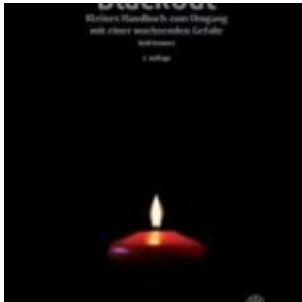


BLACKOUT – kleines Handbuch zum Umgang mit einer wachsenden Gefahr – Folge 1



1. Das Anliegen dieser Broschüre

Im Jahre 2008 wurde das Büro für Technikfolgen-Abschätzung beim Deutschen Bundestag (TAB) beauftragt, die Folgen eines großflächigen und langandauernden Stromausfalls systematisch zu analysieren. Zwei Jahre später lag sein Bericht vor, dessen Fazit in der Drucksache 17/5672 des Bundestagsausschusses für Bildung, Forschung und Technikfolgenabschätzung /1/ folgendermaßen lautet:

„Aufgrund der nahezu vollständigen Durchdringung der Lebens- und Arbeitswelt mit elektrisch betriebenen Geräten würden sich die Folgen eines langandauernden und großflächigen Stromausfalls zu einer Schadenslage von besonderer Qualität summieren. Betroffen wären alle Kritischen Infrastrukturen, und ein Kollaps der gesamten Gesellschaft wäre kaum zu verhindern. Trotz dieses Gefahren- und Katastrophenpotenzials ist ein diesbezügliches gesellschaftliches Risikobewusstsein nur in Ansätzen vorhanden.“

Was bedeutet aber Risiko überhaupt? Seine gängige mathematische Definition ist das Produkt:

$$\text{Risiko} = \text{Schadenshöhe} \times \text{Eintrittswahrscheinlichkeit}$$

Die Schadenshöhe eines Ereignisses bemisst sich üblicherweise in der Zähleinheit unseres Geldes (Euro), und Wahrscheinlichkeiten sind immer dimensionslose Zahlen. Die Produktgröße Risiko lässt sich dann also insgesamt in Euro ausdrücken. Der materielle **Schaden** eines **langandauernden großflächigen Stromausfalls (Blackout)** kann durchaus in die Billionen gehen, doch weil ein solches Ereignis zwangsläufig auch mit dem Verlust von Menschenleben verbunden ist, wird die Bestimmung der Schadenshöhe problematisch: Welchen Wert hat das einzelne Menschenleben? Die Antworten auf diese Frage fallen recht unterschiedlich aus. Die Weltgesundheitsorganisation WHO nennt eine Summe von 8,5 Millionen Euro, das General-Direktorat der Europäischen Kommission setzt 1 Million Euro an, und für den Weltklimarat IPCC ist

ein Menschenleben mit 850.000 Euro vergleichsweise preiswert. Man sollte wohl dem Begriff der Schadenshöhe eine nicht quantifizierbare ethische Komponente zuordnen, die dann wenigstens für einen Vergleich unterschiedlicher Katastrophenszenarien hilfreich wäre.

Bei der Betrachtung der **Eintrittswahrscheinlichkeit** für einen Blackout ist zu bedenken, dass einzelne **unterschiedliche Ursachen** einen langandauernden und großflächigen Stromausfall zur Folge haben (s. Punkt 4). Diese Ursachen treten auch mit **unterschiedlichen Wahrscheinlichkeiten** ein. **Die resultierende Eintrittswahrscheinlichkeit** dafür, dass ein Blackout überhaupt eintritt, kann dann mit dem Additionssatz der Wahrscheinlichkeitsrechnung berechnet werden. Sie ist zwar grundsätzlich kleiner als die einfache Summe der Einzelwahrscheinlichkeiten, jedoch deutlich größer als jede einzelne Wahrscheinlichkeit.

Es ist unbestreitbar, dass in den zehn Jahren vom Bericht des Bundestagsausschusses für Bildung, Forschung und Technikfolgenabschätzung /1/ bis heute unsere Abhängigkeit von elektrischem Strom durch zunehmende Elektrifizierung und Digitalisierung noch einmal erheblich zunahm. Damit hat sich die zu erwartende **Schadenshöhe** signifikant vergrößert. Aber auch bestimmte Gefahren für die Stabilität des Stromnetzes, wie Cyberkriminalität, defizitäre Stromversorgung, Anteil stochastischer Energien im Netz, oder der Einfluss inkompetenter Politiker werden im Laufe der Zeit größer, womit die resultierende Eintrittswahrscheinlichkeit zunimmt. **Mit dem gleichzeitigen Wachstum der beiden Faktoren Schadenshöhe und Eintrittswahrscheinlichkeit wächst das Risiko eines Blackout entsprechend stark.**

Es wäre die Aufgabe der Bundesregierung, dieser Entwicklung – die einen katastrophalen Ausgang nehmen kann – zu wehren. Doch deren bisherige Leistungen auf dem Gebiet der Gefahrenabwehr sind alles andere als ermutigend, wie der Umgang mit dem Virus Covid 2 beweist. Deshalb ist die Frage angebracht, wie viel Vertrauen eine regierungsamtlich vorbeugende Gefahrenabwehr gegen den Blackout verdient. Immerhin hat sich die Regierung in jüngster Zeit zu ein paar Maßnahmen des vorbeugenden Zivilschutzes entschlossen. Zum ersten Mal seit dem Ende des Kalten Krieges forderte sie 2016 die Bevölkerung auf, einen Vorrat von Lebensmitteln für 10 Tage und Trinkwasser für fünf Tage vorzuhalten. Leider wurde dieses Regierungshandeln durch Negativberichterstattung in den Leitmedien über sogenannte „Prepper“ konterkariert, die (wie auch bei WIKIPEDIA) in Zusammenhang mit „Reichsbürgern, rechten Gruppierungen und Verschwörungstheoretikern“ gebracht werden.

Beim **Bundesamt für Bevölkerungsschutz und Katastrophenhilfe (BBK)** ist

als wesentlichste Information der Bevölkerung eine Broschüre unter dem Titel „**Stromausfall – Vorsorge und Selbsthilfe**“ /2/ erhältlich. Ihr in großen Lettern gedruckter Text enthält bemerkenswerte Empfehlungen von hohem Grad der Allgemeingültigkeit, wie:

„Das Licht von Kerzen, Taschen- oder Campinglampen (mit den erforderlichen Batterien und Gaskartuschen) ist nicht nur romantisch, sondern kann in Ernstfall dafür sorgen, dass Sie sich zu Hause, auch nach Einbruch der Dunkelheit noch sicher orientieren können.“



Bild 1: An inhaltlicher Dürftigkeit nicht mehr zu übertreffen – die Informationsbroschüre des Bundesamtes für Bevölkerungsschutz und Katastrophenhilfe

Bei der Verlegung der Verlängerungskabel (eines Stromerzeugers) ist daran zu denken, dass Sie für die Kabel eine Gebäudeöffnung benötigen. Für die Kabelführung offen gehaltene Türen und Fenster begünstigen jedoch das Auskühlen der Wohnung und Erschweren den Einbruchschutz.“

Und höchst vorsorglich wird auch vor einer Lärmbelästigung der Nachbarn im Katastrophenfall gewarnt:

„Gerade in dicht besiedelten Gebieten oder in Mehrfamilienhäusern können sich Nachbarn durch die Geräuschemissionen belästigt fühlen. Bei der Auswahl eines Stromerzeugers sollte deshalb ein leises Model (Schreibweise wie im Original) gewählt werden.“

Auf weitere inhaltliche Defizite dieser Veröffentlichung wird später noch eingegangen. Die von der Universität der Bundeswehr kreierte Gestaltung des Werkes bietet übrigens acht Abbildungen von sehr fragwürdigem Informationsgehalt: die nächtliche Ansicht eines Einfamilienhauses mit beleuchteten Fenstern, einen Feuerlöscher, eine Kurbeltaschenlampe, eine überschwemmte Fassade, zwei Hochspannungsmasten und zwei unterschiedliche Darstellungen eines Schukosteckers.

Dem Bundesamt scheinen die Schwächen seiner Bürgerinformationsschrift bewusst zu sein, denn nach SPIEGEL Panorama vom 14.02.2020 plant es als Ergänzung ein **„Notfallkochbuch“** mit „nahrhaften Mahlzeiten“ für den Krisenfall, also etwa bei einem längeren Stromausfall. Elektrische Küchengeräte sollen für die Zubereitung **ebenso wenig benötigt werden wie Leitungswasser.**

Noch ist dieses Kochbuch nicht erhältlich, doch in einer späteren Auflage unserer Broschüre wollen wir gern daraus zitieren.

2. Was sollte man zum besseren Verständnis der Broschüre über unser Stromnetz wissen?

Unser Stromnetz ist eine der bedeutendsten ingenieurtechnischen Leistungen überhaupt. Das deutsche Netz ist in vier **Regelzonen** mit den Betreibern Amprion, 50Hertz, TenneT und Transnet BW unterteilt (Bild 2) und stellt einen Teil des Europäischen Verbundnetzes dar. Dieses versorgt Millionen von Verbrauchern in den 26 teilnehmenden Ländern mit sinusförmigem **Wechselstrom**, der seine Flussrichtung in jeder Sekunde hundert Mal ändert und damit eine Frequenz von 50 Hertz (50Hz) aufweist (Bilder 3)



Bild 2: Die vier Regelzonen des deutschen Stromnetzes

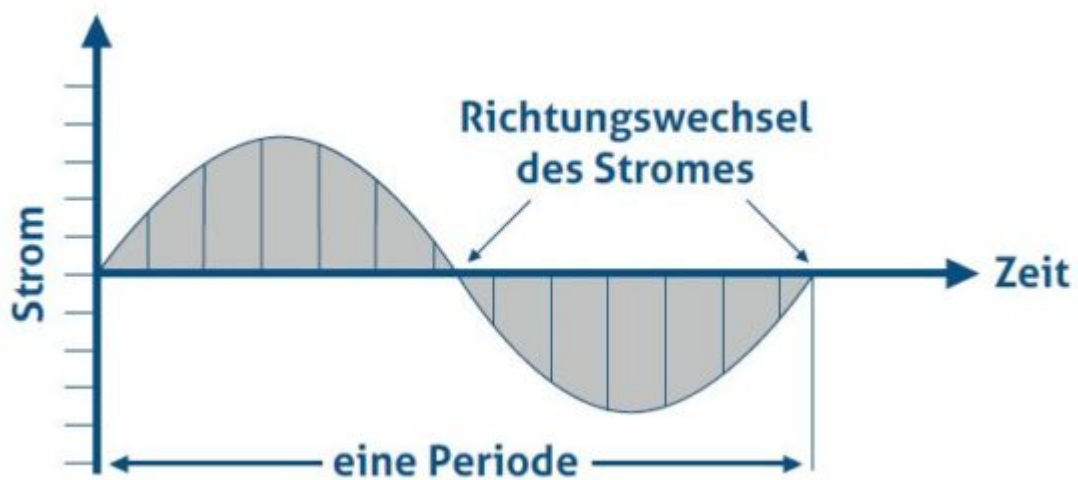
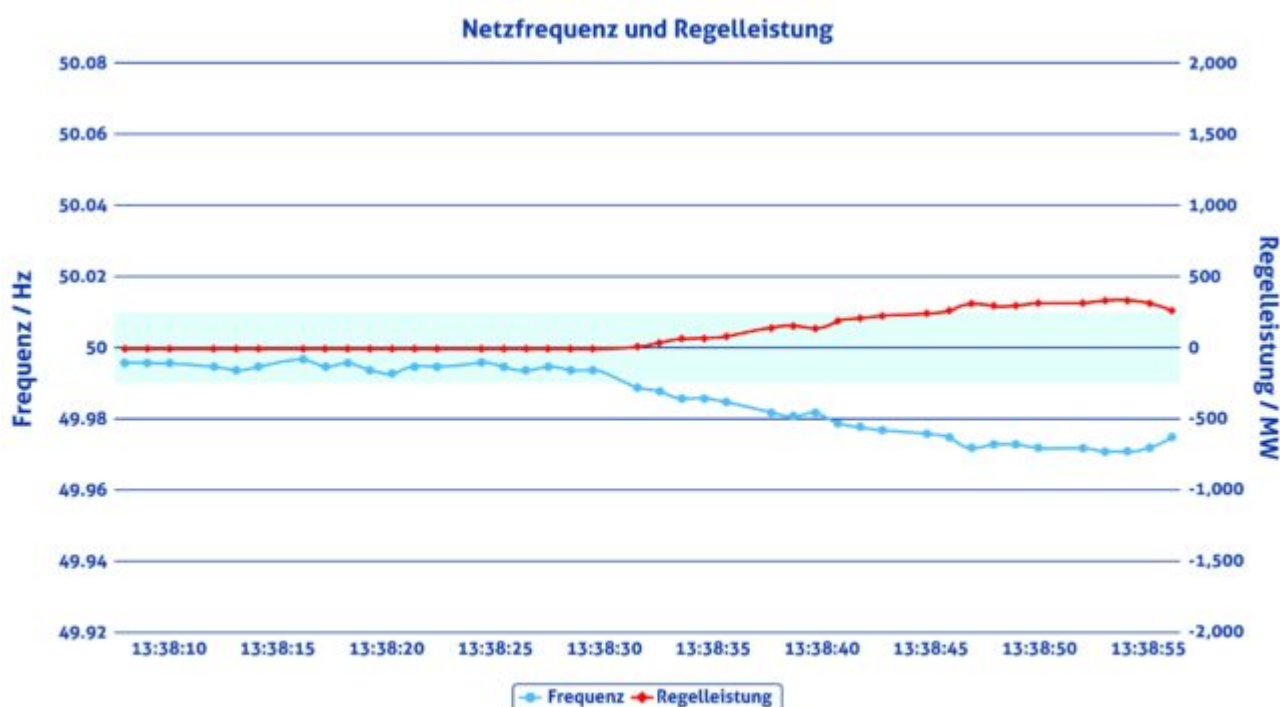


Bild 3: Der zeitliche Verlauf des Netzwechselstromes; eine Periode dauert $1/50$ Sekunde

Die Richtungswechsel finden an allen Stellen des **Verbundnetzes**

vollkommen gleichzeitig statt. Wenn ein zusätzlicher Energieerzeuger in das System einspeisen soll, reicht es nicht aus, dass seine Frequenz 50Hz beträgt – er muss auch „phasengleich“ mit dem Netz sein, d. h. die Richtungswechsel seines Stromes müssen vollkommen netzsynchron erfolgen. Anderenfalls könnte beim Einschalten die Leistung des Netzes ihn zerstören.

Außerdem werden alle Verbraucher und Erzeuger von Elektroenergie in einer ganz erstaunlichen Weise aufeinander abgestimmt: **In jedem Moment wird im Verbundnetz genauso viel Elektroenergie erzeugt, wie alle Verbraucher gerade benötigen.** Als Führungsgröße dieses hochkomplizierten Regelvorgangs dient dabei die **Frequenz** des Wechselstroms, die mit einer Genauigkeit von 0,4% konstant zu halten ist. Wird mehr Leistung als nötig in das Netz eingespeist, schwingt der Wechselstrom „schneller“ – seine Frequenz erhöht sich; bei Untereinspeisung verlangsamt sich die Frequenz. Wählt man [diese Internetadresse](#), so kann man den Zusammenhang zwischen Frequenz und Einspeisung von Regelleistung in das Netz eindrücklich in Echtzeit beobachten; eine Momentaufnahme zeigt Bild 2. Angezeigt wird darin mit der roten Linie im Sekundentakt die notwendige Regelleistung zur Rückführung der Frequenz auf den Normalwert.



49.975 Hz // 269 MW

Bild 4: Dieses Bild wurde mit Screenshot vom Bildschirm aufgenommen. Zum aktuellen Zeitpunkt (ganz rechts) liefern die Stromerzeuger im Netz zu wenig Leistung. Um die Normfrequenz von 50 Hz wieder zu erreichen, müssen 269 Megawatt zusätzlich eingespeist werden.

Die vier Regelzonen Deutschlands sind wiederum in 100 bis 200 **Bilanzkreise** mit den darin befindlichen Verbrauchern eingeteilt. Für

jeden Bilanzkreis erstellt ein Bilanzkreisverantwortlicher in 15 Minuten-Intervallen eine Abschätzung des kommenden Verbrauchs anhand der Lastentwicklung. Aus den gewonnenen Daten werden

viertelstündliche Kraftwerksfahrpläne erstellt. Kommt es zu einer Abweichung des tatsächlichen Verbrauchs vom geplanten Verbrauch, greifen die Übertragungsnetzbetreiber auf die in Bild 4 dargestellte **Regelleistung** zurück.

Sozusagen an vorderster Front der Regelung wirkt innerhalb von Millisekunden die sogenannte **Momentanreserve**. Sie ist ausschließlich als kinetische Rotationsenergie in großen Schwungmassen in den Generatoren der Kraftwerke gespeichert (s. Bild 3 und Punkt 4.6) und wandelt sich automatisch bei deren Abbremsung infolge größerer Verbraucherlasten in zusätzliche elektrische Energie um.



Bild 5: Die gewaltigen, mit 3.000 Umdrehungen pro Minute rotierenden Schwungmassen der Generatoren können innerhalb von Millisekunden einen Teil ihrer Rotationsenergie als elektrische Energie in das Netz einspeisen.

Bei Leistungsüberschuss im Netz wird die Momentanreserve wieder aufgefüllt. Zeigt bei einer Unterversorgung die Freisetzung der Momentanreserve nicht genug Wirkung, stellen ausgewählte, dafür präqualifizierte Kraftwerke innerhalb der ersten 30 Sekunden die

Primärreserve zur Verfügung, wofür im gesamten Verbundnetz eine Leistung von 3.000 Megawatt vorgehalten wird. Ist auch damit das Defizit nicht zu beherrschen, stehen als weitere Verteidigungslinien die **Sekundärreserve** (für 5 Minuten) und für die folgenden 55 Minuten die **Minutenreserve** zur Verfügung.

Sinkt die Frequenz weiter, drohen ab 49,8 Hz **Lastabwürfe**, d. h. die Abschaltung industrieller oder auch privater Verbraucher (**Brownout**). Ein Beispiel zeigt Bild 4. Schließlich trennen sich bei 47,5 Hz die Kraftwerke zu ihrem eigenen Schutz automatisch vom Netz, welches dann flächendeckend stromlos ist – der Blackout ist da.

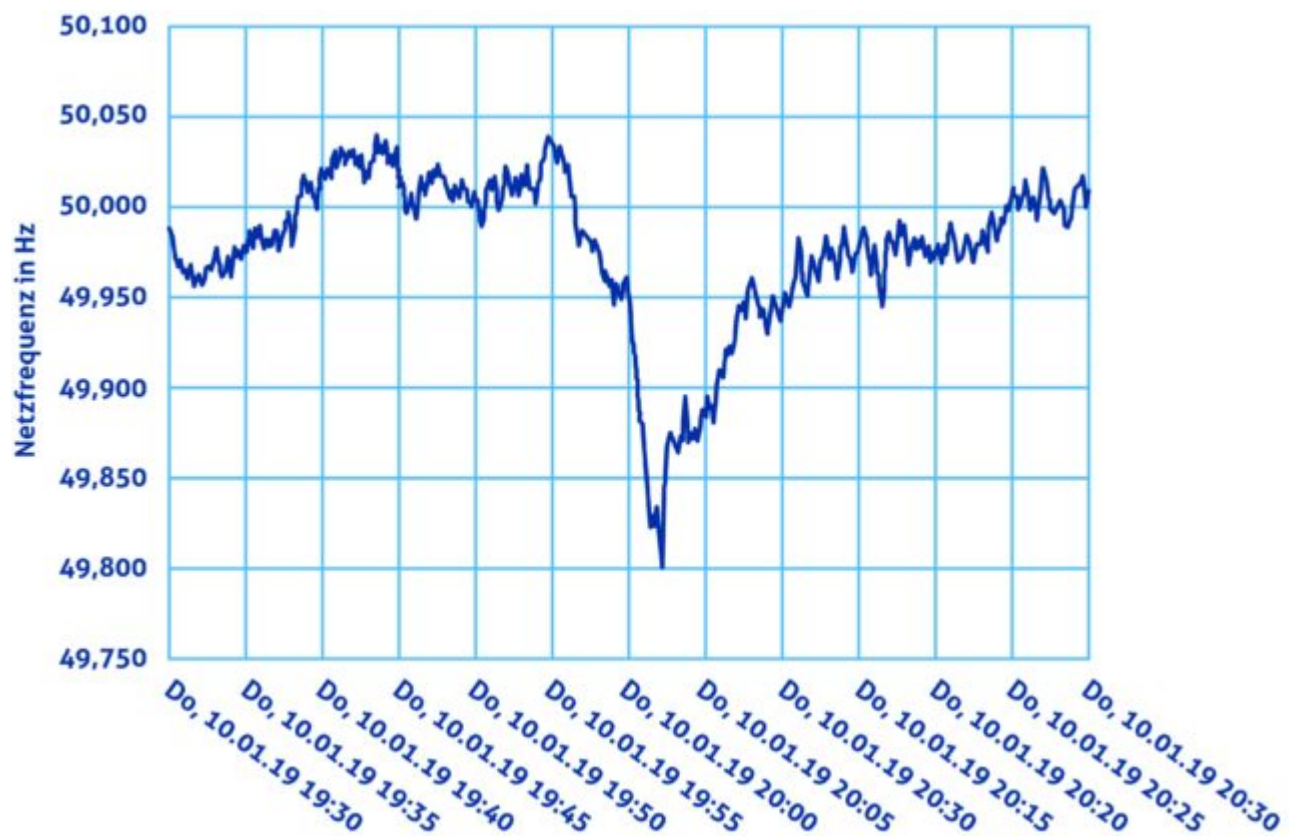


Bild 6: Am 10. Januar 2019 kam es im europäischen Verbundnetz aus Ursachen, die immer noch nicht vollständig geklärt sind, zu einem plötzlichen Abfall der Frequenz. Daraufhin wurden in Frankreich industrielle Verbraucher mit einer Leistung von 1,5 Gigawatt „abgeworfen“. Wäre dies nicht erfolgreich gewesen, hätte es eine weitere Kaskade von Abwürfen gegeben. (Quelle: www.netzfrequenzmessung.de)

Wenn dagegen bei Überversorgung der „Strom zu schnell schwingt“, kommt zunächst negative Regelenenergie der Kraftwerke zum Einsatz. Bei 50,5 Hz müssen Erzeuger heruntergefahren oder abgeschaltet werden; als dies am 28. März 2012 in Deutschland nur unvollständig gelang, stand das Verbundnetz vor dem Blackout (Näheres s. Punkt 4.3).

Wichtig für das Verständnis des Stromnetzes ist auch die Tatsache, dass es darin vier verschiedene **Spannungsebenen** gibt:

Ebene	Spannung in Volt	Einspeiser	Verbraucher
Höchstspannung	380.000	Großkraftwerke, Offshore-Windparks	wenige Großverbraucher
Hochspannung	110.000	Onshore-Windparks, größere Solaranlagen	Großverbraucher
Mittelspannung	10.000	Kleine kommunale Energieerzeuger, (größere) Blockheizkraftwerke, Biogasanlagen, kleinere Solaranlagen	größere Gewerbebetriebe
Niederspannung	400	(kleine) Blockheizkraftwerke, kleine Solaranlagen	private und gewerbliche Kleinverbraucher

Die Existenz der höheren Spannungsebenen ist dadurch begründet, dass sich elektrische Leistungen bei höherer Spannung verlustärmer durch die Leitungen transportieren lassen. Leistung **P** ist das Produkt aus Strom **I** und Spannung **U**. Weil die **Übertragungsverluste** in den (sich durch ihren Ohmschen Widerstand erwärmenden) Leitungen mit dem Quadrat der Stromstärke anwachsen, wird die Spannung möglichst hoch gewählt und damit der Strom entsprechend niedrig eingestellt.

Es sei noch erwähnt, dass die Leitungen dem fließenden Wechselstrom auch **kapazitive** und **induktive Widerstände** entgegensetzen, was eine Phasenverschiebung der Verläufe von Strom und Spannung zur Folge hat. Diesem unerwünschten Effekt wird mit der Zuführung von sogenannter Blindleistung begegnet.

Die Fortleitung von hoch gespannter Elektroenergie geschieht zumeist in **Freileitungen** mit mindestens drei Leiterseilen für **dreiphasigen Wechselstrom**. **Erdkabel für Höchstspannungen** befinden sich in Planung. Sie sind vermutlich um den Faktor 3 teurer als Freileitungen und müssen außerdem aus physikalischen Gründen mit Gleichstrom betrieben werden, was zusätzliche Kosten für Gleich- und Wechselrichter bedingt.

Konzipiert wurde das Stromnetz für Energieflüsse von den höheren zu den niedrigeren Spannungsebenen. Doch mit dem Aufkommen der Energien aus Wind, Biogas und Sonne wird sogar bevorzugt auf unteren Spannungsebenen eingespeist; was zur Folge hat, dass **der Strom im Netz teilweise „rückwärts“ fließt** – mit Konsequenzen, auf die noch eingegangen wird.

<Folge 2 kommt demnächst>

Hinweis: Das PDF mit dem vollständigen Inhalt ist beigelegt. Es kann aber auch beim *Kaleidoscriptum-Verlag* bestellt werden (www.kaleidoscriptum-verlag.de)

[blackout](#) (PDF)