

Forschen statt feiern

Alles war bereit für die Feier des 140-jährigen Bestehens der Empa am 9. Mai 2020 mit illustren Gästen, Vorträgen und Tag der Offenen Tür. Dann liess das neue Coronavirus nicht nur diesen Anlass platzen, sondern jagte praktisch die ganze Belegschaft für zwei Monate ins Home Office. Trotzdem gelang es der Empa, die Forschung aufrecht zu erhalten und sogar mehrere Projekte auf den neuartigen Erreger auszurichten. Gleichzeitig wurde die bestehende Forschung fortgesetzt, wie ein Besuch vor Ort im September bestätigte.

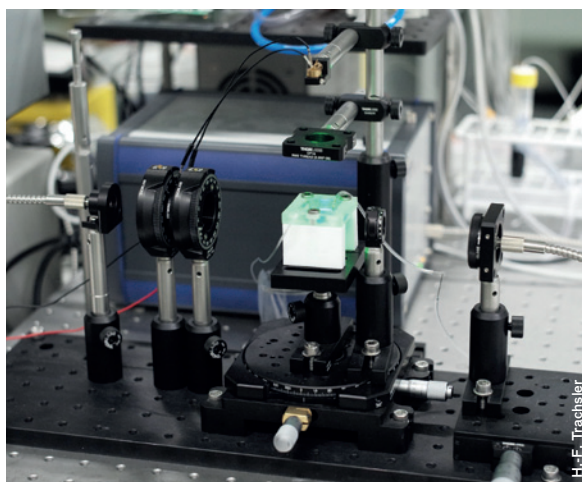
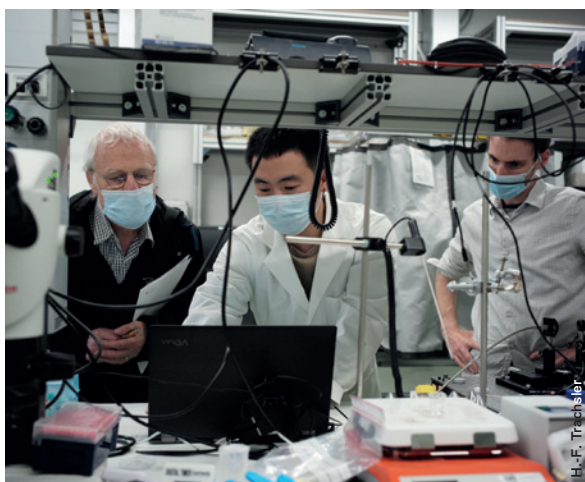
Ein Sensor für Coronaviren im Hauptbahnhof?

Mitten im Lockdown, gegen Ende April, meldete das Schweizer Fernsehen: «Einem Team von Forschern der Empa, der ETH Zürich und des Universitätsspitals Zürich ist es gelungen, einen neuartigen Sensor zum Nachweis des neuen Coronavirus zu entwickeln. Er könnte künftig eingesetzt werden, um die Virenkonzentration in der Umwelt zu bestimmen – beispielsweise an Orten, an denen sich viele Menschen aufhalten oder in Lüftungssystemen von Spitälern.» Die Neugier des Autors war geweckt und liess die Idee reifen, über die Empa zu berichten.

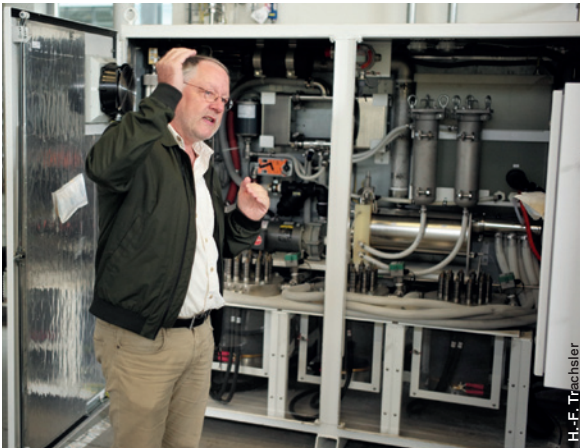
Der Leiter des Sensor-Projekts, Jing Wang, ist Professor für Luftqualität und Partikeltechnologie an der ETH Zürich und forscht an der Empa, welche ebenfalls zum ETH-Bereich gehört. Er ermöglicht uns den Besuch seines Labors am Institut für Umweltingenieurwissenschaften auf dem Hönggerberg. Dort erklären Guangyu Qiu und Jean Schmitt den Apparat auf dem Labortisch.

Dessen Herz ist ein fingernagelgrosses durchsichtiges Sensorplättchen, das mit winzigen Strukturen aus Gold beschichtet ist. Die Schicht ist nur fünf Millionstel eines Millimeters dick und hat spezielle optische Eigenschaften, dank der sich die Bindung von Molekülen an die Gold-Nanoinseln optisch nachweisen und quantifizieren lässt. Wang verwendet die Technik schon lange, um diverse Luftschadstoffe aufzuspüren. Bereits vor Ausbruch der Covid-19-Pandemie forschte er mit seinem Team an Sensoren für Bakterien und Viren in der Luft.

Die Krankheit Covid-19 (*Coronavirus disease 2019*) wird vom Virus Sars-CoV-2 (*Severe acute respiratory syndrome coronavirus-2*) verursacht (s. auch VJS 2/2020). Das Genom von Sars-CoV-2 ist ein RNA-Einzelstrang mit rund 30 000 Basen in einer spezifischen Sequenz. Im Vergleich dazu enthält das menschliche Genom etwa hunderttausendmal mehr Basen und besteht aus DNA-Doppelsträngen, also komplementären Sequenzen, die sich nach den Regeln der Basenpaarung zusammenfügen.



Links: Guangyu Qiu (M.) und Jean Schmitt (r.) erklären dem Autor die Funktionsweise des neuen Sensors. Rechts: Nur bei der richtigen Temperatur lässt sich RNA und DNA analysieren. Der grüne Laserstrahl trifft von oben auf das Sensorplättchen und heizt es lokal auf die sogenannte Schmelztemperatur der Doppelstränge.



Links: Christian Bach erklärt den Elektrolyseur zur Produktion von Wasserstoff aus Strom. Die Elektrolyse geschieht in den drei kleinen Kästen im unteren Teil des Schrankes. Der Input ist Gleichstrom und hochreines Wasser, der Output ist Wasserstoff und Sauerstoff. Rechts: Energie aus den Empa-eigenen Solarzellen kann auch im Elektroanhänger gespeichert und bei Bedarf transportiert werden. Der «ehub» enthält drei Flüssigsalzbatterien vom Typ NaNiCl_2 , die zusammen 66 Kilowatt Leistung abgeben können.

Derzeit werden täglich allein in der Schweiz zehntausende Rachenabstriche auf Sars-CoV-2 getestet. Der sogenannte RT-PCR-Test ist sehr zuverlässig, aber zeitraubend und teuer. Bestimmte Abschnitte der RNA-Einzelstränge werden in DNA-Doppelstränge umgeschrieben und schrittweise vermehrt. In jedem Schritt trennen sich die DNA-Doppelstränge durch Erhöhung der Temperatur, werden kopiert und fügen sich nach Senkung der Temperatur unter eine kritische Schwelle (Schmelztemperatur) neu zusammen.

Der Apparat von Qiu und Schmitt ermöglicht einen anderen Nachweis. Zuerst werden die Gold-Nanoinseln mit komplementären DNA-Einzelsträngen beschichtet. Dann wird die zu testende Flüssigkeit durch einen feinen Kanal über den Sensor geleitet. Enthält sie die gesuchten Gensequenzen, so binden sich diese zu Doppelsträngen und können in Echtzeit nachgewiesen werden. Ein kritischer Faktor ist die Temperatur: Oberhalb der Schmelztemperatur bindet nichts, zuviel unterhalb binden Sequenzen, die nicht hundertprozentig komplementär sind und zu falsch positiven Resultaten führen. Deshalb hat der Apparat nicht nur eine Lichtquelle von der Seite her für die Erzeugung des Messsignals, sondern auch einen senkrecht auftreffenden, grün leuchtenden Laserstrahl, der an den Gold-Nanoinseln die passende lokale Temperatur erzeugt.

Der technische Teil funktioniert inzwischen sehr gut (Qiu, 2020). Bis der Sensor so wie im Fernsehen suggeriert im Zürcher Hauptbahnhof installiert werden kann, bleibt aber noch viel praktische Arbeit. Die bisher verwendeten Modellsequenzen

harmloser Coronaviren sind durch die richtigen Sequenzen zu ersetzen. Es braucht ein System, das Aerosole ansaugt und die RNA aus den Viren isoliert. Der Apparat muss vom Labortisch in ein Gehäuse verlegt und automatisiert werden. Bis all dies funktioniert, ist die Covid-19-Pandemie hoffentlich besiegt. Die Arbeit wäre aber nicht vergebens, da zum Nachweis eines anderen Erregers einfach die Gensequenz gewechselt werden könnte.

Klimaschutz und Mobilität

Neben den Projekten zur Corona-Pandemie setzen die Forschenden an der Empa ihre Arbeiten in anderen Bereichen weiter fort, so zum Beispiel in den Bereichen Klimaschutz und Mobilität. Der Strassenverkehr ist in der Schweiz für rund ein Drittel des CO_2 -Ausstosses verantwortlich. Erneuerbare Energie soll helfen, «netto null CO_2 » zu erreichen; sie fällt aber sehr unregelmässig an – sonnige Sommertage bringen Überschüsse, im Winter klaffen Versorgungslücken. Seit 2015 betreibt die Empa den Mobilitätsdemonstrator «move». Dort wird erforscht, wie überschüssige Energie mit möglichst kleinen Verlusten gespeichert und später wieder verwendet werden kann, und zwar unter alltagstauglichen Bedingungen.

Christian Bach, Leiter des Bereichs Fahrzeugantriebssysteme, zeigt uns den Elektrolyseur, eine 180-kW-Anlage zur Produktion von bis zu 2,7 kg Wasserstoff (H_2) pro Stunde. Sie wird mit Strom aus Photovoltaikzellen auf dem Dach und an der Fassade des angrenzenden Gebäudes und mit überschüssigem Strom aus dem Wasserkraftwerk Egglisau betrieben.



Lukas Emmenegger, Leiter Luftfremdstoffe und Umwelttechnik, demonstriert die auf dem Dach der Messstation angebrachten Ansaugleitungen zur Messung der Luftqualität. Die beiden pilzförmigen Probenahmen scheiden Feinstaubpartikel verschiedener Grösse ab und führen den Rest der Luftprobe den direkt darunterliegenden Analysegeräten zu. Andere Röhren dienen der Analyse gasförmiger Luftfremdstoffe.

Der bei der Elektrolyse von Wasser ebenfalls entstehende Sauerstoff wird an die Atmosphäre abgegeben. Der Wasserstoff wird mit Kompressoren auf 440 bar oder 900 bar verdichtet und in langen Kohlefaser-Druckbehältern gespeichert. Von dort gehen Leitungen zu einer neben der Halle installierten H₂-Zapfsäule und zu einer Zapfsäule mit H₂-Methan-Gemisch.

Verglichen mit anderen Energielieferanten ist die Anlage unbedeutend, sie könnte etwa 3 bis 4 Fahrzeuge ständig im Verkehr halten. Bedeutend ist sie deshalb, weil sie praktische Erkenntnisse für viel grössere und wirtschaftliche Anlagen liefert. So untersuchen die Forschenden an der Empa, wie sich die Energieverluste in jedem Schritt minimieren lassen: die Abwärme im Elektrolyseur, die Verdichtung des Wasserstoffs, die Kühlung auf minus 40 Grad vor dem Tanken (weil der Tank sonst zu warm würde wie ein Veloschlauch beim Pumpen).

Bach zeigt auf den freien Raum unter dem Hallendach. Dort soll in Zusammenarbeit mit dem ETH-Spin-off Climeworks demnächst die Air-Capture-Technologie eingesetzt werden, wobei CO₂ direkt aus der Umgebungsluft gefiltert wird. Das gewonnene CO₂ wird mit H₂ katalytisch in CH₄ (Methan) umgewandelt. Wird CH₄ als Treibstoff verwendet, so entsteht zwar wieder CO₂, dieses wurde aber vorher der Luft entnommen. Die Vision ist

eine Solaranlage in der Wüste, wo CO₂ und Wasserdampf aus der Luft gefiltert und zu Methan oder anderen nützlichen Chemikalien verarbeitet werden.

Luftqualität in der Schweiz

Am 23. September 2020 eröffneten die Empa und das Bundesamt für Umwelt die neue NABEL-Messstation in Dübendorf. Sie ist Teil des Nationalen Beobachtungsnetzes für Luftfremdstoffe (NABEL) mit sechzehn über die ganze Schweiz verteilten Stationen, die verschiedene Standorttypen repräsentieren. Die Station Dübendorf steht für den Typ Vorstadt und wird wegen der Nähe zur Empa auch intensiv für Forschung und Entwicklung genutzt.

Schon seit 1980 ist auf dem Empa-Gelände eine NABEL-Messstation in Betrieb. Da die Empa dort ein grösseres Bauvorhaben plant, fand sie auf dem benachbarten Areal der Eawag einen gleichwertigen Standort und baute dort die neue, topmoderne Messstation. Die alte Station wird noch ein Jahr parallel betrieben, damit die Messreihen nahtlos ineinander übergeführt werden können.

Mit der neuen Anlage werden Schadstoffe wie Schwefeldioxid, Stickstoffoxide, Ozon und Ammoniak, Treibhausgase wie CO₂ und Methan, Feinstaubpartikel verschiedener Grössenklassen (PM₁₀ und PM_{2,5}) und flüchtige organische Verbindungen kontinuierlich gemessen. Auch spezifische Substanzen können erfasst werden, etwa chlorierte Kühlmittel, die schon lange verboten sind, in gewissen Ländern aber noch immer verwendet werden. Diese Substanzen kommen von weit her und werden in der NABEL-Station Jungfrauojoch nachgewiesen.

Die Konzentrationen der nachgewiesenen Stoffe unterliegen jahreszeitlichen und täglichen Schwankungen. Die Messreihen zeichnen den langfristigen Verlauf nach, sie erlauben aber auch Modellrechnungen und Prognosen. Im Lockdown von März bis Juni 2020 war die Stickstoffoxid-Konzentration an strassen-nahen Messstationen signifikant geringer als vorausgesagt. Die Covid-19-Pandemie war somit – als unfreiwilliges Experiment – im NABEL deutlich sichtbar.

Martin Schwyzer

Eine ausführlichere Fassung des Artikels erschien Anfang Dezember im Heimatbuch Dübendorf 2020.

Literatur

Giu G. et al. 2020. Dual-Functional Plasmonic Photothermal Biosensors for Highly Accurate Severe Acute Respiratory Syndrome Coronavirus 2 Detection. *ACS Nano*, 14, 5, 5268–5277. <https://doi.org/10.1021/acsnano.0c02439>