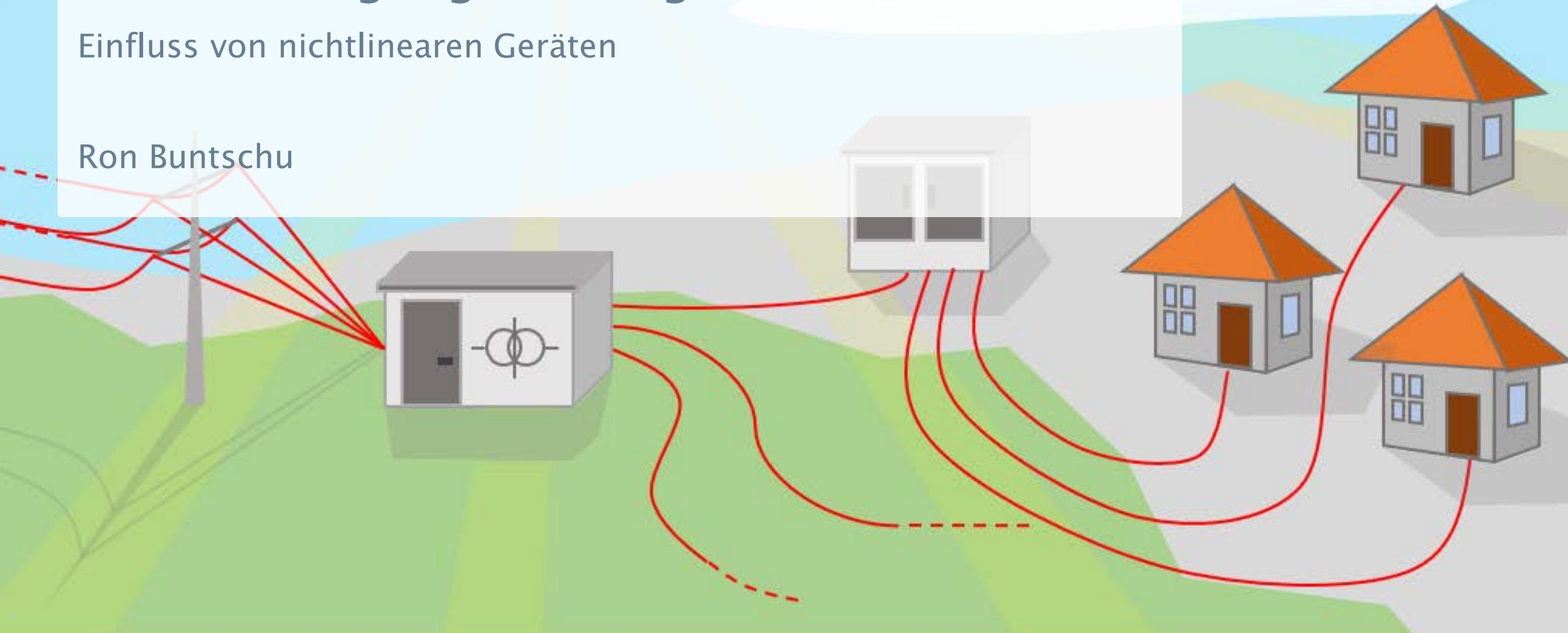


Oberschwingungsleistung im Verteilnetz

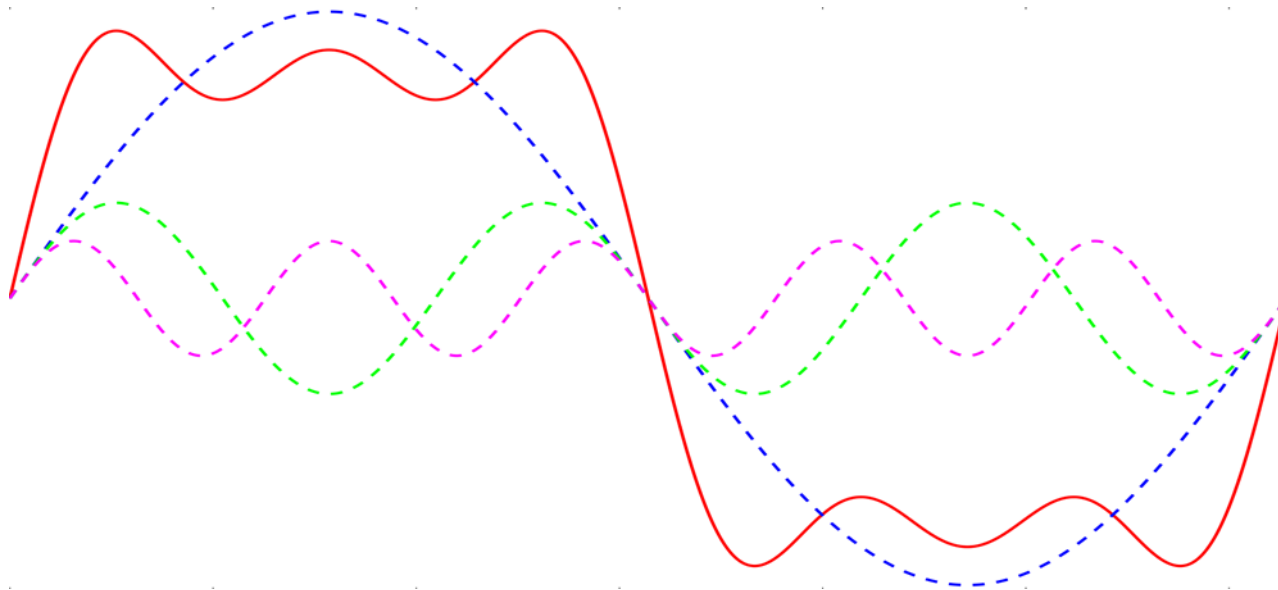
Einfluss von nichtlinearen Geräten

Ron Buntschu



Ausgangslage

- ▶ Zunahme von **nichtlinearen Geräten** im Netz
 - ▶ LED als Standardbeleuchtung
 - ▶ Elektronische Ansteuerungen von Lasten
 - ▶ Ausstieg aus Atomkraft → PV-Wechselrichter
 - ▶ Steigender Bedarf an elektronischen Geräten



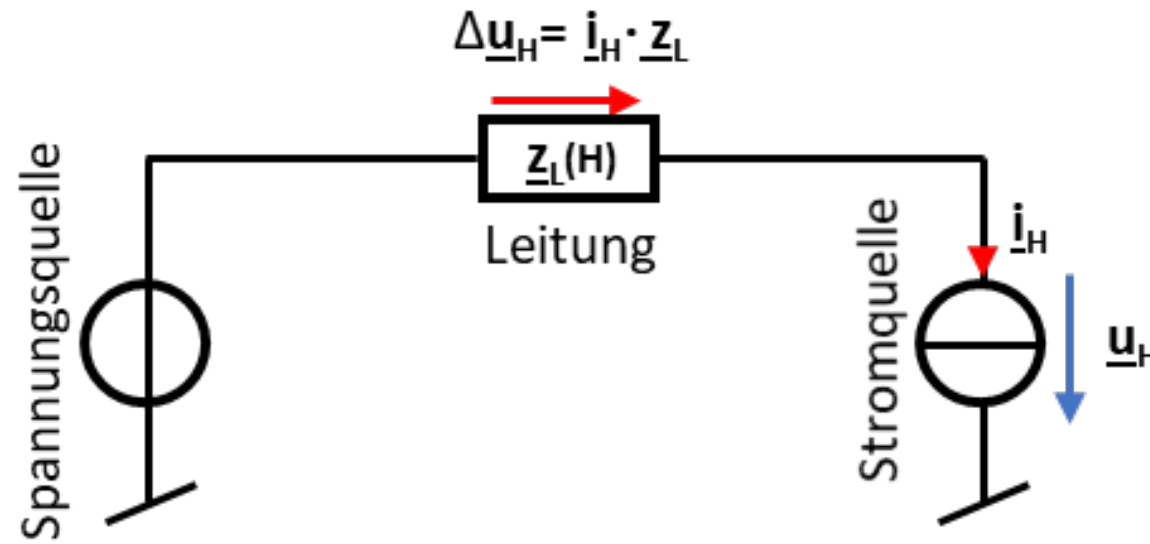
Ziele

- ▶ Verhalten nichtlinearer Geräte an verzerrter Spannung
 - ▶ Einfluss von WR auf Spannungsoberschwingungen
- ▶ Kompensation von Stromharmonischen
 - ▶ Zwischen Geräten
 - ▶ Im Netz
- ▶ Relevanz von Oberschwingungswirkleistung bei der Energiemessung
- ▶ Netzverluste durch Oberschwingungen
- ▶ Einfluss von Oberschwingungsfiltern auf die Spannungsharmonischen

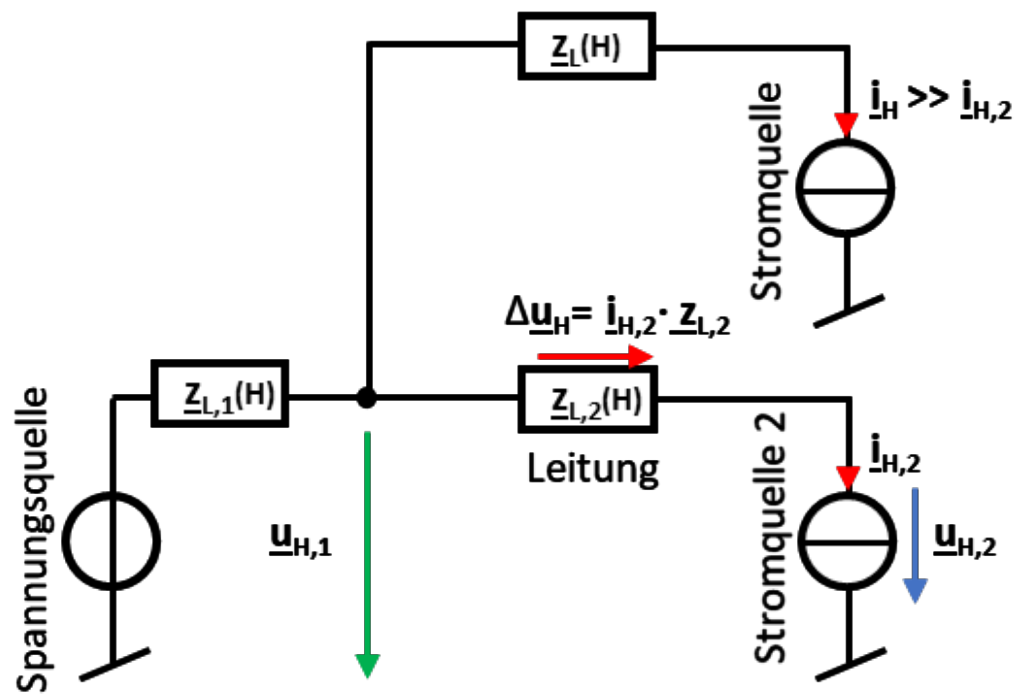
Auswirkungen von Oberschwingungen

- ▶ Schnelleres altern von Netzelementen
- ▶ Zusätzliche Netzverluste
- ▶ Stören von Signalen (Rundsteuer usw.)

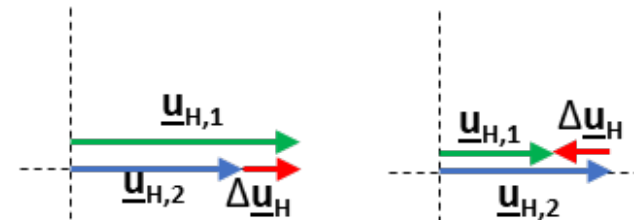
Entstehung von verzerrter Spannung



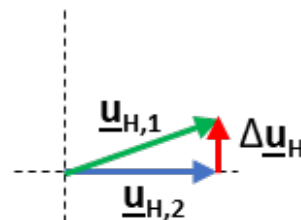
Beeinflussung der verzerrten Spannung



Verschlechterung: $\varphi_{\underline{i}_{H,2}} + \varphi_{\underline{z}_{L,2}} = 0^\circ$ Verbesserung: $\varphi_{\underline{i}_{H,2}} + \varphi_{\underline{z}_{L,2}} = 180^\circ$



Winkeländerung: $\varphi_{\underline{i}_{H,2}} + \varphi_{\underline{z}_{L,2}} = \pm 90^\circ$



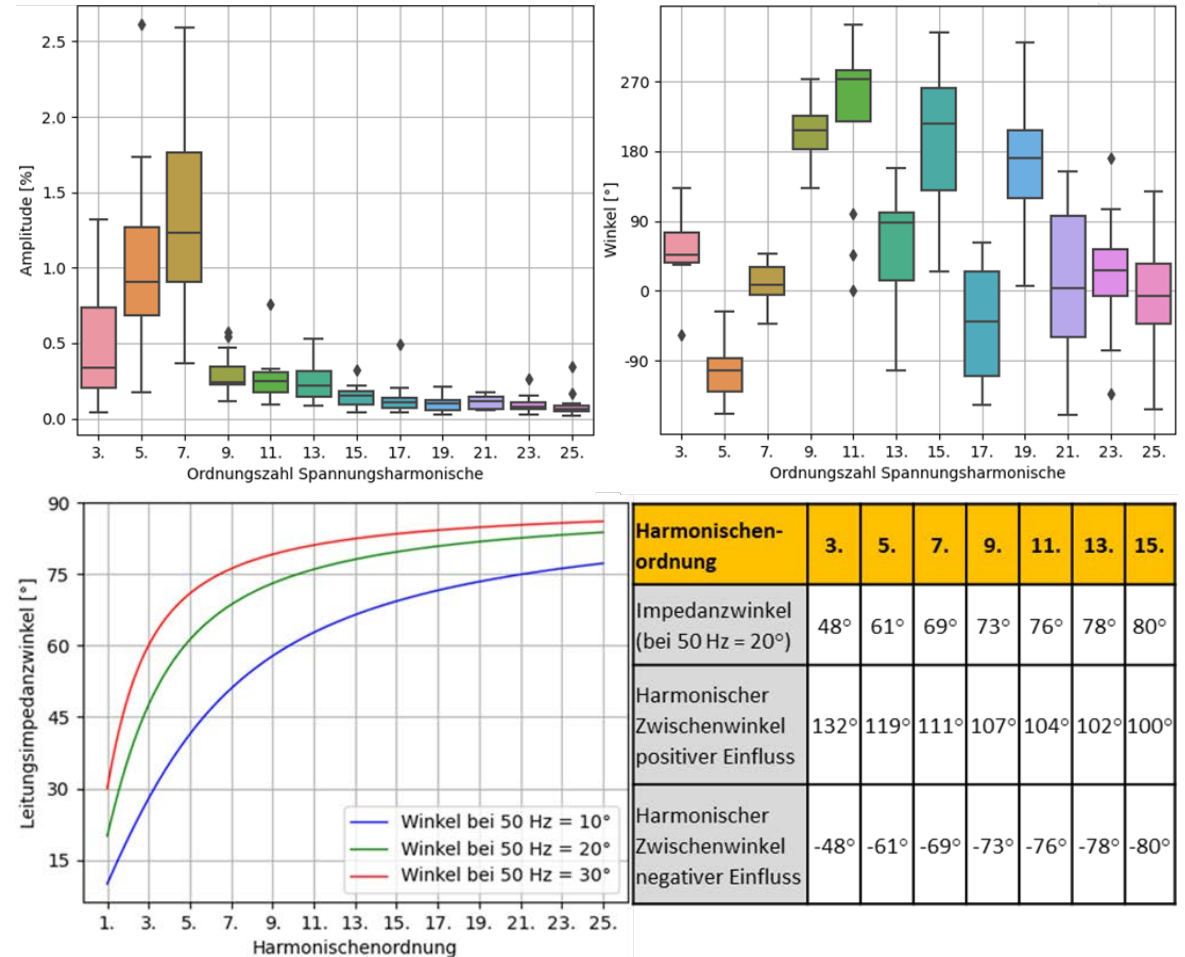
Untersuchung von nichtlinearen Geräten

- ▶ Elektronische Geräte im Haushalt
 - ▶ PC-Displays
 - ▶ TV-Gerät
 - ▶ LED
 - ▶ Spielkonsole
 - ▶ Laptop Netzteil
- ▶ Wechselrichter
 - ▶ unidirektionale PV-Inverter
 - ▶ bidirektionale PV-Inverter
 - ▶ bidirektionaler Batteriewechselrichter

Untersuchung von nichtlinearen Geräten

Beeinflussung der Spannungsqualität

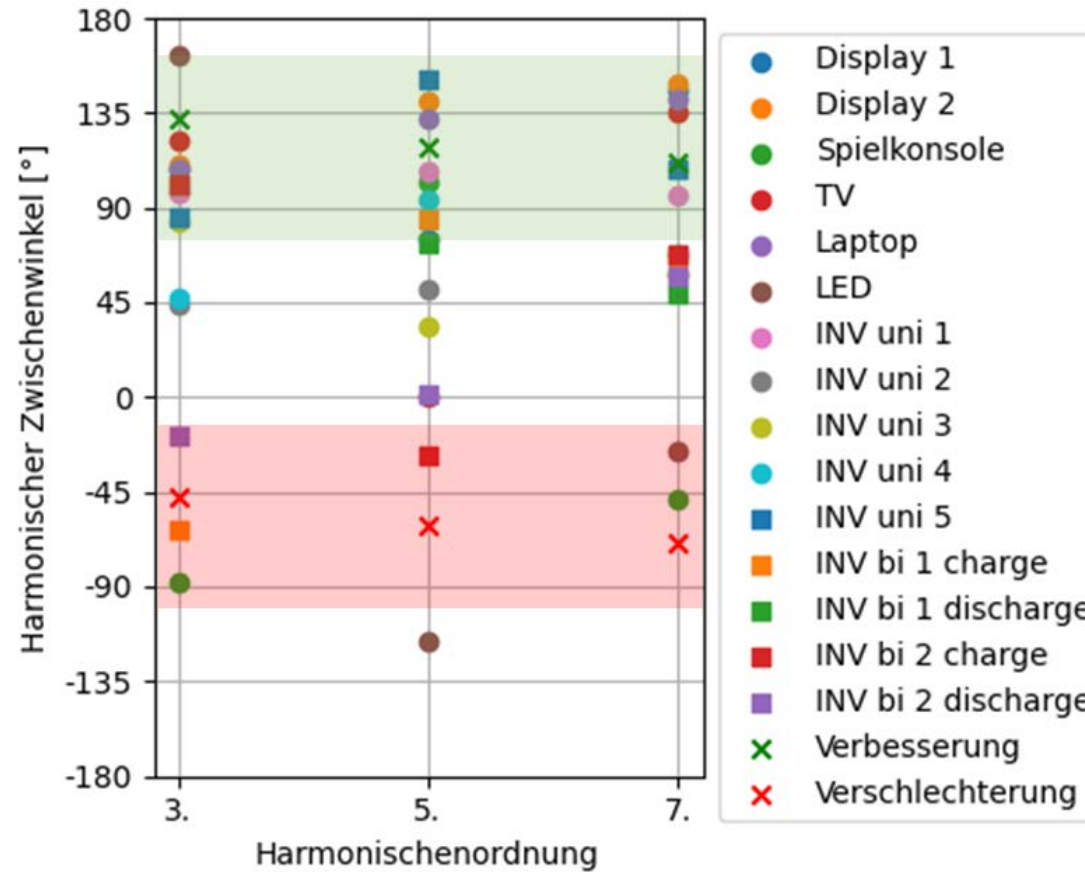
- ▶ Standardspannung
 - ▶ Schweizweite Messungen
 - ▶ Winkel und Amplituden bestimmt
- ▶ Netzimpedanzwinkel
 - ▶ Üblicher Wert von 20° @ 50 Hz



Untersuchung von nichtlinearen Geräten

Beeinflussung der Spannungsqualität

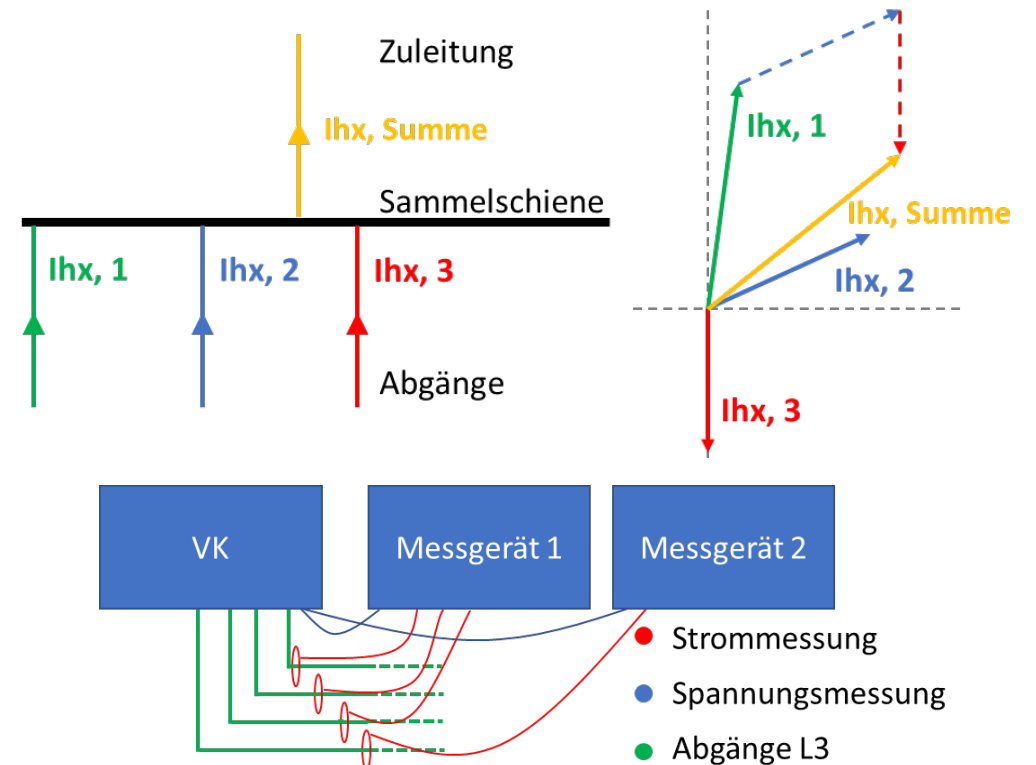
- ▶ Viele Geräte haben einen positiven oder neutralen Einfluss
- ▶ Einfluss kann je nach Ordnungszahl variieren



Natürliche Kompensation im Verteilnetz

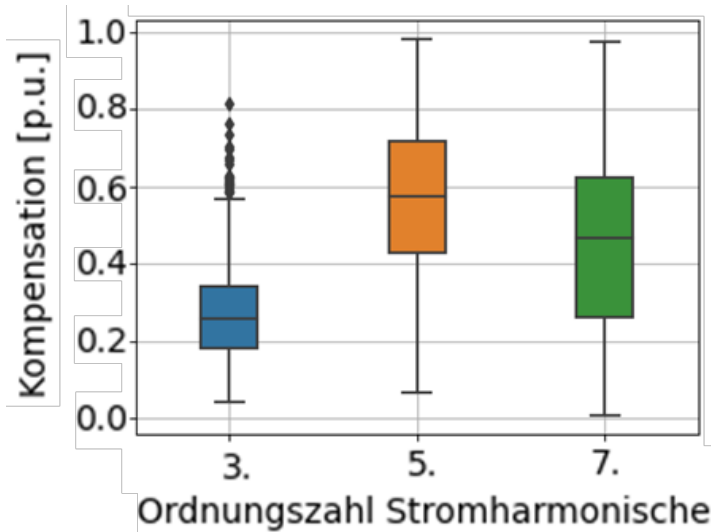
Theorie und Vorgehen

- ▶ Ströme gleicher Frequenz mit unterschiedlichen Winkeln kompensieren sich teilweise
- ▶ Messungen an VK und TS sollten diese Kompensation in der Praxis zeigen
 - ▶ 6 VK Messungen
 - ▶ 9 TS Messungen
- ▶ Kompensation am HAK wurde aus Gerätemessungen berechnet

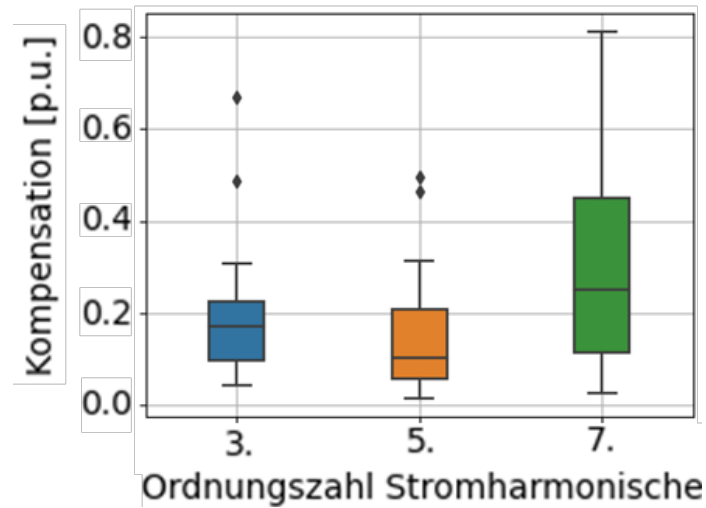


$$Kompensation_{hx} [p. u.] = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (\hat{I} \angle \varphi)_{hx,i}}{\sum_{i=1}^n \hat{I}_{hx,i}}$$

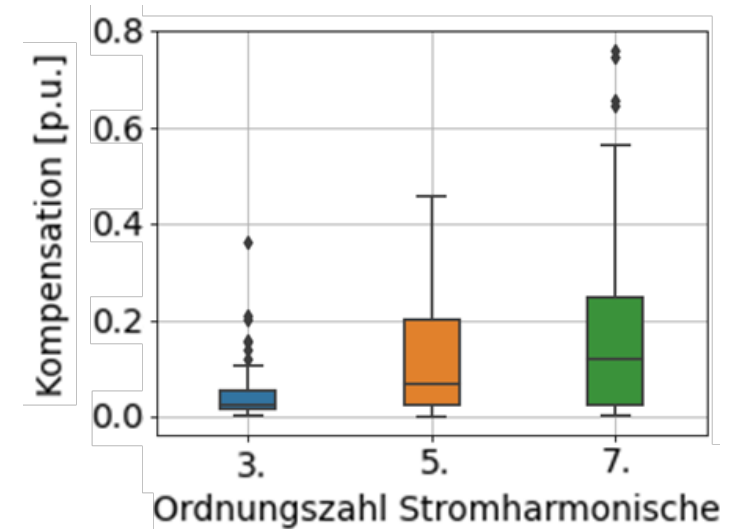
Natürliche Kompensation im Verteilnetz



Starke Kompensation am HAK



Mittlere Kompensation an der VK



Wenig Kompensation bei der TS

Natürliche Kompensation im Verteilnetz

Kompensationsübersicht

- ▶ Zur TS nehmen Kompensationseffekte ab
- ▶ Effekt für die 7. am grössten → Winkel variieren stärker
 - ▶ Auswertungen zeigen, dass höhere Harmonischenordnungen noch unterschiedlichere Winkel haben

	3.	5.	7.
HAK	x 0.75	x 0.4	x 0.48
VK	x 0.83	x 0.9	x 0.75
TS	x 0.95	x 0.92	x 0.86
Total	x 0.6	x 0.33	x 0.3
Total VK+TS	x 0.79	x 0.83	x 0.65

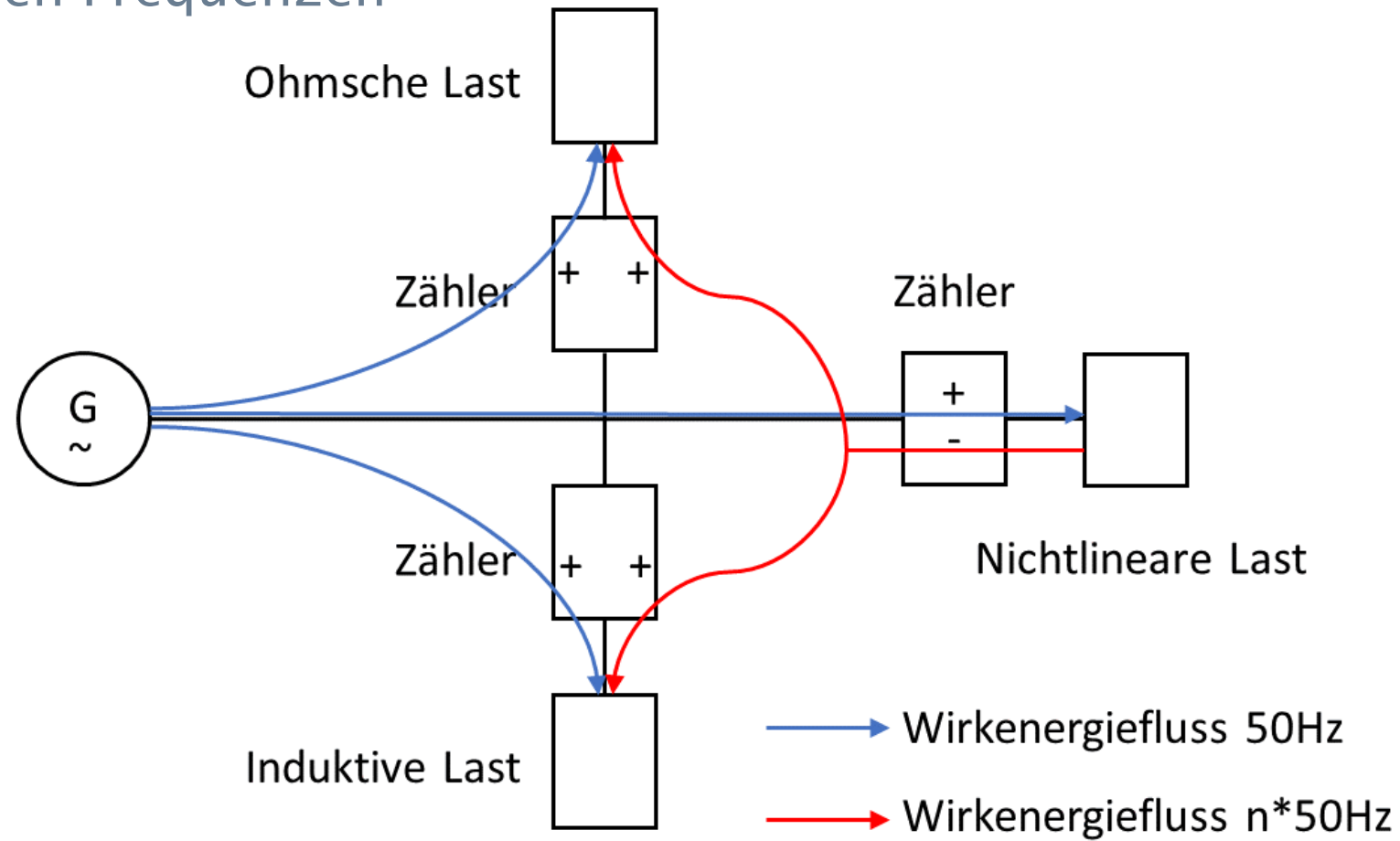
Relevanz von Oberschwingungswirkleistung bei der Energieabrechnung

Ausgangslage

- ▶ Studie aus den Niederlanden zeigt, dass bei Stark verzerrten Strömen Energiezähler falsch zählen (über 200 % Abweichung)
- ▶ Bachelorthesis zeigte, dass in der Schweiz eingesetzte Energiezähler auch bei verzerrten Strömen die Energie korrekt erfassen
 - ▶ Bei einem von 6 getesteten Zählern gab es Abweichungen bei Praxisferner Stromverzerrung
- ▶ In den Oberschwingungen enthaltene Energie wird in der Schweiz verrechnet
 - ▶ In Kanada wurde dies geändert
 - ▶ Sollte man dies auch in der Schweiz tun?

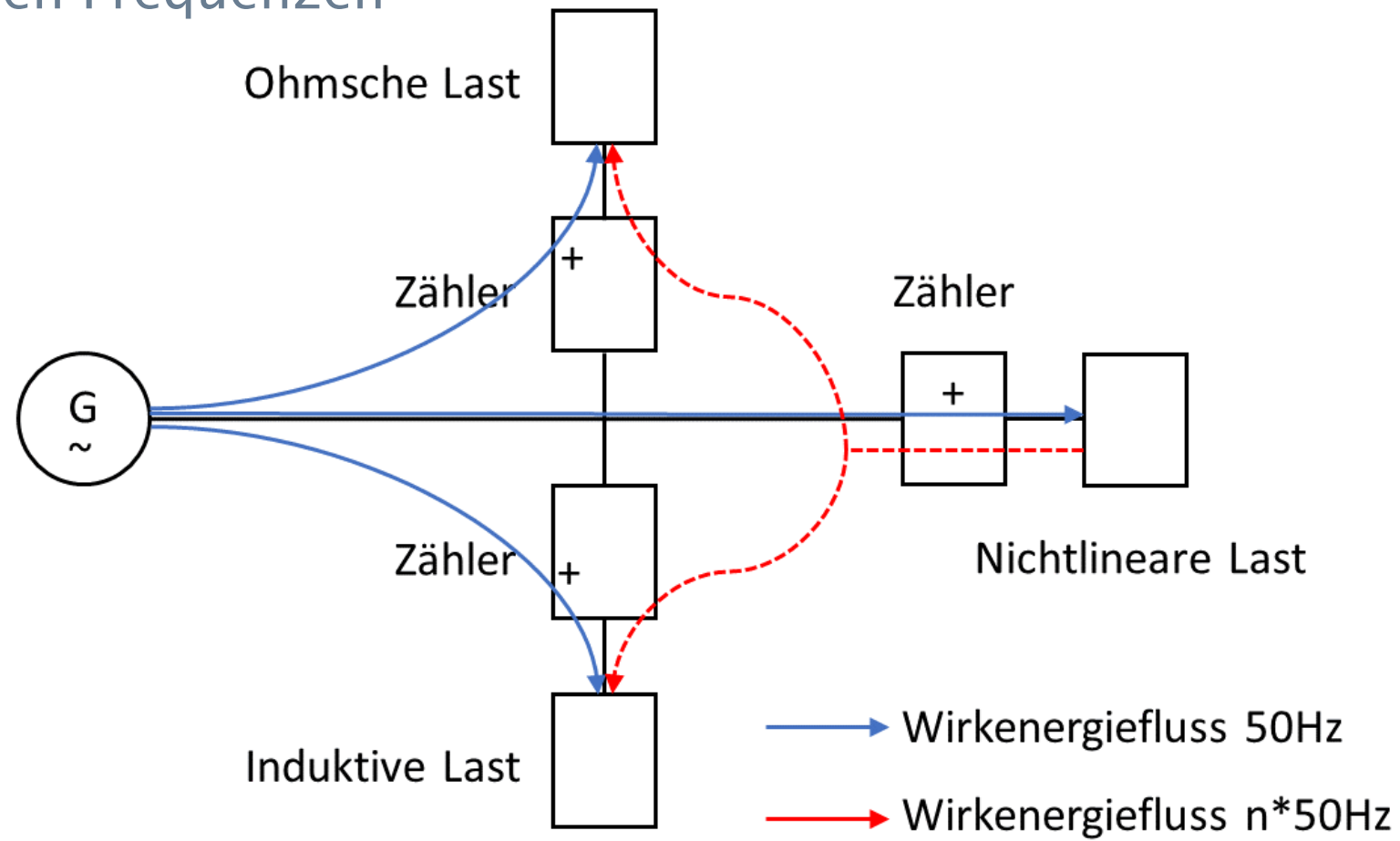
Relevanz von Oberschwingungswirkleistung bei der Energieabrechnung

Wirkenergie auf allen Frequenzen



Relevanz von Oberschwingungswirkleistung bei der Energieabrechnung

Wirkenergie auf allen Frequenzen



Relevanz von Oberschwingungswirkleistung bei der Energieabrechnung

Normative Anforderungen

- ▶ Die Zählertoleranz hängt ab von:
 - ▶ Klasse
 - ▶ Stromstärke
 - ▶ Belastungssymmetrie
 - ▶ Temperatur
 - ▶ Stromwinkel
 - ▶ Usw.

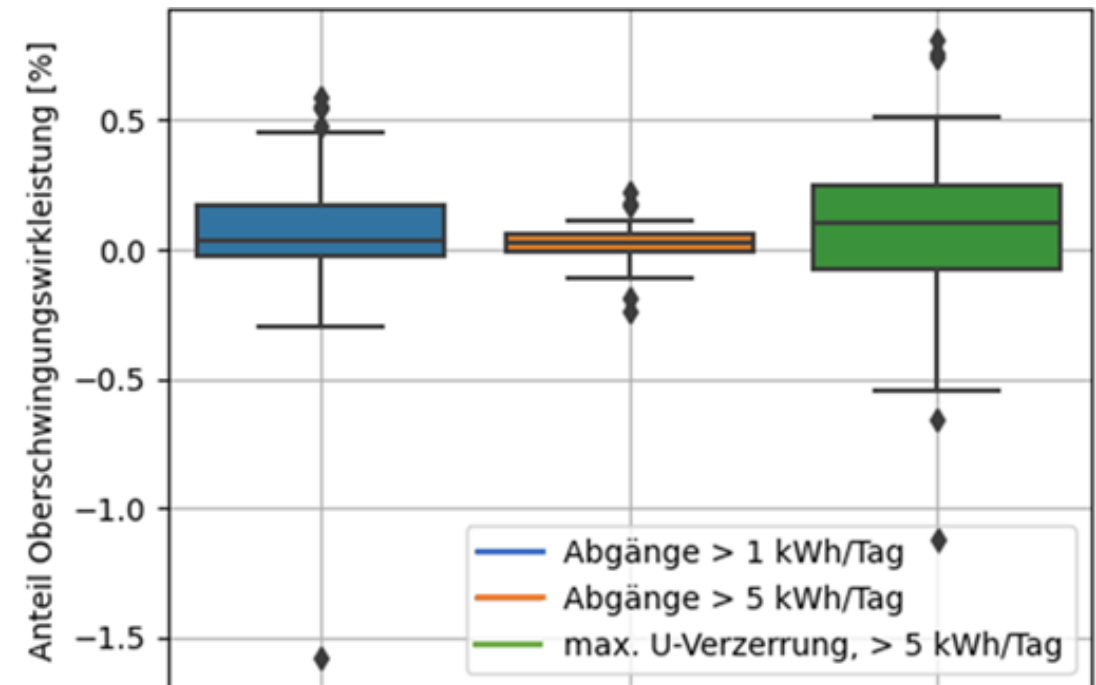
	Genauigkeit [%]		
Bedingungen	Klasse A	Klasse B	Klasse C
optimale	2	1	0.5
schlechte	9.4	4.4	3.1

Grenzwerte für die Messabweichung von Energiezählern nach EN 50470-3

Relevanz von Oberschwingungswirkleistung bei der Energieabrechnung

Auswertung der Messungen

- ▶ Bei geringem Energiekonsum kann eine Jahresrechnung um 1.7 % abweichen
 - ▶ Max. 6.20 CHF bei 365 CHF Rechnung
- ▶ Bei durchschnittlichem Haushalt kann eine Rechnung um 0.2 % abweichen
 - ▶ 2 CHF bei 1000 CHF Rechnung
- ▶ Bei Verzerrungswerten am Grenzwert können Rechnungen um 1.2 % Abweichen
 - ▶ 12 CHF bei 1000 CHF Rechnung
- ▶ OSWL hat keinen Einfluss auf die Rechnung



Take-Home Message

- ▶ Viele nichtlineare Geräte beeinflussen die Spannungsqualität nur gering oder verbessern sie sogar.
- ▶ Ein eingespeister Oberschwingungsstrom wird auf dem Weg zum Trafo teils stark kompensiert. Dieser Effekt nimmt mit steigender Ordnungszahl zu.
- ▶ Wirkleistung in den OS hat keinen Einfluss auf die Energierechnung, da der Anteil kleiner ist als die Zählertoleranz

Fragerunde

