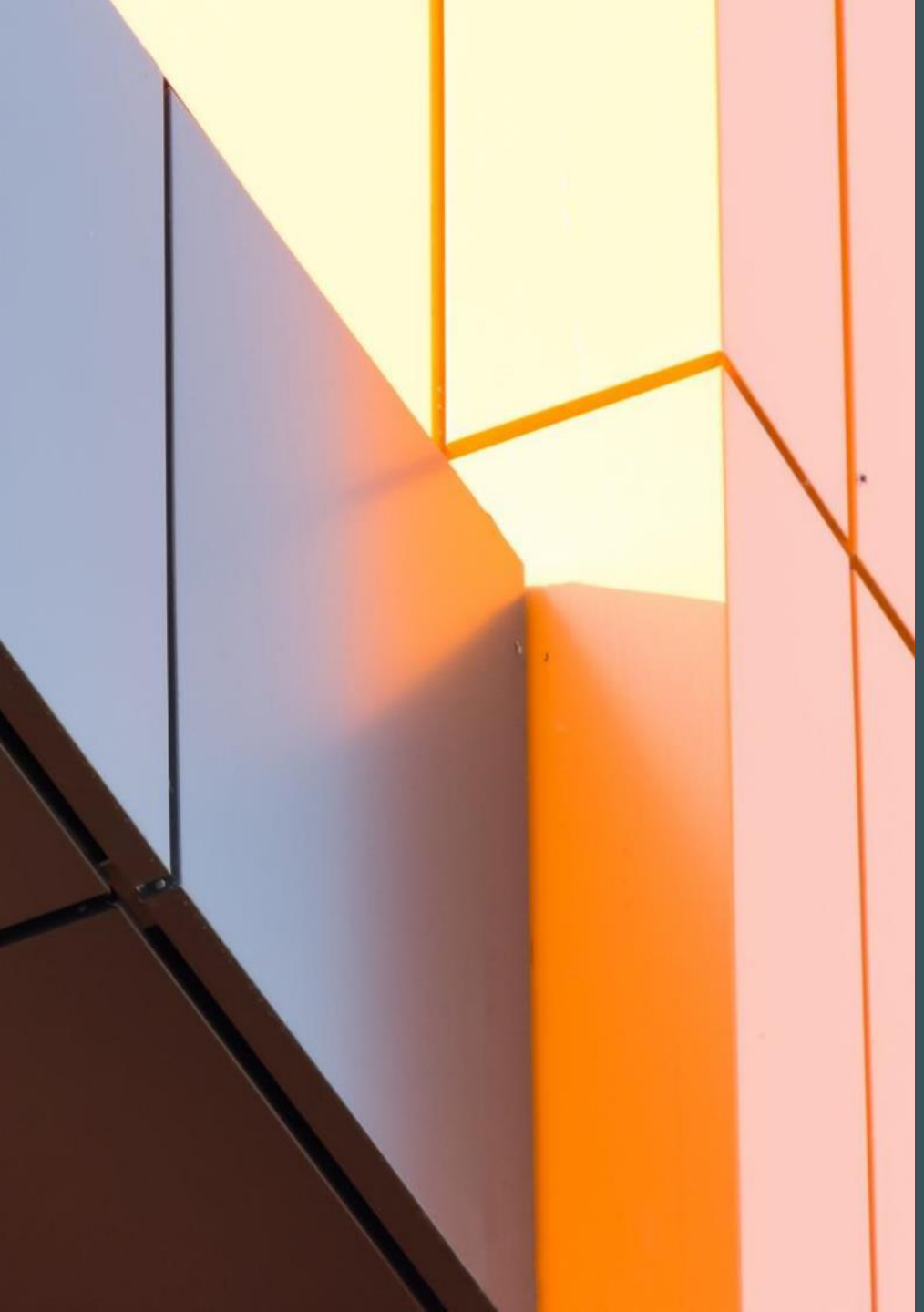
Zuverlässige Produktentwicklung mit HALT

Grundlagen & Anwendung der Methode

Webinar | Dr. Jochen Beier | 15.07.2025

SGS



Agenda

01 Vorstellung SGS / Prüflabor Gelting

02 HALT im Überblick: Ziel, Zweck und zentrale Merkmale

03 Der Ablauf: Die grundlegenden Schritte eines HALT

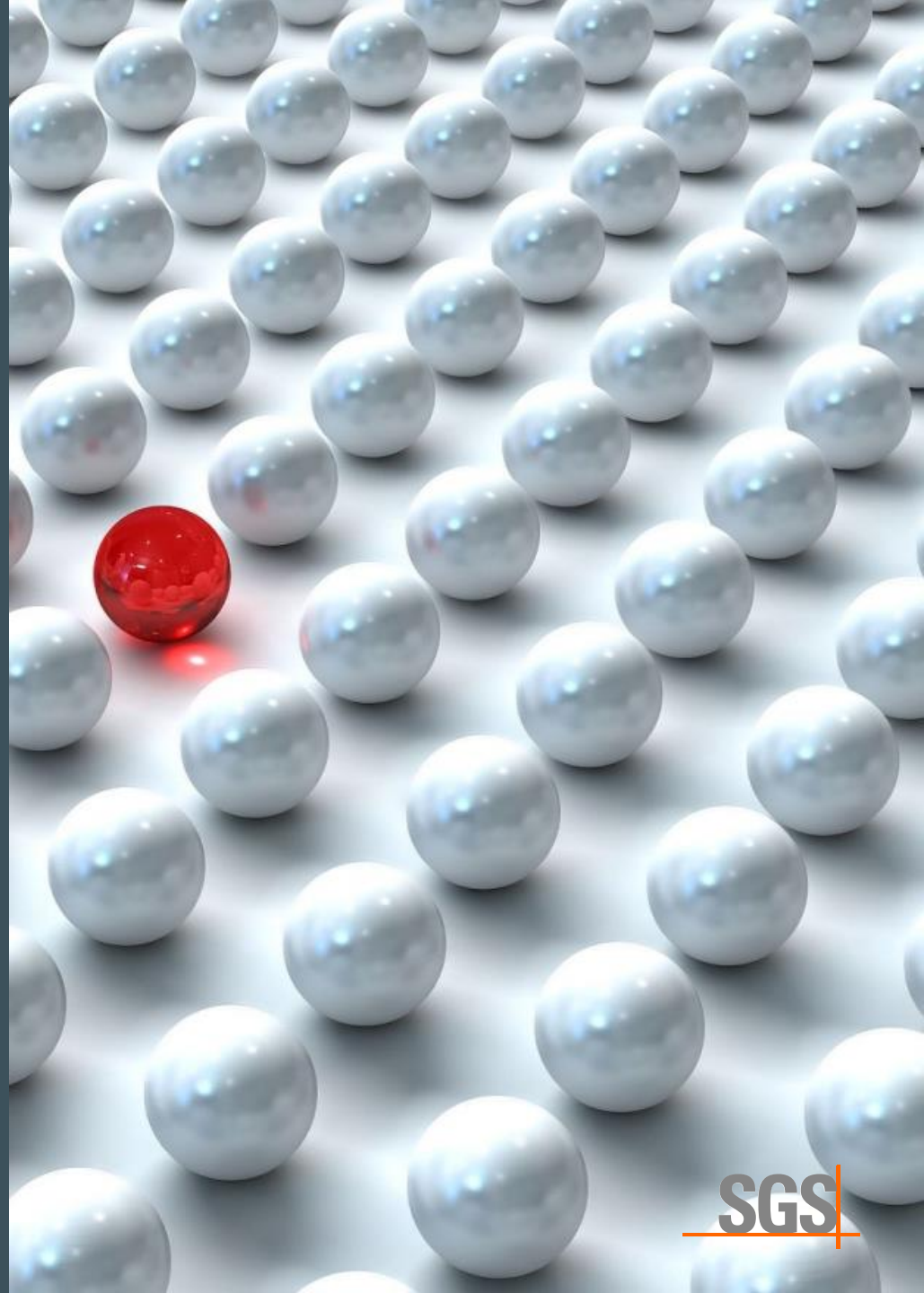
04 Bewertung der Ergebnisse

05 Chancen und Grenzen der HALT-Methode

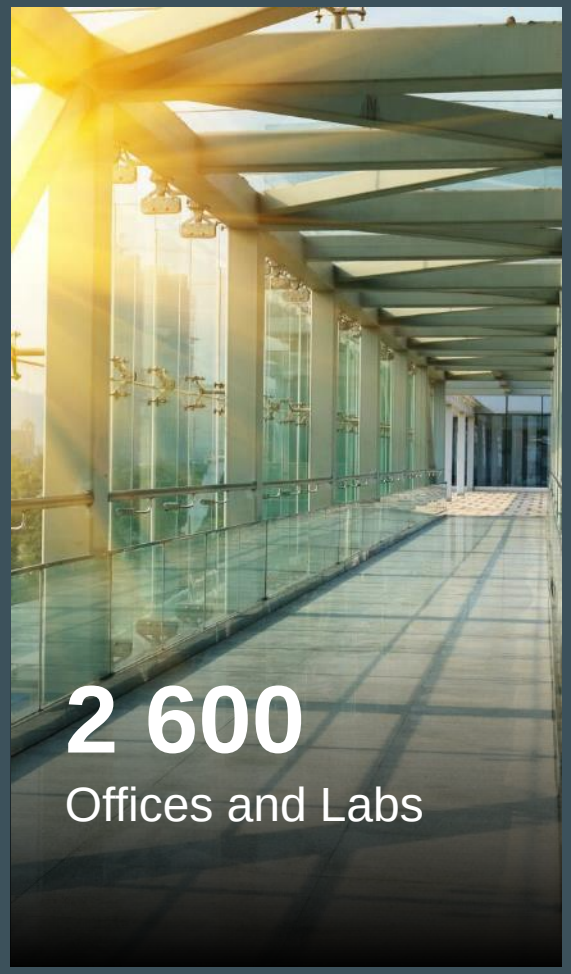
06 Exkurs: HASS in einer Folie

07 Fragen & Antworten

Vorstellung SGS / Prüflabor Gelting



Global Service – Local Expertise

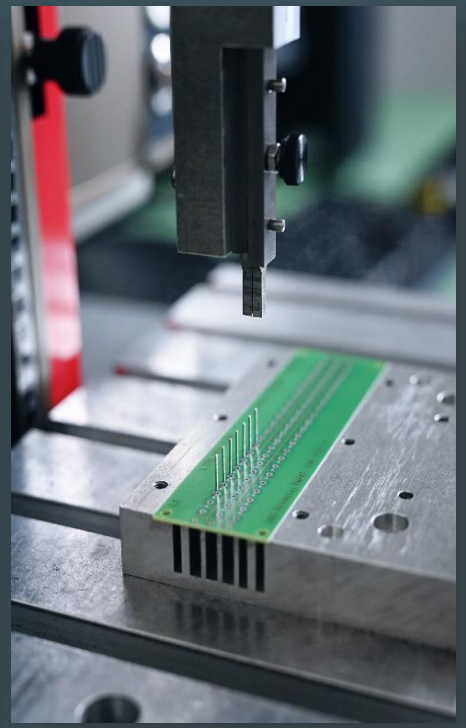


Prüflabor Geretsried – Gelting

- Klimatische Umweltsimulation

- Mechanische Umweltsimulation

- Korrosion & Schutzart

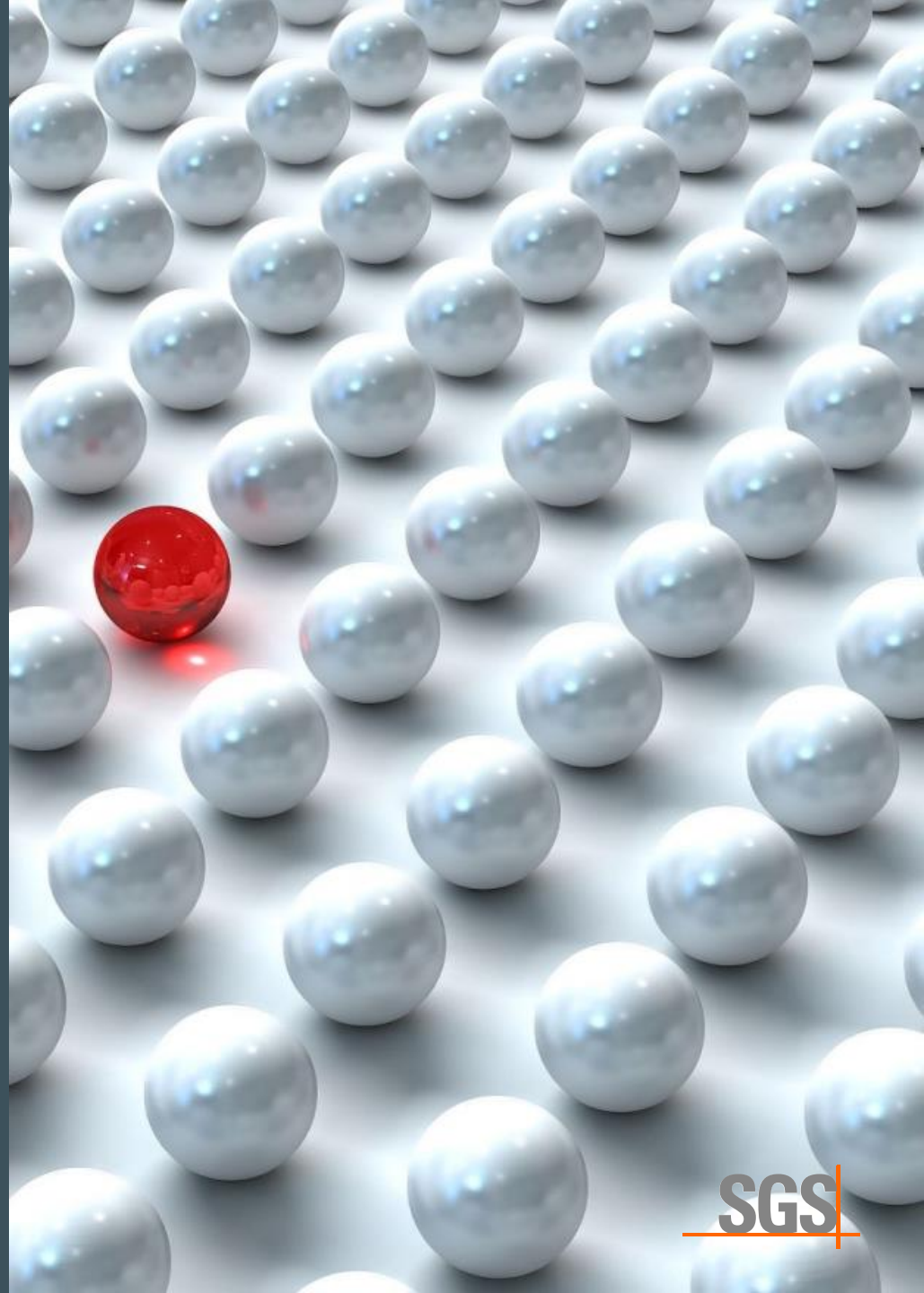


- Elektronik-Komponenten

- HALT / HASS

Für viele Aktivitäten nach DIN EN ISO/IEC 17025 akkreditiert

HALT im Überblick:
Ziel, Zweck und zentrale Merkmale



HALT im Überblick: Ziel, Zweck und zentrale Merkmale

HALT = **H**ighly **A**ccelerated **L**ife **T**est

- Methode/Werkzeug um schnell Designschwächen aufzudecken
- Durch …
  Erzeugen von kumulativer Schädigung, die mit der Schädigung vergleichbar ist, die über Lebensdauer zu erwarten ist.

➧ **Ausfälle erzeugen, Grenzen bestimmen**

➧ **Ausfälle “stimulieren”, nicht “simulieren”**

- Missverständlich:
  Es geht nicht um eine “Leben“sdauer und es ist mehr als ein “Test”

⇨ “Highly Accelerated Aging Method” wäre eindeutiger

- Idealer Zeitpunkt zur Anwendung von HALT: Entwicklungsphase

- Ziel (nach Durchlauf des ganzen Prozesses):

➧ **Robustere Produkte durch frühzeitiges Erkennen und Beheben von Schwachpunkten**

➧ **Produkte „gleichmäßig robust“ machen**
(Bauteile oder Entwurfsdetails finden, die schwächer sind als der Rest)

SGS

HALT im Überblick: Ziel, Zweck und zentrale Merkmale

Zentrale Merkmale

- Vorgehen: Schrittweise Erhöhung des Belastungsniveaus bis Ausfälle auftreten
- Hauptsächlich thermische- und Vibrationsbelastung
- Belastungen gehen weit über vorgesehene Umgebungsbedingungen hinaus.
- Es gibt keine vorgegebenen Grenzen. Das Produkt bestimmt die Grenzen.

⇨ Der Prüfling wird so lange beansprucht, bis er kaputt geht.

➧ **HALT verfolgt eine völlig andere Test-Philosophie als die klassische Umwelterprobung.**

HALT ist kein “Pass/Fail“-Test –
man kann einen HALT-Test nicht bestehen.

Sie suchen nach den Fehlern!

HALT im Überblick: Ziel, Zweck und zentrale Merkmale

Wer nutzt HALT?

- Vor allem die Luftfahrtindustrie
- Aber auch querbeet viele andere Industrien (Automobil, Haushaltsgeräte, Elektronik, Medizintechnik …)
- In Deutschland z.B.
  Liebherr, Diehl, Conti, BSH
- HALT ist in den USA viel weiter verbreitet als in Europa.
- Anwendung meist für elektronische oder elektromechanische Baugruppen

HALT im Überblick: Ziel, Zweck und zentrale Merkmale

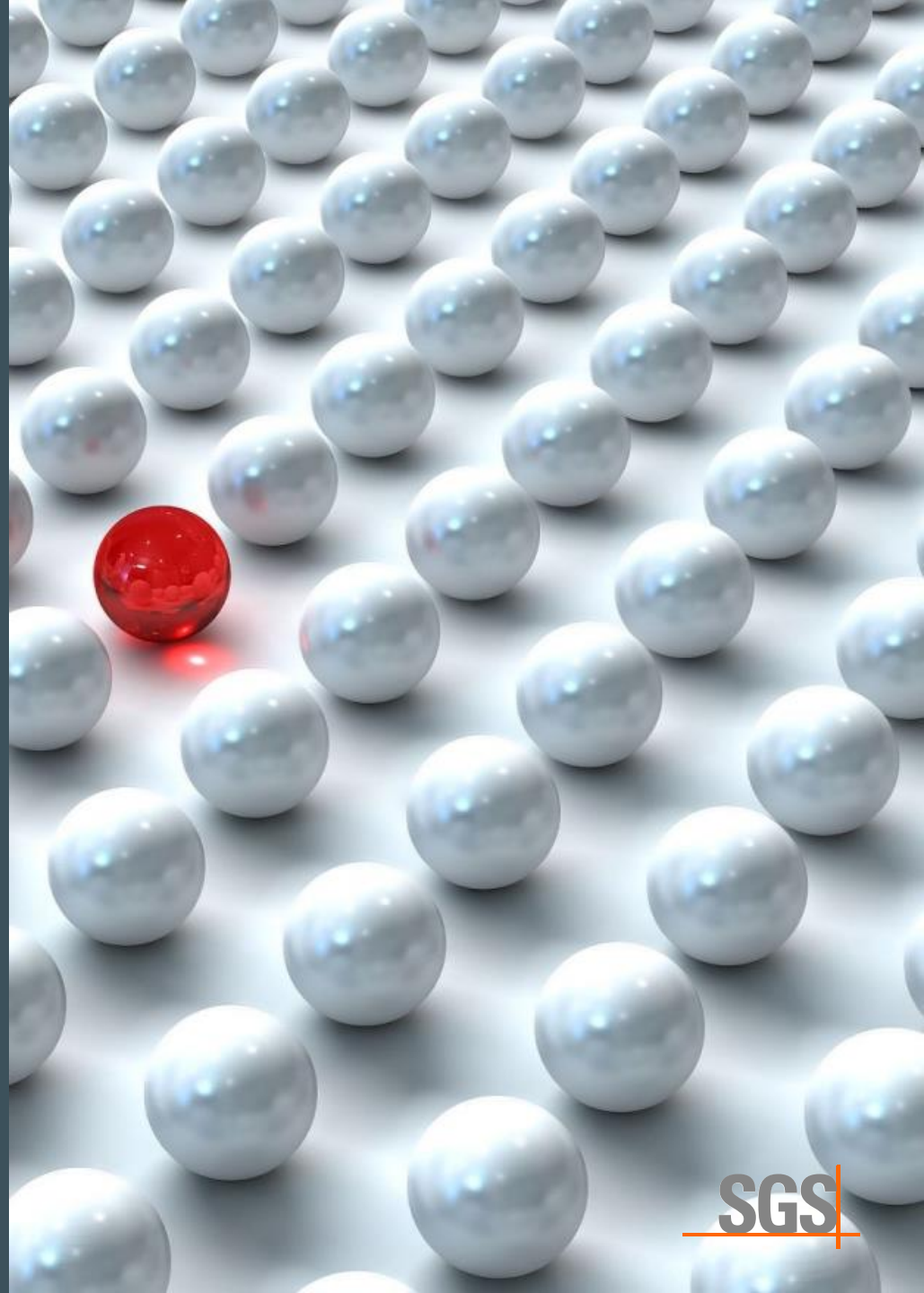
HALT-Kammer

- Kühlung mit flüssigem Stickstoff
- Heizen mit Strom (Heizwendeln)
- Temperaturbereich: -100 bis 200 °C
- Temperaturwechselrate: ca. 60 K/min
- Starke turbulente Luftströmung

- Vibration durch pneumatische „Hämmer“ unter dem Tisch
  - ⇨ Breitband ca. 5 bis 10.000 Hz
  - ⇨ 6 Freiheitsgrade (3 Achsen + 3 Rotationsmomente)
- Beschleunigung 5 bis 50 g_{rms}

➡ Etwas völlig anderes als eine klassische Thermo-Vibro Kombination

Der Ablauf: Die grundlegenden Schritte eines HALT



Der Ablauf: Die grundlegenden Schritte eines HALT

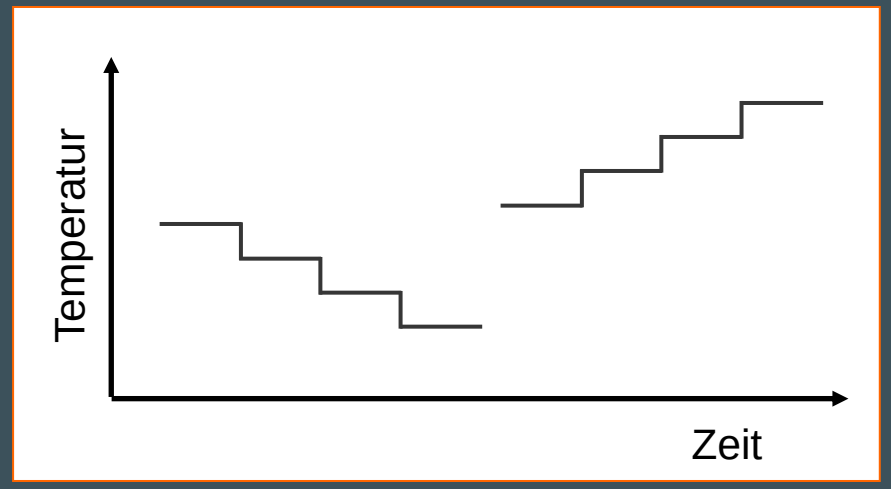
Ein HALT-Test besteht im Wesentlichen aus fünf Schritten

- Temperaturstufen Kälte
- Temperaturstufen Wärme
- Temperaturzyklen
- Vibrationsstufen
- Kombinierte Umweltbelastung (Vibrationsstufen, Temperaturzyklen)

Der Ablauf: Die grundlegenden Schritte eines HALT

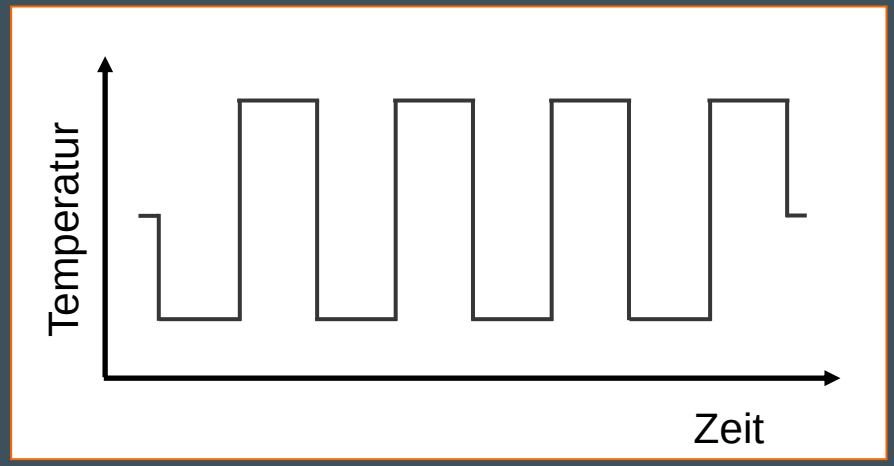
Temperaturstufen Kälte / Wärme

- Hauptbelastung: absolute Temperatur
- Prüfung bis zum Ausfall



Temperaturzyklen

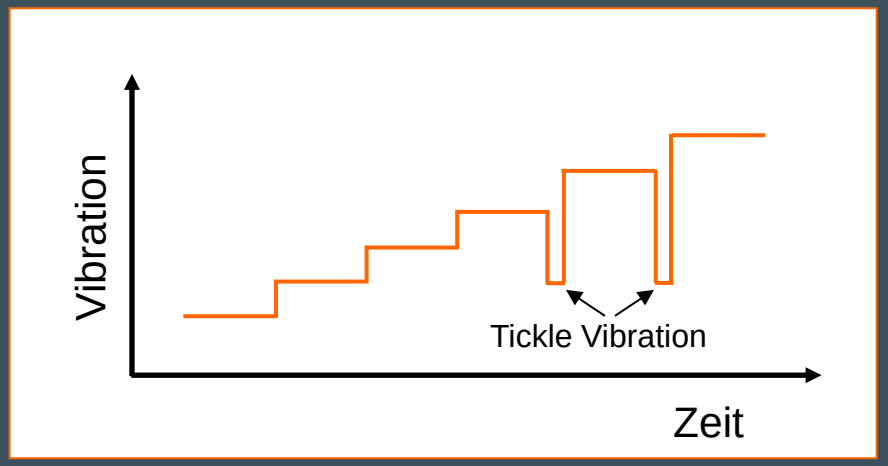
- Hauptbelastung: Temperaturänderung
- Meist 3 oder 5 Zyklen



Der Ablauf: Die grundlegenden Schritte eines HALT

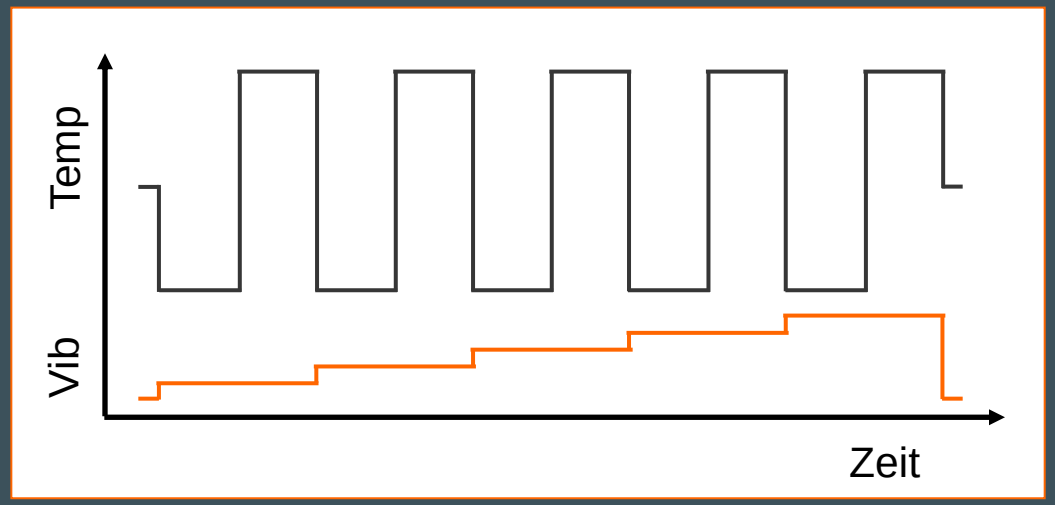
Vibrationsstufen

- Hauptbelastung: Vibration
- Prüfung bis zum Ausfall



Kombinierte Belastung

- Kombination von Belastungen
- Meist 5 Zyklen/Stufen



Der Ablauf: Die grundlegenden Schritte eines HALT

Produktspezifische Prüfbelastungen

- **HALT beschränkt sich nicht auf Temperatur und Vibration!**
- Kaltstart, Aus-/Einschalten
- Eingangsspannung
- Elektrische Lasten
  Referenzfrequenz
  Viskosität von Flüssigkeiten,
  Druckschwankungen …

➡ **Jegliche Belastung,
die Designschwächen offenbaren kann
und sich sinnvoll realisieren lässt,
ist zulässig … und gefordert!**

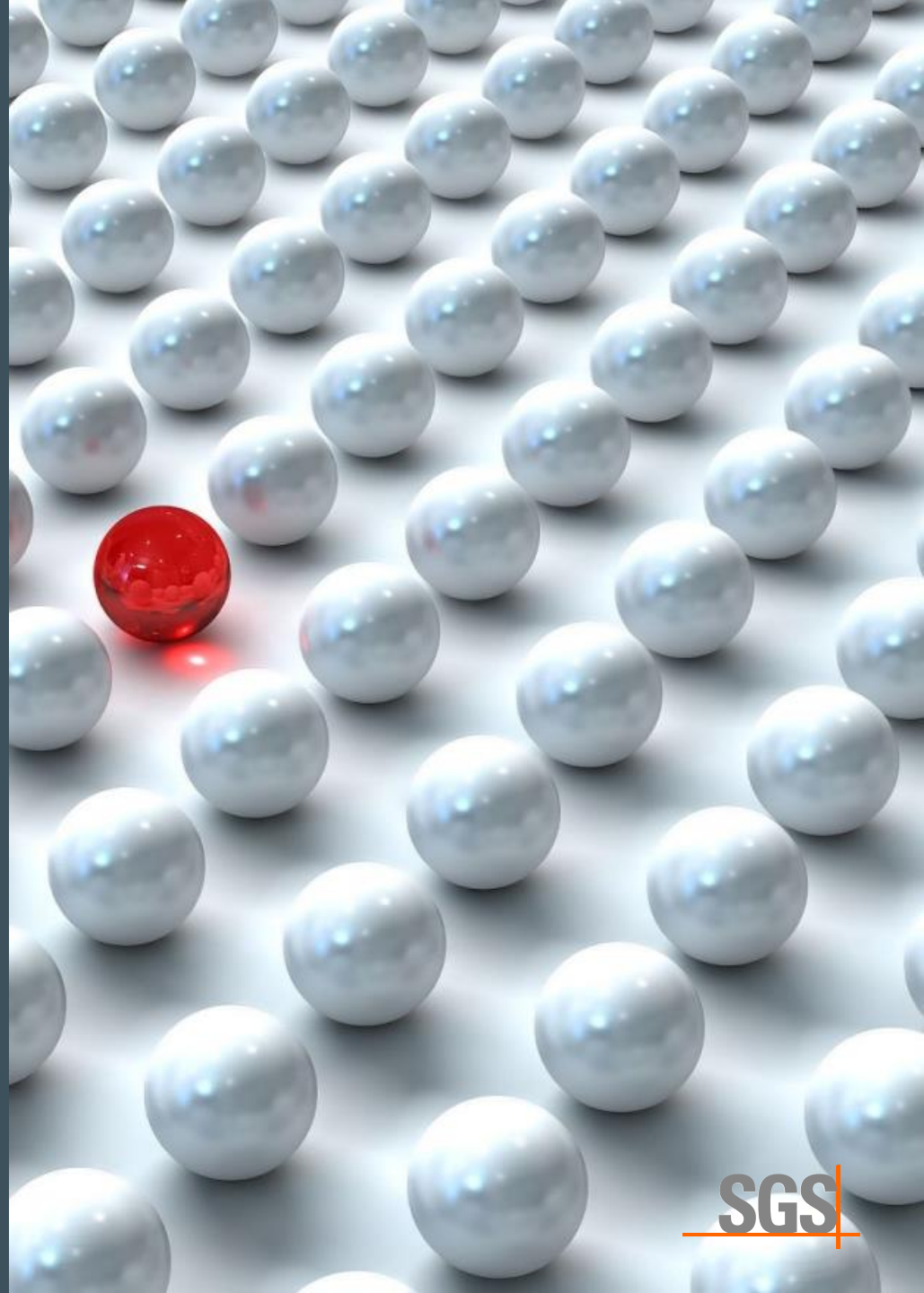
Der Ablauf: Die grundlegenden Schritte eines HALT

Sonst noch wichtig für Durchführung

- Anzahl notwendiger Prüflinge
  2 ⇨ absolutes Minimum
  5 ⇨ Besser! Je 1 für jeden Einzeltest
  Alternativ: Ersatzteile
- Ein HALT-Durchlauf dauert i.d.R.
  2 bis 5 Tage (meist 3 od. 4)
- Die Prüflinge müssen währen dem Test betrieben und überwacht werden

- **Mindestens eine Person, die die Prüflinge sehr gut kennt, ~~sollte~~ muss vor Ort sein!!**
- **“The development team must accept ownership of the process from the beginning”**
  (aus einem Papier von Qualmark)

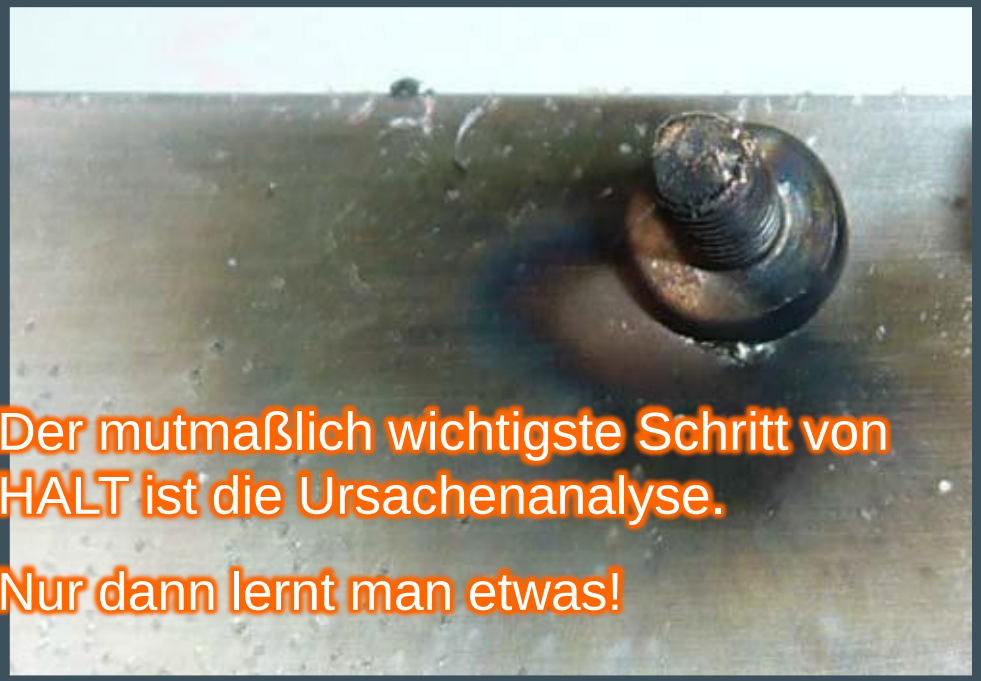
Bewertung der Ergebnisse



Bewertung der Ergebnisse

Ursachenanalyse

- Suche und sorgfältige Analyse der Gründe für die Ausfälle
- Die Ursache aller Fehler muss verstanden werden. Dies ist die Grundvoraussetzung für die Bewertung der Fehler.



- Der mutmaßlich wichtigste Schritt von HALT ist die Ursachenanalyse.
- Nur dann lernt man etwas!

Fehler	Belastung	Ursache	relevant?	…
Kabelisolation durchgescheuert	Vibration	Mangelhafte Entgratung	…	
…				

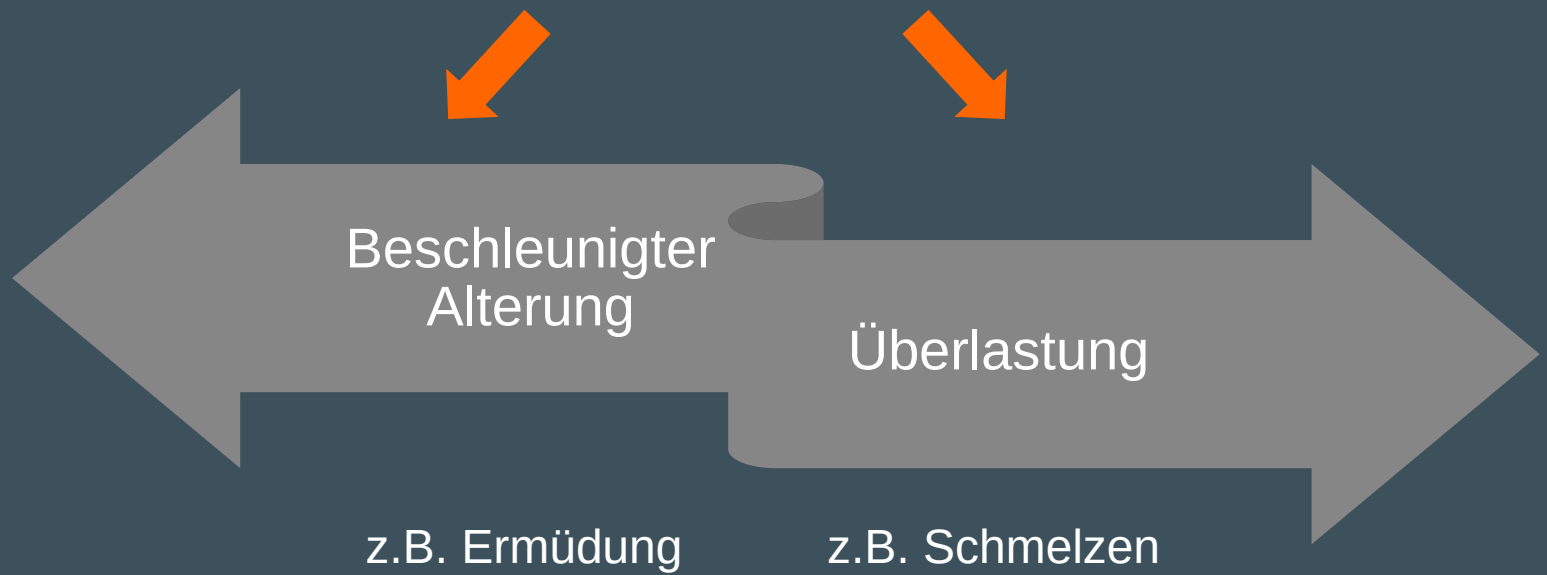
- Ursachenanalyse in Projektplan einbeziehen (Personal und Zeit).

Bewertung der Ergebnisse

Soll die Ausfallursache behoben werden?

- Leider gibt es darauf keine klare Antwort 🙄

Hohe Belastung verursacht zwei Arten von Ausfällen - aufgrund von …



Bewertung der Ergebnisse

Fragestellungen, die helfen können

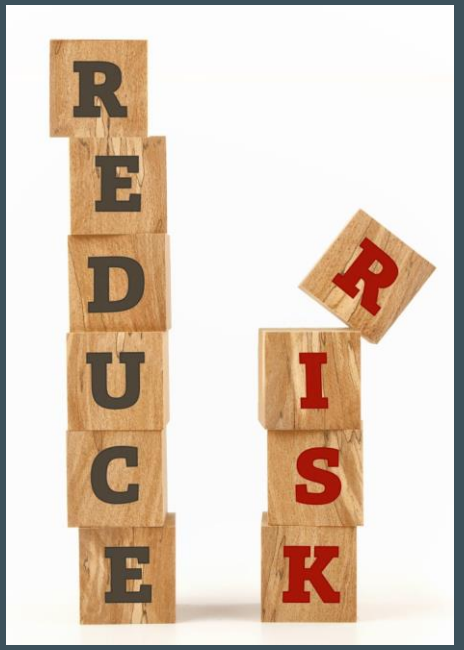
- Kann die Fehlfunktion im Feld aufgrund von Alterung auftreten?
  Wie viel würde es kosten, wenn der Ausfall im Feld auftritt?
- **Beseitigung von Fehlern, die im Feld auftreten könnten und inakzeptable Kosten verursachen würden (unabhängig davon, bei welchem Stresslevel diese während des HALT- Tests auftraten).**

- Ist der Ausfall ausschließlich verursacht durch Überlastung?
  Wie groß ist der Abstand des Ausfalls von der zugesagten Grenze?
- **Beseitigung auch von Fehlern rein aufgrund von Überlastung, falls diese nicht in sicherem Abstand von der Spezifikation liegen.**

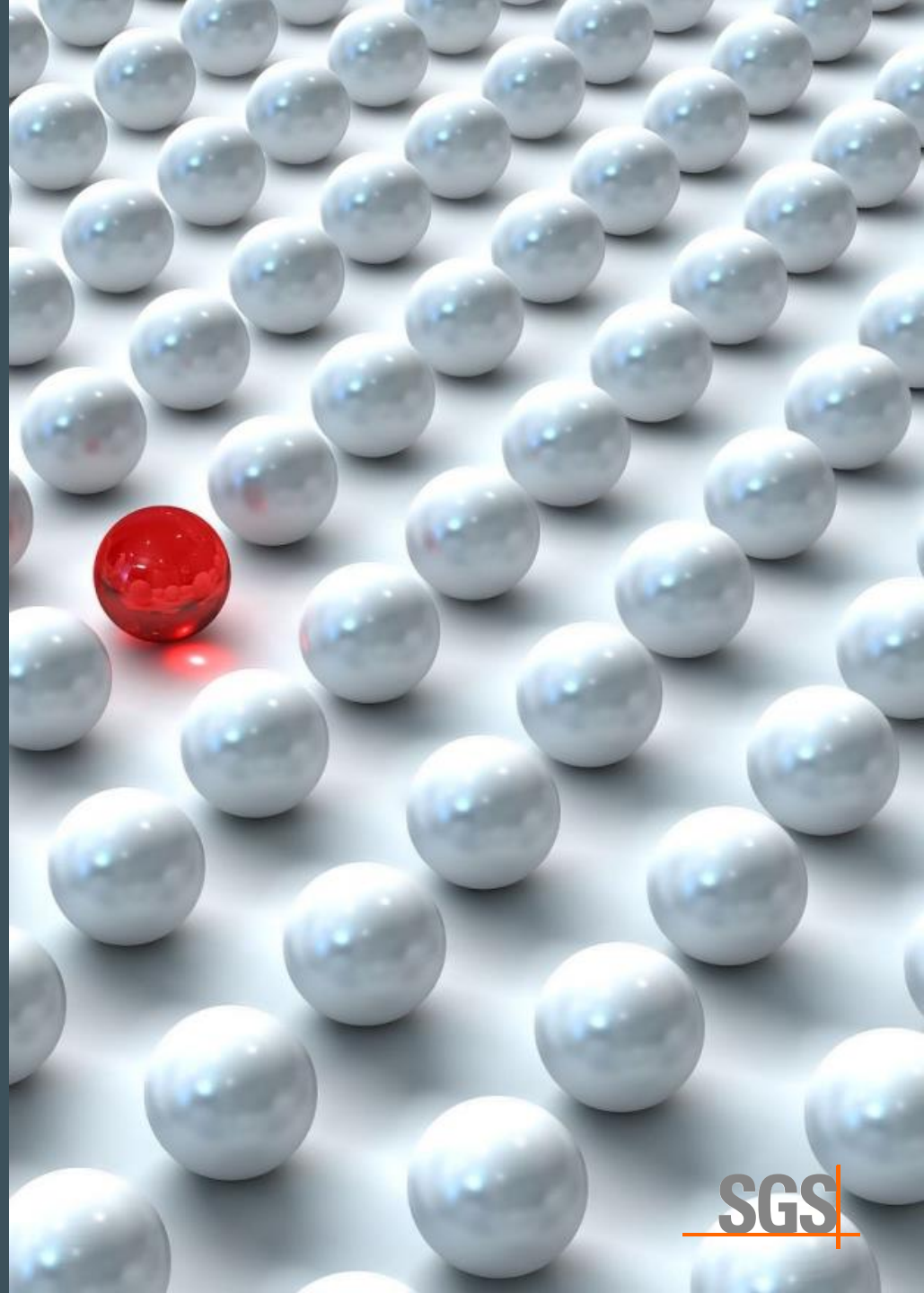
Bewertung der Ergebnisse

Fragestellungen, die helfen können

- Ist der Ausfall potenziell sicherheitsrelevant?
- Beseitigung von sicherheitsrelevanten Fehlern, wenn nicht sicher ausgeschlossen werden kann, dass der Fehler feldrelevant ist!
- Wie viel kostet es, den Fehler zu beseitigen?
- Wenn es billig ist, den Fehler auf jeden Fall beheben!
  Die Behebung vieler Fehler verursacht nur geringe Kosten.
- Erfahrung aus früheren Produkten mit ähnlicher Konstruktion?
- Wie ist die Wettbewerbssituation?
- Wie sind die Kundenerwartungen im Marktsegment?
- Bei unklarer Bewertung
- Risikoabschätzung



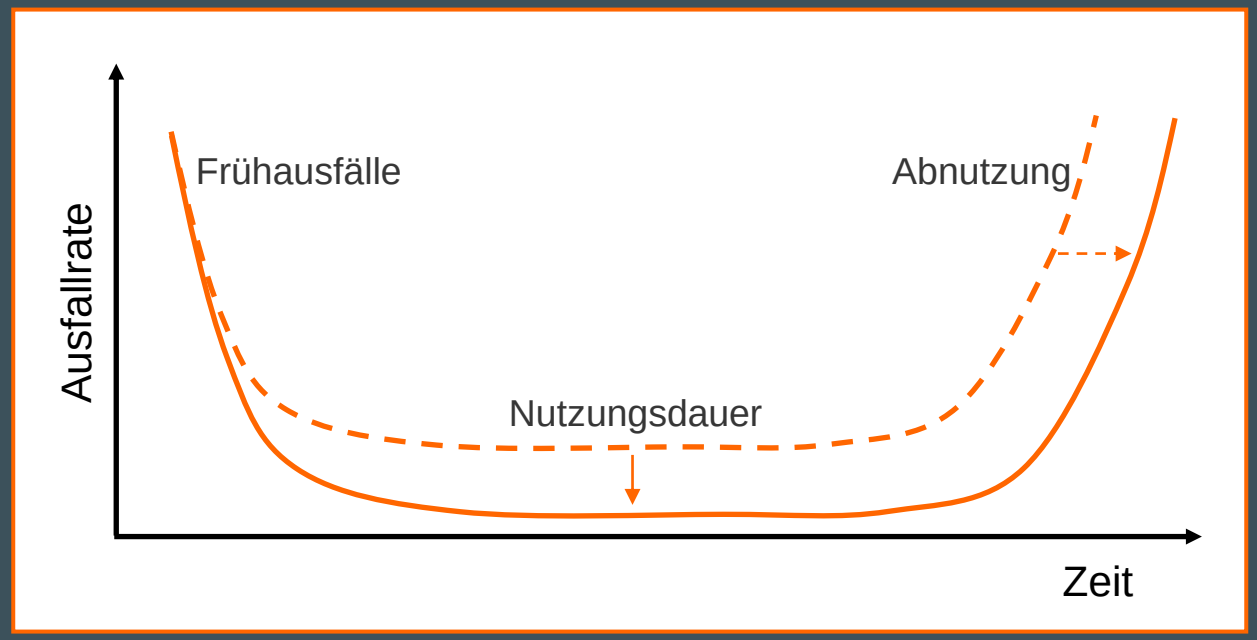
Chancen und Grenzen der HALT-Methode



Chancen und Grenzen der HALT-Methode

Ziele von HALT

- Das **Hauptziel** von HALT ist das Finden, Verstehen und Beseitigen der ersten Fehlermodi.



- Das **zweitrangige Ziel** von HALT ist die Erhöhung des Abstands zwischen tatsächlicher Belastung und Ausfallgrenze.
- HALT **kann auch eingesetzt werden** für Vergleichsprüfungen oder eine schnelle Produktionsüberwachung

Chancen und Grenzen der HALT-Methode

Vorteile von HALT

- Schnelles Erkennen von Konstruktionsschwächen und möglichen Ausfallarten
- Schneller als die klassische Alterung (HALT-Test: 2 bis 5 Tage)

➡ Höhere Zuverlässigkeit des Produktes

➡ Verkürzung der Entwicklungszeit möglich

- Generelle Methode

➡ Keine ausgefeilte vorausgehende Anpassung an das Produkt notwendig (kein Vorbereitungsaufwand für Ausarbeitung eines Prüfprogramms)

SGS

Chancen und Grenzen der HALT-Methode

Grenzen von HALT

- Die gefundenen Fehler sind mitunter schwierig einzuordnen
  - ⇨ Alterung oder Überbelastung?
  - ⇨ Relevant oder nicht relevant?
- Auch HALT bietet keine Garantie, dass alle Schwachstellen gefunden werden.
  - ⇨ nicht durch HALT erfasst werden (z.B.): Korrosion, Feuchtigkeit …
- HALT ist nicht geeignet als Basis für MTBF oder Lebensdauer-Berechnung

Chancen und Grenzen der HALT-Methode

Typische Hindernisse und Fallstricke

- Es sind keine/wenige Prüflinge verfügbar
- Mangelnde Akzeptanz für HALT im Unternehmen
  - ⇨ “Diese Umweltbedingungen treten in der Realität nie auf.”
  - ⇨ “Ein Fehler außerhalb der Spezifikation kann nicht relevant sein.”

- „Probe“-HALT an bewährtem Produkt
  - ⇨ Hier wird mit HALT nicht viel neues rauskommen.
  - ⇨ Man sollte ein Produkt nehmen, von dem bekannt ist, dass es Probleme gibt …
  - ⇨ plus ein gerade in der Entwicklung befindliches, damit die Sache auch gleich wirklich etwas bringt.

Chancen und Grenzen der HALT-Methode

Warum HALT funktioniert …

- Erhöhte Belastung führt zu beschleunigter Alterung (Zeitraffung)
- **Die Zeitraffung steigt exponentiell mit der Belastung.**

… aber nicht immer

- Die Zeitraffung gilt nur sinnvoll, solange sich der dominante Fehlermodus nicht ändert.

$$A = e^{-\left(\frac{E_A}{k}\right)\left(\frac{1}{T_{Test}} - \frac{1}{T_{Feld}}\right)}$$

$$A = \left(\frac{S_{Test}}{S_{Feld}}\right)^{\beta}$$

$$A = \left(\frac{\Delta T_{Test}}{\Delta T_{Feld}}\right)^{c}$$

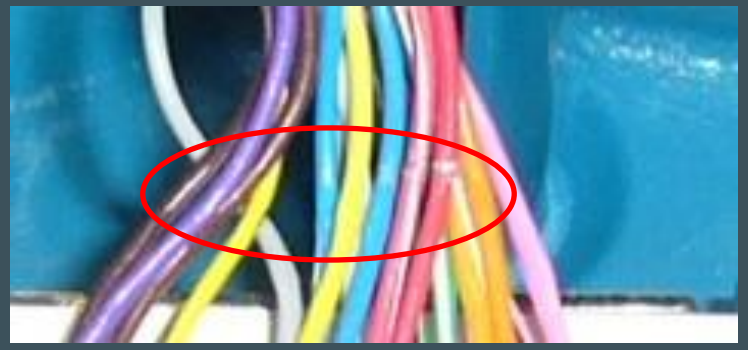
A = Zeitraffungsfaktor
E_A = Aktivierungsenergie [eV]
k = Boltzmann-Konstante [eV/k]
T = Temperatur
ΔT = Temperaturhub
c, β = Modell Parameter
S = mechanische Belastung

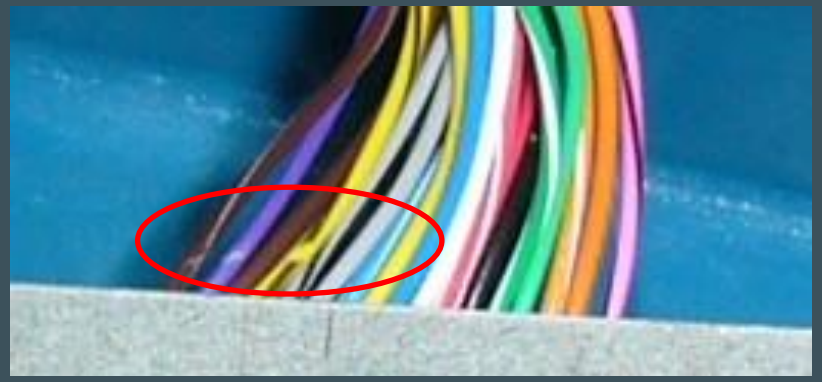
Chancen und Grenzen der HALT-Methode

Warum HALT funktioniert …

- Beschädigte Kabelisolation

✓ Beschleunigte Alterung!





… aber nicht immer

- Deformiertes Gehäuse

↯ Überlastung, keine beschleunigte Alterung!

SGS

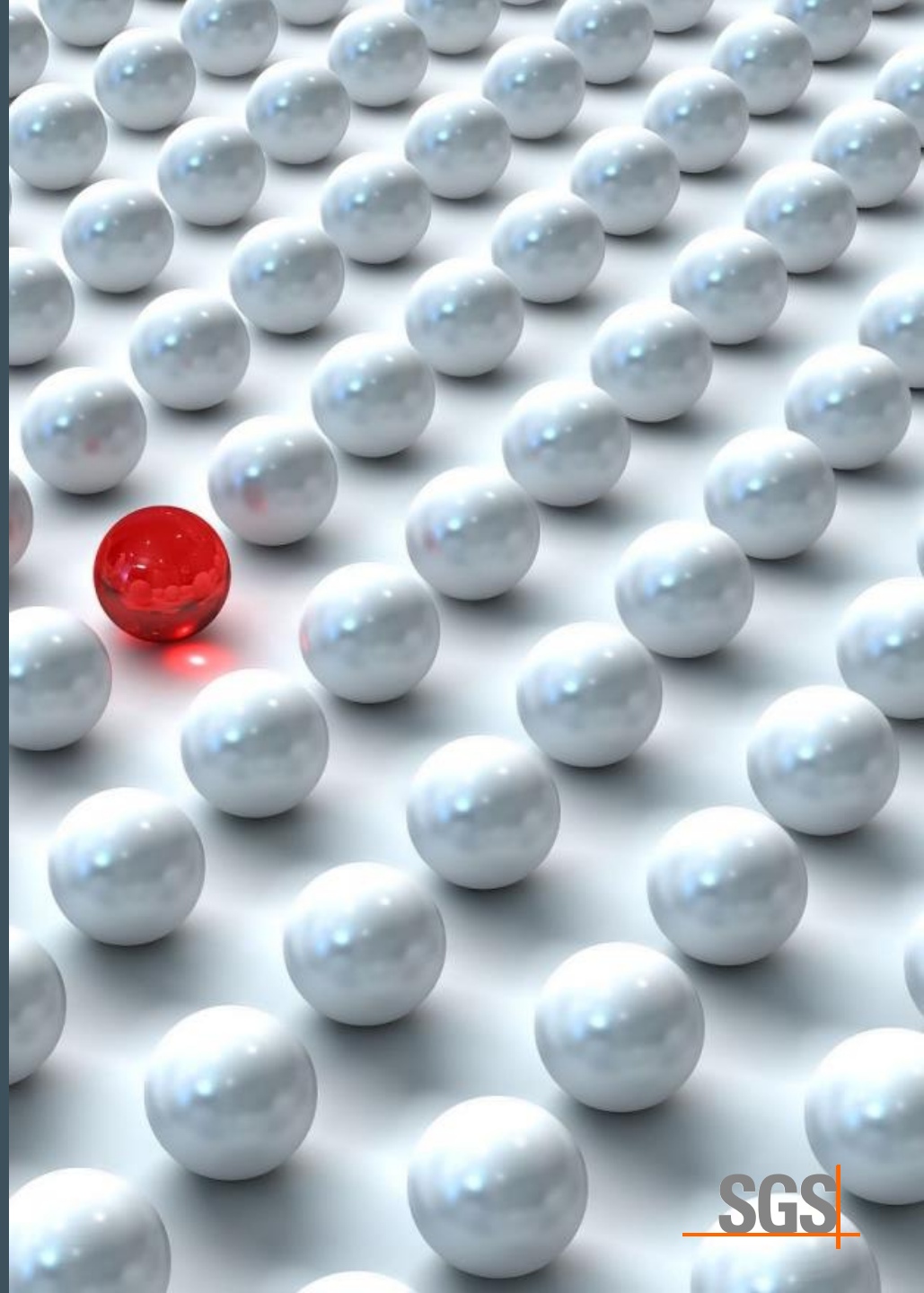
Chancen und Grenzen der HALT-Methode

Konventionelle Prüfung verglichen mit HALT

Konventionelle Prüfung	HALT
Überprüft, ob das Produkt die Spezifikationen erfüllt.	Belastung des Produkts über die Spezifikationen hinaus bis Schwachstellen auftreten. Bestimmung von Funktions- und Zerstörungsgrenzen
Test abgestimmt auf ein spezielles Produkt	Allgemeiner Test
Test erfolgreich, wenn Produkt keinen Ausfall aufweist.	Test erfolgreich, wenn Fehler entdeckt (und behoben) werden.
„Pass/Fail“ Test	Kein „Pass/Fail“ Test

- Unterschiedlicher Zweck, unterschiedliche Methode, unterschiedliche Prüfanlagen.
- HALT ersetzt nicht “klassische” Umwelt- und Zulassungstests.
- Die Ergebnisse sind schwer vergleichbar.

Exkurs: HASS in einer Folie



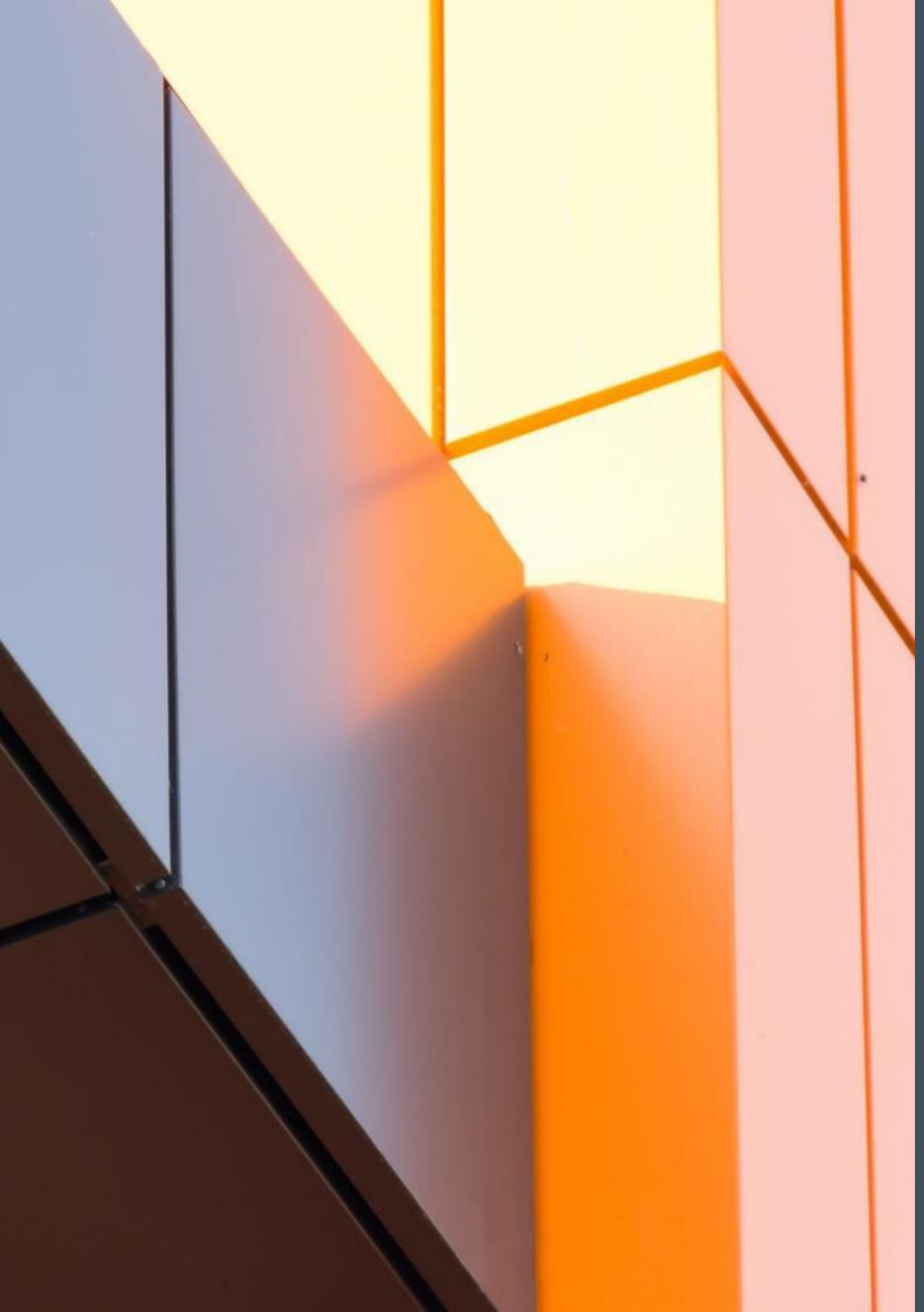
Exkurs: HASS in einer Folie

HASS = Highly Accelerated Stress Screen

- Methode zur Überwachung der Fertigung (Erkennen fehlerhafter Produkte)
- Durch …
  Stimulation und Finden von verborgenen Fehlern vor Auslieferung
- HASS steht in einer Reihe mit Burn In und ESS

➡ **Im Gegensatz zu HALT ist HASS ein “Pass/Fail” Test.**

- Vorgehen:
  Belastung ausreichend stark, um Fehler in schwachen Prüflingen zu entdecken … aber ohne die Lebensdauer der ausgelieferten Produkte zu sehr zu reduzieren.
- Auch hier:
  Hauptsächlich thermische- und Vibrationsbelastung
- HASS ist deutlich aufwändiger zu implementieren als HALT.



Haben Sie Fragen?

Ein bisschen Philosophie zum Abschluss

"The basic nature of the HALT process
is one of discovery that requires flexibility in
thought and method as it progresses. […]

Accept the ambiguity that is intrinsic
to an explorative development test."

aus GMW8287, 2017-09

Entdeckungen liegen in der Natur des HALT-Verfahrens.
In seinem Verlauf erfordert es Flexibilität
in Gedanken und Methode. […]

Akzeptieren Sie die Mehrdeutigkeit,
die einem erforschenden Entwicklungstest innewohnt.

Dr. Jochen Beier

Senior Test Engineer eMobility

jochen.beier@sgs.com

08171 / 34489-14

SGS