

# Konzept für einen Innovations- und Klimaschutzcampus zur Erforschung innovativer Energieerzeugung und -speicherung

Robert Hankers\*, Marc Meyer und Detlef Schulz

*Elektrische Energiesysteme*

*Helmut-Schmidt-Universität / Universität der Bundeswehr Hamburg*

D-22043 Hamburg, Holstenhofweg 85

\*E-Mail: robert.hankers@hsu-hh.de

**Kurzfassung**—Technischer Klimaschutz erfordert die Zusammenarbeit vielfältiger unterschiedlicher Fachbereiche und Arbeitsgruppen. Mit dem Innovations- und Klimaschutzcampus (IKC) der Helmut-Schmidt-Universität Hamburg entsteht ein zentraler Forschungsstandort für vielfältige Untersuchungen, Forschungsarbeiten und Entwicklungen. Die unmittelbare Nähe der Laborräume der einzelnen Forschungsgruppen zueinander liefert die notwendigen Rahmenbedingungen für zahlreiche interdisziplinäre Projekte in Forschung, Entwicklung und Lehre. Dabei werden die gewonnenen Erkenntnisse direkt vor Ort für die Weiterentwicklung des IKC genutzt. Der IKC soll dabei als Blaupause für zukünftige Anwendungsfälle auf Basis mobiler Containerstrukturen dienen. Durch die Kopplung mit hocheffizienten regenerativen Energieerzeugern und neuartigen Speichertechnologien wird ein hoher Autarkiegrad erreicht und so die Umsetzbarkeit von ambitionierten Laboraufbauten auf minimalem Raum mit maximaler Eigenversorgung demonstriert. Zudem wurden die Forschungsvorhaben der Professuren hinsichtlich ihrer Bedeutung für zentrale gesellschaftliche Aspekte, welche sich aus dem Klimawandel ergeben, untersucht und klassifiziert. Es zeigt sich, dass die Forschungsarbeiten einen beträchtlichen Beitrag zu der Bearbeitung dieser Aspekte leisten können.

**Stichworte**—Energieeffizienz, Energiespeicherung, Interdisziplinarität, mobile Laborgebäude, Autarkie, Klimaschutz

## I. EINLEITUNG

Der fortschreitende Klimawandel sorgt in zunehmendem Maße für die Notwendigkeit von klimafreundlichen technischen Alternativen zu derzeit noch aktuellen Technologien. Dieser sogenannte technische Klimaschutz bezieht sich sowohl auf die zu entwickelnden Technologien als auch auf die Rahmenbedingungen, unter denen diese Entwicklungen erzielt werden. Zur Demonstration von Möglichkeiten der klimafreundlichen Umsetzung von Labor- und Forschungseinrichtungen wird deshalb auf dem Campus der Helmut-Schmidt-Universität/Universität der Bundeswehr Hamburg (HSU) mit dem Innovations- und Klimaschutzcampus (IKC) ein Modell für einen klimafreundlichen Forschungsstandort errichtet, an dem Technologien für den technischen Klimaschutz untersucht werden. Durch die Verwendung von mobilen Containerlösungen wird ein hoher Flexibilitätsgrad erreicht, welcher dank moderner Technologien hinsichtlich der Ausstattung und der Funktionalität herkömmlichen Laborgebäuden in nichts

nachsteht. Durch die räumlich kompakte Ausführung sind zudem unterschiedliche Forschungsbereiche in unmittelbarer Nähe zueinander angesiedelt, so dass die fachgebietsübergreifende Bearbeitung von Forschungsvorhaben ermöglicht bzw. erleichtert wird. Die HSU reiht sich damit ein in die Liste der Hochschulen, die einen eigenen Effizienz- oder Innovationscampus errichtet haben oder Entwicklungen in dieser Richtung anstreben. So wurde beispielsweise an der TU Braunschweig das Projekt EnEff Campus: blueMAP entwickelt, mit dem Ziel, einen energetischen Masterplan für die Universitätsgebäude zu entwickeln [1]. Ein ähnliches Vorhaben verfolgt die HAW Hamburg mit dem CC4E, dem Competence Center für Erneuerbare Energien und Energieeffizienz [2]. Weitere Beispiele existieren an den Universitäten in Lüneburg [3], Darmstadt [4] oder Bonn [5], um nur ein paar zu nennen. Ein wesentlicher Unterschied zu den bisher geplanten bzw. umgesetzten Projekten besteht in der mobilen Ausführung des IKC in Form von mobilen Containergebäuden. Ziel des IKC ist neben der Demonstration energieeffizienter Laborarbeit auch die Bearbeitung zentraler gesellschaftspolitischer Fragestellungen, welche sich aus dem stattfindenden Klimawandel ergeben. Zu diesem Zweck wurden die beteiligten Professuren einerseits bezüglich der jeweils geplanten oder schon umgesetzten Projekte befragt, andererseits wurde eine Stellungnahme hinsichtlich der Beurteilung der Relevanz der Forschungsthemen in Bezug auf bestimmte gesellschaftliche Aspekte erbeten. Im Folgenden werden die beteiligten Professuren und Arbeitsgruppen vorgestellt, sowie eine Auswertung der Angaben zu den Projekten durchgeführt.

## II. BETEILIGTE PROFESSUREN UND DEREN FORSCHUNGSARBEITEN

In der Abbildung 1 sind die Professuren und Einrichtungen dargestellt, die derzeit mit einer oder mehreren Arbeitsgruppen an der Entwicklung des IKC beteiligt oder bereits dort ansässig sind. Weitere Arbeitsgruppen werden zukünftig hinzu kommen.

### A. Numerische Mathematik (NM)

Die Professur für Numerische Mathematik betreibt Parallelrechner bzw. HPC Cluster für technischnaturwissenschaftliche Berechnungen hoher Komplexität wie beispielsweise in der Strömungs- oder Strukturmechanik oder

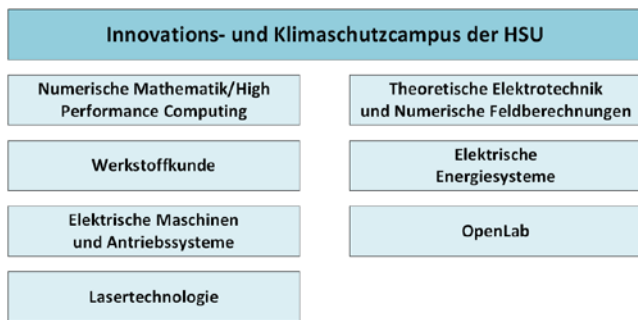


Abbildung 1: Auf dem IKC ansässige oder an der Entstehung beteiligte Professuren und Arbeitsgruppen

in der theoretischen Elektrotechnik. Diese Anlagen können von allen Mitgliedern der HSU genutzt werden.

Hochleistungsrechentechnik wird bereits von diversen Professuren an der HSU zur Entwicklung innovativer numerischer Simulationsverfahren und eines zugehörigen Software-Engineering und der damit möglichen Aufklärung physikalischer Phänomene in den Naturwissenschaften oder in technischen Prozessen benötigt. Der für das Verständnis dieser Prozesse erforderliche Auflösungsgrad in den Simulationen lässt sich mit der Kombination aus modernsten numerischen Approximationsverfahren mit aktueller Hochleistungsrechentechnik erzielen.

Anwendungsgebiete sind:

- Strömungsmechanik: Turbulenzmodellierung
- Strukturmechanik: Elastische und plastische Deformationen in der zerstörungsfreien Werkstoffprüfung
- Wellenphänomene in Akustik, Elastizität, Elektrotechnik (elektromagnetische Felder)
- Multiphysikalische Probleme
  - Poroelastizität (Strömungen in deformierbaren porösen Medien) im Batteriedesign (Lithium-Ionen Akkus), Biomechanik etc.
  - Vibroakustik (aktive Schallreduktion)
  - Fluid-Struktur Interaktion mit diversen Anwendungen
- Molekulardynamik: Quantifizierung von Kenngrößen von Stoffen, Identifikation von Zustandsgleichungen
- Bauingenieurwesen: Festigkeit, Statik und Design von Bauwerken und Anlagen, Grund- und Oberflächenflüsse mit Transport (z.B. Sedimente)

#### B. Werkstoffkunde (WK)

Im Metallhydrid-Labor werden Systeme zur hocheffizienten und kompakten Wasserstoffspeicherung auf Basis von Metallhydriden entwickelt. Diese bieten neben der energetischen Effizienz und dem geringen Volumen einen erheblichen Vorteil hinsichtlich der Sicherheit und Kosten des Speichersystems, unter anderem durch den vergleichsweise niedrigen Beladungsdruck von weniger als 50 bar. Solche Systeme werden im Metallhydrid-Labor sowohl für die

mobile (z.B. in PKW) als auch stationäre Speicherung untersucht. Zusätzlich zu den bereits genannten Tätigkeiten wird von der Arbeitsgruppe Klassen der Einsatz von Metallhydriden für die Komprimierung von Wasserstoff untersucht. Diese Kompressoren kommen vollständig ohne bewegliche Bauteile aus und sind somit kaum wartungsanfällig. Neben der Komprimierung wird auch die Wasserstoffseparation durch Metallhydride untersucht. Dabei wird die natürliche Eigenschaft der Metallhydride zur Aufnahme, und somit auch wieder Abgabe, von hochreinem Wasserstoff ausgenutzt. Solche Systeme (in Kombination mit Polymer-Membranen) können zukünftig die Separation von Wasserstoff aus dem Erdgasnetz übernehmen und somit einen wesentlichen Beitrag zur Sektorkopplung Strom und Gasnetz beitragen – insbesondere dessen Flexibilisierung.

Diese Thematik wird zusammen mit der Professur Schulz näher untersucht und ergänzt sich mit den dortigen Vorhaben zur Steuerung der Sektorkopplung mit Hilfe der Wasserstoffherzeugung und „Rückverstromung“ durch Brennstoffzellensysteme. Als ein anschauliches Demonstratorsystem plant die Professur Klassen im finalen Aufbau eine Tankstelle für die Betankung von Wasserstoff-PKW basierend auf der o.g. Metallhydrid-Technologie.

#### C. Elektrische Maschinen und Antriebssysteme (EMA)

Im Energielabor der EMA sollen die Forschungsthemen Elektromobilität, Energiespeicherung und erneuerbare Energieversorgung behandelt werden. Zentrale Teststände und Geräte sind Kleinwindenergieanlagen als Auf-Dach-Ausführung, temporäre Energiespeicherung mit einem Schwungradspeicher sowie Analyse, Reichweitenprädiktion und Reichweitenoptimierung von Elektrofahrzeugen.

Für genaue und reproduzierbare Ergebnisse im Bereich der Energieprädiktion für Elektrofahrzeuge werden zahlreiche Fahrten mit unterschiedlichen Probanden und Fahrzeugen durchgeführt. Dies erfordert eine Fahrzeugbewegung z.T. im öffentlichen Straßenverkehr. Für Arbeiten an Elektrofahrzeugen (Softwareveränderungen und Umbauten der Messtechnik) sowie eine sichere Unterbringung sensibler Messaufbauten, wird deshalb ein Arbeitsraum mit ebenerdiger Zufahrt errichtet. Forschungsfragen, die dabei betrachtet werden sollen, umfassen unter anderem:

- Welche Fahrertypen gibt es, und wie wirken sich diese auf die Reichweite eines Fahrzeugs aus?
- Wie kann Windenergie optimal im Kleinwindenergiebetrieb genutzt werden (insbesondere für Mobilitätsanwendungen)?
- Wie ist ein Schwungradspeicher in Mobilitätsanwendungen optimal zu dimensionieren?
- Welchen Beitrag können Elektrofahrzeuge zur Netzstabilisierung leisten?

#### D. Lasertechnologie (LT)

Das Laserlabor wird sich mit der Entwicklung von rauscharmen Laserquellen mit hoher Bandbreite und hoher Leistung sowie mit ultraempfindlicher Infrarotspektroskopie beschäftigen. Hinzu kommen Einrichtungen zur Multiphotonenmikroskopie und Infrarotnanoskopie sowie zur Kristallzucht und Kristallverarbeitung. Die Arbeitsgruppe für Lasertechnologie plant einen umfangreichen Laborneubau zur Bearbeitung der erwähnten Themenschwerpunkte. Dazu werden 3 Labor-räume errichtet. Im Mikroskopie-Labor

kommen s-SNOM-Nanoskope zum Einsatz, ebenso wie Multiphoton-Mikroskope und Infrarot-Laser. Das Labor für Infrarotspektroskopie wird ebenfalls mit Infrarot-Lasern ausgestattet, hinzu kommt ein Probenvorbereitungsraum sowie ein FTIR-Spektrometer.

#### E. Theoretische Elektrotechnik und Numerische Feldberechnungen (TET)

Zentraler Teil des Labors der Theoretischen Elektrotechnik wird eine selbst entwickelte Modenverwirbelungskammer sein, welche die Erzeugung gegen äußere Einflüsse abgeschirmter, veränderlicher elektromagnetischer Felder erlaubt, wodurch die statistischen Mittelwerte präzise reproduzierbar sind. Dadurch bietet sie eine ideale Messumgebung, mit der die Wirkung elektro-magnetischer Felder auf technische und biologische Systeme ermittelt werden kann.

#### F. Elektrische Energiesysteme (EES)

An zwei Testständen können Polymerelektrolytmembran (PEM)-Brennstoffzellen sowohl in Einzelzellenbauweise als auch in Stacks mit bis zu 12 kW elektrischer Leistung untersucht werden. Die Abb. 2 zeigt die Laborcontainer, welche die Teststände beinhalten. Forschungsschwerpunkt ist zum einen die elektrische Veränderung der Membraneigenschaften zur positiven Beeinflussung der Reaktionsgeschwindigkeit und zur Verbesserung der Lebensdauer. Bei bisherigen PEM-Systemen lässt sich die Reaktionsgeschwindigkeit nicht direkt beeinflussen. Durch steuerbare Membranen kann die Dynamik solcher Systeme gesteuert und damit das Verhalten bei Lastsprüngen optimiert werden. Zum anderen sollen an einem weiteren Teststand Power-to-Gas-Systeme verbessert werden. Eine Einspeisung von Wasserstoff in das Erdgasnetz ist derzeit nur eingeschränkt möglich. Abhilfe liefert hier die Methanisierung von Wasserstoff, wobei heutige Methanisierungskonzepte mit hohen Kosten und reduzierten Wirkungsgraden verbunden sind. Mit Hilfe eines neuartigen Forschungsansatzes sollen hier Wirkungsgrad und Kosteneffizienz verbessert werden. Dies geschieht durch eine interne Vor-Methanisierungsreaktion im Gasauslasskanal des Elektrolyseurs. In einem weiteren geplanten Projekt werden umschaltbare Brennstoffzellen- und Elektrolysesysteme hinsichtlich der Anwendung in der Sektorkopplung als Notstromversorgung für kritische Infrastrukturen untersucht. In der Zukunft ist eine Zusammenarbeit mit der Professur für Werkstoffkunde geplant, bei der das Zusammenwirken von Brennstoffzellen mit Metallhydridspeichern erforscht werden soll.



Abbildung 2: Die Laborcontainer der Brennstoffzellen- und Methanisierungslabore auf dem IKC



Abbildung 3: Mittelspannungslabor, Hocheffizienz-Solaranlage mit Sonnennachführung, Batteriespeichercontainer auf dem IKC

Teil des EES sind auch die Mittelspannungs- und Elektromobilitätslabore, welche in Abb. 3 gezeigt sind. Das Mittelspannungslabor beinhaltet eine Mittelspannungsquelle mit einer Ausgangsspannung bis 30 kV und einer Ausgangsleistung von bis zu 3,6 kW. Getestet wird hier der Einsatz von Superkaskoden für die Netzimpedanzmessung auf der Mittelspannungsebene. Superkaskoden können deutlich kleiner als die bisher zur Netzanregung verwendete Leistungselektronik ausgeführt werden.

Im Elektromobilitätslabor werden mittels eines Simulators für Elektrofahrzeuge unterschiedliche Ladesäulentypen auf ihre Eignung für netzdienliche Ladevorgänge untersucht. Auf dem Dach des Containers ist zudem eine Hocheffizienz-Solaranlage installiert. Dank einer innovativen, selbstreinigenden Konstruktion und einer automatischen Sonnennachführung, welche zu jeder Uhrzeit einen optimalen Einfallswinkel gewährleistet, können mit dieser Anlage noch einmal deutlich höhere Erträge pro kWp erreicht werden, als dies bei herkömmlichen PV-Anlagen ohne Nachführung der Fall ist.

#### G. Open Lab

Das OpenLab Hamburg ist eine offene High-Tech-Werkstatt, die der breiten Öffentlichkeit den Zugang zu modernen, digitalen Fabrikationstechnologien ermöglicht, um eigene Ideen zu verwirklichen. Den Kern der Ausstattung bilden eine Vielzahl von 3D-Druckern in unterschiedlichen Größen, Lasercutter, CNC-Fräse und CNC-Drehmaschine. Standard-Werkzeuge wie Standbohrmaschine, Kappsäge, Akkubohrer etc. sowie eine Elektronikabteilung stehen ebenfalls zur Verfügung. Das Lab gehört der Bewegung der FabLabs (Fabrication Laboratories) an, einem globalen Netzwerk aus offenen Werkstätten, und richtet sich an alle Studenten, Schüler und Privatpersonen sowie an Firmen und andere Institutionen, die handwerklich, gestalterisch und technisch interessiert sind. Es kann sowohl für die Entwicklung von Prototypen für StartUps, als auch für Forschungs- und Studienarbeiten oder zum Basteln und Tüfteln in der Freizeit genutzt werden. Das OpenLab Hamburg wird vom Laboratorium Fertigungstechnik an der HSU organisiert und betrieben.

Die Abb. 4 zeigt das zentrale Energieeffizienzgebäude des IKC, in welchem diverse Büro- und Besprechungsräume untergebracht sind. Das Dach ist flächig mit hocheffizienten PV-Modulen bedeckt, welche einen Großteil der benötigten elektrischen Energie generieren können. Das am linken



Abbildung 4: Energieeffizienz-Gebäude auf dem IKC mit hocheffizienten PV-Modulen, Büro- und Besprechungsräumen, Infrartheizungsanlagen, und modernen Dämmstoffen

Bildrand zu sehende zweite Energieeffizienzgebäude ist ebenfalls mit PV-Anlagen bestückt. Durch die exakte Südausrichtung werden maximale Erträge der PV-Module gewährleistet. Durch moderne Dämmstoffe und effiziente Infrarot-Heizungsanlagen können die Heizkosten im Winter um bis zu 70 % gegenüber herkömmlichen Containergebäuden reduziert werden.

### III. EINFLUSS DES TECHNISCHEN KLIMASCHUTZES AUF GESELLSCHAFTLICHE ASPEKTE

Durch die große Bandbreite der Forschungsgebiete, welche von den beteiligten Professuren abgedeckt werden, beschäftigen sich die geplanten sowie bereits laufenden Forschungsprojekte mit ganz unterschiedlichen Fragestellungen. Gemein haben sie jedoch, dass durch die Forschungstätigkeiten wertvolle Beiträge zu einer Vielzahl von für das Wohlergehen der Gesellschaft essenziellen Aspekten geleistet werden können. Mit Hilfe einer Umfrage wurde der Einfluss der Arbeitsgruppen auf die im folgenden kurz erläuterten Aspekte untersucht.

#### A. Entwicklungshilfe

Die Entwicklungsländer sind nach wie vor diejenigen Staaten mit dem höchsten Bevölkerungszuwachs. Um diesen Menschen eine langfristige Lebensgrundlage bieten zu können, muss sich der technologische Fortschritt in diesen Regionen im gleichen Maße weiterentwickeln. In Kombination mit den Zielen zum Klimaschutz ergibt sich hier einerseits die Notwendigkeit, aber andererseits auch die Möglichkeit, diese Entwicklung von vorneherein mit nachhaltigen Technologien zu fördern. Indem bei der Versorgung mit Strom, Wärme etc. direkt auf den Einsatz von erneuerbaren Energien anstelle von fossilen Energieträgern zurückgegriffen wird, kann hier bereits im Grundstein eine nachhaltige Entwicklung der weiter wachsenden Bevölkerungen erreicht werden. Fortschritte in der Entwicklung und Verbesserung dieser Technologien würden durch entsprechende Maßnahmen die Lebenssituation weiter verbessern. Neben der Verbesserung der Lebensbedingungen vor Ort lassen sich auf diese Art auch neue Absatzmärkte erschließen, was wiederum einer Weiterentwicklung der neuen Technologien zu Gute kommt und möglicherweise sogar die Markteinführung von neuen Technologien erst ermöglicht. Hier ist insbesondere auch das Potenzial des 3D-Drucks zu nennen, durch welchen dringend benötigte Komponenten direkt in den betroffenen Regionen vor Ort hergestellt werden können. Auf diese Weise können Liefer-

oder Produktionsengpässe zeitsparend und ohne die Notwendigkeit von Fachkräften vor Ort behoben werden.

#### B. Wohlstandssicherung

Die fortschreitende Globalisierung bewirkt einen zunehmenden Wettbewerb unter den führenden Nationen der Welt. Um im Vergleich zu anderen starken Volkswirtschaften nicht ins Hintertreffen zu geraten und um den technologischen Fortschritt voranzutreiben, sind fortwährende technologische Weiterentwicklungen erforderlich. Dabei ist es aus deutscher Sicht – neben dem traditionell starken Mobilitätssektor – auch besonders interessant, die international bereits sehr fortschrittlich wahrgenommenen Bemühungen zum Ausbau der regenerativen Energietechnik weiter voranzutreiben und durch neue Technologien zu untermauern. Durch eine Abkehr von fossilen Energieträgern kann die energetische Abhängigkeit von Öl- und Gas produzierenden Ländern verringert und somit die wirtschaftliche Position gefestigt werden. Durch einen hohen Grad an Innovation und Entwicklung kann so der Wohlstand von Gesellschaften langfristig gesichert werden.

#### C. Stabilisierung von Gesellschaften

Neben weiteren Ursachen sind die ungleiche Ressourcenverteilung sowie mangelhafte Versorgungsinfrastruktur zwei der Hauptfaktoren für eine unzufriedene Bevölkerung und damit einhergehende Unmutsbekundungen bis hin zu Aufständen und Unruhen. Durch die (Weiter-) Entwicklung und Integration von neuartigen Technologien zur regenerativen Energieerzeugung und -speicherung können Standortvorteile primär südeuropäischer, arabischer und afrikanischer Länder genutzt und auf diese Art eine lokale Verbesserung der Versorgungsstruktur erreicht werden. Die Verbesserung der Versorgungssituation in diesen Ländern würde zu einer allgemein steigenden Lebensqualität beitragen, was Beihilfe zu der Vermeidung interner Konflikte liefern kann.

#### D. Interdisziplinarität

Durch die Auswahl einer großen Bandbreite an neuen Technologien kann auf dem Innovationscampus eine breite Wirkung in alle Bereiche der Forschung auf den genannten Gebieten erreicht werden. Dabei bietet der Innovationscampus die perfekten Rahmenbedingungen, um alle diese Technologien sowohl für sich als auch im Zusammenspiel miteinander sowie deren Auswirkungen auf die Gesellschaft zu erforschen. Die Beteiligung vieler unterschiedlicher Professuren sorgt für einen Austausch zwischen den jeweiligen Fachgebieten und ein Forschungsklima, in welchem sich die jeweiligen Themenschwerpunkte gegenseitig befeuern und ergänzen. Im Ergebnis entsteht so eine einmalige Kombination geballten Fachwissens, wodurch grundlegende Aspekte aus unterschiedlichen Blickrichtungen und mit vereinter Kompetenz bearbeitet werden können.

#### E. Wissenssicherung und lebenslanges Lernen

Nie zuvor hat sich die Menschheit technologisch in solch einem Tempo weiterentwickelt, wie es heute der Fall ist. Die zunehmende Digitalisierung und Vernetzung führt zu immer rascheren Fortschritten in allen Bereichen der Wissenschaft. Um auf neue industrielle und gesellschaftliche Entwicklungen und Vorgaben angemessen und zeitnah reagieren und diese weiter vorantreiben zu können, ist eine umfangreiche

Infrastruktur zur Untersuchung und Umsetzung von neuartigen Komponenten notwendig. Mit modernen Prüfständen und Laboren können umfangreiche Analysen durchgeführt werden, um konkrete Anwendungsfälle zu testen und optimierte Nutzungsbedingungen aufzuzeigen.

#### F. Politische Beratung

Wenngleich die Notwendigkeit klimapolitischer Veränderungen in zunehmendem Maße Beachtung in den Entscheidungen der politischen Führungskräfte findet, ist die kontinuierliche Weiterbildung und Sensibilisierung auf diesem Gebiet für eine nachhaltige Entwicklung der deutschen Gesellschaft unerlässlich. Neben der anschaulichen Präsentation der technologischen Möglichkeiten steht dabei auch die Vermittlung globaler gesellschaftspolitischer Zusammenhänge im Vordergrund. Durch die Entwicklung und Durchführung entsprechender Projekte kann anhand von Reallaboren und Demonstratoren die Funktionsweise der Technologien erläutert und vorgeführt werden, sowie Problemstellungen der zukünftigen Energieversorgung untersucht und erforscht werden.

#### G. Einsatz in Forschung und Lehre

Anhand konkreter Technologiebeispiele können die in der Lehre vorgestellten Sachverhalte anschaulich vermittelt und an realen Anlagen demonstriert werden. Durch eine große Auswahl unterschiedlicher Technologien und Fachgebiete wird die Möglichkeit geschaffen, Abschlussarbeiten zu sehr vielfältigen Fragestellungen anzubieten. Zudem bietet der Innovationscampus optimale Möglichkeiten zur Erforschung nicht nur der installierten Anlagen und Geräte, sondern auch zum Zusammenspiel dieser Komponenten mit- und untereinander. Durch die strukturelle Nähe der Laborbereiche zueinander können hier einzigartige Forschungsbedingungen angeboten werden, welche die Attraktivität der Helmut-Schmidt-Universität für Studenten weiter steigert.

#### H. Ergebnis der Umfrage zum Einfluss auf die beschriebenen Aspekte

Im Rahmen einer Umfrage wurden die Arbeitsgruppen des IKC gebeten, den Einfluss ihrer jeweiligen Forschungsvorhaben auf die genannten Aspekte einzuschätzen. Dabei sollte jedem Aspekt eine Zahl von 1 bis 9 zugeordnet werden, wobei 1 einem minimalen und 9 einem maximalen Einfluss entspricht. Zur Auswertung wurde aus den gegebenen Antworten der Mittelwert gebildet und in der Abb. 5 dargestellt. Es zeigt sich, dass die stärksten Kompetenzen in den Bereichen Forschung/Lehre sowie Interdisziplinarität gesehen werden. Ein weiterer Fokus lässt sich bei dem Aspekt der Wohlstandssicherung erkennen. Die Aspekte Politische Beratung und Entwicklungshilfe werden als diejenigen mit dem geringsten Einfluss betrachtet. Vor dem Hintergrund, dass sich ein Großteil der Forschungsfragen mit Grundlagenforschung beschäftigt, ist eine derartige Einschätzung nachvollziehbar. Durch die zukünftige Zusammenarbeit der derzeit nahezu ausschließlich technisch orientierten Arbeitsgruppen mit den geisteswissenschaftlichen Fachrichtungen der HSU ist aber absehbar, dass im Rahmen von zukünftigen Forschungsprojekten die bisher unterrepräsentierten Aspekte ebenfalls Beachtung finden werden.

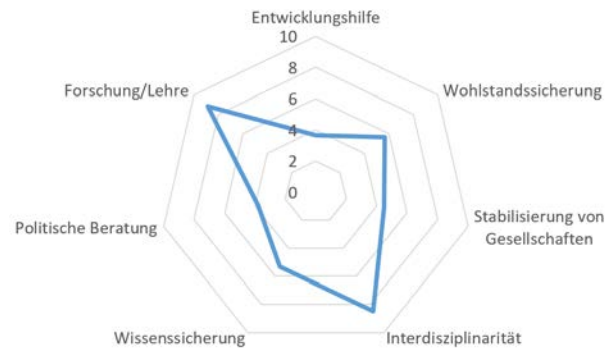


Abbildung 5: Ergebnis der Umfrage unter den Arbeitsgruppen: Einfluss auf die jeweiligen gesellschaftlichen Aspekte

### IV. MAßNAHMEN ZUR ENERGIEEFFIZIENZ

Neben den zahlreichen Forschungsarbeiten auf dem IKC wurden auch diverse Maßnahmen und Vorkehrungen getroffen, um die Energieeffizienz der Gebäude zu maximieren und mit Hilfe regenerativer Erzeugung sowie energieeffizienter Speicherung einen möglichst hohen Autarkiegrad zu erzielen.

#### A. Installation von Aufdach-Photovoltaik-Anlagen

In Tabelle 1 sind die derzeit installierten Photovoltaik-Anlagen aufgelistet. Wie zu sehen ist, beläuft sich die insgesamt installierte Leistung auf  $P = 61,67 \text{ kW}_p$ . Davon entfallen  $2,41 \text{ kW}_p$  auf die hocheffiziente SmartflowerPOP, welche über eine automatische Sonnennachführung verfügt. Durch diese Sonnennachführung kann die Einstrahlung besonders effizient genutzt werden, was sich in einem deutlich höheren kWh/kW<sub>p</sub>-Verhältnis widerspiegelt. Die restlichen installierten Module befinden sich auf den Dächern der beiden neu errichteten Bürogebäude. Durch eine nach Süden gerichtete Aufständigung kann hier ebenfalls ein guter Ertrag erzielt werden. Durch eine leichte Giebelung der Dachfläche auf dem Gebäude Nord wird dort ein geringfügig geringerer Ertrag pro kW<sub>p</sub> erzielt, als dies auf dem Süddach der Fall ist. Insgesamt wird durch die bereits installierten PV-Anlagen eine jährliche Energieerzeugung von über 50 MWh erwartet. Weitere Module sollen einerseits auf dem Dach des OpenLabs aufgestellt werden, andererseits werden Ladestationen für Elektroautos entstehen, welche mittels einer Überdachung aus transluzenten PV-Modulen ebenfalls regenerativ Energie erzeugen. Zusätzliche PV-Module sollen konsekutiv auf den neu entstehenden Laborgebäuden installiert werden, sobald deren Errichtung abgeschlossen ist. Die bisher im Aufbau

TABELLE 1: INSTALLIERTE PV-LEISTUNG UND -ERZEUGUNG

Standort/Bezeichnung	Peak-Leistung (kWp)	Voraussichtlicher Ertrag (MWh/a)
<b>Bereits installiert</b>		
Gebäude Nord-1	17,92	13,4
Gebäude Nord-2	17,92	13,4
Gebäude Süd	23,52	20,1
Smartflower	2,31	4
<b>GESAMT</b>	<b>61,67</b>	<b>50,9</b>
<b>In Planung/Konstruktion</b>		
Carport	10,88	5
OpenLab	15,68	11,6
<b>GESAMT</b>	<b>26,56</b>	<b>16,6</b>

befindlichen PV-Module werden weitere 26,56 kW Peakleistung bereit stellen, welche mit einem jährlichen Ertrag von etwa 16,6 MWh zur Stromerzeugung auf dem IKC beitragen werden.

### B. Ladestationen für Elektrofahrzeuge

Die Installation von Ladestationen für Elektrofahrzeuge soll einen ersten Anreiz für die Mitarbeiter des IKC darstellen, ihre Mobilität auf klimafreundliche Elektrofahrzeuge umzustellen. Gleichzeitig bietet sich auf diese Art die Möglichkeit der Forschung an neuen Ladestationstechnologien, welche sowohl von der Professur für Elektrische Energiesysteme als auch der Professur für elektrische Maschinen und Antriebe angestrebt bzw. bereits durchgeführt wird. Die Stromversorgung der Elektrofahrzeuge soll ausschließlich über die installierten regenerativen Erzeuger erfolgen, so dass ein klimaneutraler Betrieb der Fahrzeuge gewährleistet ist.

### C. Batteriespeicher zur Eigenverbrauchsoptimierung

Zur Optimierung des Eigenverbrauchs der mittels der PV-Anlagen erzeugten Energie werden effiziente Batteriespeicher auf dem IKC installiert. In einer ersten Ausbaustufe werden zu diesem Zweck 9 Speichermodule mit einer Speicherkapazität von jeweils 13,8 kWh installiert. Somit ergibt sich eine Gesamtspeicherkapazität von 124,2 kWh. Da die zukünftig entstehenden Labor-container ebenfalls mit PV-Modulen ausgestattet werden sollen, kann der Batteriespeicher stufenweise auf bis zu 32 Module mit dann 441,6 kWh Speicherkapazität erweitert werden. Perspektivisch kann hier auch ein Batterie-forschungslabor entstehen, welches die Entwicklung und Optimierung von Batterietechnologien ermöglicht.

### D. Installation eines LoRaWAN-Netzwerks zum Verbrauchs- und Erzeugungsmonitoring

Durch ein umfassendes Monitoring der Energieerzeuger und -verbraucher auf dem IKC wird in Zukunft die Effizienz der beschriebenen Maßnahmen dokumentiert und in der Folge optimiert. Zu diesem Zweck werden bis zu 1000 Sensoren installiert und durch ein Long Range Wide Area Network (LoRaWAN) miteinander verbunden. Für die Auswertung und Darstellung der Messwerte werden geeignete Back- und Frontends eingesetzt, so dass sich die Messgrößen jederzeit anschaulich und nahezu in Echtzeit anzeigen lassen. Es folgt eine beispielhafte Auflistung ausgewählter Messpunkte, die auf diese Art erfasst werden:

- PV-Anlagen
  - Strom und Spannung
  - Leistung
  - Zelltemperatur
- Batteriespeicher
  - State of Charge
  - Spannung
  - Zelltemperatur
  - Lastflüsse
- Brennstoffzellenlabor
  - Status und Messwert der Gaswarnanlage
  - Strom und Spannung
  - Energieverbrauch der Klimaanlage
  - Stromerzeugung/-verbrauch der Anlage

Weitere Messpunkte werden beispielsweise die klimatischen Umgebungsbedingungen aufnehmen, Fensteröffnungen

registrieren oder den Belegungszustand von Konferenzräumen messen. Es ergibt sich ein anschauliches und umfassendes energetisches Profil des IKC, welches in der Folge auf die gesamte Liegenschaft erweitert werden könnte.

## V. ZUSAMMENFASSUNG UND AUSBLICK

Die Entstehung des IKC auf dem Gelände der HSU bietet für zukünftige und auch bereits gestartete Forschungsprojekte einmalige Rahmenbedingungen für fachgebietsübergreifende Spitzen- und Grundlagenforschung. Wie gezeigt wurde, werden wesentliche gesellschaftliche Aspekte bereits durch laufende oder unmittelbar geplante Forschungsvorhaben positiv beeinflusst. Weitere Forschungsprojekte werden zukünftig hinzukommen, womit auch bisher noch weniger berücksichtigte Bereiche der Gesellschaft adressiert werden. Durch eine Auswahl an energieeffizienten Maßnahmen konnte bereits der Grundstein für eine nachhaltige Energieversorgung auf dem IKC gelegt werden. Zukünftige Forschungs- und Entwicklungsvorhaben werden diesen Gedanken fortführen und weitere Bereiche der effizienten Energiespeicherung, -erzeugung und -nutzung abdecken. Bei der Gestaltung der Forschungsvorhaben wird in enger Kooperation mit dem Energieforschungsverbund Hamburg (EFH) [6] und der Forschungskontaktstelle Hamburg (FKS) gearbeitet. Dabei werden insbesondere die aktuellen Förderrichtlinien und die Förderinformationen des EFH berücksichtigt.

## LITERATUR

- [1] EnEff Campus: blueMAP TU Braunschweig; [Online, abgerufen am 03.06.19] [https://www.tu-braunschweig.de/Medien-DB/igs/EnEff\\_Campus/booklet.pdf](https://www.tu-braunschweig.de/Medien-DB/igs/EnEff_Campus/booklet.pdf)
- [2] CC4E HAW Hamburg; Competence Center für Erneuerbare Energien und Energieeffizienz; [Online, abgerufen am 03.06.19] <https://www.haw-hamburg.de/cc4e.html>
- [3] Klimaneutrale Universität Leuphana Lüneburg; [Online, abgerufen am 03.06.19], <https://www.leuphana.de/universitaet/entwicklung/nachhaltigkeit/klimaneutrale-universitaet/energieeffizienz.html>
- [4] EnEff:Stadt Campus Lichtwiese; TU Darmstadt; [Online, abgerufen am 03.06.2019] [https://www.energy.tu-darmstadt.de/forschung/gebäudeintegration\\_und\\_energieautarke\\_siedlungsbereiche/eneff\\_stadt\\_\\_campus\\_lichtwiese/eneff\\_campus.de.jsp](https://www.energy.tu-darmstadt.de/forschung/gebäudeintegration_und_energieautarke_siedlungsbereiche/eneff_stadt__campus_lichtwiese/eneff_campus.de.jsp)
- [5] Innovations-Campus Bonn (ICB); Universität Bonn; [Online, abgerufen am 03.06.19], <https://www.bonn-alliance.uni-bonn.de/de/innovations-campus-bonn>
- [6] Schulz, D. *et al.*: Konzept zum „Hamburger Energieforschungsverbund“, Druckschrift der Behörde für Wissenschaft und Forschung (2012)