



Untersuchungen der Transporteinflüsse auf Solarmodule und Stand des Normentwurfs IEC 62759-1

G. Mathiak, F. Reil, W. Vaaßen, J. Althaus, K. Strohkendl, M. Slawik
(TÜV Rheinland Energie und Umwelt GmbH),
T. Schledorn, R. Adam, J. Marxer (DB Schenker),
W. Wahl (Hanwha Solar One), M. Köntges (ISFH Hameln)

Einleitung PV-Modul-Transport

Transport der Module

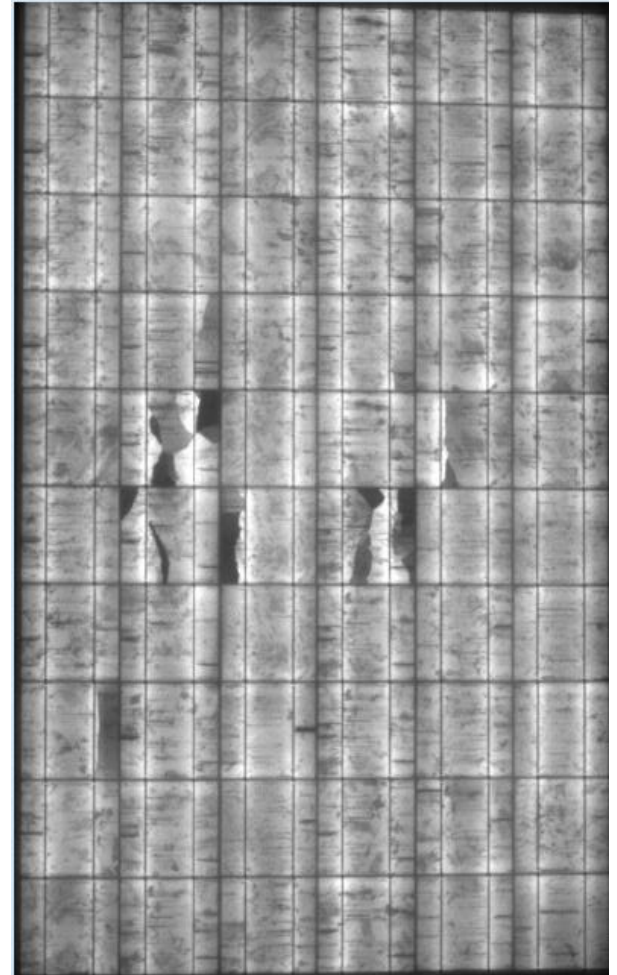
- Horizontal mit Kunststoffecken
- Vertikal mit Modulkartonage

Art und Anforderung

- Anlagenmodule
- Reklamationsmodule
- Referenzmodule

Risse und Mikrorisse

- Elektrolumineszenz
- Leistungsbestimmung



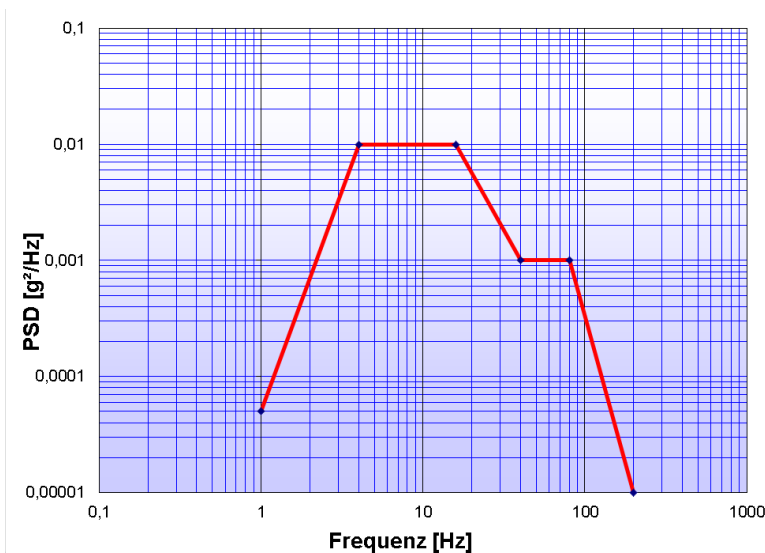
Vibration (rauschförmige Schwingungen) und Schock (Transportstöße auf Ladefläche)

LKW Transport-Vibrationen

- Größe LKW
- Straßenqualität
- LKW-Federung

LKW Normprofil ASTM D 4728 (Hüllkurve) Power Spectral Density (Leistungsdichte)

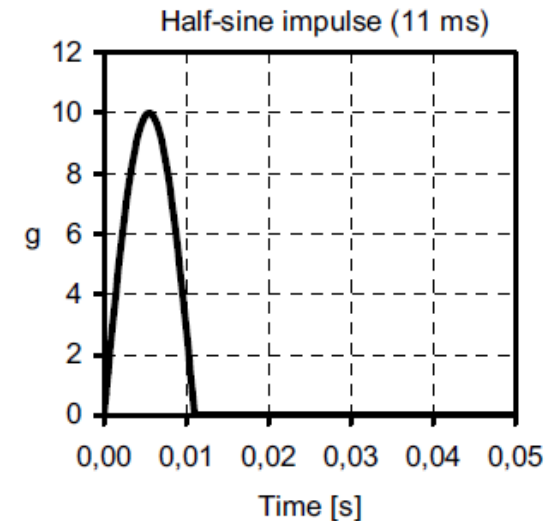
- für Vergleiche verwendet



Transport-Schocks

- Aufsetzen des Containers
- Umladen der Verpackungseinheiten
- Abheben der Transportkiste im LKW

Schocktest DIN EN 60068-2-27 Prüfgut in 11ms um ca. 5mm anheben



Transport von Produktionsstätte in China bis Labor Köln

Kooperation Hanwha Solar One, DB Schenker, TÜV Rheinland

Hanwha Solar One

- Anordnung der Paletten im Container Doppelstöckig
- 24 Module Landscape Kartonage



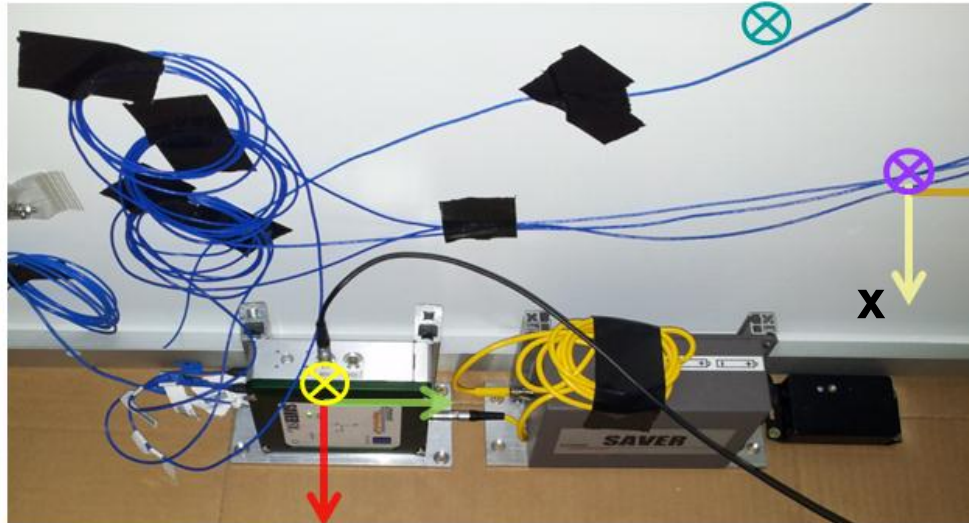
DB SCHENKER

- Transportlogistik
- Sensor direkt am Container
 - Beschleunigung / GPS



Sensoren in Transporteinheit integriert

Sensoren wurden auf der Backsheet-Folie des Moduls angebracht.
Datenrekorder am Boden der Kiste durch Pappe auf Palettenholz verschraubt.
2 fehlende Module durch Hartschaumstoff aufgefüllt.



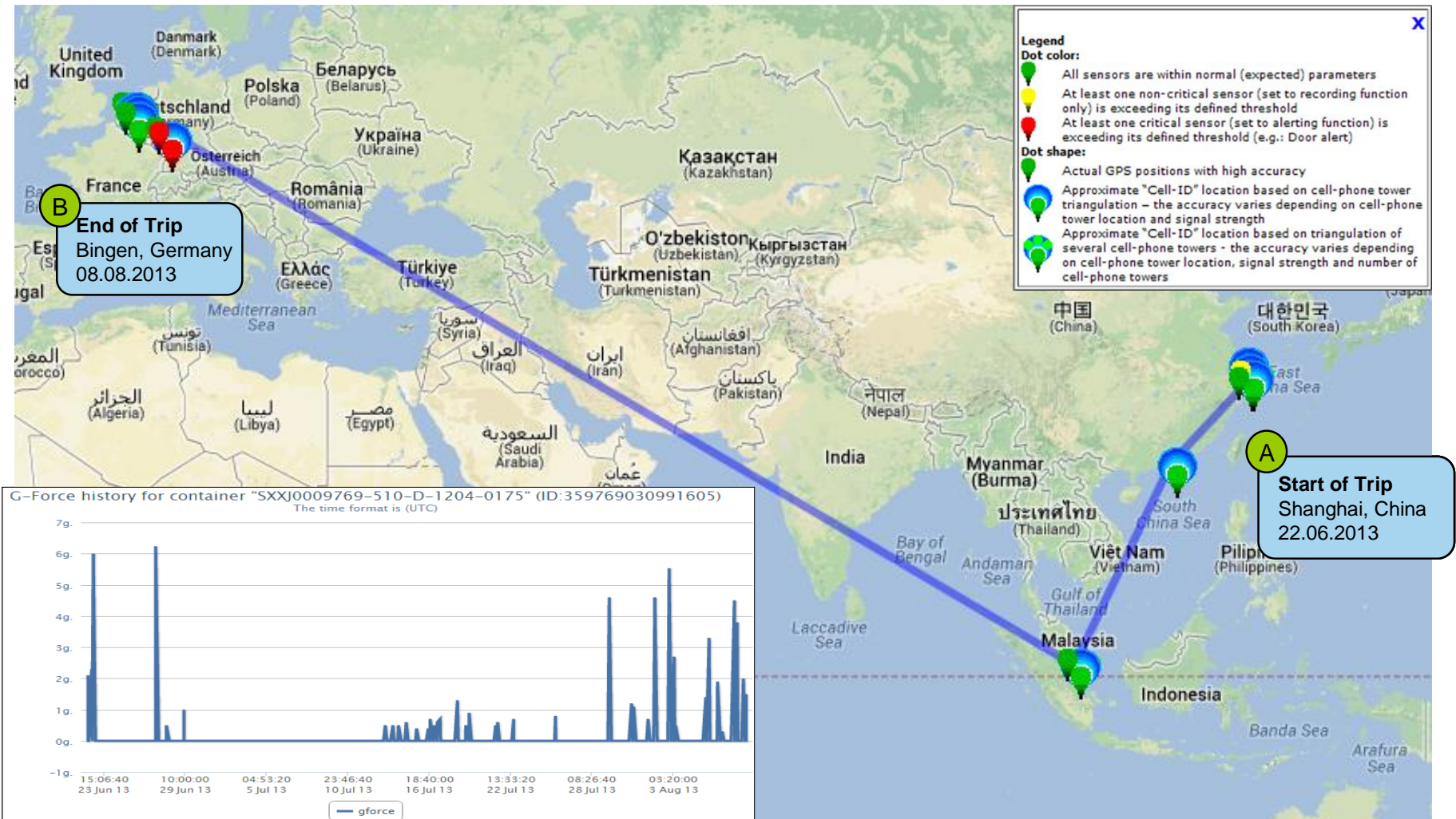
| |
|-----|
| CH1 |
| CH2 |
| CH3 |
| CH4 |
| CH5 |
| CH6 |
| CH7 |

Datenrekorder (Event-Aufzeichnungszeit: $t=1000\text{ms}$, 2500 samples/sec)

CH1,2,3: Rekorder x,y,z
CH4,5,6: 3D-Sensor x,y,z
CH7: 1D-Sensor z

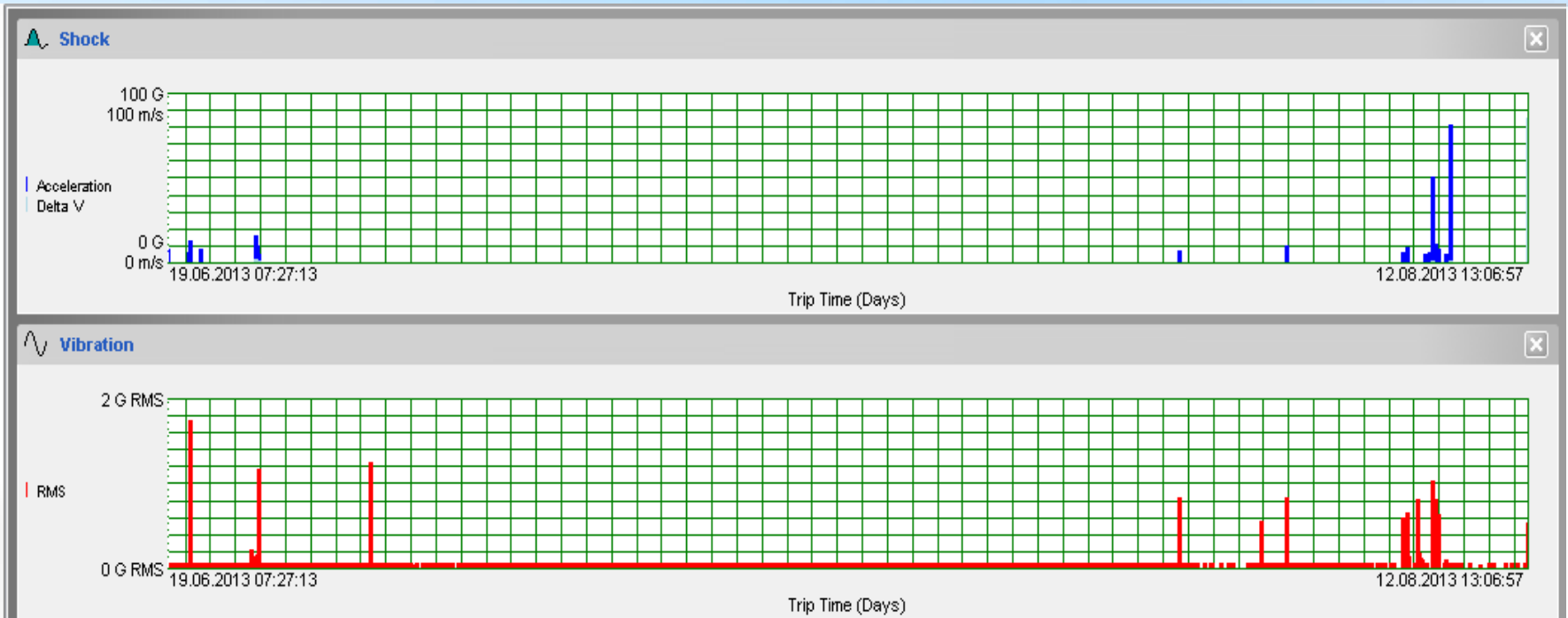
Container-Daten (GPS ist nicht im Schiff empfangbar)

DB SCHENKER smartbox premium (Kirschen CMD 510 S-Type)



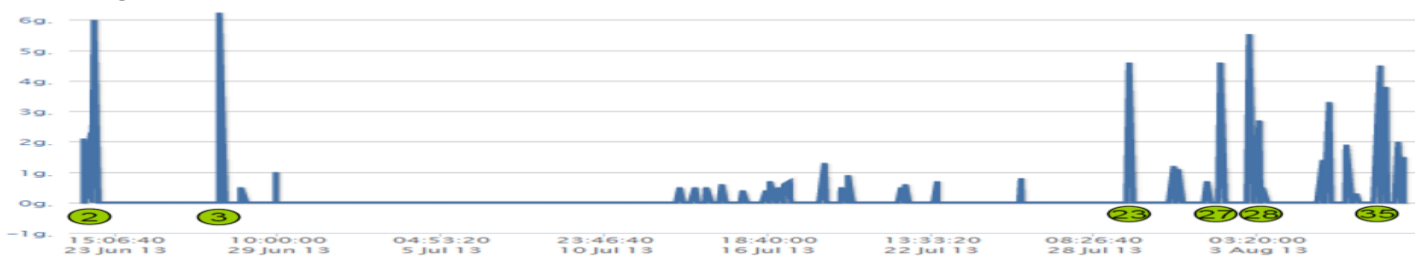
Aufzeichnungen Datenrekorder (Vergleich mit Containersensor)

Größte Beschleunigungen bei Umladen und LKW Transport



Handling

LKW



Beispiel: Zeitausgelöstes Signal auf LKW

Vibration

G = 0,7 g

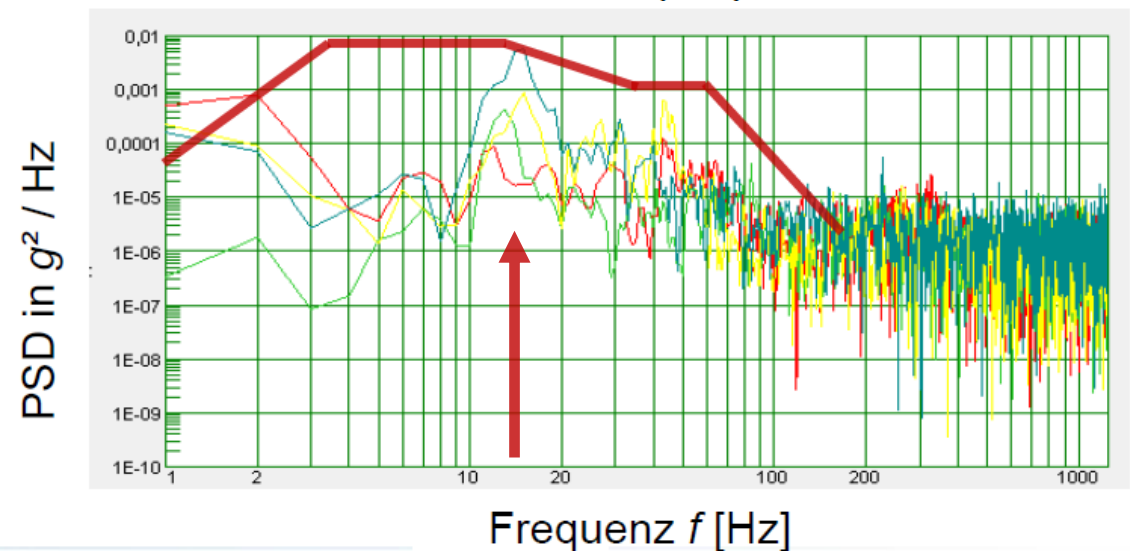
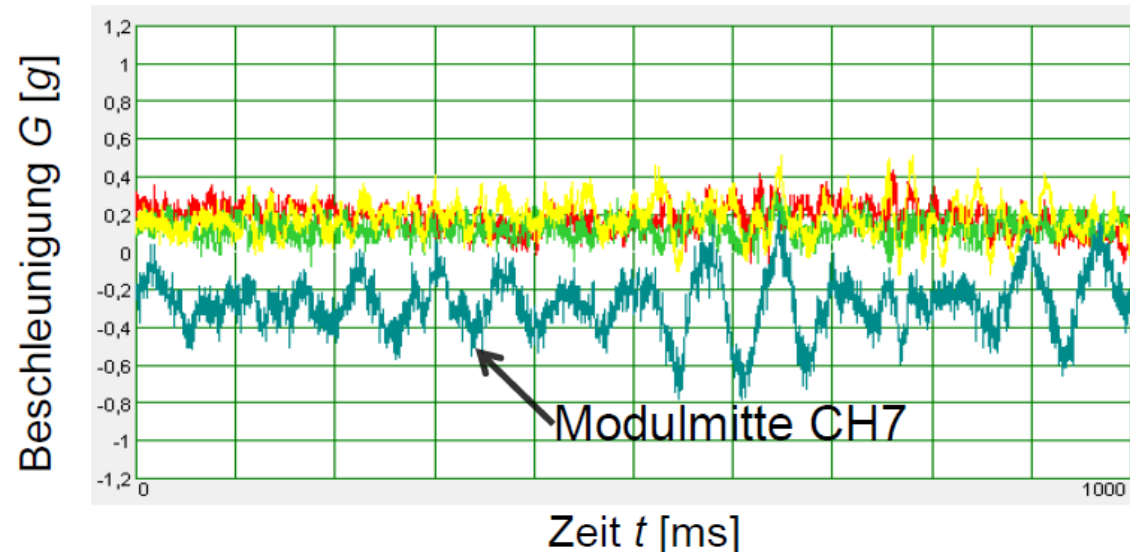
Dauer = 32 msec

Delta V = -0,11 m/s

Schock

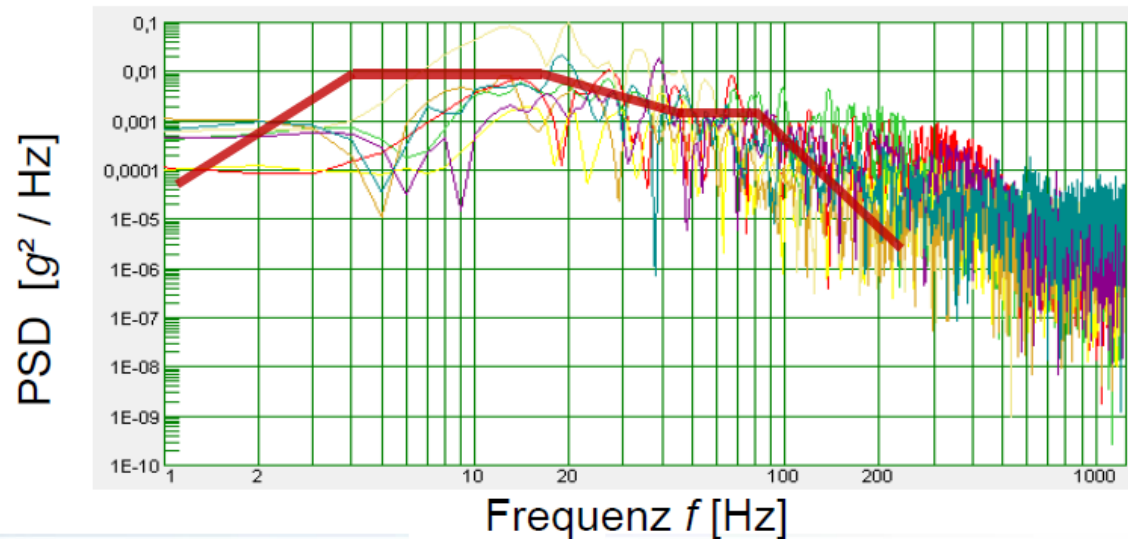
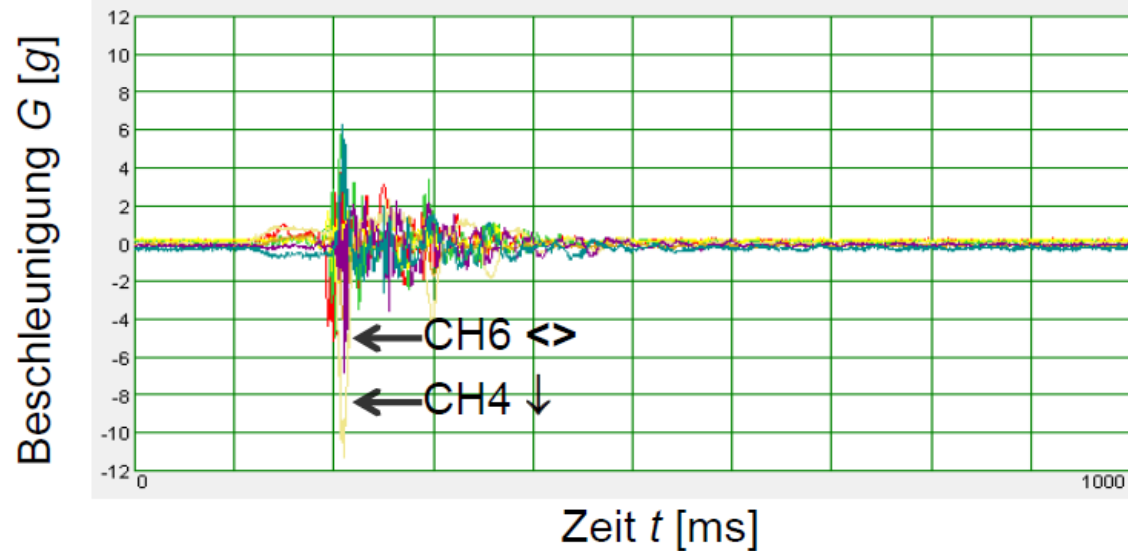
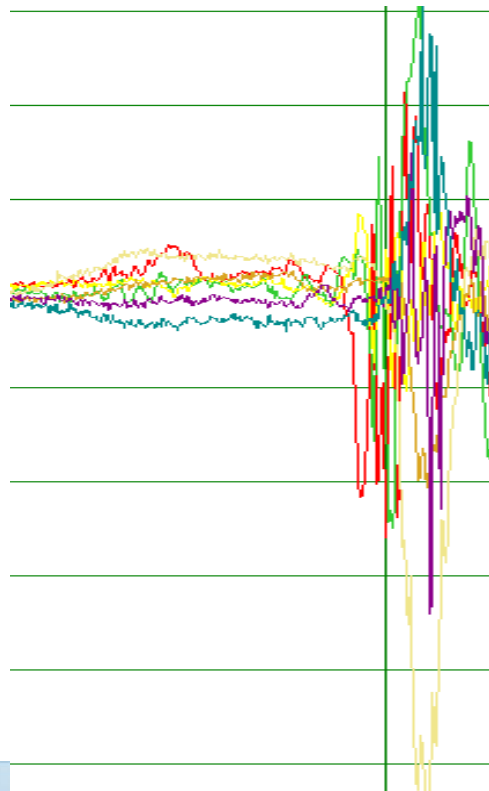
Grms = 0,133 g (CH7)

**Maximale Schwingung
bei ca. 12 Hertz
(Eigenfrequenz Modul)**



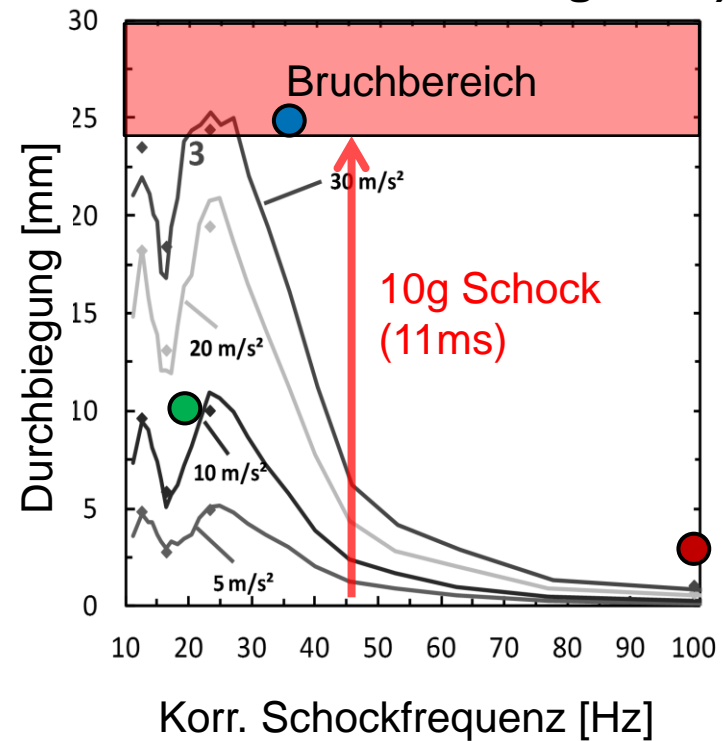
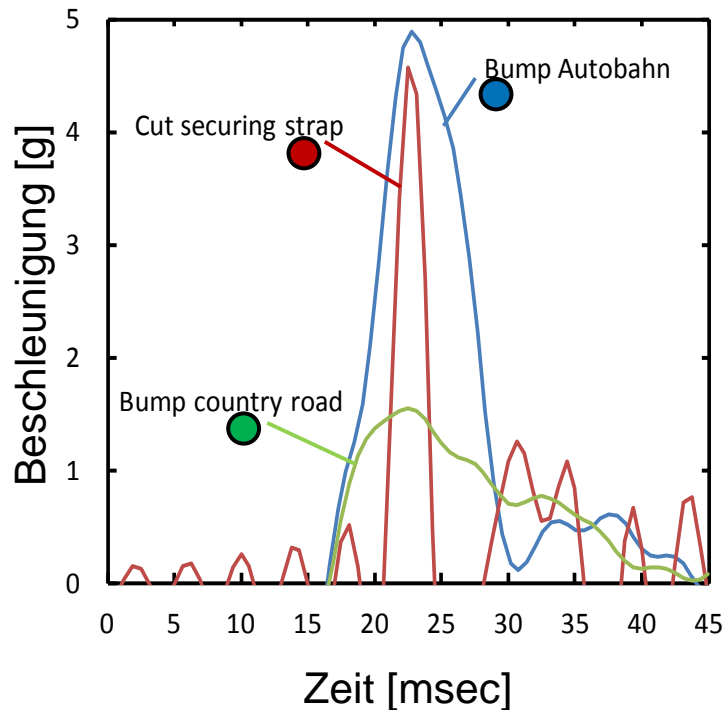
Beispiel Schock: Triggerauslösung beim Verladen

CH4 hohe Werte
erst +1g: freier Fall
(50ms=>12mm)
dann -11g: starkes
Abbremsen (15ms)



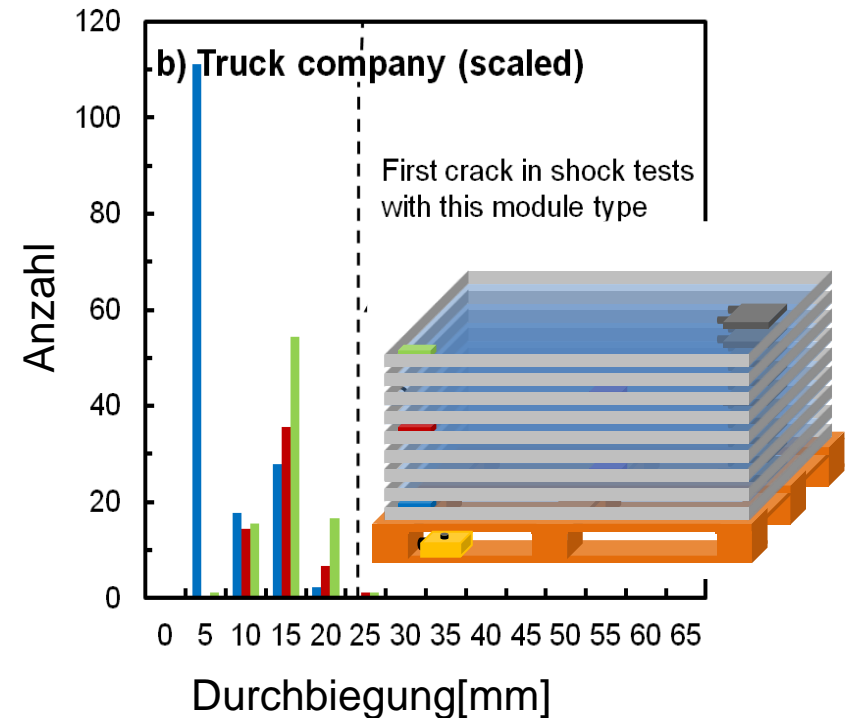
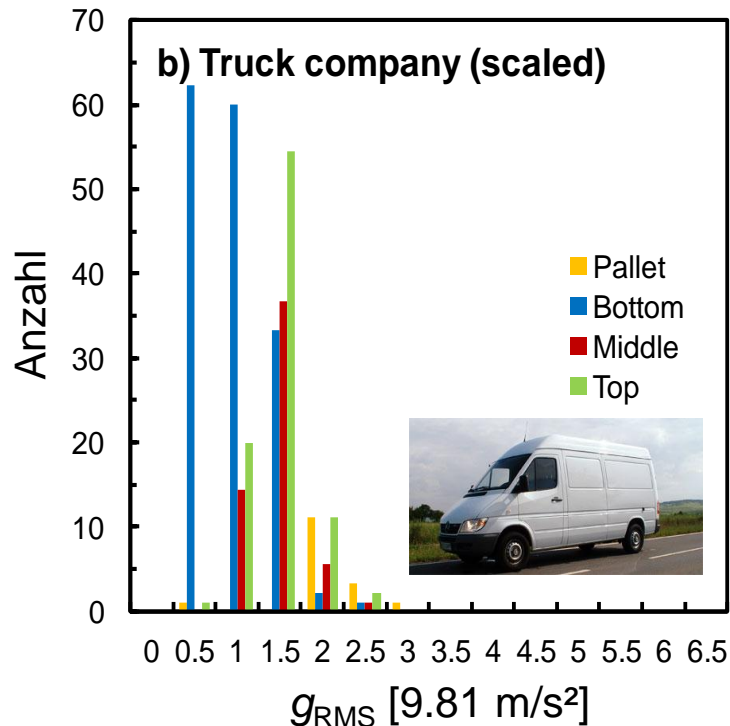
Transferfunktion Schock $a_M(f)$ in Durchbiegung $A_M(f)$ aus vielen Messungen
Kritische Bruchdehnung für jeden Modultyp individuell
(z.B.: Zelltyp, -dicke, Glas/Glas, Glas/Folie)

Gemessene Schocks bei Transport (Autobahn, Landstraße, Entgurten)



- **Erster Zellbruch bei 30 m/s² und ~25 Hz**

Schockenergie < Schocktransferfunktion > Durchbiegung (Glas-Folien-Modul)

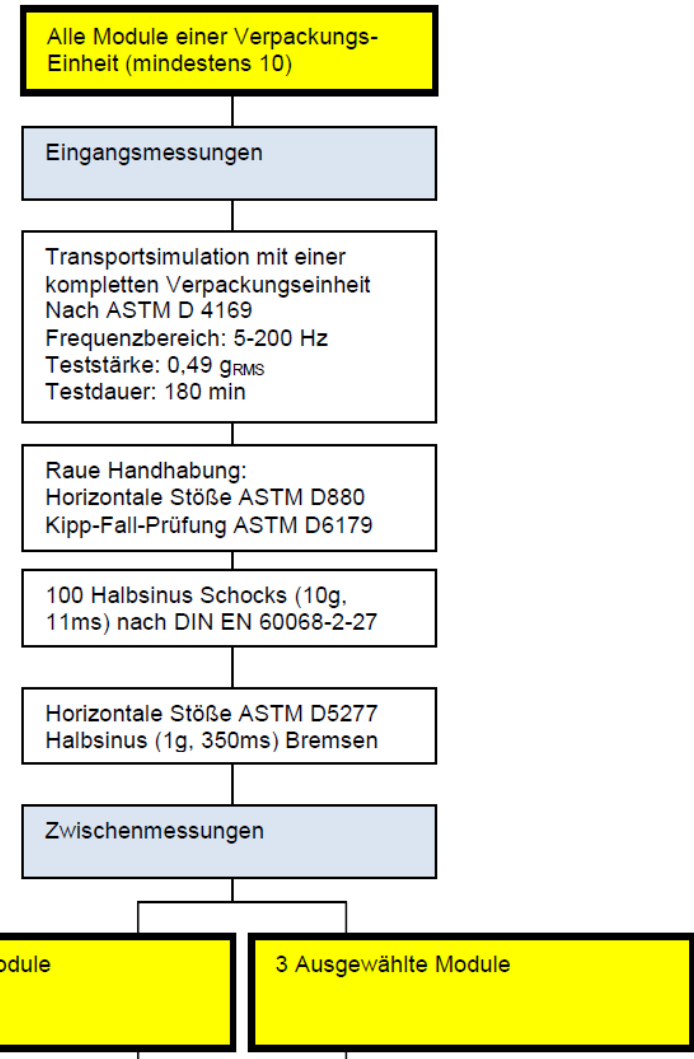


Niedrige Anzahl von Schocks erreichen Bruchschwelle (besonders Top-Modul)
Im Shakertest treten 3 Zellbrüche bei $a_s = 3 g$ bei $t_{max} = 20 ms$ auf

Transportnormentwurf IEC 62759-1

Transportsimulation mit nachgeschalteter Umwelalterung

- Eingangsmessungen (PV-Module)
- Alle Module in kompletten Verpackungseinheit
- 4 Verpackungs-Prüfungen
 1. Vibration 180min (LKW-Transp. 2400km)
 2. Raue Handhabung
 - Horizontale Stöße/Kipp-Fall-Prüfung
 3. Schock
 4. Horizontale Stöße (Bremsen)
- Zwischenmessungen (PV-Module)

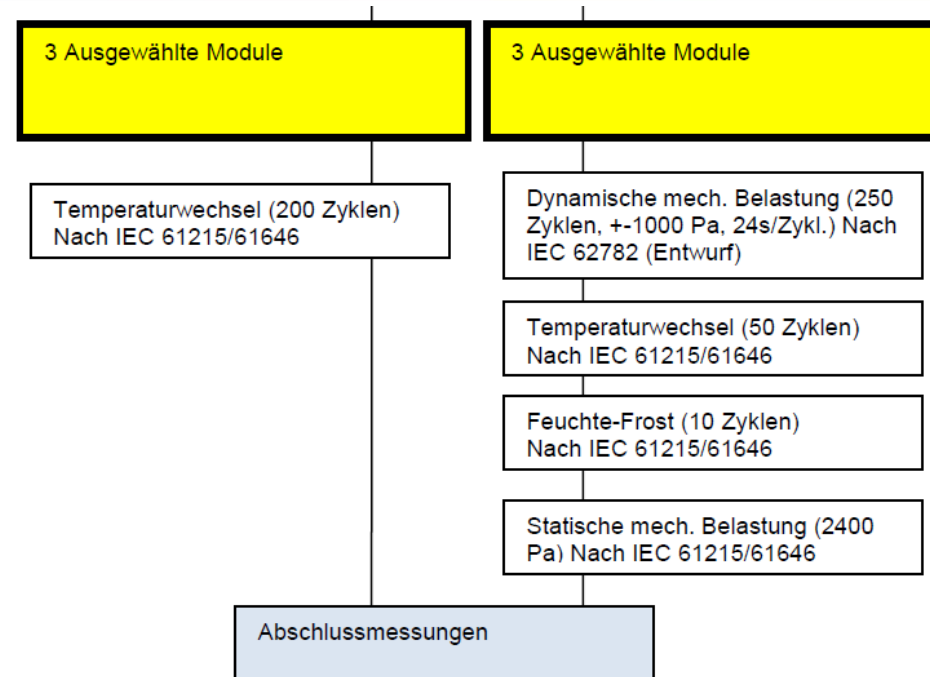


Transportnormentwurf IEC 62759-1

Stand des Normentwurfs

Nachgeschaltete Umwetalterung von PV-Modulen, um langfristige Auswirkungen möglicher Schäden zu prüfen

- **Eingangs-, Zwischen- und Abschlussmessungen**
 - Vis. Insp., Max. Leist., Isolation
 - Elektrolumineszenz, Infrarot
- **Auswahl nach Leistungsverlust**
- **Pass/Fail-Kriterium nicht enthalten**



IEC 62759: Transportation testing of PV modules

Part 1: Transportation and shipping of PV module stacks

- **Init. Date: 2011-10**
- **Current Stage: CCDV 2014-01**
- **Next Stage: ADIS 2014-07**
- **Fcst. Publ. Date: 2015-02**

**Presse-
mitteilung
27.2.2014**

Neues Logistiksystem für PV-Module

- Mehr Transparenz bei Handling und Transport
- Risikominimierung im weltweiten Transport

Umfassendes Kontrollsystem mit drei Phasen

1. **Prüfung:** Transportverpackung & Qualitätsprozesse in der Herstellung
 - Aufzeichnung der realen Transportstrecken (Verifizierung Normbelastung)
 - Nach IEC 62759-1
 - Transportsimulation in vorgesehener Transporteinheit
 - Umweltsimulation für einzelne Module im Labor
2. **Optimierung und Kontrolle:** Ausgangsmessung beim Verlassen des Werks
 - Qualifizierung der Leistungsmessung (Flasher) im Werk
 - Dokumentation der Mikrorisse (Elektrolumineszenz-Bilder)
3. **Transportmonitoring und technische Kontrolle** (Stichprobenmessung)
 - Transportmonitoring der Container (Schock, Vibration, GPS)
 - Schadensanalyse bei kritischer Belastung
 - Repräsentative Stichprobenmessung im europäischen Eingangslager

Zusammenfassung

Data-Logger (China=>Köln)

- Alle Sensoren haben komplette Zeit aufgezeichnet
- Höchste Beschleunigungen beim Umladen und LKW-Transport

Transportnorm für PV-Module

- IEC 62759-1 (Entwurf = CDV)
 - Vibration Test (Transport)
 - Horizontalstoßprüfung / Kippfallprüfung
 - Schock
 - Handhabungstest / Bremsvorgänge

=> PV Chain (Logistik-System)

Weitere Datenaufnahme

- Transport zur / auf Baustelle

Horizontaler oder vertikaler Modul-Transport?



**Vielen Dank für Ihre
Aufmerksamkeit**



EUROPÄISCHE UNION
Investition in unsere Zukunft
Europäischer Fonds
für regionale Entwicklung

**Ministerium für Wirtschaft,
Mittelstand und Energie
des Landes Nordrhein-Westfalen**



Die vorliegende Arbeit wurde gefördert durch die Europäische Union - Europäischer Fond für regionale Entwicklung "Investition in unsere Zukunft" und das Land Nordrhein-Westfalen

Horizontaler oder vertikaler Modul-Transport?

(c-Si mit Rahmen, Plastikecken gegen Pappkarton)

Prinzipiell ist beides bei sachgerechter Verwendung gut möglich

| Horizontal | Vertikal |
|--|--|
| + Plastikecken sind wieder verwendbar | + Typischer Glasscheibentransport |
| - Aufschaukeln ist bei Resonanzfrequenz möglich | - Pappen sind Feuchte-empfindlich und müssen entsorgt werden |
| ++ Module leicht zu entnehmen | + Doppel-Stack (Stapel) |
| - Plastikecken können bei tiefen Temperaturen verspröden | - Horizontale Schocks führen zu Schäden |
| - Möglicher Ziehharmonika-Effekte, obere Module höher belastet | - Vertikale Anregung kann auch Modulschwingung anregen |
| - Vertikaler Schock kann Durchbiegungsschwelle für Zellbruch übertreffen | - Bei weniger als halber Befüllung können Module umstürzen |
| = Glas-Glas Module auf Biegung weniger empfindlich | + Kompakte und mechanisch stabile Einheit, falls keine Zwischenräume |