



# EMV. Theorie, Praxis und der ganze Rest - eine Fallstudie

Sarah und Chrissy

2026-06-06

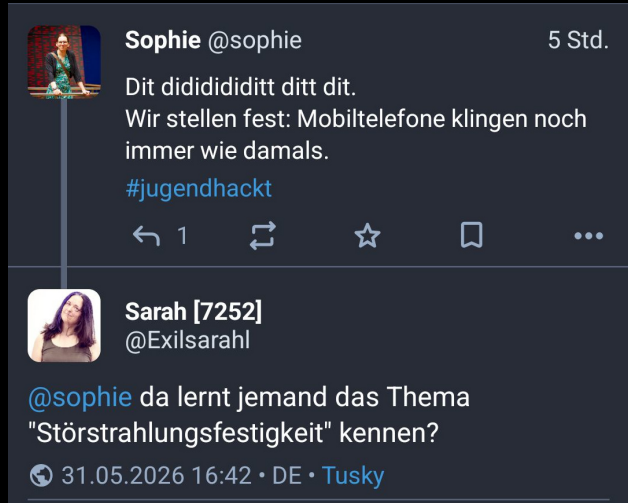
EMV for runaways



EMV. Theorie, Praxis und der ganze Rest - eine Fallstudie  
Sarah und Chrissy



EM... was?



2026-06-06

EMV for runaways

└ Grundlagen

└ EM... was?

1. Ihr kennt alle irgendwelche elektromagnetischen Effekte an Geräten
2. Damit sich Geräte nicht gegenseitig stören, gibt es Gesetze und Richtlinien
3. Geräte dürfen nicht unzulässig viel aussenden und müssen eine festgelegte Störfestigkeit aufweisen
4. Dieses CE Kennzeichen, das ihr alle kennt und die dazugehörige Konformitätserklärung sagen aus, dass der Hersteller beziehungsweise der Inverkehrbringer alle gültigen Normen und Richtlinien berücksichtigt hat.
5. Grenzwerte für Emission und Störfestigkeit und die dazugehörigen Messverfahren sind in Normen festgelegt. Das ist kein Vortrag über Normen.

EM... was?



# Wir suchen uns ein Opfer

- Okay... Wir brauchen also mal einen beispielhaften Prüfling...

2026-06-06

EMV for runaways

└ Grundlagen

└ Wir suchen uns ein Opfer

1. Das Ganze wird greifbarer, wenn wir uns also mal ein Opfer suchen und daran ein paar Messungen durchführen

Wir suchen uns ein Opfer

- Okay... Wir brauchen also mal einen beispielhaften Prüfling...

## Wir suchen uns ein Opfer

- Okay... Wir brauchen also mal einen beispielhaften Prüfling...
- Nun...



2026-06-06

## EMV for runaways

### └ Grundlagen

### └ Wir suchen uns ein Opfer

1. Das Ganze wird greifbarer, wenn wir uns also mal ein Opfer suchen und daran ein paar Messungen durchführen
2. So ein Flow3r Badge sieht nicht nur hübsch aus, es könnte auch mal interessant sein, sich das im EMV Labor genauer anzuschauen
3. Dies soll, wie erwähnt kein Vortrag über Normen sein, aber ich möchte die Normen, nach denen wir gemessen haben, nicht unerwähnt lassen, daher seht ihr gelegentlich die zu den Messungen zugrundeliegenden Normen in der Folienüberschrift.
- 4.

Wir suchen uns ein Opfer

- Okay... Wir brauchen also mal einen beispielhaften Prüfling...
- Nun...



# Prüfling da - und nun?

- Prüfungskategorie: Multimediagerät, sort of...

2026-06-06

EMV for runaways

└ Grundlagen

└ Prüfling da - und nun?

Prüfling da - und nun?

• Prüfungskategorie: Multimediagerät, sort of...

1. schauen uns also mal an, ob irgendwie „zuviel“ aus der Flow3r raus kommt. Es gibt in den Normen festgelegte Grenzwerte, die nicht überschritten werden dürfen, das ist für Multimediageräte z.B. in der CISPR 32 festgelegt
2. Ob sich das Gerät stören lässt -> Prüffeldstärke je nach Anforderung 1 ... 10 V/m für gestrahlte und leitungsgebundene Störfestigkeit
3. Aber wann ist das Gerät durch die Störfestigkeitsprüfung durchgefallen?

# Prüfling da - und nun?

- Prüfungskategorie: Multimediagerät, sort of...
- Leitungsgeführte Störaussendungen: CISPR 32
- Leitungsgeführte Störfestigkeit: IEC 61000-4-6

2026-06-06

EMV for runaways

└ Grundlagen

└ Prüfling da - und nun?

Prüfling da - und nun?

- Prüfungskategorie: Multimediagerät, sort of...
- Leitungsgeführte Störaussendungen: CISPR 32
- Leitungsgeführte Störfestigkeit: IEC 61000-4-6

1. schauen uns also mal an, ob irgendwie „zuviel“ aus der Flow3r raus kommt. Es gibt in den Normen festgelegte Grenzwerte, die nicht überschritten werden dürfen, das ist für Multimediageräte z.B. in der CISPR 32 festgelegt
2. Ob sich das Gerät stören lässt -> Prüffeldstärke je nach Anforderung 1 ... 10 V/m für gestrahlte und leitungsgebundene Störfestigkeit
3. Aber wann ist das Gerät durch die Störfestigkeitsprüfung durchgefallen?

# Prüfling da - und nun?

- Prüfungskategorie: Multimediagerät, sort of...
- Leitungsgeführte Störaussendungen: CISPR 32
- Leitungsgeführte Störfestigkeit: IEC 61000-4-6
- Gestrahlte Störaussendungen: CISPR 32
- Gestrahlte Störfestigkeit: IEC 61000-4-3

2026-06-06

EMV for runaways

└ Grundlagen

└ Prüfling da - und nun?

Prüfling da - und nun?

- Prüfungskategorie: Multimediagerät, sort of...
- Leitungsgeführte Störaussendungen: CISPR 32
- Leitungsgeführte Störfestigkeit: IEC 61000-4-6
- Gestrahlte Störaussendungen: CISPR 32
- Gestrahlte Störfestigkeit: IEC 61000-4-3

1. schauen uns also mal an, ob irgendwie „zuviel“ aus der Flow3r raus kommt. Es gibt in den Normen festgelegte Grenzwerte, die nicht überschritten werden dürfen, das ist für Multimediageräte z.B. in der CISPR 32 festgelegt
2. Ob sich das Gerät stören lässt -> Prüffeldstärke je nach Anforderung 1 ... 10 V/m für gestrahlte und leitungsgebundene Störfestigkeit
3. Aber wann ist das Gerät durch die Störfestigkeitsprüfung durchgefallen?

## Prüfling da - und nun?

- Prüfungskategorie: Multimediagerät, sort of...
- Leitungsgeführte Störaussendungen: CISPR 32
- Leitungsgeführte Störfestigkeit: IEC 61000-4-6
- Gestrahlte Störaussendungen: CISPR 32
- Gestrahlte Störfestigkeit: IEC 61000-4-3
- Eigentlich noch: ESD und Burst

2026-06-06

EMV for runaways

└ Grundlagen

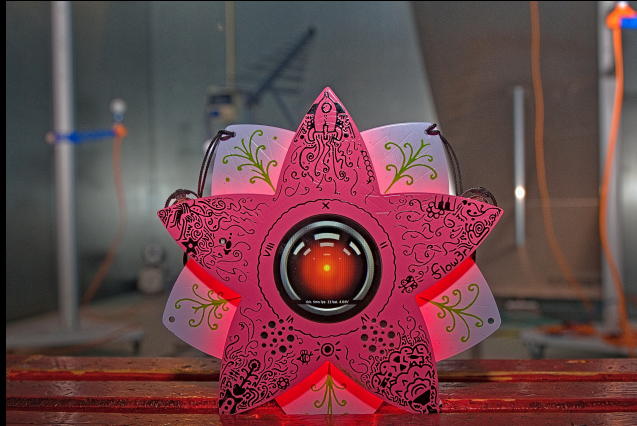
└ Prüfling da - und nun?

Prüfling da - und nun?

- Prüfungskategorie: Multimediagerät, sort of...
- Leitungsgeführte Störaussendungen: CISPR 32
- Leitungsgeführte Störfestigkeit: IEC 61000-4-6
- Gestrahlte Störaussendungen: CISPR 32
- Gestrahlte Störfestigkeit: IEC 61000-4-3
- Eigentlich noch: ESD und Burst

1. schauen uns also mal an, ob irgendwie „zuviel“ aus der Flow3r raus kommt. Es gibt in den Normen festgelegte Grenzwerte, die nicht überschritten werden dürfen, das ist für Multimediageräte z.B. in der CISPR 32 festgelegt
2. Ob sich das Gerät stören lässt -> Prüffeldstärke je nach Anforderung 1 ... 10 V/m für gestrahlte und leitungsgebundene Störfestigkeit
3. Aber wann ist das Gerät durch die Störfestigkeitsprüfung durchgefallen?

## Wie sehr gestört ist gestört genug?



2026-06-06

EMV for runaways

└ Grundlagen

└ Wie sehr gestört ist gestört genug?

1. Ja wann hat ein Gerät die Störfestigkeitsprüfung denn nicht bestanden?
2. Bei einigen Störungen ist das einfach zu sagen: Das Gerät fällt aus und geht nicht mehr an, explodiert effektiv, oder dreht durch und beginnt, die Besatzung zu töten
3. Aber ist der Prüfling durchgefallen, wenn das Display flackert oder das Gerät kurz ausgeht und wieder selbstständig neu startet? → Das ist abhängig vom Gerät und Anwendungsfall → Muss man sich vorher überlegen

Wie sehr gestört ist gestört genug?





# Electrostatic Discharge (ESD) IEC 61000-4-2



Bildquelle: [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Cat_and_styrofoam_-_electrostatic_charge_(25512299).jpg)

2026-06-06

## EMV for runaways

### └ Grundlagen

#### └ Electrostatic Discharge (ESD)

#### └ Electrostatic Discharge (ESD) IEC 61000-4-2

Electrostatic Discharge (ESD) IEC 61000-4-2



Bildquelle: [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Cat_and_styrofoam_-_electrostatic_charge_(25512299).jpg)  
Cat\_and\_styrofoam\_-\_electrostatic\_charge\_(25512299).jpg

1. Ihr kennt das: Ihr packt irgendein Gerät an und Aber gerade Schaltkreise mit ungeschützten Eingängen können Schäden davontragen.bekommt eine geballert, weil ihr euch elektrostatisch aufgeladen habt.
2. Idealerweise sollte so ein Gerät da dran nicht kaputt gehen
3. Aber gerade Schaltkreise mit ungeschützten Eingängen können Schäden davontragen.
4. Auch wenn so eine Katze niedlich ist, eignet sie sich nur begrenzt für eine ESD Normprüfung.

# Electrostatic Discharge (ESD) IEC 61000-4-2



- Vorteil: Niedlich und flauschig
- Nachteil: Nicht normgerecht

2026-06-06

EMV for runaways

└ Grundlagen

└ Electrostatic Discharge (ESD)

└ Electrostatic Discharge (ESD) IEC 61000-4-2

Electrostatic Discharge (ESD) IEC 61000-4-2



- Vorteil: Niedlich und flauschig
- Nachteil: Nicht normgerecht

1. Ihr kennt das: Ihr packt irgendein Gerät an und Aber gerade Schaltkreise mit ungeschützten Eingängen können Schäden davontragen.bekommt eine geballert, weil ihr euch elektrostatisch aufgeladen habt.
2. Idealerweise sollte so ein Gerät da dran nicht kaputt gehen
3. Aber gerade Schaltkreise mit ungeschützten Eingängen können Schäden davontragen.
4. Auch wenn so eine Katze niedlich ist, eignet sie sich nur begrenzt für eine ESD Normprüfung.

# Electrostatic Discharge (ESD) IEC 61000-4-2



- Vorteil: Niedlich und flauschig
- Nachteil: Nicht normgerecht
- (und nicht normgerecht geht gar nicht!!!!11elf

2026-06-06

EMV for runaways

└ Grundlagen

└ Electrostatic Discharge (ESD)

└ Electrostatic Discharge (ESD) IEC 61000-4-2

Electrostatic Discharge (ESD) IEC 61000-4-2

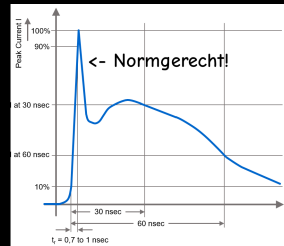
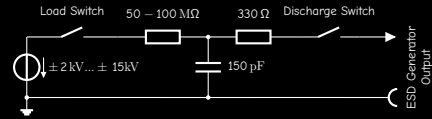
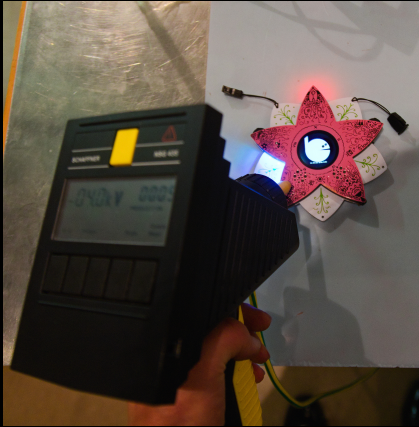


- Vorteil: Niedlich und flauschig
- Nachteil: Nicht normgerecht
- (und nicht normgerecht geht gar nicht!!!!11elf

1. Ihr kennt das: Ihr packt irgendein Gerät an und Aber gerade Schaltkreise mit ungeschützten Eingängen können Schäden davontragen.bekommt eine geballert, weil ihr euch elektrostatisch aufgeladen habt.
2. Idealerweise sollte so ein Gerät da dran nicht kaputt gehen
3. Aber gerade Schaltkreise mit ungeschützten Eingängen können Schäden davontragen.
4. Auch wenn so eine Katze niedlich ist, eignet sie sich nur begrenzt für eine ESD Normprüfung.

# Electrostatic Discharge (ESD) IEC 61000-4-2

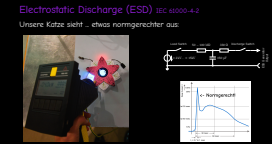
Unsere Katze sieht ... etwas normgerechter aus:



2026-06-06

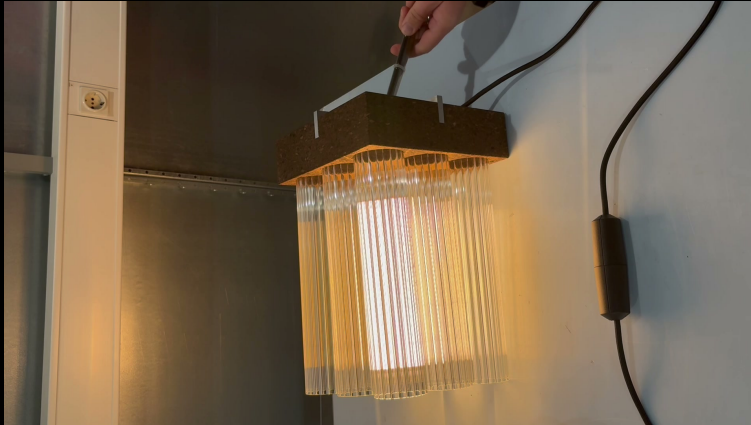
## EMV for runaways

- Grundlagen
  - Electrostatic Discharge (ESD)
    - Electrostatic Discharge (ESD) IEC 61000-4-2



1. Wir haben also so eine ESD-Pistole, die einen Kondensator definiert auf eine einstellbare Spannung von 1 kV bis 15 kV auflädt. Mit der abgerundeten Spitze können wir dann unser Gerät untersuchen und die Pistole bekommt mit, wenn es irgendwo eine Entladung ins Gerät gibt.
2. In dem Diagramm seht ihr den Stromverlauf eines Norm-ESD. Da fließt kurzzeitig zwar viel Strom, aber der Puls ist sehr schmal -> Keine große Energie im Puls.
3. Oft geht dann so eine Entladung in Buchsen oder schlecht isolierte Bereiche rein.
4. Damit damit nichts kaputt geht, sollte man Schutzschaltungen vorsehen, z.B. Dioden zwischen Eingängen nach Masse und zur Betriebsspannung (haben viele Schaltkreise schon drin) oder RC Glieder, die die Energie des ESD aufnehmen können

# Electrostatic Discharge (ESD) IEC 61000-4-2



Video bereitgestellt von Prof. Dr. Hans Georg Krauthäuser  
EMV for runaways | Sarah und Chrissy

2026-06-06

EMV for runaways

└ Grundlagen

└ Electrostatic Discharge (ESD)

└ Electrostatic Discharge (ESD) IEC 61000-4-2

Electrostatic Discharge (ESD) IEC 61000-4-2



Video bereitgestellt von Prof. Dr. Hans Georg Krauthäuser

1. Die Platte, wo wir da den ESD drauf geben, ist komplett vom Rest isoliert. Der Dimmer findet die Störeinkopplung nicht lustig und fällt aus. Das Ganze war aber reversibel und reproduzierbar.

## Surge IEC 61000-4-5



1. So ein günstiges Netzteil ohne Netzfilter und ohne Schutzschaltung findet so einen Surge nicht so gut und geht kaputt.

## Surge IEC 61000-4-5



- Stellt Blitzeinschläge in der Nähe der Stromleitung nach
- Langsamer Puls bis 4 kV und Prüfströmen bis 4 kA
- → Sehr energiereich
- → **Macht Dinge kaputt.**

Bild bereitgestellt von Prof. Dr. Hans Georg Krauthäuser

2026-06-06

## EMV for runaways

- └ Grundlagen
  - └ Surge
    - └ Surge IEC 61000-4-5

Surge IEC 61000-4-5



- Stellt Blitzeinschläge in der Nähe der Stromleitung nach
- Langsamer Puls bis 4 kV und Prüfströmen bis 4 kA
- → Sehr energiereich
- → **Macht Dinge kaputt.**

Bild bereitgestellt von Prof. Dr. Hans Georg Krauthäuser

1. So ein günstiges Netzteil ohne Netzfilter und ohne Schutzschaltung findet so einen Surge nicht so gut und geht kaputt.



## Surge IEC 61000-4-5



Video bereitgestellt von Prof. Dr. Hans Georg Krauthäuser  
EMV for runaways | Sarah und Chrissy

2026-06-06

EMV for runaways

└ Grundlagen

└ Surge

└ Surge IEC 61000-4-5

Surge IEC 61000-4-5

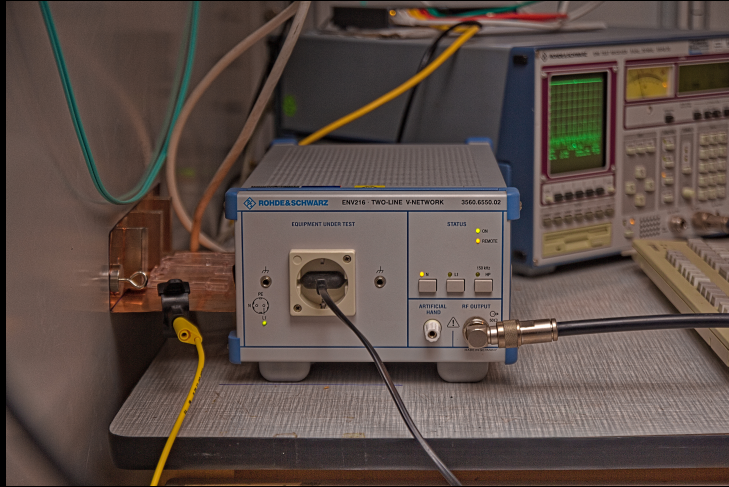


Video bereitgestellt von Prof. Dr. Hans Georg Krauthäuser

1. Hier war zwar ein Überspannungsschutz eingebaut, der hat die Energiezufuhr allerdings nicht überlebt und verlässt das Gerät gerade in Form von Rauch.



## Leitungsgeführte Störaussendung CISPR 16-1-2

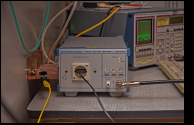


2026-06-06

### EMV for runaways

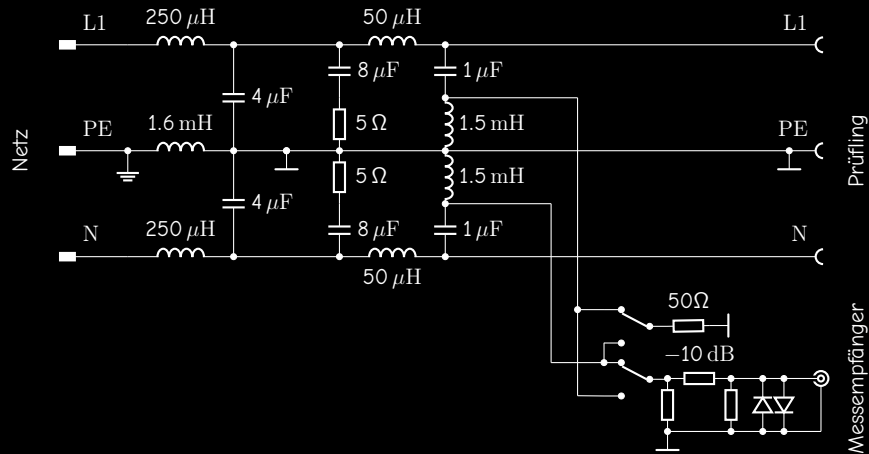
- └ Emissionsmessungen
  - └ Leitungsgeführte Störaussendung
    - └ Leitungsgeführte Störaussendung CISPR 16-1-2

Leitungsgeführte Störaussendung CISPR 16-1-2



1. Stellen dem Prüfling eine bestimmte Netzimpedanz zur Verfügung - Vergleichbarkeit
2. Koppeln hochfrequente Ströme zu einem Messempfänger aus
3. Kupferblech -> Gute HF Erde
4. Leitungsgeführt wird von 9 kHz bis 30 MHz gemessen

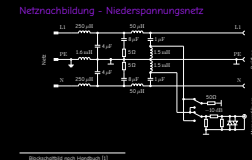
# Netznachbildung - Niederspannungsnetz



2026-06-06

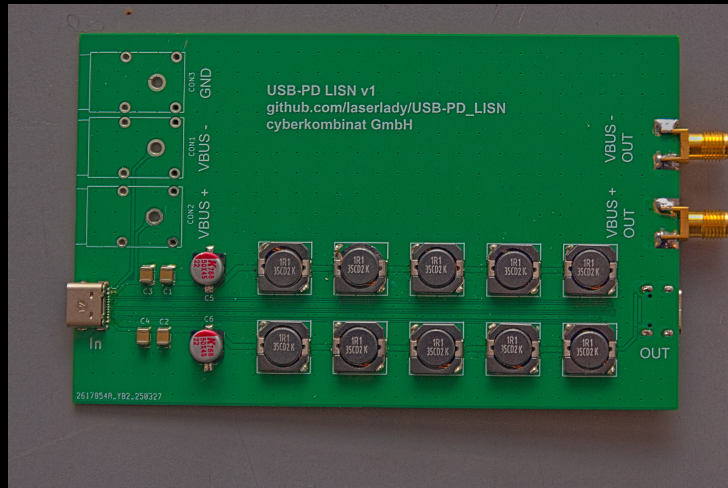
## EMV for runaways

- └ Emissionsmessungen
  - └ Leitungsgeführte Störaussendung
    - └ Netznachbildung - Niederspannungsnetz



1. Wir filtern also die Netzspannung vor, damit wir uns keine Störsignale aus dem Netz einfangen, die die Messung beeinflussen könnten
2. Dann stellen wir dem Prüfling eine definierte Netzimpedanz zur Verfügung -> Die Messungen sollen ja vergleichbar mit den Messungen aus anderen Laboren sein -> Alle sollten gleich messen.
3. Die hochfrequenten Ströme werden dann zum Messempegänger ausgekoppelt, dazwischen befindet sich noch ein Dämpfungsglied und eine Schutzschaltung für den Empfänger, zuschaltbar noch ein Hochpassfilter

# Netznachbildung - USB-C



2026-06-06

EMV for runaways

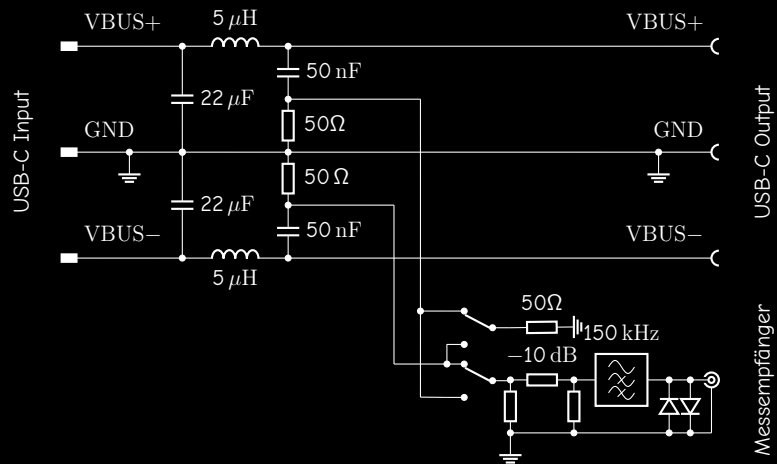
- └ Emissionsmessungen
  - └ Leitungsgeführte Störaussendung
    - └ Netznachbildung - USB-C

Netznachbildung - USB-C



1. Für verschiedene Spannungsversorgungsarten gibt es verschiedene Netznachbildungen, hier für USB-C

## Netznachbildung - USB-C

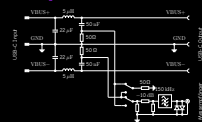


2026-06-06

### EMV for runaways

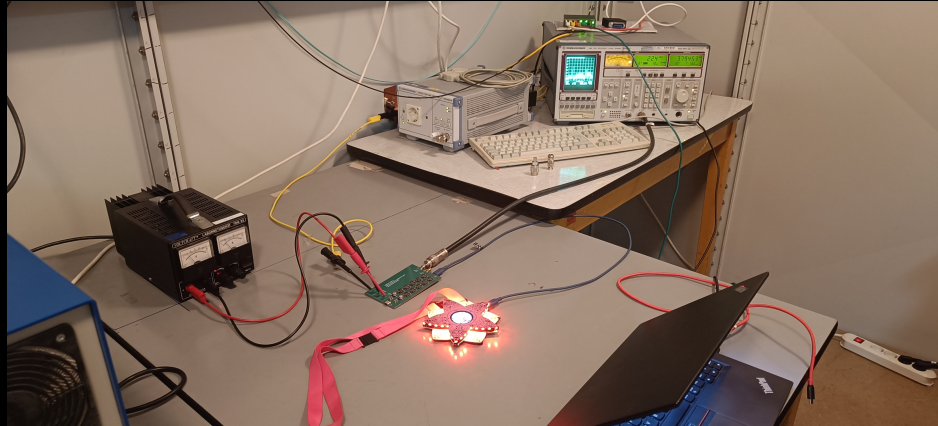
- └ Emissionsmessungen
  - └ Leitungsgeführte Störaussendung
    - └ Netznachbildung - USB-C

Netznachbildung - USB-C



1. Es gibt Netznachbildungen auch für andere Spannungsversorgungen, gibt auch welche die nur gleichtakt- oder nur Gegentaktströme auskoppeln
2. Umschaltung hier halt durch Umstecken
3. Frequenzbereich 150 kHz bis so etwa 200 MHz
4. Hochpassfilter und Limiter eingebaut
5. Nach Norm beginnen wir hier ab 150 kHz mit der Messung → Daher der Hochpass

## Flow3r Badge - Emissionen beim Laden



### EMV for runaways

- └ Emissionsmessungen
  - └ Leitungsgeführte Störaussendung
    - └ Flow3r Badge - Emissionen beim Laden

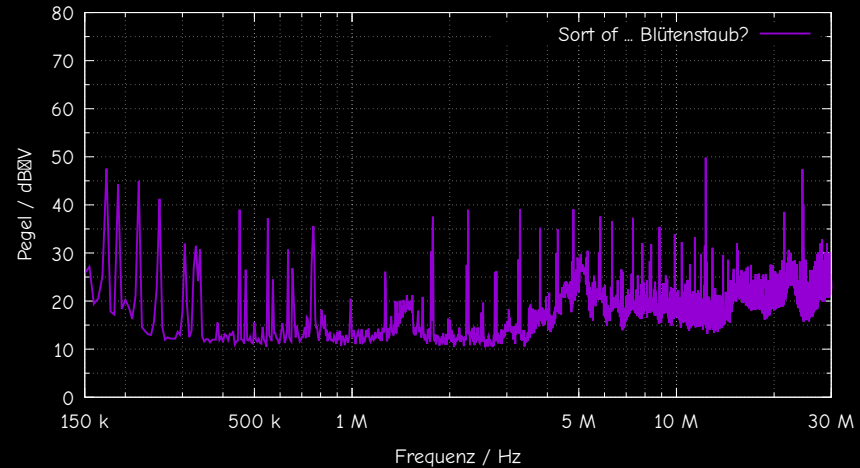
2026-06-06

Flow3r Badge - Emissionen beim Laden



1. So, Flow3r an die Netznachbildung anschließen und messen...
2. Der Messempfänger misst von 9 kHz bis 30 MHz, also schauen wir uns damit mal diesen Frequenzbereich an
3. Die Messsoftware, macht erstmal eine Peakmessung und falls die Störaussendung über den Grenzwerten liegen, wird nochmal mit Quasi-Peak oder Average bei diesen Frequenzen nachgemessen (QP und AV sind langsam, also misst man erstmal Peak)

## Flow3r Badge - Emissionen beim Laden

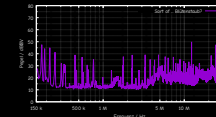


2026-06-06

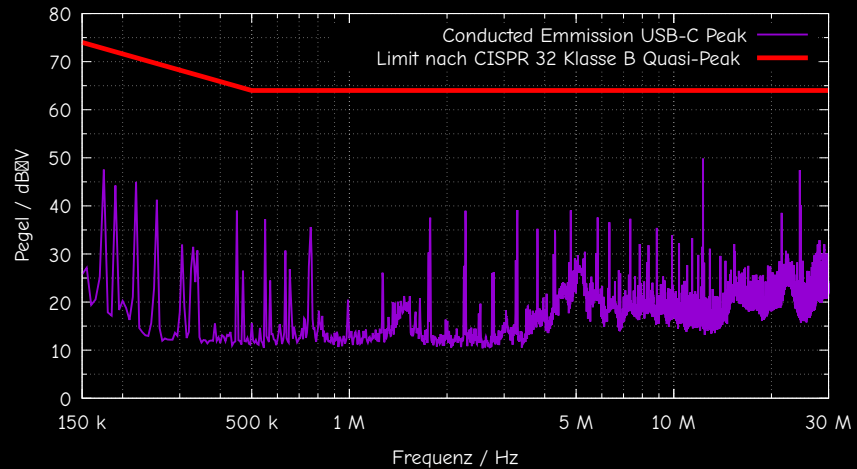
EMV for runaways

- └ Emissionsmessungen
  - └ Leitungsgeführte Störaussendung
    - └ Flow3r Badge - Emissionen beim Laden

Flow3r Badge - Emissionen beim Laden



## Flow3r Badge - Emissionen beim Laden

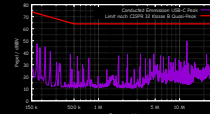


2026-06-06

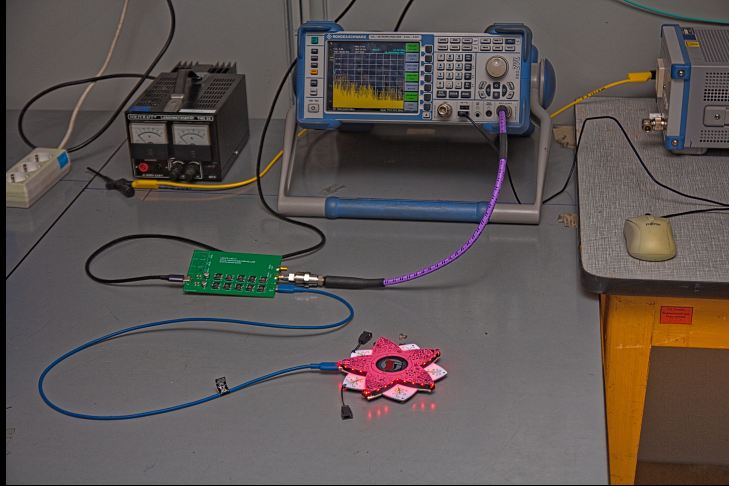
EMV for runaways

- └ Emissionsmessungen
  - └ Leitungsgeführte Störaussendung
    - └ Flow3r Badge - Emissionen beim Laden

Flow3r Badge - Emissionen beim Laden



## Flow3r Badge - Emissionen über 30MHz

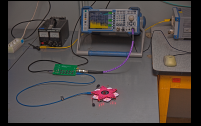


2026-06-06

### EMV for runaways

- └ Emissionsmessungen
  - └ Leitungsgeführte Störaussendung
    - └ Flow3r Badge - Emissionen über 30MHz

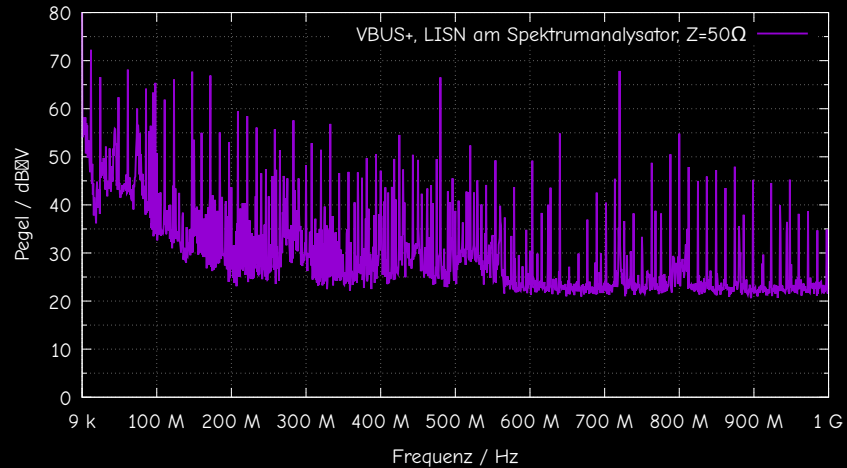
Flow3r Badge - Emissionen über 30MHz



1. Der Messempfänger misst nur bis 30 MHz, wir können aber für höherfrequente Messungen mal einen Spektrumanalysator anschließen
2. Der Spektrumanalysator gibt Messwerte in dBm aus, um den Plot vergleichbar zu halten können wir die Messwerte für den Plot auf dB $\mu$ V umrechnen - mit  $Z=50\text{ Ohm}$ .



## Flow3r Badge - Emissionen über 30MHz

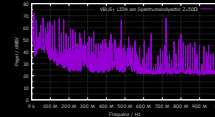


2026-06-06

### EMV for runaways

- └ Emissionsmessungen
  - └ Leitungsgeführte Störaussendung
    - └ Flow3r Badge - Emissionen über 30MHz

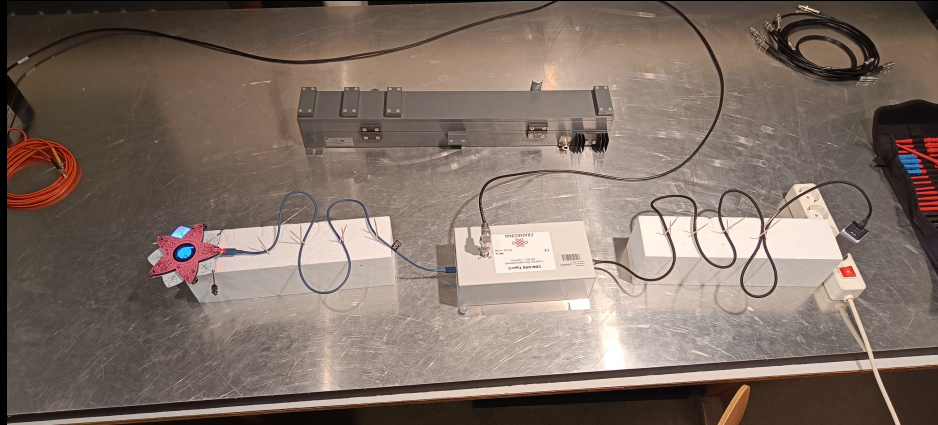
Flow3r Badge - Emissionen über 30MHz



1. Der Messempfänger misst nur bis 30 MHz, wir können aber für höherfrequente Messungen mal einen Spektrumanalysator anschließen
2. Der Spektrumanalysator gibt Messwerte in dBm aus, um den Plot vergleichbar zu halten können wir die Messwerte für den Plot auf dBμV umrechnen - mit  $Z=50 \text{ Ohm}$ .

# Leitungsgeführte Störfestigkeit - Coupling/Decoupling Network (CDN) IEC

61000-4-6



## EMV for runaways

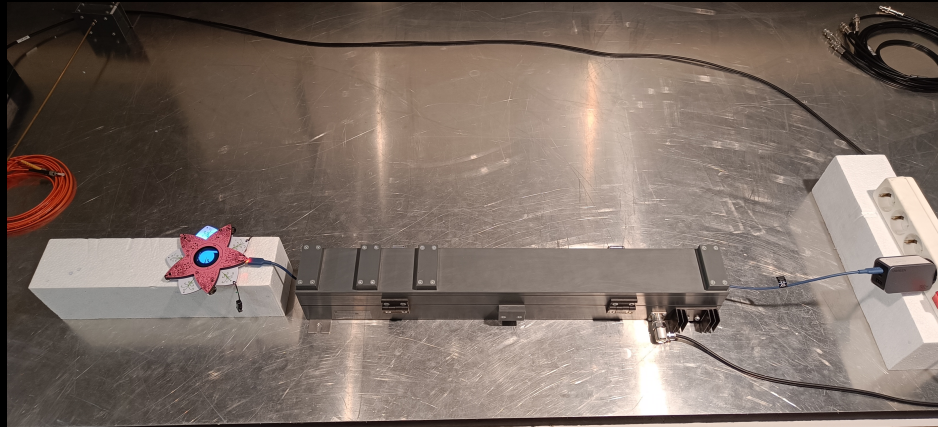
- └ Emissionsmessungen
  - └ Leitungsgeführte Störfestigkeit
    - └ Leitungsgeführte Störfestigkeit - Coupling/Decoupling Network (CDN) IEC 61000-4-6

2026-06-06



1. Wenn wir leitungsgeführt Störemissionen messen können, können wir leitungsgebunden auch Störspannungen einkoppeln. Dazu gibt es Coupling/Decoupling Networks (CDNs). Die Anordnung kalibrieren wir zuerst darauf, dass am Prüfling eine zu einer Feldstärke 10 V/m äquivalente Störspannung im Frequenzbereich von 9 kHz bis 80 MHz eingekoppelt wird und dann wird der Prüfling angeschlossen.

# Leitungsgeführte Störfestigkeit - Koppelzange IEC 61000-4-6



2026-06-06

## EMV for runaways

- └ Emissionsmessungen
  - └ Leitungsgeführte Störfestigkeit
    - └ Leitungsgeführte Störfestigkeit - Koppelzange IEC 61000-4-6



1. Diese Koppelzange koppelt magnetisch auf das Kabel ein, Man legt das Kabel dann zwischen Ringe aus Ferrit (hochpermeables Material) und baut sich so einen Hochfrequenztransformator, der in das Kabel magnetisch einkoppelt
2. Wenn man das Badge nicht, wie in der Norm vorgeschrieben 10 cm über der Massefläche platziert, sondern direkt darauf legt, dann kann man es im Frequenzbereich von 32 MHz bis 40 MHz bei 10 V/m Prüffeldstärke zum bootloopen bringen.

## Freifeld CISPR 16



Bildquelle: <https://tu-dresden.de/ing/elektrotechnik/eti/te/forschung/labor>

2026-06-06

EMV for runaways

└─Prüfumgebungen für Gestrahltes...

└─Freifeld CISPR 16

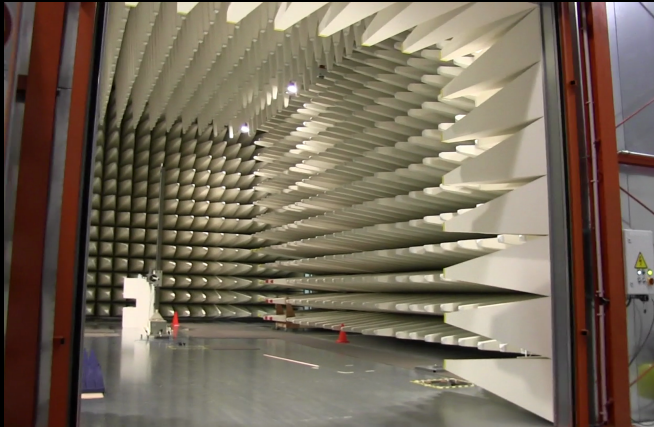
Freifeld CISPR 16



Bildquelle: <https://tu-dresden.de/ing/elektrotechnik/eti/te/forschung/labor>

1. Prüfling -> Acker -> Antenne -> eine Wellenlänge weg ( $30 \text{ MHz} = 10\text{m}$ ), messen, what could possibly go wrong?
2. Regen ändert ja die Reflexionseigenschaften vom Boden -> Metallgitter auf den Boden, Höhenscan, um Rden Einfluss der Reflexionen am Boden raus rechnen zu können
3. Findet den Fehler an dem Freifeld auf dem Bild...

## Absorberkammer CISPR 16



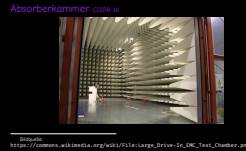
Bildquelle:

2026-06-06

EMV for runaways

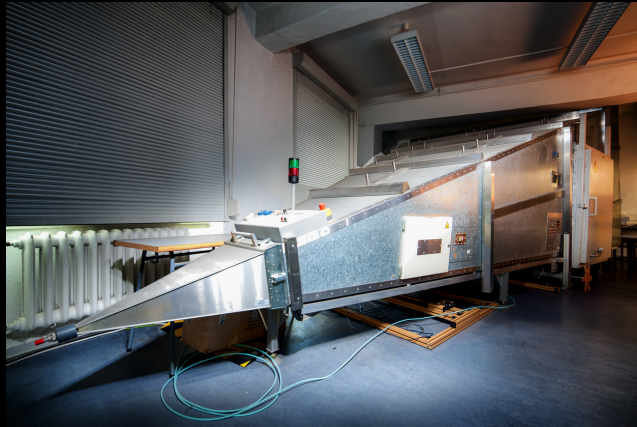
└─Prüfumgebungen für Gestrahltes...

└─Absorberkammer CISPR 16



1. Gut, packen wir das alles mal nach drinnen
2. Was sind das für weiße Spitzen?! -> Absorber, Wände reflektieren ja sonst
3. Freifeld immernoch Goldstandard -> Blechboden und Höhenscan
4. Wenn man nach ab 30 MHz messen will wird das Ding ja riesig, die Absorber sind ja auch nochmal lang

## GTEM Zelle IEC 61000-4-20

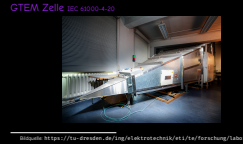


Bildquelle: <https://tu-dresden.de/ing/elektrotechnik/eti/te/forschung/labor>

2026-06-06

### EMV for runaways

- └─ Prüfumgebungen für Gestrahltes...
- └─ Alternative Prüfumgebungen
- └─ GTEM Zelle IEC 61000-4-20

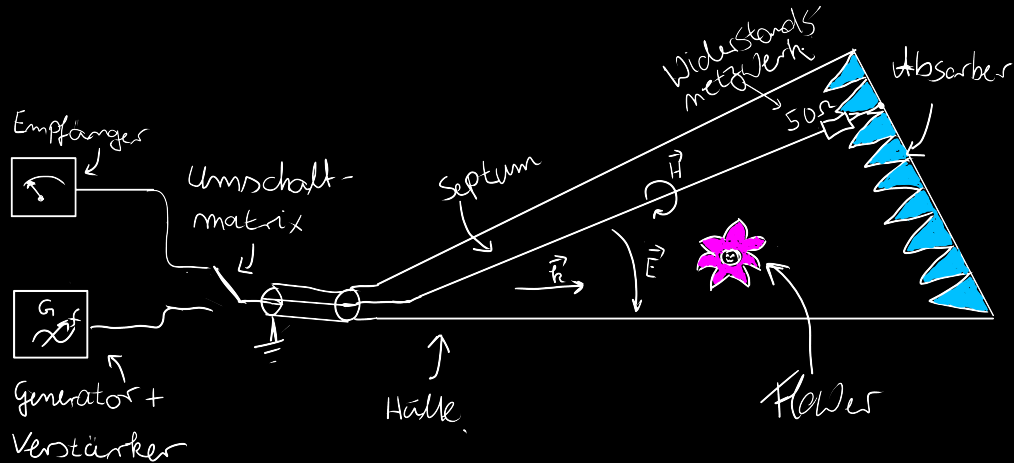


Bildquelle: <https://tu-dresden.de/ing/elektrotechnik/eti/te/forschung/labor>

1. Wir haben den Platz nicht -> Nun da gibts was von Ratiopharm
2. TEM-Zellen -> aufgeweiteter Wellenleiter (stellt euch also ein aufgeblasenes Koaxkabel vor)
3. GTEM -> Gigahertz Transversal ElektroMagnetisch -> TEM Welle -> Fernfeldbedingungen -> E und H miteinander verkoppelt



## GTEM Zelle - Skizze

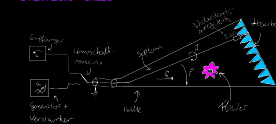


2026-06-06

EMV for runaways

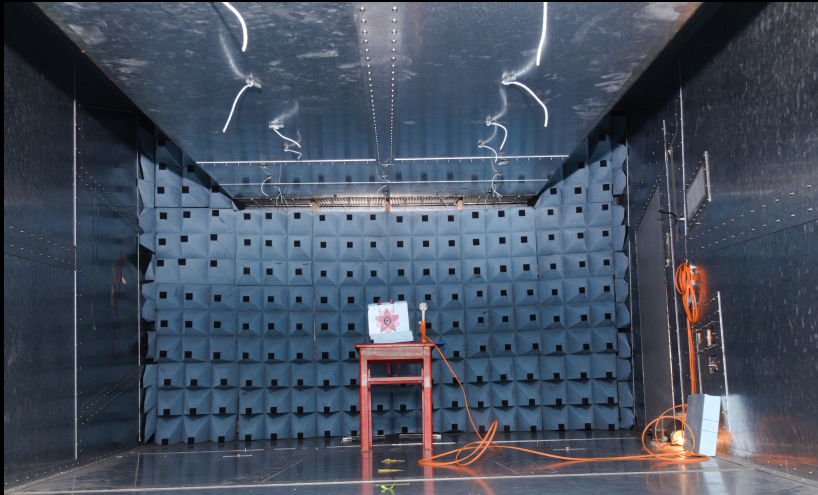
- └ Prüfungen für Gestrahltes...
- └ Alternative Prüfungen
- └ GTEM Zelle - Skizze

GTEM Zelle - Skizze



1. Okay, Wir haben einen Innenleiter, einen Außenleiter, felder...
2. E, H und k stehen senkrecht aufeinander -> Moment, das ist eine Welle im Fernfeld
3. Durch die Wellenleiterstruktur gehen TEM-Zellen runter bis DC -> super!
4. Hm, aber hinten hätten wir auch wieder Reflexionen an der Wand -> Absorber + Widerstände, um den Wellenleiter abzuschließen. (vergleiche: Offenes oder kurzgeschlossenes Kabel hat Reflexionen am Ende)
5. Wir können über eine Schaltmatrix einen Messempfänger oder einen Sender anschließen -> Emissionsmessungen und Störfestigkeitsmessungen möglich

## GTEM Zelle - Blick in Richtung Absorber



2026-06-06

### EMV for runaways

- └ Prüfumgebungen für Gestrahltes...
- └ Alternative Prüfumgebungen
  - └ GTEM Zelle - Blick in Richtung Absorber

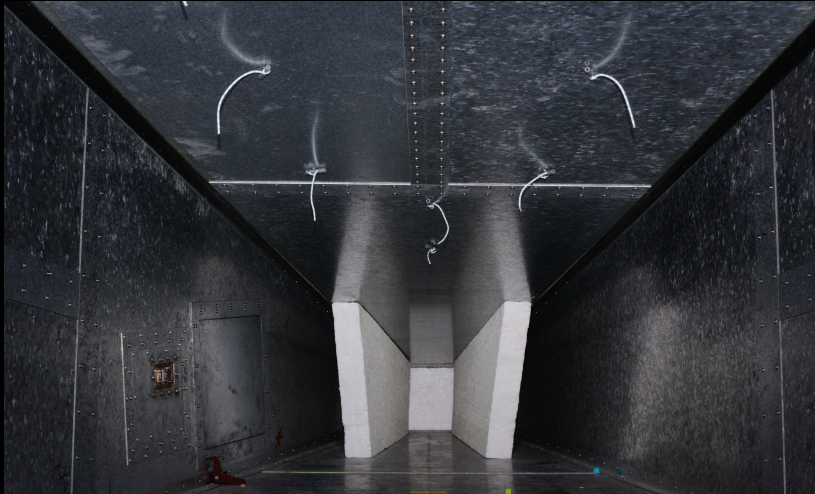
GTEM Zelle - Blick in Richtung Absorber



1. so sieht das dann aus -> septum (innenleiter), Draußen die Wand, genug Platz für den Prüfling



## GTEM Zelle - Blick in Richtung Spitze

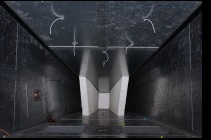


2026-06-06

### EMV for runaways

- └ Prüfumgebungen für Gestrahltes...
- └ Alternative Prüfumgebungen
  - └ GTEM Zelle - Blick in Richtung Spitze

GTEM Zelle - Blick in Richtung Spitze



1. Und hier Blick in Richtung Spitze, da hinten kommt dann unser Rack mit den ganzen tollen Messgeräten dran

## Flow3r Badge - Gestrahlte Störaussendung



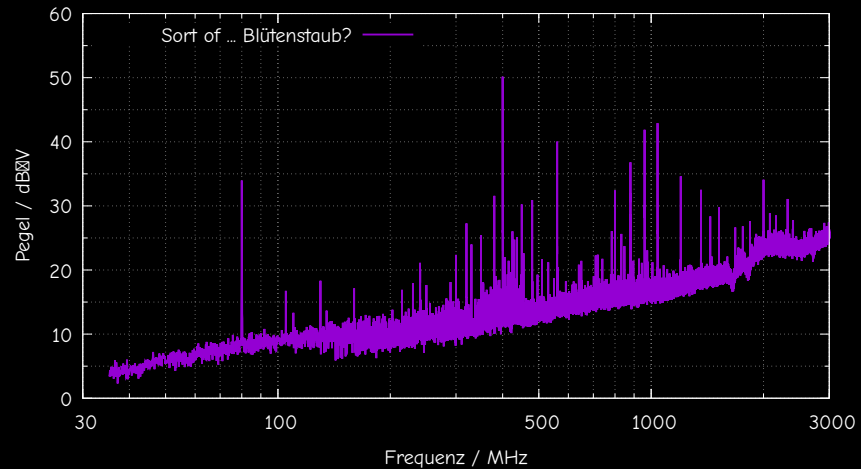
### EMV for runaways

- └ Prüfungen für Gestrahltes...
- └ Alternative Prüfungen
  - └ Flow3r Badge - Gestrahlte Störaussendung



1. Wir stellen die Flow3r also in die GTEM Zelle - hier mit Kabel dran, ich habe aber auch ohne Kabel gemessen
2. Drei Ausrichtungen -> X, Y, Z, um Emissionen in allen Richtungen auch detektieren zu können
3. Korrelationsrechnung auf Freifeldberechnungen. Macht die verwendete Messsoftware aus den drei Messungen und der Geometrie der GTEM Zelle. (Formel steht in Norm, Software macht lustige Blackbox-Dinge)

# Gestrahlte Störaussendung - ohne Kabel

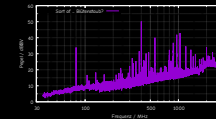


## EMV for runaways

- └ Prüfumgebungen für Gestrahltes...
- └ Alternative Prüfumgebungen
- └ Gestrahlte Störaussendung - ohne Kabel

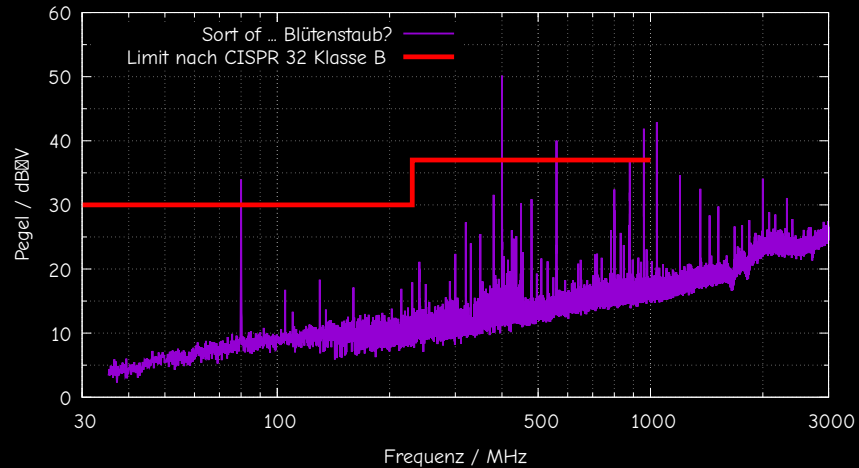
2026-06-06

Gestrahlte Störaussendung - ohne Kabel



1. Okay, da kommt was raus...
2. Bei 80 MHz, 400 MHz und um so 1 GHz kommt ganz schön viel raus

## Gestrahlte Störaussendung - ohne Kabel

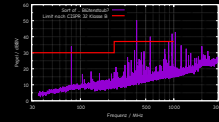


### EMV for runaways

- └ Prüfumgebungen für Gestrahltes...
- └ Alternative Prüfumgebungen
- └ Gestrahlte Störaussendung - ohne Kabel

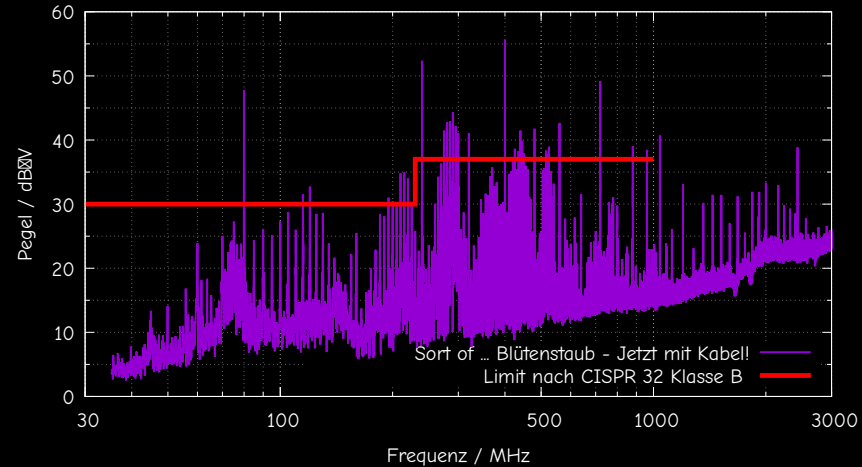
2026-06-06

Gestrahlte Störaussendung - ohne Kabel



1. Und das ist mit dem Grenzwert, CISPR 32 Klasse B
2. Ups... Ganz schön viel, stellenweise 25 dB überm Grenzwert, also fast das 12-Fache (Wir haben hier ja ein Amplitudenverhältnis)

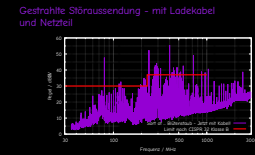
# Gestrahlte Störaussendung - mit Ladekabel und Netzteil



2026-06-06

## EMV for runaways

- └ Prüfumgebungen für Gestrahltes...
- └ Alternative Prüfumgebungen
- └ Gestrahlte Störaussendung - mit Ladekabel und Netzteil



1. sieht mit Ladekabel und Netzteil nicht besser aus...
2. Da sind bei 400 MHz jetzt sogar um die 35 dB, also so grob fast das 33 Fache!

## Gestrahlte Störfestigkeit - GTEM Zelle



### EMV for runaways

- └ Prüfungen für Gestrahltes...
- └ Gestrahlte Störfestigkeit
- └ Gestrahlte Störfestigkeit - GTEM Zelle

2026-06-06

Gestrahlte Störfestigkeit - GTEM Zelle



1. Feldsonde in der GTEM Zelle dazu packen, die misst das elektrische Feld in drei Achsen im Frequenzbereich von 9 kHz bis 8,2 GHz
2. Messsoftware (Mpylab) macht damit eine geschlossene Regelschleife, um für jede Frequenz die Prüffeldstärke einzustellen - Norm sieht das so nicht vor, wir forschen da dran
3. Wir braten nicht nur CW mit einer festen Frequenz drauf, sondern modulieren das Prüfsignal mit 80 % AM, 1 kHz -> Demodulation an Nichtlinearitäten -> 1 kHz im Gerät und das kann da drin Dinge tun
4. Stellt sich raus: ist langweilig...
5. Wir brauchen mehr Feldstärke...

## Modenverwirbelungskammer IEC 61000-4-21



Quelle: Internet

EMV for runaways

- └ Prüfungen für Gestrahltes...
- └ Modenverwirbelungskammer
- └ Modenverwirbelungskammer IEC 61000-4-21

2026-06-06

Modenverwirbelungskammer IEC 61000-4-21



Quelle: Internet

1. Sag mal... in so ner Mikrowelle herrschen doch riesengroße Feldstärken
2. Könnten wir die Flow3r nicht einfach in die Mikrowelle tun?!



# Modenverwirbelungskammer (MVK) IEC

61000-4-21



## EMV for runaways

- └ Prüfungen für Gestrahltes...
- └ Modenverwirbelungskammer
- └ Modenverwirbelungskammer (MVK) IEC 61000-4-21

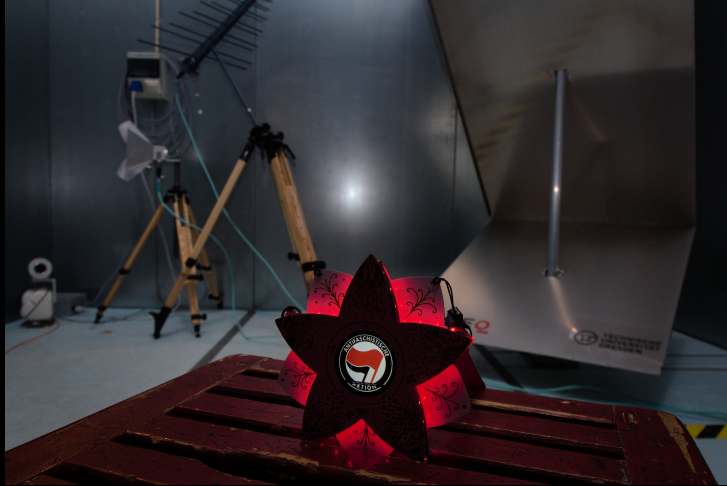
2026-06-06



1. Mikrowelle? Ja, das wird auch gemacht!
2. Modenverwirbelungskammer ist das Gegenteil zur Absorberkammer. Metallische Wände → *reflektierengut, Hohlraumresonator*
2. Was ist das für ein zackiges Ding da hinten in der Ecke? -> Modenrührer
3. Reflektierte Wellen überlagern sich, es bilden sich stehende Wellen in der Kammer aus, Modenrührer verschiebt die Position der Maxima und Minima durch Änderung der Randbedingungen der Kammer -> Gut gerührtes Feld
4. Das Ganze gibt es auch als Modenverwirbelungszelt: Wände aus leitfähigem Stoff, dann wird das Zelt zum „verwirbeln“ der Moden geschüttelt und nicht gerührt



## Flow3r Badge - Störfestigkeit in der MVK

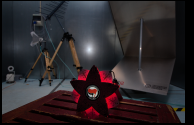


2026-06-06

### EMV for runaways

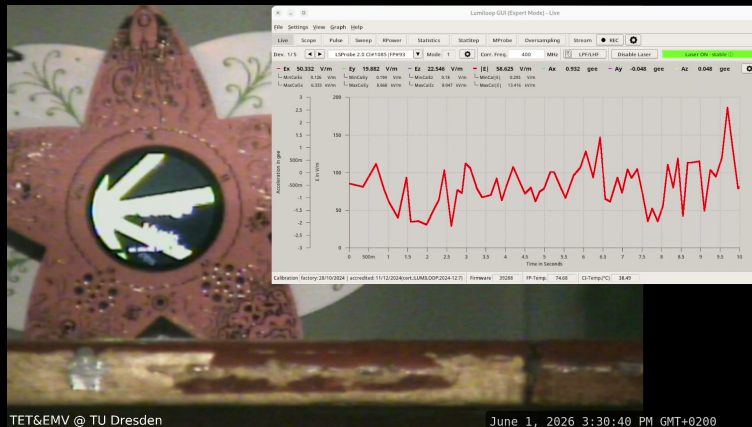
- └─ Prüfumgebungen für Gestrahltes...
- └─ Modenverwirbelungskammer
- └─ Flow3r Badge - Störfestigkeit in der MVK

Flow3r Badge - Störfestigkeit in der MVK



1. Okay, also mal drauf braten
2. im Handbetrieb um die Frequenzen herum, wo viel raus kam, hier 400 MHz, Feldstärke langsam erhöht, etwas mit der Frequenz variiert
3. Bis 100 V/m passiert nahezu nichts, darüber beginnt das Menü sich ab und an selbstständig zu bedienen und wenn die ersten Spitzen 150 V/m oder manchmal erst 200 V/m überschreiten, fällt das Badge aus. Respekt...

# Flow3r Badge - Störfestigkeit in der MVK

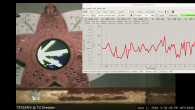


## EMV for runaways

- └ Prüfungen für Gestrahltes...
- └ Modenverwirbelungskammer
- └ Flow3r Badge - Störfestigkeit in der MVK

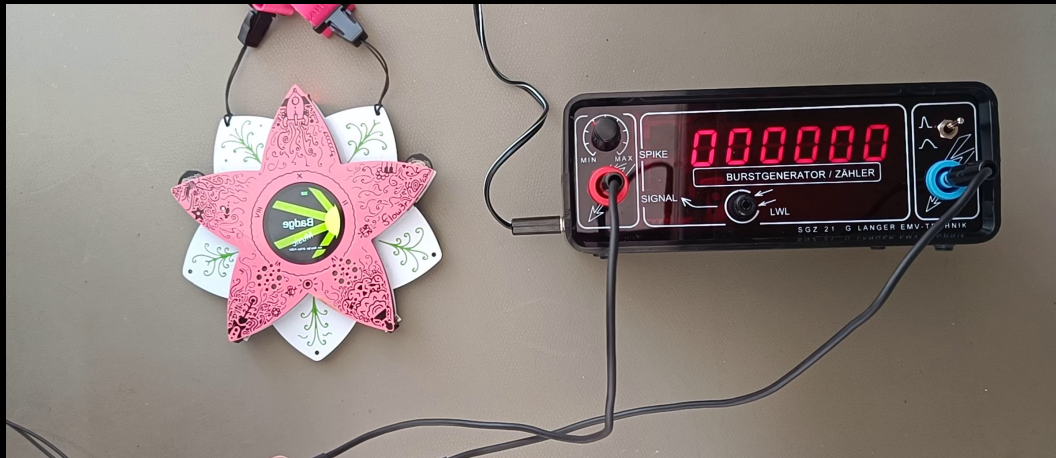
2026-06-06

Flow3r Badge - Störfestigkeit in der MVK



1. 200 V/m sind schon Felstärken, bei denen ernsthafte Schäden am Gerät entstehen können: Weg gebrannte Leiterbahnen sind da keine Seltenheit.
2. Wenn wir die Leistung am HF Generator ausschalten, fällt die Feldstärke in der Kammer mit einer bestimmten Zeitkonstante ab, je nach Güte der Kammer (Güte  
→ *WieverlustarmistdieKammer?HoheGte → wenigVerluste*)

## Fault-Injection über Nahfeldsonden



2026-06-06

### EMV for runaways

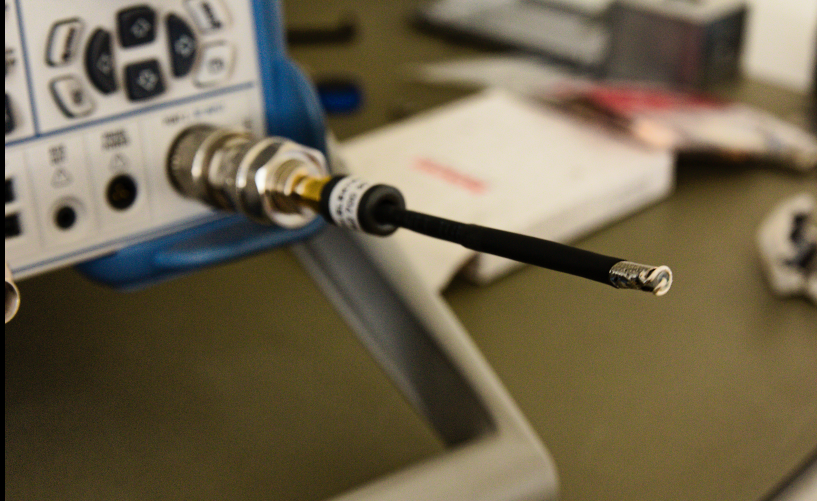
- └ Prüfungen für Gestrahltes...
- └ Modenverwirbelungskammer
- └ Fault-Injection über Nahfeldsonden

Fault-Injection über Nahfeldsonden



1. Mit diesem kleinen Burstgenerator können wir gezielt Störungen über so eine Nahfeldsonde einkoppeln und dabei Stellen suchen, die wo man Störungen einkoppeln kann.
2. Hier können wir sogar Bits zum Flippen bringen, und wenn man oft genug probiert, kann man z.b. das Bild auf dem Display invertieren oder die Farben. Meistens geht es aber einfach nur aus.

## Nahfeldscans für Arme Katzen ...



2026-06-06

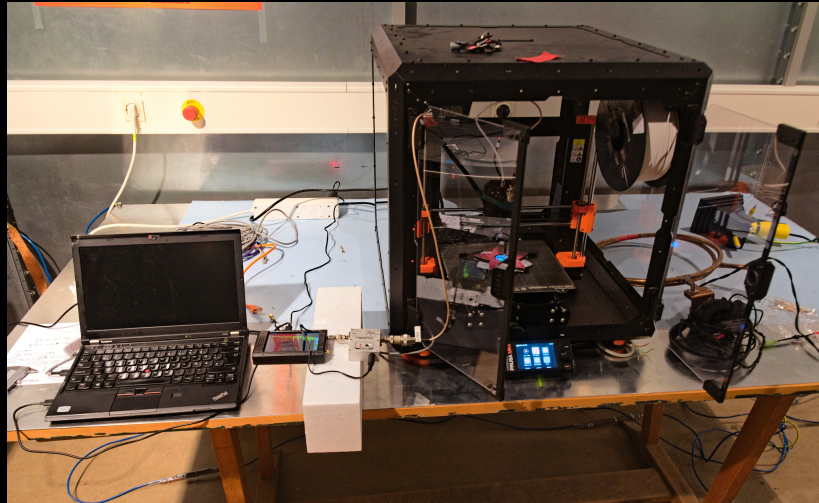
EMV for runaways

- └─ Prüfungsumgebungen für Gestrahltes...
- └─ Nahfeld-Scanns
- └─ Nahfeldscans für Arme Katzen ...

1. 3D Drucker + Tiny SA + Selbst gebaute Nahfeldsonde



## Nahfeldscans für Arme Katzen ...



2026-06-06

EMV for runaways

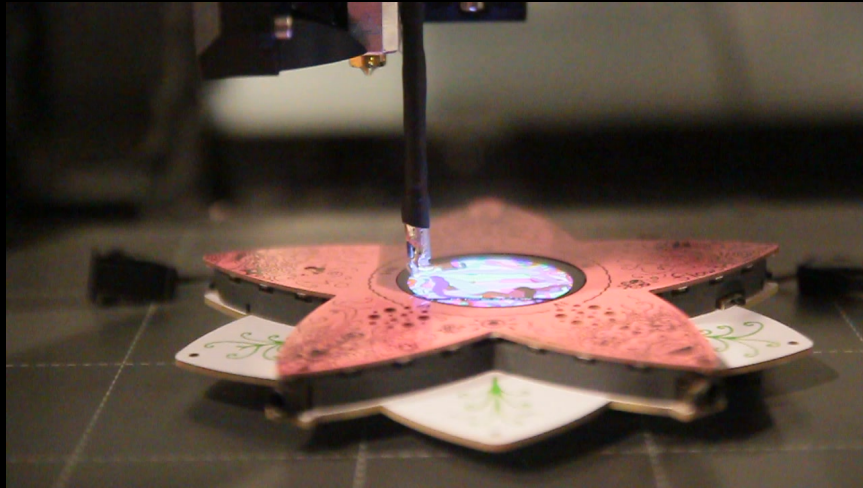
- └ Prüfungen für Gestrahltes...
- └ Nahfeld-Scans
- └ Nahfeldscans für Arme Katzen ...

1. 3D Drucker + Tiny SA + Selbst gebaute Nahfeldsonde





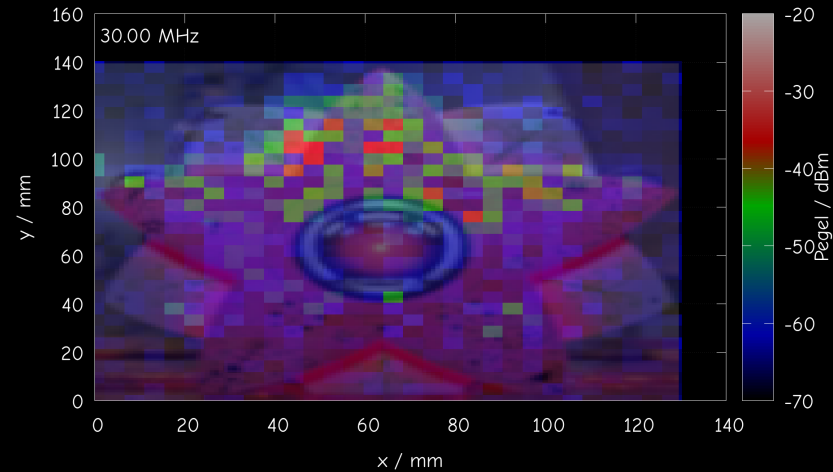
## Nahfeldscans für Arme Katzen ...



- 2026-06-06
- EMV for runaways
    - └ Prüfungen für Gestrahltes...
    - └ Nahfeld-Scans
      - └ Nahfeldscans für Arme Katzen ...



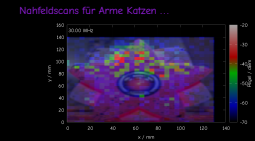
## Nahfeldscans für Arme Katzen ...



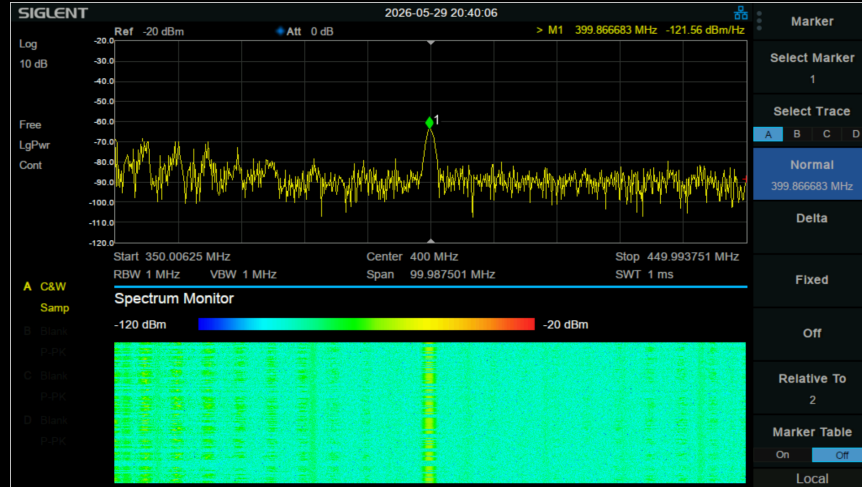
2026-06-06

EMV for runaways

- └ Prüfumgebungen für Gestrahltes...
- └ Nahfeld-Scans
- └ Nahfeldscans für Arme Katzen ...

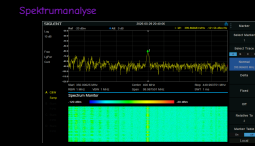


# Spektrumanalyse



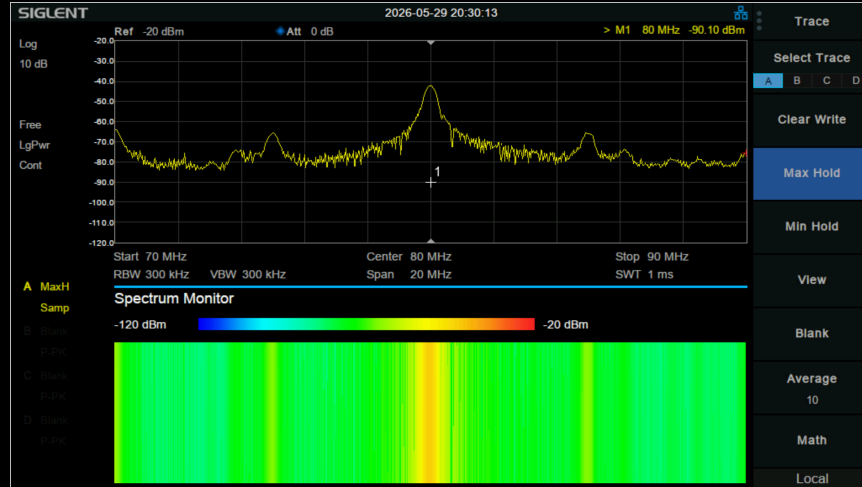
2026-06-06

EMV for runaways  
 ↳ Spektrumanalyse  
 ↳ Spektrumanalyse



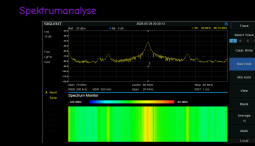


# Spektrumanalyse

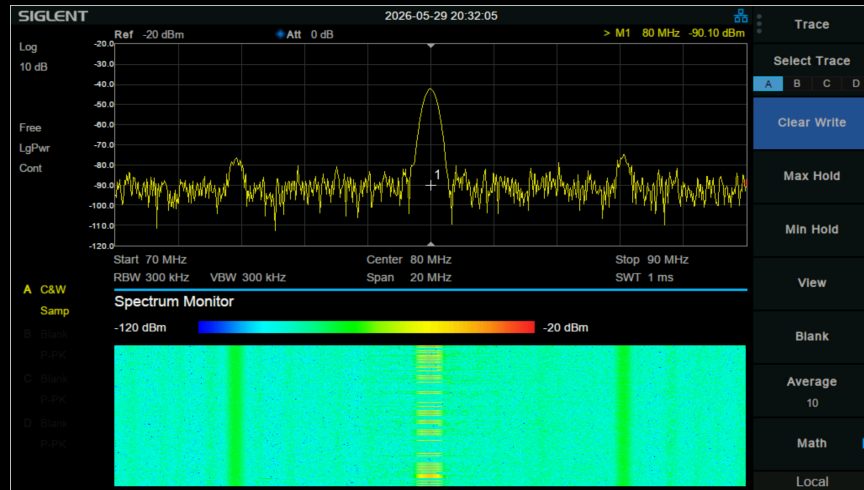


2026-06-06

EMV for runaways  
└ Spektrumanalyse  
└ Spektrumanalyse



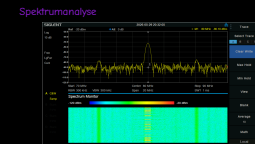
# Spektrumanalyse



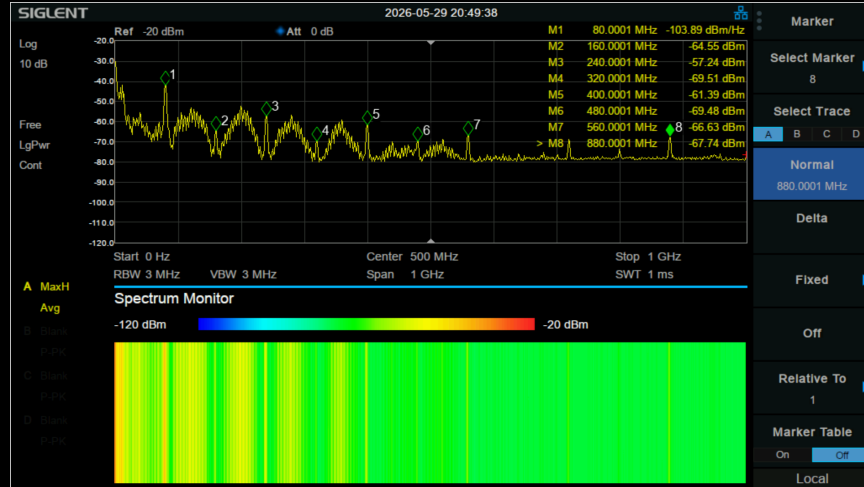
2026-06-06

EMV for runaways  
└ Spektrumanalyse

└ Spektrumanalyse



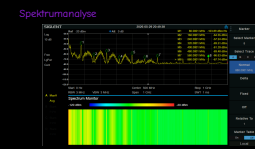
# Spektrumanalyse



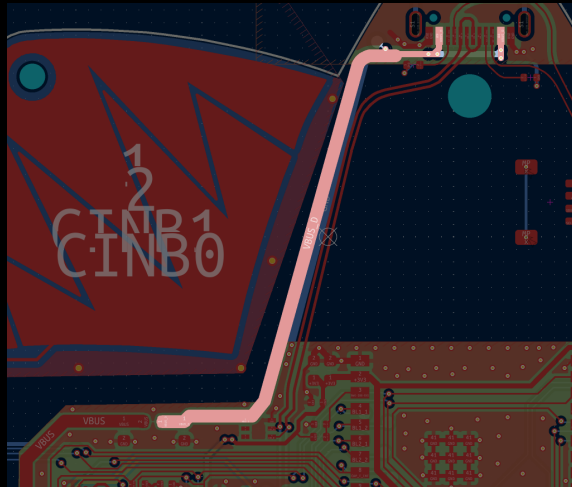
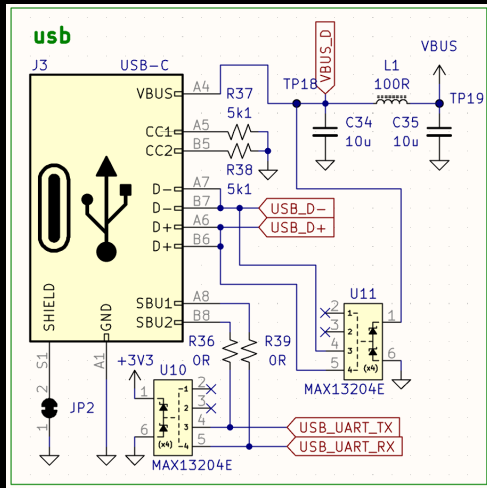
2026-06-06

EMV for runaways  
└ Spektrumanalyse

└ Spektrumanalyse

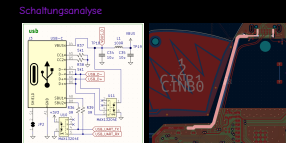


# Schaltungsanalyse

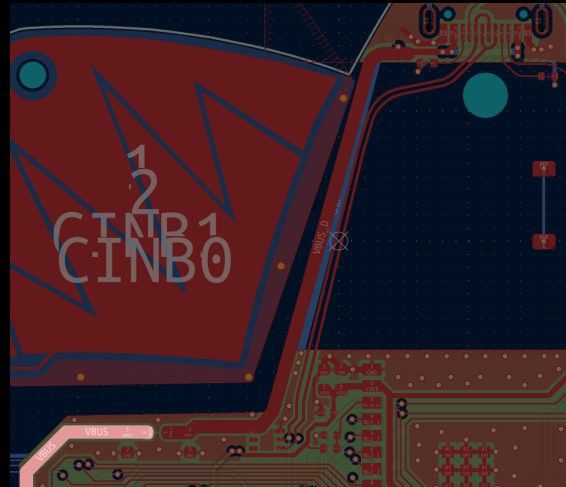
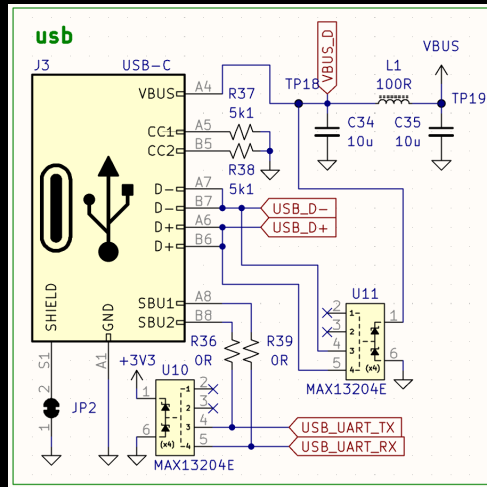


2026-06-06

EMV for runaways  
└ Schaltungsanalyse  
└ Schaltungsanalyse

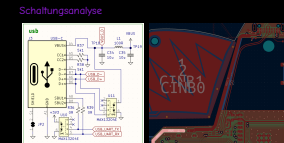


# Schaltungsanalyse

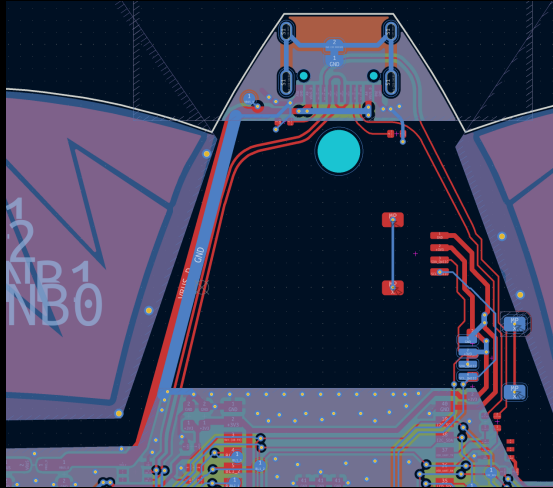


2026-06-06

EMV for runaways  
└─ Schaltungsanalyse  
└─ Schaltungsanalyse

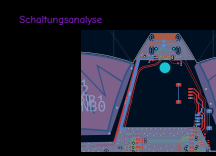


# Schaltungsanalyse

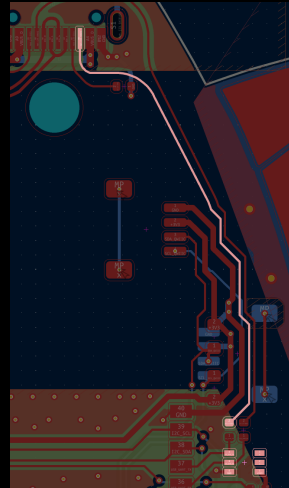
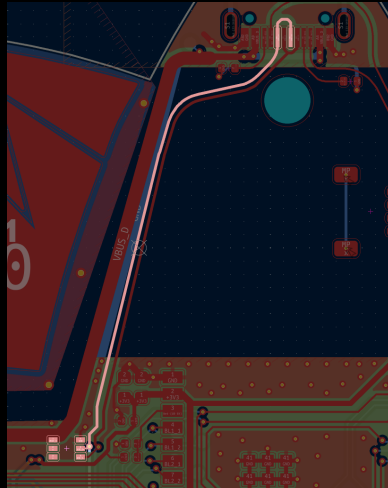
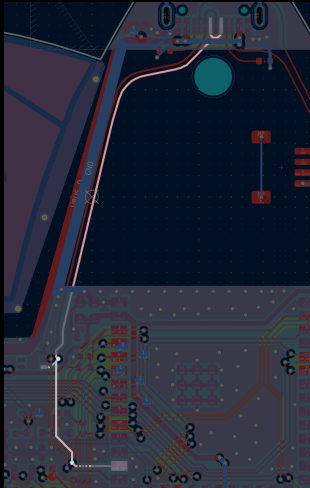


2026-06-06

EMV for runaways  
└─Schaltungsanalyse  
└─Schaltungsanalyse

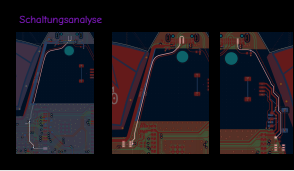


# Schaltungsanalyse



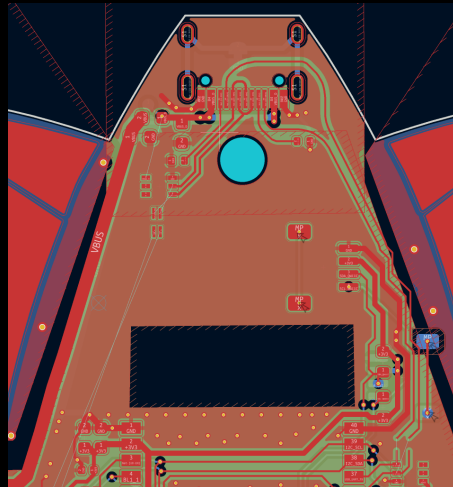
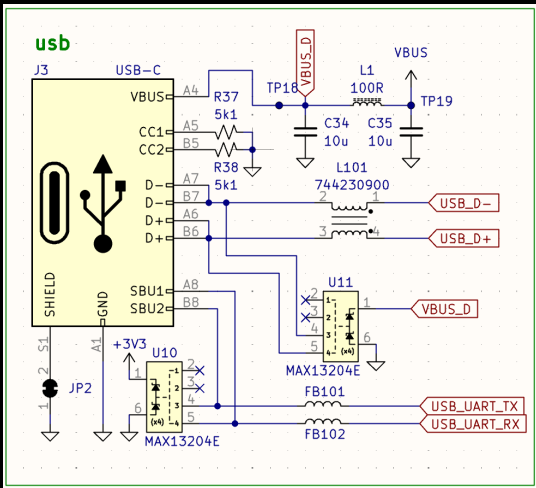
2026-06-06

EMV for runaways  
└─ Schaltungsanalyse  
└─ Schaltungsanalyse



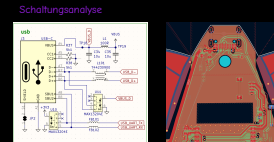


# Schaltungsanalyse

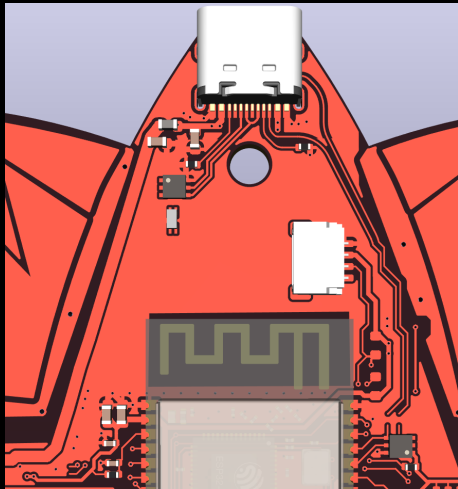


2026-06-06

EMV for runaways  
 └─ Schaltungsanalyse  
 └─ Schaltungsanalyse



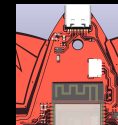
# Schaltungsanalyse



2026-06-06

- EMV for runaways
  - └─ Schaltungsanalyse
    - └─ Schaltungsanalyse

Schaltungsanalyse



## Und die Konsequenz des Ganzen?



2026-06-06

EMV for runaways

└─Schaltungsanalyse

└─Und die Konsequenz des Ganzen?

1. Das Flow3r Badge hat jedenfalls von den ganzen Strapazen die Nase voll und trägt jetzt Aluhut

Und die Konsequenz des Ganzen?



Vielen Dank!

Chrissy

Mastodon: <https://chaos.social/@dm2lct>

Web: <https://dm2lct.radio>

Mail: [chrissy@dm2lct.radio](mailto:chrissy@dm2lct.radio)

GPG: E311 3521 241B 159C 17A7 9D9F A38D  
F02A 52BB 4630

Sarah

Mastodon: <https://chaos.social/@Exilsarah1>

Web: <https://cyberkombinat.de>

Mail: [info@cyberkombinat.de](mailto:info@cyberkombinat.de)

2026-06-06

EMV for runaways  
└─Schaltungsanalyse

Vielen Dank!

Chrissy

Mastodon: <https://chaos.social/@dm2lct>

Web: <https://dm2lct.radio>

Mail: [chrissy@dm2lct.radio](mailto:chrissy@dm2lct.radio)

GPG: E311 3521 241B 159C 17A7 9D9F A38D  
F02A 52BB 4630

Sarah

Mastodon: <https://chaos.social/@Exilsarah1>

Web: <https://cyberkombinat.de>

Mail: [info@cyberkombinat.de](mailto:info@cyberkombinat.de)

## Referenzen

- [1] "R&S®ENV216 Two-Line V-Network (Model 12-16) - Betriebshandbuch," besucht am 4. Juni 2026. Adresse: [https://www.rohde-schwarz.com/de/handbuch/rs-env216-two-line-v-network-model-12-16-betriebshandbuch\\_78701-29140.html](https://www.rohde-schwarz.com/de/handbuch/rs-env216-two-line-v-network-model-12-16-betriebshandbuch_78701-29140.html).
- [2] H. G. Krauthäuser, "MPyLab," besucht am 4. Juni 2026. Adresse: <https://gitlab.hrz.tu-chemnitz.de/chair-of-electromagnetic-theory-and-compatibility-at-tu-dresden/mpylab/mpylab>.
- [3] R. B. Keller, *Design for Electromagnetic Compatibility–In a Nutshell: Theory and Practice*, en. Cham: Springer International Publishing, 2023, ISBN: 978-3-031-14185-0. DOI: 10.1007/978-3-031-14186-7. besucht am 4. Mai 2026. Adresse: <https://link.springer.com/10.1007/978-3-031-14186-7>.
- [4] "European Telecommunications Standards Institute," besucht am 5. Mai 2026. Adresse: <https://www.etsi.org>.
- [5] "Academy of EMC," besucht am 4. Mai 2026. Adresse: <https://www.academyofemc.com/>.

2026-06-06

EMV for runaways  
└─ Schaltungsanalyse  
  
└─ Referenzen

## Referenzen

- [1] "R&S®ENV216 Two-Line V-Network (Model 12-16) - Betriebshandbuch," besucht am 4. Juni 2026. Adresse: [https://www.rohde-schwarz.com/de/handbuch/rs-env216-two-line-v-network-model-12-16-betriebshandbuch\\_78701-29140.html](https://www.rohde-schwarz.com/de/handbuch/rs-env216-two-line-v-network-model-12-16-betriebshandbuch_78701-29140.html).
- [2] H. G. Krauthäuser, "MPyLab," besucht am 4. Juni 2026. Adresse: <https://gitlab.hrz.tu-chemnitz.de/chair-of-electromagnetic-theory-and-compatibility-at-tu-dresden/mpylab/mpylab>.
- [3] R. B. Keller, *Design for Electromagnetic Compatibility–In a Nutshell: Theory and Practice*, en. Cham: Springer International Publishing, 2023, ISBN: 978-3-031-14185-0. DOI: 10.1007/978-3-031-14186-7. besucht am 4. Mai 2026. Adresse: <https://link.springer.com/10.1007/978-3-031-14186-7>.
- [4] "European Telecommunications Standards Institute," besucht am 5. Mai 2026. Adresse: <https://www.etsi.org>.
- [5] "Academy of EMC," besucht am 4. Mai 2026. Adresse: <https://www.academyofemc.com/>.

2026-06-06

EMV for runaways  
└ Backup Slides

Backup Slides

# Backup Slides

## Burst IEC 61000-4-4

- Schaltvorgänge im Netz machen viele kurze Spannungsspitzen
- Wird im Labor mit einem Burstgenerator nachgestellt
- 500 V bis 4 kV in der Spitze mit einer Wiederholfrequenz von 5 oder 100 Hz
- Geht entweder direkt auf die Netzleitung...
- oder über eine kapazitive Koppelzange auf Datenleitungen

2026-06-06

EMV for runaways

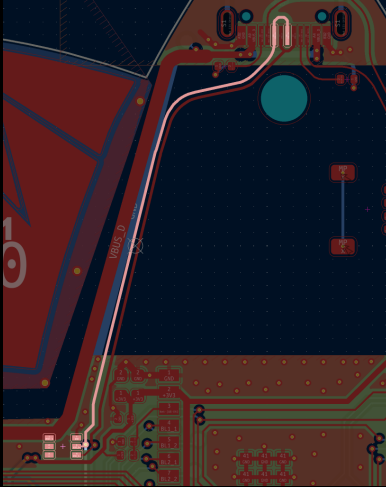
└ Backup Slides

└ Burst IEC 61000-4-4

Burst IEC 61000-4-4

- Schaltvorgänge im Netz machen viele kurze Spannungsspitzen
- Wird im Labor mit einem Burstgenerator nachgestellt
- 500 V bis 4 kV in der Spitze mit einer Wiederholfrequenz von 5 oder 100 Hz
- Geht entweder direkt auf die Netzleitung...
- oder über eine kapazitive Koppelzange auf Datenleitungen

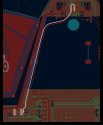
# Schaltungsanalyse



2026-06-06

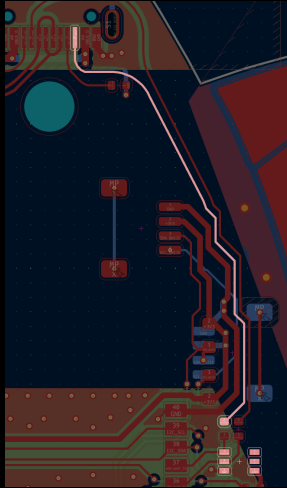
EMV for runaways  
└ Backup Slides  
└ Schaltungsanalyse

Schaltungsanalyse





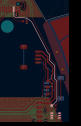
# Schaltungsanalyse



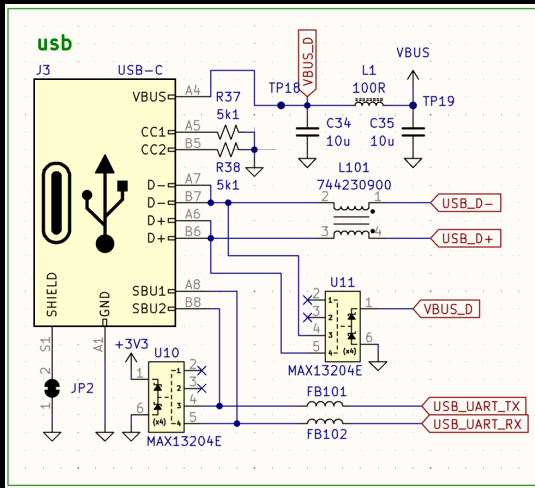
2026-06-06

EMV for runaways  
└ Backup Slides  
└ Schaltungsanalyse

Schaltungsanalyse



# Schaltungsanalyse



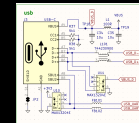
2026-06-06

EMV for runaways

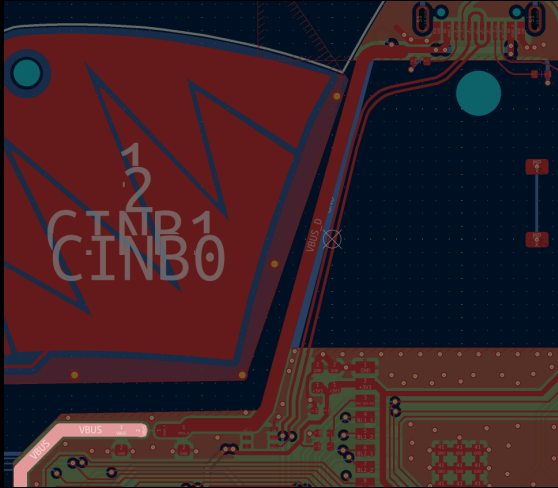
└ Backup Slides

└ Schaltungsanalyse

Schaltungsanalyse

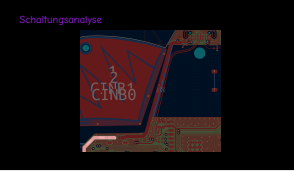


# Schaltungsanalyse

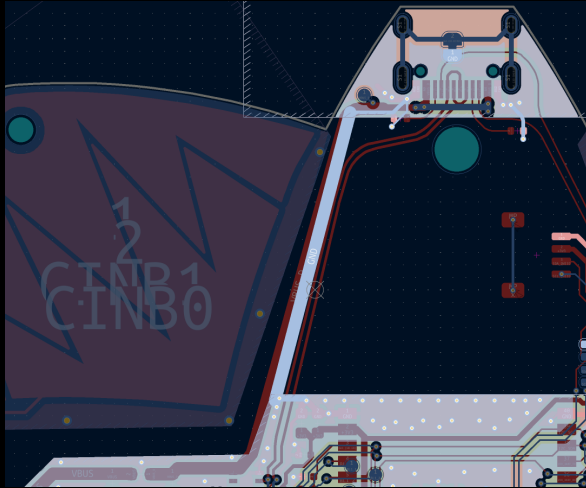


2026-06-06

EMV for runaways  
└ Backup Slides  
└ Schaltungsanalyse



# Schaltungsanalyse

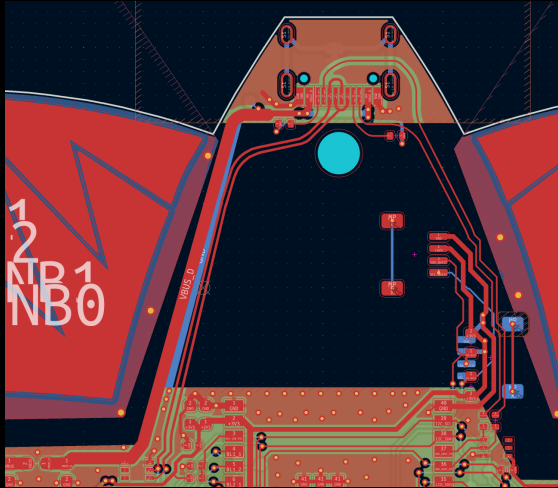


2026-06-06

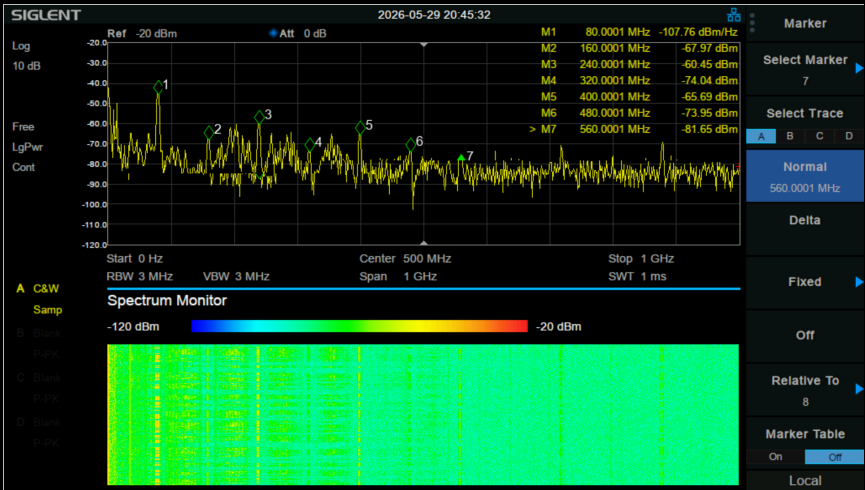
EMV for runaways  
└ Backup Slides  
└ Schaltungsanalyse



# Schaltungsanalyse

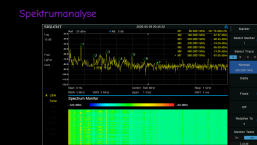


# Spektrumanalyse

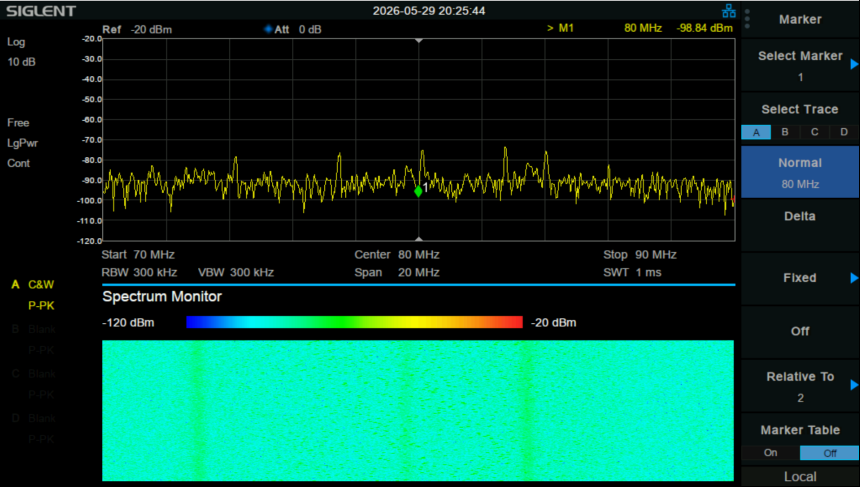


2026-06-06

EMV for runaways  
└ Backup Slides  
└ Spektrumanalyse



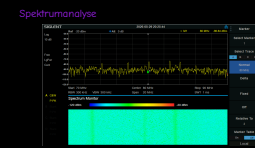
# Spektrumanalyse



2026-06-06

EMV for runaways

- Backup Slides
- Spektrumanalyse



# Nahfeldsonden



2026-06-06

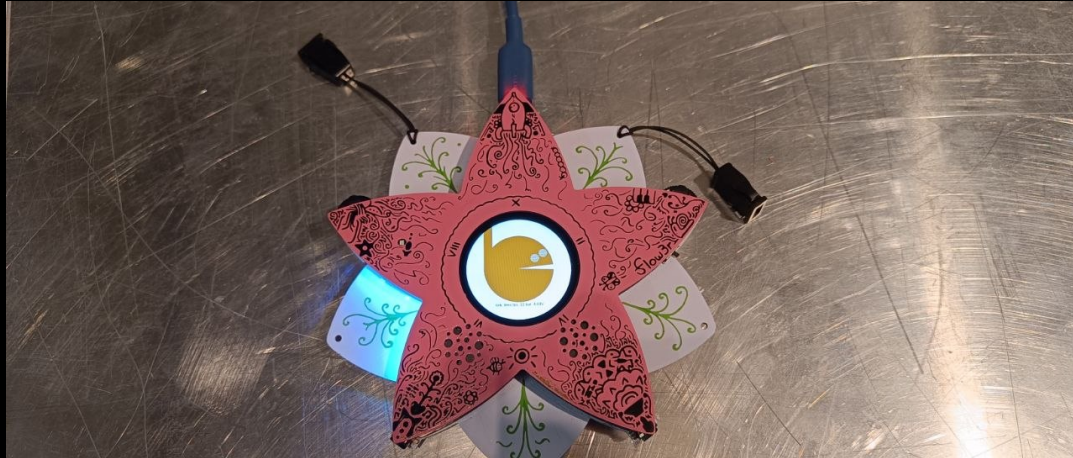
EMV for runaways  
└ Backup Slides  
└ Nahfeldsonden

Nahfeldsonden





# Fault Injection



2026-06-06

EMV for runaways  
└ Backup Slides  
└ Fault Injection

Fault Injection



# Mpylab

- Viele Messungen wurden mit Hilfe von Mpylab durchgeführt [2]
- Freies Messframework, in Python geschrieben, entwickelt an der Professur für TET&EMV an der TU Dresden.
- Mit dessen Hilfe sind die Messskripte und -programme, die wir am Lehrstuhl nutzen, entwickelt
- Es bildet den Versuchsaufbau in einem Messgraphen, bestehend aus einer .dot-Datei und dazugehörigen .ini-Dateien ab und berücksichtigt Einfügedämpfungen, enthält Methofen für Pfadkorrekturen und Messunsicherheitsbetrachtungen und weitere nützliche Tools für den Laboralltag

2026-06-06

EMV for runaways

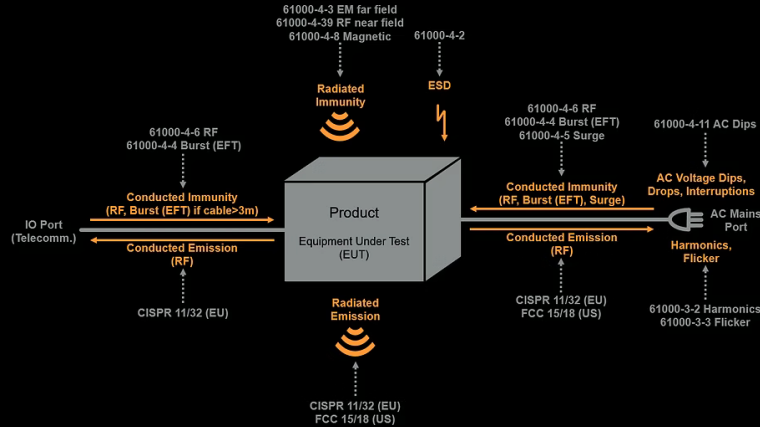
└ Backup Slides

└ Mpylab

Mpylab

- Viele Messungen wurden mit Hilfe von Mpylab durchgeführt [2]
- Freies Messframework, in Python geschrieben, entwickelt an der Professur für TET&EMV an der TU Dresden.
- Mit dessen Hilfe sind die Messskripte und -programme, die wir am Lehrstuhl nutzen, entwickelt
- Es bildet den Versuchsaufbau in einem Messgraphen, bestehend aus einer .dot-Datei und dazugehörigen .ini-Dateien ab und berücksichtigt Einfügedämpfungen, enthält Methofen für Pfadkorrekturen und Messunsicherheitsbetrachtungen und weitere nützliche Tools für den Laboralltag

# Guide durch das Normendickicht



Entnommen aus Keller, *Design for Electromagnetic Compatibility–In a Nutshell* [3]

2026-06-06

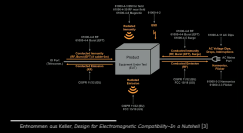
EMV for runaways

└ Backup Slides

└ Guide durch das Normendickicht

└ Guide durch das Normendickicht

Guide durch das Normendickicht



Entnommen aus Keller, *Design for Electromagnetic Compatibility–In a Nutshell* [3]

## Nützliche Ressourcen

- European Telecommunications Standards Institute (ETSI) stellt seine Normen kostenlos zur Verfügung [4]
- Academy of EMC [5] stellt viele Ressourcen rund um EMV Prüfverfahren, Grenzwerte, Normen kostenlos zur Verfügung.

2026-06-06

EMV for runaways

└ Backup Slides

└ Guide durch das Normendickicht

└ Nützliche Ressourcen

Nützliche Ressourcen

- European Telecommunications Standards Institute (ETSI) stellt seine Normen kostenlos zur Verfügung [4]
- Academy of EMC [5] stellt viele Ressourcen rund um EMV Prüfverfahren, Grenzwerte, Normen kostenlos zur Verfügung.