

Fachartikel

Nutenober- schwingungen in Stromerzeu- gungsanlagen

Einleitung

Die Probleme, die eine ungenügende Netzqualität, oder genauer gesagt Oberschwingungen, mit sich bringen, sind Technikern und Ingenieuren bestens bekannt.

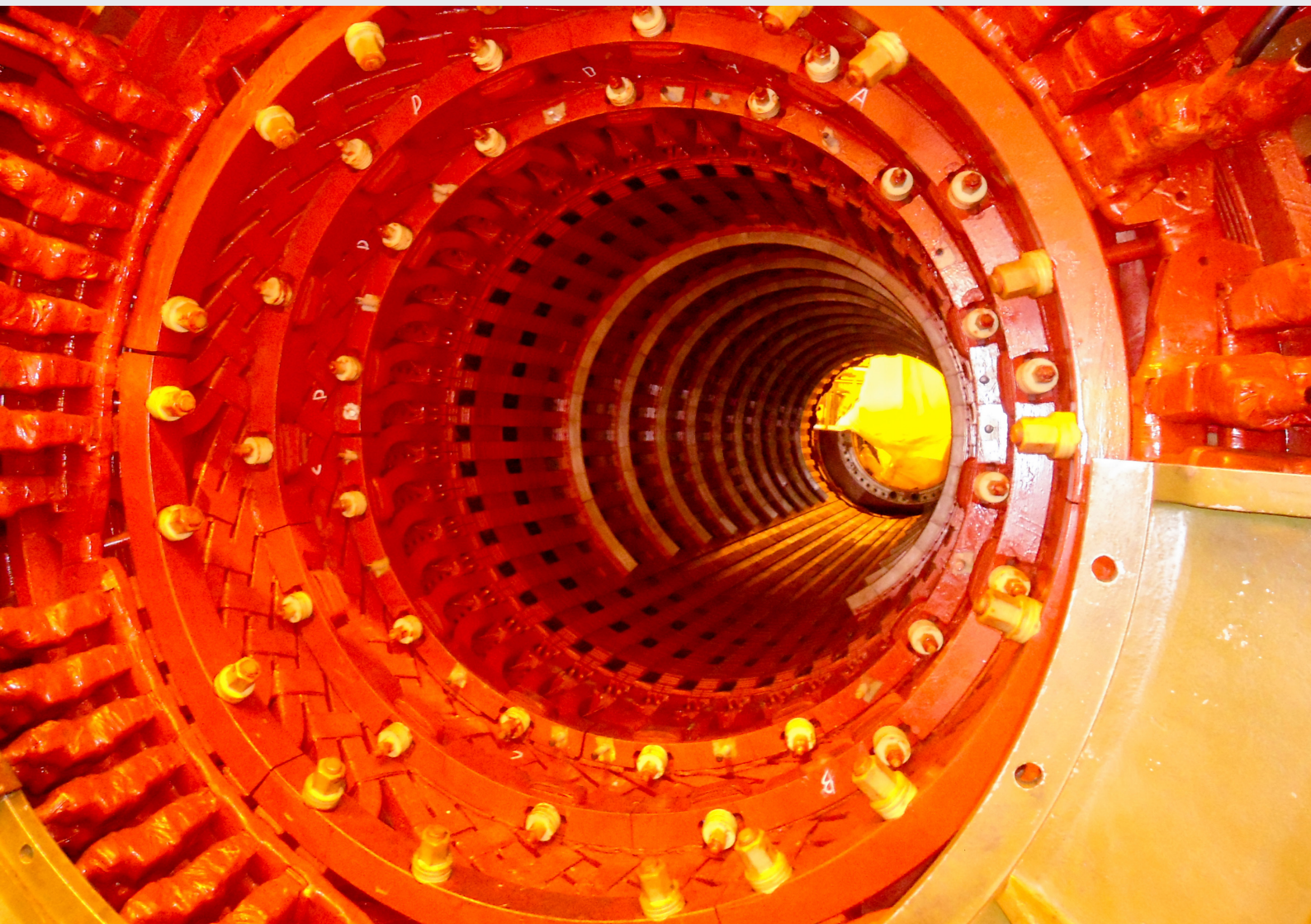
Die Filtersysteme dienen zur Reduzierung und Dämpfung der eigenen Oberschwingungsströme der Verbraucher, aber *was geschieht, wenn die Netzqualität durch das Stromerzeugungssystem gegeben ist?*

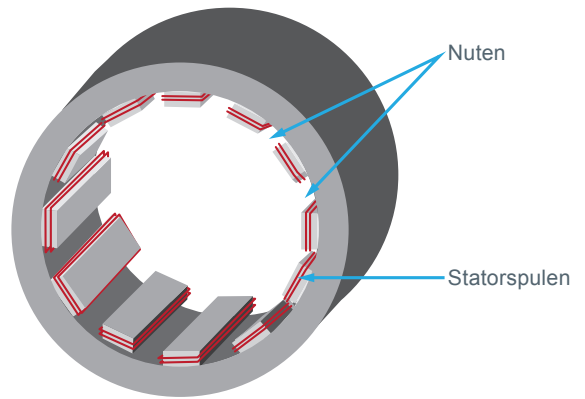
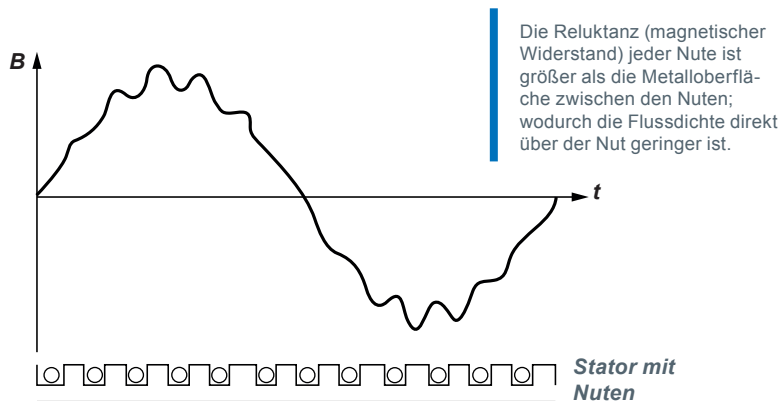
In diesem Artikel erklären wir, was Nutenüberschwingungen sind und schildern eine Fallstudie für diese Art von durch Resonanz erzeugte Oberschwingungen.

Nutenüberschwingungen

Durch die Gestaltung der Statorwicklung können rotierende elektrische Wechselstrommaschinen Spannungsschwankungen hervorrufen, die sogenannten „Nutenüberschwingungen“.

Die vorhandenen, gleichmäßig im Innenumfang des Stators angeordneten Nuten erzeugen regelmäßige Veränderungen des magnetischen Widerstandes und Flusses längs der Statoroberfläche und dadurch eine Verzerrung der Spannungswelle.





Bestandteile eines Induktionsmotors.

Durch die gleichmäßig im Innenumfang des Stators angeordneten Nuten werden regelmäßige Veränderungen der Reluktanz und des Flusses erzeugt.

Nutenüberschwingungen treten bei Frequenzen auf, die durch den zwischen nebeneinanderliegenden Nuten vorhandenen Luftspalt bestimmt werden. Die Komponenten-Ordnungszahl ergibt sich aus folgender Formel:

$$v_{Nut} = \frac{2 \cdot M \cdot S}{P} \pm 1$$

wobei gilt:

v_{Nut} = Ordnungszahl Oberschwingung

S = Anzahl der Nuten des Stators

P = Anzahl der Pole der Maschine

M = ganze Zahl, normalerweise gleich 1, mit der die Nutenüberschwingungen der niedrigsten Frequenz auftreten.

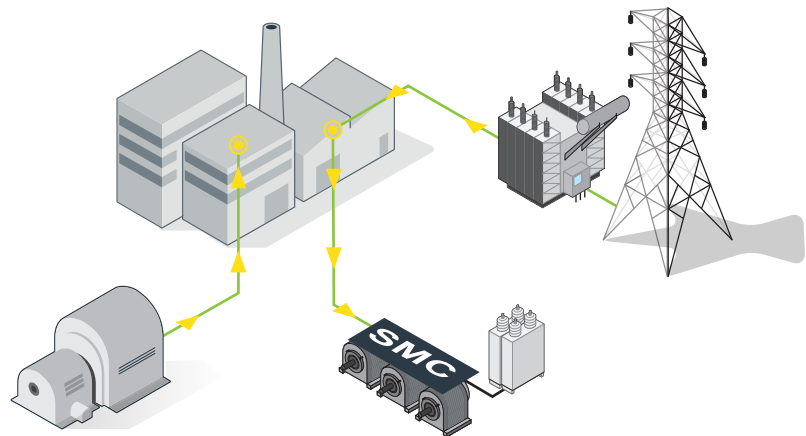
sich aus einem Generator mit 6,5 MW bei 4,16 kV/60Hz und der direkten Versorgung aus dem Stromnetz über ein primäres Stromnetz von 69 kV mittels eines Wandlers von 9 MVA und ein sekundäres Stromnetz mit 4,16 kV/60 Hz zusammensetzte. Die Anlage verfügte über ein Motor-Überwachungssystem (SMC), das mittels eines Kondensators von 50 kvar bei 4,16 kV kompensiert wurde.

Die wichtigsten Auswirkungen von Nutenüberschwingungen sind:

- Induktion von Spannungsüberschwingungen in das elektrische System, wodurch die Spannungswelle verzerrt wird.
- Anstieg der Gesamtverzerrung der Spannung THDU(%)
- Höhere Wahrscheinlichkeit des Auftretens von Resonanz mit Kondensatorbatterien
- Verringerung der Motorenleistung (geringeres Drehmoment, Vibrationen, etc)
- Unzureichende Leistung von empfindlichen elektronischen Geräten.

Resonanz durch Nutenüberschwingungen

In diesem Fallbeispiel handelt es sich um einen Industriebetrieb, der über eine duale Stromversorgung verfügte, die



Probleme

Die Anlage wies folgende Probleme auf:

- Wiederholte Fehlfunktion des Startermoduls des SMC-Motors.
- Auslösung des Differentialstromschutzes und Zerstörung der Mittelspannungskondensatoren.
- Fehler im unterbrechungsfreien Stromversorgungssystem UPS bei Niederspannung.
- Beschädigungen der elektronischen Vorschaltgeräte.
- Fehlalarme zu Überhitzung von Kompressoren etc.

Vereinfachter Schaltplan der elektrischen Anlage und elektrische Messungen

Tests

Es wurden 4 verschiedene Tests im Hinblick auf die Stromversorgung des Motors durchgeführt:

- Versorgung durch das Stromnetz mit und ohne Kondensatorbatterie.
- Versorgung durch den Generator mit und ohne Kondensatorbatterie.

In der **Tabelle 1** wird ein Überblick über die wichtigsten gemessenen elektrischen Parameter gegeben. Hier ist zu sehen, dass die Änderung der Ober-

schwingungskomponenten ohne (Abb. 1 und 2) oder mit (Abb.3 und 4) Kondensatorbatterie praktisch die gleiche ist und stets korrekte Werte aufweist.

Tabelle 1

Vergleich der elektrischen Parameter bei Volllast im Motor mit 300 H.P., bei Versorgung durch das Stromnetz, mit oder ohne Kondensatorbatterie von 50 kVAr, 4, 16 kV																	
~	Kondensator 50 kVAr	Spannung (V)	Gemessener Bedarf		F.P.	% THD		% Oberschwingungen in Spannung und Strom, Phase 3									
			kW	kVAr		V	I	3°		5°		7°		35°		37°	
								V	I	V	I	V	I	V	I	V	I
CFE	Außer Betrieb	4155	212	125	0.86	1.01	1.92	0.49	0.66	0.38	1.52	0.26	0.81	0.04	0.03	0.16	0.04
	In Betrieb	4155	212	99	0.90	0.77	1.92	0.14	0.52	0.34	1.54	0.11	0.88	0.04	0.06	0.19	0.09

Abb.1

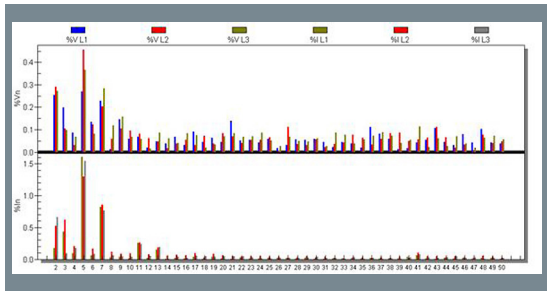


Abb.2

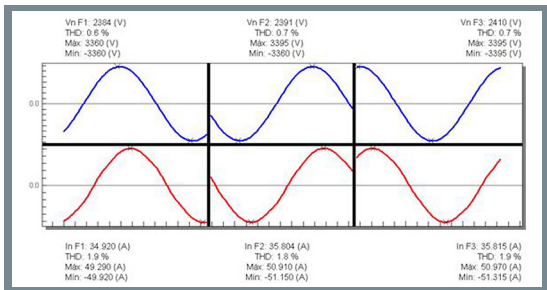


Abb.3

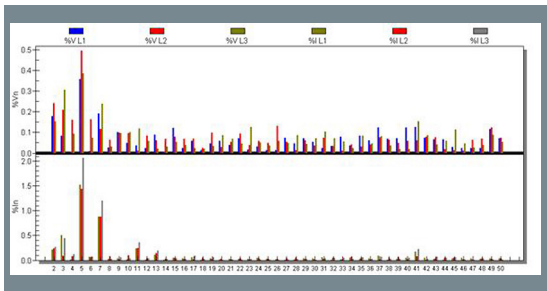
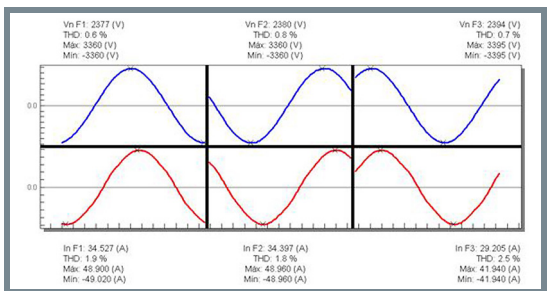


Abb.4



Kundenspezifisch und effektiv.
Die Kondensatorbatterien (KONDENSATOREN) von CIRCUTOR werden spezifisch für die jeweils erforderlichen Lösungen hergestellt.



In der **Tabelle 2** ist das Systemverhalten bei Versorgung durch den Generator mit 6,5 MW dargestellt. Es ist ein deutlicher Anstieg der Spannungsver-

zerrung zu sehen, wenn der Kondensator mit 50 kvar angeschlossen wird, wobei der Anstieg hauptsächlich bei der Oberschwingung mit Ordnungszahl 37 verursacht wird.

Tabelle 2

Vergleich der elektrischen Parameter bei Vollast im Motor mit 300 H.P., bei Versorgung durch den Generator 6,5 MW, mit oder ohne Kondensatorbatterie von 50 kVAr, 4, 16 V

~	Kondensator 50 kVAr	Spannung (V)	Gemessener Bedarf		F.P.	% THD		% Oberschwingungen in Spannung und Strom, Phase 3									
			kW	kVAr		V	I	3°		5°		7°		35°		37°	
								V	I	V	I	V	I	V	I	V	I
G 6500 kW	Außer Betrieb	4155	208	123	0.86	2.96	2.53	0.42	0.11	1.89	2.05	0.80	1.42	0.30	0.02	1.26	0.04
	In Betrieb	4155	209	97	0.90	4.60	7.20	0.46	0.10	1.74	1.08	0.91	1.18	0.49	1.38	3.96	6.49

Abb. 5

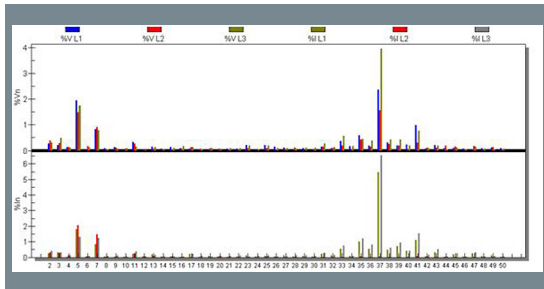


Abb. 6

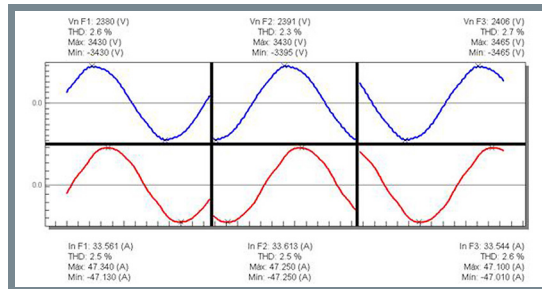


Abb. 7

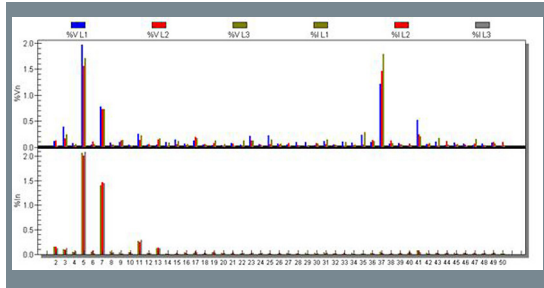
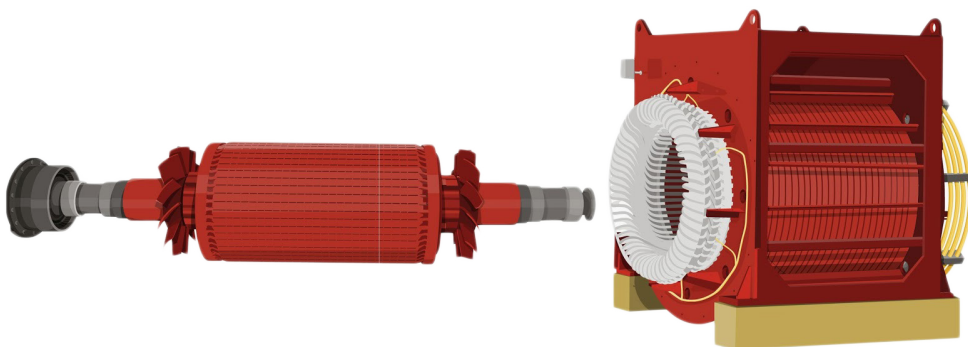
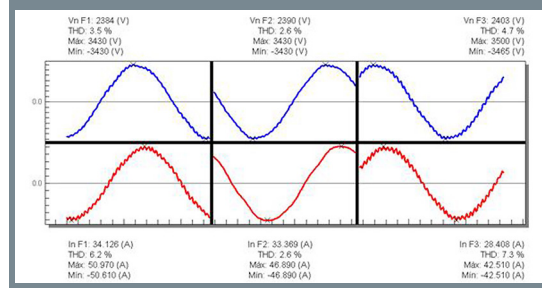


Abb. 8



Detailansicht des Rotors und des Stators eines Generators.

Normalerweise verfügen sowohl der Stator wie auch der Rotor über Wicklungen mit Kupferleitern, durch die Ströme fließen, die an einen externen Stromkreis übertragen bzw. abgegeben werden, der die elektrische Anlage bildet.

Quelle:
www.endsaeduca.com
Betriebsmittel / grundlegende
Konzepte /
Generatoren

Wie in den Abbildungen 6 und 7 (ohne Kondensator) und 5 und 8 (mit Kondensator) zu sehen ist, ist die Oberschwingungsverzerrung bei einem Betrieb mit Generator größer als die auftretende Verzerrung bei einem Betrieb mit direkter Versorgung über das Stromnetz; es ist zu sehen, dass die 5. und 37. Oberschwingung mit scheinbar nicht nennenswerten Amplituden (1.89% bzw. 1.26%) gezeigt wird.

Bei funktionierender Kondensatorbatterie tritt die Resonanz bei der 37. Oberschwingung auf und erhöht deren Amplitude (>3%). Während des Tests traten verschiedene Fehler auf, unter anderen der Fehlalarm bei der Überwachung des Heizkessels, da die Spannungsverzerrung in allen durch den Generator versorgten Stromkreisen auftritt.

Die Ursache dieser Resonanz liegt bei der Kombination von Kurzschluss-Parametern im Bus von 4,16 kV, 71230 kVAr, und der Größe des Kondensators, 50 kVAr. Tatsächlich ist die Abstimmungsfrequenz gegeben durch:

$$n = \sqrt{\frac{S_{cc}}{Q}}$$

wobei gilt:

n = Ordnung Oberschwingung Resonanz

S_{cc} = Verfügbare Kurzschlussleistung am Verknüpfungspunkt der Kondensatorbatterie

Q = Nennleistung der Kondensatorbatterie

daher:

$$n = \sqrt{\frac{71230}{50}} = 37,74$$



Abb. 9

$$v_{Nut} = \frac{2 \cdot M \cdot S}{P} \pm 1 = \frac{2 \cdot 1 \cdot 72}{4} \pm 1 = 35 \text{ und } 37$$

Wie wir gesehen haben, verfügte der Generator über 4 Pole und 72 Nute in seinem Stator. Wenn wir nun die anfängliche Formel anwenden, zeigt das Ergebnis, dass die niedrigsten Nutzenüberschwingungen bei den Ordnungszahlen 35 und 37 liegen und mit der vorhandenen Resonanz in der Anlage übereinstimmen und so die entstandenen Probleme mit sich brachte. (Abb.9)

Ein wichtiger Aspekt dieses Tests war die Tatsache, dass sich die Verzerrung der Spannungswelle bei bis auf 0 abnehmender Last steigerte, wie der Gesamtverzerrungsfaktor THD(U)% in der Abbildung zeigt.

Schlussfolgerungen

In diesem Fall wurde als unverzügliche Maßnahme der Kondensator mit 50 kVAr definitiv außer Betrieb genommen und auf die Notwendigkeit verwiesen, eine Kondensatorbatterie mit Bandsperrfilter von 7% zu verwenden. Das Vorhandensein der 37. Spannungsüberschwingung lässt sich allerdings nicht beseitigen, da es sich um ein Problem im Hinblick auf die Bauform des Generators handelt. Daher trat während der Phasen von geringen Lasten der gleiche Fehlalarm bei der Kontrolle des Heizkessels auf. Zur Lösung wurde vorgeschlagen, die Steuerung des Heizkessels über ein online UPS-System zu versorgen, um auf diese Weise diese Komponente der Versorgungsspannung auszuschließen.

Aufgrund der Zunahme von Anwendungen mit elektronischen Geräten und Leistungselektronik, deren Auswirkungen in der Aktualität nicht ignoriert werden können, wird die Verwendung von Kompensationsgeräten mit Bandsperrfilter immer wichtiger. Die Implementierung eines Überwachungssystems erleichtert die Analyse, Kontrolle und effiziente Nutzung der elektrischen Energie und dient zur Erfassung aller Störungen in unserer Anlage. ▀



Bibliografie:

• „Máquinas eléctricas“
Stephen Chapman
Verlag McGrawHill 2.
Ausgabe.

• „Eficiencia en el uso de la energía eléctrica“
Josep Balcells,
Francesc Fornieles
Vicente Barra.
Verlag Marcombo