

**STEFFEN LANGE  
TILMAN SANTARIUS**

# **SMARTE GRÜNE WELT?**

**Digitalisierung zwischen  
Überwachung, Konsum  
und Nachhaltigkeit**



 **oekom**

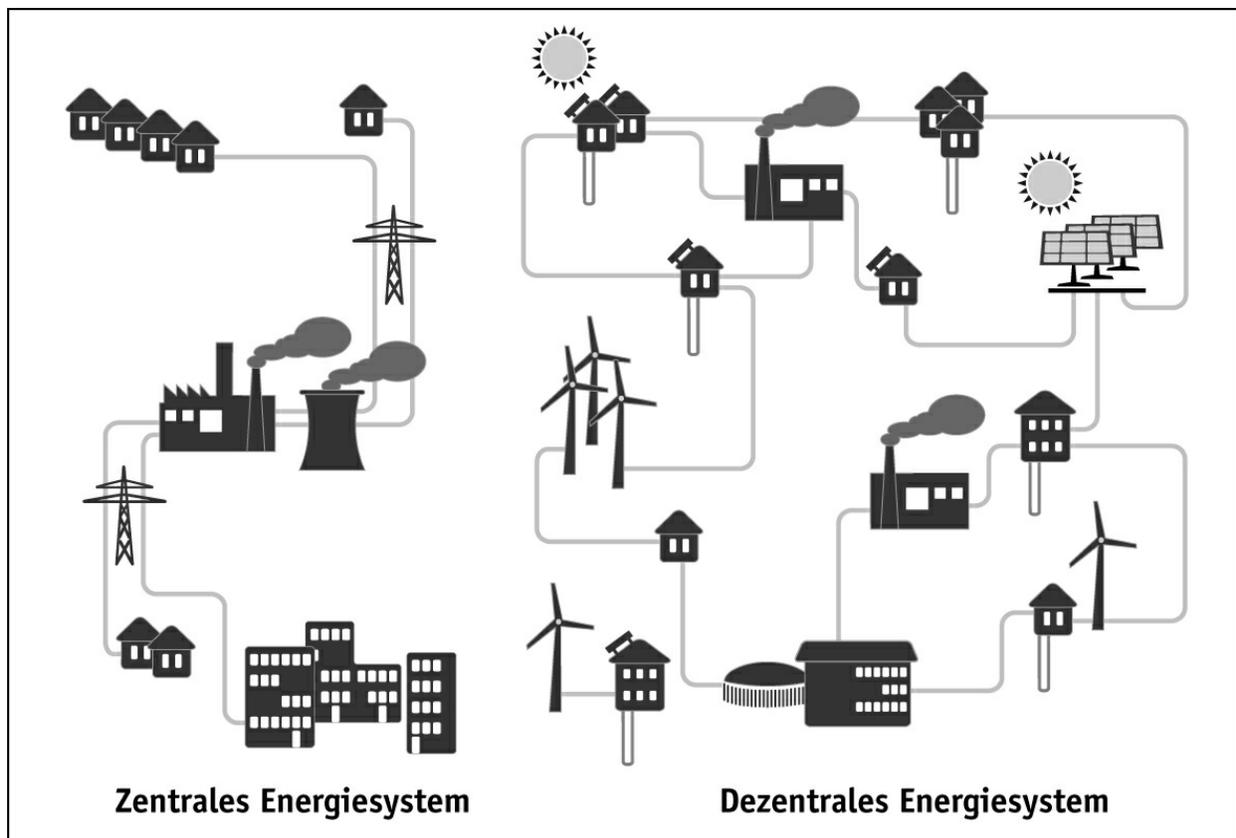


Abbildung 4: **Zentrales versus dezentrales Energiesystem** (Erläuterung im [Abbildungsverzeichnis](#)).

Um die Nachfrage flexibel zu steuern, sind zwei Stellschrauben zentral: So kann erstens die Stromnachfrage an das jeweilige Angebot angepasst werden, wobei es sinnvoll ist, Unternehmen und Haushalte gesondert zu betrachten. Da diese Anpassungen allerdings Grenzen haben, braucht es zweitens – besonders für Tage, an denen es windstill und gleichzeitig stark bewölkt ist, beziehungsweise für die Nächte – Reserven in Form von Speichern (etwa Batterien) und *Power-to-X*-Verfahren. Schauen wir uns zunächst an, wie Unternehmen ihre Nachfrage flexibilisieren können. Die Idee ist simpel: Gibt es überschüssigen Strom, können Unternehmen ihre Produktion hochfahren beziehungsweise Aktivitäten vorziehen, die zeitlich flexibel sind. Etwa können Kühllhäuser einige Grad unter die übliche Temperatur gekühlt werden, um bei knappem Strom zeitweise auf Kühlung verzichten zu können.<sup>43</sup> Technisch etwas aufwendiger sind Eisspeicher, die überschüssigen Strom nutzen, um Wasser zum Gefrieren zu bringen. Das Eis kann dann bei Stromknappheit eine Kühlung ohne Stromverbrauch gewährleisten. Auch die Schwerindustrie experimentiert mit Pilotprojekten zur Flexibilisierung ihrer Stromnachfrage. So plant das Aluminiumwerk *Trimet* in Essen, eine neue Technologie einzuführen, die eine konstante Aluminiumproduktion bei gleichzeitig variierender Stromzufuhr gewährleisten soll. Die Methode wird auch ›virtuelle Batterie‹ genannt.<sup>44</sup> Sie beruht auf einem steuerbaren Wärmetauscher, der die Energiebilanz im Ofen trotz unsteter

Energiezufuhr konstant hält. Damit kann *Trimet* Strom zunehmend dann verbrauchen, wenn dieser im Überfluss zur Verfügung steht.

Auf ähnliche Weise wie Unternehmen können auch Haushalte ihre Nachfrage an das fluktuierende Stromangebot anpassen. Möglichst viele Energieverbräuche – etwa der Betrieb von Spül- und Waschmaschinen, das Aufladen von Akkus für Computer und künftig auch Elektroautos – können in jenen Stunden getätigt werden, in denen viel Strom aus Sonne und Wind zur Verfügung steht. Besonders großes Potenzial besteht dann, wenn Privathaushalte ihren Strom teilweise selbst produzieren, etwa über eine Fotovoltaikanlage auf dem Dach. Indem sie Strom nicht nur konsumieren, sondern auch produzieren, werden sie zu sogenannten *Prosumern*.<sup>45</sup> Und wenn *Prosumer* nicht nur eine Fotovoltaikanlage auf dem Dach, sondern auch noch einen Stromspeicher im Keller haben, können sie Letzteren sogar nutzen, um zeitweise überschüssigen Strom zwischenspeichern.

Damit Unternehmen und Haushalte ihre Stromnachfrage flexibel anpassen können, müssen sie zunächst darüber informiert sein, wie das Stromangebot im Netz gegenwärtig und in der nahen Zukunft aussieht. Bereits heute werden über meteorologische Analysen recht präzise zeitliche Prognosen für die erneuerbare Stromproduktion erstellt, und es wird an neuen Modellen für die Leistungsprognose wetterabhängiger Energieträger geforscht.<sup>46</sup> Neben der Information über das Angebot muss es aber auch Anreize geben, dass die Stromkunden die Energie tatsächlich dann verbrauchen, wenn viel erzeugt wird, und dass sie in Zeiten geringer Erzeugung sparen. Marktwirtschaftliche Anreize werden vor allem über den Preis gesetzt. In Zeiten von viel Wind und Sonnenschein muss Strom also günstiger sein als bei Flaute und Wolken. Ein flexibler Strompreis, der dann auch in allen relevanten Kundensegmenten ankommt, wird daher ein Kernelement des zukünftigen Stromsystems sein.

Wie aber gelangen die Informationen über den Strompreis (und damit über das gegenwärtig zur Verfügung stehende Stromangebot) an die Abnehmer? Macht eine solche Flexibilisierung das Stromsystem nicht viel komplexer? Ja, das tut sie – und genau um diese Komplexität zu managen, braucht es verstärkte Digitalisierung. Sowohl die Stromnetze als auch der Strommarkt müssen digital gesteuert werden; Energieexperten sprechen dabei von *Smart Grids* und *Smart Markets*.<sup>47</sup> Bedeutend mehr Informationen müssen zwischen verschiedenen Marktakteuren ausgetauscht werden. Millionen von Maschinen, Geräten und Steuerungseinheiten in Unternehmen und Haushalten müssen in kurzer Zeit die Information erhalten, wie viel Strom gerade angeboten wird. Die Übertragung dieser Daten in kurzen Zeitintervallen an so viele Akteure ist ohne digitale Technologien nicht vorstellbar.

Die entstehende Komplexität erfordert zudem, viele Prozesse zu automatisieren. Eine Kühlanlage kann sich abhängig vom aktuellen Strompreis automatisch an- und abschalten, genauso wie die Elektrolyse im Aluminiumwerk oder die Ladestation des E-Autos. Nur wenige Akteur\*innen werden jedes Mal den Kühlschrank runterdrehen, wenn der Strompreis steigt. Zu welchem Grad es aus ökologischen Gründen sinnvoll ist, im Haushalt eine Direktkommunikation von Geräten beziehungsweise Maschinen untereinander und über einen intelligenten Stromzähler (*Smart Meter*) mit dem Stromnetz

aufzubauen, damit das System funktioniert, ist noch nicht ausgemacht. Noch die letzte Ladestation für die elektrische Zahnbürste im *Smart Home* zu automatisieren, wird jedoch in keiner Relation stehen. In Unternehmen hingegen wird es in vielen Fällen sinnvoll sein, eine Anpassung energieintensiver Prozesse an das Stromangebot zu automatisieren.

Die eine Seite unseres zukünftigen Stromsystems ist also die Flexibilisierung der Nachfrage. Aber wie passgenau kann es gelingen, den Verbrauch an die Schwankungen von Wind- und Solarstrom anzupassen? Was ist, wenn die Flaute so lange anhält, dass die Temperatur im Kühlhaus zu weit steigt? Und was passiert im gegenteiligen Fall an besonders stürmischen Tagen, wenn der Windstrom keine Abnehmer findet, weil das Gesamtangebot einfach zu hoch ist? Hier kommen Stromspeicher sowie die Umwandlung überschüssigen Stroms in andere Energieformen wie Gas oder Wärme – auch als ›*Power-to-X*‹ bezeichnet – ins Spiel. So kann Strom per Elektrolyse in Gas (*Power-to-Gas*) umgewandelt werden, das dann etwa für die Erzeugung von Wärme oder für gasbetriebene Fahrzeuge zur Verfügung steht. Über *Power-to-Heat* wird aus Strom Wärme – auf diesem Prinzip beruhen zum Beispiel Wärmepumpenheizungen. Batteriespeicher und *Power-to-X* – beides sind wichtige Maßnahmen zur Umstellung auf eine hundertprozentige Versorgung durch erneuerbare Energieträger.<sup>48</sup> Welche der beiden Arten der Speicherung beziehungsweise welche anderweitige Nutzung überschüssigen Stroms aus ökologischen Gesichtspunkten am sinnvollsten ist, wird derzeit heiß diskutiert.<sup>49</sup>

Indem im Zuge der Energiewende überschüssiger erneuerbarer Strom über *Power-to-X* zunehmend in andere Energieformen wie Gas, Kraftstoff oder Wärme umgewandelt wird, wird deutlich, dass die Energiesektoren Strom, Wärme und Verkehr immer mehr zusammenwachsen – in Fachkreisen wird dies als ›Sektorkopplung‹ bezeichnet. In fossilen Zeiten waren diese Sektoren weitgehend unabhängig voneinander. Die Digitalisierung kann dazu beitragen, die Sektoren Strom und Verkehr zu ›koppeln‹. Über digitale Steuerung können etwa die Akkus künftiger Elektroautos oder Batteriespeicher im Keller nicht nur dann geladen werden, wenn gerade viel Strom zur Verfügung steht, sondern sie können zugleich als Speicher für das Gesamtnetz genutzt werden.<sup>50</sup> So können sie entladen werden, wenn eine Unterdeckung im Stromnetz droht. Es ist offensichtlich, dass eine solche Steuerung nur automatisch erfolgen kann und deshalb eine intelligente Kommunikation der Ladestationen mit dem Stromnetz erforderlich ist. Auch zu der Kopplung von Strom und Wärme können digitale Technologien einiges beitragen. So kann ein hohes Stromangebot etwa automatisiert genutzt werden, um Wärme zum Heizen bereitzustellen. Insbesondere für dezentrale Anlagen wie Wärmepumpen ist eine digitale Automatisierung sinnvoll.

Die Verwendung digitaler Technologien ist somit unabdingbar, um den Umstieg auf 100 Prozent erneuerbare Energien zu ermöglichen. Eine Vollversorgung aus Ökostrom ist zweifelsohne gut für das Klima. Aber was bedeutet die Herstellung der für die Kommunikation im smarten Netz erforderlichen Geräte und Infrastrukturen aus ökologischer Sicht? Eine Studie zur Ökobilanzierung von Energiemanagementsystemen für die intelligente Steuerung von Wohntemperatur und Heizungsanlagen in Privathaushalten kommt etwa zu dem Ergebnis, dass die Systeme nach einer Nutzung von

etwa anderthalb Jahren anfangen, Energie einzusparen.<sup>51</sup> Untersuchungen zur Energiebilanz von *Smart Meters* zeigen ebenfalls, dass deren Nettoeffekte bedeutend geringer sind, wenn man die nötige Energie für Produktion und Gebrauch der Geräte mitrechnet.<sup>52</sup> Zwar lassen sich durch intelligente Steuergeräte und *Smart Meter* positive Effekte beim Energieverbrauch erzielen. Es wird aber in ökologischer Hinsicht eher kontraproduktiv sein, viele, insbesondere kleinere Haushaltsgeräte so zu automatisieren, dass ihr Betrieb an das Stromangebot angepasst werden kann.<sup>53</sup>

Werden Haushalte komplett zu *Smart Homes* umgerüstet, nur um den flexiblen Stromverbrauch zu maximieren, besteht zudem das Risiko, dass viele noch funktionstüchtige Geräte ausgetauscht und entsorgt werden. Es müssen sicherlich nicht jeder Backofen und jede Stehlampe ins smarte Netz integriert werden. Aus ökologischer Sicht ist ein kritischer Blick auf viele der derzeit entstehenden *Smart-Home*-Systeme angebracht, die eine sehr ausdifferenzierte Steuerung der Haustechnologie anbieten – von der Aktivierung der Alarmanlage über die Steuerung der Lichtfarbe der Wohnzimmerlampen bis zum Ein- und Ausschalten des Fernsehers. Nur ein Bruchteil der Erfindungen ist dabei darauf ausgelegt, die Stromnachfrage der Haushalte flexibel der Stromgewinnung anzupassen beziehungsweise durch intelligente Steuerung zu reduzieren. Der weitaus größere Teil sind neue Spielereien, die vielleicht dem Komfort dienen, aber nicht unbedingt die Energiewende vorantreiben.<sup>54</sup> Insgesamt muss daher bei der Digitalisierung im Haushalt genau geschaut werden, welche Geräte wirklich für die Flexibilisierung der Nachfrage benötigt werden und welche allzu hohe ökologische Belastungen in der Produktion mit sich bringen oder eher technisches Gimmick als nachhaltige Innovation sind.

Ein weiterer Punkt ist zu berücksichtigen: Die automatische Kommunikation und die digitale, smarte Steuerung verbrauchen selbst auch Strom, der vorher nicht benötigt wurde. Auch hier kommt das eingangs geschilderte Phänomen zum Tragen, dass die Digitalisierung zu einer weiteren Elektrifizierung unserer Gesellschaft führt und dadurch die Stromnachfrage wächst und bis 2030 gar 30 bis 50 Prozent der Weltstromnachfrage ausmachen könnte (siehe Abschnitt [Die materielle Basis](#)). Dies führt in ein Dilemma: Für eine Vollversorgung mit erneuerbaren Energien ist es dringend erforderlich, dass die Nachfrage in Ländern mit hohen Energieverbräuchen insgesamt sinkt. So geht das Energiekonzept der Bundesregierung davon aus, dass das Ziel, bis zum Jahr 2050 vollständig auf erneuerbare Energieträger umzusteigen, in Deutschland nur erreicht werden kann, wenn sich der Primärenergieverbrauch bis dahin gegenüber dem heutigen Stand halbiert.<sup>55</sup> Gleichzeitig benötigen die Technologien, die das gewährleisten können, selbst Energie. Für das Energiesystem geht es also darum, ein moderates Maß der Digitalisierung (und der damit verbundenen Stromnachfrage) zu finden. Nicht so viele smarte Geräte wie möglich, sondern so wenige wie nötig, lautet der Leitsatz, an dem sich der nachhaltige Umbau des Energiesystems orientieren sollte.

Schließlich gehen noch zwei ganz andere Herausforderungen mit der Einführung smarterer Geräte und Netze einher: der Datenschutz sowie die Sicherheit und Widerstandsfähigkeit (Resilienz) des Stromsystems. Die Flexibilisierung der Nachfrage

bedeutet, dass laufend kommuniziert und aufgezeichnet wird, welche Unternehmen und Konsument\*innen mit welchen Geräten wo und wann Strom nachfragen. Die zunehmende Einführung smarterer Geräte im Energiesystem bringt daher zahlreiche Datenschutz- und IT-Sicherheitsprobleme mit sich. Die systemischen Risiken eines smarten Energiesystems haben bereits Einzug in die Science-Fiction-Literatur gefunden – die auch laut Fachleuten eher mit Science als mit Fiction beschrieben werden kann. Der Bestseller *Blackout* von Marc Elsberg macht die Risiken greifbar.<sup>56</sup> Hacker erreichen ein Zusammenbrechen der Stromnetze in Italien und Schweden, indem sie tausendfach die *Smart Meter* von Haushalten manipulieren. Es kommt zu Stromausfällen: Ampeln funktionieren nicht mehr, viele Verkehrsunfälle sind die Folge. Im Laufe der nächsten Tage bricht die Stromversorgung in fast ganz Europa zusammen – unter anderem, da die Stromnetze der Länder inzwischen eng miteinander vernetzt sind. Fast zwei Wochen lang gelingt es nicht, die Stromversorgung wiederherzustellen. In dieser scheinbar kurzen Zeit stürzt Europa in die größte Katastrophe seit dem Zweiten Weltkrieg. Die Sanitäreinrichtungen funktionieren nicht mehr, Seuchen treten auf. Die Nahrungsmittelversorgung kommt zum Erliegen, die Wasserversorgung wird knapp und beinahe die komplette Kommunikation (Internet, Telefon, Fernsehen) fällt aus. Da auch die öffentlichen Institutionen kaum mehr funktionieren, kommt es zu Ausschreitungen und Selbstjustiz. Kurz: ein Horrorszenario.

Natürlich ist *Blackout* ein Fiction-Buch, keine wissenschaftliche Analyse. Doch auch unter Expert\*innen werden die zwei Hauptthemen des Buches diskutiert:<sup>57</sup> erstens die Tatsache, dass Strom inzwischen fundamental für viele kritische Infrastrukturen ist und seine Bedeutung – auch in Folge der Digitalisierung – weiter zunimmt. Das Stromnetz wird zu *der* kritischen Infrastruktur schlechthin. Zweitens eröffnet erst die Digitalisierung der Energieproduktion und des Energiemarkts das Risiko, die Stromversorgung über das Internet von überall her unterbrechen zu können. In Elsbergs Roman sind es einige schlaue Hacker, die sich durch den Zusammenbruch Europas und der USA einen zivilisatorischen Neuanfang jenseits des Kapitalismus erhoffen. In der Realität können derlei Angriffe aus unterschiedlichsten Richtungen kommen. Und solche Attacken passieren bereits: Das Stromsystem der Ukraine etwa wurde Ende 2015 Opfer eines – vermutlich von Russland aus gesteuerten – Cyberangriffs, der die Stromversorgung von über 700.000 Menschen zeitweise unterbrach.<sup>58</sup> Aufgrund dieser und anderer, bisher noch vergleichsweise glimpflich ausgegangener Vorfälle, untersuchen Versicherungen derzeit, wie sie die Risiken von Cyberangriffen einzuschätzen haben.<sup>59</sup> Um eine möglichst große Resilienz des Energiesystems zu gewährleisten, also um es gegen Störungen möglichst robust zu machen, sollte die gesamte ›smarte‹ Infrastruktur möglichst wenig Schnittstellen zum offenen Internet haben. Diese Einsicht hat sich noch nicht durchgesetzt und widerspricht vielen derzeitigen Konzeptionen und am Markt erhältlichen Produkten für *Smart Homes* leider diametral. Nichtsdestotrotz gilt: Je weniger Informationen über Handys (Apps), lokales WLAN, private Router usw. abgewickelt werden, desto schwieriger wird es sein, manipulativ einzugreifen. Stattdessen sollten möglichst datenverschlüsselte Systeme aufgebaut und über Funknetze statt das Internet betrieben werden, damit nur autorisierte Akteur\*innen und Technologien zugreifen können.