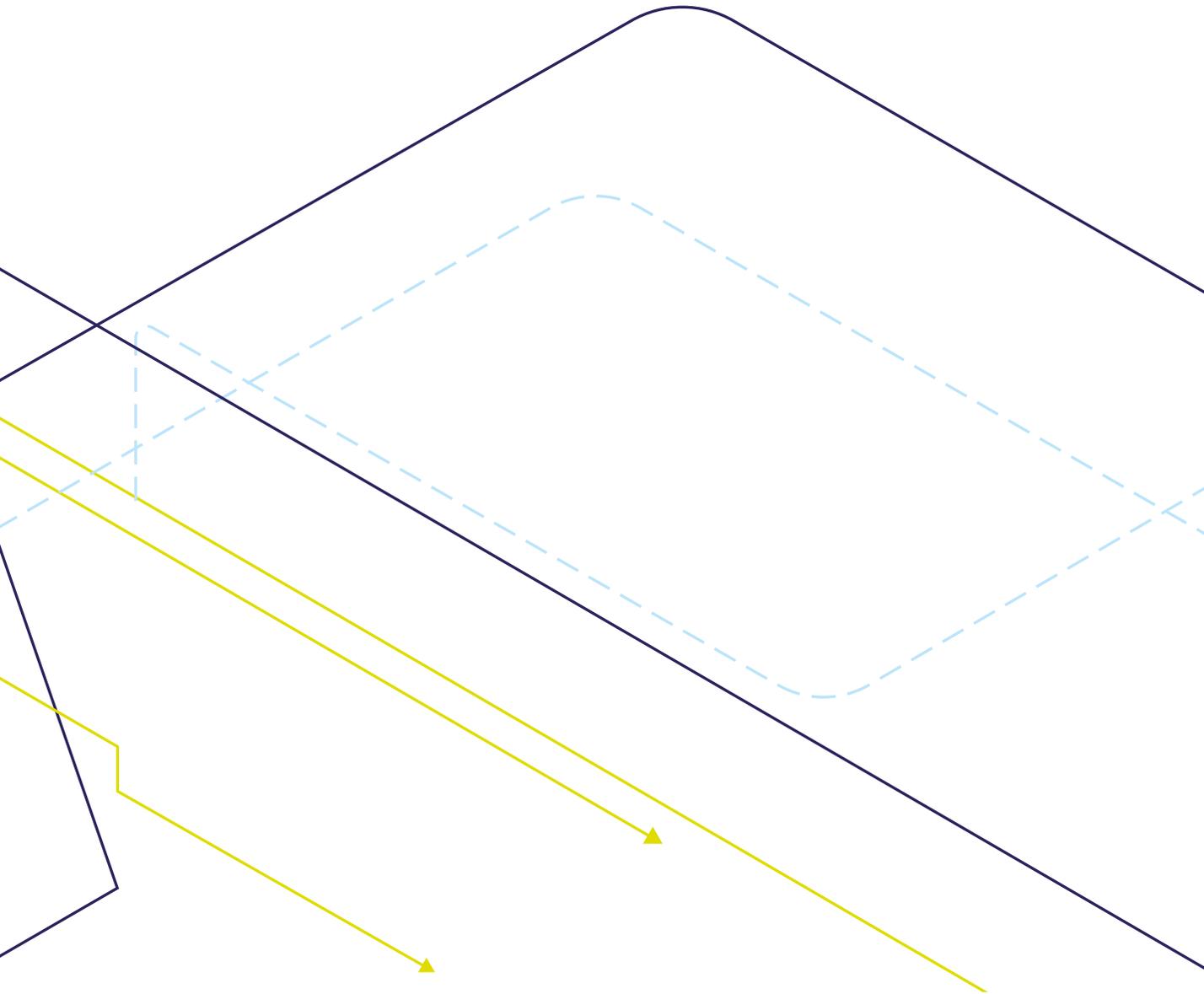


C/sells – was bleibt



Im vorherigen Teil wurde gezeigt, wie Akteure vor Ort das zelluläre Energiesystem umgesetzt haben. Aber was hat sich davon bewährt? Was kann als Musterlösung dienen, die an anderen Orten umgesetzt werden sollte? Und schließlich: Was wären die zukünftigen Auswirkungen, wenn man diese Musterlösung flächendeckend umsetzt? Antworten auf diese Fragen geben die folgenden Abschnitte.

Energiewirtschaftliche Gesamtbewertung

Die Akteure in C/sells haben in vielfältiger Weise gezeigt, dass ein zelluläres Energiesystem machbar ist. Auch die Prinzipien und Strategien zur Umsetzung sind klarer geworden. Ist aber das zelluläre Energiesystem tatsächlich die Antwort auf die Herausforderungen der Energiewende? Wie wirken die in C/sells entwickelten Ansätze Abstimmungskaskade, FlexPlattform, Regionalisierte Märkte und Infrastruktur-Informationssystem auf dem Weg zum Energiesystem der Zukunft? Antworten auf diese Fragen können die umfangreichen energiewirtschaftlichen Modellrechnungen geben, mit denen Wissenschaftler das C/sells-Projekt begleitet haben. Mit diesen kann die langfristige Entwicklung des Energiesystems abgebildet werden.

Als Grundlage für die Analyse werden mögliche Entwicklungspfade des Energiesystems, sogenannte Szenarien, genutzt. In den wissenschaftlichen Analysen in C/sells werden die Szenarien verwendet, um die Wirkung der C/sells-Lösungen unter verschiedenen Rahmenbedingungen und in unterschiedlichen Kontexten zu bewerten. In C/sells wurden mit allen Partnern gemeinsam zwei mögliche **Zukunftsszenarien** der Entwicklung der Energiewirtschaft erstellt. Auch wenn beide Szenarien davon ausgehen, dass die Energiebereitstellung zukünftig dezentraler erfolgt als heute, so unterscheiden sie sich in dem Ausmaß der Dezentralität.

Gemäß dem Dreieck der Energiewende der Bundesregierung soll die Energieversorgung kosteneffizient, nachhaltig und sicher sein. Inwiefern die C/sells-Instrumente diese Anforderungen erfüllen und wie deren Auswirkungen auf das Gesamtsystem sind, wird mit fünf Energiesystemmodellen untersucht, die jeweils verschiedene Schwerpunkte näher beleuchten. Das agentenbasiertes Strommarktmodell AMIRIS des DLR ermöglicht Analysen zur Marktintegration der Erneuerbaren Energien sowie von Flexibilitätsoptionen sowohl auf der Mikroebene der Akteure als auch auf der Makroebene des Energiesystems. Hierbei kann das Verhalten einzelner Akteure des Strommarkts unter verschiedenen Rahmenbedingungen, wie zum Beispiel Förderinstrumenten, berücksichtigt werden. Das Strommarktmodell E2M2 der Universität

Stuttgart optimiert die langfristigen Investitionsentscheidungen in Kraftwerke und Flexibilitätsoptionen sowie deren Einsatz. Im Rahmen von C/sells wird eine Modellversion verwendet, die den Zellgedanken (u.a. Aspekte der Autonomie, Regionalität und des Stromaustausches) aufgreift und berücksichtigt. Das Energiesystemmodell ISAaR der FfE bildet das europäische Übertragungsnetz, den Kraftwerkspark, verfügbare Erzeugungspotenziale aus Erneuerbaren Energien und Verbraucherlasten aus den Sektoren Strom, Wärme und weiterer sektorenkoppelnder Elemente in detaillierter räumlicher Auflösung ab. Das Modell berechnet dabei einen kostenoptimalen Kraftwerkseinsatz. Einzelne Maßnahmen wie eine verstärkte Durchdringung mit Prosumenten können daher auf ihr eigenes Verhalten und ihre Rückwirkungen auf das Energiesystem bewertet werden. Das Marktsimulationsmodell flexABLE der Universität Freiburg dient der Analyse der Bereitstellung von Flexibilität auf dem Strom- und Regelleistungsmarkt in Deutschland. Im Rahmen des Projekts C/sells wurden neben dem Großhandelsmarkt regionale Märkte hinzugefügt, um deren Auswirkungen auf die Kraftwerkseinsatzpläne zu analysieren. Das Modell des Fraunhofer ISE untersucht, inwiefern durch ein IT-gestütztes netzebenenübergreifendes Engpassmanagement in Form der Abstimmungskaskade die Abregelung erneuerbarer Energien verringert und der Abstimmungsprozess zwischen den Netzbetreibern beschleunigt werden kann. Unterstützt werden die Modellanalysen durch qualitative Betrachtungen ausgewählter Ansätze, die am Fraunhofer ISI durchgeführt werden.

Die Modellanalysen zeigen:

- Unter der Annahme der Beteiligung neuer Flexibilitätsanbieter an Netzengpassmanagementmaßnahmen senkt die FlexPlattform durch deren kosteneffizienten Einsatz die Gesamtkosten des Energiesystems. Außerdem leistet sie einen positiven Beitrag zur Versorgungssicherheit angesichts zurückgehender Kraftwerkskapazitäten, die für Redispatch zur Verfügung stehen und kann zu einer Reduktion der Abregelung von Erneuerbaren Energien führen. Im Hinblick auf die Systemeffizienz werden durch die Flexplattform mehr Einheiten zur Netzentlastung eingebunden und deren Einsatz zielgerichteter gesteuert. Zur Evaluation des Konzepts in der Systemanalyse werden Flexibilitätsoptionen innerhalb einer durch die Stromnetzstruktur definierte Energieversorgungsregion (Zelle) aggregiert und deren Interaktion und Nutzen bei einer Knappheit an den Zellgrenzen analysiert. Dabei wird eine Rückkopplung mit dem übergeordneten Gesamtsystem berücksichtigt.



„Dass darauf niemand vorher gekommen ist: Lokaler Handel mit Strom auf digitalen Plattformen stützt den lokalen Handel und die lokale Wirtschaft!“

- Abhängig von den regulatorischen Rahmenbedingungen können attraktive Geschäftsmodelle für Verbraucher, Prosumer und Anbieter entstehen. Diese so genannten Quartiers- und Prosumerlösungen können Investitionen in Batterien sowie Anreize für eine Verbrauchsanpassung beinhalten. Sie führen zu einer höheren lokalen Nutzung erneuerbarer Energien und vermindern sonst notwendige Abregelungen von erneuerbaren Energien. Darüber hinaus kann die gehobene Flexibilität, bei entsprechendem Einsatz, zur Stabilisierung des Gesamtsystems beitragen. Diese Vorteile sind gegenüber den höheren Verlusten, die aus einer verstärkten Speichernutzung resultieren und höheren Systemkosten der kleinteiligeren Verbrauchskonzepte abzuwägen.
- In der Systemanalyse wurde untersucht wie sich ein bevorzugt regionaler Stromhandel, also ein regionaler Ausgleich von Stromnachfrage und -erzeugung, auswirkt. Dabei wurden verschiedene Regionalitätsebenen betrachtet, diese Marktgebiete können auf Basis von Netzstrukturen oder aber auch auf regionalen Zuschnitten, wie zum Beispiel Verwaltungsgebiete (Quartiere oder Haushalte), definiert werden. Erste Abschätzungen lassen erwarten, dass durch einen bevorzugt regionalen Handel die Systemkosten ansteigen. Unter der Annahme von einer stärkeren Beteiligung und dadurch zusätzlichen Investitionen können die entstehenden Systemmehrkosten durch den regionalen Handel unter Umständen abgemildert werden. Die Vermeidung von unerwünschten Nebeneffekten, wie ein Anstieg des CO₂-Ausstoß und bedeutende Kostenunterschiede zwischen Regionen, sollte bei der weiteren Diskussion zum regionalen Handel berücksichtigt werden.
- Mit einem umfangreichen Austausch über den Netzzustand zwischen den Netzbetreibern (Abstimmungskaskade) können Maßnahmen zur Behebung von Netzengpässen gezielter ausgestaltet werden. Dadurch werden die Kosten für die Netzengpassmaßnahmen reduziert, der Einsatz konventioneller Kraftwerke gesenkt und damit auch deren CO₂-Emissionen. Das gilt für die Übertragungsnetzbetreiber, die von einem besseren Überblick über den Netzzustand der vorgelagerten Ebenen profitieren, wie auch für die Verteilnetzbetreiber. Durch eine Abstimmung der Eingriffe zwischen den Verteilnetzbetreibern kann deren Anzahl reduziert werden. Die Einsparpotenziale hängen dabei im Verteilnetz stark von der Struktur des Netzes und den angeschlossenen Netznutzern ab.



Musterlösungen für die Energiewende

Im Programm „Schaufenster Intelligente Energie – Digitale Agenda für die Energiewende“ (SINTEG) umfasst C/sells als Modellregion die Länder Baden-Württemberg, Bayern und Hessen. Im Süden Deutschlands liegt der Schwerpunkt auf der Integration der erneuerbaren Energie aus Photovoltaik-Anlagen. Der Auftrag in dem vom Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi) geförderten Projekt ist es, Musterlösungen für eine sichere, wirtschaftliche und umweltverträgliche Energieversorgung bei bis zu 100 Prozent Strom aus erneuerbaren Energiequellen zu entwickeln und zu demonstrieren. SINTEG zielt dabei insbesondere auf den sicheren und effizienten Betrieb der Stromnetze, auf die Nutzung von Flexibilität und auf das verbesserte Zusammenspiel aller beteiligten Akteure in einem intelligenten Energiesystem. Für C/sells haben wir daraus konkrete Lösungsansätze abgeleitet, wie auch schon am Anfang des Buches beschrieben: Die Koordination einer großen Anzahl dezentraler, verteilter Anlagen mit schwankender Stromerzeugung aus erneuerbaren Quellen zusammen mit wachsenden Lasten aus E-Mobilität, Speichern und Wärmeversorgung ist eine komplexe Aufgabe. Hier braucht es eine intelligente Koordination mit Hilfe der Digitalisierung. Um Netzengpässen entgegenzuwirken, ist ein entsprechendes Management erforderlich, sowie Strategien zur Sektorkopplung. Viele große Kraftwerke werden durch den Kernenergie- und Kohleausstieg stillgelegt. Erzeugung und Nachfrage müssen zunehmend durch dezentrale, kleinteilige Flexibilität ausgeglichen werden. Wir müssen erreichen, dass die Menschen den Ausbau der erneuerbaren Energien nicht nur akzeptieren, sondern als Chance zur Teilhabe erkennen und nutzen. Darüber hinaus ist die größere Vielfalt und Zahl der dezentralen Akteure eine Herausforderung für die Organisation des Energiesystems. Dieser begegnen wir bereits durch die Struktur und Wirkungsweise des Projekts C/sells als Reallabor eines zellulären Verbunds.

Was macht nun eine Musterlösung aus? Und wie wird aus einem Muster schließlich Realität? Das Verständnis, das in C/sells gemeinsam entwickelt wurde, lässt sich

so beschreiben: Eine Musterlösung ist ein Prozess oder ein Produkt, mit dem wir einen relevanten Beitrag zu den Herausforderungen der Energiewende leisten können. Die Musterlösungen finden sich in den Konzepten für intelligente Netze und Märkte und praxisnah in den Demonstrationszellen wieder.

Eine Musterlösung soll auf ein konkretes Problem beispielhaft anzuwenden sein. Für eine technische Entwicklung bedeutet dies, dass sie unter bestimmten Rahmenbedingungen erprobt ist. Beispielsweise steht der **Altdorfer Flexmarkt** für ein Instrument zum Beheben von Netzengpässen, das der Netzbetreiber Bayernwerk zusammen mit Bürgern aus Altdorf unter realen Bedingungen testet. In der **WIRcommunity** wird mit Daten realer Erzeuger im Rhein-Neckar-Raum, also Besitzern von PV-Anlagen, sowie virtueller Verbraucher ein lokaler Markt simuliert. Die **Abstimmungskaskade** wurde in mehreren Schritten im Dialog zwischen Netzbetreibern und Technologieherstellern entwickelt und getestet, bevor sie in den Realbetrieb integriert wird.

Ebenso soll die Lösung wirtschaftlich sinnvoll sein. So geht es etwa bei der **Intelligenten Wärme München** darum, Elektrospeicherheizungen in Bestandsgebäuden mit überschaubarem Aufwand für die Zukunft fit zu machen. Demand Side Management für Gewerbebetriebe in **Hessen** oder Flexibilitätsvermarktung am **Flughafen Stuttgart** sind Beispiele für die Verknüpfung von Intelligenz im Energiesystem und Wirtschaftlichkeit.

Die Lösung soll von den Menschen mitgetragen werden. Dass dies nicht nur Akzeptieren, sondern auch aktiv Mitgestalten bedeutet, zeigen die Menschen in der Gemeinde Murg mit der **Stromgemeinschaft** oder im Quartier **Franklin** mit der Vernetzung von Energieversorgung, Elektromobilität und weiteren Smart City Services über eine Internet-der-Dinge-Plattform.

Weitere Kriterien für eine Musterlösung sind Skalierbarkeit und Übertragbarkeit: Für denselben Anwendungsfall gelten je nach Ort und Beteiligten unterschiedliche Ausgangsbedingungen. Ebenso werden unterschiedliche Technologien in Form von Bauteilen, Software, Kommunikationsprotokollen oder anderen Elementen eingesetzt. Eine Musterlösung versucht, diese Unterschiede auszugleichen, indem Prozesse und Schnittstellen allgemeingültig beschrieben werden. Das **AutonomieLab Leimen**, das Smart Grids Labor der **Technischen Hochschule Ulm** oder das **Energy Lab 2.0** liefern Lösungen, die mit gewissen Anpassungen auch von anderen Betreibern von Gebäuden und Quartieren, von anderen Netzbetreibern oder Stadtwerken angewandt werden können.

Nicht jede Lösung kann und muss all diese Anforderungen erfüllen. In der Zusammenarbeit von Forschern mit Industrievertretern oder Stromnetzbetreibern mit Start-ups aber wirken diese Prinzipien handlungsleitend. Die Verständigung unterschiedlicher Akteure auf gemeinsame Prozesse ist ein besonderer Wert, der die Arbeit in einem Verbundprojekt wie C/sells prägt und über die Projektlaufzeit hinauswirkt. Denn die Menschen, die im Projekt zusammengearbeitet haben, geben gesammeltes Wissen und Erfahrungen weiter in ihr Unternehmen, in ihre Fachkreise oder in die

Öffentlichkeit und Politik. Sie tragen es weiter in neue Projekte hinein, sie wirken mit in Normungs- und Standardisierungsgremien oder am energiepolitischen und gesellschaftlichen Dialog.

Einige Lösungen benötigen eine Anpassung des regulatorischen und energiepolitischen Rahmens, um massenfähig zu werden. Hierzu haben wir im Projekt in einem breit angelegten Diskurs Empfehlungen an die Politik erarbeitet, unsere Energiewirtschaftlichen Positionen (EPos). In vier Jahren C/sells haben wir vier öffentliche Ministerdialoge veranstaltet, einen in jedem Bundesland des Projekts sowie einen auf Bundesebene. Ziel ist es jeweils, die EPos zu vermitteln und mit Ergebnissen zu untermauern, um der Politik fundierte Entscheidungsgrundlagen zu liefern. Dieses Buch ist eines von vielen Formaten, die wir nutzen, um über unsere Musterlösungen zu berichten und sie zu verwerten. So schaffen wir die Voraussetzung, dass aus einzelnen Demonstrationen massenfähige Lösungen werden und eine Systemveränderung stattfindet. Die **EPos** zum Ministerdialog am 15.12.2020 in Stuttgart bilden das abschließende Kapitel dieses Buches.

► Seite 223

Nicht nur die Musterlösungen und Demonstrationzellen zeigen Handlungsoptionen im künftigen Energiesystem auf, sondern auch das Projekt selbst als Reallabor liefert Erkenntnisse über zukunftsweisende Prinzipien einer zellulär organisierten Energiewirtschaft. Das Verbundprojekt ist keine hierarchische Organisation, sondern in mehrere eigenverantwortliche Einheiten unterteilt. Es gibt zwar eine Gesamtprojektleitung zur Koordination, diese setzt aber stärker auf die Mittel Moderation und Kooperation denn auf Weisung und Sanktionierung. Wichtig für die Zusammenarbeit ist, dass es sowohl individuelle, unternehmensbezogene als auch gemeinsame, auf das gesamte Projekt bezogene Ziele gibt, und dass diese für alle transparent sind. In welchem Verhältnis diese Ziele zueinander stehen, ist ein Aushandlungsprozess und erfordert den Dialog.

Analog dazu erfordert eine dezentrale, kleinteilig strukturierte Energiewirtschaft verteilte Verantwortung auf unterschiedlichen Ebenen. Zellen sollten die Möglichkeit bekommen autonom zu entscheiden. Ob eine Zelle vorrangig das Ziel der lokalen Optimierung von Erzeugung und Verbrauch verfolgt oder netzdienliche Flexibilität bereitstellt, sollte nicht das Ergebnis von Verordnungen sein, sondern eher durch Anreize und transparente Grundregeln motiviert sein. Ein zelluläres System sollte nicht alle Handlungsoptionen vorbestimmen und durchregulieren, sondern den Rahmen schaffen für selbstorganisierte Einheiten, die auch neue Akteure und Geschäftsmodelle zulassen.

Bleibt die Frage, ob wir es schaffen können, mit einem zellulären, partizipativen und vielfältigen Energiesystem das 1,5 Grad-Ziel zu erreichen? Klar ist, dass dies eine globale Aufgabe ist, zu der uns Menschen nicht mehr viel Zeit bleibt. Laut Mercator Research Institute on Global Commons and Climate Change (MCC) wird die verbleibende Zeitspanne zum Erscheinungstermin dieses Buches noch etwa sieben Jahre betragen, um die CO₂-Emissionen auf Null zu reduzieren, eine gleichbleibende Emis-

sionsrate vorausgesetzt. Wie soll das gehen, wenn wir es bis jetzt nicht geschafft haben, global eine Kehrtwende bei den Emissionen einzuleiten? Wenn sich Gesellschaften spalten, weil interessensgeleitete Netzwerke eigene Realitäten erschaffen? Wir sehen nicht in die Zukunft. Aber was wir wissen, ist, dass wir mit den Erneuerbaren Energien eine Alternative entwickelt haben, um das fossile Zeitalter zu beenden. Mit intelligenten Infrastrukturen steht die Technik zur Verfügung, um die notwendige Dezentralisierung und Vernetzung zu steuern. In einer zellulären Organisation sind die Menschen Teil des Systems, das sie gestalten.

Das einzigartige Netzwerk von C/sells und SINTEG erhalten

An C/sells wirkten rund 300 Expertinnen und Experten mit, am übergeordneten Programm SINTEG rund 2000. In diesem Rahmen haben viele Personen miteinander gesprochen und gearbeitet, die sich sonst nicht kennengelernt hätten. Die Netzwerke von C/sells und der anderen vier SINTEG-Schaufenster bilden die gesamte Wertschöpfungskette der neuen Energiewelt ab – einschließlich Energiewirtschaft, Industrie, digitaler Dienstleistungen und Forschung. Dieses einzigartige Netzwerk soll nicht nur erhalten bleiben, sondern vertieft und erweitert werden. Ziel ist es, die erarbeiteten Technologien und Geschäftsmodelle zu verbreiten und neue Projekte ins Leben zu rufen, damit die Energiewende gelingt.

Drei Maßnahmen hat die empirica Gesellschaft für Kommunikations- und Technologieforschung gemeinsam mit den Schaufenstern entwickelt: ein internetgestütztes Who-is-Who, ein Projekt auf der Wissenschaftsplattform ResearchGate und eine Gruppe von Energieprofessionals auf der Plattform LinkedIn.

Das Who-is-Who hat eine moderne Online-Plattform und eine Schlagwortliste, mit der sich die Expertinnen und Experten von C/sells und SINTEG zielgenau finden lassen. Das Who-is-Who ist unter wirSINTEG.de verfügbar.

Das Projekt auf ResearchGate sammelt wissenschaftliche Veröffentlichungen aus allen fünf SINTEG-Schaufenstern und macht sie per Link zugänglich. Das Projekt listet mehrere hundert Einträge unter bit.ly/SINTEG-RG.

Die Gruppe auf LinkedIn stellt für Energie-Professionals einen Kommunikationskanal über SINTEG bereit, unter bit.ly/SINTEG-LI. Die Gruppe eröffnet auch Externen die Möglichkeit, Fragen und Projektideen an eine größere Runde zu richten.

Fragen zu den Maßnahmen nimmt sinteg@empirica.com entgegen.

