

Full Article (PDF, EN): [www.tum.de/faszination-forschung-28](http://www.tum.de/faszination-forschung-28)

## Electrifying an Island Nation

E

Singapore hopes to pivot entirely to electromobility in future, despite the fact that space to expand renewable energy systems or build new transformers is limited in the tiny city state. The only way to increase the use of green energy is through large-scale infrastructural reorganization. Specialists at TUMCREATE, a collaborative project connecting TUM and Nanyang Technological University in Singapore, have been putting down the foundations. Led by Tobias Massier, researchers have been developing MESMO, a simulation program that makes it possible to mimic exactly how the power grid will behave if high numbers of electric cars and buses need to be charged. Another team has also developed a program called CityMoS, which can perform detailed simulations of road traffic. It allows researchers to simulate every vehicle and traffic light system in Singapore in real time. A current project, ITEM, is focused on linking MESMO and CityMoS. This will facilitate high-resolution analyses of how the power grid behaves in concert with electric vehicles. □

Ein Forschungsteam von TUMCREATE entwickelte die Software CityMos für agentenbasierte mikroskopische Simulation des Straßenverkehrs in großem Maßstab.



# Ein Inselstaat auf Strom

Singapur will mit einem Kraftakt in die Elektromobilität einsteigen. Wie die Infrastruktur für den wachsenden Strombedarf ausgebaut werden muss, haben Fachleute von TUMCREATE, einem Gemeinschaftsprojekt der TUM und der Nanyang Technological University in Singapur, berechnet. Die von ihnen entwickelten Simulationsprogramme zeigen, wie Elektroautos, -busse und -taxen künftig mit dem Stromnetz zusammenwirken.

Link

[www.tum-create.edu.sg/research/energy-and-power-systems-group](http://www.tum-create.edu.sg/research/energy-and-power-systems-group)

[www.tum-create.edu.sg/research/computational-modelling-research-department](http://www.tum-create.edu.sg/research/computational-modelling-research-department)

**Singapur ist weltbekannt. Der Staat in Südostasien ist einer der größten Handelsplätze überhaupt, besitzt den zweitgrößten Containerhafen der Welt und ist eines der Top-Reiseziele von Touristen. Für solche Dimensionen ist der Staat erstaunlich klein. Singapur hat nur etwa zwei Drittel der Fläche Hamburgs, aber mehr als fünf Millionen Einwohner. Es ist eng auf den Straßen der großen Insel, die sich über rund 50 Kilometer von West nach Ost erstreckt. Es gibt rund eine Million Autos. Im Berufsverkehr sind rund 6.000 Busse der Stadtwerke unterwegs. Hinzu kommen mehrere Tausend Taxen. Und da fast alle Benzin oder Diesel verbrennen, ist der Ausstoß an Kohlendioxid und Luftschadstoffen hoch. Glücklicherweise gibt es auch eine U-Bahn, die einen Großteil der Einwohner Singapurs transportiert.**

### **50 Prozent Elektrobusse bis 2030**

Die Verwaltung hat daher beschlossen, Fahrzeuge mit Verbrennungsmotoren in den kommenden Jahren durch Elektroautos und -busse zu ersetzen. Bis zum Jahr 2030 soll bereits jeder zweite Bus des öffentlichen Nahverkehrs elektrisch fahren. Für den kleinen Staat an der Südspitze der Malaiischen Halbinsel ist das eine Herausforderung, weil es kaum Platz für den Ausbau der regenerativen Energien oder neue Umspannwerke gibt. Mehr Ökostrom ist nur mit einem groß angelegten Umbau der Infrastruktur zu haben. Ehe der beginnt, will die Stadtverwaltung genau wissen, ob und wie diese Transformation gelingen kann – ohne Stromausfälle oder einen Verlust an Lebensqualität. Die Grundlagen für diesen Umbau haben Fachleute bei TUMCREATE, einem Gemeinschaftsprojekt der TUM und der Nanyang Technological University in Singapur, in den vergangenen Jahren gleich in mehreren Projekten geschaffen. Eine der Forschungsgruppen, die Energy and Power Systems Group, analysiert mithilfe von Simulationen, wie sich der Ausbau des Elektroverkehrs im Detail auf das Stromnetz auswirken wird. „Wir haben uns zunächst alle Verkehrsteilnehmer genau angeschaut“, sagt Gruppenleiter Dr. Tobias Massier. „Unter anderem haben wir Taxen mit GPS-Sendern ausgestattet und alle verfügbaren Daten über Fahrten von Pkw gesammelt, um herauszufinden, wann und wie sich die Fahrzeuge bewegen oder wo sie parken.“



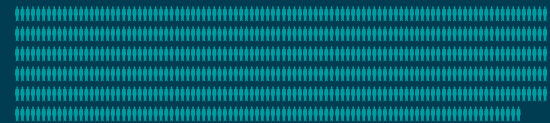


## Hamburg *Singapur*

Einwohner

**1.906.411**

**5.936.160**



Fläche

**755,22 km<sup>2</sup>**

**728,6 km<sup>2</sup>**

III 2.524 Personen/km<sup>2</sup>

IIIIIIII 8.147 Personen/km<sup>2</sup>

Anzahl öffentliche Busse\*\*\*

**2.322**

**7.704**

Anzahl Autos

**804.196**

**579.369**

Einwohner pro Auto

2,4

**10,2**

Anzahl Taxis

**3.213**

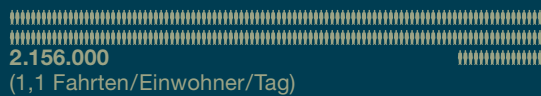
**18.542\*\*\*\***

Taxis pro 1000 Einwohner

**1,68**

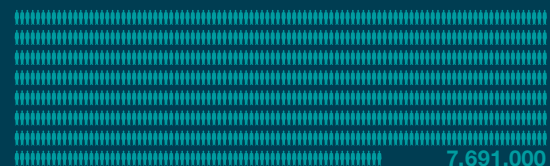
**3,12**

Öffentlicher Verkehr (Bus & Schiene): Fahrgäste pro Tag



**2.156.000**

(1,1 Fahrten/Einwohner/Tag)



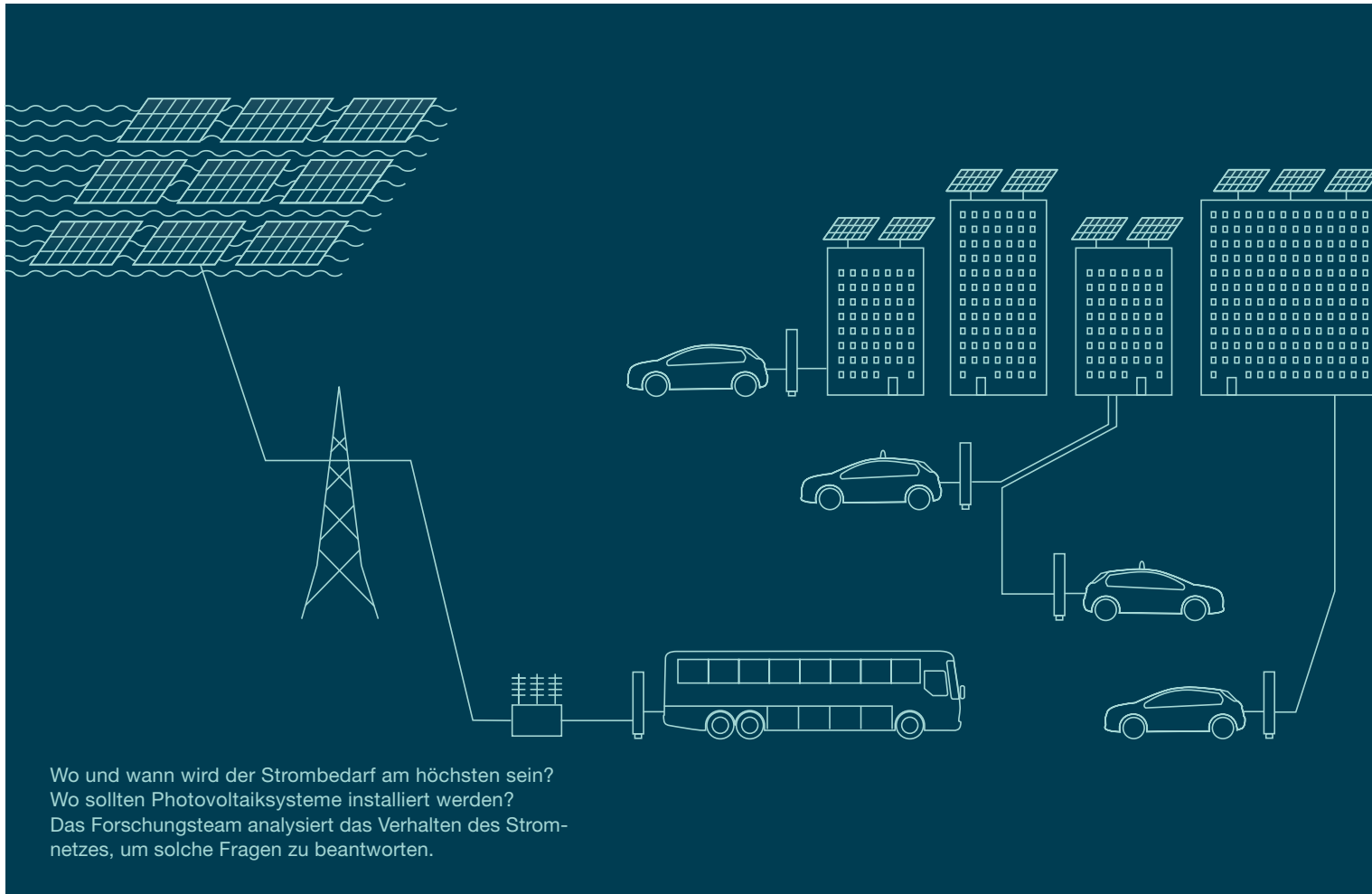
**7.691.000**

(1,3 Fahrten/Einwohner/Tag)

Quellen: Statistisches Amt für Hamburg und Schleswig-Holstein; HVV Zahlenspiegel 2018; Singapore Land Transport Authority; worldometer Mai 2022

\*\*\* inkl. Schulbusse

\*\*\*\* ausgenommen Chauffeurdienste



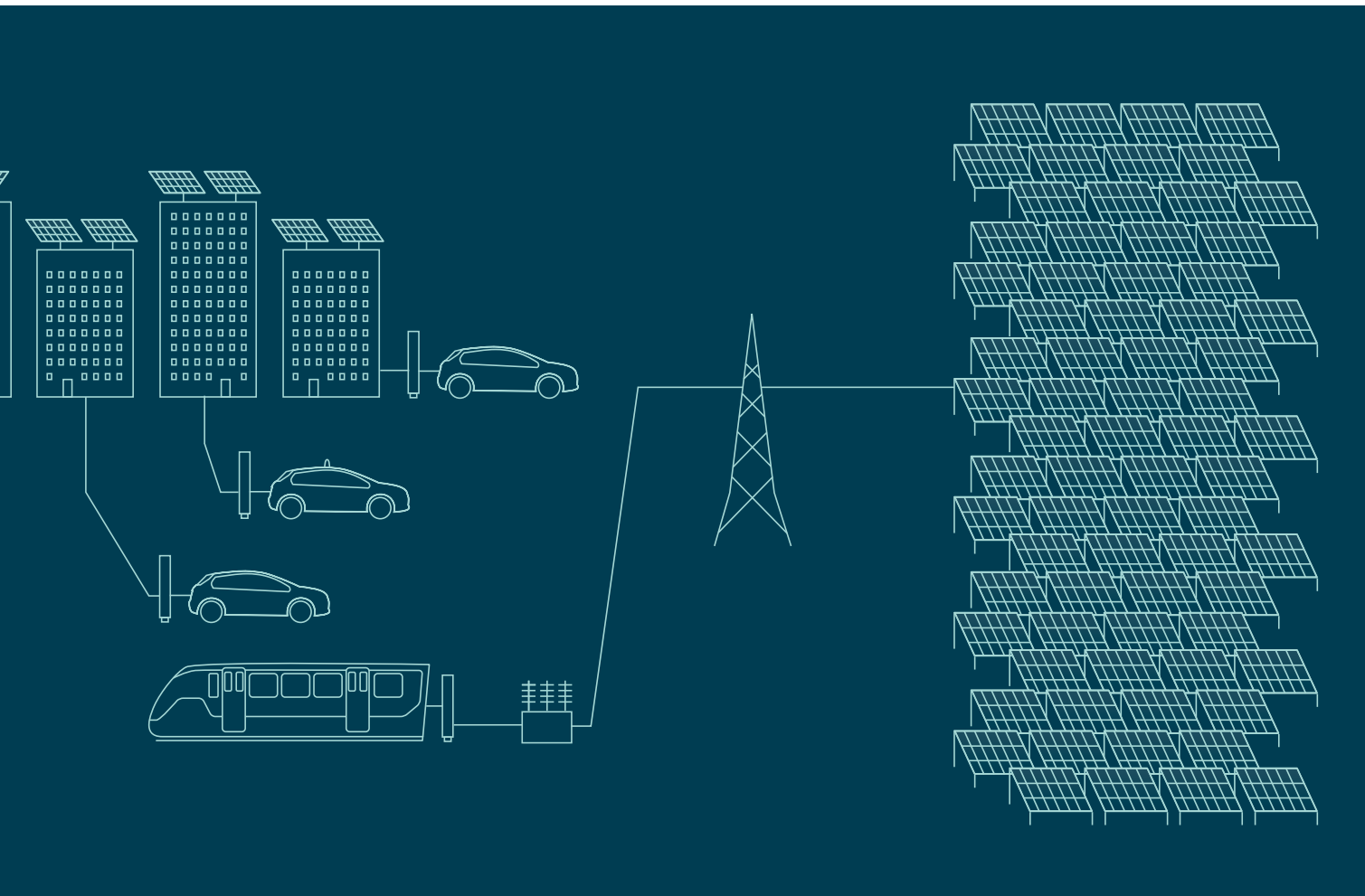
Privat-Pkw fahren demnach im Schnitt nicht mehr als 50 Kilometer am Tag und verbrauchen damit vergleichsweise wenig Strom. Sie ließen sich künftig in Garagen und Parkhäusern an den Bürogebäuden und Wohnblöcken ausreichend laden. Eine Herausforderung sind die Busse, die viele Stunden unterwegs sind und zwischendurch kaum nachgeladen werden können. Für Schnellladestationen an den Haltestellen gibt es in dem eng bebauten Stadtgebiet kaum Platz, vor allem auch, weil wegen der großen Batterien und Ladeströme Sicherheitsabstände eingehalten werden müssten. Künftig wird man Busse daher vor allem an den Endstationen oder in den Busdepots laden müssen.

### Verstehen, wie das Stromnetz reagiert

Massier und sein Team haben in den vergangenen Jahren das Simulations-Programm MESMO entwickelt, mit dem sich exakt durchspielen lässt, wie sich das Stromnetz verhält, wenn Elektroautos und vor allem Elektrobusse

geladen werden. Aufgrund des hohen Ladebedarfs ist zu erwarten, dass in der Nähe von Busdepots neue Umspannwerke nötig sein werden, falls der öffentliche Busverkehr vollständig elektrifiziert werden sollte. Derartige Erkenntnisse sind für die Stadtverwaltung sehr wichtig, um konkret planen zu können. Kollegen von Tobias Massier haben ergänzend das Simulations-Programm CityMoS entwickelt, das den Straßenverkehr im Detail nachspielen kann. Jedes Auto, jeder Bus, jedes Taxi und auch jede Ampelanlage in Singapur lässt sich damit in Echtzeit simulieren, mitsamt des aktuellen Ladezustands und der Reichweite eines jeden Fahrzeugs.

Im aktuellen Projekt SITEM, das von der Stadt Singapur unterstützt und von der Forschungsgesellschaft A\*Star geleitet wird, verknüpfen die Expertinnen und Experten von TUMCREATE jetzt MESMO und CityMoS. Mithilfe von CityMoS kann MESMO künftig fein aufgelöst analysieren, wie sich das Stromnetz im Konzert mit den Fahrzeugen

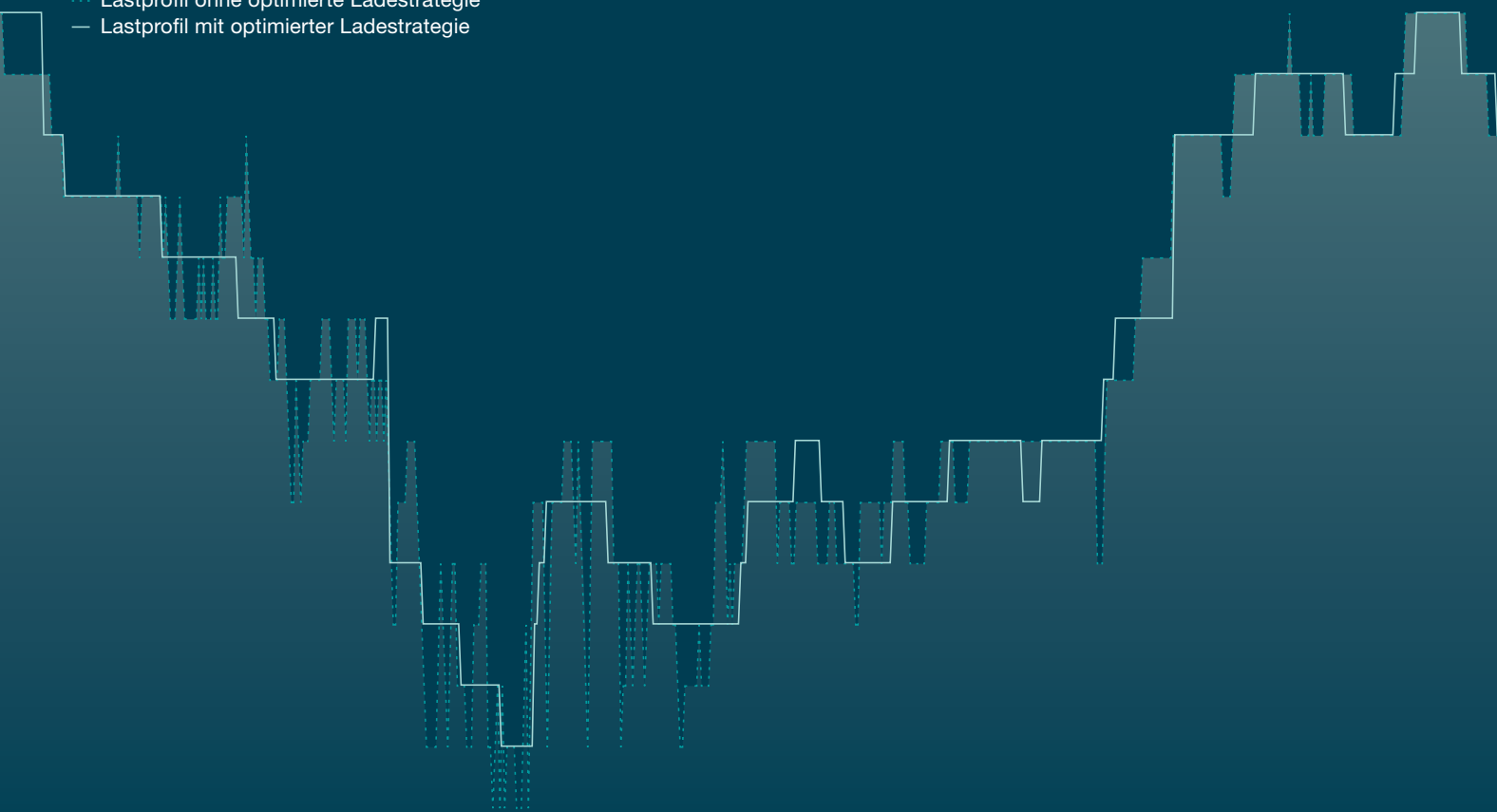


verhält. Wo sollten künftig Photovoltaik-Anlagen auf Fassaden und Dächern installiert werden? Wo und wann ist der Strombedarf am höchsten? Derlei Fragen kann SITEM den Forscherinnen und Forschern und der Stadtverwaltung künftig beantworten. Besonders kritisch für Stromnetze sind die sogenannten Lastspitzen, also Zeiten, zu denen besonders viel Strom benötigt wird – etwa morgens, wenn die Menschen das Licht, die Radios und Heißwasserkocher einschalten. Um diese Spitzen nicht zu verschärfen, sollten Elektroautos künftig zu Zeiten mit geringer Stromnachfrage laden. Hinzu kommen im schwülwarmen Singapur Tausende von Klimaanlageanlagen. Massier und sein Team haben in diesem Zusammenhang untersucht, inwieweit sich der Strombedarf abstimmen lässt. Denkbar wäre es zum Beispiel, die Leistung der Klimaanlageanlagen in Zeiten hohen Ladebedarfs zu reduzieren, ohne dass sich die klimatisierten Räume unangenehm aufheizen. Auch das würde das Stromnetz entlasten. ▶

*„Im Laufe der Jahre wurde die Frage, wie sich die Elektromobilität in das Stromnetz integrieren lässt, immer wichtiger.“*

Tobias Massier

--- Lastprofil ohne optimierte Ladestrategie  
— Lastprofil mit optimierter Ladestrategie



Mit einer passenden Ladestrategie können Elektrofahrzeuge das Stromnetz stabilisieren. Die Kurven zeigen das Lastprofil an einem typischen Tag mit Einspeisung von fluktuierender Energie aus Photovoltaik. Ohne Optimierung bildet die Lastkurve die hohe Variabilität der Solarstromerzeugung ab. Eine optimierte Ladestrategie für Elektrofahrzeuge dagegen glättet das Lastprofil.

### Hoher Strombedarf für die Elektromobilität

Singapur versucht schon länger, die Belastungen durch den Verkehr zu verringern. Im Jahr 2018 etwa wurde die Zahl privat genutzter Autos gedeckelt. Seitdem kann man ein neues Auto nur dann anmelden, wenn ein anderes stillgelegt wird. Doch derlei Maßnahmen konnten die Emissionen nicht wirklich verringern. Hinzu kommt, dass man auch in Singapur den Klimawandel stärker bekämpfen will als bisher. Daher wolle man jetzt mit hohem Tempo in die Elektromobilität einsteigen, sagt Massier. Unter anderem plane die Stadt auch, die Photovoltaik auszubauen. Neben Dachflächen nutzt Singapur dafür schwimmende Plattformen. Die ‚Solar PV Roadmap‘ des Solar Research Institute of Singapore zeigt, dass Singapur selbst bei maximalem Ausbau aber nur etwa zehn Prozent seines Strombedarfs aus Photovoltaik selbst erzeugen könnte. Das Land wird daher – neben anderen Maßnahmen – regenerative Energie aus den Nachbarländern Indonesien und Malaysia einführen müssen. Erste Kabeltrassen sind

in Planung. Für die Kooperationspartner in Singapur, wie zum Beispiel A\*Star, und die Stadtverwaltung sind die Simulationen der Expertinnen und Experten von TUM-CREATE ausgesprochen wichtig, um den künftigen Strombedarf und die Importe abschätzen zu können. Ein neues Projekt, das sich mit der nachhaltigen Energieversorgung Singapurs beschäftigen wird, ist bei TUMCREATE bereits in Planung.

Die TUM ist schon seit dem Jahr 2010 in Singapur aktiv. Damals ging es vor allem darum, Fahrzeugtechnik für Elektroautos zu perfektionieren, die unter der Regie von Prof. Markus Lienkamp für das Elektroauto der TUM, den MUTE, entwickelt worden war. „Im Laufe der Jahre wurde die Frage, wie sich die Elektromobilität in das Stromnetz integrieren lässt, immer wichtiger“, sagt Tobias Massier. „Jetzt ernten wir die Früchte dieser langjährigen Forschung. Singapur hat alles, was es braucht, um in die Elektromobilität einzusteigen.“

■ *Tim Schröder*



**Dr.-Ing. Tobias Massier**

promovierte 2010 an der TUM in Elektro- und Informationstechnik. Sein Forschungsschwerpunkt lag auf der Strukturanalyse von analogen integrierten Schaltungen. Im Jahr 2009 etablierte er als Programmmanager einen neuen Masterstudiengang in Power Engineering (MSPE) an der TUM. Seit 2013 ist er bei TUMCREATE als Principal Scientist und Abteilungsleiter tätig. Seine Forschungsschwerpunkte sind die Netzintegration von Elektrofahrzeugen und erneuerbaren Energien sowie alternative Energieversorgungsoptionen.

*„Singapur hat alles, was es braucht, um in die Elektromobilität einzusteigen.“*

Tobias Massier

#### **TUMCREATE**

##### **– Die Innovationsplattform der TUM in Singapur**

TUMCREATE wurde 2010 gegründet, um Forschungsk Kooperationen zwischen Singapur und der TUM zu fördern, und besteht aus über 100 Wissenschaftlerinnen, Forschern und Ingenieurinnen. Als Teil des von der National Research Foundation (NRF) geförderten Campus for Research Excellence And Technological Enterprise (CREATE) hat die TUM die Möglichkeit, auf Forschungsmittel aus Singapur zurückzugreifen und mit lokalen Institutionen sowie mit weltweit führenden Universitäten, die Teil des CREATE-Campus sind, zusammenzuarbeiten. Die Forscherinnen und Forscher schätzen diese einzigartige Gelegenheit zum akademischen Austausch und zur Entwicklung von Forschungsideen in Asien.

TUMCREATE hat im Rahmen seiner Mobilitätsprogramme in Zusammenarbeit mit akademischen und industriellen Partnern in Singapur verschiedene multidisziplinäre Projekte erfolgreich durchgeführt. Mit dem jüngsten Großprogramm Proteins4-Singapore erweitert TUMCREATE sein Portfolio um ein komplexes, zukunftsweisendes Life-Science-Projekt.