

Lukas Hölscher
Technical Project Engineer Capacitors & Resistors

KONDENSATOREN:



WARUM ALTERN SIE UND WIE BEEINFLUSST DIES DIE APPLIKATION

WÜRTH ELEKTRONIK MORE THAN YOU EXPECT



WÜRTH
ELEKTRONIK
MORE THAN
YOU EXPECT

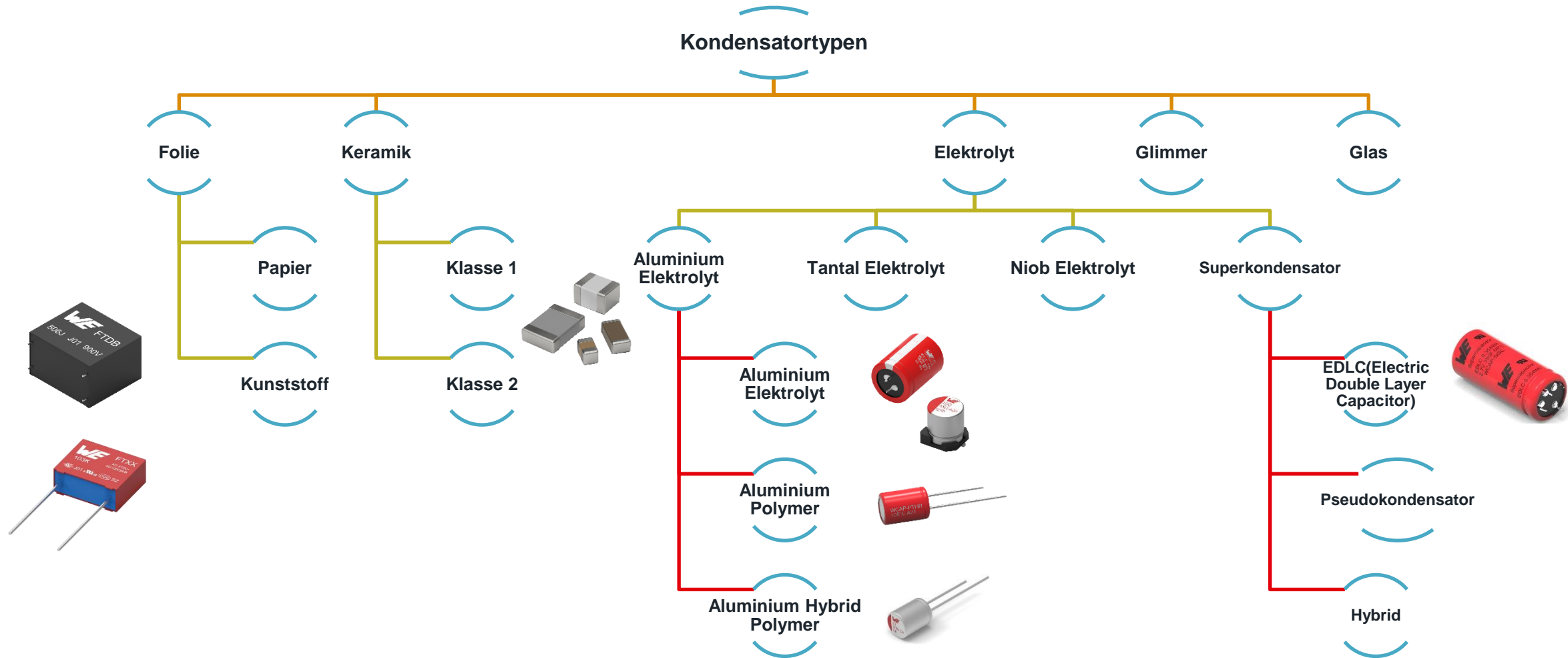
AGENDA

- Übersicht Kondensatoren
- Technologien
 - MLCC 
 - Folienkondensatoren 
 - Elektrolytkondensatoren 
- Zusammenfassung

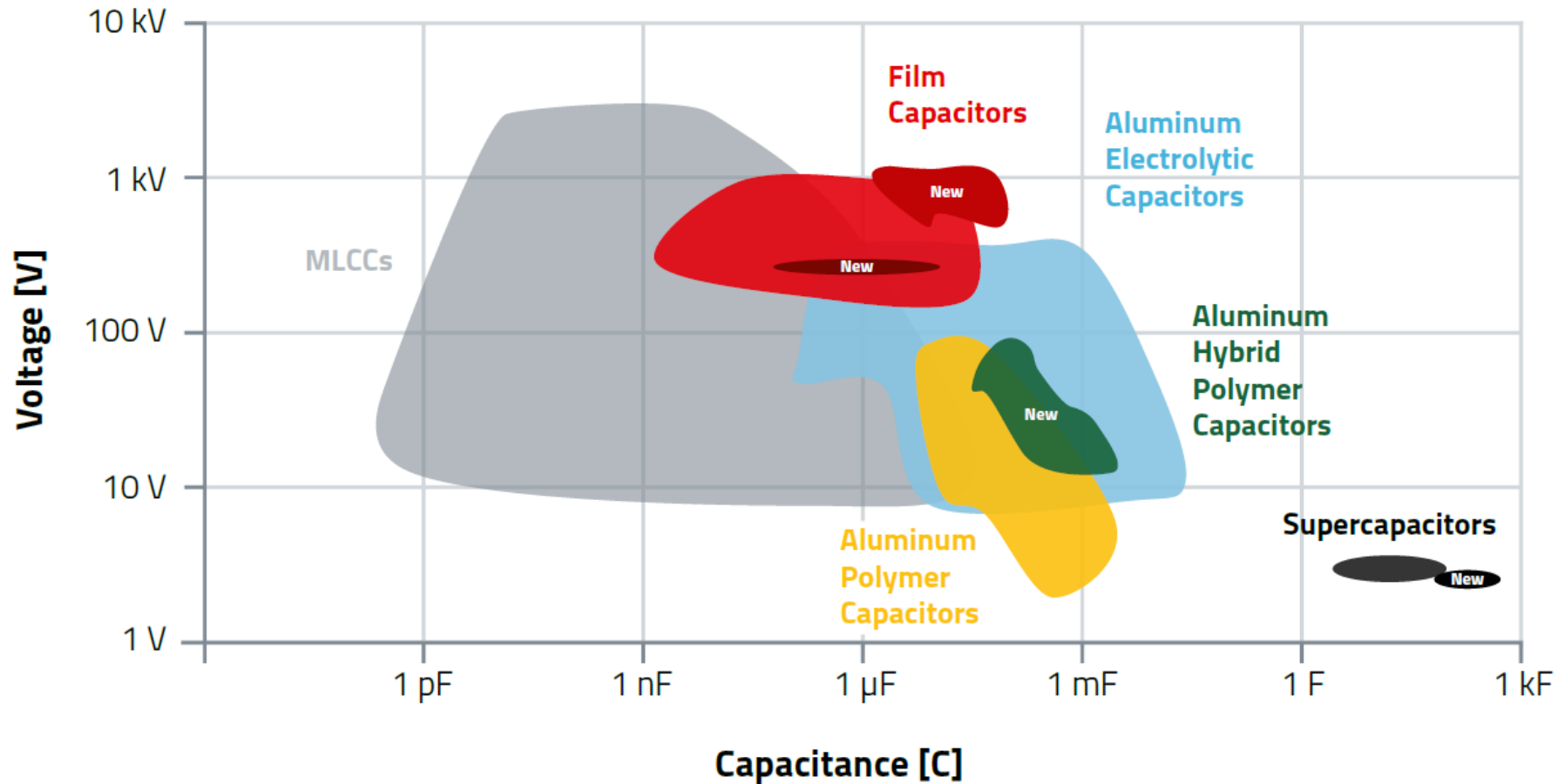


GRUNDLAGEN KONDENSATOREN

Kondensatoren mit fester Kapazität nach Dielektrikum



GRUNDLAGEN KONDENSATOREN



New Series of Supercapacitors:

■ Snap-In; WCAP-SISC

New Series of Film Capacitors:

■ DC-Link; WCAP-FTDB

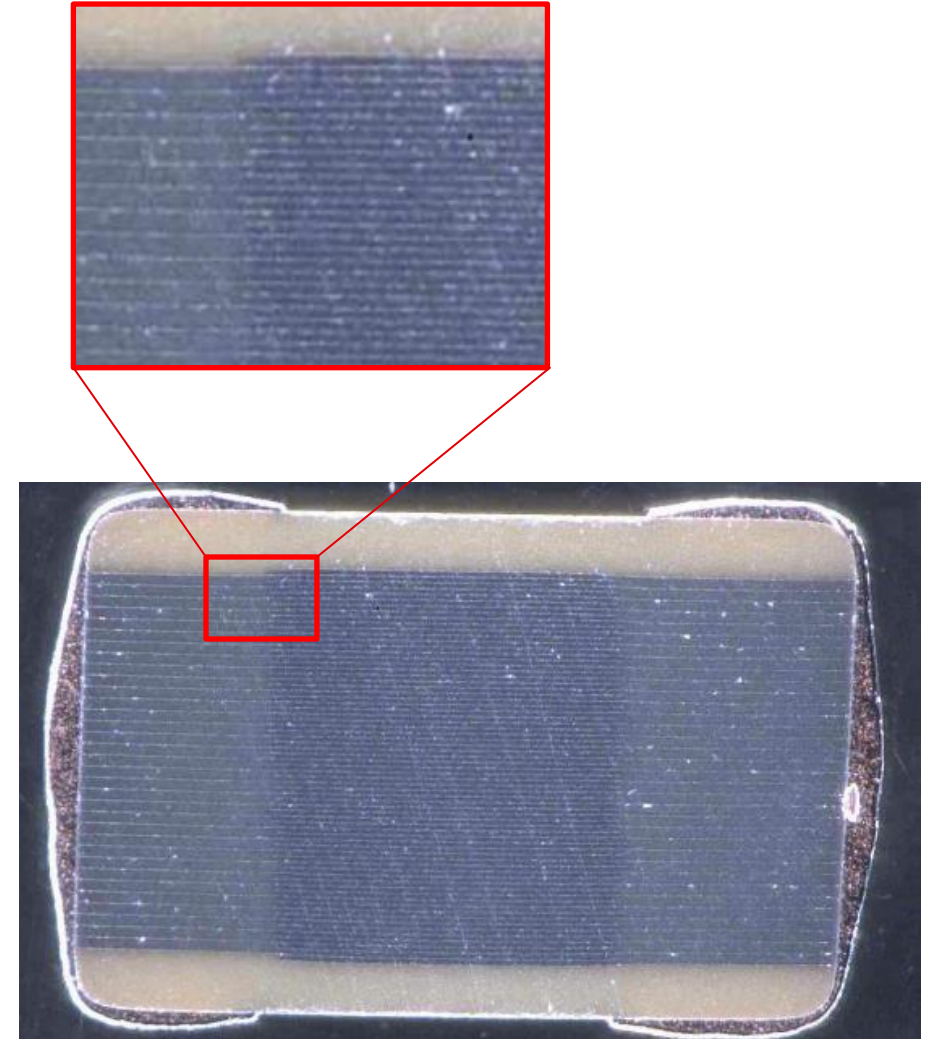
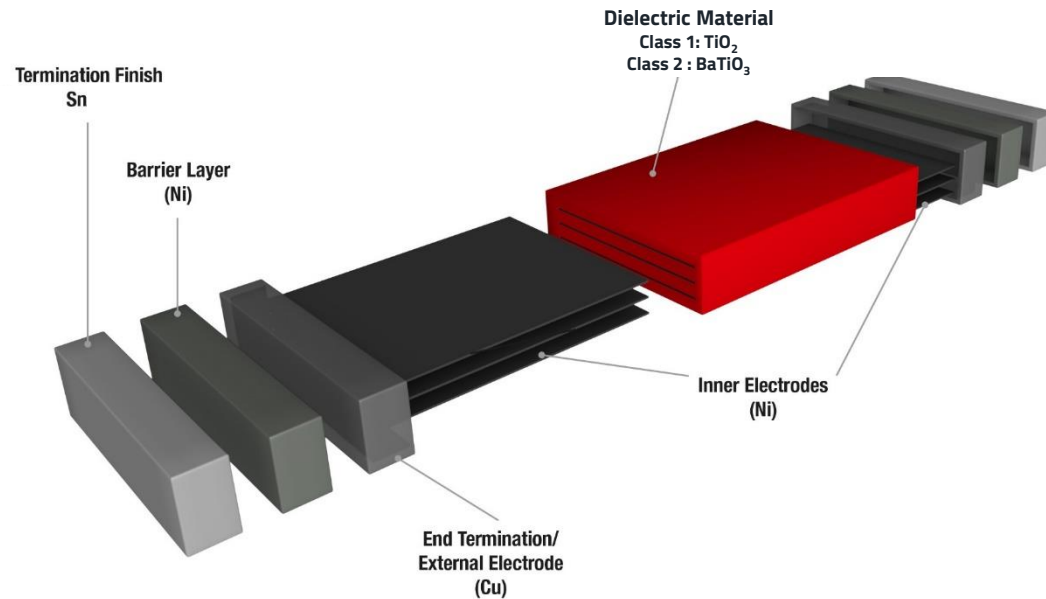
■ THB Class X2; WCAP-FTXH

New Series of Aluminum Hybrid Polymer Capacitors:

■ Radial THT; WCAP-HTG5, WCAP-HTAH, V-Chip SMT; WCAP-HSG5, WCAP-HSAH

MLCC (MULTILAYER CERAMIC CAPACITOR)

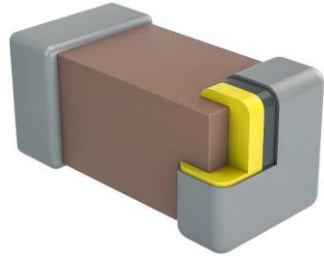
Zusammensetzung von General Purpose MLCC



Schliffbild eines General Purpose MLCC

MLCC

- Soft termination Capacitor (WCAP-CSST)



Flexure(D): 5mm

Zum Vergleich: Standard
(WCAP-CSGP) → 1 mm

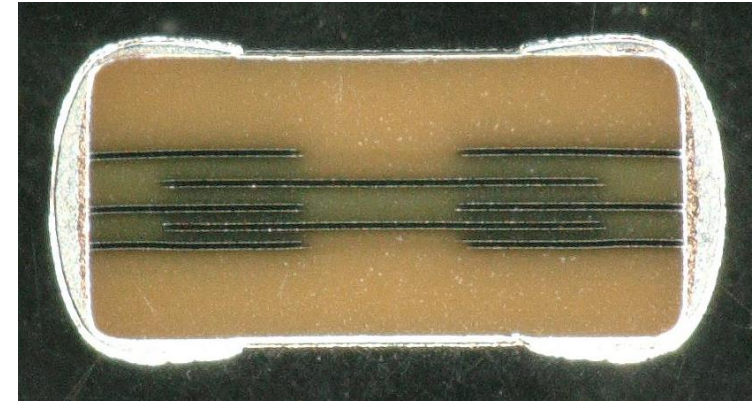
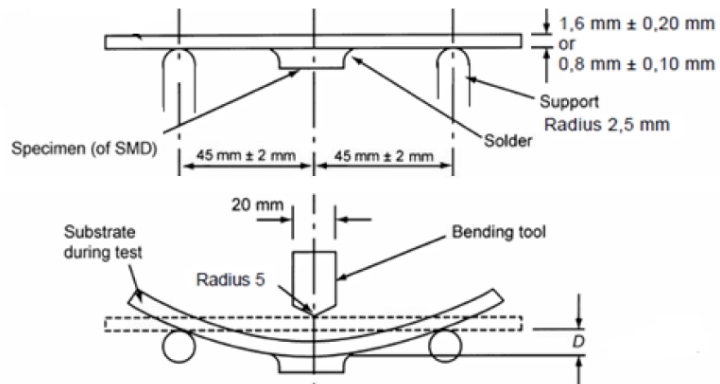
- Datenblatt

Substrate Bending Test:

The capacitor shall be soldered on the test substrate (see Figure) and gradually bent to a depth, D with a speed of $1,0 \text{ mm/s} \pm 0,5 \text{ mm/s}$.







Flexure(D): 5mm

Pressure maintaining: $5 \pm 1 \text{ sec}$.



MLCC

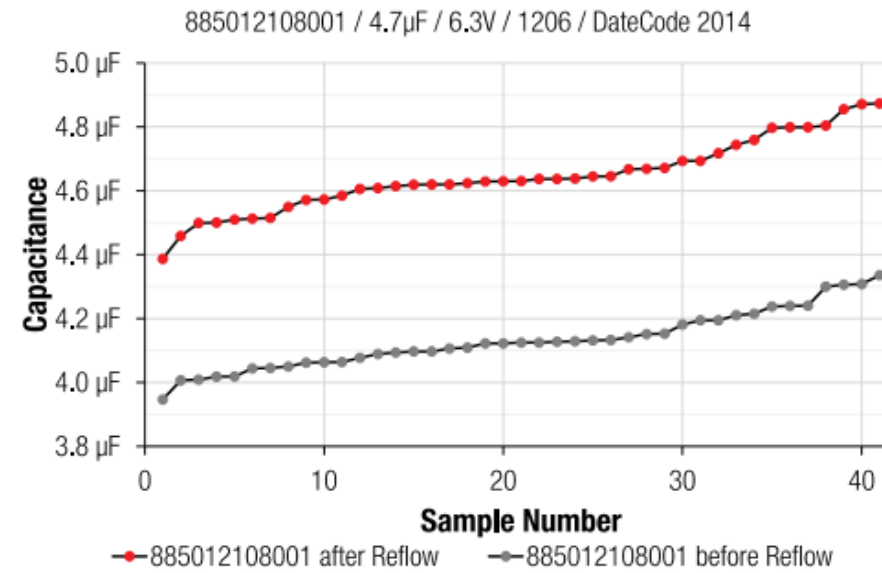
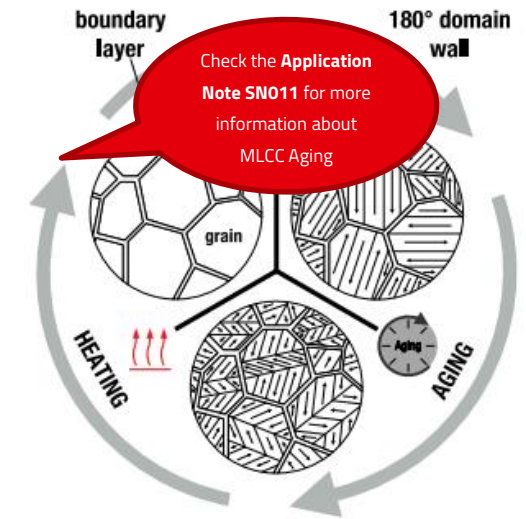
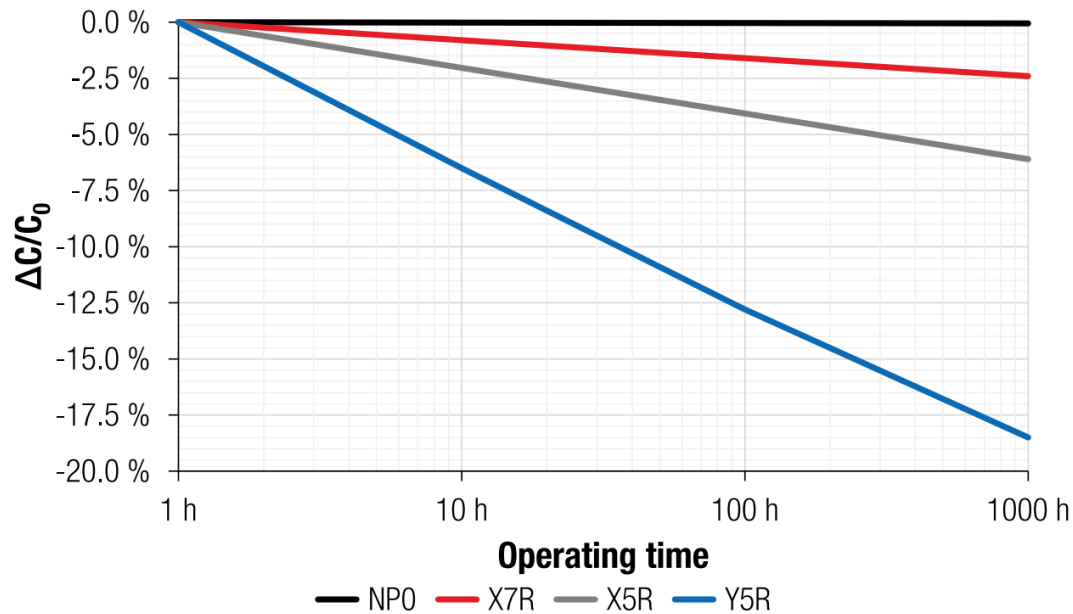
Vergleich Klasse 1 und Klasse 2

- Klasse 1 (z.B.: NP0 bzw. COG -> Titanoxid)
 - Kleinere relative Permittivität ϵ_r → kleinerer Kapazitätsbereich
 -  C-Toleranz beachten
 -  Keine Temperaturabhängigkeit (z.B. COG / NP0) oder eine lineare Temperaturabhängigkeit
 - Sonst existiert keine Derating
 - Stabile / präzise C-Werte
 - Anwendungen wo fest definierter / stabiler C-Wert benötigt wird
- Klasse 2 (z.B.: X7R, X5R, Y5V -> Bariumtitanat)
 - Höhere relative Permittivität ϵ_r → größerer Kapazitätsbereich
 - Es existieren folgenden Effekte, welche den C-Wert beeinflussen:
 -  C-Toleranz (nach Datenblatt)
 -  Nicht lineare Temperaturabhängigkeit (herstellerspezifisch aufgrund von Materialmix / Konstruktion)
 -  DC-Bias
 -  Alterungsverhalten

MLCC

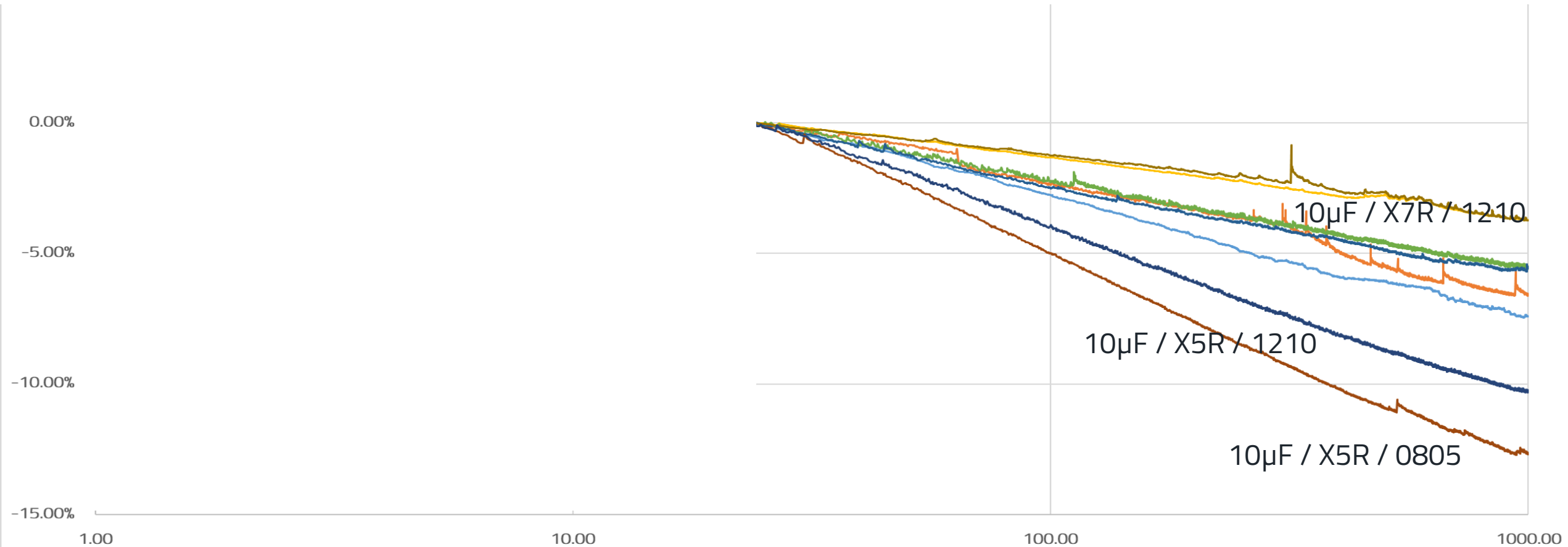
Alterung

- Alterungsprozess durch Veränderung der Kristallstruktur
- Eine verringerte Permittivität verursacht einen Kapazitätsverlust
- Klasse 1 (NPO) keine Alterung
- Klasse 2 besitzt eine Alterung
 - Das Verhalten hängt von den keramischen Materialien ab



MLCC

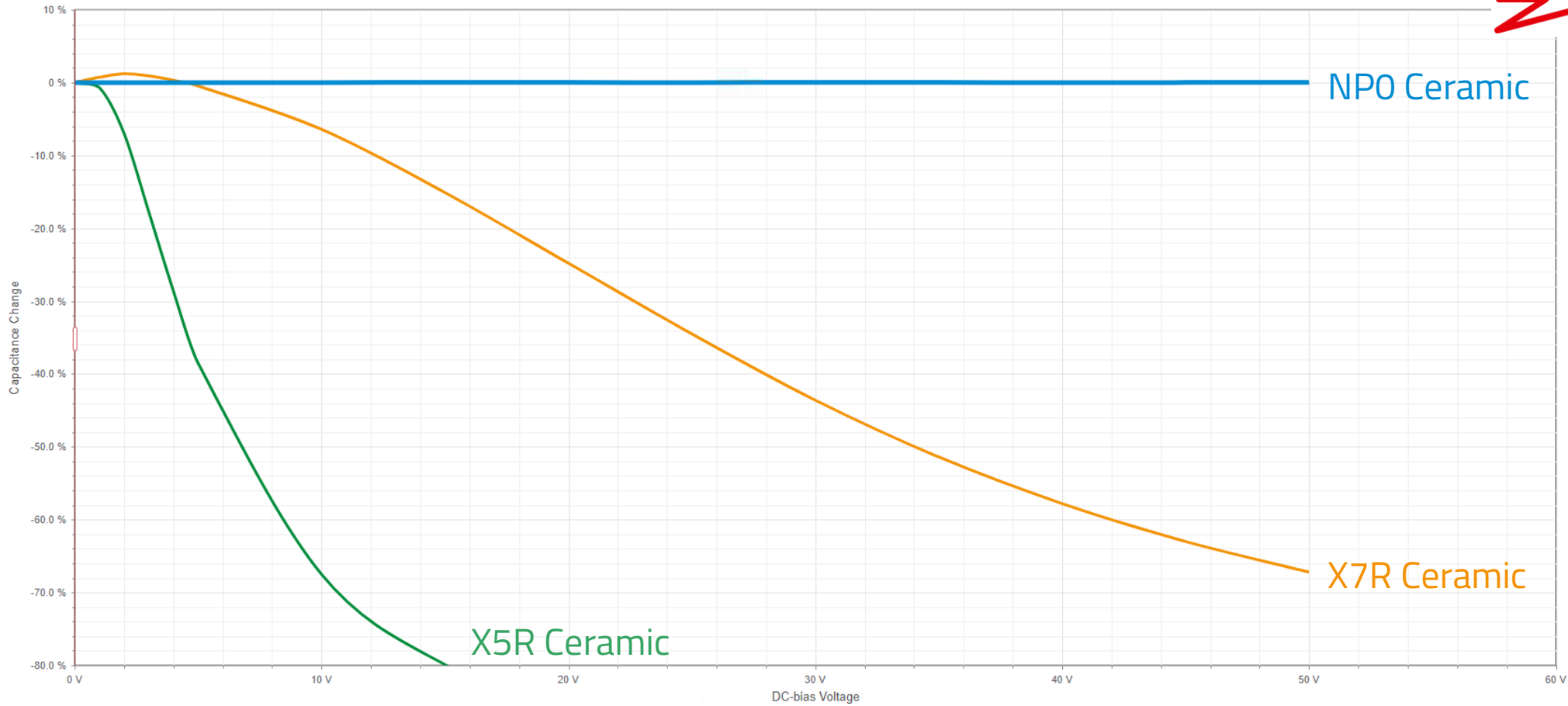
Alterung – Messungen bei WE



MLCC

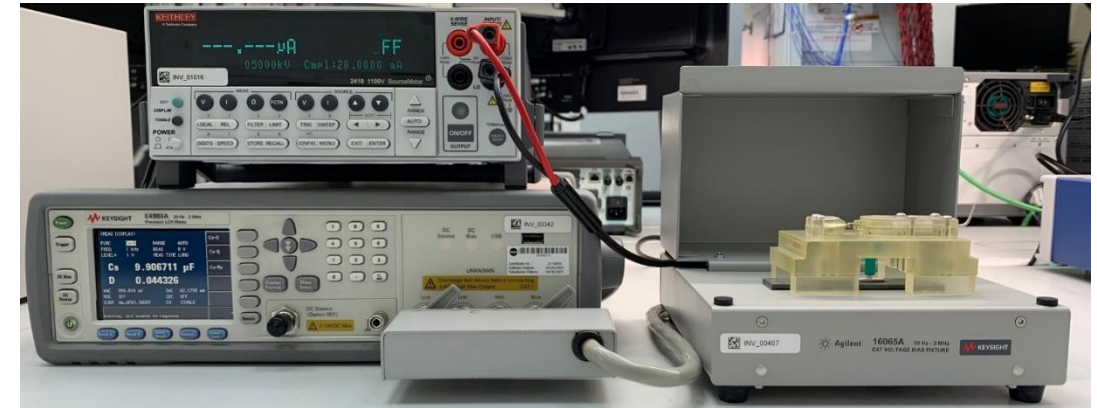
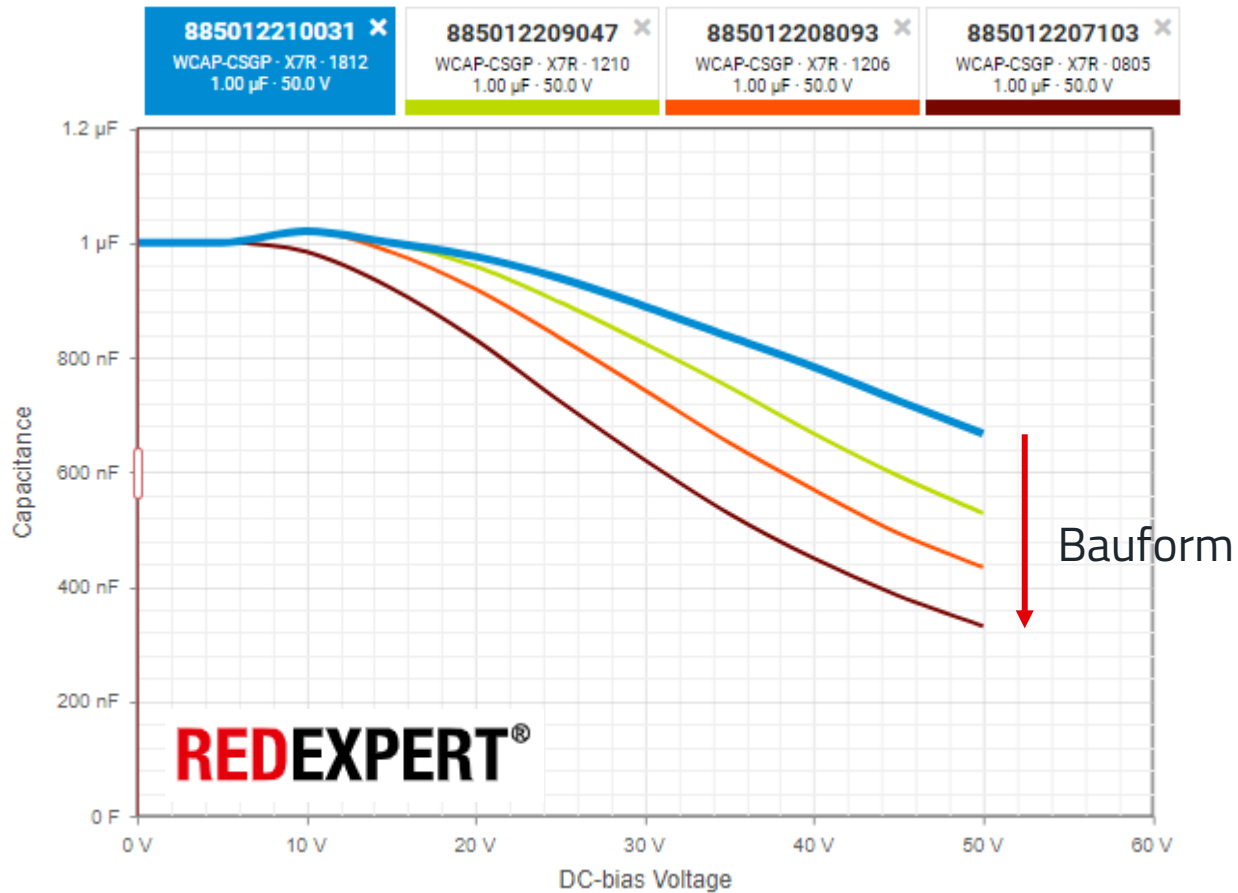
DC-Bias

Find this and more
measurements in
REDEXPERT®



MLCC

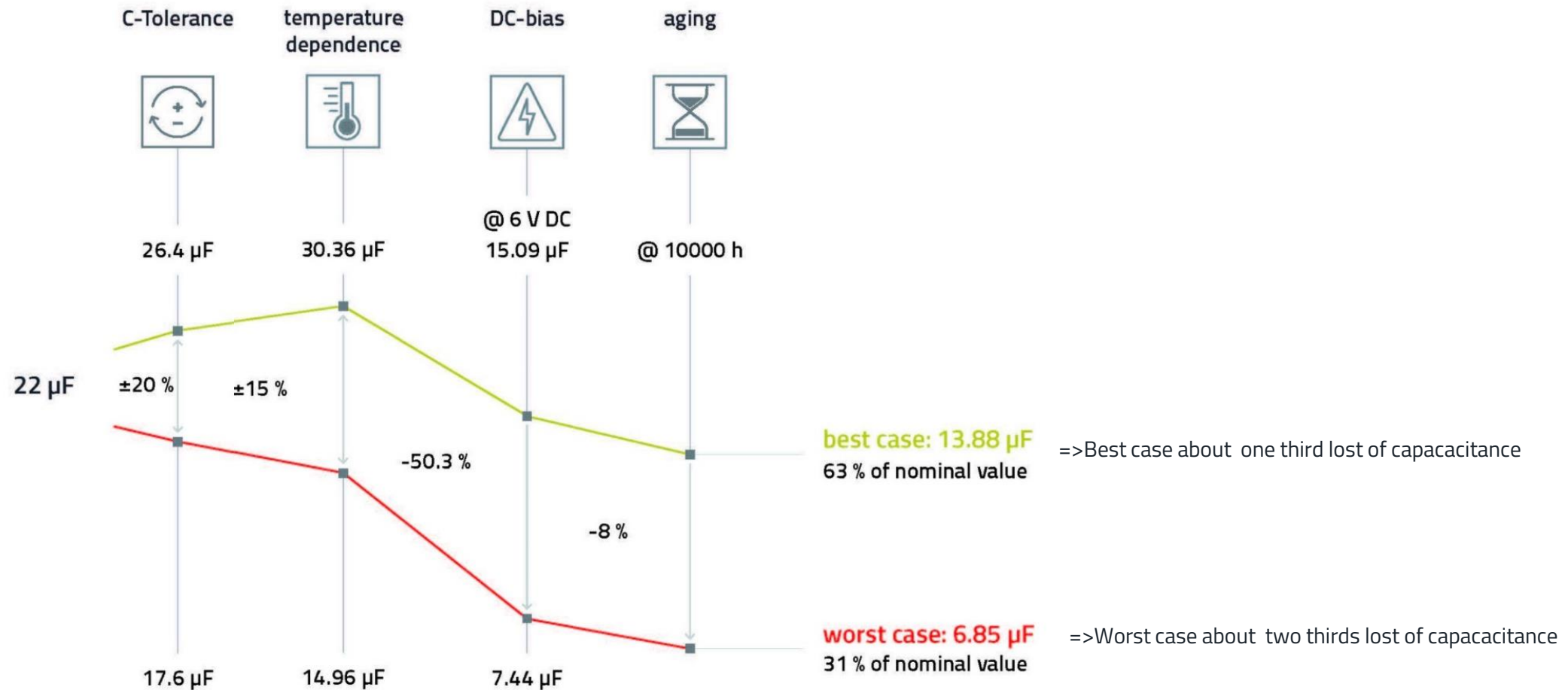
DC-Bias



- Der Kapazitätsabfall betrifft nur Keramikkondensatoren der Klasse II
- Stark abhängig von der Größe
- Keine Angabe im Datenblatt
 - Nur Referenzkurven oder Simulationsmodelle

MLCC

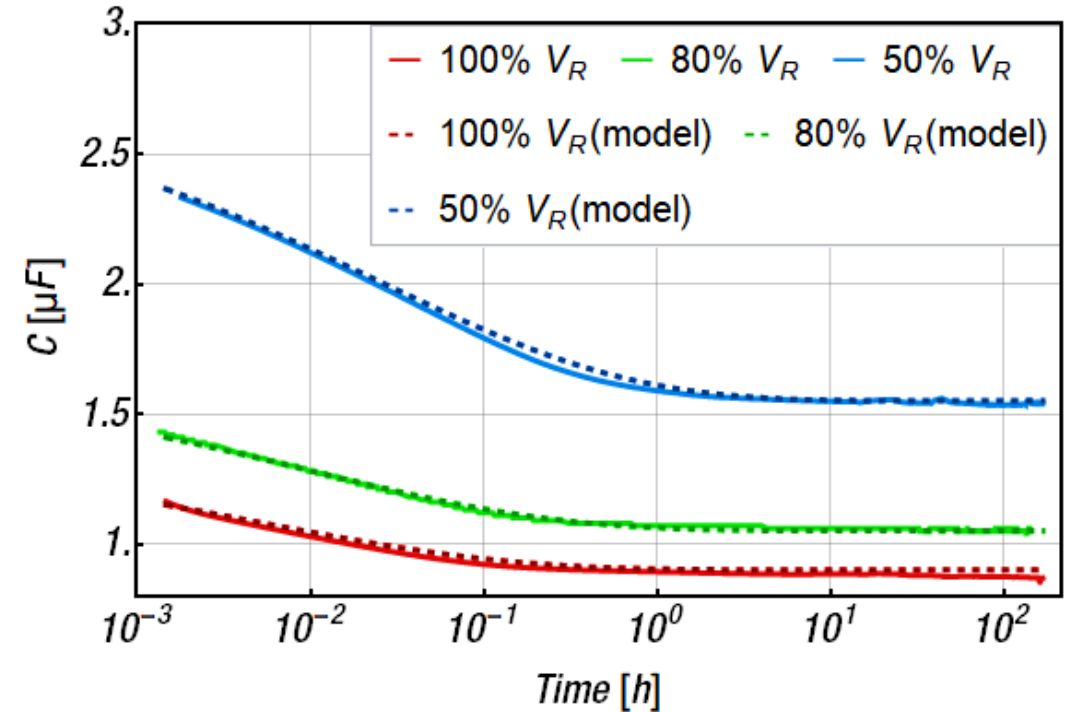
Resultierende Kapazität bei X5R/22 μF /10 V @ 6V @10000 h



MLCC

Langzeit DC-Bias

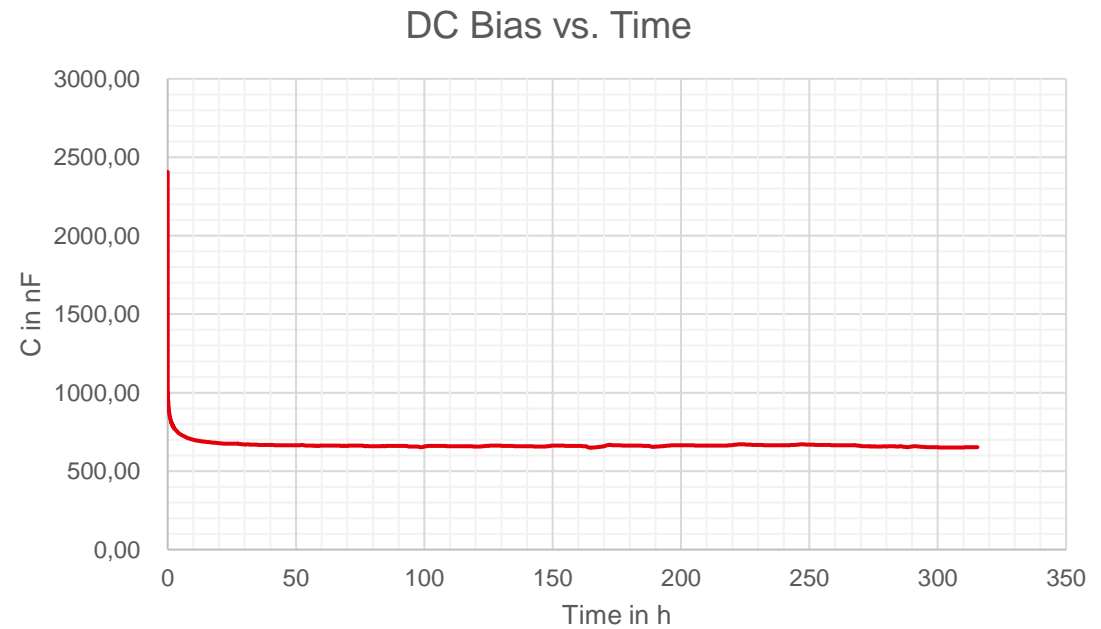
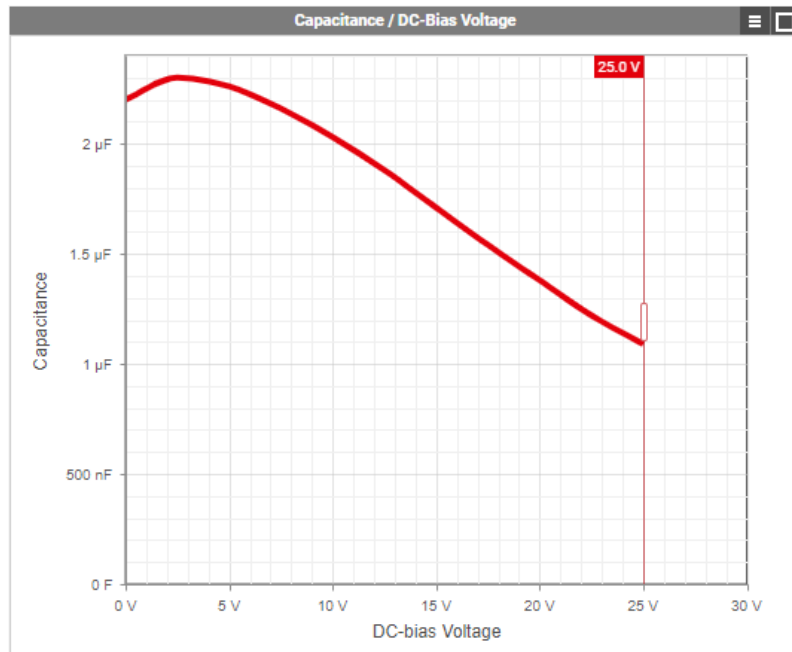
- Beispiel eines 10 μF MLCC mit einer Nennspannung von 50 V
- Die Kapazitäts-Zeit-Diagramme werden bei 100 %, 80 % und 50 % der Nennspannung des Kondensators über einen Zeitraum von etwa 160 Stunden gemessen.
- Die Messung beginnt etwa 10 Sekunden nach dem Anlegen der Gleichspannung.
 - Je größer die Gleichspannung ist, desto größer ist die Gesamtabnahme.
 - Die Sättigungskapazität wird in etwa 1 Stunde erreicht.
 - Andere Beispiele erreichen die Sättigung nach 10 Stunden.
 - Über diesen Zeitraum hinaus bleibt die Kapazität nahezu konstant



MLCC

Langzeit DC-Bias

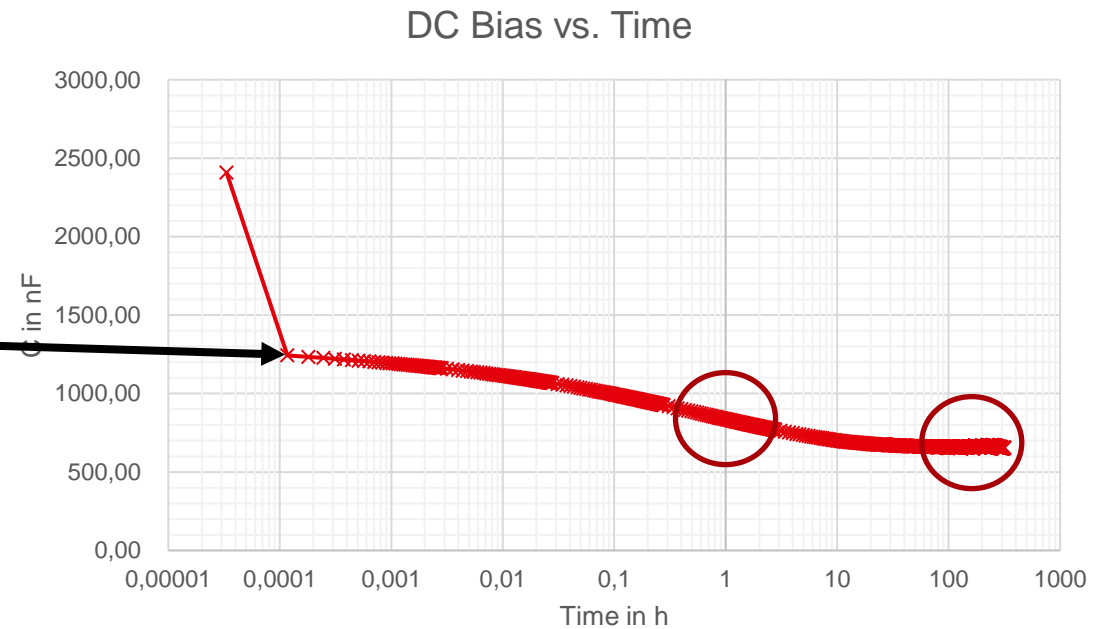
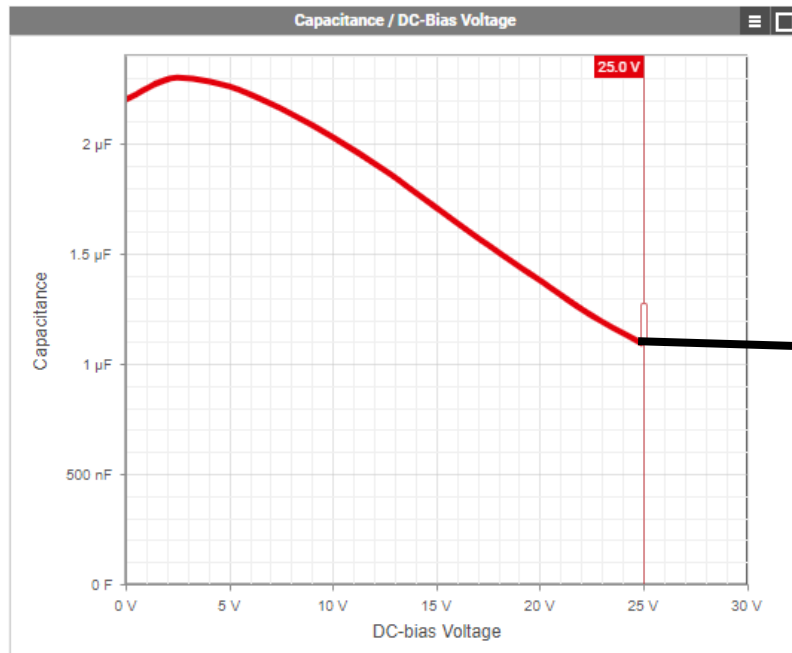
- 2.2 μ F / 25V / X7R / 1206
- $\Delta C@25V = 50\% = 1.1\mu F$



MLCC

Langzeit DC-Bias

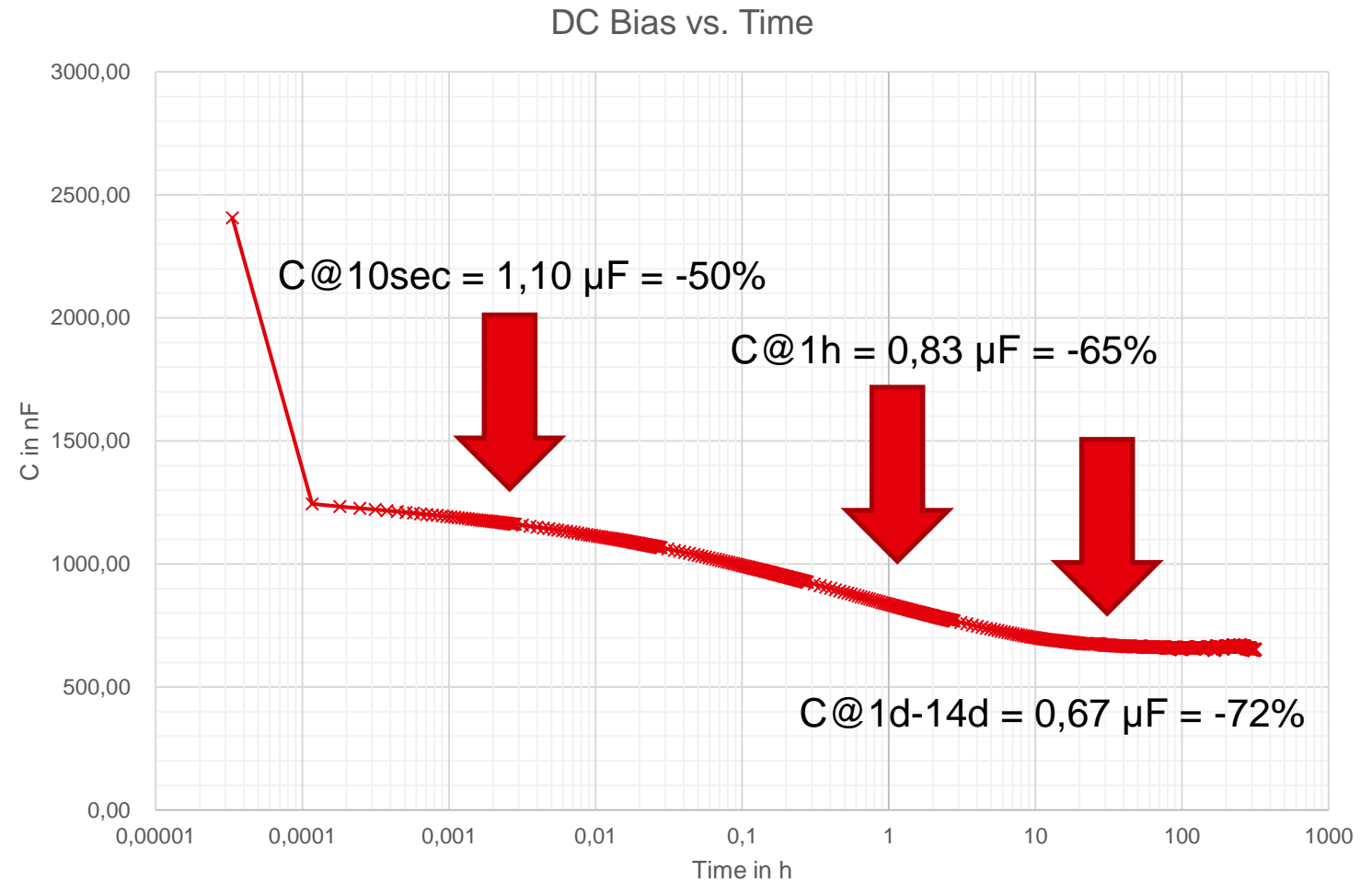
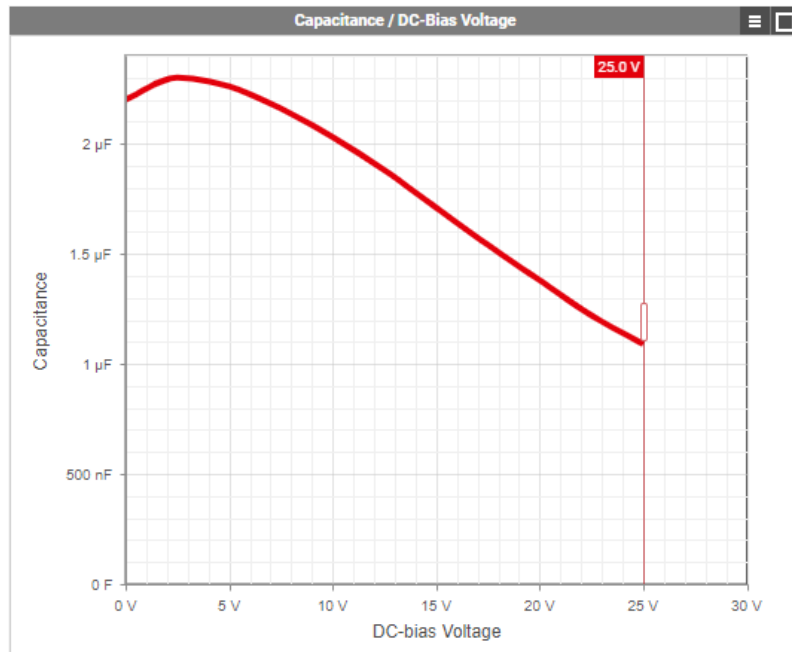
- 2.2 μ F / 25V / X7R / 1206
- $\Delta C@25V = 50\% = 1.1\mu F$



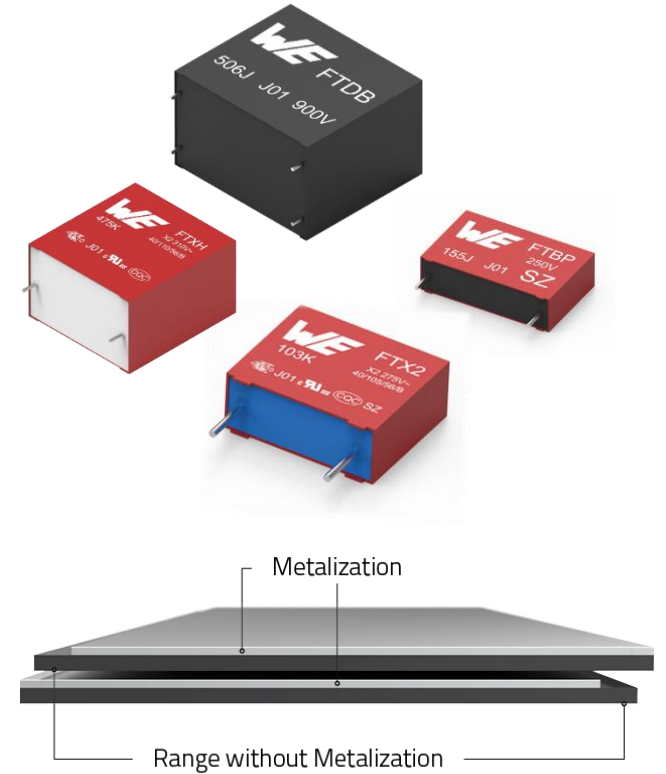
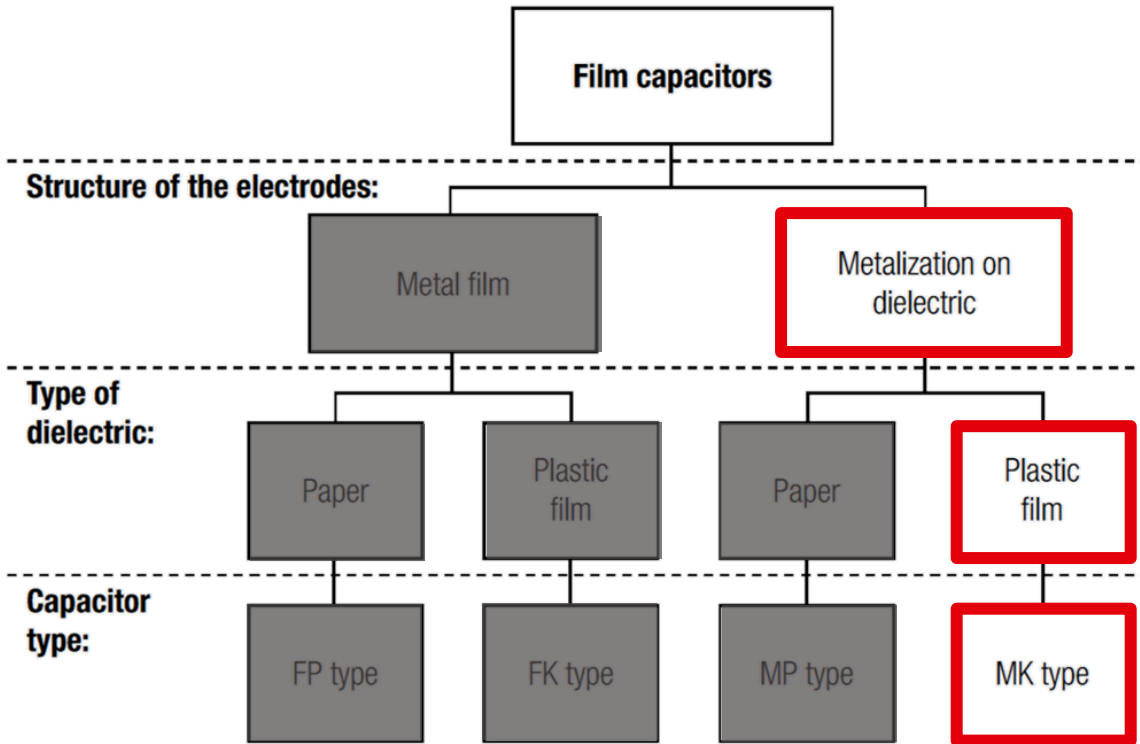
MLCC

Langzeit DC-Bias

- 2.2 μ F / 25V / X7R / 1206
- $\Delta C@25V = 50\% = 1.1\mu F$



FOLIENKONDENSATOREN

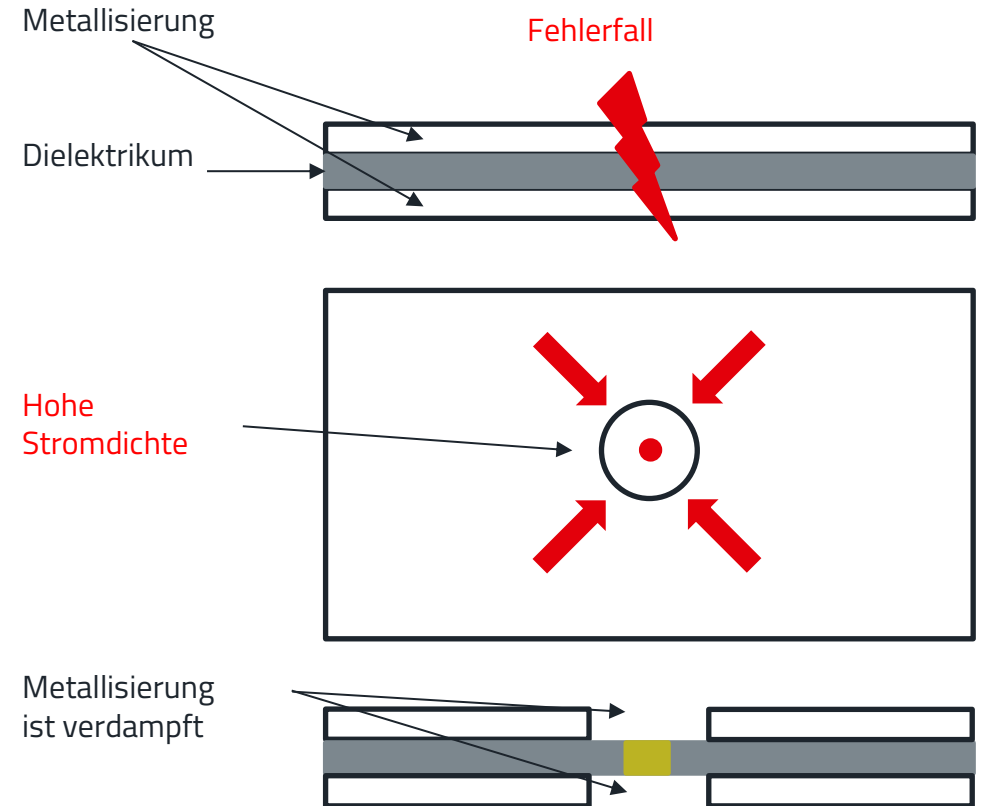
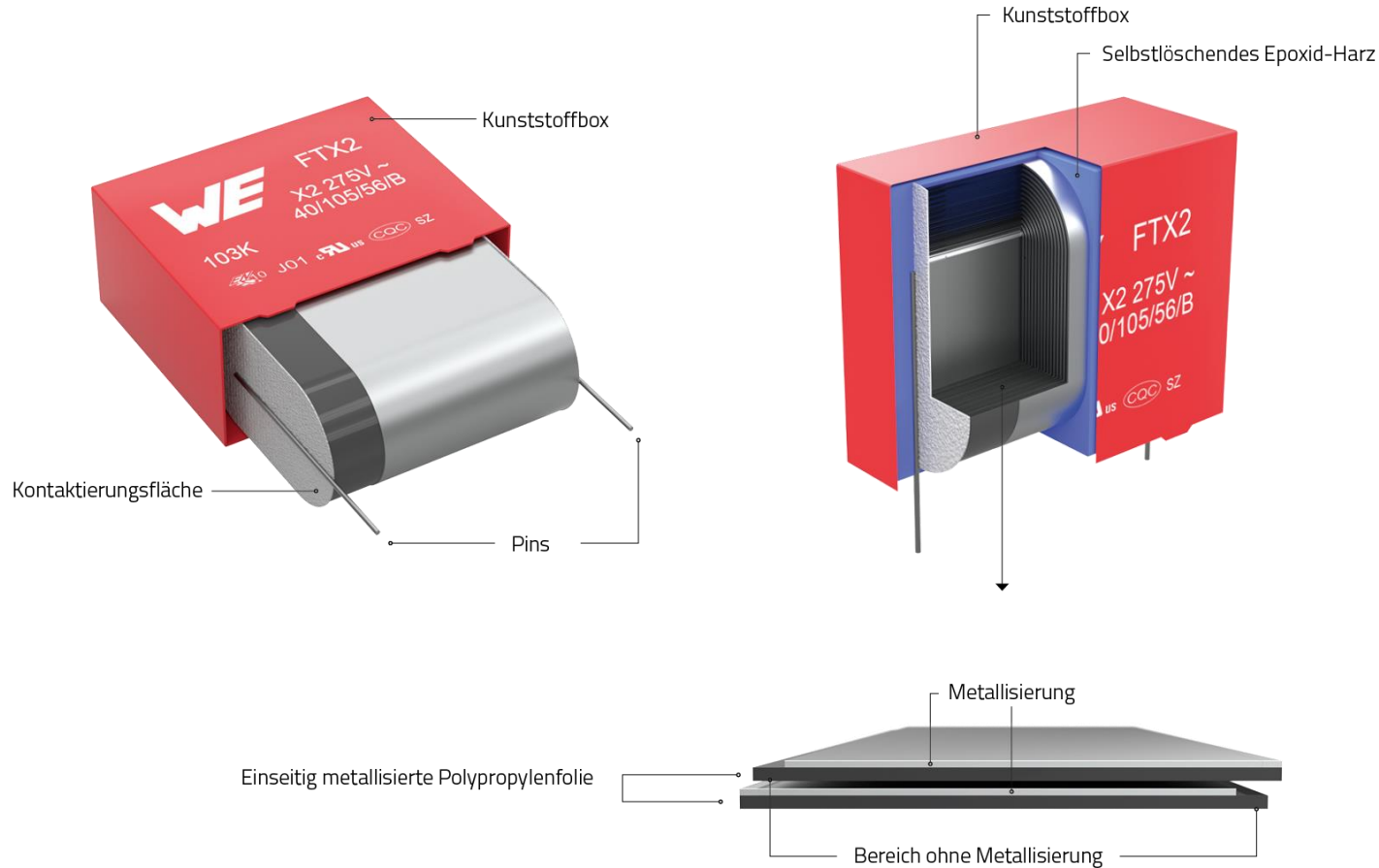


Dielectric	Code for the FK capacitor	Code for the MK capacitor
Polyester (PETP)	KT	MKT
Polycarbonate (PC)	KC	MKC
Polypropylene (PP)	KP	MKP
Polystyrene (PS)	KS	MKS

- + Hohe Temperaturbeständigkeit
- Höhere Verluste
- + Hohe Spannungsfestigkeit [V/μm]
- + Hohe Frequenzstabilität

FOLIENKONDENSATOREN

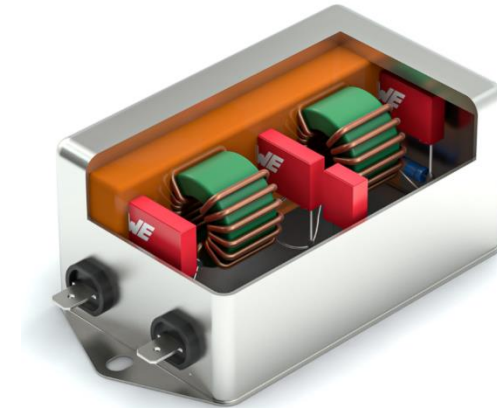
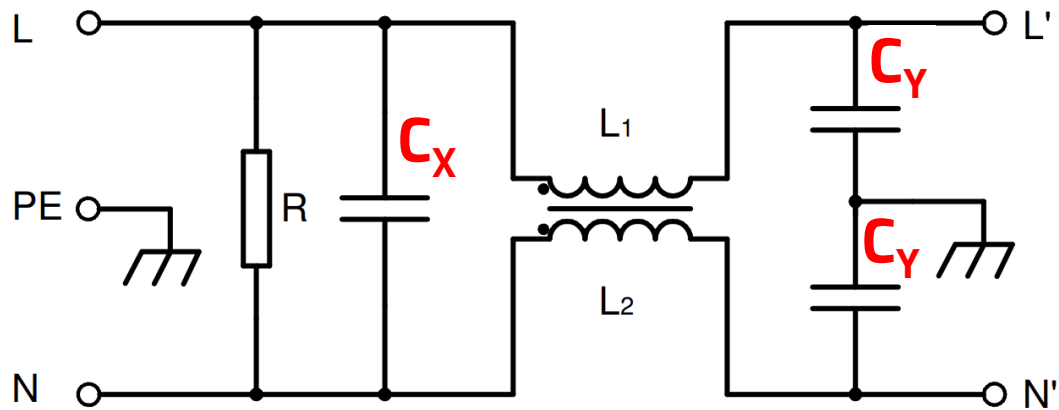
Aufbau und Selbstheilung



FOLIENKONDENSATOREN

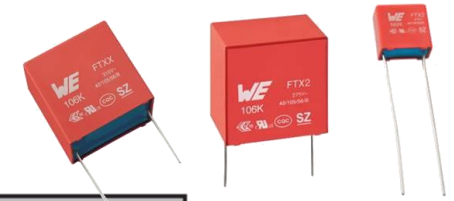
Einsatz als Entstörkondensator

- Bauteilqualifizierung gemäß IEC 60384-14



Safety Class	Max. Impulse according IEC- 60384-14
X1	4kV ($C \leq 1\mu\text{F}$)
X2	2,5 kV ($C \leq 1\mu\text{F}$)
Y1	8 kV
Y2	5 kV

FOLIENKONDENSATOREN



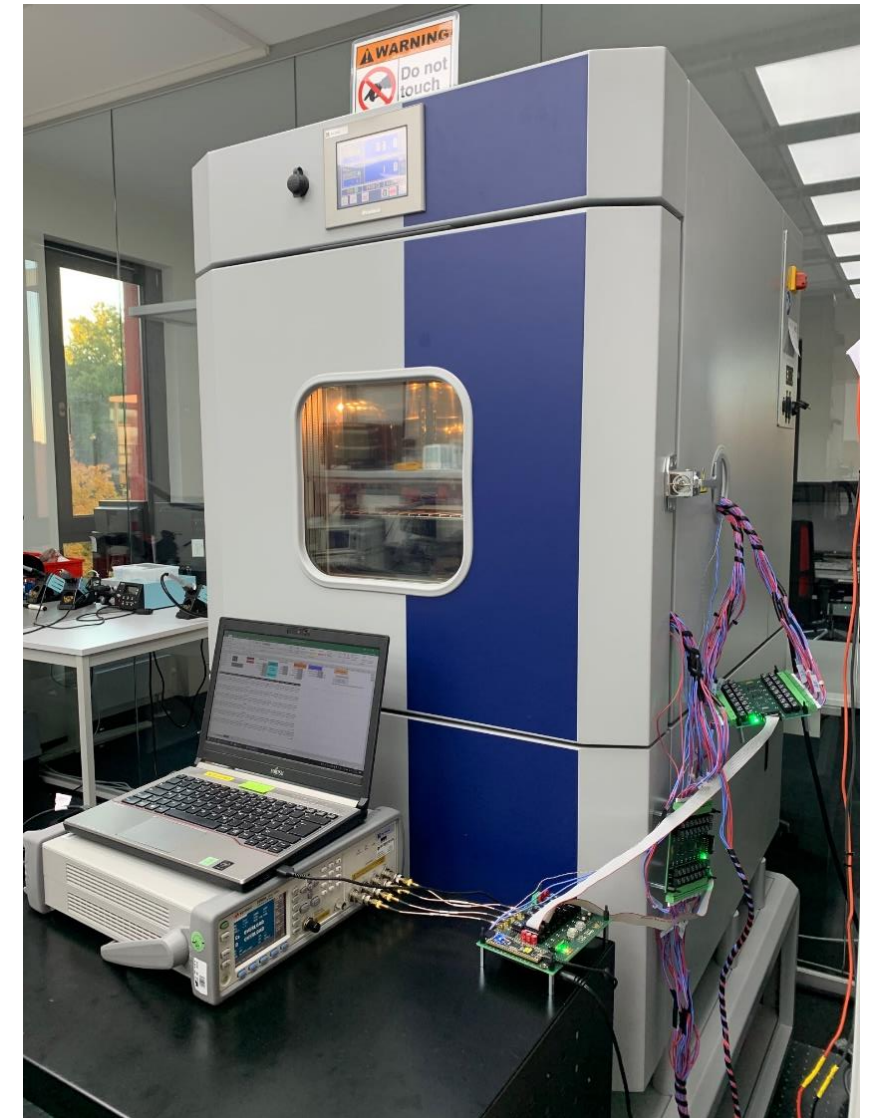
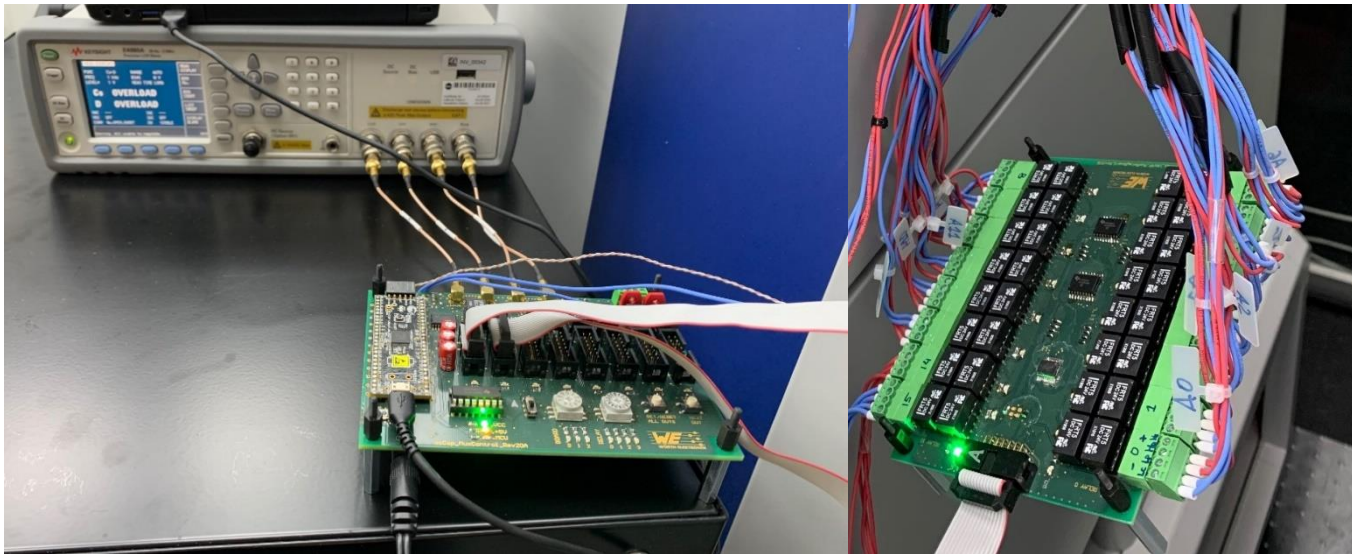
Environmental Tests:

Properties	Standard	
Active Flammability	IEC 60384 - 14	max. 24 surge pulses @ 2.5 kV (one pulse every 5 seconds)
Passive Flammability	IEC 60384 - 14	in combination with IEC 60381 - 1 & IEC 60695 - 11 - 5
Vibration	IEC 60068 - 2 - 6	all 3 directions, 2 hours each @ 10 - 55 - 10 Hz, amplitude 0.75 mm or 10 g
Damp Heat	IEC 60068 - 2 - 78	40°C, 95% RH, 56 days
Humidity Robustness Test	Internal test in accordance to IEC 60384 - 14	85 °C, 85 % RH, 1000 hrs @ 310 V(AC)

Ambient Temp.	Relative Humidity	Absolute Humidity
20 °C	35%	6.05 g/m³
25 °C	50%	11.5 g/m³
40 °C	95%	48.5 g/m³
85 °C	85%	297 g/m³

FOLIENKONDENSATOREN

- Temperaturbereich: -70°C bis $+180^{\circ}\text{C}$
- Relative Luftfeuchtigkeit von 10 % bis 95 % RH (Temp. 10 bis 95°C)
- Kammervolumen von 110l
- LCR-Meter Keysight E4980A mit selbstgebautem Multischalter



FOLIENKONDENSATOREN

Kapazitätsänderung nach 1000 h bei 85 °C/85 % RH /1000 h bei 230 VAC



FOLIENKONDENSATOREN

Alterungsmechanismen

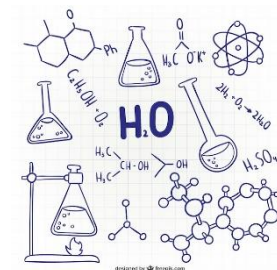
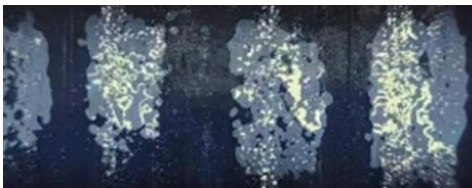
- Selbstheilung
 - Durch Belastung durch auftretende Transienten



- Teilentladung bzw. Corona Entladung
 - Durch eingeschlossene Feuchtigkeit und/oder Feldkonzentrationen im Bauteil

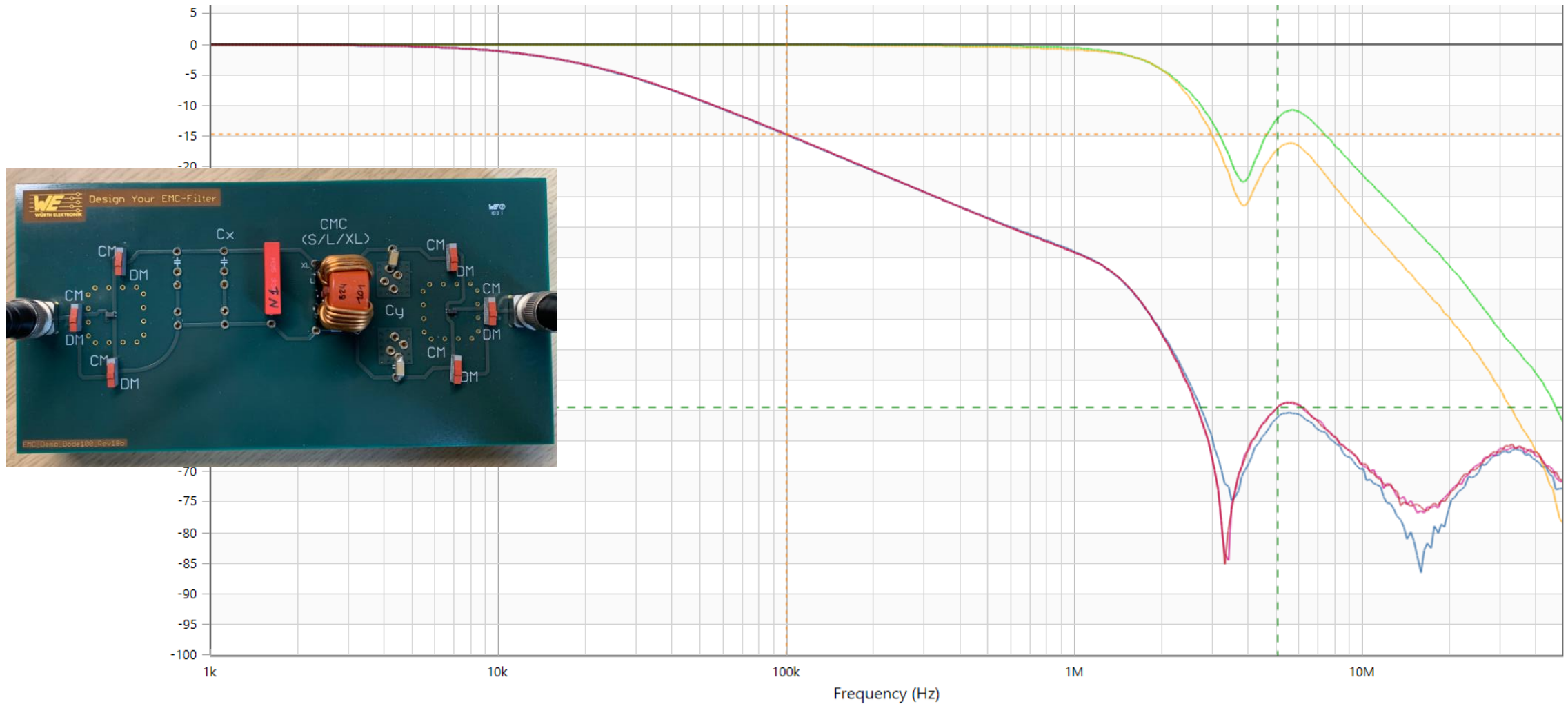


- Elektrochemische Korrosion
 - Durch eingeschlossene Luft in Kombination mit Spannung, Temperatur, Feuchtigkeit

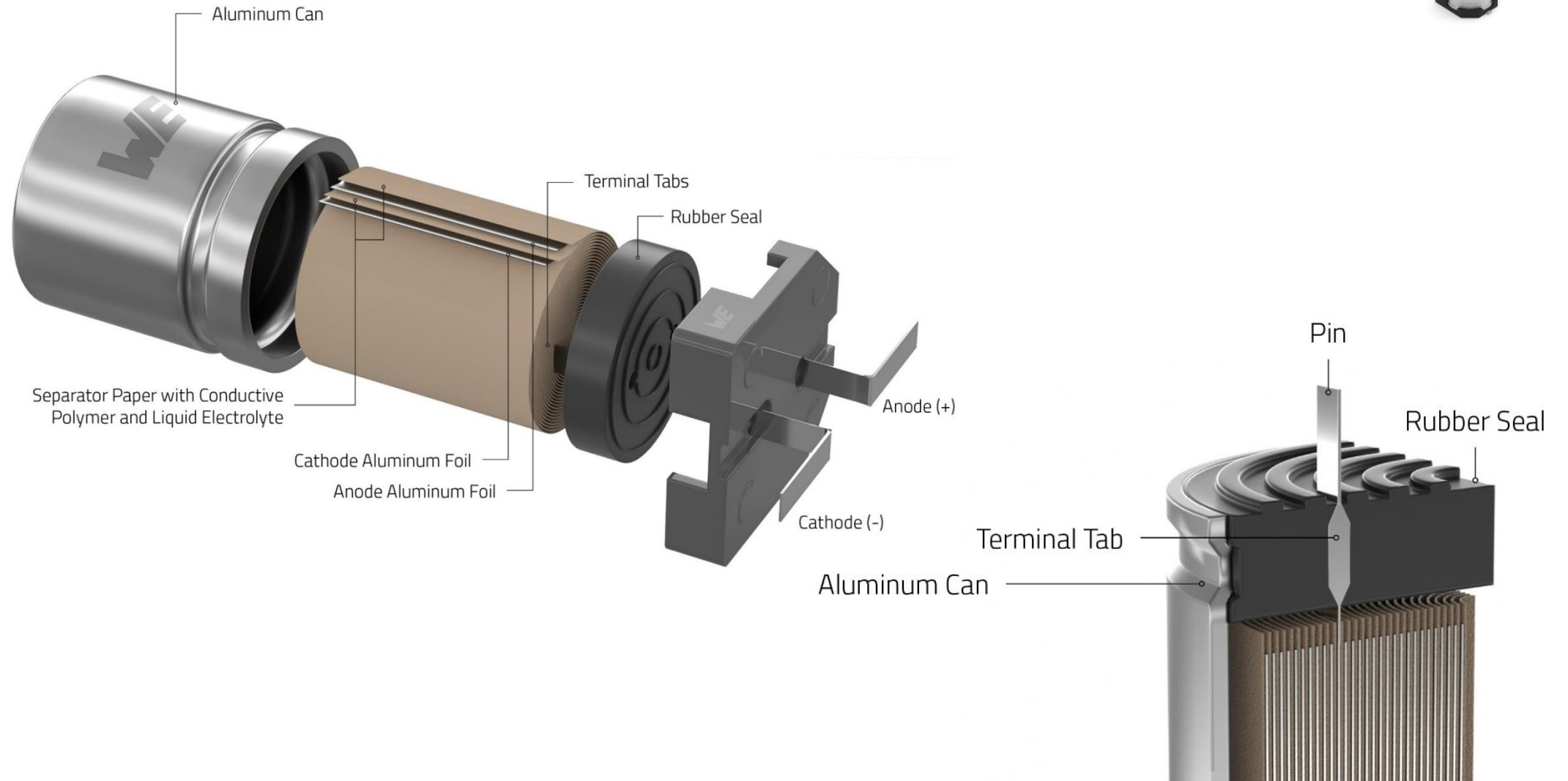
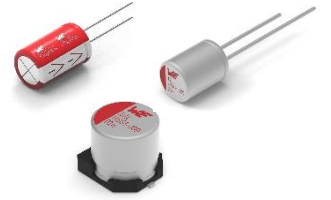


FOLIENKONDENSATOREN

Auswirkung von Alterung auf die EMV

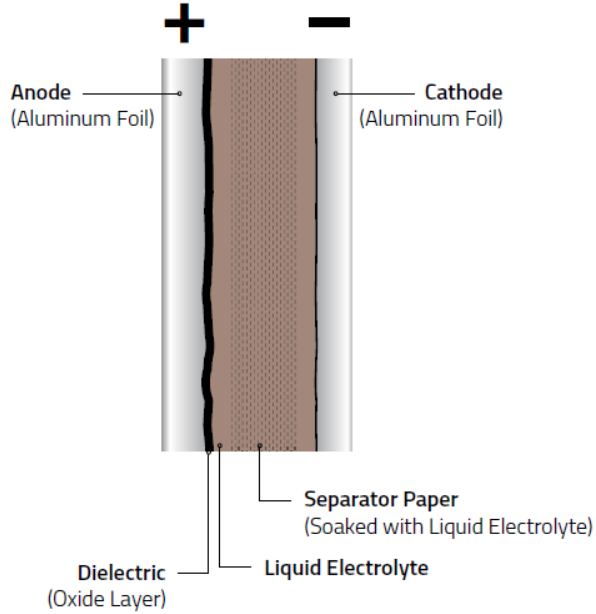


ALUMINIUM KONDENSATOREN

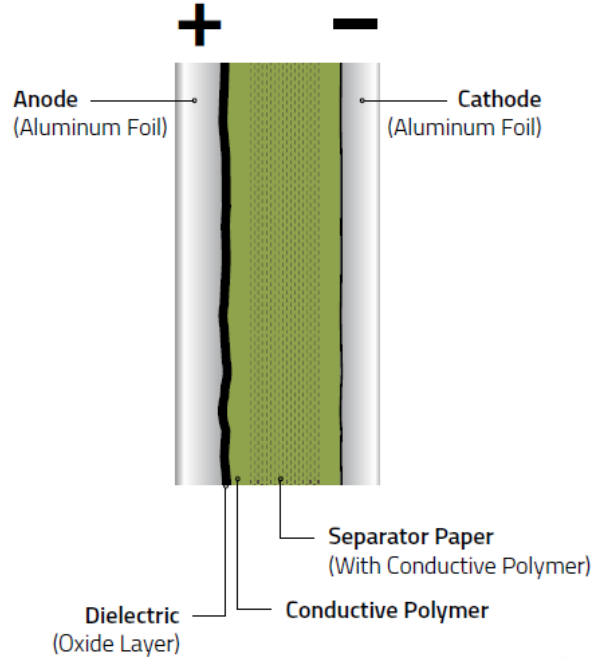


ALUMINIUM KONDENSATOREN

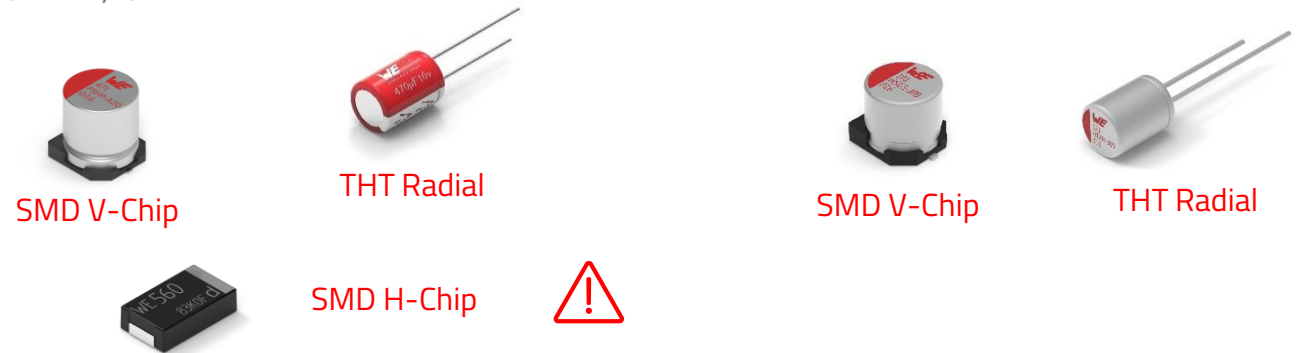
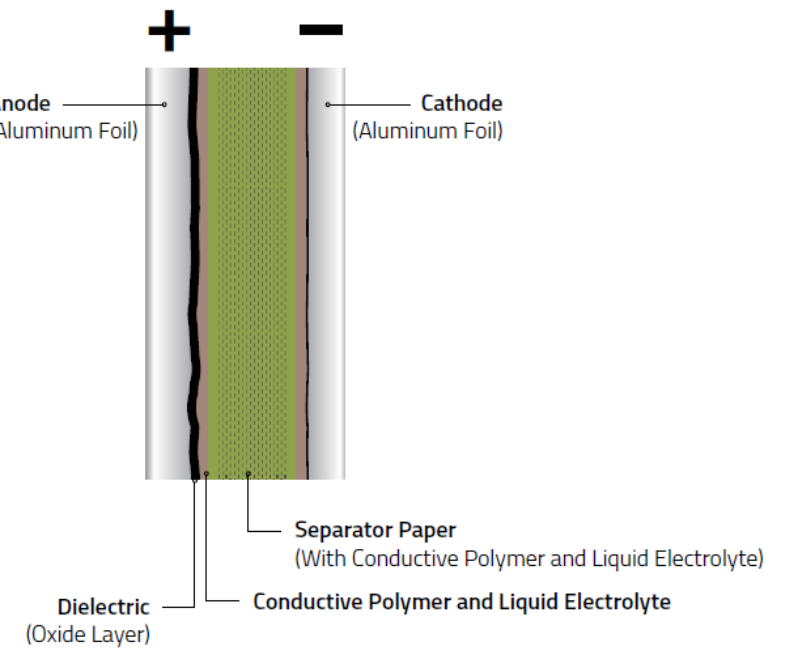
Aluminium Elektolyt



Aluminium Polymer



Aluminium Hybrid Polymer



ALUMINIUM KONDENSATOREN

Aluminium Elektrolyt

Ventilschlitzung



- Höchste Nennspannung
- Größte Bauformen (Schrauber, Snap-In,...)
- Selbstheilungseigenschaften
- Austrocknen ist lebensdauerbeschränkend

Aluminium Polymer

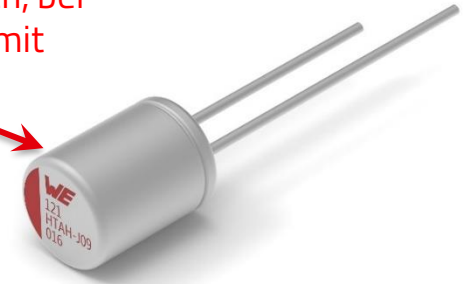
Kein Ventil



- Sehr niedriger ESR
- Sehr hoher Ripplestrom
- Sehr lange Lebensdauer
- Stabil bei niedrigeren Temperaturen
- Kleine Spannungen und Bauformen
- "Hoher" Leckstrom
- Kann vibrationsanfällig sein

Aluminium Hybrid Polymer

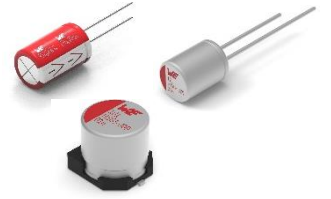
Kein Schrumpfschlauch, bei größeren Bauformen mit Ventilschlitzung



- Niedriger ESR
- Hoher Ripplestrom
- Niedriger Leckstrom
- Beste Temperaturstabilität
- Hohe Lebensdauer
- Kleine Spannungen und Bauformen

ALUMINIUM KONDENSATOREN

Lebensdauer: Unterschiedliche Technologien und Berechnungsweisen



Testbedingungen



Lifetime Performance:

Test Conditions	Endurance
Lifetime	10000 h @ 105 °C
Voltage	V_R applied
Current	I_R applied
ΔC	$\leq \pm 30$ % of initial measured value
DF	≤ 200 % of the initial specified value
ESR	≤ 200 % of the initial specified value
Leakage Current	\leq the initial specified value

End-of-life Definition



Lifetime Performance:

Test Conditions	Useful Life	Endurance
Lifetime	6000h, @ 105°C	4000h, @ 105°C
Voltage	U_R applied	U_R applied
Current	I_R	I_R
ΔC	$\leq \pm 20$ % of initial value	$\leq \pm 10$ % of initial value
DF	≤ 200 % of initial specified limit	≤ 130 % of the initial specified limit
Leakage Current	\leq the initial specified value	\leq the initial specified value

$$L_x = L_{Nom} * 2^{\frac{T_{MAX} - T_A}{10}}$$

- Alum. Elektrolyt Kondensatoren
- Alum. Hybrid Polymer
- Alum. Polymer Kondensatoren (SMD H-Chip construction only)

$$L_x = L_{Nom} * 10^{\frac{T_{MAX} - T_A}{20}}$$

- Alum. Polymer Kondensatoren (THT and V-Chip SMD)

L_x = Expected lifetime of component

L_{Nom} = Endurance of component (see datasheet)

T_{max} = Maximum allowed temperature of component

T_A = Component ambient temperature within application

ALUMINIUM KONDENSATOREN

Aluminium Elektrolyt Kondensatoren – Lebensdauerberchnung mit WE

- Arrhenius:
 - $$L_{Al.} = L_0 2^{\frac{T_{Max} - (T_x + \Delta T)}{10}} \left(\frac{V_r}{V_{max}} \right)^{V_x}$$
- Die Temperatur beeinflusst die Lebensdauer:
 - Umgebungstemperatur
 - Ripplestrom und Frequenz
- Angelegte Spannung
- Wir unterstützen gerne!
 - Z.B. bei spezifischen Mission Profiles
 - Muster mit Temperatursensor (nur für spezielle Projekte)



WE WÜRTH ELEKTRONIK **REDEXPERT**

< Expected Lifetime

SELECTION

Actual Operating Temperature

T 20°C

Applied Frequency

f 1 kHz

Applied Voltage

V 0 V

Applied Ripple Current

I_r 0 A

Do not apply Ripple Current filter

861140384001

Maximum Expected Lifetime of
13 years

ALUMINIUM KONDENSATOREN

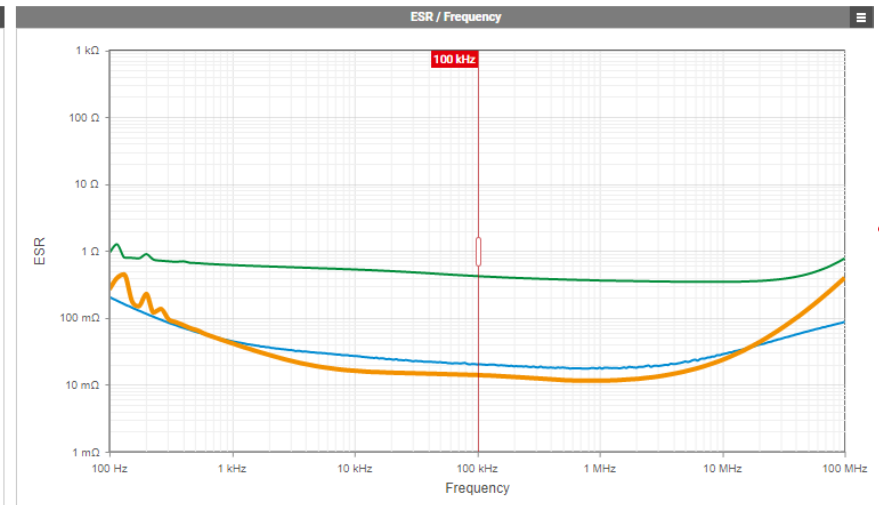
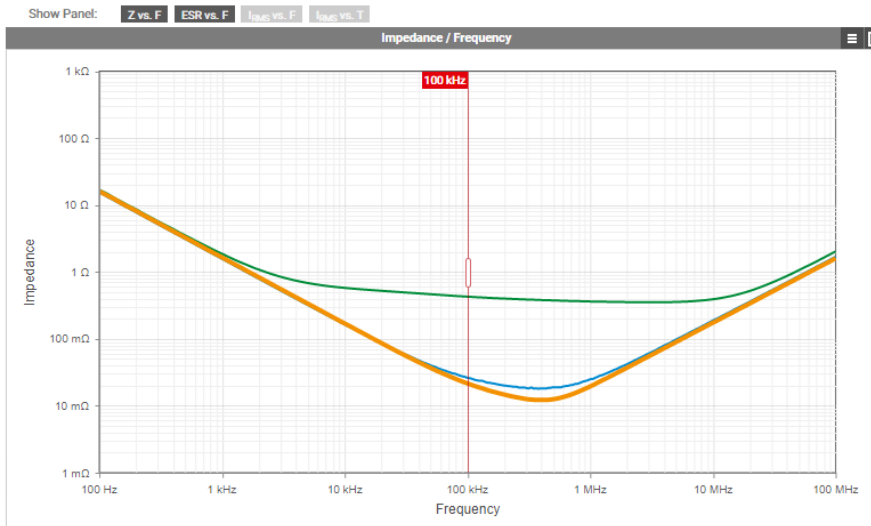
Technologie	Kapazität [μF]	Spannung [VDC]	Bauform [mm]	ESR [mΩ, typ]	Ripplestrom [mA]	LC [μA]	Temperaturbereich	Endurance [@105°C]	Erwartete Lebensdauer [h, @65°C]
Electrolytic	100	16	6.3x6.6	420	255	16 +	-55 to 105	2000	3.65 years max
Hybrid	100	16	6.3x6.6	20.1 +	1300 +	16 +	-55 to 105	10000 +	15 years max +
Polymer	100	16	6.3x6.6	14 + +	2690 + +	400	-55 to 105	2000	15 years max +

875575344001 x WCAP-HSGS 100 μF - 16.0 V
875105344010 x WCAP-PSLP 100 μF - 16.0 V
865080343009 x WCAP-ASLI 100 μF - 16.0 V

Click and type or drop an Order Code here

ADD

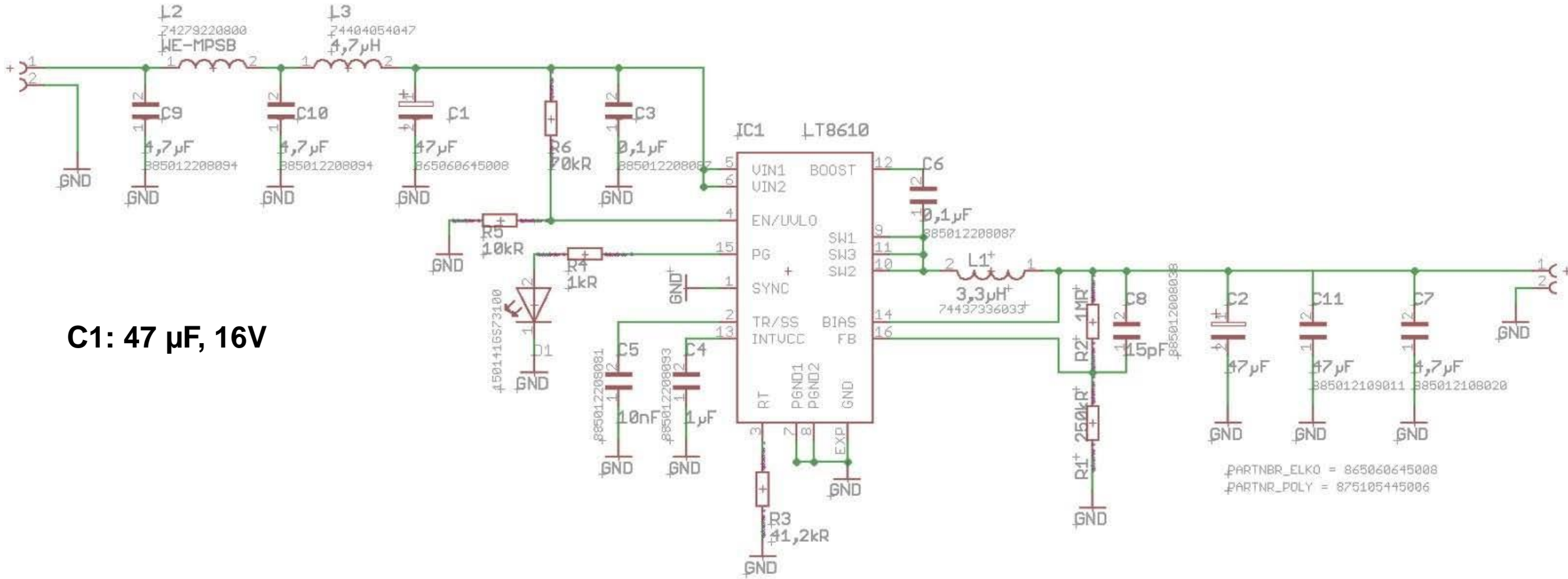
MORE



Find this and more measurements in **REDEXPERT®**

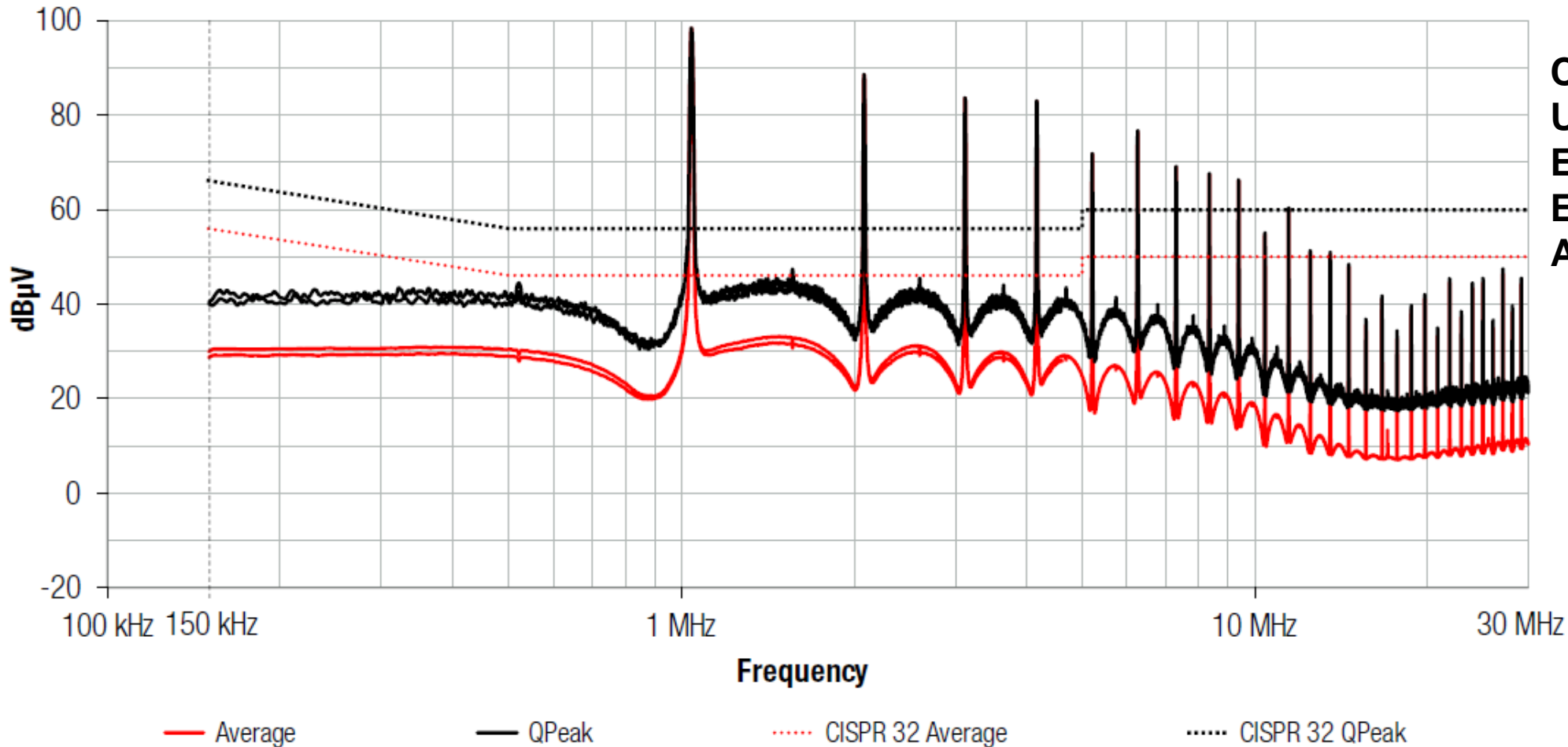


ALUMINIUM KONDENSATOREN



ALUMINIUM KONDENSATOREN

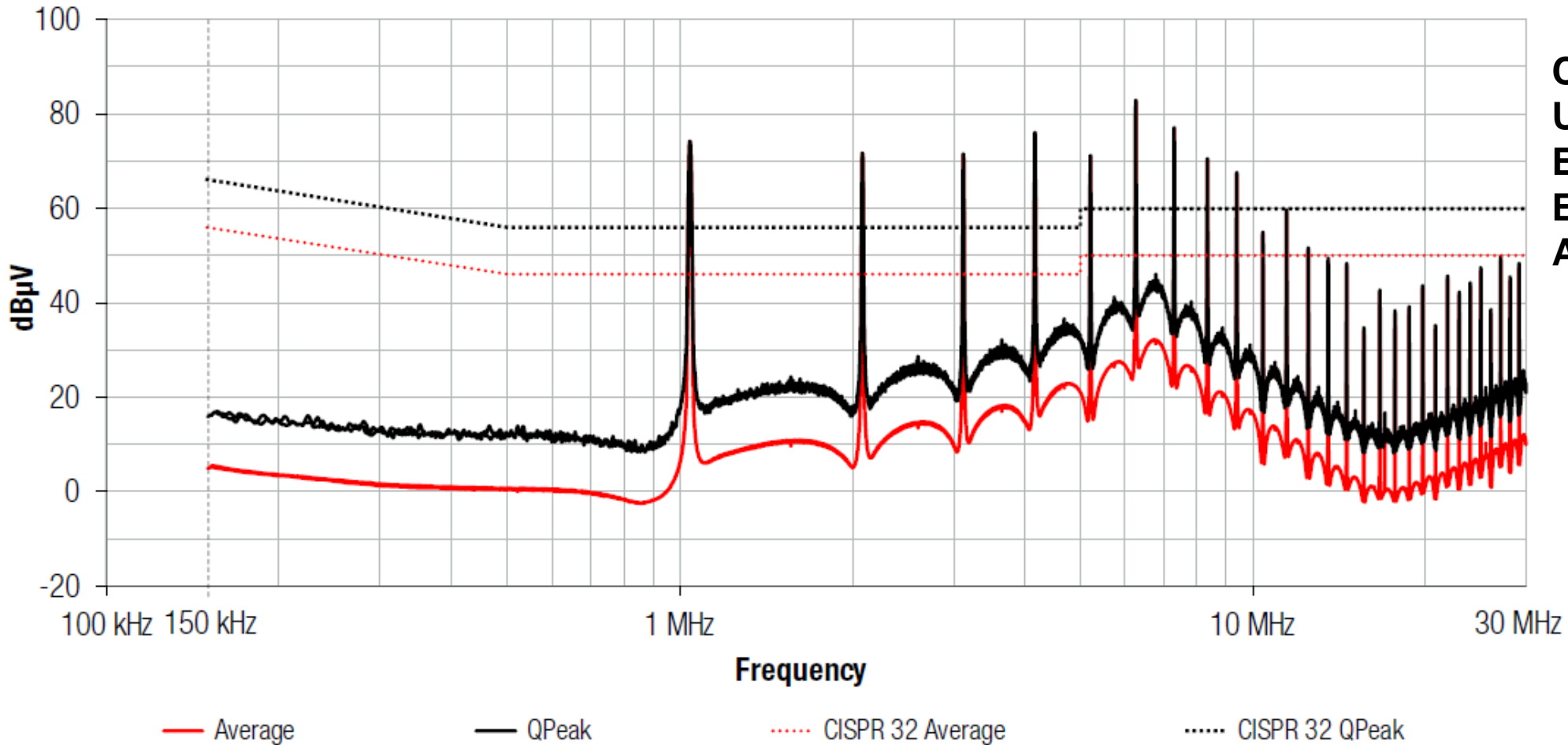
Anwendungsbeispiel: Step-Down



C: 47 µF
Ur: 16V
ESR: 411 mΩ
ESL: 19 nH
Art-Nr.: 865060343004

ALUMINIUM KONDENSATOREN

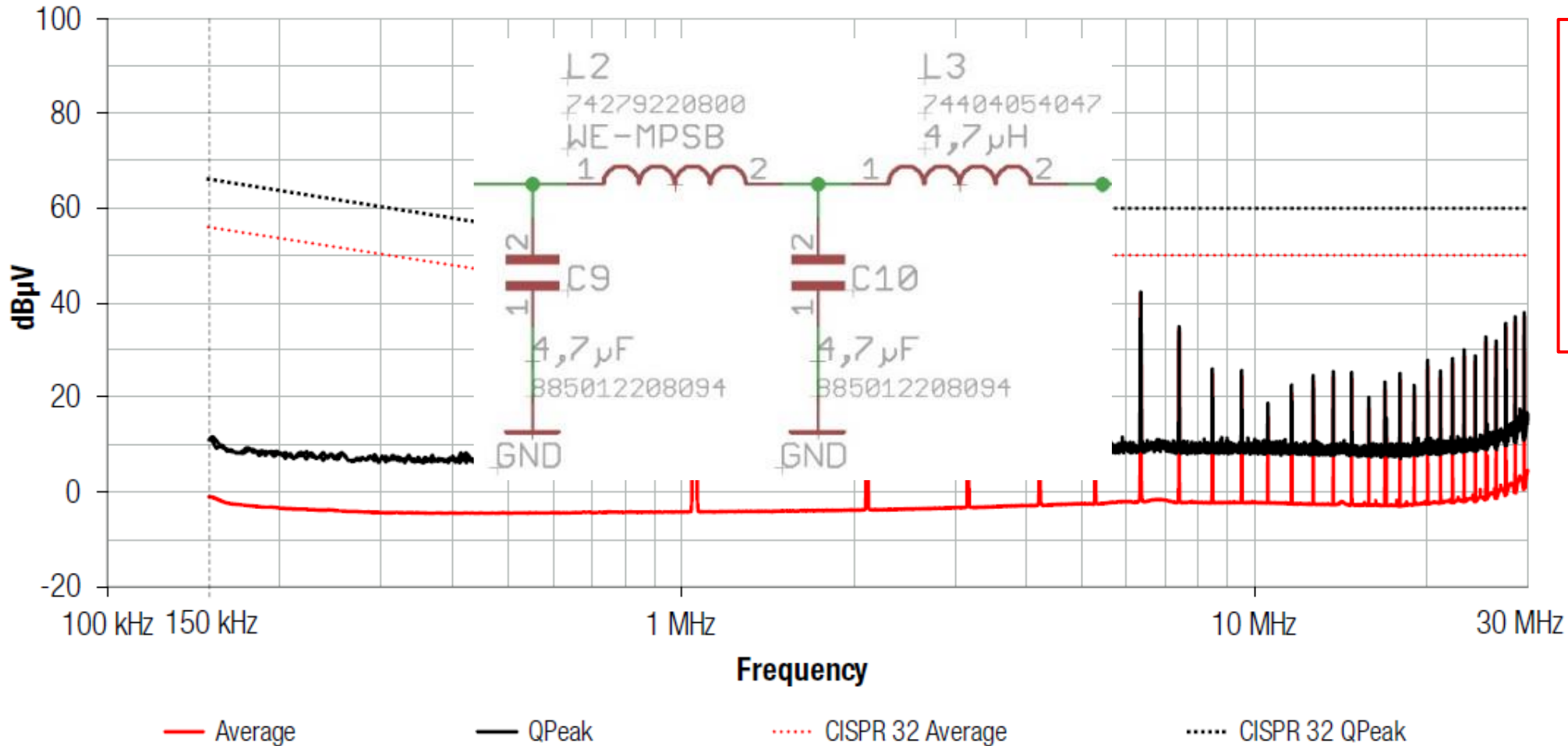
Anwendungsbeispiel: Step-Down



C: 47 µF
Ur: 16V
ESR: 20,7 mΩ
ESL: 3,9 nH
Art-Nr.: 875105344006

ALUMINIUM KONDENSATOREN

























Messergebnis mit EingangsfILTER und Polymerkondensator



Ausführliche Betrachtung in APP-Note 71: [ANP071: Aluminium-Elektrolyt- vs. Aluminium-Polymer-Kondensatoren](#)

BASICS OF CAPACITORS

Grundsätzlicher technologischer Vergleich

Technology	Max. Capacitance	Max. Voltage	Max. Current	Max. Temperature range	Application examples
Aluminum Electrolytic Capacitors	> 1F 	ca. 650 V 	ca. 0,05 A/μF 	85°C up to 150°C 	smoothing, storage, DC-Link
Aluminum Polymer Capacitors	> 4 mF 	ca. 250 V 	Ca. 0,1 A/μF 	85°C up to 150°C 	smoothing, filtering
Al. Hybrid Polymer Capacitors	> 1 mF 	ca. 400 V 	Ca. 0,1 A/μF 	85°C up to 150°C 	smoothing, filtering, DC Link
Film Capacitors	> 8 mF 	ca. 3 kV 	ca. 1 A/μF 	max. 110°C 	DC Link, interference suppression, filtering
MLCC	> 100 μF 	ca. 10 kV 	ca. 10 A/μF 	85°C up to 200°C 	interference suppression, coupling, filtering
Supercapacitors	> 350 F 	ca. 3.3 V 	ca. 0,21 A/F 	65° up to 85°C 	UPS, storage

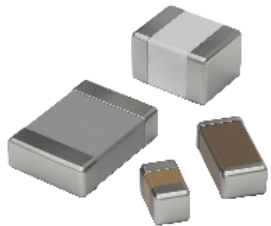
DER KONDENSATOR UND SEINE LEBENSDAUER:

WIE SIE DIE EMV PERFORMANCE UND DIE LANGLEBIGKEIT IHRER ANWENDUNG BEEINFLUSST

Zusammenfassung

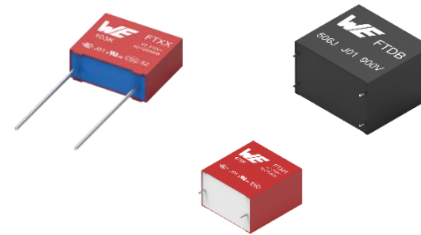
MLCC

- Klasse 1/Klasse 2
- Alterung
- DC-Bias
- Langzeit DC-Bias



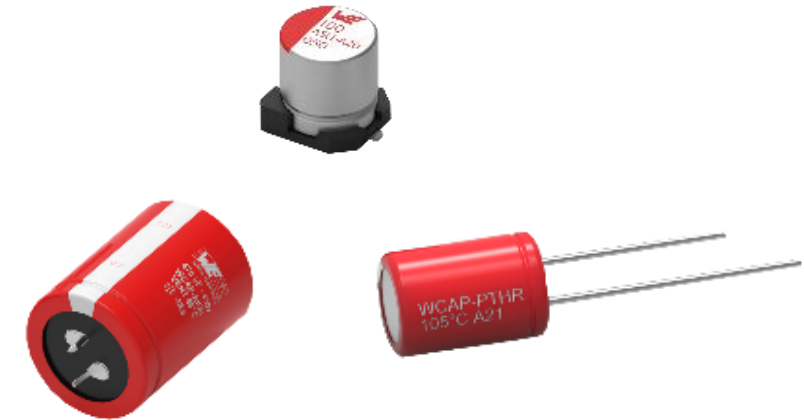
Folienkondensatoren

- Aufbau
- Selbstheilung
- X und Y Kondensatoren
- Feuchtigkeit & Temperatur
- Einfluss von Alterung auf Filtereigenschaften



Aluminum Kondensatoren

- Aluminium Elektrolyt / Polymer / Hybrid Polymer
 - Aufbau
 - Vergleich der Technologien
 - Berechnung der zu erwartenden Lebensdauer
- Alu vs. Poly in der Anwendung



Danke!