckunterschied zwischen belüfteten und unbelüfteten Gehäuse wurde mit bis zu 150 mbar gemessen.

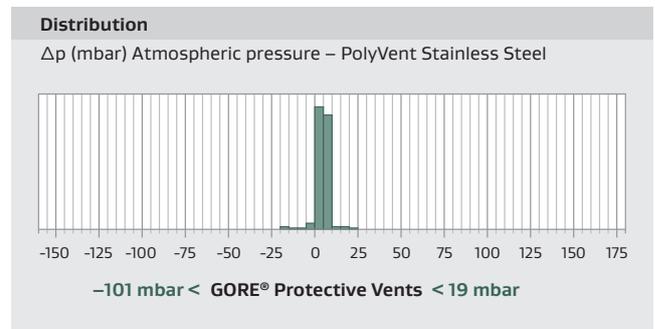
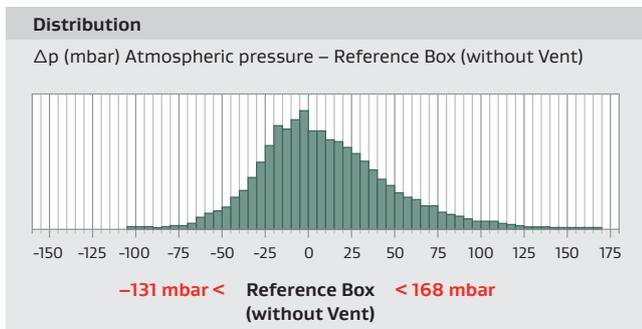


Abb. 6: Verteilung und Höhe der Differenzdrücke im unbelüfteten Gehäuse (links) und belüftetem Gehäuse (rechts) seit Beginn der Datenaufzeichnung (Mai 2022)

Feuchtigkeitsmanagement

In elektronischen Geräten kann Kondensation im Gehäuse auftreten, wenn feuchte Luft in Kontakt mit kühleren Oberflächen kommt, die den Taupunkt der Luft unterschreitet. Ein Verständnis der Ursachen und Präventionsmaßnahmen ist entscheidend, um die Zuverlässigkeit und Langlebigkeit elektronischer Komponenten zu gewährleisten.

Durch die mikroporöse Struktur der Membran, die in allen GORE® Protective Vents verbaut ist, wird das Gehäuse vor dem Eindringen von Wasser, Staub, Schmutz, Salzpartikeln und anderen Verunreinigungen geschützt. Gleichzeitig aber kann die Feuchtigkeit als Wasserdampf aus den Gehäusen entweichen und somit das Risiko von Kondensation reduziert werden.

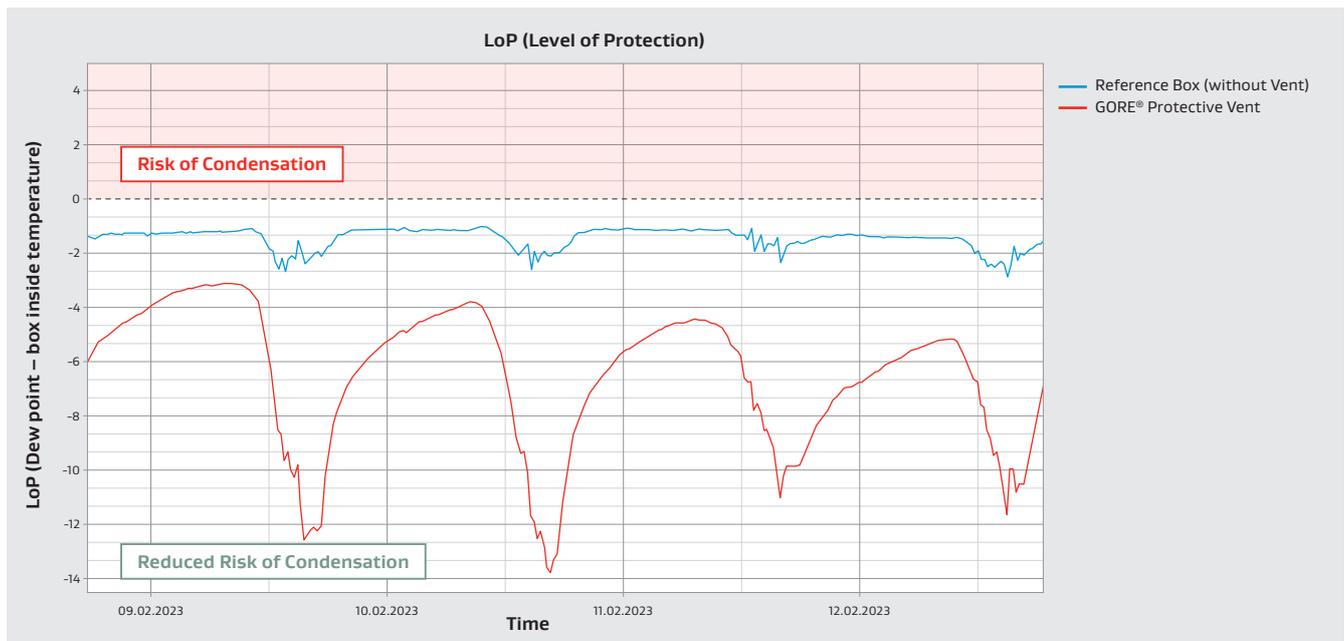


Abb. 7: Vergleich LoP-Wert: Gehäuse mit GORE® Protective Vent und ohne Vent

Zur besseren Darstellung des Feuchtigkeitsmanagements verwendet Gore die sogenannte **Level of Protection- Darstellung (LoP)**.

Der LoP-Wert gibt das Risiko der Kondensationsbildung an. Je geringer der LoP-Wert ist, desto geringer ist das Risiko der Kondensation im Gehäuse.

$$\text{LoP} = T_{\text{Taupunkt Luft}} - T_{\text{Gehäuseoberfläche}}$$

Wenn die Gehäusetemperatur **unterhalb** des Taupunktes der Luft im Gehäuse liegt, kann Kondensation auftreten:

Risiko der Kondensation:

$$\text{LoP} > 0 \quad (T_{\text{Taupunkt Luft}} > T_{\text{Gehäuseoberfläche}})$$

Wenn die Gehäusetemperatur **oberhalb** des Taupunktes der Luft im Gehäuse liegt, tritt keine Kondensation auf:

Geringes Risiko der Kondensation:

$$\text{LoP} < 0 \quad (T_{\text{Taupunkt Luft}} < T_{\text{Gehäuseoberfläche}})$$

Grundsätzlich gilt: Je geringer der Taupunkt und je kleiner der LoP-Wert, desto größer der Schutz vor Kondensation.

Das obige Diagramm vergleicht den LoP-Wert einer Box ohne Vent (Referenz-Gehäuse) mit einem Gehäuse mit GORE® Protective Vent. Hier ist eindeutig zu erkennen, dass die Box ohne GORE® Protective Vent einen höheren LoP und damit ein deutlich höheres Risiko zur Kondensationsbildung aufweist als ein Gehäuse mit GORE® Protective Vent.

Ein weiterer Beleg für ein funktionierendes Feuchtigkeitsmanagement ist der Vergleich der relativen Luftfeuchtigkeit. In Abbildung 8 wird die relative Luftfeuchtigkeit eines Gehäuses ohne Vent mit der eines Gehäuses mit Vent verglichen.

Die Daten zeigen, dass sich die relative Feuchtigkeit mit GORE® Protective Vents abbaut (rot), während das Innere im Gehäuse ohne Vent konstant auf einem hohen Feuchtigkeitsniveau (~ 90%) verbleibt (blau). Im direkten Vergleich zu den unbelüfteten Gehäusen sinkt die relative Luftfeuchtigkeit in den Gehäusen mit GORE® Protective Vents um bis zu 46 % (Abb. 8).

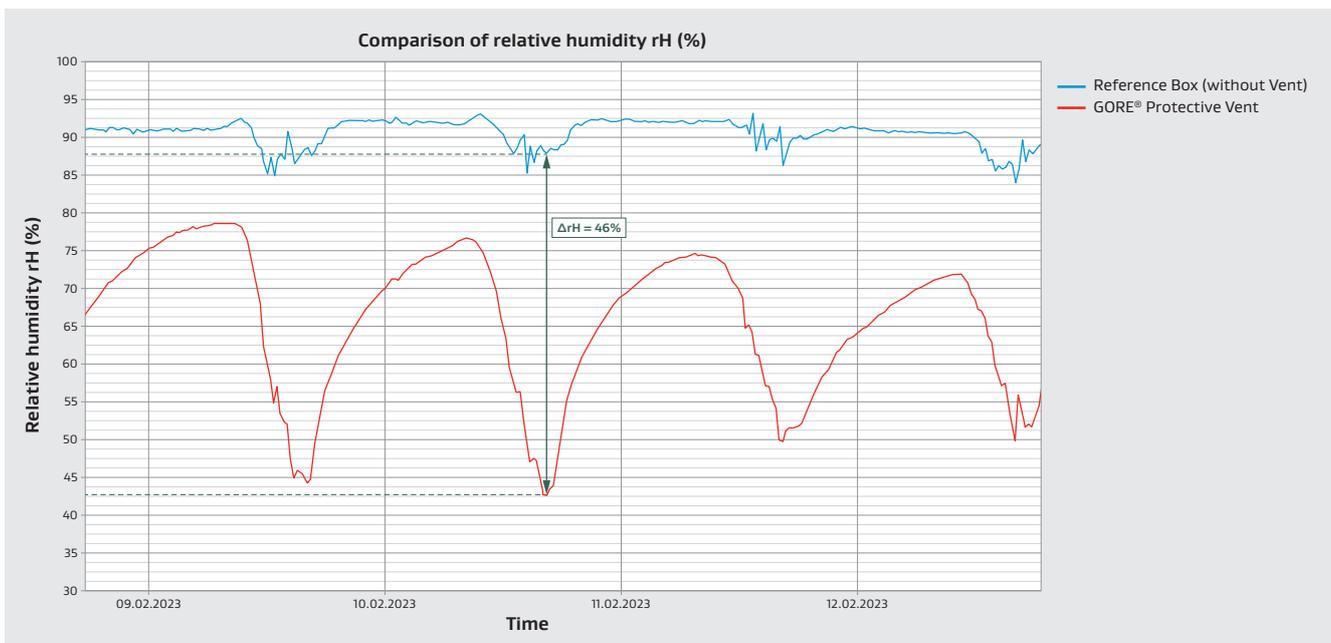


Abb. 8: Vergleich relative Luftfeuchtigkeit: Box mit GORE® Protective Vents und ohne Vent

Inspektion der Vents

In regelmäßigen Abständen bauen unsere Ingenieure die in der Studie verwendeten GORE® Protective Vents aus den Gehäusen aus und vergleichen sie mit neu hergestellten Vents des gleichen Typs.

Dabei werden alle GORE® Protective Vents begutachtet und die beiden grundlegenden Eigenschaften, die die Leistung einer Membran bestimmen, getestet: Der Luftstrom (Airflow) sowie der Wassereintrittsdruck (WEP).



Abb. 9/10: Visuelle Begutachtung eines GORE® Protective Vent nach 8 Jahren

Der Airflow beschreibt, wie viel Luft in einem bestimmten Zeitraum und einem gegebenen Differenzdruck durch die Membran strömen kann. Der WEP ist der hydrostatische Druck (Druck innerhalb eines ruhenden Fluids), dem die Membran für einen definierten Zeitraum standhalten muss.

Die Ergebnisse unterstreichen die langfristige Zuverlässigkeit und die Lebensdauer dieser Belüftungselemente bzw. Vents. Nach mehr als achtjährigem Einsatz der Vents beweisen die Messungen, dass der Airflow der GORE® Protective Vents in keinsten Weise beeinträchtigt wurde. Das geringfügige Ansteigen des Airflows über die Zeit ist ein typisches Verhalten der Membran. Auch die positiven Ergebnisse des WEP spiegeln die zuverlässige Dichtigkeit der Vents über einen langen Zeitraum wider. Abbildung 11 und 12 zeigen repräsentativ Airflow und eWEP für das PolyVent Stainless Steel.

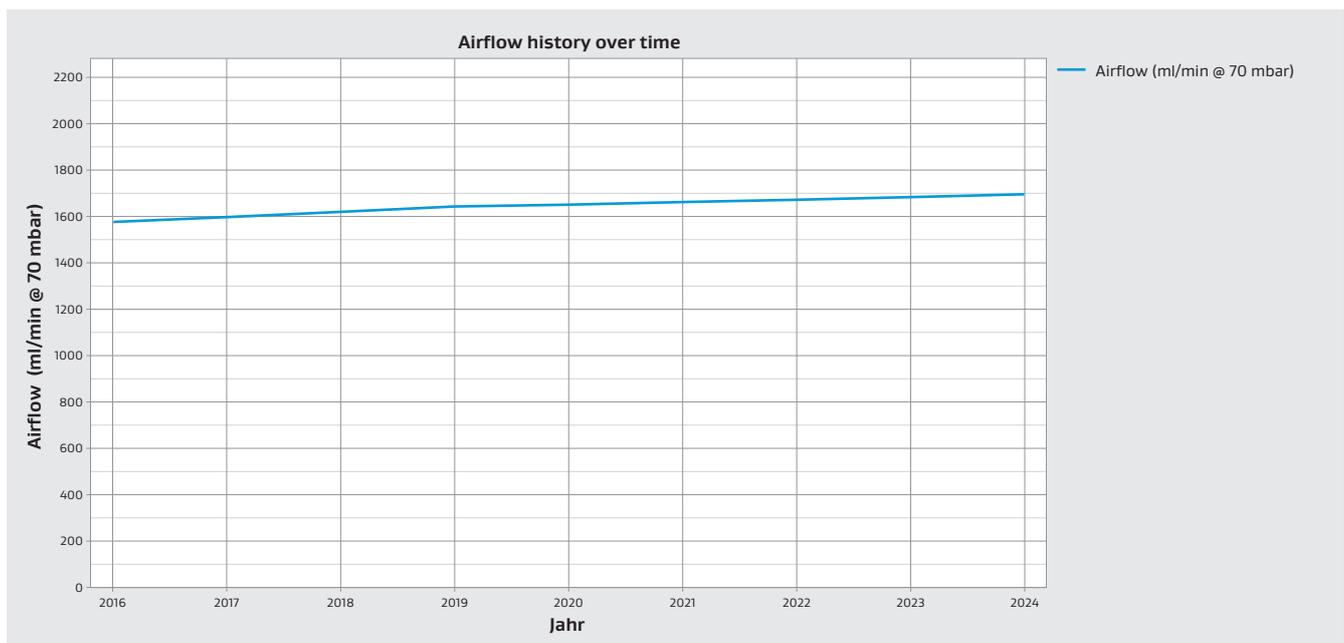


Abb. 11: Airflow-Verlauf über die Zeit (PolyVent Stainless Steel)

	GORE® Protective Vent		
	2016	2021	2024
eWEP (0,3 bar/30 sec)	OK	OK	OK

Abb. 12: Übersicht der Wassereintrittsdrücke eines GORE® Protective Vent (PolyVent Stainless Steel)

Zusammenfassung

Inspektion der Vents

Die Daten dieser Langzeitstudie zeigen, dass GORE® Protective Vents effektiv einen schnellen Ausgleich von Druckunterschieden realisieren, Druckspitzen verhindern können und damit einen zuverlässigen und langfristigen Schutz für Elektronik im Außenbereich bieten.

Die Feuchtigkeit im Inneren wird nachweisbar reduziert und damit das Risiko von Kondensation deutlich verringert. Selbst nach 8 Jahren Dauereinsatz konnten keine Leistungseinbußen der GORE® Protective Vents festgestellt werden.

Die Langzeitstudie wird über die nächsten Jahre weiter fortgeführt.

FOR INDUSTRIAL USE ONLY. Not for use in food, drug, cosmetic or medical device manufacturing, processing, or packaging operations.

All technical information and advice given here is based on Gore's previous experiences and/or test results. Gore gives this information to the best of its knowledge, but assumes no legal responsibility. Customers are asked to check the suitability and usability in the specific application, since the performance of the product can only be judged when all necessary operating data are available. The above information is subject to change and is not to be used for specification purposes. Gore's terms and conditions of sale apply to the sale of the products by Gore.

GORE, *Together, improving life* and designs are trademarks of W. L. Gore & Associates. © 2024 W. L. Gore & Associates GmbH