

**Teil 3:** Der Strommarkt steht vor dem Beginn eines neuen Zeitalters – statt aus Kohle- und Atomkraft soll die Industrie immer mehr Strom mit Hilfe von Wind und Sonne erzeugen. Diese regenerativen Quellen fließen allerdings naturgemäß höchst unregelmäßig, die Schwankungen stellen die Versorger vor gewaltige Probleme. Sie müssen Milliardensummen in den



Ausbau und die Erneuerung ihrer Netze investieren, nur so können sie die Windparks vor den Küsten Nordeuropas und die Solarkraftwerke im Süden des Kontinents in das bestehende System integrieren. Ansonsten gerät die Stabilität des Stromnetzes in Gefahr. Fachleute warnen bereits vor Versorgungsengpässen, selbst Blackouts wären möglich.

# Das Internet der Energie

Sonne-, Wind- und Wasserkraft – mit Milliardenaufwand baut die Industrie transnationale Stromautobahnen. Das intelligente Netz soll die Verteilung effizienter und sicherer machen. Aber spielen die Verbraucher mit?



Stromverbrauch in Berlin

Am Stadtrand von Köln, in Brauweiler, sorgen zwei Ingenieure dafür, dass 27 Millionen Bürger in Deutschland jederzeit Kaffee kochen oder den Computer hochfahren können. Ohne jeden Aussetzer. Die beiden Techniker sitzen in der Leitstelle von Amprion, einer Tochter des Energieversorgers RWE. Von hier aus steuern sie ein Stromnetz von 11 000 Kilometern Länge.

Es ist mittags, kurz vor eins, Schichtwechsel im Schaltraum. Das neue Duo nimmt Platz vor dem „Weltbild“, so nennen sie den gewaltigen Schirm, der

sich vor ihnen auffährt: 16 Meter breit, 4 Meter hoch, ein überdimensionaler Strickmusterbogen aus rot- und blaue-zackten Linien, die den Trassenverlauf zwischen Ruhrgebiet und Alpen skizzieren. Von den Daten an der Wand können die Ingenieure ablesen, dass die Kraftwerke, die sie per Mausklick zuschalten, in jeder Sekunde gerade so viel Strom erzeugen, wie die Kunden verbrauchen.

Dies ist so etwas wie die heilige Formel der Stromversorger: Nur wenn Verbrauch und Erzeugung perfekt ausbalanciert sind, bleibt das Netz stabil.

Neuerdings freilich müssen die Schalttechniker die Gleichung um eine Variable ergänzen. Und diese neue Größe wirft ihre ganze Rechnung über den Haufen: „Alles ist planbar, nur der Wind eben nicht“, seufzt der Amprion-Geschäftsführer Klaus Kleinekorte.

Mal säuselt nur eine Brise, dann wieder bläst ein Sturm, aber irgendwie müssen Kleinekorte und sein Team mit der unkalkulierbaren Kraft zurechtkommen. Jede Woche werden in Deutschland neue Windräder errichtet. Und jede Woche glitzern mehr Solarzellen auf den Dächern.

Die Netzbetreiber sind gesetzlich verpflichtet, diese „sauberen“ Energien vorrangig einzuspeisen – nur dumm, dass Sonne und Wind ziemlich unberechenbar sind. Die Schwankungen machen ihnen schwer zu schaffen. „Der Job ist wesentlich stressiger geworden“, sagt Kleinekorte, „die Netze geraten immer häufiger an die Belastungsgrenze.“

Und das ist erst der Anfang. In den kommenden Jahren will die Bundesregie-

erneuerbaren Energien stellen“, moniert der frühere Uno-Umweltschützer Klaus Töpfer, heute Desertec-Repräsentant.

Was fehlt, sind also moderne Netze, die den Ökostrom auch zu den Abnehmern im Zentrum Europas transportieren. Und die überhaupt in der Lage sind, die fluktuierenden Mengen in das bestehende System zu integrieren. Ansonsten, so fürchtet die Deutsche Energie-Agentur, drohe Unheil: In den kommenden Jahren,

ab. Manche Stromkunden saßen bis zu eineinhalb Stunden im Dunkeln.

Solche Blackouts werden durch die Schwankungen der Windeinspeisung immer schwerer zu verhindern sein. Kommt in den nächsten zehn Jahren der Systemwandel wie geplant voran, werden in Deutschland Windkraftanlagen mit einer Leistung von 42 Gigawatt installiert sein. Photovoltaikanlagen steuern bis dahin noch mal etwa halb so viel Leistung bei. Das ist weit mehr, als an manchen Wochenenden benötigt wird, zuweilen liegt die Nachfrage bei weniger als 30 Gigawatt. Strahlt also die Sonne und bläst zugleich der Wind, gerät das Netz ganz schnell aus der Balance.

Schon heute passiert es, dass bei nächtlichen Stürmen die Versorger sogar Geld dafür zahlen, dass ihnen jemand den überflüssigen Strom abnimmt. Die Betreiber österreichischer Pumpspeicherwerke nutzen dann die Gratisenergie, um Wasser in höhergelegene Seen zu pumpen. Wenn sich die Preise erholt haben, lassen sie das Wasser wieder hinab, treiben damit Generatoren an und verkaufen den Strom. „Da knallen die Champagnerkorken gleich zweimal“, sagt ein deutscher Strommanager pikiert.

Solche grotesken Phänomene machen deutlich, wie dringend die Versorger Infrastruktur und Netzmanagement erneuern müssen. Die Unternehmen stehen vor dem größten Umbruch ihrer Geschichte: Milliarden teure Stromautobahnen werden nötig sein, um die regenerativen Kräfte in Nord und Süd anzubinden. Gewaltige Leitungen sollen quer durch Europa gezogen werden, teils durch Wüstensand, teils auf dem Meeresgrund.

Gleichzeitig aber sind die Stromkonzerne auch gefordert, eine Vielzahl kleiner und kleinster Energiequellen einzubeziehen. Hausbesitzer bestücken ihre Dächer mit Sonnenkollektoren oder stellen Blockheizkraftwerke in den Keller: Aus Verbrauchern werden Erzeuger.

Das Netz muss also nicht nur größer werden, sondern zugleich flexibler – und vor allem intelligenter.

Am Ende soll ein Stromverbund entstehen, ein feinmaschiges Supernetz, das von den Wasserspeichern Norwegens bis zu den Solarkraftwerken in Nordafrika reicht. Ein sogenanntes Smart Grid, das mit Hilfe moderner Informationstechnologie die Energieverteilung perfekt koordiniert, sie effizienter und sicherer macht: eine Art Internet der Energie. „Der Umbruch im Bereich der Netzstruktur hat zweifellos erst begonnen“, ahnen die Analysten der Deutschen Bank Research.

Noch freilich ist ungewiss, ob der Aufbau tatsächlich so vorangeht, wie es sich die Strategen vorstellen. Viele Hürden sind zu überwinden, technische Fragen etwa, die den Ingenieuren Kopfzerbrechen bereiten. Aber auch die Politik hinkt



Die Netzbetreiber sind gesetzlich verpflichtet, diese „sauberen“ Energien vorrangig einzuspeisen – nur dumm, dass Sonne und Wind ziemlich unberechenbar sind. Die Schwankungen machen ihnen schwer zu schaffen. „Der Job ist wesentlich stressiger geworden“, sagt Kleinekorte, „die Netze geraten immer häufiger an die Belastungsgrenze.“

Und das ist erst der Anfang. In den kommenden Jahren will die Bundesregie-

erneuerbaren Energien stellen“, moniert der frühere Uno-Umweltschützer Klaus Töpfer, heute Desertec-Repräsentant.

Was fehlt, sind also moderne Netze, die den Ökostrom auch zu den Abnehmern im Zentrum Europas transportieren. Und die überhaupt in der Lage sind, die fluktuierenden Mengen in das bestehende System zu integrieren. Ansonsten, so fürchtet die Deutsche Energie-Agentur, drohe Unheil: In den kommenden Jahren,



Netzwerke in Brauweiler, intelligenter Strommesser, Konverterstation: „Alles ist planbar, nur der Wind eben nicht“

hinterher, da es Europas Regierungen versäumt haben, eine gemeinsame Strategie zu formulieren. Lässt sich unter diesen Umständen ein derart ambitioniertes Projekt überhaupt verwirklichen?

Ganz im Kleinen können einige Bürger bereits eine Vorstellung von der neuen Welt der intelligenten Netze gewinnen. Wo sich früher die Metallscheiben der schwarzen Zähler drehten, sind bei ihnen digitale Strommesser installiert. Solche Smart Meter erfassen alle Daten quasi in Echtzeit, mit ihrer Hilfe wird Verbrauchern überhaupt erst bewusst, welche Stromfresser sich unter ihren Haushaltsgeräten verbergen. Familie Frischemeier beispielsweise war darüber einigermaßen überrascht.

Vor zwei Jahren ließ sich das Ehepaar, das in Wuppertal ein Parkettgeschäft betreibt, einen solchen Zähler einbauen, ein Pilotprojekt von Yello Strom. „Man ahnt ja gar nicht, was so ein Kaffeeautomat verschlingt, wenn sich immer wieder die Platte aufheizt“, sagt Silke Frischemeier. Am wöchentlichen Kurvenverlauf kann sie nun am PC sogar verfolgen, an welchen Tagen ihre drei Kinder den Nachmittag zu Hause verbracht haben: mit Fernsehen oder Computerspielen.

Die Frischemeiers gehen jetzt wesentlich bewusster mit Strom um. Sie haben Steckerleisten in der Wohnung installiert, sie löschen konsequent die Lampen, wenn sie ein Zimmer verlassen, sie duschen nicht mehr so lange. Um ein Fünftel sei ihr Verbrauch gesunken, schätzen sie.

Eigentlich kann Yello, eine Tochter des Energiekonzerns EnBW, kein gesteigertes Interesse daran haben, weniger Kilowattstunden zu verkaufen. Das Unternehmen verfolgt ein anderes Ziel.

Mit Hilfe der Smart Meter wollen Stromdienstleister wie Yello besser mit der Fluktuation im Netz fertig werden. Dazu setzen sie auf den klassischen Marktmechanismus: Verfügen sie über zu viel Strom, senken sie die Preise. Dadurch wächst der Anreiz der Kunden, mehr zu verbrauchen. Und dank der Zähler erfahren die erstmals auch von dieser Gelegenheit.

Irgendwann werden die Smart Meter, so die Idee, dann ganz automatisch die Waschmaschine anschalten, wenn gerade der Strom besonders billig ist. Oder sie kühlen den Gefrierschrank ferngesteuert von minus 18 auf minus 24 Grad runter, damit sie ihn später, wenn der Strom wieder teurer ist, eine Zeitlang abschalten können. „Alle Geräte werden miteinander kommunizieren und somit effizient steuerbar sein“, erwartet Martin Vesper, Geschäftsführer von Yello Strom.

Hinter solchen Vorstellungen steht eine vollständige Abkehr von der bisherigen Geschäftsphilosophie: Bis heute richten Versorger die Erzeugung von Energie einzig nach dem Verbrauch aus. Sie bieten immer genau so viel Strom an, wie ihn Bürger und Industrie gerade benötigen. Und sie verlangen dafür einen weitgehend einheitlichen Preis, egal, wie das Netz gerade belastet ist.

Künftig soll sich der Verbrauch dem schwankenden Angebot anpassen, entsprechend bewegen sich die Preise. Mit Hochdruck arbeiten die Versorger derzeit an variablen Tarifmodellen. Die Entwicklung könnte zum Teil ähnlich wie auf dem Telefonmarkt verlaufen: Die Kunden wechseln künftig gleichsam Call-by-Call den Stromanbieter, oder sie kaufen sich

gleich ein ganzes Paket Kilowattstunden zum Vorzugspreis, quasi Prepaid-Strom.

Wer hingegen weiterhin zu jeder Zeit so viel Strom beziehen möchte, wie er gerade braucht, wird mehr bezahlen müssen. Solcher Komfort kostet dann extra.

In den kommenden Jahren, keine Frage, gerät das Geschäft mit Elektrizität wie nie zuvor in Bewegung. Mit dem intelligenten Stromnetz entstehen neue Märkte, enorme Summen werden investiert.

Allein in Deutschland muss die Branche bis 2020 schätzungsweise 40 Milliarden Euro für die Erneuerung und Erweiterung der Netze lockermachen. Weit höher noch fallen die Kosten aus, um den Sonnenstrom in der Mittelmeerregion zu produzieren und in den Norden zu befördern; sie werden mit knapp 400 Milliarden Euro veranschlagt.

Es ist wie einst beim amerikanischen Goldrausch: Das große Geschäft machen zunächst die Ausrüster.

Dazu zählen Smart-Meter-Hersteller wie Landis+Gyr. Aber auch bekannte Namen wie Cisco, IBM oder T-Systems mischen mit, schließlich muss der komplexe Leistungsfluss im Netz 2.0 gesteuert werden. Das Smart Grid werde „um ein Vielfaches größer als das Internet“, prophezeit Cisco-Chef John Chambers.

Am meisten indes profitieren die Lieferanten der Hardware, Unternehmen wie Siemens oder ABB, die die nötigen Generatoren, Verteilstationen oder Hochspannungsleitungen fertigen und installieren.

Sie verbinden die Windparks auf See mit dem Netz an Land, eine technisch besonders anspruchsvolle Aufgabe: Die Ingenieure von ABB etwa mussten sie 125



YELLO STROM



TRANSPONIER / ABB

Kilometer von der Nordseeküste entfernt lösen, auf der Plattform Borwin 1.

Bei Wind und Wetter haben sie von dort ein dickes Kabel durchs Wattenmeer verlegt. Mit Hilfe eines Spezialschiffs wurde es in den Meeresboden eingerüttelt, jeder Meter des kupfernen Kabels wiegt 38 Kilogramm. Die Leitung reicht bis zum Umspannwerk im ostfriesischen Diele.

ABB setzt für das 300-Millionen-Euro-Projekt eine spezielle Technologie ein, die sogenannte Hochspannungs-Gleichstrom-Übertragung (HGÜ). Sie gilt als ideal, um Strom über weite Strecken zu transportieren. Auf einer HGÜ-Verbindung gehen pro 1000 Kilometer lediglich

rund drei Prozent verloren. Zum Vergleich: Der Schwund auf einer hochbelasteten Wechselstromleitung ist auf nur 100 Kilometern fast doppelt so hoch.

Solche Hightech-Leitungen sind Teil eines Vernetzungsplans, den der Verband der europäischen Netzbetreiber Entsoe kürzlich vorgestellt hat. Demnach sollen bis zum Jahr 2020 auf mehr als 42 000 Kilometern Höchstspannungstrassen quer durch Europa errichtet oder erneuert werden. Je größer das Netz, so das Kalkül, desto mehr Möglichkeiten eröffnen sich, Angebot und Nachfrage auszutariieren.

Denn irgendwo in Europa weht immer ein Lüftchen und scheint die Sonne – der Ausgleich von Überschuss und Knappheit muss nur koordiniert werden. Computer allein schaffen das nicht. Dazu sind Speicher notwendig, die den Strom auffangen, über Tage und Wochen aufbewahren und bei Bedarf wieder abgeben können.

Druckluftspeicher zum Beispiel lagern zusammengepresste Luft in unterirdischen Kavernen; allerdings sind in Deutschland die meisten schon mit Erdgas befüllt. Wasserstoffspeicher erreichen mit rund 40 Prozent nur einen mäßigen Wirkungsgrad. Lithium-Ionen-Batterien wiederum sind überaus teuer und wenig leistungsfähig. Und die Idee, die Batterien von Elektroautos als Puffer zu nutzen, krankt daran, dass bislang kaum E-Fahrzeuge unterwegs sind.

Deshalb gelten Pumpspeicherkraftwerke nach wie vor als effizienteste Alternative. Im Südschwarzwald, am Schluchsee, ist die Technik seit 80 Jahren im Einsatz.

Klaus Schneider, der Technikchef des Schluchseewerks, lauscht dem Klang der Turbine. Er ist anderthalb Kilometer durch einen Stollen gefahren, jetzt steht er mitten im Berg, in einer künstlichen Höhle. Die Maschine läuft auf Höchstleis-

tung, Schneider kann das hören, denn sie brummt tief vor sich hin. Bis zu 24 500 Liter Wasser schießen pro Sekunde durch einen Druckschacht hinab, es stammt vom Eggbergbecken, das rund 400 Meter höher liegt. Es wird also gerade Strom erzeugt, „turbiniert“, wie Schneider sagt.

Innerhalb von nur 90 Sekunden lässt sich der Modus wechseln, also das Turbinieren stoppen und Wasser zum Oberbecken pumpen. So schnell stellt sich kein anderes System darauf ein, ob gerade Strom benötigt wird oder gespeichert werden muss. Zum Vergleich: Ein Braunkohlekraftwerk braucht beim Kaltstart zwölf Stunden, um auf Volllast hochzufahren. Diese Flexibilität macht ein Pumpspeicherkraftwerk so wertvoll.

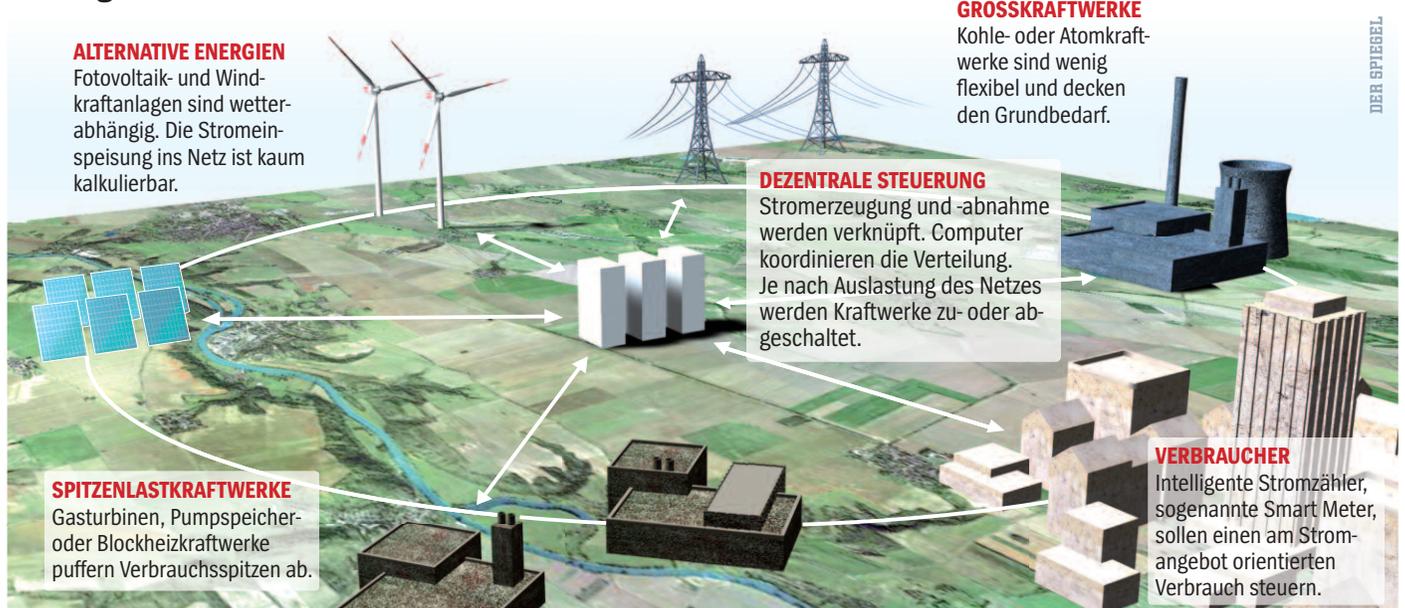
Am Schluchsee spüren die Ingenieure unmittelbar, wie das wachsende Aufkommen an Windenergie sie fordert. Immer häufiger schalten sie die Maschinen zwischen Turbinieren und Pumpen hin und her, 60 000-mal im Jahr wechseln die Maschinen die Betriebsart. „Wir können nicht sagen, in welche Richtung es in zehn Minuten gehen wird“, sagt Schneider, während die Turbine weiter röhrt.

Nun plant sein Unternehmen, ein weiteres Kraftwerk in der Region zu errichten, in Atdorf. Dort, wo jetzt noch ein Höhenweg über einen Bergrücken verläuft, will man ein Becken ausheben und einen Tunnel durch Gneis und Granit treiben, 600 Meter hinab bis zu einem zweiten Becken in der Rheinebene.

Viele Anwohner sind darüber entsetzt. In Atdorf müssen für das Speicherwerk rund 110 Hektar Land geopfert werden. Aber was wäre die Alternative? Die Gegend um den Schluchsee ist wie geschaffen für einen Pumpspeicher.

Es ist paradox: Jeder befürwortet die Abkehr von Öl, Kohle oder Gas und den

## Intelligent verbunden Das Stromnetz der Zukunft





FOTOS: SCHLÜCHSEWERK AG

**Oberbecken des Pumpspeicherkraftwerks Säckingen, Kaverne mit Turbinen und Pumpen: Bis zu 24 500 Liter Wasser pro Sekunde**

verstärkten Einsatz von Sonne und Wind. Viele akzeptieren dafür sogar milliarden-schwere Subventionen. Doch für die Notwendigkeit, dass dann auch Energie transportiert und gespeichert werden muss, fehlt häufig jedes Verständnis.

Wo neue Freilandschneisen geplant sind, formieren sich Bürgerinitiativen. Wenn schon neue Stromkabel nötig seien, dann bitte nur tief in der Erde verbuddelt, lautet ihre Forderung. Das allerdings kostet oft fünfmal mehr.

Der Netzbetreiber Transpower zieht gerade eine 60 Kilometer lange Höchstspannungsleitung von Ganderkesee in Niedersachsen nach St. Hülfe, ein 160-Millionen-Euro-Projekt. Nur 8 Kilometer davon verlaufen unter der Erde, sie allein aber verschlingen 100 Millionen Euro. „Wenn die Gesellschaft bereit ist, dafür zu zahlen, dann machen wir das“, sagt der Transpower-Manager Lex Hartman nüchtern. Mit anderen Worten: Dann wird der Strom eben teurer.

„Der Mangel an gesellschaftlicher Akzeptanz“, klagt der Netzbetreiberverband Entsoe, könne die Verwirklichung von Ausbauprojekten „ernsthaft verzögern oder gefährden“. Ganz abgesehen von den Schwierigkeiten, die beim Einsatz neuer Technologien auftreten.

So gelten die HGÜ-Systeme als relativ anfällig, insbesondere die riesigen Konverterstationen, die den Gleichstrom in Wechselstrom verwandeln. Die Verbindung zwischen den Niederlanden und Norwegen, die seit anderthalb Jahren besteht, war wegen eines Kabelfehlers für drei Monate außer Betrieb.

Aber auch der Ausbau des Wechselstromnetzes bereitet Mühe. Weil das heutige Höchstspannungsnetz von maximal 380 Kilovolt an seine Grenze stößt, wird

der Bau einzelner 750-Kilovolt-Trassen diskutiert. Ihre Masten sind monströs, 70 Meter hoch, die notwendigen Schneisen müssten 100 Meter breit sein: im dichtbesiedelten Deutschland eine eher unwahrscheinliche Alternative.

Zudem birgt die Konzentration auf wenige hochbelastete Transitachsen die Gefahr, dass ein Störfall gleich die gesamte Netzstabilität gefährdet. „Alle Veränderungen sind quasi Operationen am offenen Herzen“, warnt der Amprion-Netzplaner Gerald Kaendler.

Und noch etwas trübt die grandiosen Visionen: Es ist höchst ungewiss, ob der Verbraucher die Möglichkeiten, die sein Smart Meter ihm eröffnet, auch nutzen mag. Wird er, nur um ein paar Cent zu sparen, auf den Komfort verzichten, seine Hemden und Hosen jederzeit waschen zu können statt nur dann, wenn mal der Strom billig ist? „Ein Großteil der Kunden wünscht keine Veränderung“, glaubt Holger Krawinkel von der Verbraucherzentrale Bundesverband.

Ohnehin sind die aktuellen Strommesser noch von eher begrenzter Intelligenz. Der Austausch mit den Elektrogeräten im Haushalt scheidet vielfach an fehlenden Standards. Und Datenschützer warnen, dass die Smart Meter vor Hackerangriffen nicht sicher seien.

Am Ende also dürfte der Beitrag, den die Verbraucher zur Netz-Revolution leisten, überschaubar bleiben. Entscheidend für das kluge Netz von morgen ist vielmehr das Tempo, mit dem Trassen und Speicher in Europa ausgebaut werden. Entscheidend ist auch der politische Wille. Und da geht jede Regierung noch immer ihren eigenen Weg.

Das zeigt sich am eklatantesten an den seltsamen Folgen, die sich aus der unter-

schiedlichen Förderung erneuerbarer Energien ergeben. Der niederländische Netzbetreiber Tennet erwägt, ein Unterseekabel von seiner Heimat nach Dänemark zu verlegen, doch er wird die deutschen Windparks nicht anschließen, obwohl die sich auf halber Strecke befinden. Der Grund: Die deutschen Verbraucher subventionieren den Windstrom mit einem Festpreis, und der liegt deutlich höher, als Dänen oder Niederländer bereit wären zu zahlen.

Bis das Netz europaweit ausgebaut und so intelligent ist, dass es sich selbst steuern kann, wird also noch Zeit vergehen. So lange müssen Amprion-Geschäftsführer Kleinekorte und sein Team auf ihre Erfahrungswerte bauen, um die Balance im Netz zu halten. Auf ihrem „Weltbild“ in Brauweiler können sie rechts unten beobachten, ob es ihnen gelingt.

Dort pendelt ein Zeiger mal nach links, mal nach rechts und kehrt immer wieder in die Senkrechte zurück, zur Marke von 50 Hertz. Diese Frequenz ist Ausweis dafür, dass die Netzbetreiber exakt so viel Strom einspeisen, wie die Verbraucher entnehmen, das heilige Gleichgewicht, das immer schwerer zu halten ist. Oder wie Kleinekorte es formuliert: „Das Gezappel der Frequenz hat zugenommen.“

Schon wenn sie auf 49,8 Hertz abfiele, wäre die Situation kritisch, sagt er. In diesem Fall müssten alle Kollegen in Europa ihre Reserven aktivieren. Und wenn die Frequenz noch viel tiefer rutschen würde? „Dann ist alles rabenschwarz.“

ALEXANDER JUNG

Im nächsten Heft:  
Strom aus der Wüste – wie die Sahara zur Steckdose Europas werden soll