



**GIBT ES EINE BATTERIETECHNOLOGIE, DIE  
EINDEUTIG SICHERER IST ALS EINE ANDERE?  
WORAUF KOMMT ES WIRKLICH AN?**

 **SOLARWATT**<sup>®</sup>  
power to the people

PV-MAGAZINE - WEBINAR, 20.02.2018

THOMAS TIMKE



## **Aufgaben bei Solarwatt**

- Entwicklungsbegleitung
- Produktprüfungen für alle SW-aktiven Länder
- Gremienarbeit

## **Batterie-Background**

- 2007 – 2010 Li-Tec Battery GmbH
- 2011 – 2013 SK Innovation
- 2013 – 2016 Karlsruher Institut für Technologie (PCE)
- Seit 08/2016 Solarwatt

## **Gremienarbeit, Mitglied u.a. in:**

- DKE K 371 (Akkumulatoren)
- FNN EN Speicher
- IEC TC 21 (Secondary cells and batteries)
- IEC SC 21A (Secondary cells and batteries containing alkaline or other non-acid electrolyte)
- BVES-Fachgruppen



***“Eine Li-Ionenbatterie ist erst sicher genug,  
wenn man trotz Kenntnis aller möglichen  
Effekte daneben schlafen würde.“***



Homeoffice / Werkstatt mit Platz für Telkos bei Zeitverschiebung und Siesta :-)

## Sicherheit

**Nicht verhandelbar**

Kompletter Input für  
DIN, IEC , VDE AR,  
Förderrichtlinien und  
Standards im Ausland

**...aber kein  
Wettbewerb über  
„woanders kann's gern  
brennen“**

## Lifetime & Performance

**= Aktuelle Baustelle**

Input für Mess-  
und Prüfmethodik

**...aber kein F&E-Know  
How**

Zellauswahl, Betriebsweise  
Life-Time usw. sind ein  
wertvoller Vorsprung

## (Produkt-) Sicherheit <sup>1</sup>

- **Sicherheit** = Freiheit von unvertretbarem **Risiko**
- **Risiko** = Kombination aus Eintrittswahrscheinlichkeit und Auswirkung eines Schadens

## Zelle und Batterie <sup>2</sup>

- **Zelle** = einzelne Li-Ionenzelle
- **Batterie** = stationäres Gerät mit verschalteten Li-Ionenzellen, Battery-Management-System (BMS) und Sicherheitselementen
- **Energiespeichersystem**: Batterie(n) mit Umrichter und/oder Wechselrichter

---

<sup>1</sup>DIN EN 61508-4, Funktionale Sicherheit sicherheitsbezogener elektrischer/elektronischer/programmierbarer elektronischer Systeme - Teil 4: Begriffe und Abkürzungen, Kap. 3.1.6 und 3.1.11  
Detaillierte Definition siehe Produktsicherheitsgesetz (ProdSG)

<sup>2</sup> ähnlich VDE-AR-E 2510-50, Stationäre Energiespeichersysteme mit Lithium-Batterien - Sicherheitsanforderungen

# KANN MAN BATTERIESICHERHEIT VON EINZELNEN DETAILS ABHÄNGIG MACHEN?

## z.B. von

- Kathodenmaterial (z.B. NMC oder LFP)
- Einzelnen Sicherheitstests (z.B. Nail-Penetration, Crush,...)
- Anodenmaterial (z.B. Titanat oder Kohlenstoff-basierend)
- Separator (z.B. keramisch beschichtet oder „nur“ Polyolefin)
- Zellgröße, Elektrolytart, Gehäuseart,...

**Außer bei minderwertigen Zellen ist das weder machbar noch notwendig!**

- 
- Sicherheitsleitfaden für Li-Ionen-Hausspeicher V1.0  
<https://www.pv-magazine.de/2015/03/06/kit-test-manche-batteriezellen-halten-fnfmal-lnger-als-andere/>
  - [http://ibesalliance.org/fileadmin/content/download/pdf/Batteriesicherheit\\_IBESA.pdf](http://ibesalliance.org/fileadmin/content/download/pdf/Batteriesicherheit_IBESA.pdf)
  - <https://www.sbz-online.de/SBZ-2016-6/Welche-Batterie-ist-ihr-Geld-wert,QUIEPTcwNDUwMCZNSUQ9MTAxOTAy.html>
  - [https://www.photovoltaikeu/Gentner.dll/0039-0041-PV-1410\\_NjA5NDg0.PDF?UID=36685977D25345BAFE80E654E05B22913C56A8997FF641](https://www.photovoltaikeu/Gentner.dll/0039-0041-PV-1410_NjA5NDg0.PDF?UID=36685977D25345BAFE80E654E05B22913C56A8997FF641)
  - <http://www.handelsblatt.com/unternehmen/energie/batteriespeicher-unzuverlaessig-und-brandgefaehrlich/13812978.html>

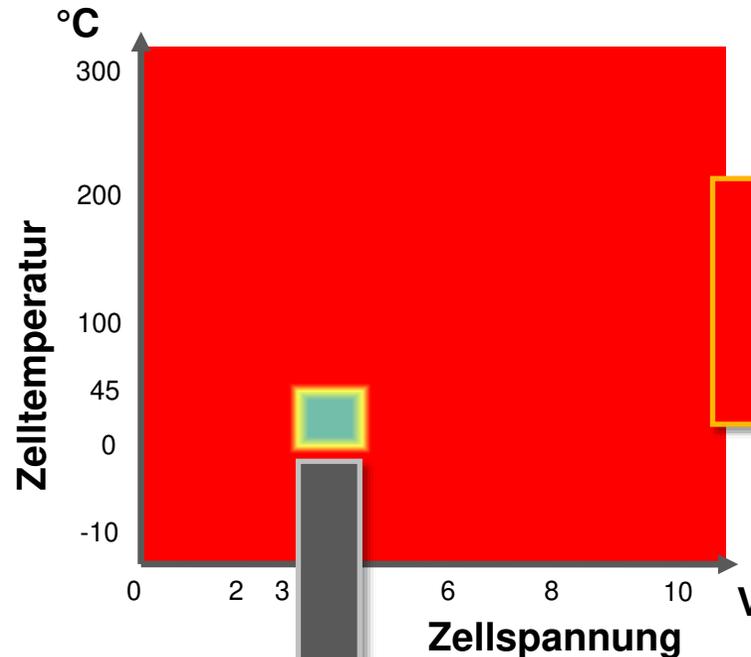
# KURZÜBERSICHT AR UND SICHERHEITSLITFADEN

VDE-AR-E2510-50:2017 & Sicherheitsleitfaden für Li-Ionen-Hausspeicher V1.0						
Deutschland	Produktsicherheit (u.a. ProdG)			Transport, Gefahrgut	Entsorgung/ Recycling.	
	Geschlossene Normenlücken	Batterie-Sicherheit	EU-Konformität (CE)		u.a. GGVSEB	u.a. Batteriegesetz
		(DIN) EN 62619* DIN EN 50272-1	EMV-Richtlinie	Niederspannungs-Richtlinie		
EU		(DIN) EN 61000-6-x*	(DIN) EN 61010-1*	ADR + UN38.3	Batterie-Direktive	
Global		IEC 62619*	IEC 61000*	IEC 61010-1*	UN Model-Regulation + UN38.3	Nationale Vorschriften

\*mögliche Normen f. diesen Bereich

Geschlossene  
Normen-  
lücken

### Beispiel: Betriebsfenster (hier NMC/Grafit)



1. Batterie-Design
2. Umgebung

Keine Zelle darf ihr Betriebsfenster verlassen.

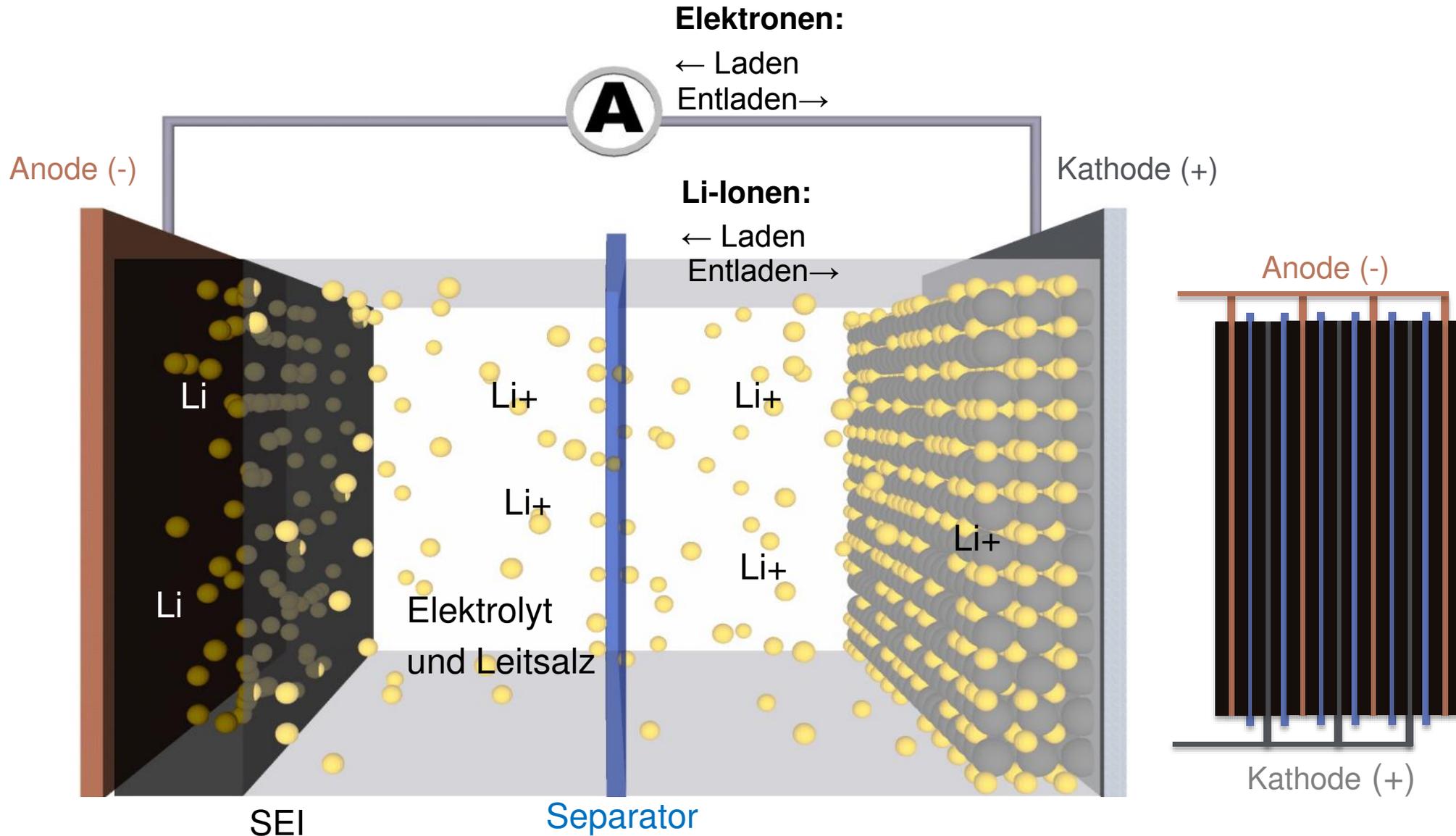
Worst Case:  
Bei Fehlern (z.B. Überladung) reagieren alle Zellen einer Batterie nahezu gleichzeitig.

### 3. Zell-interne Fehler:

Risiko innerhalb der Betriebsfenster abhängig von Zellart und -qualität.

Worst Case: Ein Zell-interner Fehler (z. B. Kurzschluss durch Dendriten) breitet sich über Wärme, Gasaustritt und ggf. Flammen aus.

# SCHEMATISCHER AUFBAU EINER LITHIUM-IONEN-ZELLE



## Auszug Abschnitt Zellsicherheit

***Eine Zelle darf während Analysen und praxisbezogener Abuse-Tests einzeln sowie in der Batterie verbaut***

***keine chemische und/oder thermische Reaktion zeigen oder erwarten lassen, die eine oder mehrere ihrer Komponenten soweit schädigt, dass ein Zell-externer Fehler über die Lebensdauer auftritt oder zu erwarten ist.***

Zell-externe Fehler sind u.a.:

- Elektrolyt: kein Venting durch Gasdruck
- Zell-Packaging / Ableiter-Siegelung: kein Öffnen
- Separator: kein Schrumpfen oder anderes Versagen
- Elektrodenmaterial: keine Zersetzung, keine exotherme Reaktion, keine Verdickungen.



---

***NÄCHSTER PUNKT:***  
***Risikobewertung f. Zellen***

---

# RISIKO-BEWERTUNG LI-IONENZELLEN

Tabelle A.3 – Zelleigenschaften für Risikobewertung<sup>1</sup>

Eigenschaft / Feature	Wahrscheinlichkeit und/oder Auswirkung reduzierend	Wahrscheinlichkeit und/oder Auswirkung steigernd
Zellfertigung	vollautomatisiert, präzise	(teil-)manuell
Gravimetrische Energiedichte	gering (z. B. <130 Wh/kg)	hoch (z. B. >190 Wh/kg)
Kapazität Einzelzelle	gering (z. B. <50 Ah)	hoch (z. B. >100 Ah)
CID und/oder PTC bei parallel geschalteten Zellen <sup>2</sup>	vorhanden	nicht vorhanden
Keramischer Layer zwischen Anode u. Kathode	vorhanden	nicht vorhanden
Thermische Leitfähigkeit Zellgehäuse/Verpackung	hoch	gering
Siegelung, Material von Zellgehäuse/Verpackung	hochwertig, geeignet wenig/kein Feuchtigkeitseintrag	ungeeignet/mangelhaft, Nebenreaktionen durch Feuchtigkeitseintrag
Zyklusstabilität ( Berücksichtigung von Material und Zellart)	hoch	gering

<sup>1</sup> VDE-AR-E 2510-50, Stationäre Energiespeichersysteme mit Lithium-Batterien – Sicherheitsanforderungen, Anhang A.5

<sup>2</sup> Kurz-Checkliste für Li-Ionen-Heimspeicher Punkt 5

## LFP-MYTHEN IM DETAIL I

### „Eigensicher“ und „Unbrennbar“

...echt nicht bei brennbaren Bestandteilen und genug Energie zum Aufheizen und Zünden<sup>1</sup>

### „Überladesicher“

Fakt: Schwerer zu überladen (starker Anstieg Innenwiderstand) als NMC, NCA, LCO <sup>2</sup>

Für Batteriesicherheit: Irrelevant bei sicheren Batterien durch BMS

### „Kein Thermal Runaway möglich <sup>3</sup>“

Fakt: Höhere Onset-Temperatur, starke Bindung des Sauerstoffs (LiFePO<sub>4</sub>)

Für Batteriesicherheit: Relevant bei thermisch schwachen Separatoren, irrelevant bei guter Verarbeitung, entsprechenden Additiven, keramischen Separatoren.

<sup>1</sup> Siehe u.a. Material Safety Data Sheet (MSDS) der Zellen

<sup>2</sup> Sicherheitsleitfaden für Li-Ionen-Hausspeicher V1.0, Abs. 2.1 - Details zur Identifikation von Lithium-Ionen-Systemen

<sup>3</sup> Unkontrollierte exotherme Reaktion, siehe auf IEC 62619, 3.21 thermisches Durchgehen

## LFP-MYTHEN IM DETAIL II

**„LFP kann nicht brennen, kann besser gelöscht werden, weil kein Sauerstoff enthalten“ ...( $\text{LiFePO}_4$ )**

Fakt: Sauerstoff ist in LFP stärker gebunden als bei Metalloxyden

Für Batteriesicherheit:

- a) Bei internen Fehlern: Nur relevant bei Erreichen der Onset-Temperatur des verarbeiteten Kathodenmaterials in der Zelle
- b) Bei externer Gefährdung: Unterschiede der Onset-Temperatur weniger relevant, mehr Brandlast und Gasbildung durch geringere Energiedichte

<sup>1</sup> Siehe u.a. Material Safety Data Sheet (MSDS) der Zellen

<sup>2</sup> Kovalent statt elektrostatisch

## LFP-MYTHEN IM DETAIL III

### „Zellen mit geringerer Energiedichte sind sicherer“

#### Kapazität und Energieinhalt

- **Kapazität**<sup>1</sup> = 1 Coulomb = 1 A x s. In der Praxis: **Ah**
- **Energie**<sup>2</sup> = 1 W x s. In der Praxis: **Wh**

#### Auf Datenblättern

- **Kapazität: Ah**, nur interessant, wenn die Spannung bekannt ist
- **Energieinhalt (Wh)** = Kapazität (Ah) x Nominalspannung (V)
- **Energiedichte: Wh/kg oder Wh/l**

Fakt: Die unterschiedliche Energiedichte von Li-Ionenzellen basiert (noch) zum großen Teil aus den unterschiedlichen Spannungen (Elektrodenpotentiale<sup>3</sup>).

Für Batteriesicherheit:

- a) Es kommt auf die Onset-Temperatur der Elektroden und die Alterung an
- b) Bei externem Brand: geringere Energiedichte = mehr Brandlast, mehr Gas

<sup>1</sup> IEC 60050 , IEV ref. 482-03-14 capacity

<sup>2</sup> IEC 60050 , IEV ref. 482-03-21 battery energy

<sup>3</sup> Lithium-Ionen Batterien: Stand der Technik und Anwendungspotenzial in Hybrid-, Plug-In Hybrid- und Elektrofahrzeugen, Forschungszentrum Karlsruhe in der Helmholtz-Gemeinschaft, Wissenschaftliche Berichte FZKA 7503

## **WAS DABEI NICHT ERWÄHNT WIRD...**

**Keine verbindliche Bestätigung der Zellhersteller für übertriebene Behauptungen (eigensicher, überladesicher, unbrennbar,...)**

**Die Argumente sind nicht deckungsgleich mit**

- Stand von Technik und Wissenschaft
- Studien zu Zellsicherheit und Brandverhalten
- verlässlichen Nachweisverfahren zur Produktsicherheit
- Vollumfänglicher Betrachtung von Systemsicherheit

**In keinem Standard (DIN EN, ISO, UL, ...) werden die Zellunterschiede (Elektrodenmaterial, Separator usw.) berücksichtigt**



---

**NÄCHSTER PUNKT:**  
*Nageltest*

---

# NAGELTEST

In keiner für stationäre Batterien relevanten neueren Norm hängt vom Ergebnis des Nageltests die Batteriesicherheit ab.

Viele Prüflabore führen den Test zwar auf Kundenwunsch durch, hinterfragen aber auch, was sich der Kunde eigentlich davon verspricht.

Nachteile u. a.:

- Abhängigkeit von zu vielen Parametern und volatile Ergebnisse
- Verletzung der Zellsiegelung mit div. Effekten

**Folgende Bildsequenz: Auszug aus standardisiertem Nageltest<sup>1</sup>**

(Video wird mit Webinar-Aufzeichnung bereitgestellt)

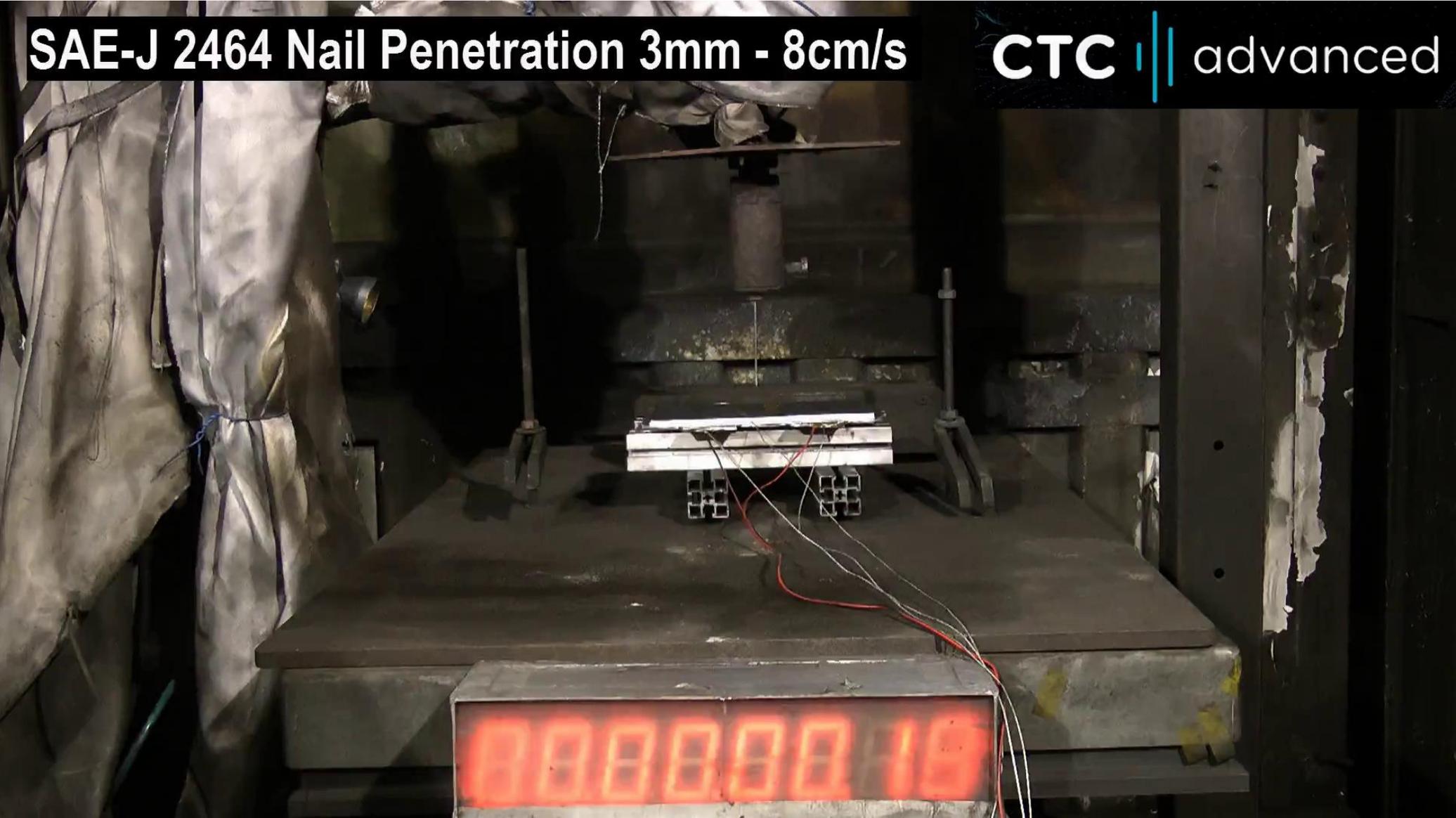


# NAGELTEST VERLAUF

SK 53 Ah (Pouch, NMC/Grafit)

SAE-J 2464 Nail Penetration 3mm - 8cm/s

CTC ||| advanced



# NAGELTEST VERLAUF

SK 53 Ah (Pouch, NMC/Grafit)

SAE-J 2464 Nail Penetration 3mm - 8cm/s

CTC ||| advanced

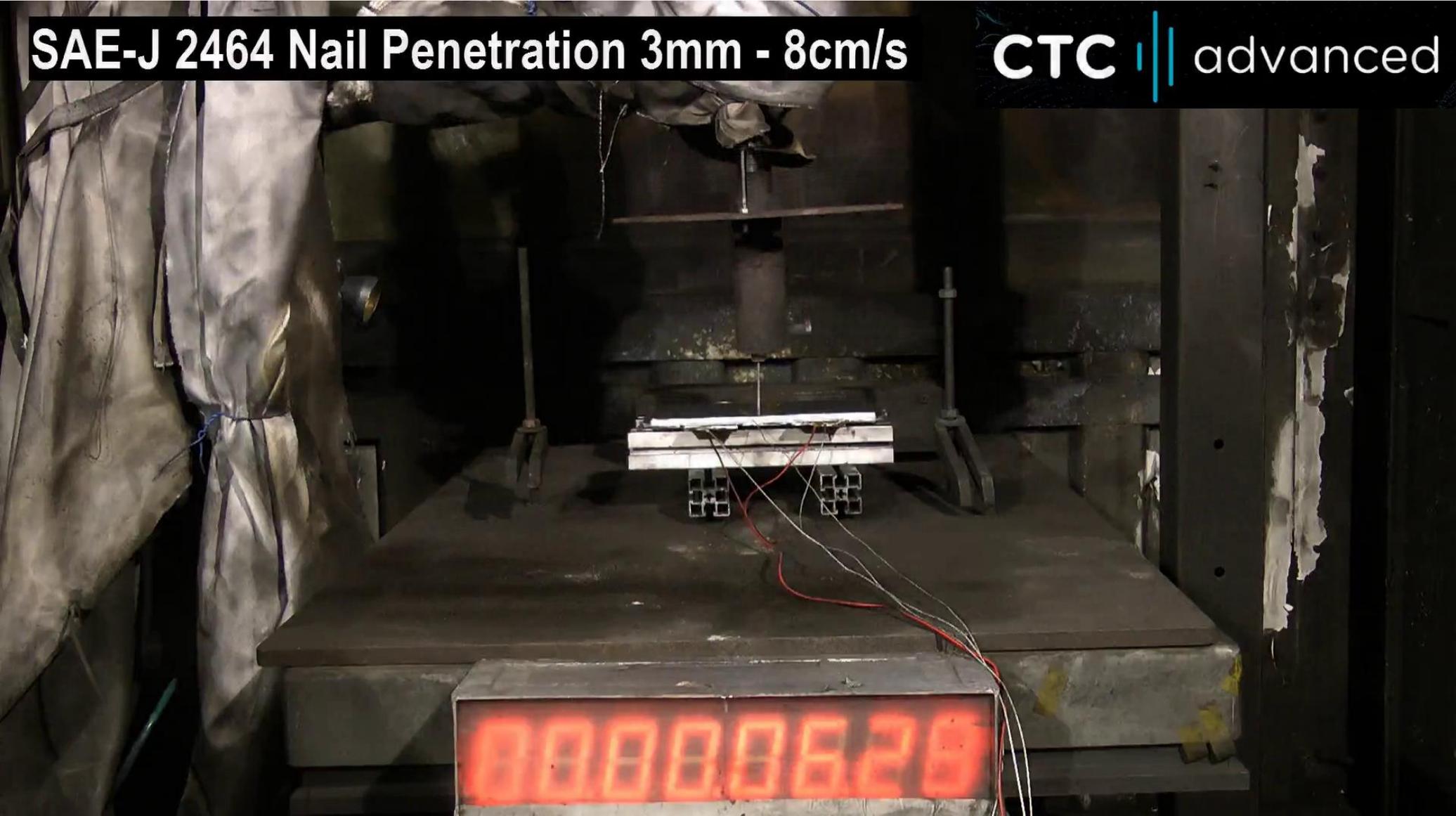


# NAGELTEST VERLAUF

SK 53 Ah (Pouch, NMC/Grafit)

SAE-J 2464 Nail Penetration 3mm - 8cm/s

CTC ||| advanced

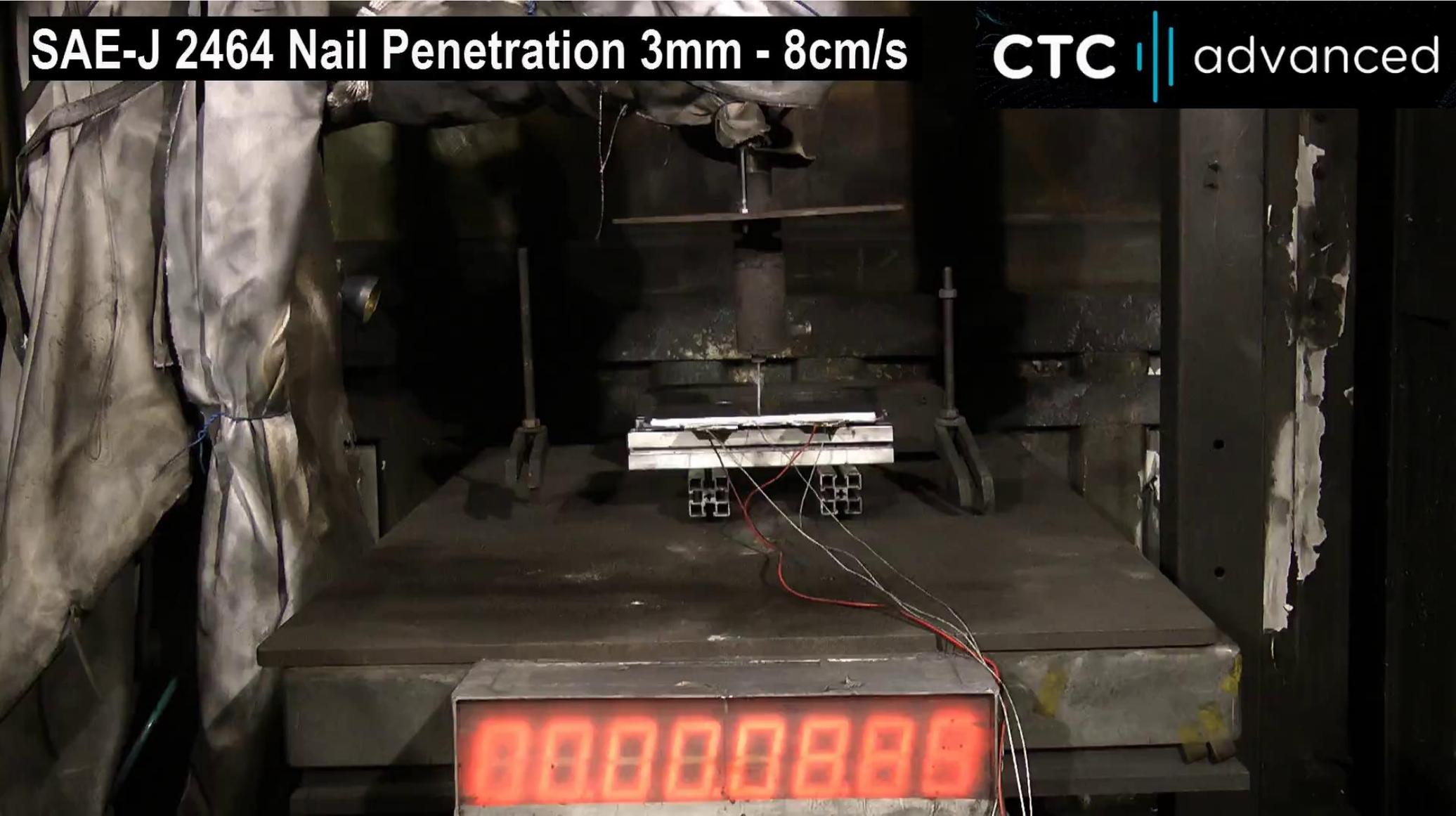


# NAGELTEST VERLAUF

SK 53 Ah (Pouch, NMC/Grafit)

SAE-J 2464 Nail Penetration 3mm - 8cm/s

CTC ||| advanced



# NAGELTEST VERLAUF

SK 53 Ah (Pouch, NMC/Grafit)

SAE-J 2464 Penetration, clause 4.3.3  
(100% SoC, Nail diameter: 3 mm Speed: 8 cm/s, Result: Hazard Level 3)



# NAGELTEST VERLAUF

SK 53 Ah (Pouch, NMC/Grafit)

SAE-J 2464 Nail Penetration 3mm - 8cm/s

CTC ||| advanced



# NAGELTEST VERLAUF

SK 53 Ah (Pouch, NMC/Grafit)

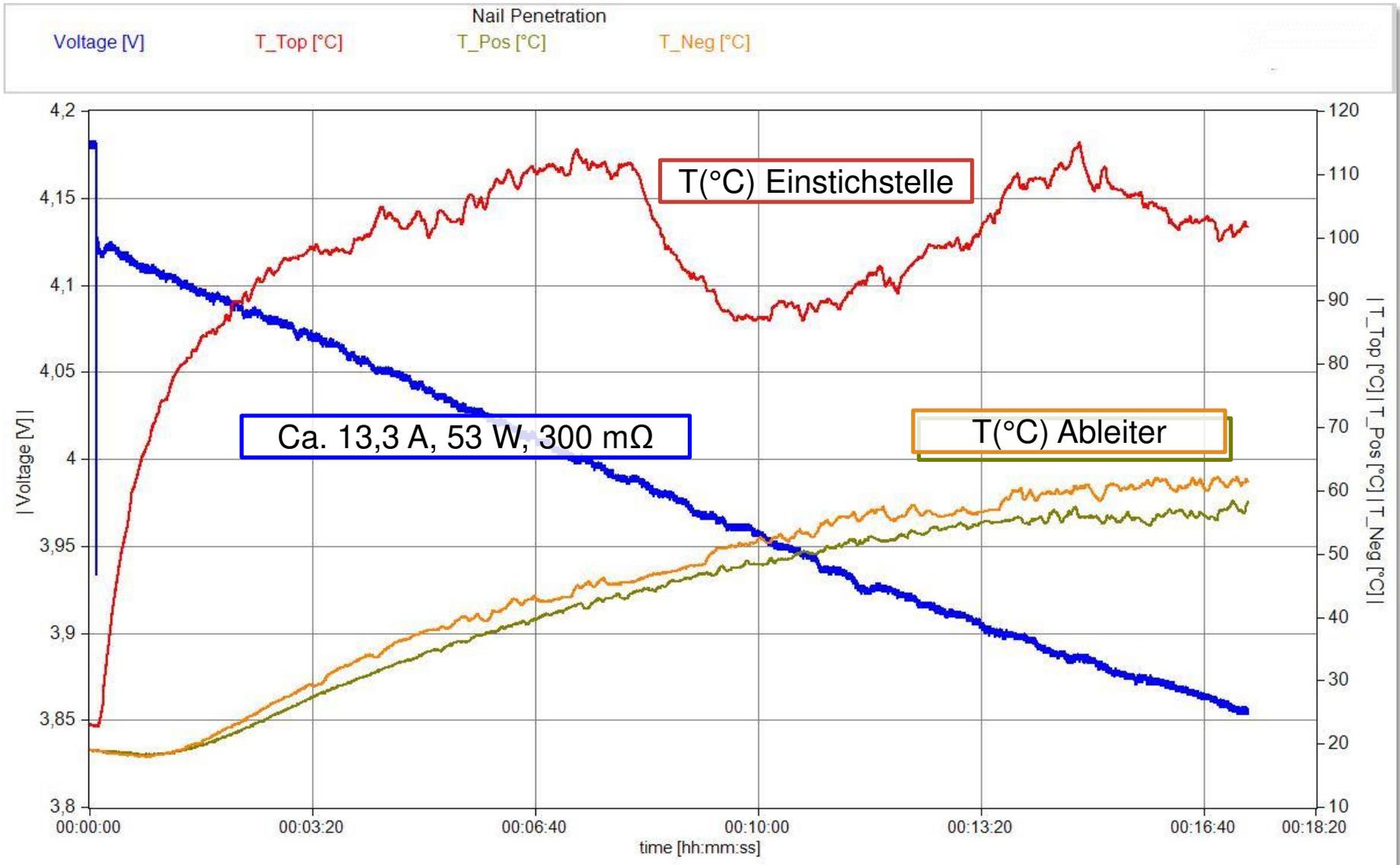
SAE-J 2464 Nail Penetration 3mm - 8cm/s

CTC ||| advanced



# NAGELTEST VERLAUF

## SK 53 Ah (Pouch, NMC/Grafit)



**SICHERHEIT GIBT ES NUR  
IM PROZESS UND MIT  
ERFAHRUNG**

**Zwischentests f. QM**

**Safety-Erkenntnisse in Gremienarbeit teilen**

**Dokumentation**

**Prüfungen gemäß relevanten Standards in  
akkreditierten Labors inkl. Sonderprüfungen  
bis über Grenzen**

**Safety- und Lifetime-Charakterisierung der Zelle  
mit umfangreichen Tests nach Normen  
und bis zu tatsächlichen Fehlergrenzen**

**Auswahl des Prüflabors  
(Akkreditierung<sup>1</sup>, Prüfer, Ausstattung,...)**

**Vorauswahl Zellhersteller  
+ Qualifizierung durch den Zellhersteller**

<sup>1</sup> siehe auch [www.dakks.de](http://www.dakks.de) / Gesetzlicher Auftrag: Akkreditierung von Konformitätsbewertungsstellen (hier: Prüflabore).



**Vielen Dank  
und speichern Sie sicher.**

[Thomas.Timke@SOLARWATT.de](mailto:Thomas.Timke@SOLARWATT.de)