dossier.

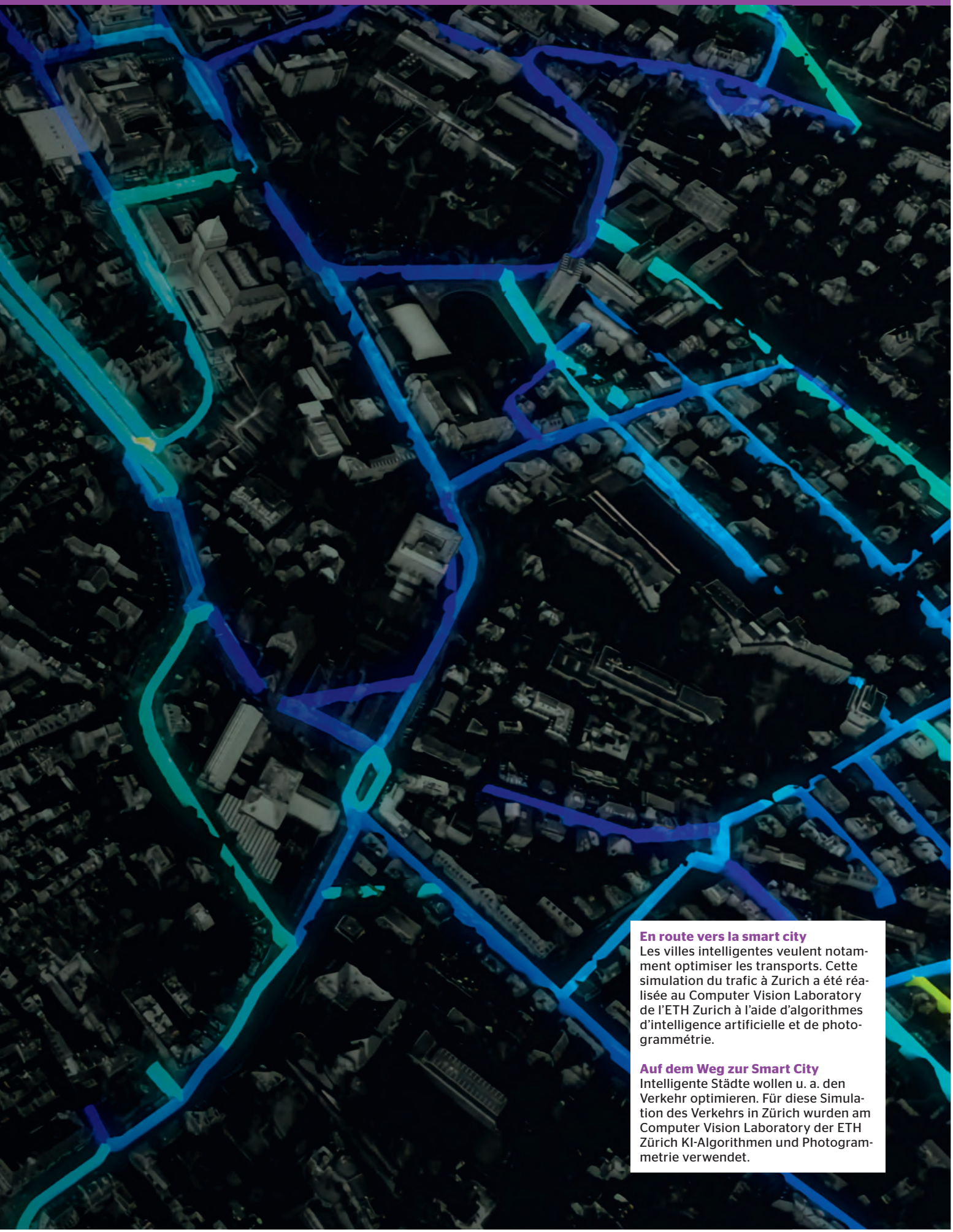
Stratégies pour la smart energy

Villes intelligentes | Pour réduire les émissions de CO_2, les agglomérations devront analyser les habitudes des consommateurs. Et relier par le numérique des domaines pour l'instant isolés : le chauffage et le transport.

Smart-Energy-Strategien

Intelligente Städte | Zur Reduktion der CO_2-Emissionen müssen Agglomerationen die Gewohnheiten der Verbraucher analysieren. Und die bisher getrennt betriebenen Bereiche Heizung und Verkehr digital vernetzen.

Figure | Bild: ETH Zürich/Hayko Riemenschneider



En route vers la smart city
Les villes intelligentes veulent notamment optimiser les transports. Cette simulation du trafic à Zurich a été réalisée au Computer Vision Laboratory de l'ETH Zurich à l'aide d'algorithmes d'intelligence artificielle et de photogrammétrie.

Auf dem Weg zur Smart City
Intelligente Städte wollen u. a. den Verkehr optimieren. Für diese Simulation des Verkehrs in Zürich wurden am Computer Vision Laboratory der ETH Zürich KI-Algorithmen und Photogrammetrie verwendet.

1

2

3

4

1 Quelles mesures énergétiques une ville doit-elle prendre pour maximiser les gains d'efficience à moindre coût ? Une simulation informatique développée à l'Empa permet de tester plusieurs scénarios.

Welche Energiemassnahmen soll eine Stadt ergreifen, um die Effizienz bei geringsten Kosten zu maximieren? Eine an der Empa entwickelte Simulation erlaubt es, diverse Szenarien zu testen.

2 Christian Bach, de l'Empa, analyse les trajets personnels des Suisses et développe des véhicules à hydrogène afin de stocker l'électricité du réseau.

Christian Bach von der Empa analysiert die persönlichen Fahrten der Bevölkerung und entwickelt wasserstoffbetriebene Fahrzeuge zur Speicherung von Strom aus dem Netz.

3 À l'Empa, Kristina Orehounig simule des villes entières pour optimiser les choix énergétiques au niveau de chaque bâtiment.

An der Empa simuliert Kristina Orehounig ganze Städte, um die energierelevanten Entscheidungen auf der Ebene der einzelnen Gebäude zu optimieren.

4 Matthias Finger, de l'EPFL, analyse les conditions qui favorisent ou freinent le développement des smart cities.

Matthias Finger von der EPFL untersucht die Bedingungen, die die Entwicklung von Smart Citys fördern oder behindern.

Figures | Bilder: Empa / Daniel Saraga

DANIEL SARAGA

Accumuler les données des usagers pour leur proposer des services plus efficaces: l'idée n'a aujourd'hui rien de révolutionnaire. Le big data fait partie intégrante de nos smartphones, et ainsi de notre vie quotidienne.

Les villes, elles, rêvent de « smart cities » et de pouvoir optimiser grâce aux données le trafic et les infrastructures telles que le réseau électrique. « Le chauffage des bâtiments et les transports représentent plus de la moitié de la consommation d'énergie en Suisse », souligne Matthias Finger, professeur de management des industries de réseau à l'EPFL. Il faudra donc augmenter massivement leur efficacité si l'on veut réduire les émissions de CO_2. Dans ces deux domaines, la recherche ne propose pas seulement de nouvelles solutions techniques, mais de plus en plus des plateformes pour les combiner et les optimiser à large échelle.

Changer les fenêtres ou le boiler ?

Les technologies de chauffage sont multiples – des chaudières à mazout aux pompes à chaleur, des panneaux solaires thermiques au chauffage à distance en réseau –, tout comme les mesures pour réduire les pertes (fenêtres triple vitrage, rénovation de façades, etc.). Les particuliers optent souvent pour les moins chères, mais l'État a des moyens d'actions: il peut créer des systèmes de chauffage à distance et, par le biais de taxes ou de subventions, encourager les propriétaires à installer des panneaux solaires, ou à changer leur boiler ou leur vitrage.

Mais comment faire le meilleur choix parmi toutes ces possibilités ? Au Laboratoire fédéral d'essai des matériaux et de recherche Empa, à Dübendorf, Kristina Orehounig développe des outils d'aide à la décision: ses simulations de quartiers, voire de villes entières, indiquent quelles économies d'énergie et réductions d'émissions de CO_2 peuvent être atteintes par différentes combinaisons de mesures, et à quel prix. « Les techniques qui réduisent le plus les émissions sont évidemment les plus chères, mais il ne vaut pas forcément la peine d'investir pour gagner quelques pourcents supplémentaires », explique la chercheuse. « Nos modèles permettent de trouver les combinaisons qui assurent le plus d'effet au meilleur prix. »

Simuler la consommation de chaque maison

« On connaît certes la consommation énergétique totale à l'échelle nationale ou d'une ville », poursuit la spécialiste en physique du bâtiment, « mais très mal au niveau des ménages ou des quartiers. » C'est l'objectif de la simulation informatique développée par son équipe du Urban Energy Systems, à l'Empa. Elle combine des cartes de Swisstopo et les données du Registre fédéral des bâtiments et des logements qui recense chaque construction de Suisse avec son emplacement, la hauteur, le nombre d'étages et d'occupants, le système de chauffage ainsi que l'année de construction, qui donne des informations sur la qualité de l'isolation. Le système estime ensuite la consommation de chaque ménage, ce qui permet d'identifier les plus grands consommateurs et comment ils sont distribués géographiquement.

Das Sammeln von Nutzerdaten, um effizientere Dienstleistungen anbieten zu können: An der Idee ist heute nichts Revolutionäres. Big Data ist ein integraler Bestandteil unserer Smartphones und damit unseres täglichen Lebens.

Städte hingegen träumen davon, «Smart Citys» zu werden sowie von der Möglichkeit, Daten zur Optimierung des Verkehrs und der Infrastruktur wie etwa des Stromnetzes nutzen zu können. «Die Heizung von Gebäuden und der Verkehr machen mehr als die Hälfte des Energieverbrauchs der Schweiz aus», sagt Matthias Finger, Professor für Netzindustrie-Management an der EPFL. Deshalb muss ihre Effizienz massiv gesteigert werden, wenn die CO_2-Emissionen reduziert werden sollen. Die Forschung in diesen beiden Bereichen bietet nicht nur neue technische Lösungen, sondern zunehmend auch Plattformen für deren Kombination und Optimierung in grossem Massstab.

Die Fenster oder den Boiler austauschen?

Es gibt verschiedene Heizungstechnologien – vom Ölkessel bis zu den Wärmepumpen, von thermischen Sonnenkollektoren bis zur Fernwärme – ebenso wie die Massnahmen zur Verringerung der Verluste (dreifach verglaste Fenster, Fassadensanierung usw.). Der Einzelne entscheidet sich zwar oft für die preisgünstigsten, aber der Staat hat Handlungsmöglichkeiten: Er kann Fernwärmesysteme schaffen und durch Steuern oder Subventionen Hausbesitzer zum Einbau von Sonnenkollektoren, zum Austausch des Heizkessels oder der Verglasung motivieren.

Aber wie kann man unter all diesen Möglichkeiten die beste Wahl treffen? An der Eidgenössischen Materialprüfungs- und Forschungsanstalt (Empa) in Dübendorf entwickelt Kristina Orehounig Instrumente zur Entscheidungshilfe: Ihre Simulationen von Stadtteilen und sogar ganzen Städten zeigen, welche Energieeinsparungen und CO_2-Emissionsreduktionen durch verschiedene Massnahmenkombinationen und zu welchen Kosten erreicht werden können. «Die Techniken, die die Emissionen am meisten reduzieren, sind natürlich die teuersten, aber es lohnt sich nicht unbedingt, in ein paar Prozent mehr zu investieren», erklärt die Forscherin. «Unsere Modelle ermöglichen es uns, die Kombinationen mit der grössten Wirkung zum besten Preis zu finden. »

Den Verbrauch von jedem Haus simulieren

«Auf nationaler oder städtischer Ebene kennen wir den Gesamtenergieverbrauch gut», sagt die Bauphysikerin, «aber auf der Ebene der Haushalte oder der Nachbarschaft wissen wir nur sehr wenig.» Dies ist das Ziel der von ihrem Team am Urban Energy Systems Lab der Empa entwickelten Computersimulation. Diese kombiniert Karten von Swisstopo mit Daten aus dem Bundesgebäude- und Wohnungsregister, das jedes Gebäude in der Schweiz mit Lage, Höhe, Anzahl der Stockwerke und Bewohner, Heizungsanlage und Baujahr auflistet und

Déterminer la combinaison idéale

Un deuxième volet estime quelles transformations sont possibles pour chaque bâtiment, à quel coût et avec quel impact. La productivité d'une installation solaire est par exemple influencée par l'ensoleillement annuel, son orientation et l'ombre portée par les bâtiments environnants. Celle d'une pompe à chaleur dépendra du potentiel thermique du sous-sol ainsi que des régulations locales sur les forages. Pour chaque technologie, le modèle calcule les coûts d'installation et d'opération. Une fois regroupées, ces informations permettent à une ville de tester différents scénarios, comme le développement du solaire dans un quartier bien exposé ou celui de chauffage à distance pour une zone industrielle. L'équipe de Kristina Orehounig a ainsi simulé des systèmes énergétiques pour Bâle, Brig, Rheinfelden (BL) et Zernez (GR) ainsi que pour le quartier zurichois d'Altstetten. Conclusion: chaque solution est différente et spécifique à l'endroit. Sympheny, une start-up fondée par les collaborateurs de l'Empa en 2020, commercialisera une partie de ces instruments de planification pour les systèmes énergétiques locaux.

Une dernière étape considère l'évolution temporelle de l'offre et de la demande énergétique afin d'intégrer la question du stockage de l'énergie, depuis le simple réservoir d'eau chaude, jusqu'à la réinjection de chaleur dans le sous-sol ou encore la production d'hydrogène pour des piles à combustible. La chercheuse entend prochainement inclure l'effet des véhicules électriques sur la consommation d'énergie des ménages, et le rôle que pourraient jouer leurs batteries dans le stockage de l'électricité du réseau, car le solaire et l'éolien créeront des décalages entre production et demande.

Des véhicules électriques, mais pas seulement

À côté du chauffage, le transport jouera un rôle essentiel pour réduire les émissions de CO_2, depuis la gestion du trafic jusqu'au développement de nouveaux véhicules plus efficients. « Là aussi, il faut considérer l'ensemble du système et non pas rester au niveau individuel », souligne Christian Bach, directeur du groupe Automotive Powertrain Technologies à l'Empa. Car l'essor des véhicules électriques pourrait potentiellement surcharger le réseau d'électricité, et le développement de camions fonctionnant avec des piles à combustible doit s'accompagner de mesures en vue de produire leur carburant – l'hydrogène – à partir d'électricité renouvelable, lorsque le réseau en produit davantage qu'il n'en consomme.

« La mobilité de demain devra mieux tenir compte des distances effectuées », poursuit le chercheur. En ville et pour des distances de moins de 50 km, des véhicules électriques avec de petites batteries légères peuvent être rechargés au meilleur moment, lorsque le réseau fournit suffisamment d'électricité, et évitent ainsi la pollution dues aux particules fines là où la population est la plus dense. Les véhicules électriques sont en revanche mal adaptés aux longues distances, qui nécessiteraient de lourdes batteries ainsi que des systèmes de recharge rapide à haute puissance susceptibles de surcharger le réseau électrique. Les piles à

über die Qualität der Dämmung Auskunft gibt. Das System schätzt dann den Verbrauch jedes einzelnen Haushalts, wodurch es möglich ist, die grössten Verbraucher und ihre geografische Verteilung zu ermitteln.

Die beste Kombination ermitteln

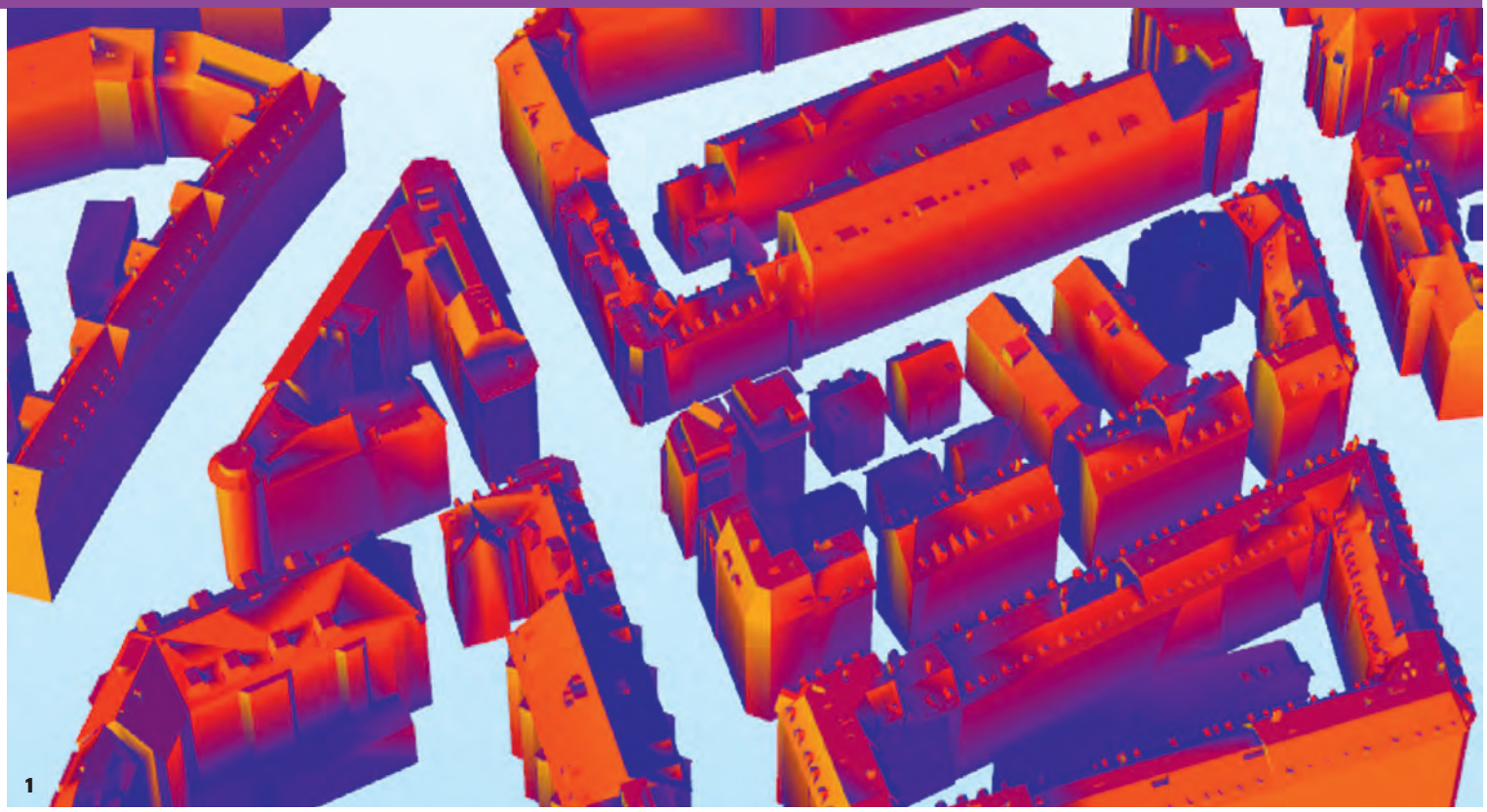
Eine zweite Komponente schätzt, welche Veränderungen für jedes Gebäude zu welchen Kosten und mit welchen Auswirkungen möglich sind. Die Produktivität einer Solaranlage wird zum Beispiel durch die jährliche Sonneneinstrahlung, ihre Ausrichtung und den Schattenwurf der umliegenden Gebäude beeinflusst. Die Produktivität einer Wärmepumpe hängt vom Wärmepotenzial des Untergrunds und den örtlichen Vorschriften für Bohrungen ab. Für jede Technologie berechnet das Modell die Installations- und Betriebskosten. Sobald diese Informationen gesammelt sind, können die Städte verschiedene Szenarien testen, z. B. die Entwicklung der Solarenergie in einem gut exponierten Viertel oder der Fernwärme für ein Industriegebiet. Das Team von Kristina Orehounig simulierte Energiesysteme für Basel, Brig, Rheinfelden (BL) und Zernez (GR) sowie für den Zürcher Stadtteil Altstetten. Fazit: Jede Lösung ist anders und hängt vom Standort ab. Sympheny, ein 2020 von Empa-Mitarbeitenden gegründetes Start-up-Unternehmen, wird einen Teil dieser Planungsinstrumente für lokale Energiesysteme kommerzialisieren.

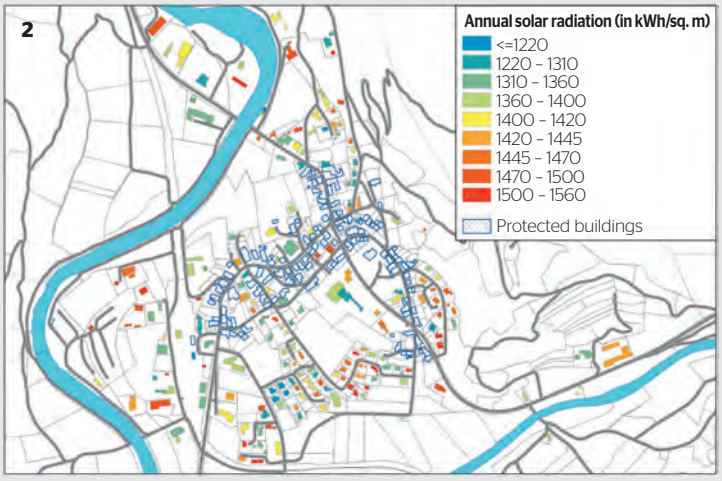
In einem letzten Schritt wird die zeitliche Entwicklung von Energieangebot und -nachfrage betrachtet, um die Frage der Energiespeicherung zu berücksichtigen – von der einfachen Speicherung von Warmwasser bis zur Wiedereinbringung von Wärme in den Untergrund oder der Produktion von Wasserstoff für Brennstoffzellen. Die Forscherin möchte auch bald die Auswirkungen von Elektrofahrzeugen auf den Energieverbrauch der Haushalte und die Rolle, die ihre Batterien bei der Speicherung von Strom aus dem Netz spielen könnten, einbeziehen, da Solar- und Windkraft zu einem Ungleichgewicht zwischen Produktion und Nachfrage führen werden.

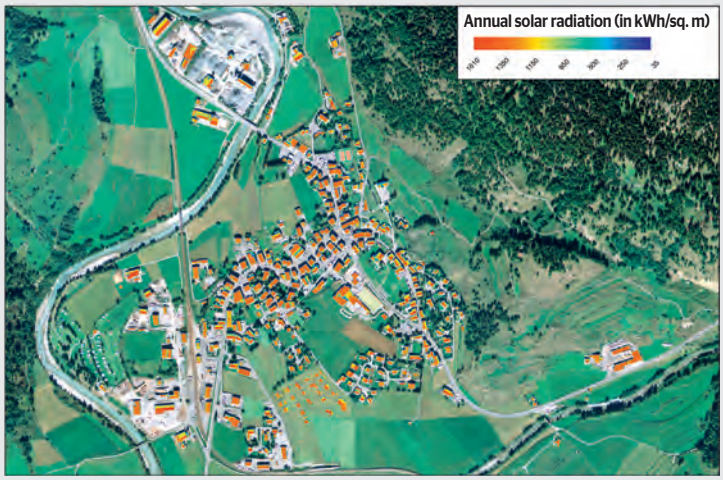
Elektrofahrzeuge, aber nicht nur

Neben der Heizung wird der Verkehr eine Schlüsselrolle bei der Reduzierung der CO_2-Emissionen spielen, vom Verkehrsmanagement bis zur Entwicklung neuer, effizienterer Fahrzeuge. «Auch hier müssen wir das System als Ganzes betrachten und nicht nur die einzelne Ebene», betont Christian Bach, Leiter der Gruppe Automotive Powertrain Technologies an der Empa. Der Aufschwung bei den Elektrofahrzeugen hat das Potenzial, das Stromnetz zu überlasten, und die Entwicklung von Lastkraftwagen mit Brennstoffzellenantrieb muss von Massnahmen begleitet werden, um ihren Kraftstoff – Wasserstoff – aus erneuerbarem Strom zu erzeugen, wenn das Netz mehr produziert als es verbraucht.

«Die Mobilität von morgen muss die zurückgelegten Strecken besser berücksichtigen», so der Forscher weiter. In Städten und bei Entfernungen von weniger als 50 km können Elektrofahrzeuge mit kleinen, leichten Batterien







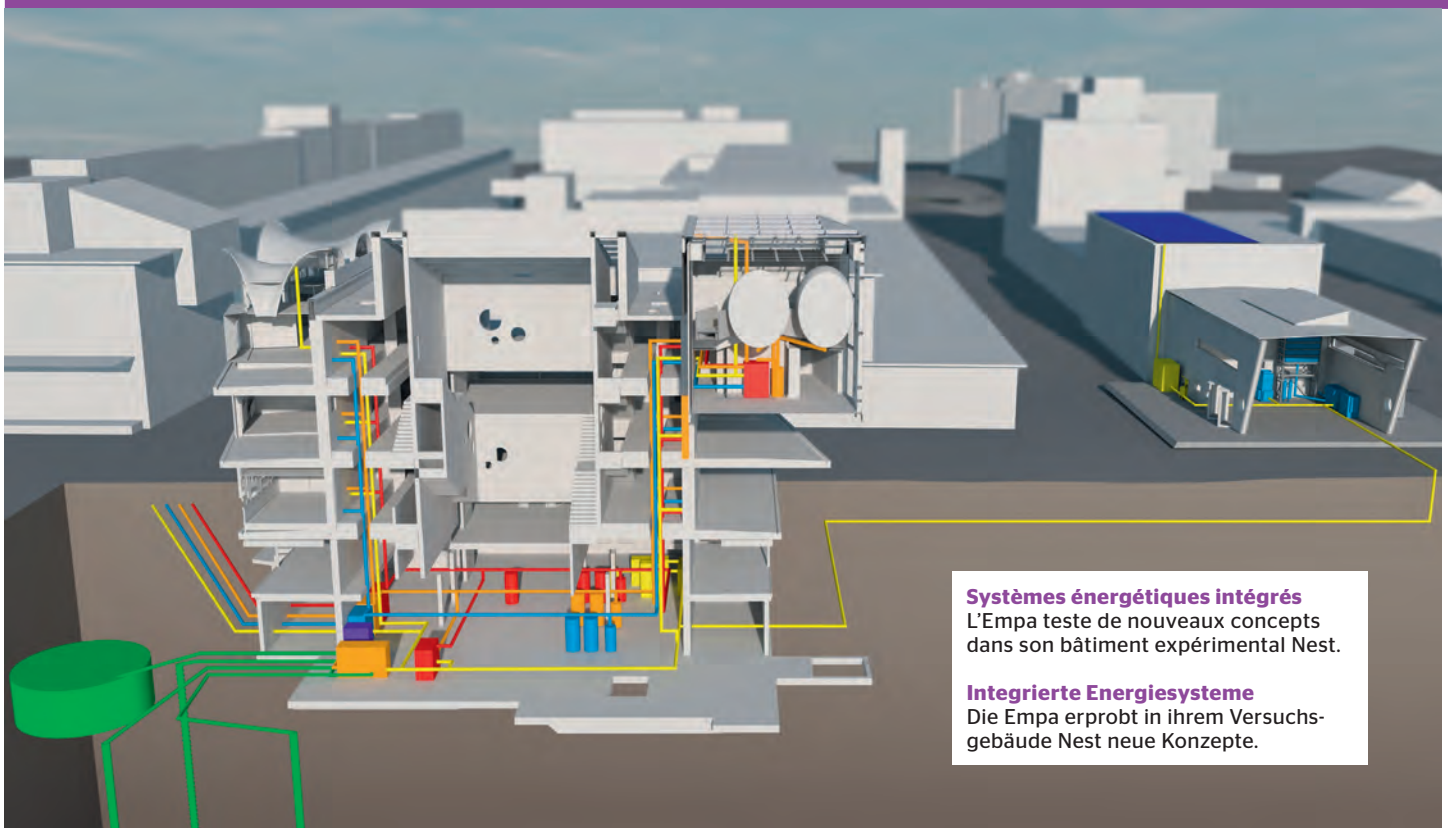
1 En se basant sur des cartes, l'équipe de Kristina Orehounig à l'Empa prédit le potentiel solaire de chaque bâtiment de Suisse.

Anhand von Karten prognostiziert Kristina Orehounigs Team an der Empa das Solarpotenzial jedes Gebäudes in der Schweiz.

2 Ces cartes de Zernez (GR) indiquent la quantité de radiation solaire disponible, maison par maison, en incluant l'ombre portée par les bâtiments voisins.

Diese Karten von Zernez (GR) zeigen die verfügbare Sonneneinstrahlung, Haus für Haus, einschliesslich des Schattenwurfs der benachbarten Gebäude.

Figures | Bilder: Empa / Solar Energy (Elsevier)



Systèmes énergétiques intégrés
L'Empa teste de nouveaux concepts dans son bâtiment expérimental Nest.

Integrierte Energiesysteme
Die Empa erprobt in ihrem Versuchsgebäude Nest neue Konzepte.

combustible ou des moteurs à gaz seraient plus adéquats, notamment pour les camions, qui roulent de manière intensive sur de très longues distances. En hiver, la Suisse ne pourra pas produire suffisamment d'électricité renouvelable, selon Christian Bach. Il faudra alors importer de l'énergie solaire et éolienne, ainsi que des carburants synthétiques qui pourraient être produits dans des régions désertiques.

L'Empa va prochainement ouvrir une station pilote de production d'un tel carburant. Elle produira de l'hydrogène par électrolyse de l'eau, en utilisant de l'électricité générée par des panneaux solaires. Le gaz obtenu peut être utilisé dans des véhicules fonctionnant avec des piles à combustible, ou être combiné avec du CO_2 pour obtenir du méthane synthétique ; dans ce cas, le gaz carbonique nécessaire sera extrait de l'atmosphère sur place par un dispositif de la start-up zurichoise Climeworks.

À l'instar des ménages, il s'agira de mieux comprendre les habitudes des usagers. « Nous connaissons le type d'automobiles achetées en Suisse, mais ne savons pas exactement quel est le type des trajets parcourus », précise Christian Bach. « Des enquêtes de l'Office fédéral de la statistique indiquent que 70 % de ces derniers sont inférieurs à 50 km. Mais on ne sait pas bien où et quand ils sont effectués. Les signaux GPS des smartphones peuvent donner des indications, mais comme de nombreux ménages ont deux véhicules, il n'est pas évident de savoir lequel a été utilisé. » Son équipe travaille déjà avec des services de flottes tels que ceux de la coopérative Migros, qui connaissent parfaitement les trajets parcourus par chaque véhicule. Pour inclure les propriétaires de voiture privés, elle collabore avec des entreprises qui commercialisent des capteurs embarqués.

im besten Zeitpunkt aufgeladen werden, wenn das Stromnetz über genügend Strom verfügt, und so die Verschmutzung durch Feinstaub dort vermeiden, wo die Bevölkerung am dichtesten ist. Elektrofahrzeuge hingegen sind für lange Strecken schlecht geeignet und erfordern schwere Batterien und Hochleistungs-Schnellladesysteme, die das Stromnetz überlasten könnten. Brennstoffzellen oder Gasmotoren wären besser geeignet, insbesondere für Lastwagen, die oft über sehr lange Strecken fahren. Im Winter wird die Schweiz laut Christian Bach nicht genügend erneuerbaren Strom produzieren können. Solar- und Windenergie müssen dann importiert werden, ebenso wie synthetische Kraftstoffe, die in Wüstenregionen hergestellt werden könnten.

Die Empa wird demnächst eine Pilotanlage zur Herstellung eines solchen Brennstoffs eröffnen. Sie wird Wasserstoff durch Elektrolyse von Wasser mit PV-Strom erzeugen. Das entstehende Gas kann in Fahrzeugen, die mit Brennstoffzellen betrieben werden oder in Verbindung mit CO_2 zur Herstellung von synthetischem Methan verwendet werden – in diesem Fall wird das notwendige Kohlendioxid vor Ort mit einem Gerät des Zürcher Start-up-Unternehmens Climeworks aus der Atmosphäre gewonnen.

Wie bei den Haushalten wird es auch hier darum gehen, die Gewohnheiten der Nutzer besser zu verstehen. «Wir wissen, welche Art von Autos in der Schweiz gekauft werden, aber wir wissen nicht genau, welche Art von Fahrten gemacht werden», sagt Christian Bach. «Erhebungen des Bundesamtes für Statistik zeigen, dass 70 Prozent davon weniger als 50 km betragen. Aber es ist nicht klar, wo und wann sie gemacht werden. Die GPS-Signale von Smart-

Figure | Bild: Empa

L'objectif final sera d'assigner à chaque maison un certain type de véhicule et d'usage, un projet qui rejoint celui de Kristina Orehounig.

Le flat rate de la route

« L'intérêt de la smart city, c'est de relier par les données des domaines qui opèrent encore de manière entièrement disjointe, comme le logement et la mobilité », confirme Matthias Finger de l'EPFL. « D'ailleurs, on n'intègre pas encore les usages du vélo, de la voiture et des transports publics, ce qui créé des inefficiences telles qu'embouteillages et mauvaises connexions. » La ville d'Helsinki est l'une des premières à avoir mis en place un système de « Mobility as a Service », une forme d'abonnement flat rate qui inclut tous les moyens de transport. Dans le but de se passer d'automobile privée, inutilisée 23 heures par jour.

Mais ces initiatives de villes intelligentes peinent encore à se réaliser. Pour trois raisons, selon Matthias Finger: « Le secteur public n'a pas de motivation à remettre en question son modèle de gestion, contrairement aux entreprises, qui se trouvent en concurrence. Ensuite, les cadres légaux freinent souvent l'innovation. Troisièmement, le personnel de talent se trouve davantage dans les entreprises. » Les villes doivent pratiquement toujours faire appel à ces dernières dans des partenariats public-privé.

Accepter les risques

La smart city soulève des questions délicates autour de la gestion des données, qui finissent inéluctablement dans les mains d'entreprises. « Nous n'avons pas le choix, nous allons leur fournir nos données privées », tranche Matthias Finger. « Mais il faut dans ce cas les vendre, et non pas les mettre à disposition de tous, comme le veut le mouvement de l'open data. Car cette gratuité profite avant tout aux entreprises. » Sur la question de la sécurité, l'expert se montre réaliste, voire désabusé: « C'est une illusion de croire qu'on peut contrôler ce risque, alors même qu'on n'arrive pas à imaginer ce qui pourrait nous arriver. On se fait hacker, et cela va continuer. Il faut l'accepter. »

Liens | Links

→ Innovative Governance of Large Urban Systems, formation internationale coordonnée par l'EPFL : iglus.org
→ Swiss Competence Center for Energy Research on Future Energy Efficient Buildings & Districts : sccer-feebd.ch
→ Move, Future Mobility Demonstrator, à l'Empa : empa.ch/move

Auteur | Autor
Daniel Saraga est journaliste scientifique.
Daniel Saraga ist Wissenschaftsjournalist.
→ Saraga Communications, 4059 Basel
→ danielsaraga@saraga.ch

phones könnten Hinweise geben, aber da viele Haushalte zwei Fahrzeuge haben, ist nicht klar, welches davon benutzt wurde.» Sein Team arbeitet bereits mit Diensten für Firmenflotten wie denen des Migros-Genossenschaftsbundes zusammen, die die Fahrten der einzelnen Fahrzeuge kennen. Um auch private Autobesitzer einzubeziehen, arbeitet das Team mit Unternehmen zusammen, die Bordsensoren vermarkten. Das Endziel wird darin bestehen, jedem Haus einen bestimmten Fahrzeugtyp und eine bestimmte Nutzung zuzuweisen, ein Projekt, das zum Projekt von Kristina Orehounig passt.

Die Flatrate der Strasse

«Der Vorteil der Smart City besteht darin, dass sie Bereiche, die noch völlig separat funktionieren, wie Wohnen und Mobilität, mit Hilfe von Daten miteinander verbindet», bestätigt Matthias Finger von der EPFL. «Ausserdem ist die Nutzung von Fahrrädern, Autos und öffentlichen Verkehrsmitteln noch nicht integriert, was zu Ineffizienzen wie Staus und schlechten Verbindungen führt.» Die Stadt Helsinki war eine der ersten, die ein «Mobility as a Service»-System eingeführt hat, eine Form von Pauschalabonnements, die alle Verkehrsmittel umfasst. Ziel ist es, auf einen Privatwagen zu verzichten, der 23 Stunden täglich ungenutzt bleibt.

Aber diese Initiativen für intelligente Städte kämpfen immer noch um ihre Verwirklichung. Aus drei Gründen, so Matthias Finger: «Die öffentliche Hand hat keinen Anreiz, ihr Geschäftsmodell in Frage zu stellen, anders als Unternehmen, die sich im Wettbewerb befinden. Zweitens hemmen die rechtlichen Rahmenbedingungen oft Innovationen. Drittens sind talentierte Menschen eher in Unternehmen zu finden.» Die Städte müssen fast immer in öffentlich-privaten Partnerschaften auf sie zurückgreifen.

Die Risiken akzeptieren

Die intelligente Stadt wirft sensible Fragen rund um die genutzten Daten auf, die unweigerlich in die Hände von Unternehmen gelangen. «Wir haben keine andere Wahl, als ihnen unsere privaten Daten zur Verfügung zu stellen», sagt Matthias Finger. «Aber in diesem Fall müssen wir sie verkaufen statt sie jedem zugänglich zu machen, wie es die Open-Data-Bewegung will. Denn dieser kostenlose Service kommt vor allem den Unternehmen zugute.» In der Frage der Sicherheit ist der Experte realistisch, ja sogar desillusioniert: «Es ist eine Illusion zu glauben, dass wir dieses Risiko beherrschen können, obwohl wir uns nicht vorstellen können, was uns passieren könnte. Wir werden gehackt, und das wird auch so bleiben. Das müssen wir akzeptieren.»