

# Mythos Netzurückwirkungen

EAM Netz

# Inhalt

## 1. EAM Netz

## 2. Grundlagen

- Spannungsband
- Flicker
- Oberschwingungen
- Supraharmonische

## 3. Normen

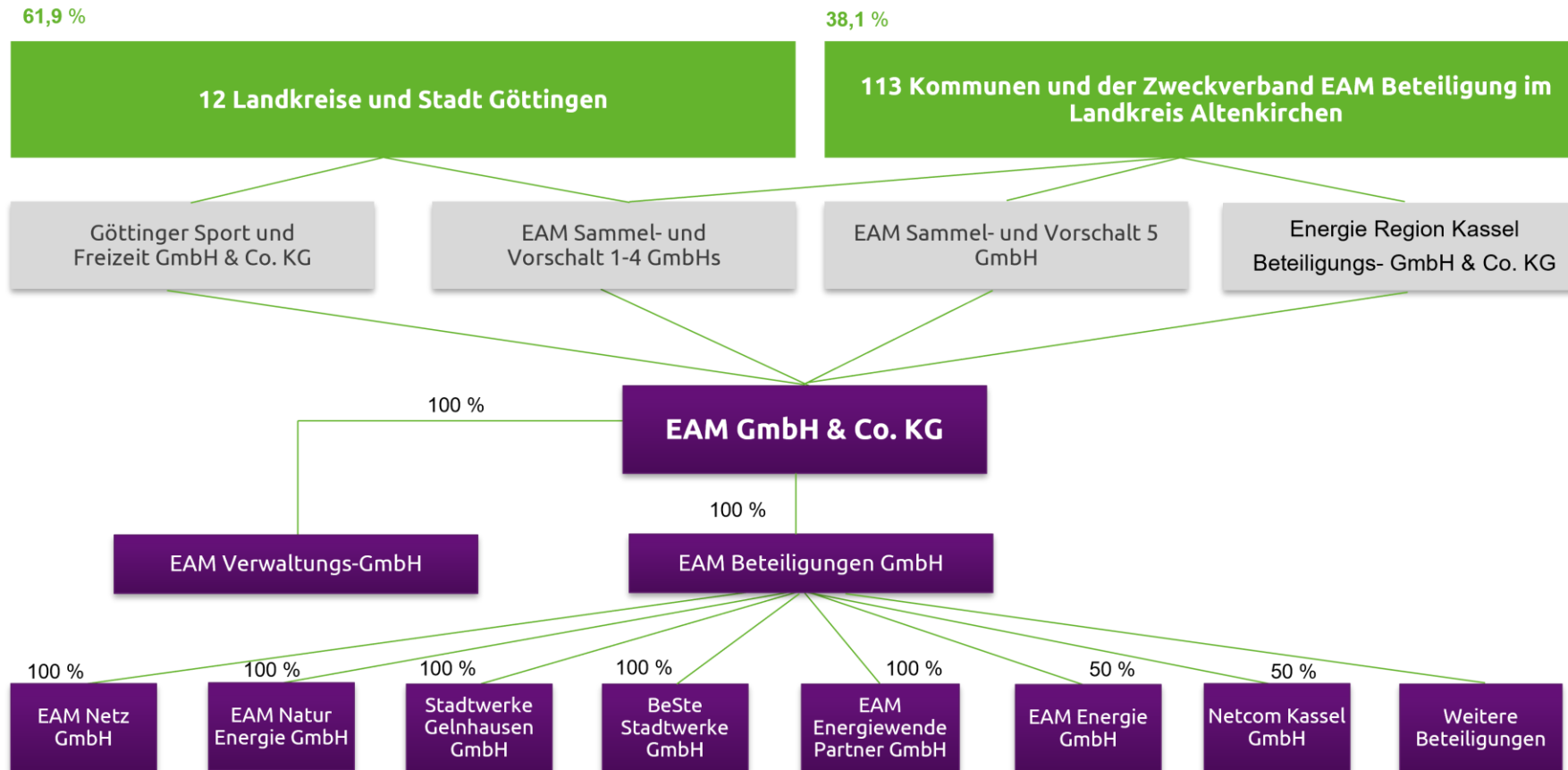
- DIN EN 50160
- EMV-Normen (DIN EN 61000-x-x)
- Technische Anschlussregeln (VDE AR 4100, VDE AR 4110)
- Technische Regeln zur Beurteilung von Netzurückwirkungen

## 4. Praxisbeispiele

# EAM-Gruppe

- › insgesamt ca. 1500 Mitarbeiter
- › 100 % in kommunaler Hand

- › EAM Netz: Netzbetrieb
- › EAM Energie: Energievertrieb
- › EAM Natur Energie: Projektierung von Windparks, PV-Anlagen und Wärmeversorgung



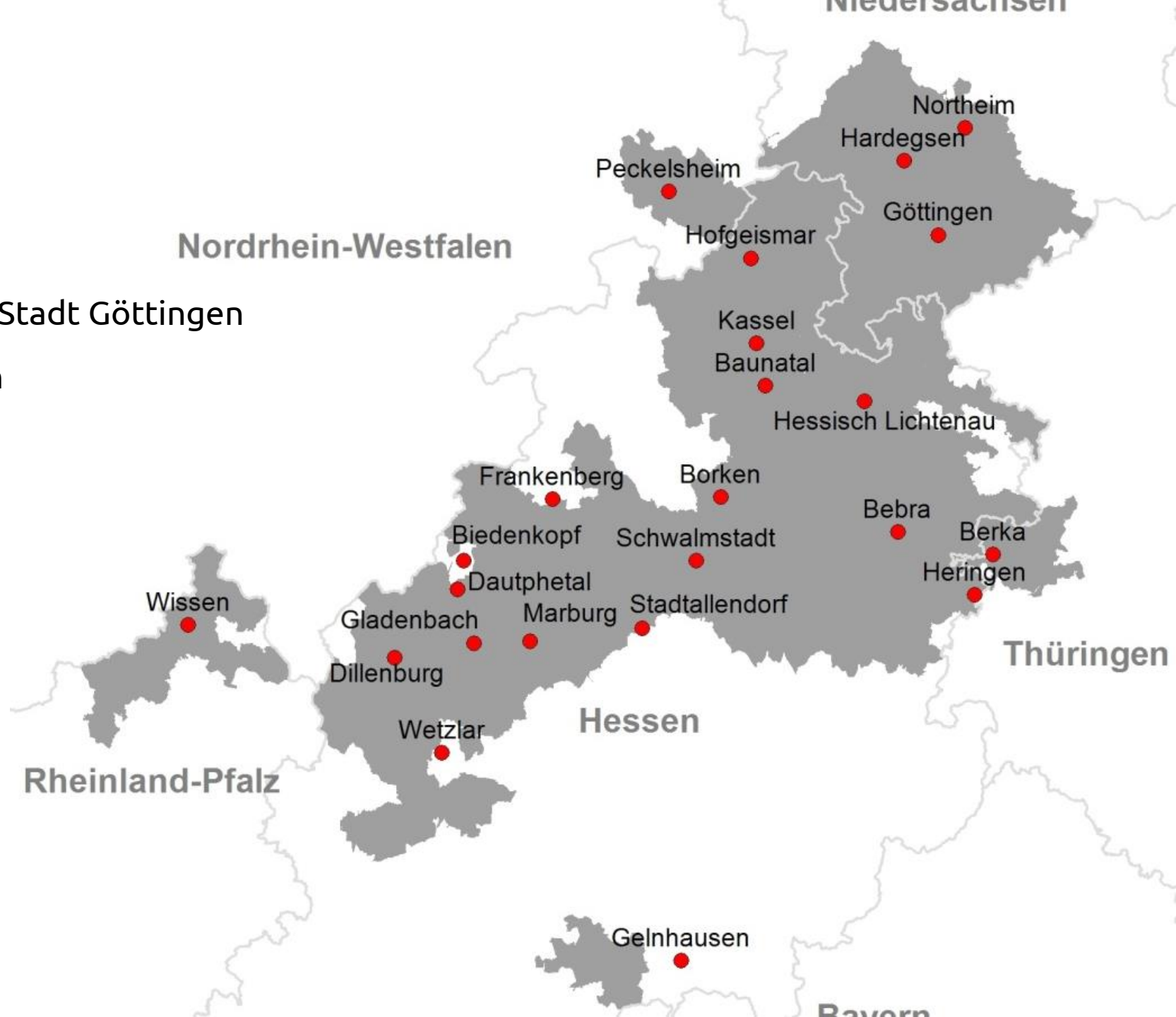
# Versorgungsgebiet

## Stromversorgung

- › 9 Landkreise in Hessen
- › 2 Landkreise in Niedersachsen und Stadt Göttingen
- › 1 Landkreis in Nordrhein-Westfalen
- › Mehr als 200 Kommunen
- › Rund 1,5 Mio. Einwohner
- › 23 Standorte im Netzgebiet

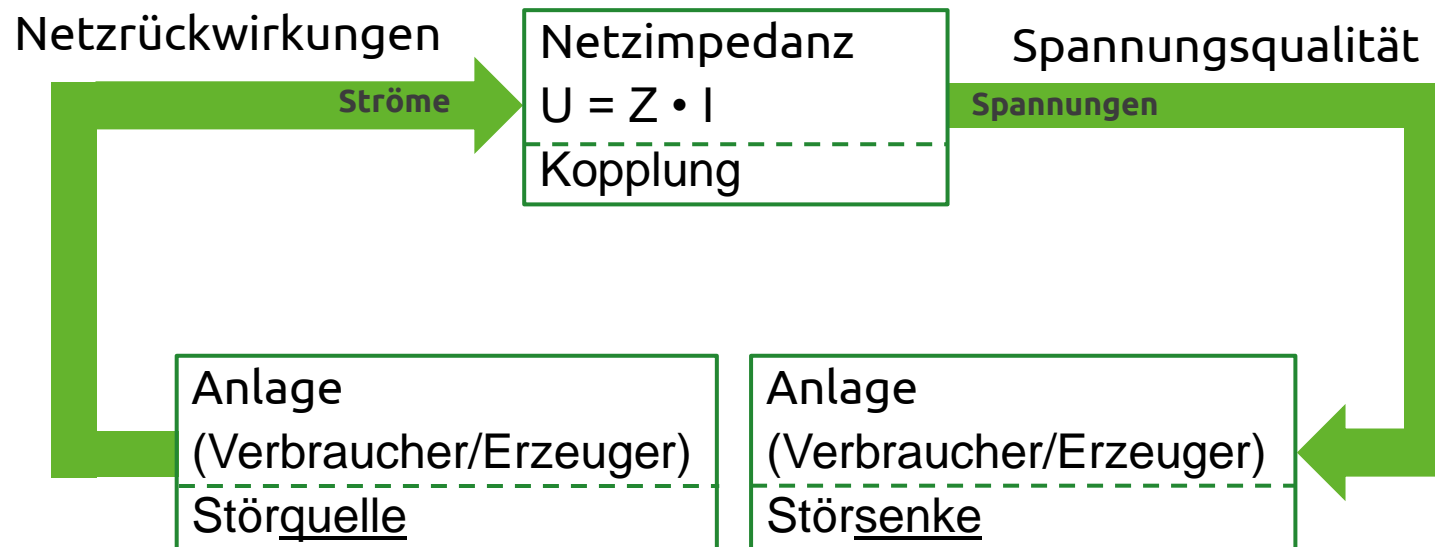
## Gasversorgung

- › 9 Landkreise in Hessen
- › 2 Landkreise in Niedersachsen
- › Westlicher Teil Wartburgkreis
- › Mehr als 100 Kommunen



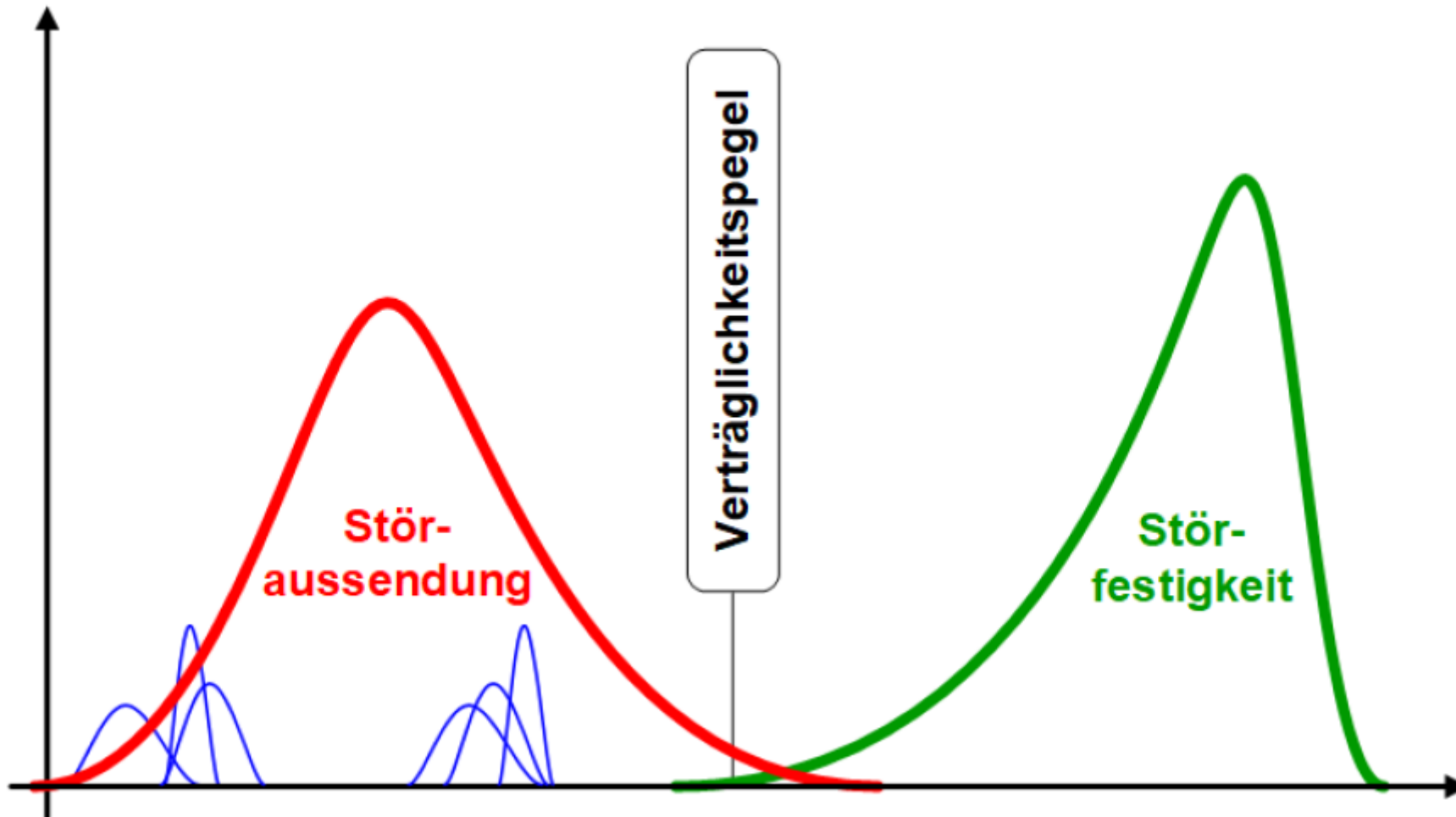
# Grundlagen

# Zusammenhang Spannungsqualität/Netzurückwirkungen



Angeschlossene Anlagen wirken auf das Netz zurück  
→ Netzurückwirkungen beeinflussen die Spannungsqualität

# Zusammenhang Störaussendung / Störfestigkeit



# Zuordnung Spannungsqualität/Netzurückwirkungen

## Netzurückwirkungen

Strom



## Spannungsqualitätsgrößen

Spannung

Unsymmetrie der  
Leiterströme



Unsymmetrie der  
Spannungen

Stromänderungen



Flicker

Oberschwingungs-  
ströme



Oberschwingungs-  
spannungen

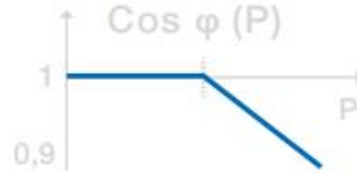


# Spannungsband

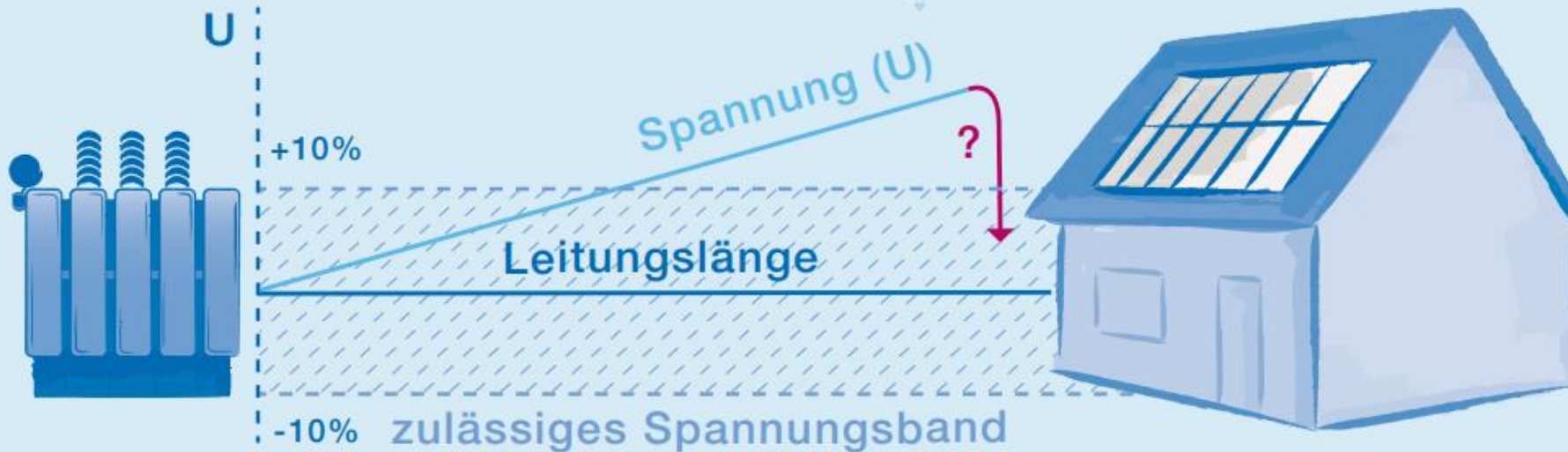
Spannungsverhalten  
abhängig von Spannung  
( $Q(U)$ )



Spannungsverhalten  
abhängig von Einspeise-  
leistung ( $\cos \varphi (P)$ )



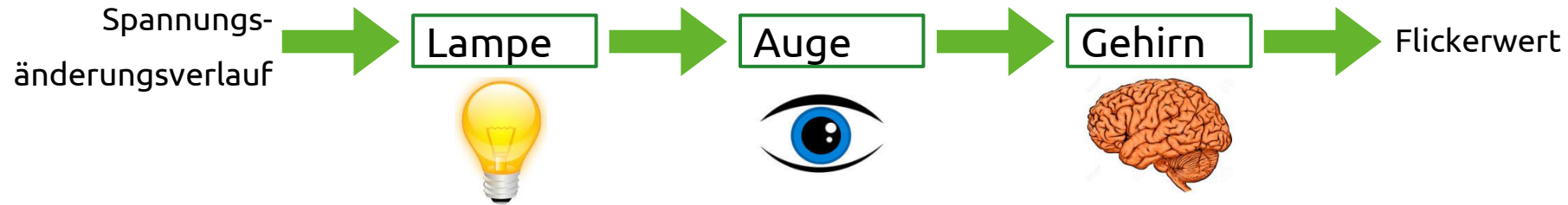
regelbarer Ortsnetz-  
transformator (rONT)



Quelle: Kurzfassung der FNN-Studie „Statische Spannungshaltung“ 2018

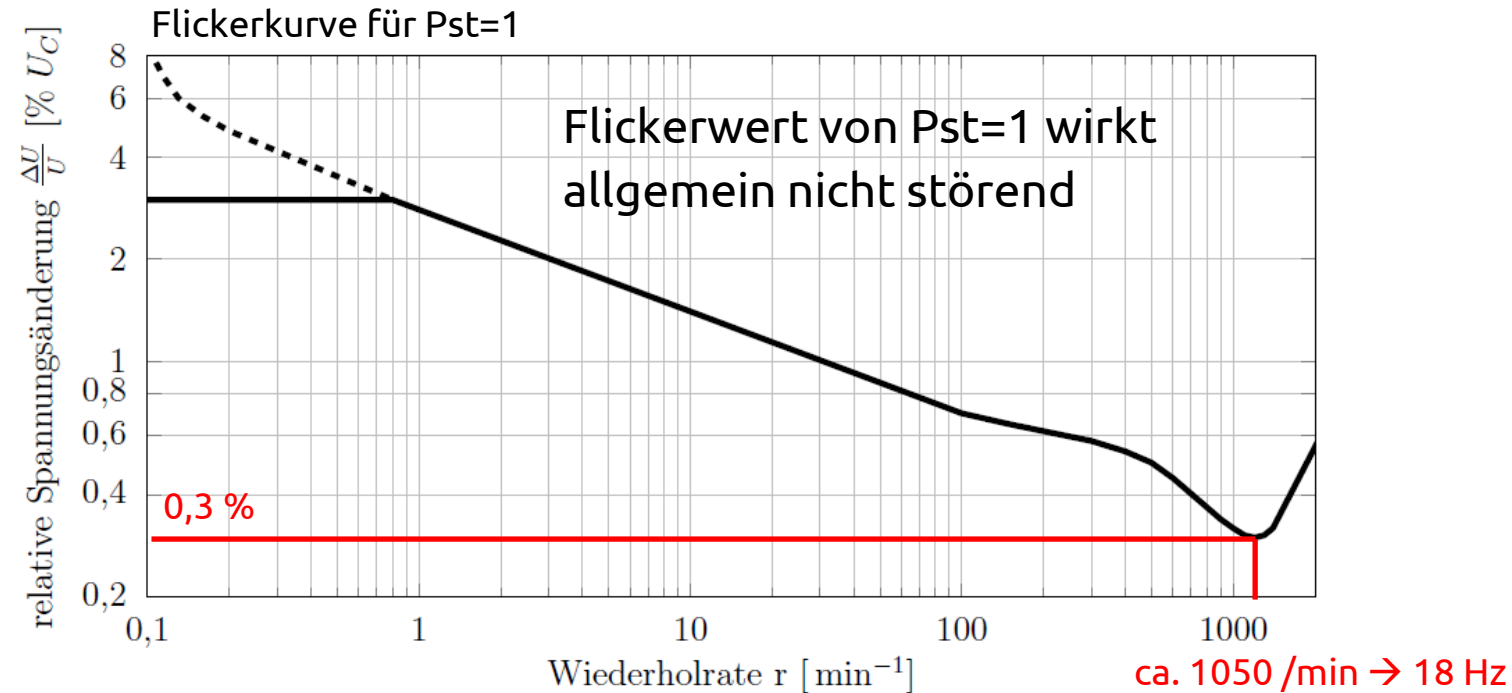
# Flicker

- › Änderungen der Netzspannung führen zu Leuchtdichteschwankungen bei Lampen
- › Der Flickeralgorithmus bildet die Wirkungskette „Lampe-Auge-Gehirn“ nach:



- › Definition anhand von Versuchen mit Testpersonen
  - Empfindlichkeit gegenüber Flicker ist individuell verschieden
- › Kurzzeitflicker  $P_{st}$  (Aufrechnung über 10 min)
- › Langzeitflicker  $P_{lt}$  (Aufrechnung über 2 h)

# Flicker



Störwirkung auf den Menschen hängt ab von

- › Höhe der Spannungsänderung
- › Wiederholfrequenz der Spannungsänderung

# Flickererzeuger

Alle Geräte mit wiederholten Laständerungen

## Beispiele

› Lichtbogenöfen

› Gattersägen

› Aufzüge

› manche Windkraftanlagenbauarten

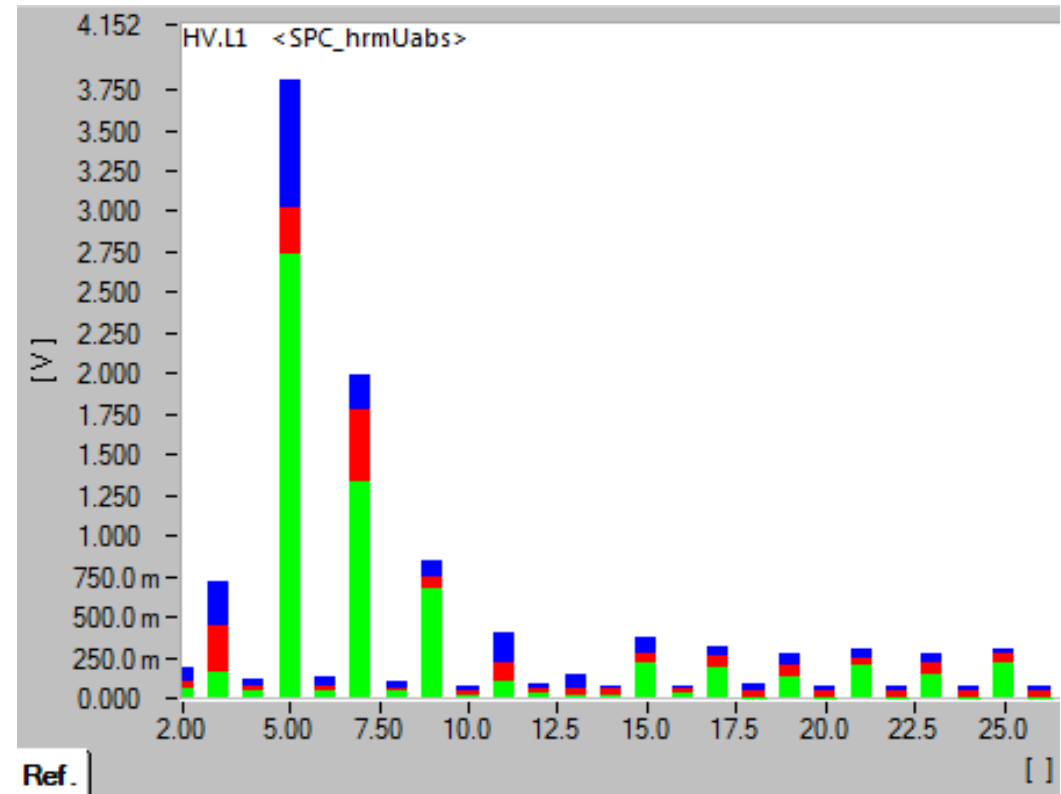
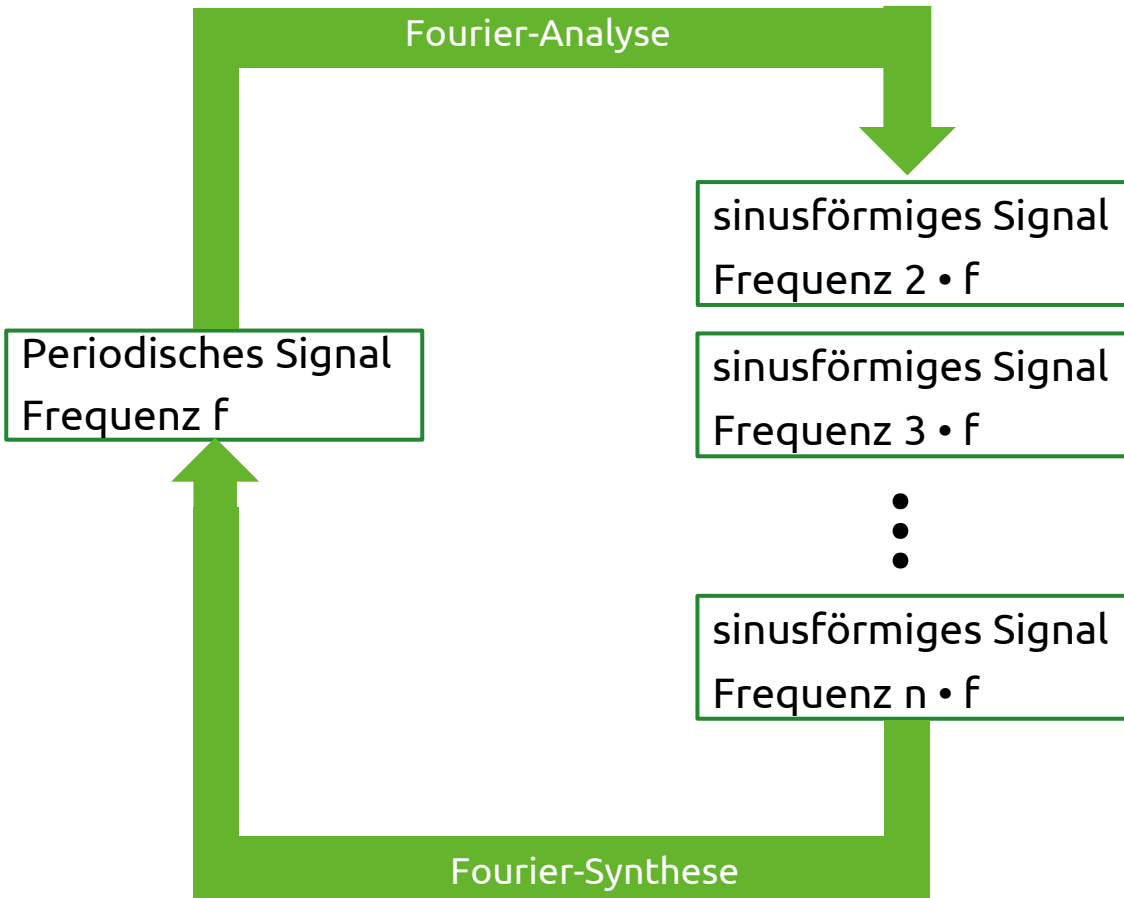
› Waschmaschinen, Wäschetrockner

› Kochgeräte (z.B. Herde, Mikrowellen)

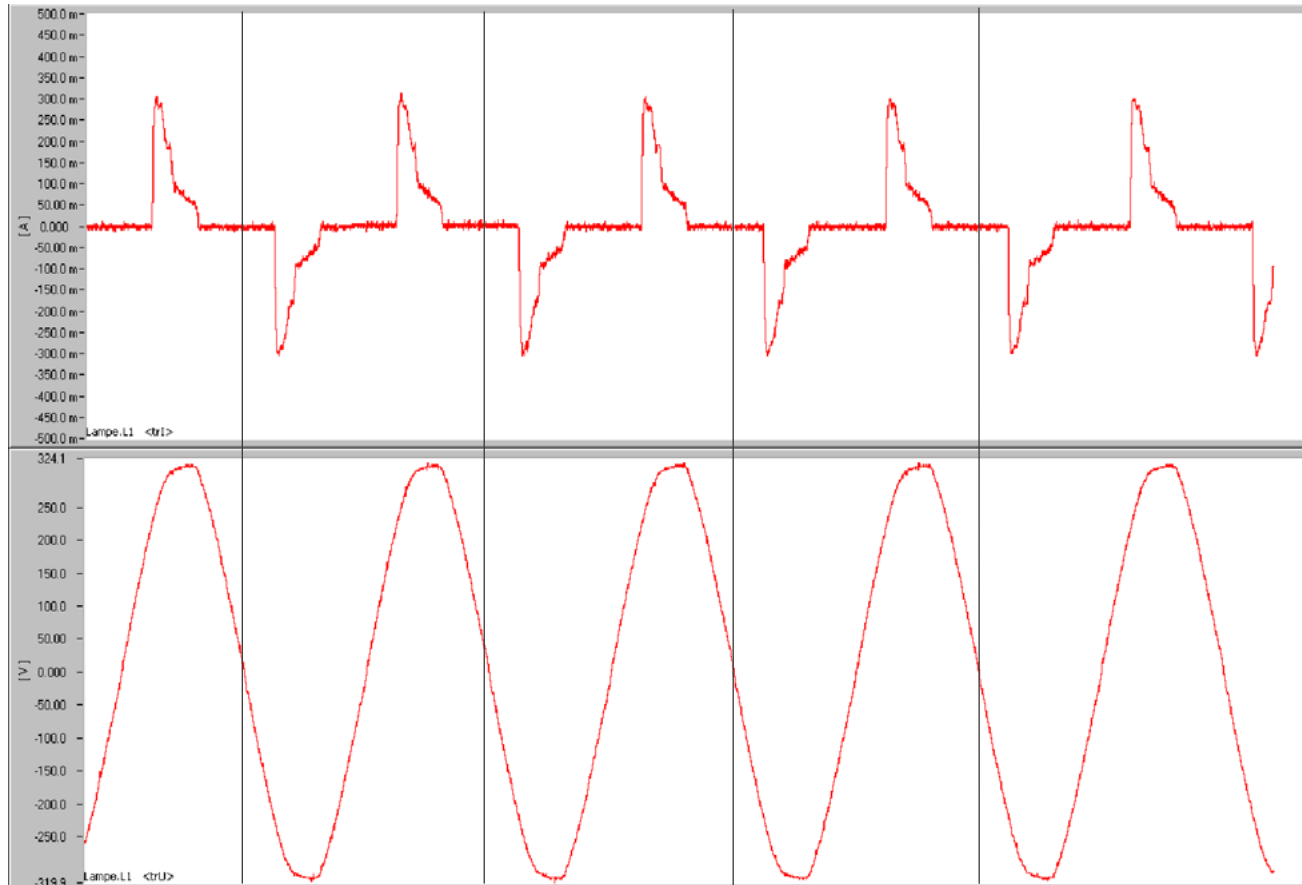
} „Großanlagen“ → TAR oder D-A-CH-CZ-Richtlinie

} „Massengeräte“ → DIN EN 61000-x

# Oberschwingungen (Harmonische)



# Entstehung von Oberschwingungen



Stromverlauf:  
Periodisch aber nicht sinusförmig  
→ enthält Oberschwingungen

Spannungsverlauf:  
Periodisch und nahezu sinusförmig  
→ enthält kaum  
Oberschwingungen

Strom- und Spannungszeitverlauf einer Energiesparlampe

# Auswirkungen von Harmonischen

Warum sind Oberschwingungen schädlich?

## Beispiele

- › Überlastung von Kondensatoren → frühzeitiger Ausfall

$$Z_c = \frac{1}{2\pi \cdot f \cdot C}$$

$$I = \frac{U}{Z_c} = U \cdot 2\pi \cdot f \cdot C \quad \text{höhere Frequenz} \rightarrow \text{kleinere Impedanz} \rightarrow \text{größerer Strom}$$

- › Zusätzliche Nulldurchgänge in der Spannung → Uhren arbeiten nicht richtig
- › Unvorhersehbare Fehlfunktionen von elektronischen Geräten
- › Zusätzliche Leitungsverluste

# Einteilung Frequenzbereiche

## › Subharmonische

- ›  $f < 50 \text{ Hz}$
- › Ursache: Netzpendelungen

## › Harmonische

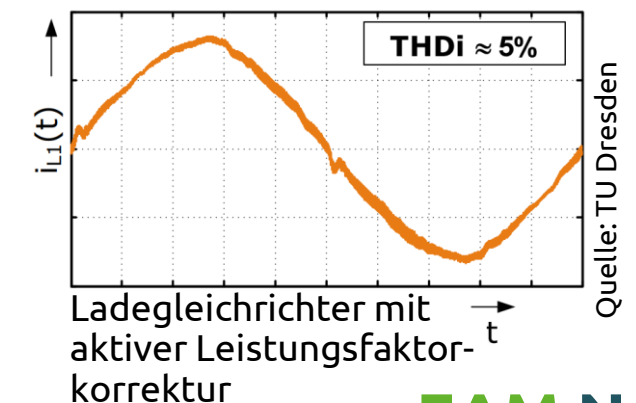
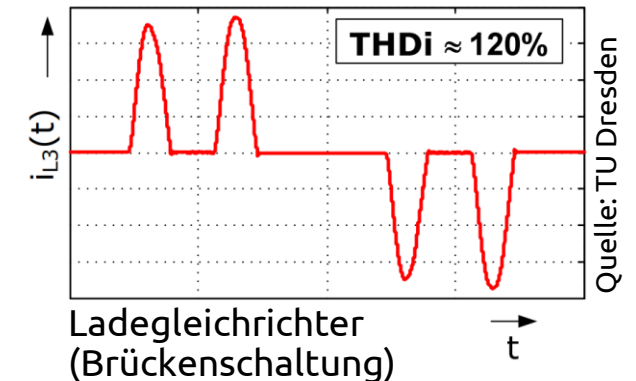
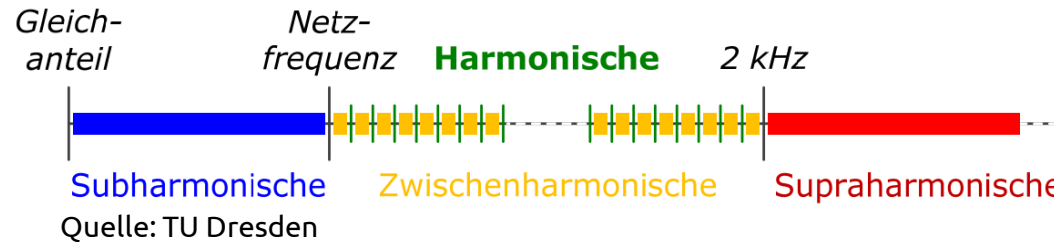
- ›  $50 \text{ Hz} > f > 2 \text{ kHz}$ ,  $f = n \cdot 50 \text{ Hz}$
- › Ursache: z.B. netzgeführte Leistungselektronik (Dimmer, Brückengleichrichter)

## › Zwischenharmonische

- ›  $50 \text{ Hz} > f > 2 \text{ kHz}$ ,  $f \neq n \cdot 50 \text{ Hz}$
- › Ursache: z.B. Signalübertragung

## › Supraharmonische

- ›  $2 \text{ kHz} > f > 150 \text{ kHz}$  (Übergang zum Bereich der Funkstörungen)
- › Ursache: z.B. selbstgeführte Leistungselektronik (neuere Frequenzumrichter)

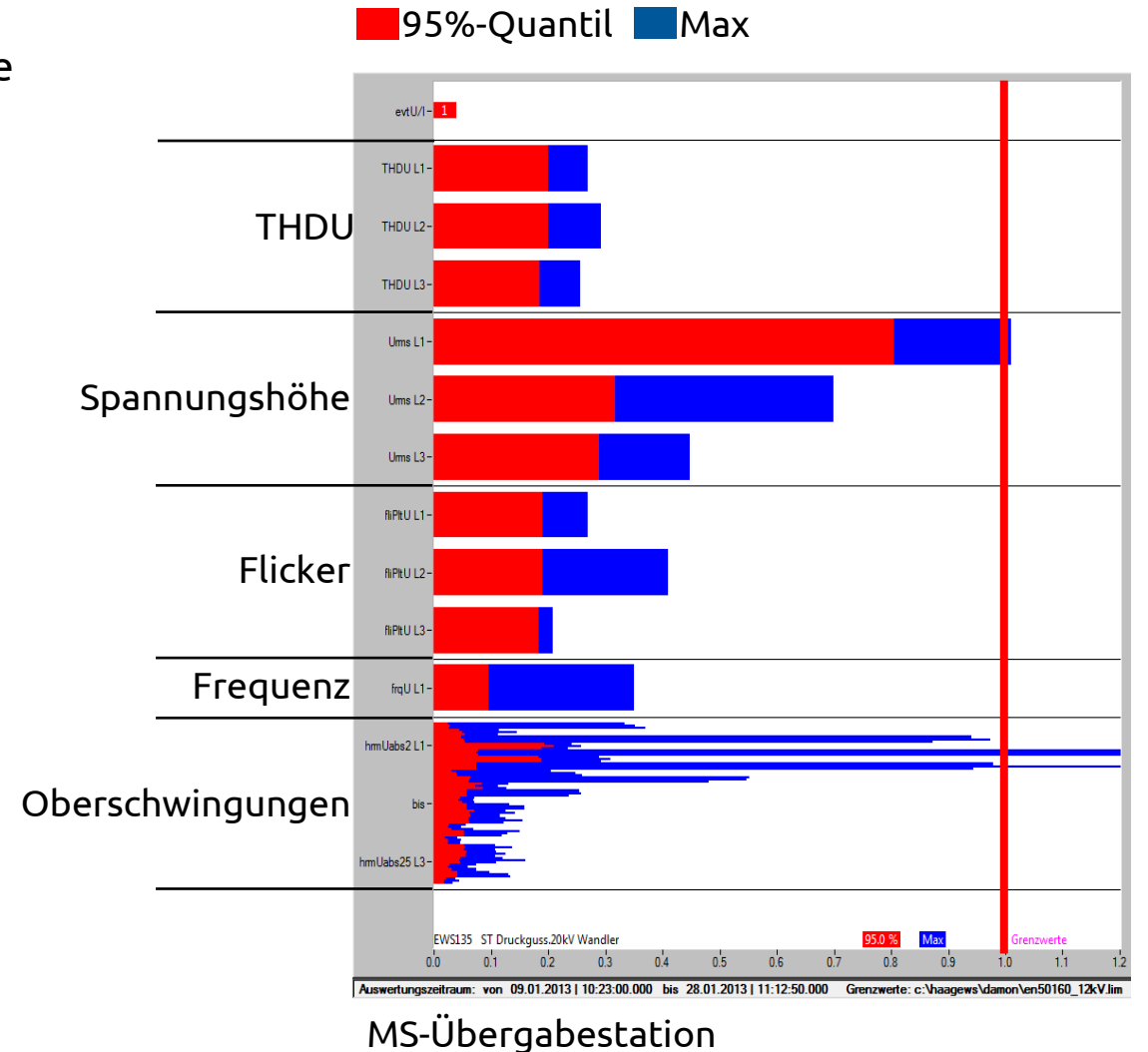




# Normen

# DIN EN 50160

- › Produktnorm für die Spannungsqualität an der Übergabestelle zwischen Netzbetreiber und Kunde (Nieder-, Mittel- und Hochspannung)
- › Keine EMV-Norm
- › Vorgaben für kontinuierliche Spannungs-Messgrößen
- › Keine verbindlichen Vorgaben für Ereignisse (Spannungseinbrüche, -überhöhungen)
- › Harmonische sind nur bis 1,25 kHz abgedeckt



# Zulässige Pegel nach DIN EN 50160:2020

Kenngröße	NS	MS	HS	Zeitintervall
Netzfrequenz		±1%		99,5% eines Jahres
		+4/-6%		100% der Zeit
Spannungsänderungen	±10%	±10%	±10%	95/99% einer Woche
	+10/-15%	±15%		100% einer Woche
Langzeitflicker	1	1	1	95% einer Woche
Unsymmetrie	2%	2%		95% einer Woche
Signalübertragungsspannung	Werte aus Kurve			99% eines Tages
THDU (bis 40. OS)	8%	8%	Beratung	95% einer Woche
Zwischenharmonische Spannung	Beratung	Beratung	-	95% einer Woche
Spannungsunterbrechungen	-	-	-	
Spannungseinbrüche/- überhöhungen	-	-	-	
Transiente Überspannungen	-	-	-	

# Zulässige Pegel nach DIN EN 50160:2020

Oberschwingungsspannung	NS	MS	HS	Zeitintervall
2. Ordnung	2%	2%	(1,9%)	
3. Ordnung	5%	5%	(3%)	
4. Ordnung	1%	1%	(1%)	
5. Ordnung	6%	6%	(5%)	
7. Ordnung	5%	5%	(4%)	
9. Ordnung	1,5%	1,5%	(1,3%)	
11. Ordnung	3,5%	3,5%	(3%)	
13. Ordnung	3%	3%	(2,5%)	95% einer Woche
15. Ordnung	1%	0,5%	(0,5%)	
17. Ordnung	2%	2%	Beratung	
19. Ordnung	1,5%	1,5%	Beratung	
21. Ordnung	0,75%	0,5%	(0,5%)	
23. Ordnung	1,5%	1,5%	Beratung	
25. Ordnung	1,5%	1,5%	Beratung	
nicht aufgeführt	0,5%	0,5%	0,5%	

# DIN EN 61000-X-X

- › Produktnormen mit Grenzwerten für Störaussendung und Störfestigkeit
- › EMV-Normen (Umsetzung des EMVG und damit CE-Kennzeichnung)
- › Prüfvorgaben für Laborprüfungen an den jeweiligen Geräten

## Anhang A (normativ)

### Anwendung der Grenzwerte und Typprüfbedingungen für besondere Geräte und Einrichtungen

#### A.1 Prüfbedingungen für Kochstellen und Herde

##### A.1.1 Allgemeines

Für Kochstellen und Herde, die ausschließlich zum Hausgebrauch vorgesehen sind, ist die Ermittlung des  $P_{st}$ -Wertes nicht erforderlich. Die Ermittlungen der  $P_{st}$ -Werte müssen, wenn nichts anderes angegeben wird, bei fester Temperatur durchgeführt werden.

Jede Kochstelle muss getrennt wie folgt geprüft werden.

##### A.1.2 Kochplatten

Kochplatten müssen mit Standard-Kochtöpfen mit den nachfolgend aufgeführten Durchmessern, Höhen und Wassermengen geprüft werden.

Tabelle A.1 – Prüfbedingungen für Kochplatten

Durchmesser der Kochplatte	Höhe des Kochtopfes	Wassermenge
mm	mm	g
145	etwa 140	1 000 ± 50
180	etwa 140	1 500 ± 50
220	etwa 120	2 000 ± 50

Verluste durch Verdampfen müssen während der Messzeit ausgeglichen werden.

Bei allen nachfolgenden Prüfungen muss die Kochplatte die Grenzwerte nach [Abschnitt 5](#) einhalten.

- Kochtemperaturbereich: Der Energieregler ist so einzustellen, dass das Wasser gerade kocht. Die Prüfung ist 5-mal durchzuführen, und aus den einzelnen Prüfergebnissen ist der Mittelwert zu bilden.
- Brat-Temperaturbereich: Der Topf, ohne Deckel, ist mit Silikon-Öl der 1,5-fachen Wassermenge nach Tabelle A.1 zu füllen. Der Energieregler ist so einzustellen, dass sich eine Öltemperatur von 180 °C einstellt, gemessen mit einem Thermoelement in der geometrischen Mitte des Topfes.
- Gesamtbereich der Leistungsstufen: Der gesamte Leistungsbereich ist während einer Beobachtungsdauer von 10 min kontinuierlich zu durchfahren. Wenn die Regler-Schalter diskrete Stufen haben, dann sind alle Stufen, höchstens jedoch 20 Stufen, zu prüfen. Falls keine diskreten Stufen vorhanden sind, dann ist der gesamte Einstellbereich in 10 gleiche Bereiche zu unterteilen. Die Messungen müssen dann beginnend im höchsten Leistungsbereich durchgeführt werden.
- Flächenkochfelder, die aus vielen kleinen Kochplatten oder Induktionsspulen bestehende Kochzonen automatisch konfigurieren, werden mit demjenigen Kochtopf, der den größten Durchmesser nach Tabelle A.1 besitzt, gemessen, wobei der Kochtopf in der geometrischen Mitte der Kochzone angeordnet wird.



# Technische Anschlussregeln (TAR)

- › Treffen technische Festlegungen für Kundenanlagen  
(von Einbauvorgaben für Zählerschränken bis Netzurückwirkungen)
- › Werden erarbeitet von Projektgruppen (Netzbetreiber, Hersteller, Handwerk, Wissenschaft) im VDE FNN
- › Ersetzen die technischen Regelungen der Technischen Anschlussbedingungen (TAB) der Netzbetreiber

Eine Anwendungsregel je Spannungsebene

- › Niederspannung: VDE-AR-N 4100
- › Mittelspannung: VDE-AR-N 4110
- › Hochspannung: VDE-AR-N 4120

VDE-AR-N 4100:2019-04

$$I_{\nu\text{zul}} = \frac{P_{\nu}}{1000} \cdot \frac{1}{k_{\nu}} \cdot \frac{1}{\sqrt{k_{\text{B}} + k_{\text{E}} + k_{\text{S}}}} \cdot \sqrt{\frac{S_{\text{kV}}}{S_{\text{A}}}} \cdot I_{\text{A}} \quad (6)$$

Dabei ist:

- $P_{\nu}$  Proportionalitätsfaktor für ungeradzahlige Harmonische der Ordnung  $\nu$ ;
- $I_{\text{A}}$  aus der Anlagenleistung berechneter Anlagenstrom der Kundenanlage;
- $S_{\text{kV}}$  Kurzschlussleistung am Verknüpfungspunkt;
- $S_{\text{A}}$  Anschlussleistung der Kundenanlage (Summe aus Bezugsanlage, Speicher und Erzeugungsanlage) in kVA;
- $k_{\nu}$  Resonanzfaktor für die Harmonische mit der Ordnungszahl  $\nu$ ;
- $k_{\text{B}}$  Anteil der Bezugsanlagen an der Bemessungsleistung des Ortsnetztransformators;
- $k_{\text{E}}$  Anteil der Erzeugungsanlagen an der Bemessungsleistung des Ortsnetztransformators;
- $k_{\text{S}}$  Anteil der Speichieranlagen an der Bemessungsleistung des Ortsnetztransformators.

# Technische Regeln zur Beurteilung von Netzurückwirkungen

- › umfangreiches Nachschlagewerk zum Thema Netzurückwirkungen
- › keine verbindliche Gültigkeit in Deutschland (sondern TAR)

ČSRES

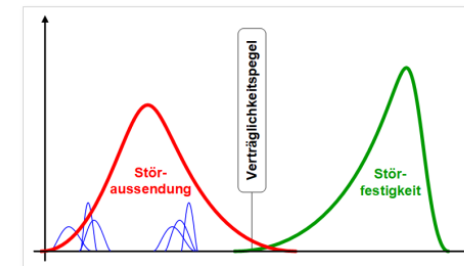
VDE FNN

österreichs  
energie.

VSE  
AES  
Verband Schweizerischer Elektrizitätsunternehmen  
Association des entreprises électriques suisses  
Associazione delle aziende elettriche svizzere

## Technische Regeln für die Beurteilung von Netzurückwirkungen

Teil A: Grundlagen



Dieses Dokument wurde erarbeitet unter der Verantwortung des internationalen Arbeitskreises EMC & Power Quality (D-A-CH-CZ).

3. Ausgabe, 2021

# Messaufbauten



Anlassbezogene Messungen  
zur Fehleranalyse



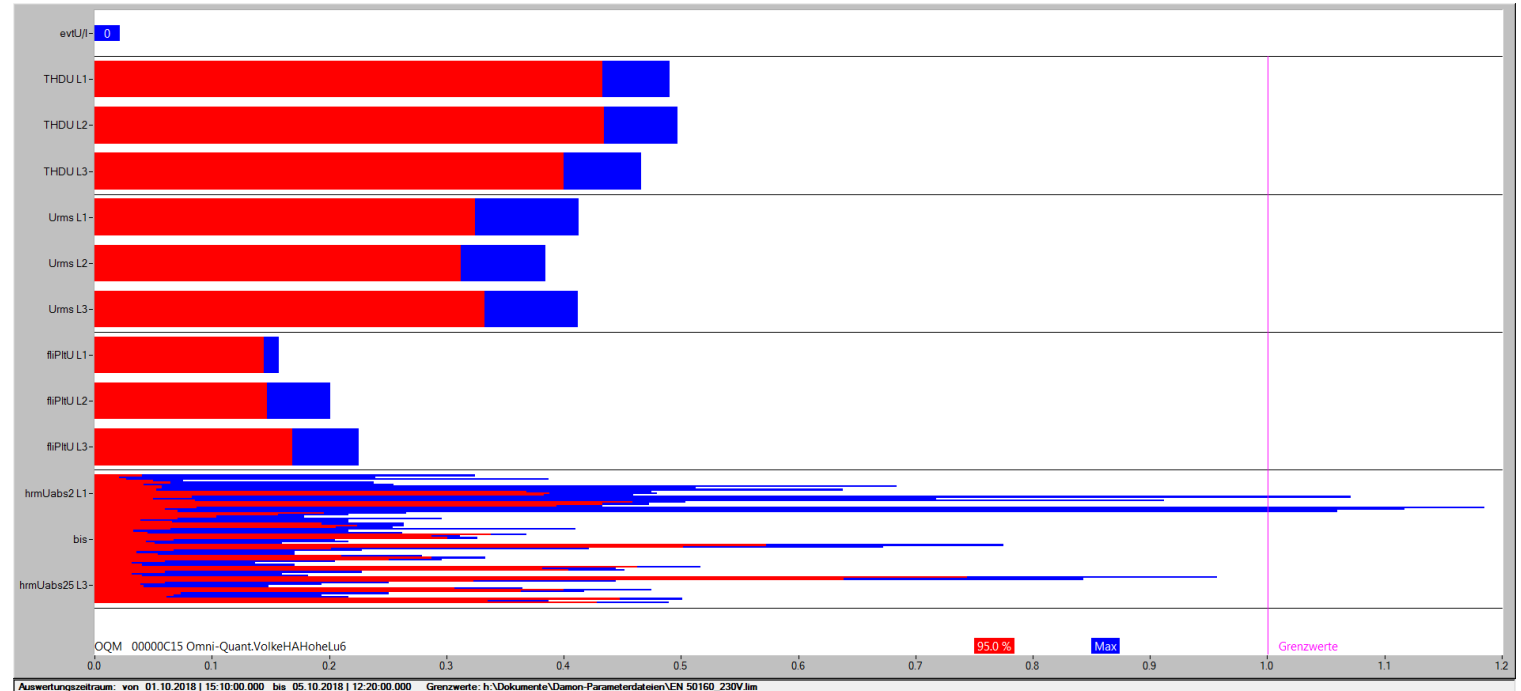
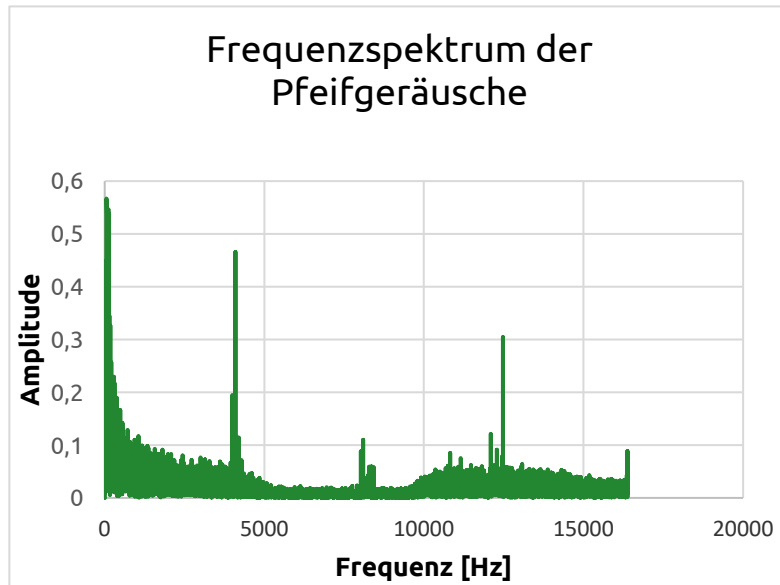
Messkampagne im Rahmen  
einer Diplomarbeit



# Praxisbeispiel 1

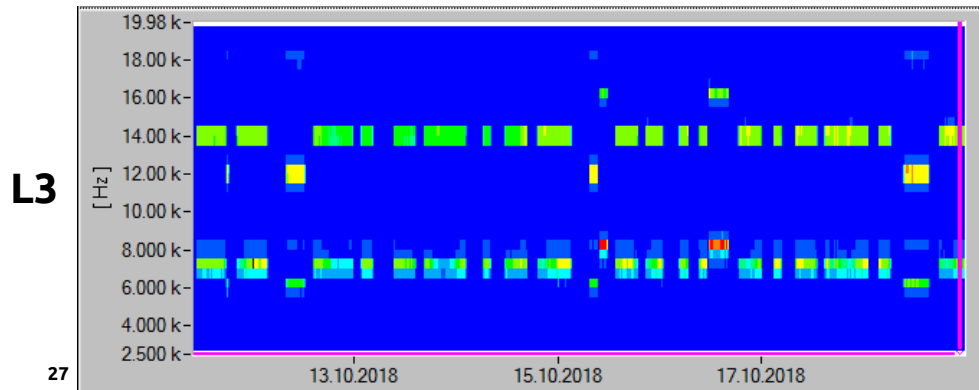
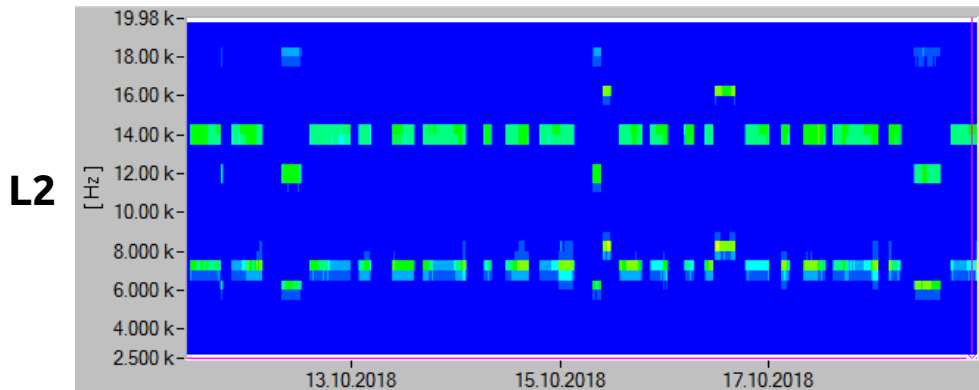
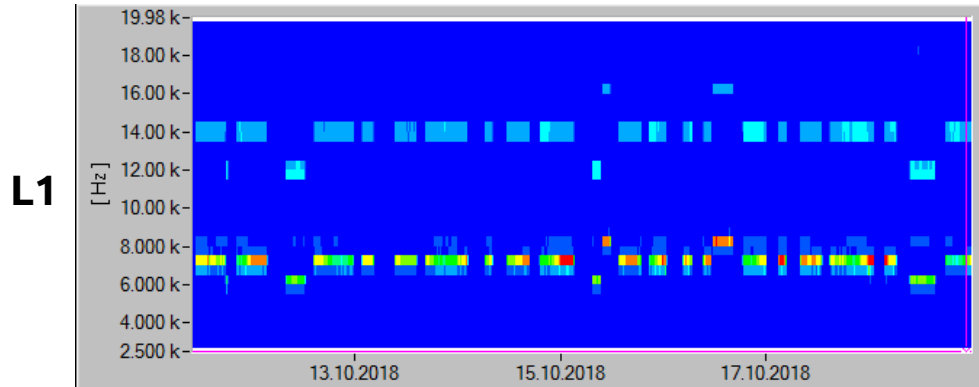
# Störphänomene

- › Radiowecker laufen zu schnell
- › Fernseher und andere Netzteilpfeifen



- › Auswertung am Hausanschluss nach DIN EN 50160 unauffällig

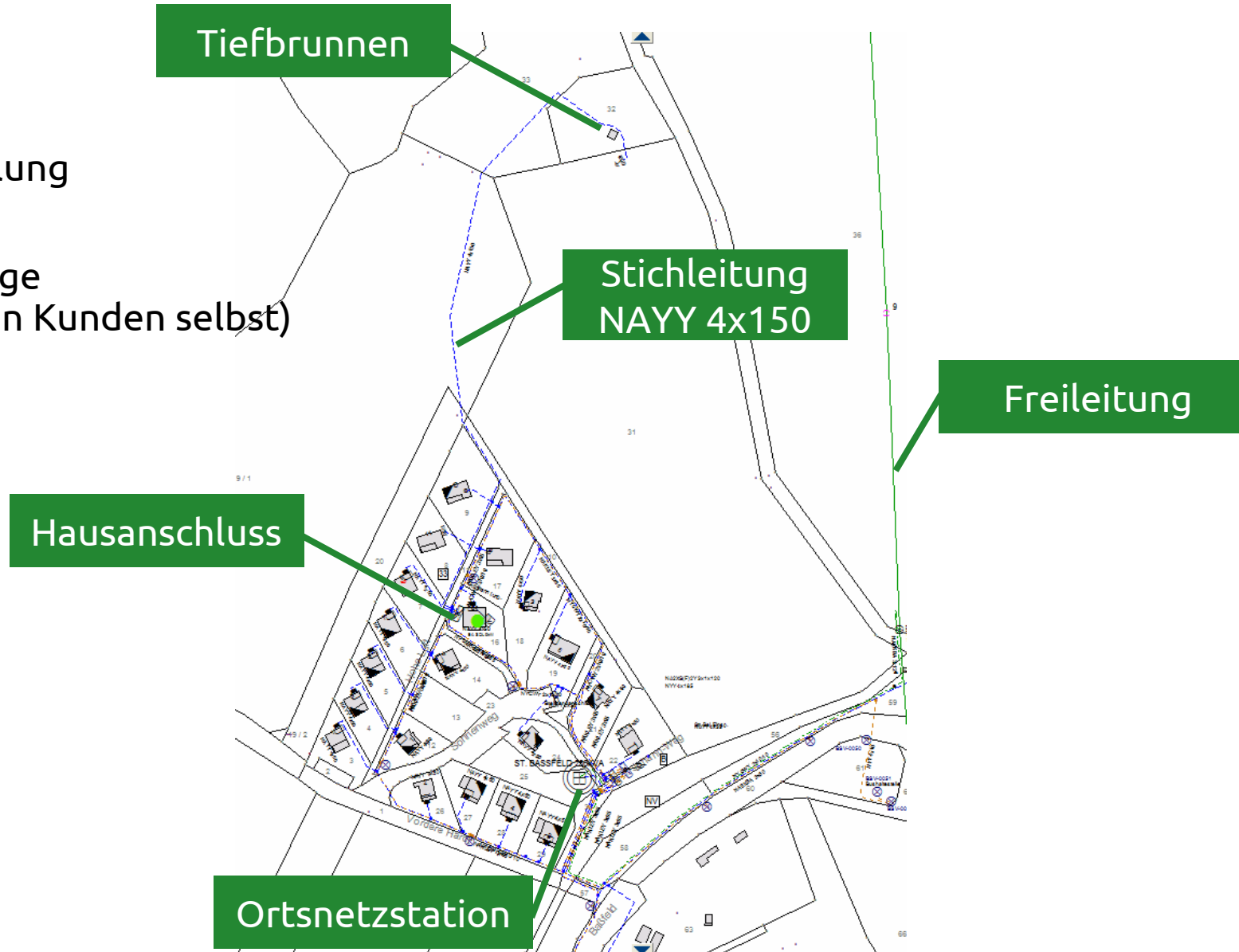
# Supraharmonische Spannungen beim Kunden



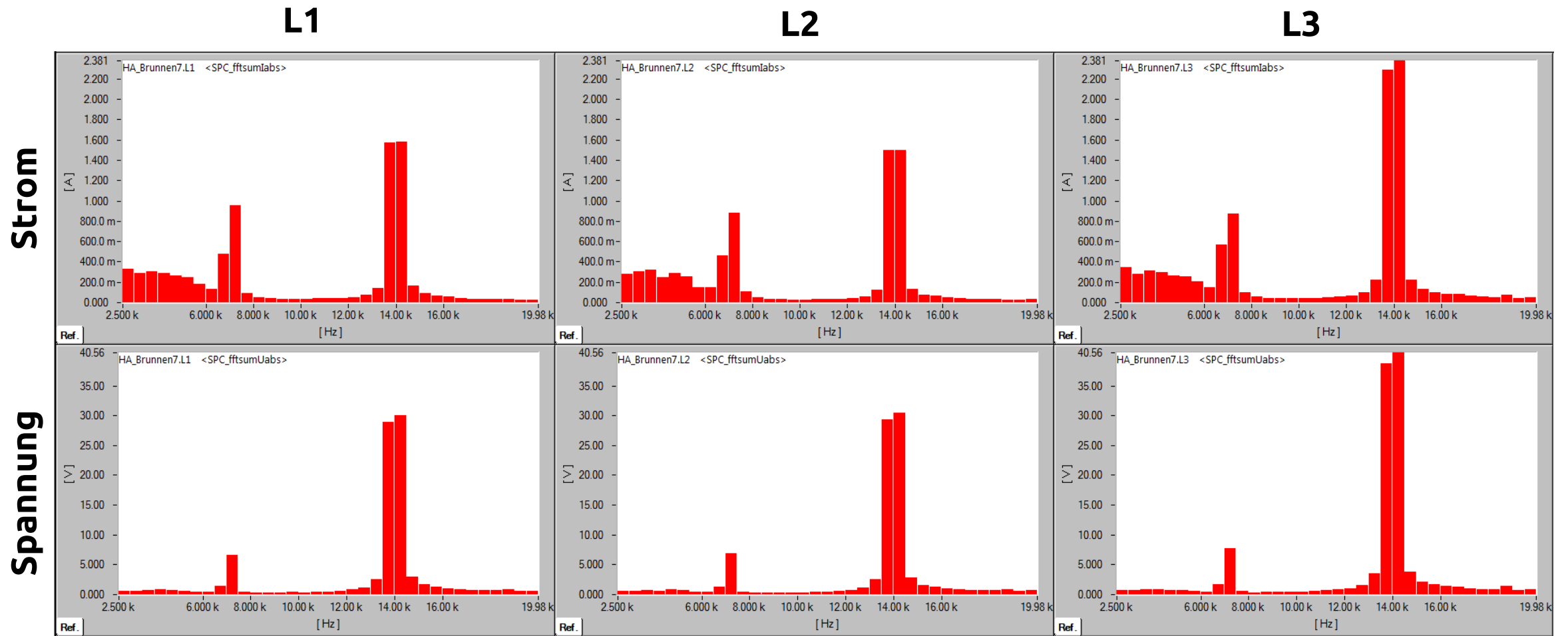
- › Regelmäßiges Auftreten von supraharmonischen Spannungen
- › Frequenzbereich 7 kHz und 14 kHz

# Lageplan

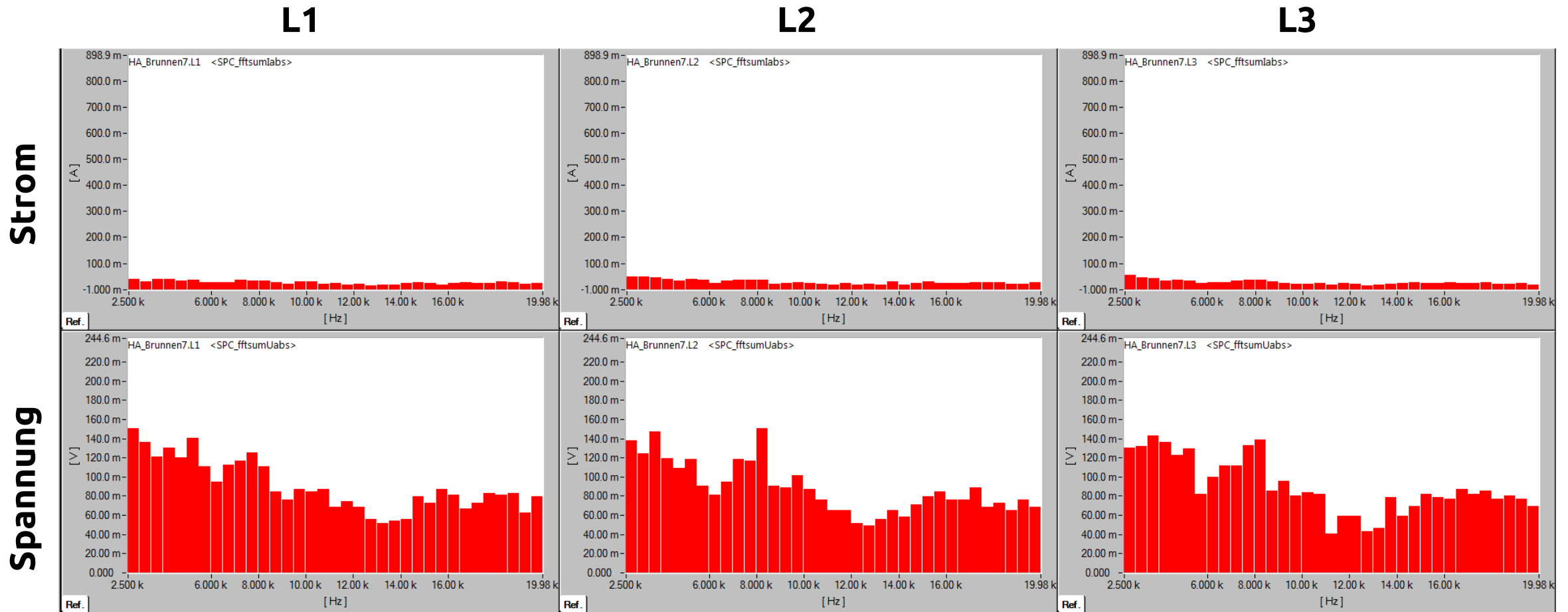
- › Kleine Wohnsiedlung
- › Kein Gewerbe
- › Nur eine PV-Anlage  
(beim betroffenen Kunden selbst)



# Frequenzspektrum - HA Tiefbrunnen (Umrichterbetrieb)



# Frequenzspektrum - HA Tiefbrunnen (Stern-Dreieck-Anlauf)



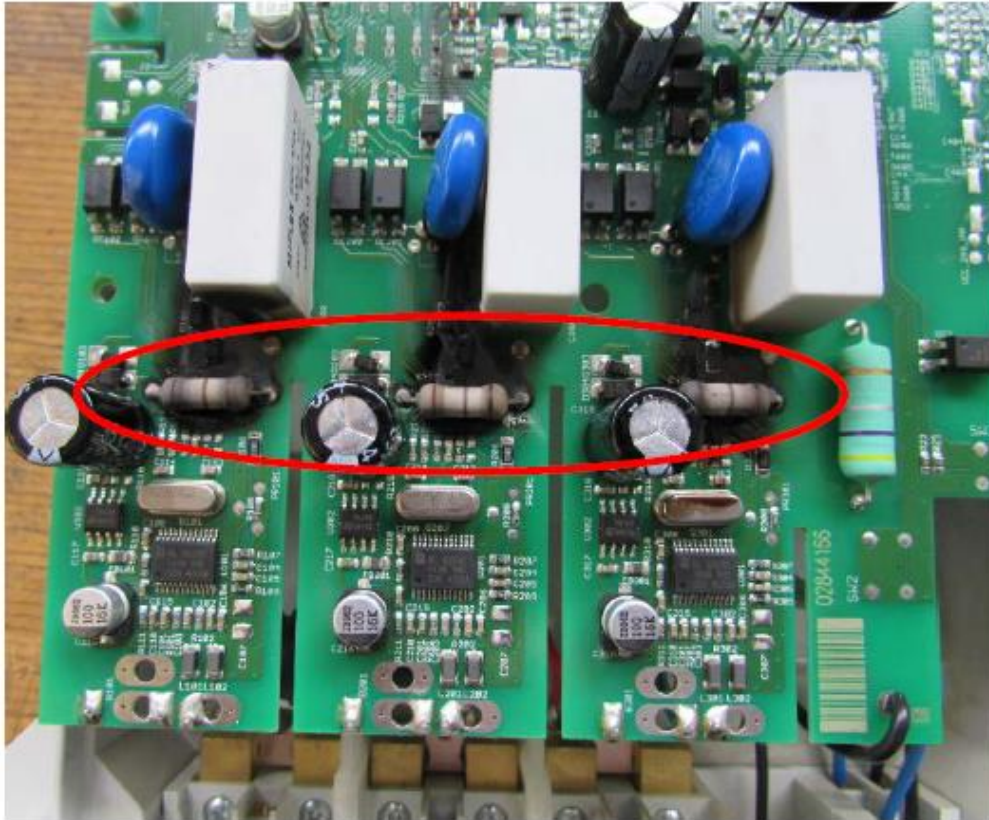
# Abhilfemaßnahmen

- › Verstellung der Taktfrequenz des Umrichters → keine Verbesserung
- › Einbau einer Drossel auf der Netzseite des Umrichters → keine Verbesserung
- › Einbau eines abgestimmten Filters auf der Netzseite des Umrichters  
→ Hochfrequente Ströme und Spannungen treten nicht mehr auf
  
- › Maßnahme: Nachrüstung aller Tiefbrunnen des Betreibers mit entsprechenden Filtern

# Praxisbeispiel 2



# Defekte an elektronischen Zählern



- › Elektronischer Zähler in ZAS von Tiefbrunnen wird direkt nach dem Einbau zerstört (Widerstände glühen)
- › Ferraris-Zähler arbeitete jahrelang ohne Probleme

Abbildung 1: Zähler mit den drei ausgeglühten Widerständen und weiteren Brandspuren

# Oszillogramm Zwischenkreisfrequenz 6 kHz

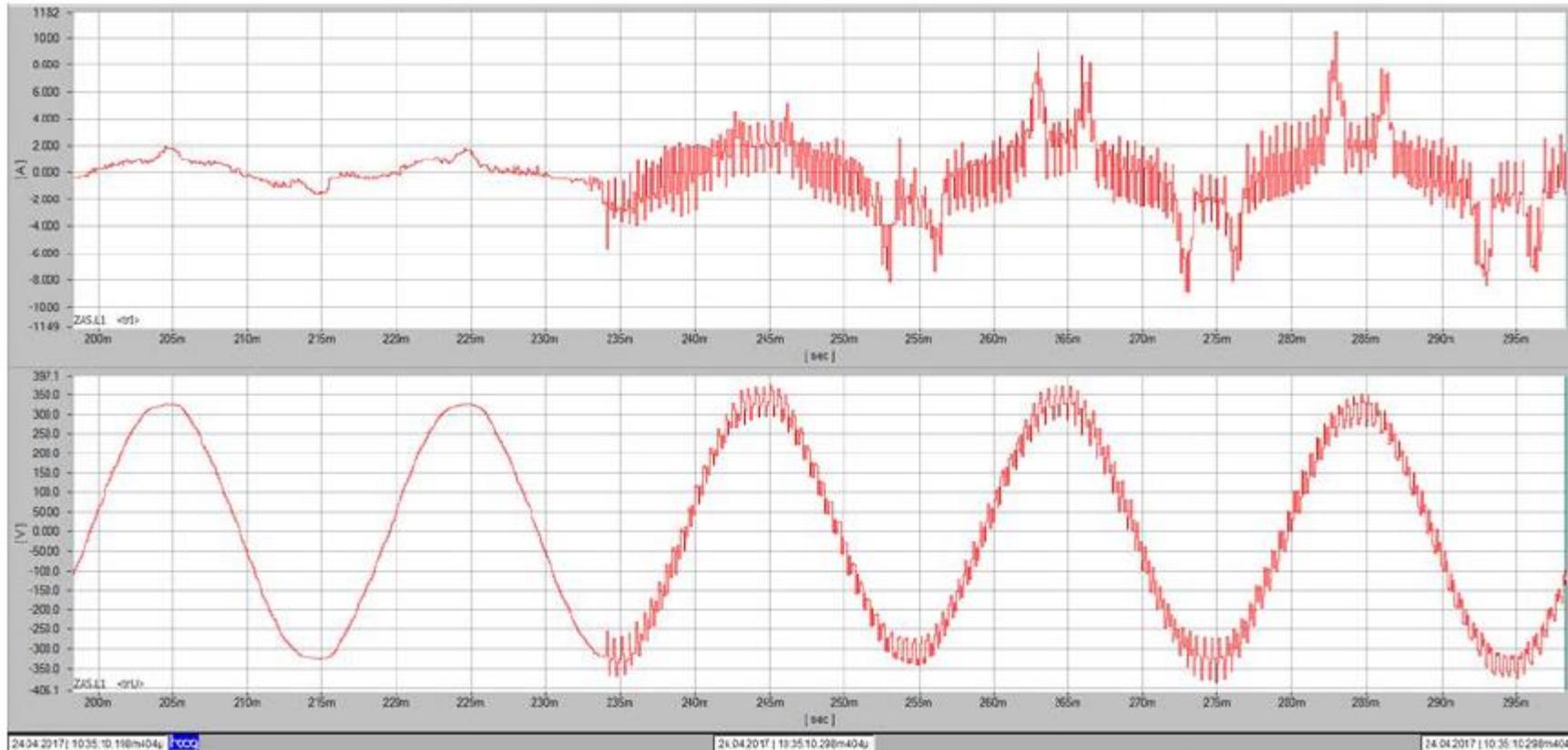


Diagramm 1: Oszillogramm von Strom und Spannung beim Anlauf der Pumpe, Zwischenkreisfrequenz 6 kHz

# Spektren Zwischenkreisfrequenz 6 kHz

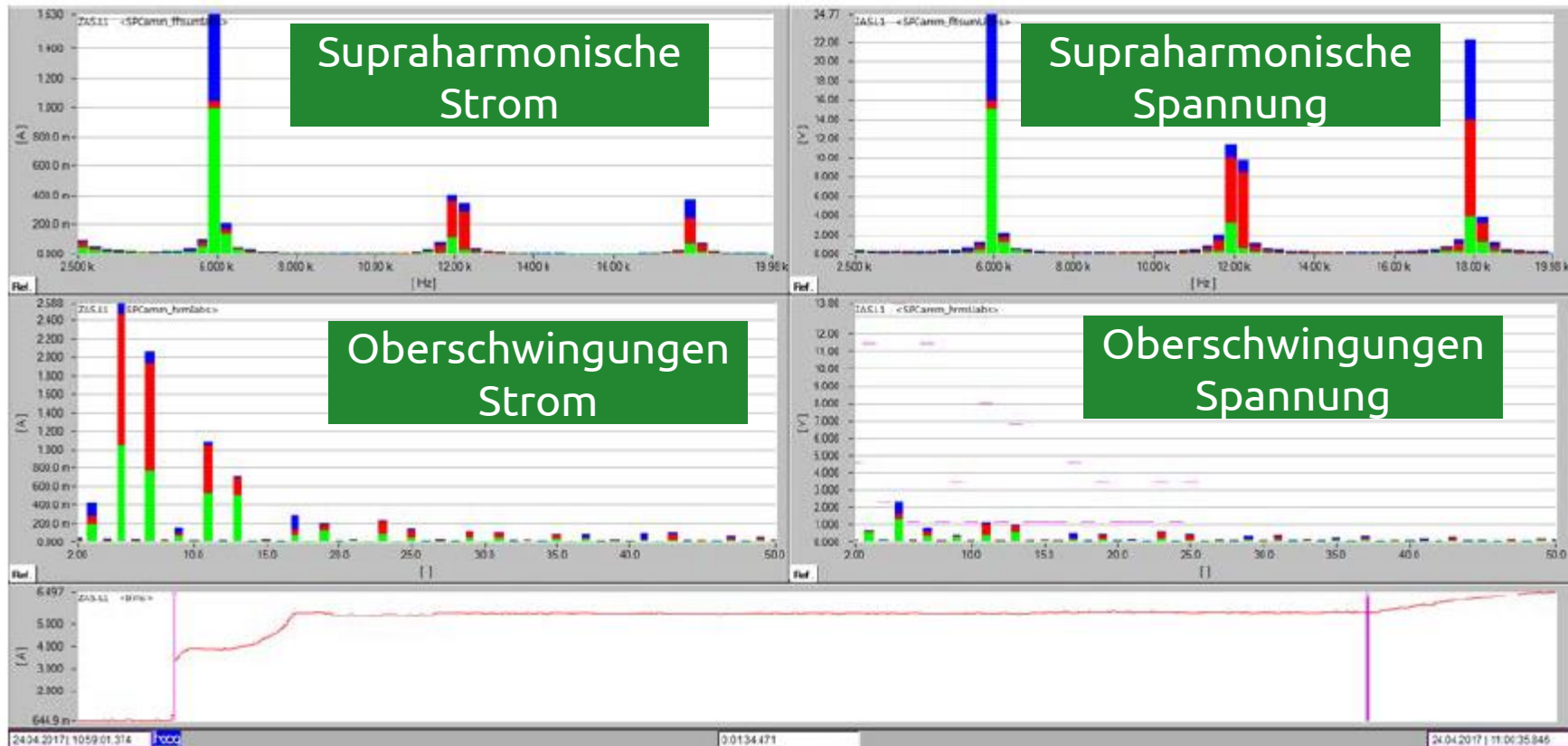
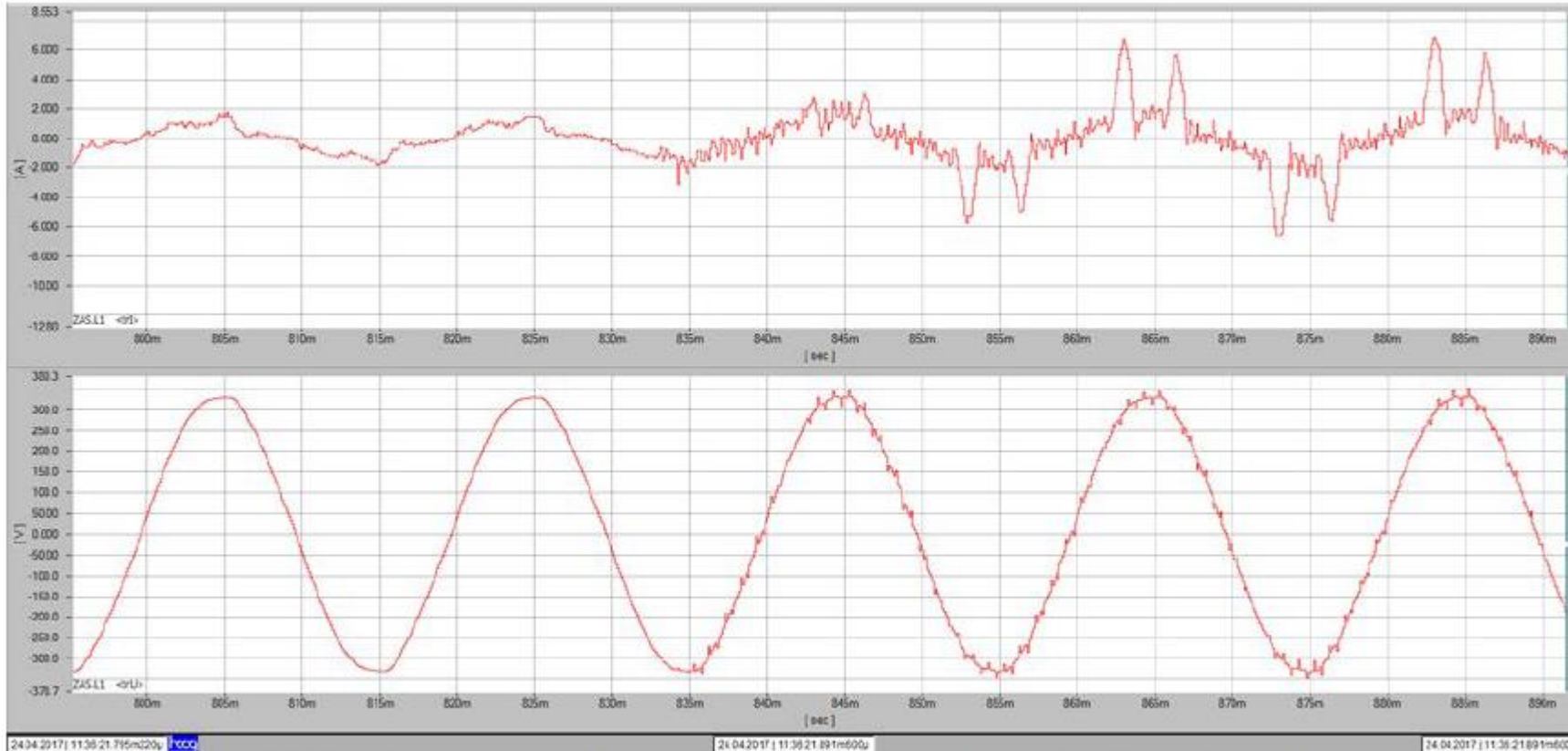


Diagramm 2: Spektraldarstellung Oberschwingungen und höherfrequente Ströme und Spannungen ( $df=300$  Hz), Zwischenkreisfrequenz 6 kHz

# Oszillogramm Zwischenkreisfrequenz 1 kHz



- › Schrittweise Reduzierung der Zwischenkreisfrequenz
- › Bei 1 kHz (minimal möglicher Einstellwert) deutlich geringere Emission von Supraharmonischen

Diagramm 9: Oszillogramm von Strom und Spannung beim Anlauf der Pumpe, Zwischenkreisfrequenz 1 kHz



# Spektren Zwischenkreisfrequenz 1 khz

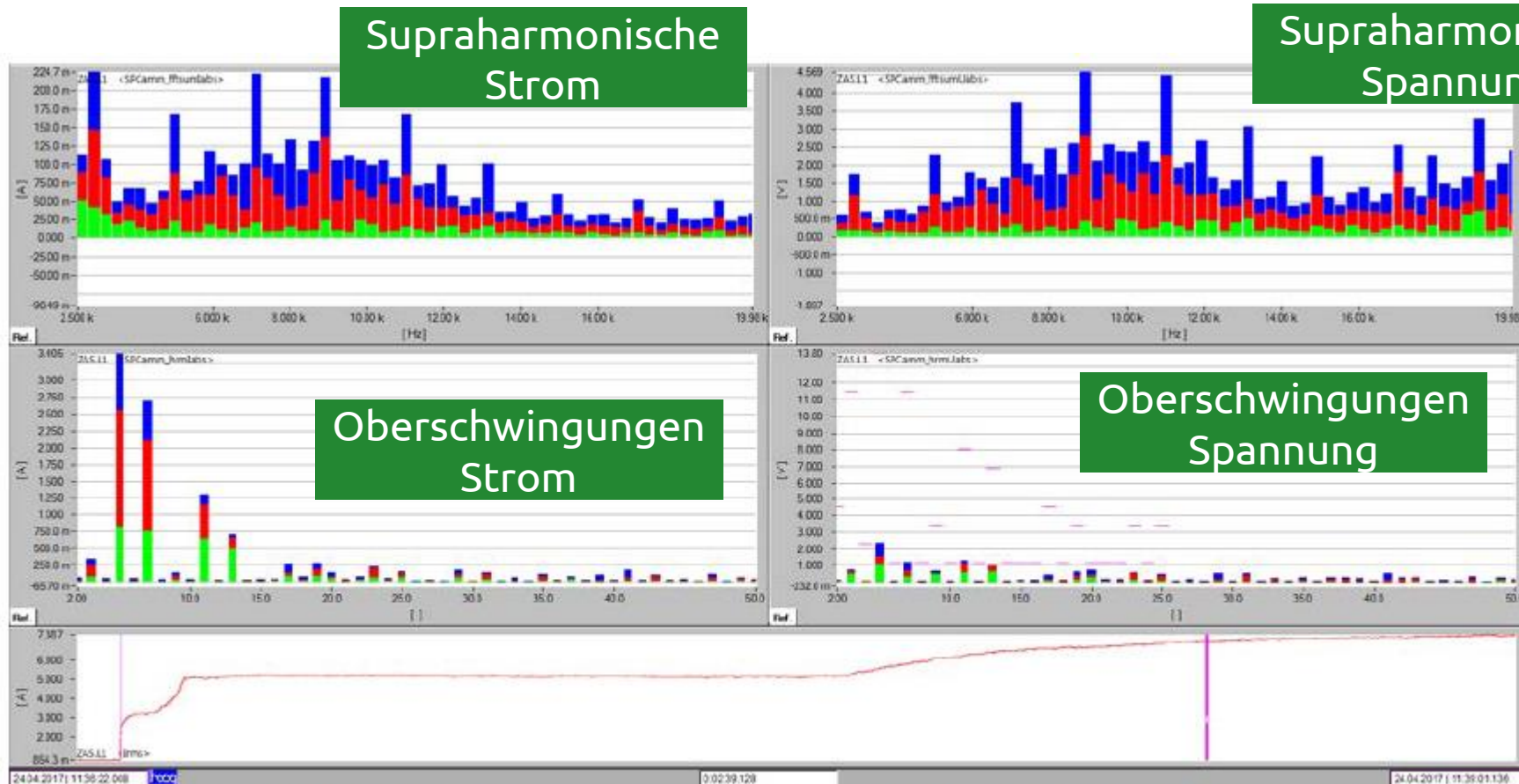
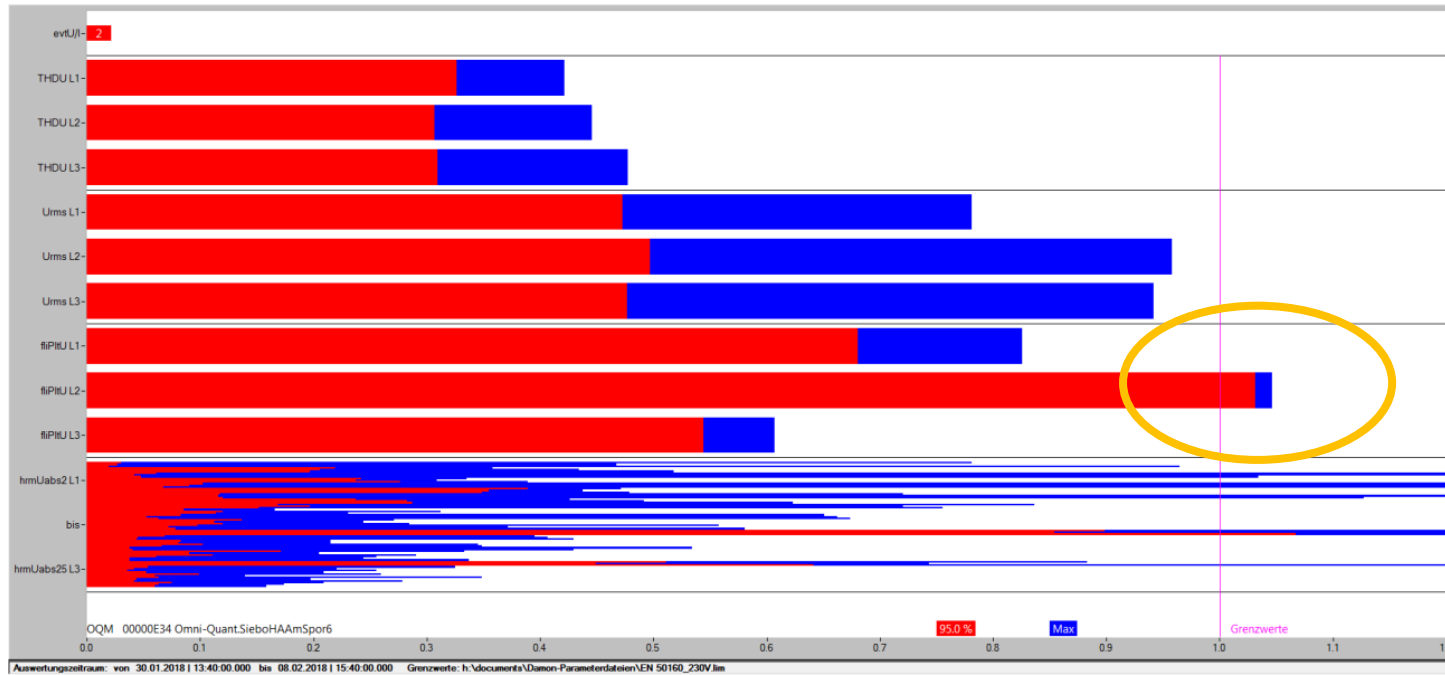


Diagramm 10: Spektraldarstellung Oberschwingungen und höherfrequente Ströme und Spannungen ( $df=300$  Hz), Zwischenkreisfrequenz 1 kHz

- › Maßnahme: Betrieb mit Zwischenkreisfrequenz 1 kHz, da Betriebsende des Brunnens absehbar und Zähler funktionstüchtig

# Praxisbeispiel 3

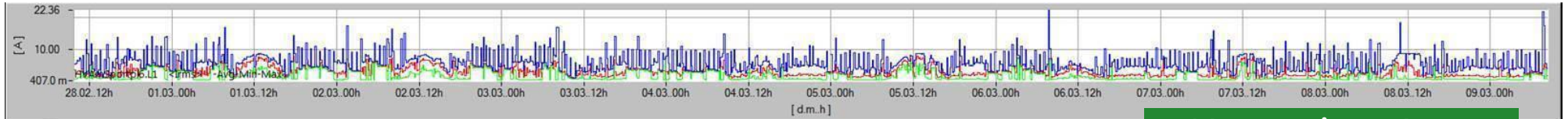
# Lichtflackern



- › Kunde klagt über häufiges Lichtflackern
- › Flickerwerte nach DIN EN 50160 überschritten

# Ströme und Flicker beim Kunden

Strom L1

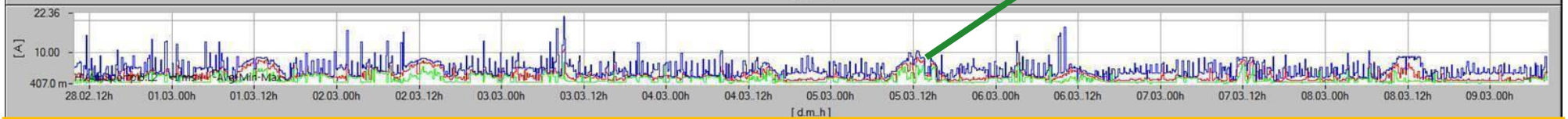


Pst L1



Nur geringe Last beim Kunden

Strom L2

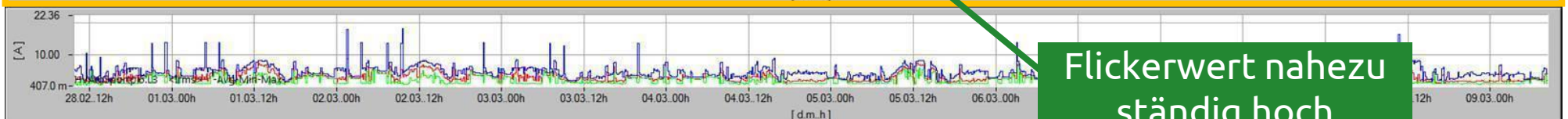


Pst L2

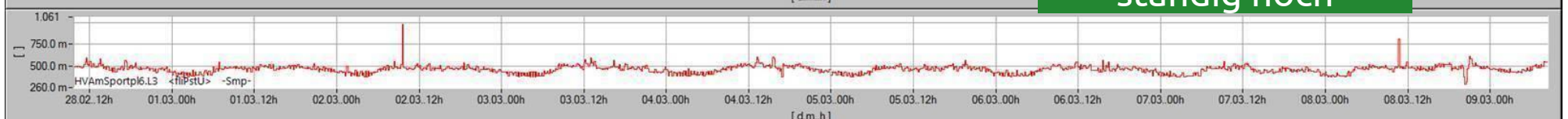


Flickerwert nahezu ständig hoch

Strom L3

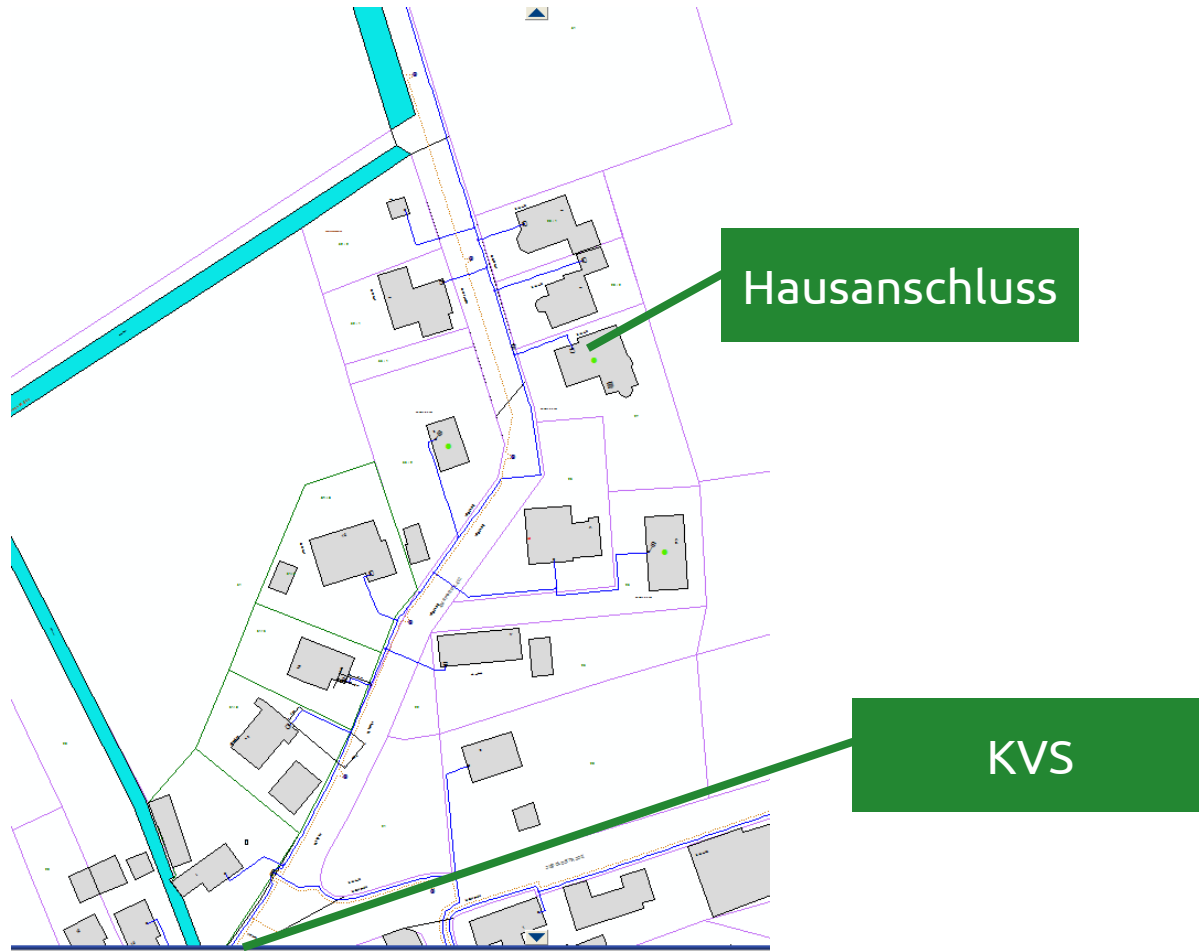


Pst L3

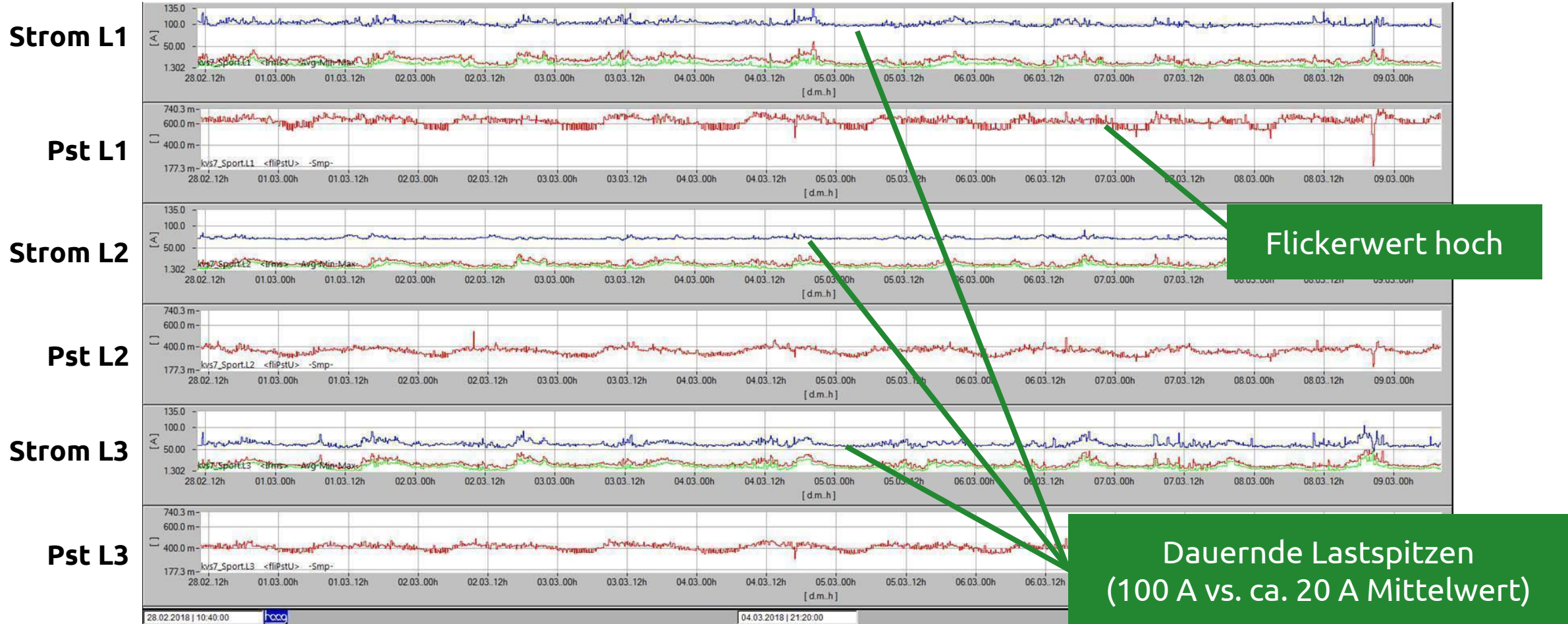




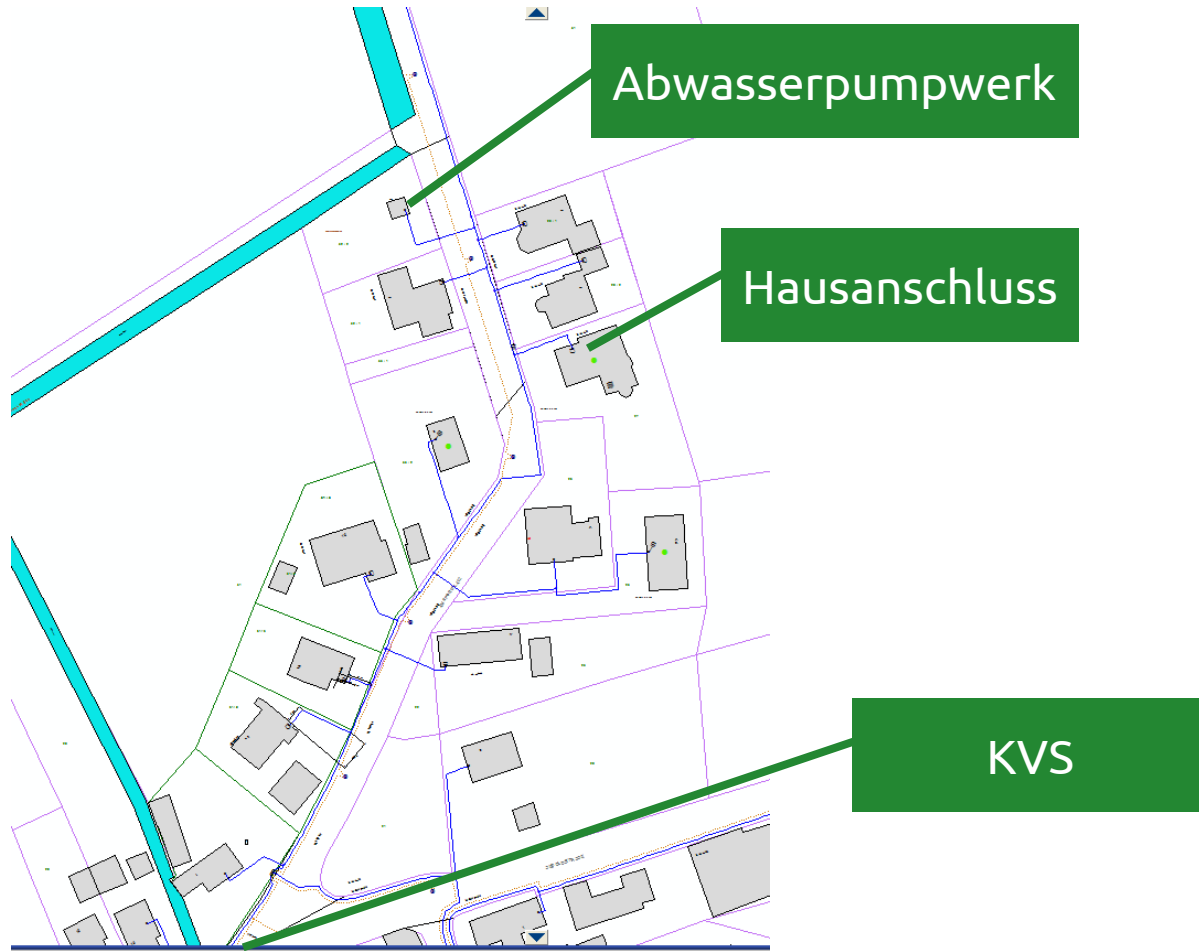
# Lageplan



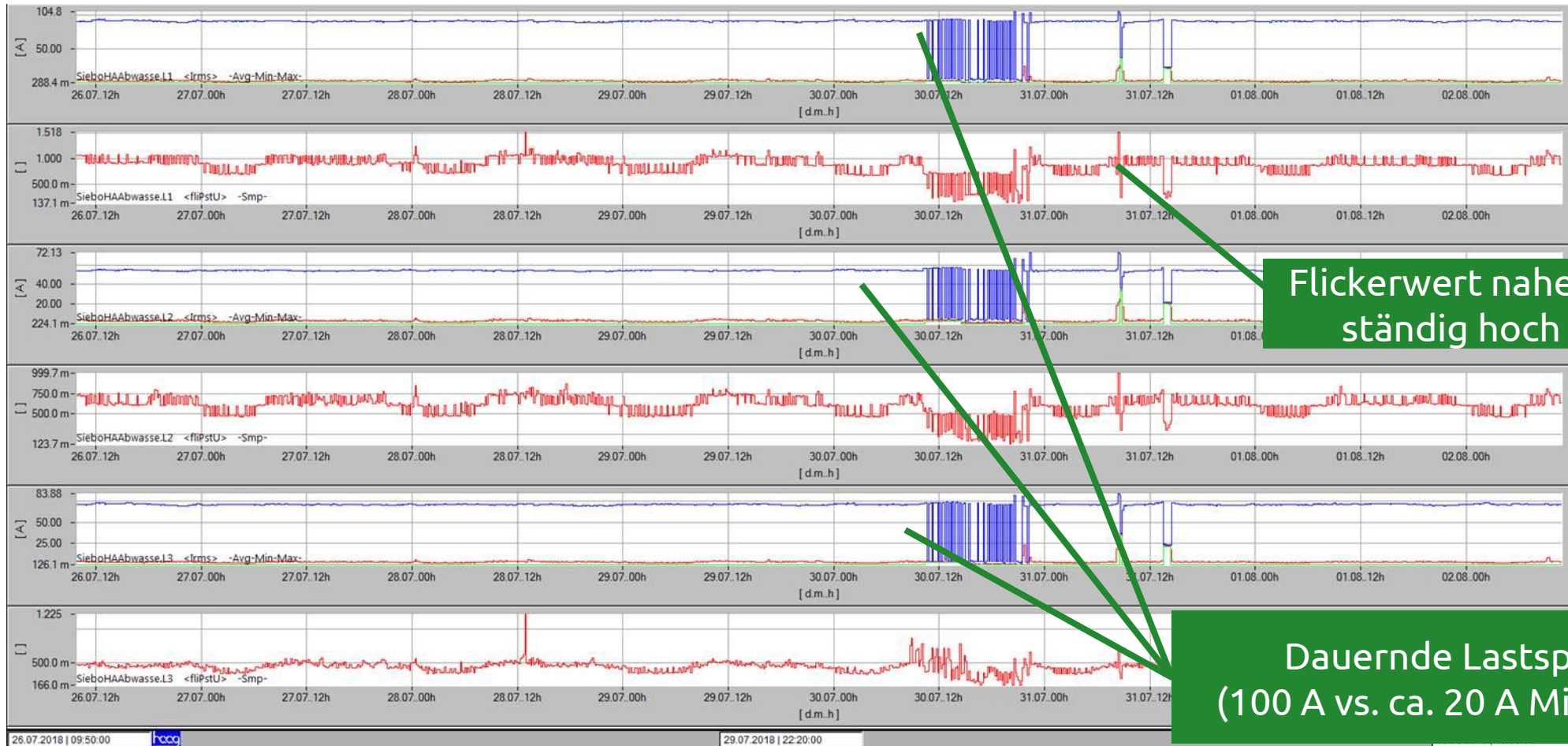
# Ströme und Flicker am KVS



# Lageplan



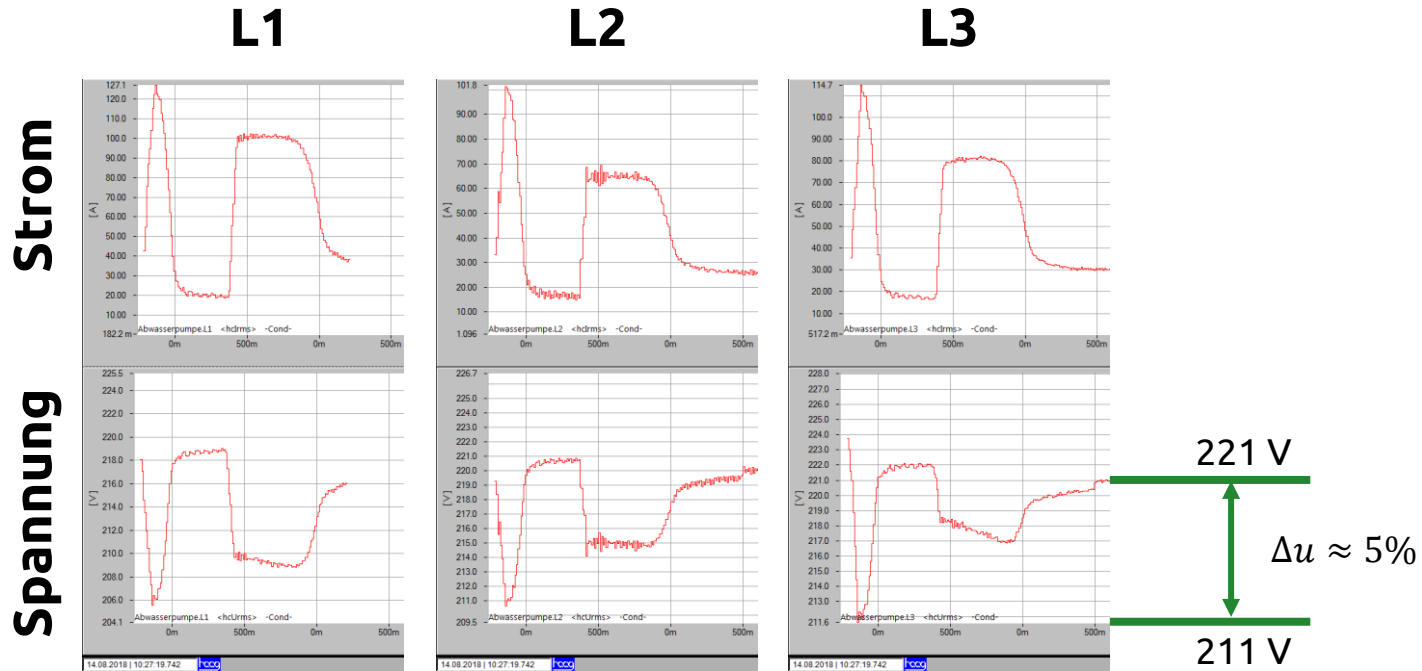
# Ströme und Flicker am HA Abwasserpumpwerk



Flickerwert nahezu  
ständig hoch

Dauernde Lastspitzen  
(100 A vs. ca. 20 A Mittelwert)

# Anlaufströme des Pumpenmotors



- › Direkt geschalteter Pumpenmotor
- › Keine Änderungen in letzter Zeit
- › Betrieb über Schwimmerschalter in kleinem Pufferbehälter → Schalten im Minutentakt

# Nachrechnung

Die Netzkurzschlussleistung am Hausanschluss des Abwasserpumpwerkes beträgt  $S_k'' = 1,23 \text{ MVA}$  bei einem Netzimpedanzwinkel  $\varphi_k'' = -15,95^\circ$ . Der durch einen Lastsprung verursachte Spannungseinbruch  $d$  berechnet sich zu

$$d = \frac{\Delta U}{U} \approx \frac{\Delta S_A}{S_k''} \cdot \cos(\varphi_k'' - \varphi) = \frac{\Delta P_A}{S_k''} \cdot \cos(\varphi_k'') + \frac{\Delta Q_A}{S_k''} \cdot \sin(\varphi_k'')$$

Die Veränderung der Wirk- bzw. Blindleistung zwischen ausgeschaltetem Zustand und dem Maximalwert beim Einschalten beträgt  $\Delta P_A = 44,1 \text{ kW}$  bzw.  $\Delta S_A = -66,3 \text{ kVA}$  (jeweils als Summe der drei Phasen). Damit ergibt sich

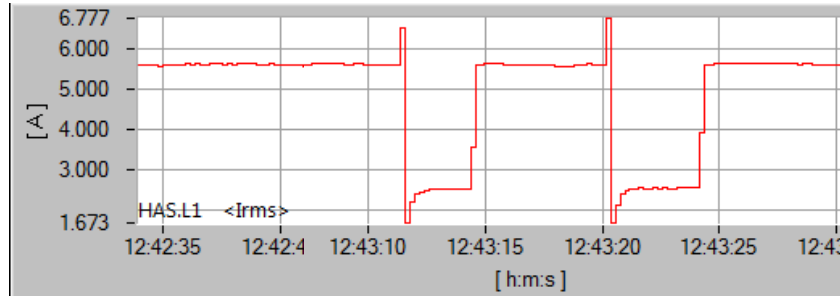
$$d \approx \frac{44,1 \text{ kW}}{1,23 \text{ MVA}} \cdot \cos(-15,95^\circ) + \frac{-66,3 \text{ kVA}}{1,23 \text{ MVA}} \cdot \sin(-15,95^\circ) = 4,9 \%$$

- › Maßnahme: Betrieb des Pumpenmotors über Umrichter zur Anlaufstromreduzierung

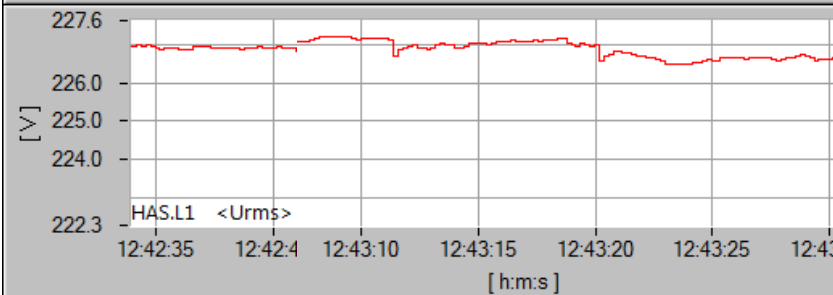
# Praxisbeispiel 4

# Lichtflackern im Neubau

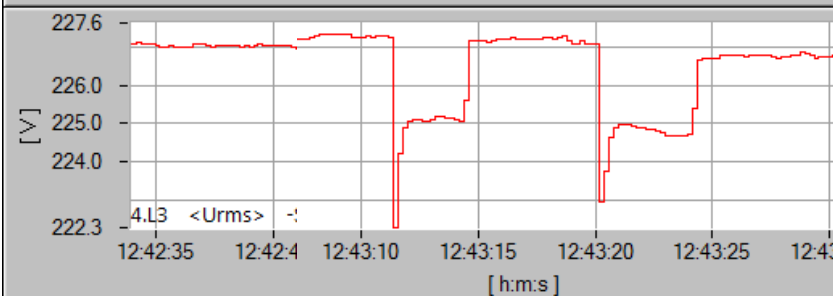
**Strom L1  
(HA)**



**Spannung L1  
(HA)**



**Spannung L1  
(Steckdose)**



27.02.2019 | 12:42:33.955 | 27.02.2019 | 12:43:16.957

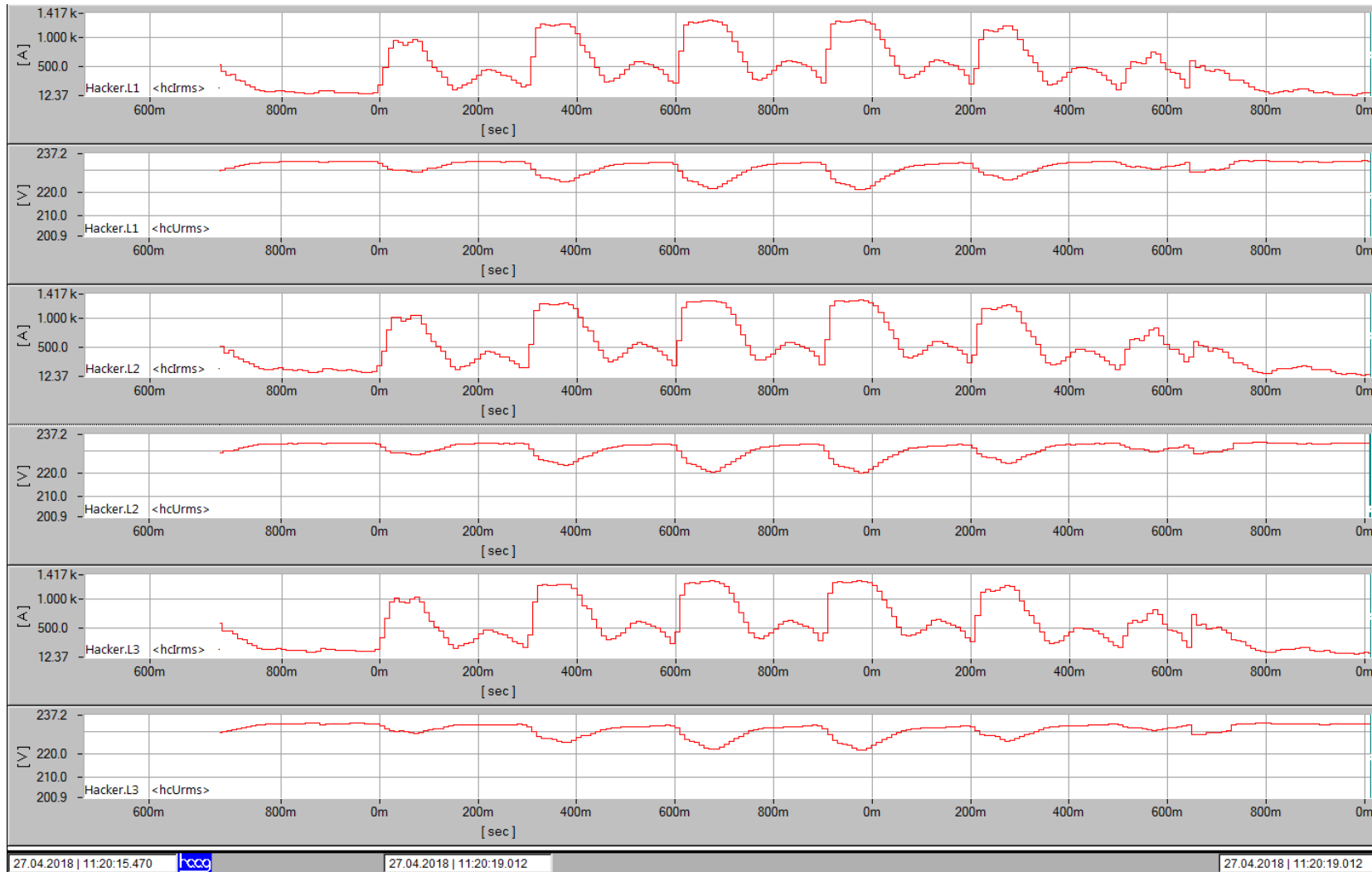
- › Kundin klagt über Lichtflackern im Neubau beim Einschalten des Staubsaugers
- › Netzanalyse nach DIN EN 50160 am Hausanschluss unauffällig
- › Installateur bescheinigt einwandfreie Hausinstallation
- › Einschaltstrom: ca. 4 A
- › Spannungseinbruch am HA: ca. 0,5 V
- › Spannungseinbruch an Steckdose: ca. 5 V

→ Lichtflackern nachvollziehbar, öffentliches Netz als Ursache ausgeschlossen, Ergebnis für Kundin eher unbefriedigend



# Praxisbeispiel 5

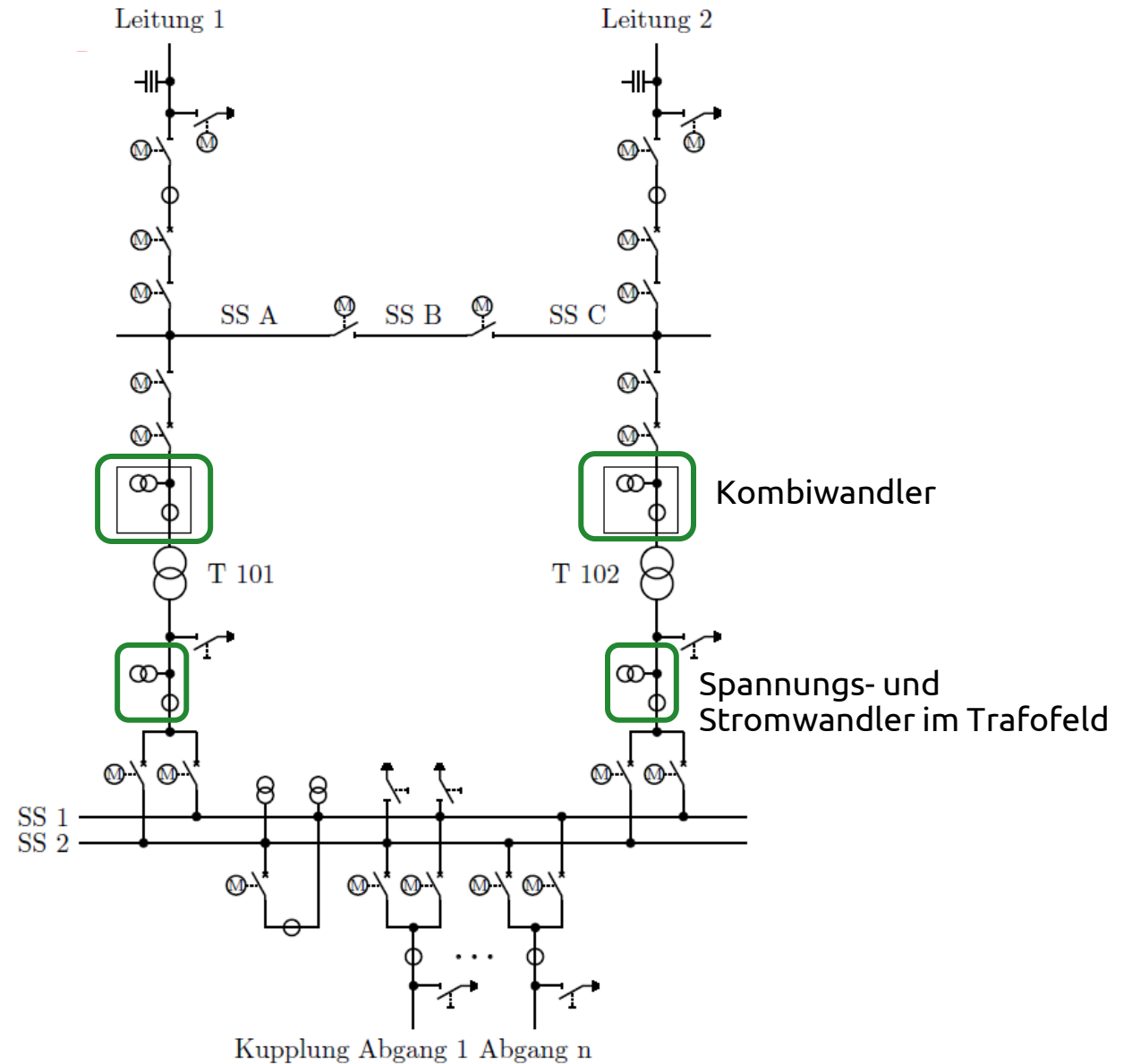
# Spannungseinbrüche durch Hacker in Holzkohlefabrik



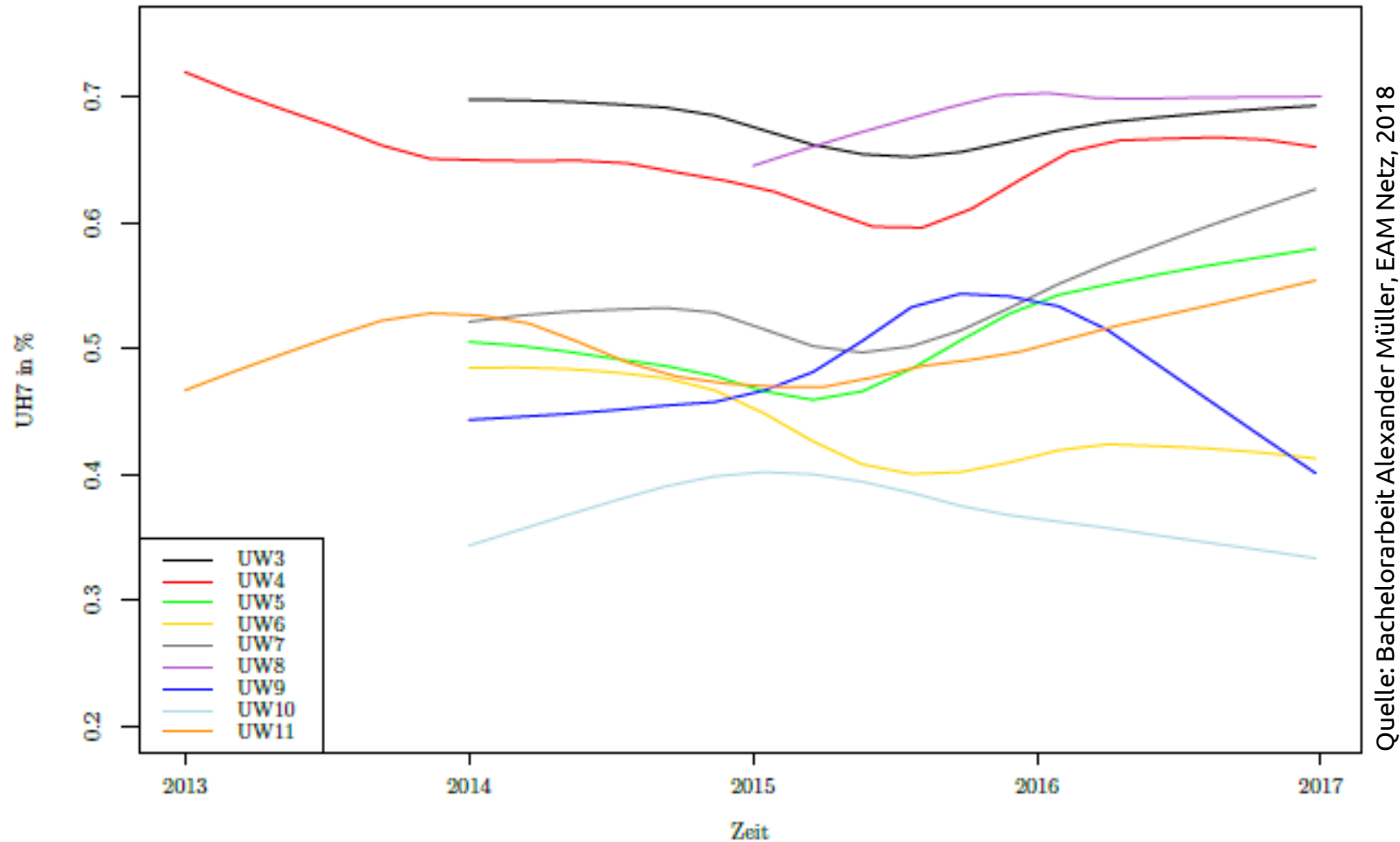
# Praxisbeispiel 6

# Messanordnung

- › Kontinuierliche Messung in ca. 35 UW
- › Messung jeweils im Trafofeld
- › Mittelspannungsseite: Spannungen und Ströme
- › Hochspannungsseite: Spannungen



# Trendanalyse – 7. Harmonische Spannung



# Praxisbeispiel 7

# Live-Messung

- › Spannungsqualität Uni-Netz (Steckdose)
- › Netzurückwirkungen
  - › Glühlampe
  - › Kompaktleuchtstofflampe (Energiesparlampe)
  - › Notebook-Netzteil

# Zusammenfassung

- › Störungen durch Netzurückwirkungen
  - › sind meistens lokal begrenzt
  - › entstehen durch defekte oder falsch dimensionierte Betriebsmittel (meist bei Kunden)
  - › früher eher Flicker und Oberschwingungen, heute eher Supraharmonische
- › Auslegung der Kundenanlagen entsprechend der Technischen Regeln vermeidet Störungen in der eigenen und anderen Anlagen



**EAM Netz**