



**T-CELL**  
FUTURE ENERGY



**Die Lösung für  
die Energiewende**



Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses  
des Deutschen Bundestages



**Prof. Dr. p.h. habil. Gesine Grande**  
Präsidentin BTU Cottbus-Senftenberg  
Foto © Kirsten Nijhof



**Prof. Dr.-Ing. Heinz Peter Berg**  
Projektinitiator T-Cell



**Prof. Dr. rer. nat. habil. Alexander Michaelis**  
Institutsdirektor Fraunhofer IKTS  
Foto © Fraunhofer IKTS



T-Cell  
Energiewandler der Zukunft  
peter.berg@b-tu.de  
www.b-tu.de/t-cell

# Vorwort

## Die Klimakrise kann noch abgewendet werden – gemeinsam mit dem Fraunhofer IKTS Dresden liefert die BTU Cottbus-Senftenberg dazu ihren Beitrag.

Mit der T-Cell, einer Turbo-Brennstoff-Zelle als hybride Kombination aus Turbomaschine und Hochtemperaturbrennstoffzelle, wird eine Zukunftstechnologie entwickelt, die ein Leben ohne Kraftwerke ermöglicht und zu einer **umweltschonenden, zuverlässigen und bezahlbaren Energieversorgung** beiträgt. Im Sinne der Transformation in eine grüne, lebenswerte Welt von morgen steht die T-Cell auch für konkretes unternehmerisches Handeln mit einem klaren Zeitplan. Durch technologische Innovation **übernehmen wir Verantwortung für die nächsten Generationen**.

Die Technologie der T-Cell erreicht durch die Einbindung einer Hochtemperatur-Brennstoffzelle in einen Turbomaschinenprozess eine höchste Brennstoff-Flexibilität, die langfristig in eine gänzliche Unabhängigkeit von fossilen Brennstoffen mündet. Sie kann so den Weg bereiten für die Überführung der vorhandenen **Gaswirtschaft in die Wasserstoffwirtschaft**.

Die T-Cell ist in der bestehenden Energieinfrastruktur sofort einsatzfähig und trägt dank ihres hohen Wirkungsgrads unmittelbar zur CO<sub>2</sub>-Reduktion bei. Darüber hinaus konvertiert sie „Power-to-X-Gas“ mit dem aktuell höchsten bei Verstromung erreichbaren Wirkungsgrad auch aus erneuerbaren Energien und hilft so, den **CO<sub>2</sub>-Ausstoß bis 2050 zu stoppen**.

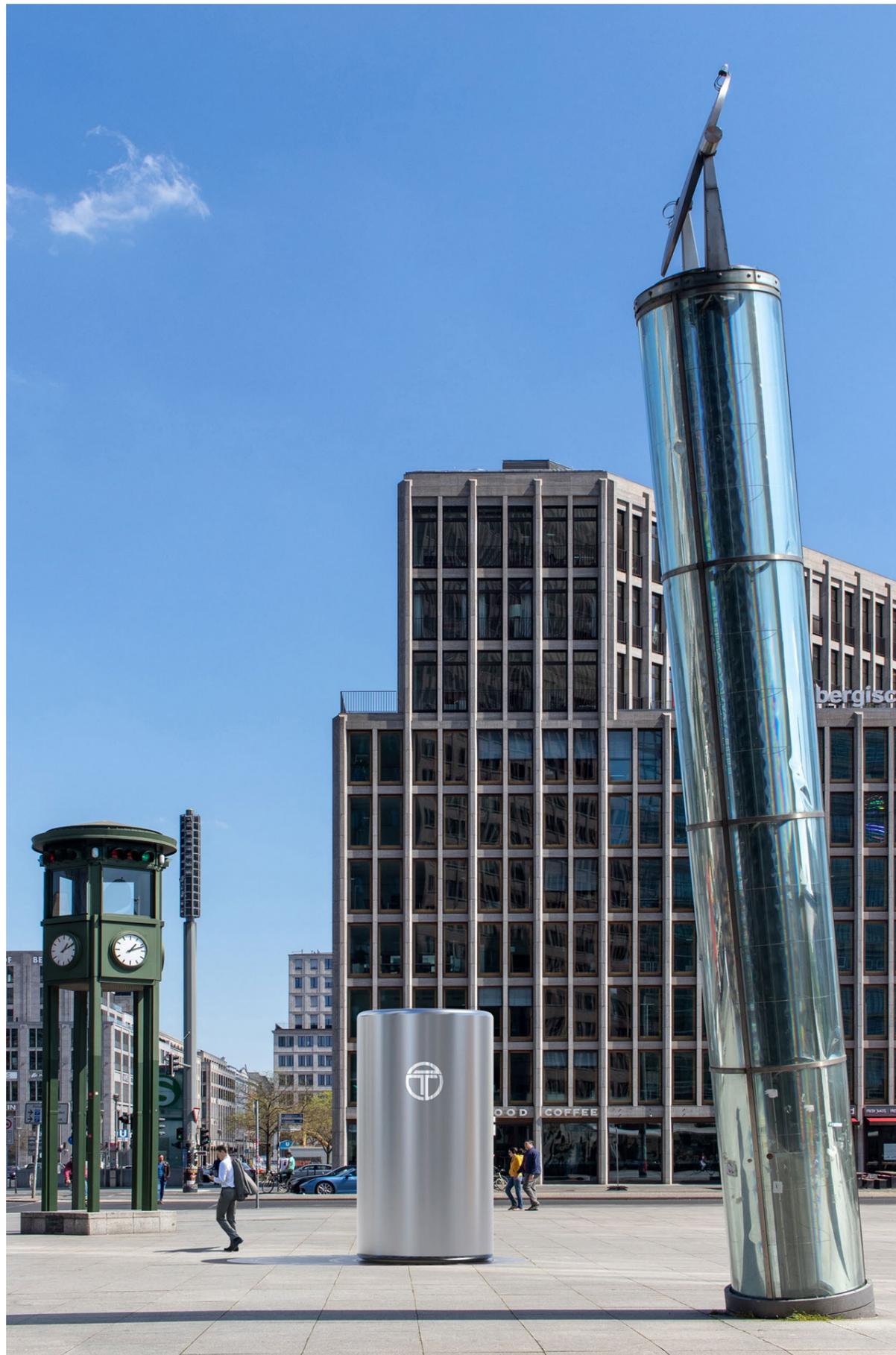
Die T-Cell stellt Energie in Form von Strom und Wärme **dezentral** bereit und genau an dem Ort, an dem der Bedarf besteht. Durch ihre hohe

**Flexibilität und Clusterfähigkeit** unterstützt sie außerdem die Netzstabilität. Die T-Cell erlaubt dank ihrer hochkompakten Maschinenarchitektur ein **vielseitiges Design**, das sich unterschiedlichsten Nutzeransprüchen anpasst. Sie fügt sich in ihre architektonische und städtebauliche Umgebung ein und erreicht so eine hohe **Akzeptanz in der Öffentlichkeit**. Als Energiewandler in Gebäuden oder im Stadtraum vermittelt die T-Cell die **Botschaft einer grünen Technologie der Zukunft**.

Das T-Cell-Projekt ist ein gelebtes Beispiel für den **multidisziplinären integralen Technologietransfer einer Sprunginnovation** für die Welt von morgen. Viele wissenschaftliche Erkenntnisse für die Technologien zum Bau einer T-Cell sind an der BTU Cottbus-Senftenberg und am Fraunhofer IKTS entstanden und stellen heute bereits eine wichtige Grundlage für einen neuartigen Forschungs- und Entwicklungsbereich dar.

Die T-Cell schafft gänzlich neue Möglichkeiten für einen aufkommenden Wirtschaftsbereich des Energiesektors und vereint in sich drei wesentliche Vorteile: Sie ist eine Lösung für die Realisierung des **Kohleausstiegs**, für die Einführung der **Wasserstoffwirtschaft** und für den **Strukturwandel**.

**Prof. Dr. p.h. habil. Gesine Grande**  
**Prof. Dr.-Ing. Heinz Peter Berg**  
**Prof. Dr. rer. nat. habil. Alexander Michaelis**



Potsdamer Platz, Berlin

# Die Schlüsseltechnologie für die Wasserstoffwirtschaft

Als hocheffizienter, **dezentraler Energiewandler** entfaltet die T-Cell klimapolitische Signalwirkung und ermöglicht die Übernahme **globaler Verantwortung**.

Die Nutzung der Brennstoffzellentechnologie steht im Einklang mit den künftigen Anforderungen an eine regenerative Energiewirtschaft. Sie wandelt CO<sub>2</sub>-neutral erzeugten Wasserstoff emissionslos in elektrische Energie um und bietet somit das Umsetzungspotential für die Energiewende. Der Einsatz der T-Cell kann so einen maßgeblichen Beitrag zur Erhöhung der Wettbewerbsfähigkeit von Wasserstoff leisten.

Als dezentraler Energieversorger nutzt die T-Cell ressourcenorientiert die vorhandene Infrastruktur und ist sofort einsatzfähig. Ihre unübertroffene Effizienz und ihre Dynamik sorgen unmittelbar für einen verringerten Schadstoffausstoß und bilden den Schlüssel zu einer zukunftsfähigen, emissionsfreien Energieversorgung.

Die dezentrale Einbettung der T-Cell in den öffentlichen Raum erzeugt klimapolitische Präsenz und ermöglicht darüber hinaus hohe Versorgungssicherheit und Flexibilität. Dafür sorgen eine auf künstliche Intelligenz gestützte Betriebsweise und Sensorsysteme in intelligent vernetzten regionalen Clustern.

Als Produkt, das Wirtschaftlichkeit, Klimaschutz und Innovation vereint, bringt die T-Cell die deutsche Wirtschaft in eine Vorreiterstellung. Sie ist kompakter, kostengünstiger, effizienter und ansprecher als die internationale Konkurrenz und birgt neue Exportchancen als Produkt, als Technologie und auch als klimapolitisches Konzept.



# Inhalt

Vorteile auf einen Blick .....	1
Herausragende Effizienz .....	3
Multifuel Ready.....	5
Sofortige Einsatzfähigkeit .....	7
Energiewirtschaftliche Marktintegration.....	9
Wirtschaftlichkeit .....	11
International einsatzfähig .....	13
Designvielfalt .....	19
Dezentrale Nutzung und Fertigung .....	21
Vielseitige Skalierbarkeit .....	23
Forschung und Team .....	25
Technologie.....	35
Stoffströme .....	37
Bodenraum.....	39
Äußere Hülle .....	41
Transformer.....	43

# Vorteile auf einen Blick

Antworten auf energetischen Herausforderungen unserer Zeit



## Bis zu 100% CO<sub>2</sub>-Reduktion durch Wasserstoff-Schlüsseltechnologie

Als hocheffizienter, dezentraler Energiewandler auf Wasserstoffbasis entfaltet die T-Cell klimapolitische Signalwirkung und ermöglicht die Übernahme globaler Verantwortung. Dabei setzt sie auf die Kombination innovativer Hochtemperatur-Brennstoffzellen-Technologie mit einer Turbomaschine und erreicht so bis zu 100% CO<sub>2</sub>-Reduktion.

## Designvielfalt für den öffentlichen Raum

Die T-Cell erscheint durch ihre wandelbare äußere Gestalt als Bereicherung von Stadt und Umwelt. Ihr vielfältiges Design erfüllt unterschiedliche Nutzerwünsche und entfaltet klimapolitische Signalwirkung.



## Skalierbar und Integrierbar

Die T-Cell orientiert sich an vorhandenen Ressourcen und ist mit bestehender Infrastruktur sofort einsatzfähig. Ihr modularer Aufbau macht sie in ihrer Leistung skalierbar erlaubt vielseitige Anwendungen.



## Interdisziplinarität

Zehn Lehrstühle der BTU Cottbus-Senftenberg arbeiten gemeinsam mit dem Fraunhofer IKTS Dresden an dieser zukunftsfähigen Lösung für die Energiewende.



## Intelligente Wartung und Fertigung

Die T-Cell wird in regionalen Modulen mittels industrie 4.0 Fertigungsmethoden hergestellt. Über den unterirdischen Bodenraum, kann die Anlage vor Ort gewartet werden. Bei einer Wartung der Anlage im Werk, verbleibt die äußere Hülle am Ort.

## Herausragende Effizienz

Die T-Cell hat einen elektrischen Wirkungsgrad von mehr als 65 % und ist so in besonderem Maße klimaschonend. Überführung von Restwärme zur Deckung des Heizwärmebedarfs umliegender Bebauung sorgen für einen Gesamtwirkungsgrad von 97%.



## Multifuel Ready

Die T-Cell ist ein flexibles System, das je nach lokalen Ressourcen unterschiedliche Brennstoffe verarbeitet und so zur Dekarbonisierung der Stromerzeugung beiträgt.



# Über 65 % elektrischer Wirkungsgrad

Die T-Cell hat einen elektrischen Wirkungsgrad von mehr als 65 % und ist so in besonderem Maße klimaschonend.

Dieser Wirkungsgrad wird durch die neuartige Kombination einer Turbomaschine mit der innovativen Hochtemperatur-Brennstoffzellen-Technologie erzielt. Der Teil der Brennstoffenergie, den die Brennstoffzelle nicht in Strom umwandelt, steht der Turbomaschine als Wärme für die weitere Verstromung zur Verfügung. So entsteht zusätzlicher Strom und es wird ein deutlich höherer Wirkungsgrad im Vergleich zu einem reinen Brennstoffzellenprozess erreicht.

Zusätzlich kann die entstehende Abwärme durch die dezentrale Aufstellung der T-Cell genutzt werden, um umliegende lokale Bedarfe aus Heizung, Klimatisierung oder Prozessen zu decken. Der resultierende Gesamtwirkungsgrad, der die Abwärmenutzung einschließt, liegt bei über 97 %.

Durch die Nutzung der Abwärme der T-Cell-Systeme, die perspektivisch immer stärker mit Brennstoffen aus Power-to-X-Quellen oder anderen, klimaneutral erzeugten Kohlenwasserstoffen betrieben werden, können die 30 % Wärmehalt, die in Kraftwerken heute über die Kühltürme an die Umwelt abgegeben werden, effektiv in lokalen Nahwärmesystemen genutzt werden. Darüber hinaus führt die Nutzung von Power-to-X beziehungsweise biogen erzeugten Brennstoffen in den T-Cells zur Reduktion der CO<sub>2</sub>-Emission aus fossilen Quellen. Zusätzlich zur durch die Effizienz erreichten Umweltfreundlichkeit kann die T-Cell je nach verwendetem Brennstoff auch vollständig CO<sub>2</sub>-neutral betrieben werden.



Als Display informiert die T-Cell digital.

# Urban Gardening



Die T-Cell als Ort für Urban Gardening.

# Multifuel-Ready

**Die T-Cell ist ein flexibles System, das je nach lokalen Ressourcen unterschiedliche Brennstoffe verarbeitet und so zur Dekarbonisierung der Stromerzeugung beiträgt.**

Sie kann regenerativ erzeugte Energieträger nutzen und als sogenanntes Multifuel-System beispielsweise mit regenerativ erzeugtem Wasserstoff oder auch mit Grüngasen betrieben werden.

Die T-Cell kann schon jetzt in die bestehende Erdgas-Infrastruktur integriert werden. Diese Flexibilität unterscheidet sie von vergleichbaren Energiewandlern, die zur Inbetriebnahme umfangreiche Infrastrukturmaßnahmen erfordern, und macht sie zukunftssicher.

Der Betrieb der T-Cell kann langfristig mit Grüngasen oder einem höheren Wasserstoffanteil erfolgen. Der Ausgangsbrennstoff wird mit Wasserdampf versetzt und zu einem Synthesegas mit hohem Wasserstoffanteil umgewandelt.

Der Umsetzungsprozess selbst ist vom Ausgangsbrennstoff unabhängig. Unterschiede treten nur in der Zusammensetzung des Abgases auf.

Der Einsatz der T-Cell senkt die CO<sub>2</sub>-Emissionen signifikant und führt die Kohlenstoffdioxid-Emissionen bei Einsatz von grünem Wasserstoff auf null zurück. So kann die T-Cell einen wesentlichen Beitrag zur Dekarbonisierungsstrategie der Bundesregierung leisten.

# Sofortige Einsatzfähigkeit

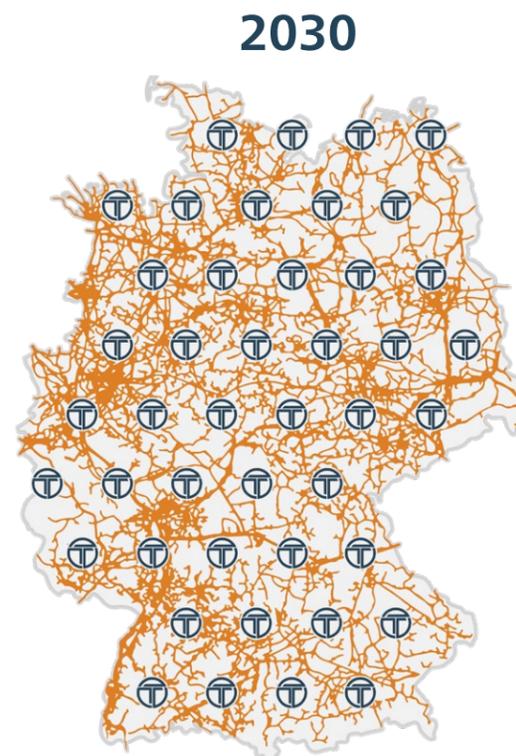
**Die T-Cell orientiert sich an vorhandenen Ressourcen und ist mit bestehender Infrastruktur sofort einsatzfähig.**

Im Sinne der ökologischen und ökonomischen Nachhaltigkeit nutzt die T-Cell das bestehende Gasnetz als Versorgungsquelle und ermöglicht so eine ressourcenorientierte netzstabilisierende Nutzung. Durch das Einbringen in die vorhandene Infrastruktur der Gas- und Stromwirtschaft erfolgt ihr Einsatz sofort flächendeckend, ohne vorhandene Systeme zu beeinträchtigen.

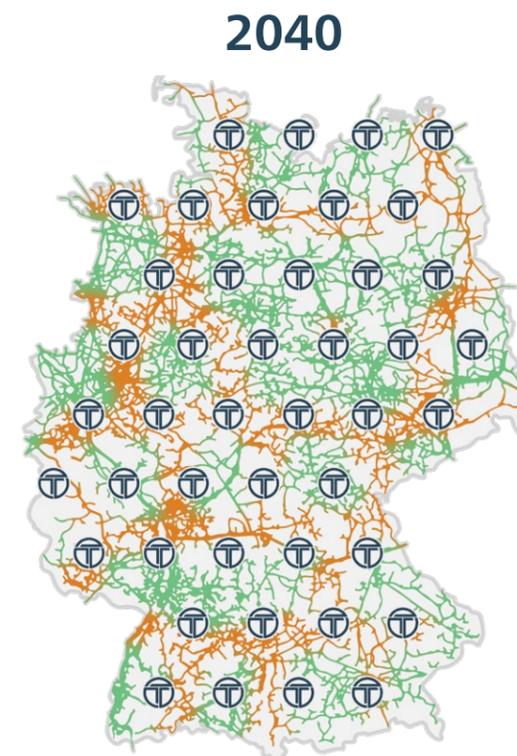
Die T-Cell hilft dabei, den Wandel zur Grün-gas-Energieversorgung mitzugestalten, weil sie mit nachhaltig erzeugten, wasserstoffhaltigen Brennstoffen betrieben werden kann. Ihr Betrieb erfolgt zunächst mit der bestehenden Erdgas-versorgung und wird in Zukunft ohne weitere Infrastrukturmaßnahmen auf vollständig emissionsfreien Grün-gas-Betrieb umgestellt.



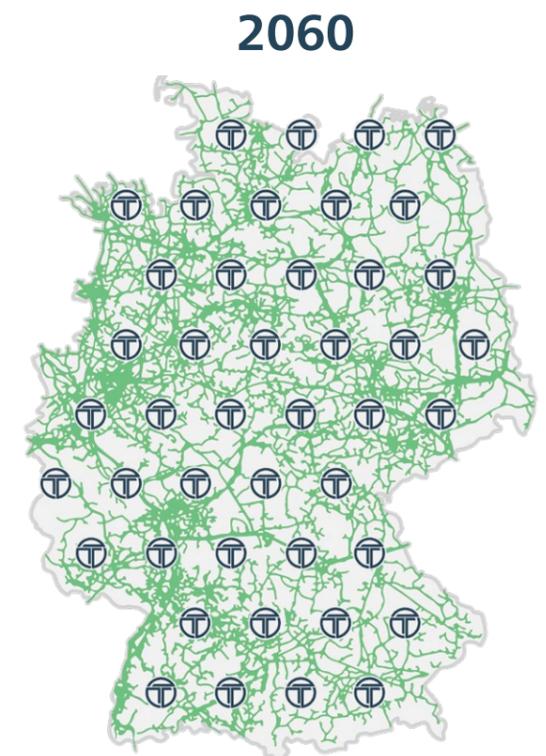
Deutsches Erdgasnetz  
© DVGW



Einbringen der T-Cell  
in bestehende Infrastruktur



Schrittweiser Wandel  
zum Grün-gasnetz

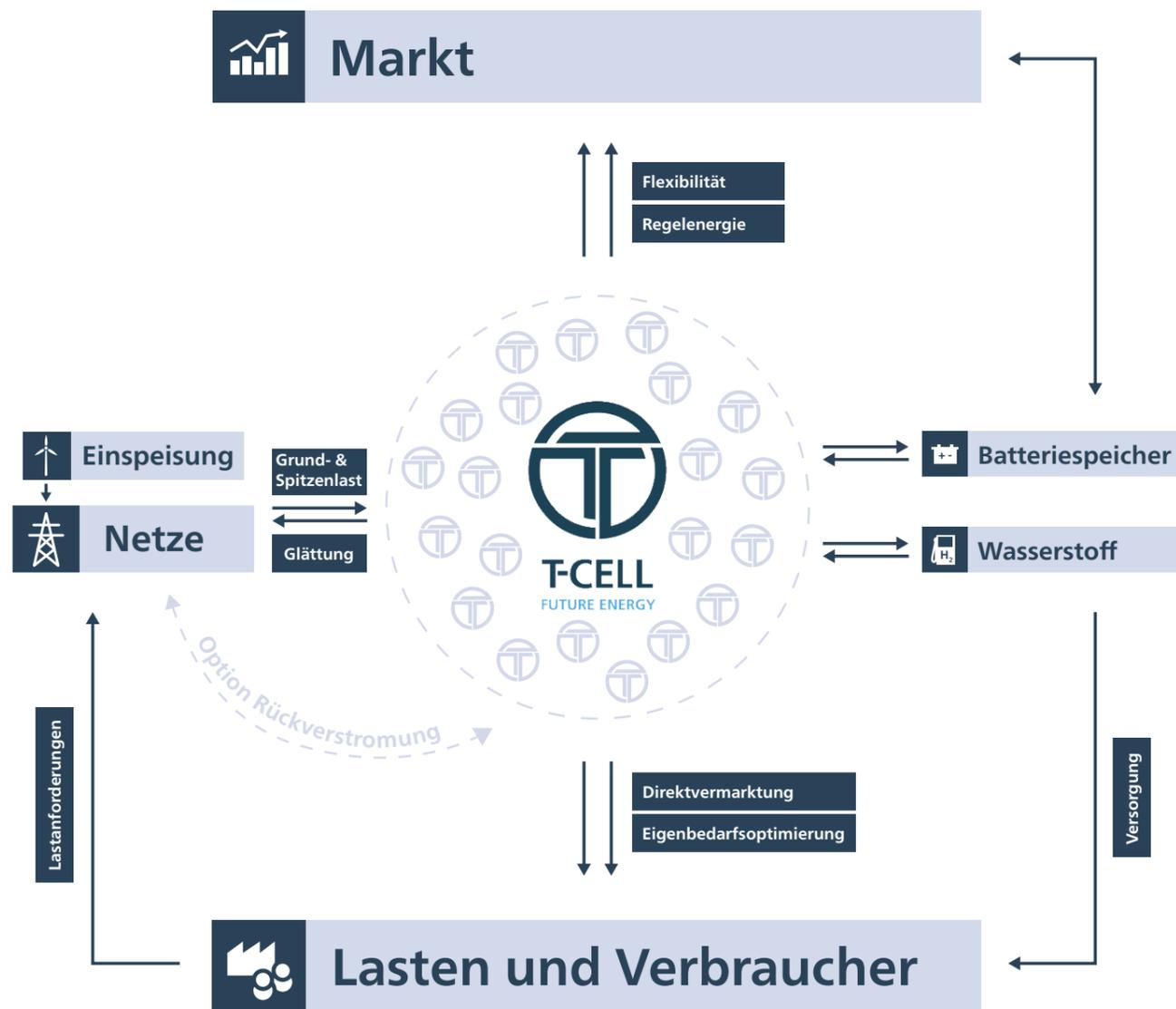


Mit der T-Cell zum  
klimaneutralen Grün-gasnetz



Mit 540.000 km Erdgasleitungen verfügt Deutschland über einen umfangreichen und aufwendig hergestellten Energie-Infrastrukturbestand, der dank seiner Pufferkapazität in der Lage ist, auch längere Phasen niedrigen Energieangebots zu überbrücken und ohne kostenintensive und umstrittene Hochspannungsleitungen auskommt.

Um die Energiewende ökologisch und sozial nachhaltig zu gestalten, nutzt die T-Cell die gegebene Infrastruktur. Sie ermöglicht einen nahtlosen Betrieb auf dem Weg in die Zukunft und kann schon heute den Startschuss für die Energiewende geben, ohne Redundanz zu erzeugen.



# Energiewirtschaftliche Marktintegration

Die T-Cell ermöglicht eine **Vielzahl flexibler Betriebsmöglichkeiten** und Chancen zur erfolgreichen Marktintegration.

Im Zuge der aufgezeigten Veränderungsprozesse im Energieversorgungssystem hin zu dezentralen und kleinskaligen Erzeugungsanlagen ergibt sich Vielzahl an Einsatzmöglichkeiten der T-Cell. Durch ihr flexibles Betriebsverhalten entstehen Möglichkeiten zur erfolgreichen Marktintegration in der Energiebereitstellung der Zukunft.

Die T-Cell ermöglicht dabei die Abdeckung von Grund- und Spitzenlastanforderungen aus dem Netz sowie beispielsweise den Ausgleich volatiler Energieeinspeisung durch Wind- und Photovoltaikanlagen. Darüber hinaus sorgt der integrierte Batteriespeicher für die Glättung von Verbrauchsspitzen aus dem Netz sowie der gesamten Energieerzeugung. Zusätzlich ergeben sich für die T-Cell eine Reihe weiterer Vermarktungsmöglichkeiten zur Finan-

zierung am Energiemarkt. Dies betrifft einerseits den Einsatz der T-Cell als mögliche Option zur Rückverstromung und somit als eine Art „Puffer“. Ebenfalls ermöglicht die T-Cell die Bereitstellung von Regelenergie für das Netz. Für Industrieanwendungen eignet sich die T-Cell zur Eigenbedarfsoptimierung in der internen Stromversorgung.

Eine Besonderheit ist der Einsatz der T-Cell im Verbund- und Clusterbetrieb. Durch intelligente Steuerungs- und Kommunikationsmechanismen sorgt die Vielzahl an dezentral verteilten Anlagen für eine ganzheitliche und flächendeckende Markt- und Netzintegration („Schwarmverhalten“). Die nutzbare Flexibilität im System wird dabei deutlich erhöht und kann gezielt zur Bewirtschaftung von Netzanforderungen genutzt werden.

# Wirtschaftlichkeit

**Mit dem Atom- und Kohleausstieg entsteht in Deutschland ein **Energiedefizit von über 220 TWh im Jahr**. Die T-Cell hilft dabei, dieses Potenzial sofort zu bedienen und zum **Markthochlauf von Wasserstoff als Energieträger der Zukunft beizutragen**.**

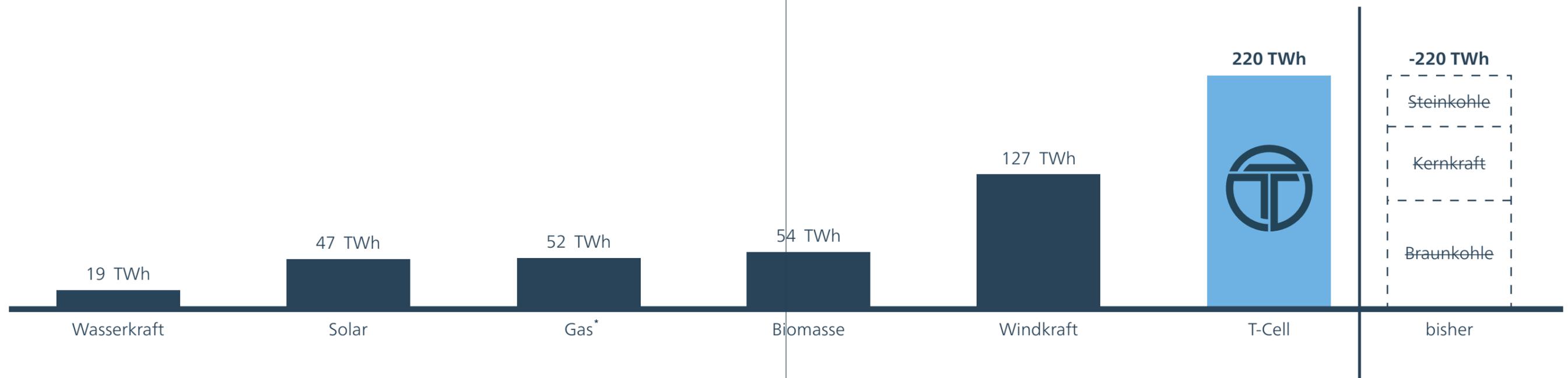
Die Multifuel-Fähigkeit macht die T-Cell zu einer sofort nutzbaren, nachhaltigen Investition, die einen wesentlichen Beitrag zum Markthochlauf von Wasserstofftechnologien leisten wird. Sie ist dabei kompakter, effizienter, ansprechender und flexibler als die internationale Konkurrenz.

Die resultierende Kostenreduktion für die Energiewende stellt gemeinsam mit regional entstehenden Arbeitsplätzen in der Fertigung und im Service sowie dem Marktpotenzial im Energiesektor eine große volkswirtschaftliche Chance dar.

Im Zuge der Energiewende werden fast 50 % der von Großkraftwerken bereitgestellten Elektroenergie vom Markt genommen und die gesamte Kraftwerksleistung um 25 % reduziert. Es ist also nicht nur erforderlich, den Energiehaushalt als solchen nachhaltig auszugleichen, sondern auch die bestehende Infrastruktur zu ergänzen und zu optimieren.

Die Kompatibilität mit dem bestehenden Gasnetz ermöglicht es der T-Cell, beiden Herausforderungen sofort gegenüberzutreten. Angehlossen an die bestehende Infrastruktur wird

Strom hochdynamisch und gezielt produziert. Das heißt, jedes installierte Gigawatt Leistung kann zu jeder Zeit voll genutzt, aber in Zeiten geringeren Bedarfs auch schnell heruntergefahren werden. Langfristig vereint die T-Cell die Zuverlässigkeit der Kohleverstromung mit der Nachhaltigkeit der Grüngas-Verbrennung und zwar genau angepasst an den momentanen Bedarf. Erste Versuchsanlagen sollen bereits 2023 in Betrieb genommen werden, um schnellstmöglich Anwendungsreife im Industriemaßstab zu erreichen.



Überlagerung der produzierten Energie nach Art der Energiewandlung und des **T-Cell-Potenzials aus der Energiewende** in TWh für den Strombedarf in der Bundesrepublik Deutschland im Jahr 2019

Daten: Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme ISE \*konventionelle Gasverstromung



## International marktfähig

Als Produkt übertrifft die T-Cell das Angebot internationaler Konkurrenz. Sie ist **kompakter, kostengünstiger, effizienter und flexibler** und **kommuniziert grenzüberschreitend**. Ihre **wandelbare Gestalt** integriert sich in jeden Kontext.

Die T-Cell ist in der Lage, grenzüberschreitend im europäischen oder internationalen Verbund Energie bereitzustellen. Sie eignet sich nicht nur als Produkt für den Export, sondern bereichert den internationalen Energiemarkt durch intelligente Vernetzung.

Es ergeben sich grenzenlose Schnittstellen für die internationale Zusammenarbeit in den Bereichen organisatorischer Netzwerkstrukturen, Fertigung und Handel.

Aufgrund ihrer Multifuel-Fähigkeit und ihrer Dezentralität kann die T-Cell einen wesentlichen Beitrag zum internationalen Markthochlauf von Wasserstofftechnologien leisten und langfristig einen Rahmen für eine global klimaneutrale Energieversorgung herstellen. Sie öffnet neue Märkte für den Absatz biogener Gase im In- und Ausland und eignet sich durch ihre dezentrale Funktionsweise auch zur Grundversorgung abgelegener Standorte.

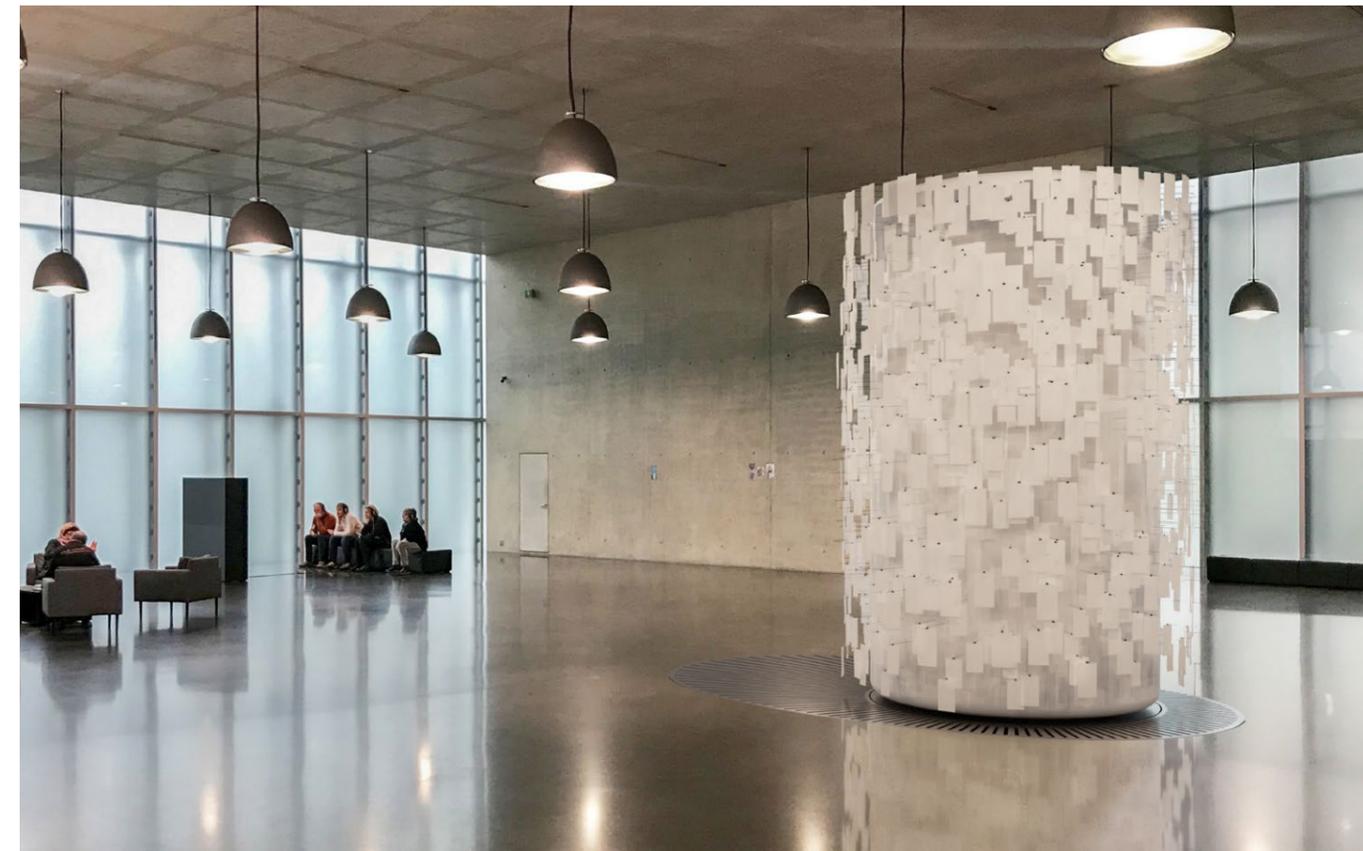
# Ein Gewinn für den öffentlichen Raum

Die T-Cell erscheint durch ihre wandelbare äußere Gestalt als Bereicherung von Stadt und Umwelt. Ihr vielfältiges Design erfüllt unterschiedliche Nutzerwünsche und entfaltet klimapolitische Signalwirkung.

Das offene Designkonzept der T-Cell verleiht der dezentralen Energieversorgung ein neues Gesicht. Bis zu 80.000 kompakte Einheiten sollen in unsere Umwelt aus Architektur, Stadt und Landschaft integriert werden. Die T-Cell benötigt keine zusätzliche bauliche Hülle und kann sowohl in Gebäuden als auch im Freien stehen. Je nach Anwendung werden unterschiedliche Funktionen und Design-Varianten gewählt.

Die T-Cell zeigt sich dabei selbstbewusst in der Öffentlichkeit und bietet vielfältige Nutzungen, während sie nachhaltig Strom und Wärme bereitstellt.

Durch diese innovative und bisher einzigartige Kombination aus Stromerzeugung und öffentlichem Nutzen mit direktem und spürbarem Mehrwert soll die T-Cell unmittelbar auf Akzeptanz stoßen.



Die T-Cell wird im Alltag als „Nutzung plus Energie“ erlebt und zeigt sich als Bereicherung von Architektur, Stadt und Landschaft. So verkörpert sie das Bild wirtschaftlichen, ökologischen und energiepolitischen Fortschritts.

Als begrünter Energiewandler artikuliert sie die ihr zugrundeliegende Vision umweltschonender Energieversorgung. Die extensiv begrünte Hülle filtert Schadstoffe aus der Luft und speichert Feuchtigkeit.

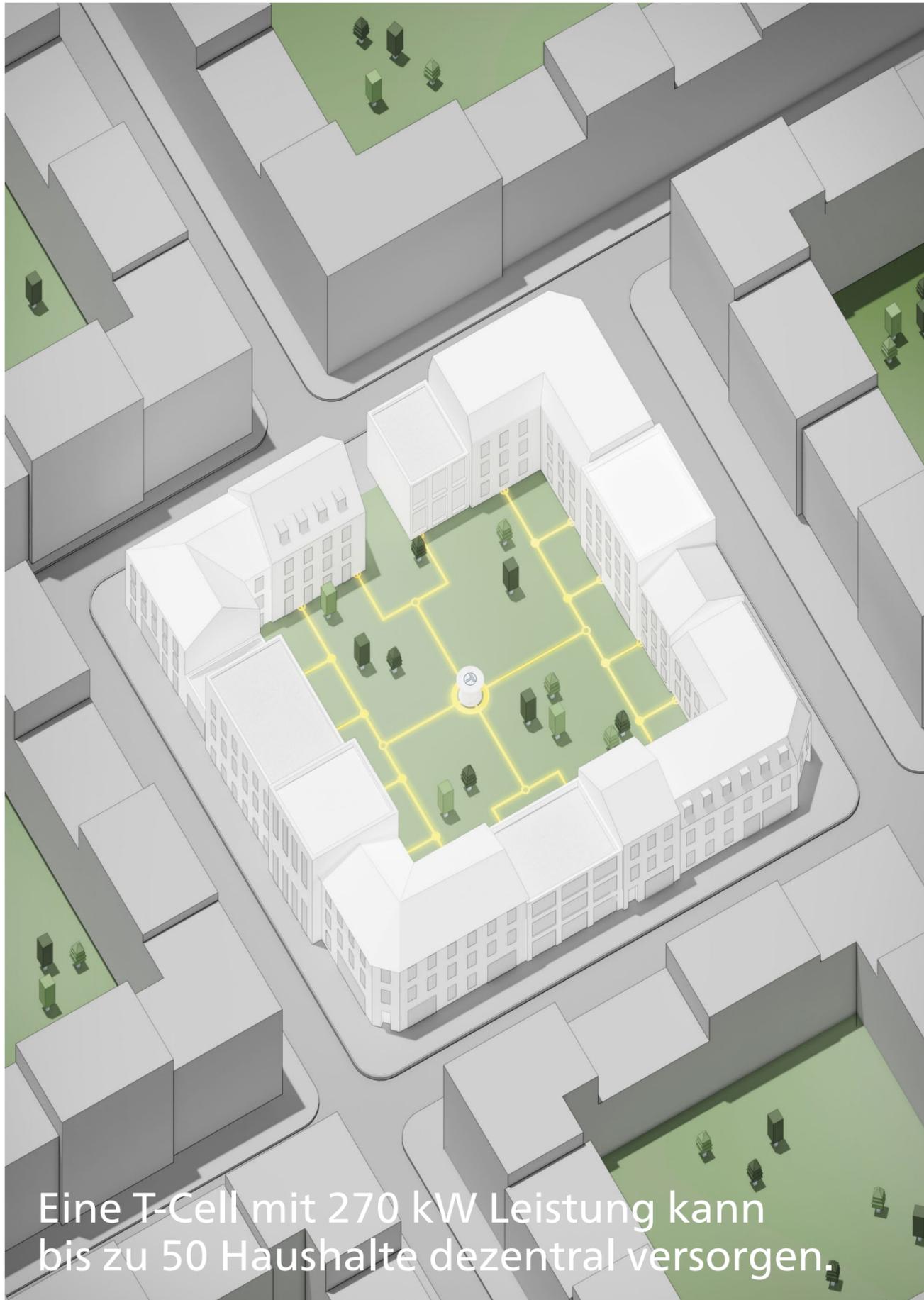
Dadurch leistet sie einen positiven Beitrag für das lokale Mikroklima. Die Bewässerung erfolgt mit dem bei der Wasserstoffreaktion anfallenden Restwasser als Teil des Stoffkreislaufs. Die begrünte T-Cell stiftet darüber hinaus Identität für hochverdichtete öffentliche Räume oder fördert als „Urban Gardening“ die Kommunikation.

Als Mooswand erzeugt  
die T-Cell ein angenehmes  
Mikroklima.



# Designvielfalt





Eine T-Cell mit 270 kW Leistung kann bis zu 50 Haushalte dezentral versorgen.

# Dezentrale Nutzung und Fertigung

Die T-Cell ist ein **intelligent vernetzter, dezentraler Energieversorger und erzeugt regionale Wertschöpfung.**

Die T-Cell deckt den lokalen Strombedarf und stellt zusätzlich Wärmeenergie bereit, indem sie die Restwärme aus der Stromerzeugung den umliegenden Gebäuden zur Verfügung stellt.

Verteilt über ganz Deutschland erzeugt die T-Cell ein Netz verbundener Energie-Server in einem „Internet der Energie“. Jede T-Cell ist dezentral gesteuert und reagiert intelligent auf lokale Bedarfe. So wird nicht nur das Stromnetz stabilisiert, sondern auch eine widerstandsfähige Infrastruktur erzeugt, die einfach gewartet werden kann. Die Dezentralität ermöglicht eine hohe Dynamik des Systems: Einzelne T-Cell-Module können gezielt in den Stand-By-Modus versetzt und wieder hochgefahren werden, um genau so viel Energie zu produzieren, wie es der Bedarf verlangt. Ein Energieüberschuss oder -mangel wird so vermieden.

Durch eine T-Cell mit 270 kW Leistung können beispielsweise bis zu 50 Haushalte gleichzeitig mit Strom und Wärme versorgt werden. Steigt der lokale Bedarf, kann die T-Cell dank der intelligenten Vernetzung zusätzliche Leistung einer weiteren T-Cell in der Nähe anfordern. Geht der Bedarf zurück, zum Beispiel in der Nacht, passt die T-Cell ihr Leistungsniveau an und wechselt in einen sparsamen Betriebsmodus.

Die modulare Konstruktion der T-Cell ermöglicht es, Komponenten in einem dezentralen Smart-Factory-System herzustellen. So sind eine schnelle und gezielte Bereitstellung sowie eine reibungslose Wartung durch lokale Verantwortliche möglich und der logistische Aufwand wird auf ein Minimum reduziert. Zudem entsteht regionale Wertschöpfung in Maschinen- und Anlagenbetrieben.

# Skalierbarkeit

Ihr modularer Aufbau macht die T-Cell in ihrer Leistung skalierbar und sorgt gemeinsam mit der Brennstoff-Flexibilität für vielseitige Anwendungsmöglichkeiten.

Die T-Cell ist in Leistungsklassen von 250 Kilowatt bis 1,5 Megawatt ausführbar. Sie ist von der Bedarfsdeckung in der Einfamilienhaussiedlung bis hin zur großmaßstäblichen Versorgung in der Stadt oder im Transportwesen einsatzfähig.

Zusätzlich zur dezentralen Betriebsweise kann die T-Cell kombiniert in einem Cluster mit der Leistung eines Kraftwerks betrieben werden, um Energiebedarfe auf nationalem Maßstab zu decken. Die T-Cell ist durch ihren modularen Aufbau zuverlässig und in ihrer Leistung hochgradig flexibel.

Die höchste Effizienz wird an Standorten erreicht, an denen sowohl der Strom als auch die Abwärme, zum Beispiel als Prozesswärme oder zu Klimatisierungszwecken, genutzt werden können. Denkbar ist auch eine gekoppelte Energieversorgung, bei der der industrielle Komplex wesentliche Teile des Stromes nutzt, während die Abwärme zur städtischen Fernwärmeversorgung oder zur Beheizung von Gewächshäusern, Klimatisierung von Krankenhäusern, Produktionsstätten oder ähnlichen Einrichtungen dient.



Als Cluster betrieben ist die T-Cell in hohem Maße skalierbar.



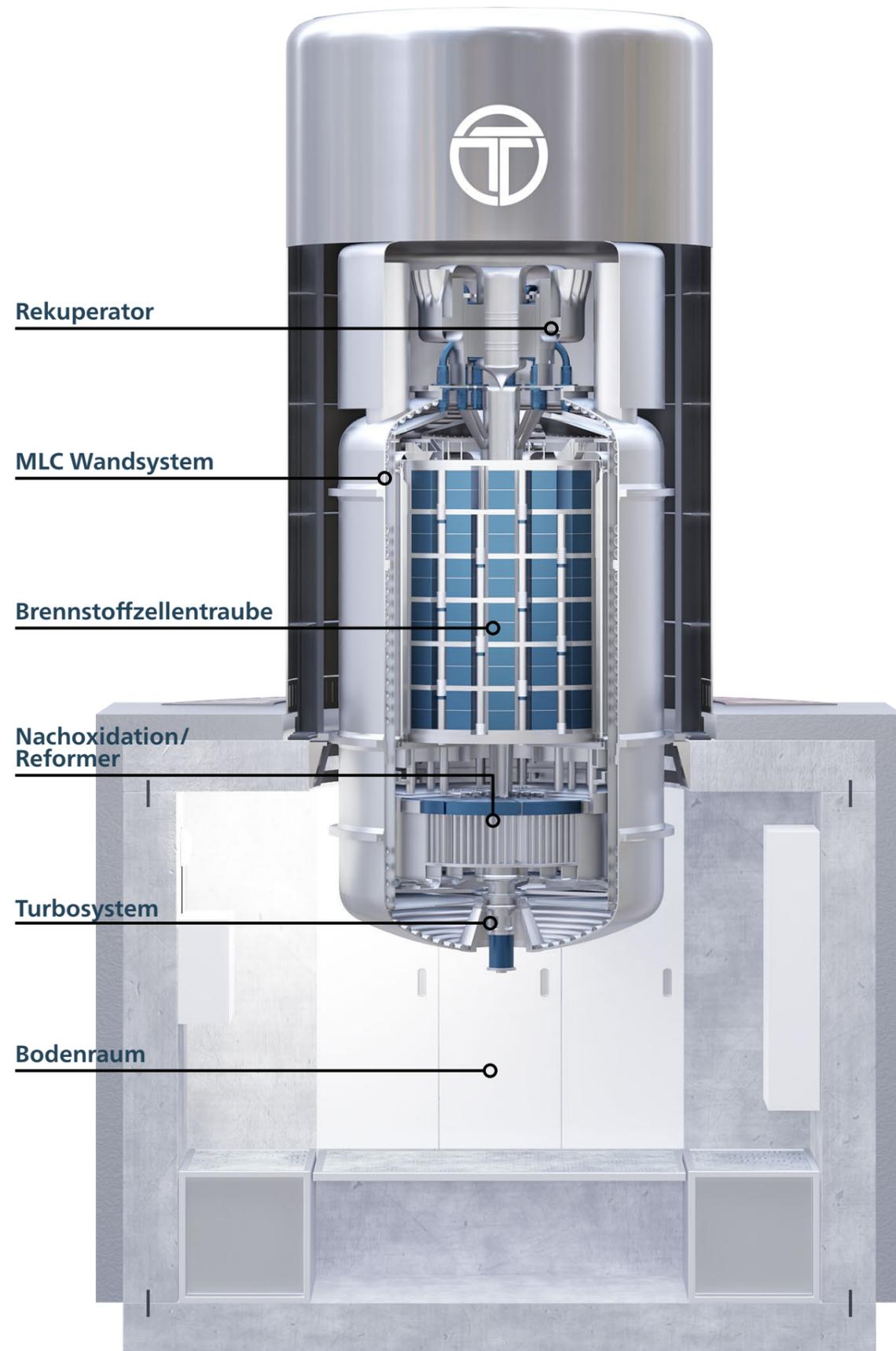
# Interdisziplinärer Wissenstransfer

**Zehn Lehrstühle der Brandenburgischen Technischen Universität Cottbus-Senftenberg arbeiten gemeinsam mit dem Fraunhofer-Institut für Keramische Technologien und Systeme IKTS an dieser zukunftsfähigen Lösung für die Energiewende.**

Im Rahmen des Wissenschaftstransfers soll die T-Cell Kommunen und Unternehmen zur Verfügung stehen und die Energiewende sowohl national als auch im internationalen Kontext umsetzen helfen. Das Projekt finanziert sich aus einer Förderung des Bundesministeriums für Wirtschaft und Energie.

Das interdisziplinäre Team aus 33 akademischen Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern setzt sich zusammen aus verschiedenen Bereichen der Ingenieurwissenschaften:

Von Architektur über Antriebs-, Hochspannungs- und Schweißtechnik, Thermodynamik und Fertigung bis hin zu Triebwerksdesign, angewandter Physik, Fahrzeug-, Strömungs- und Gasdynamik erfolgt ein intensiver Austausch wissenschaftlicher Kompetenzen mit der Motivation, gemeinsam einen Energieserver zu entwickeln, der uns eine nachhaltige Zukunft ermöglicht. Dieses stark vernetzte interdisziplinäre Vorgehen ist ein Alleinstellungsmerkmal der T-Cell-Entwicklung und gründet sich auf das Vertrauen in den Fortschritt durch interdisziplinäre Zusammenarbeit.



# Die T-Cell Technologie

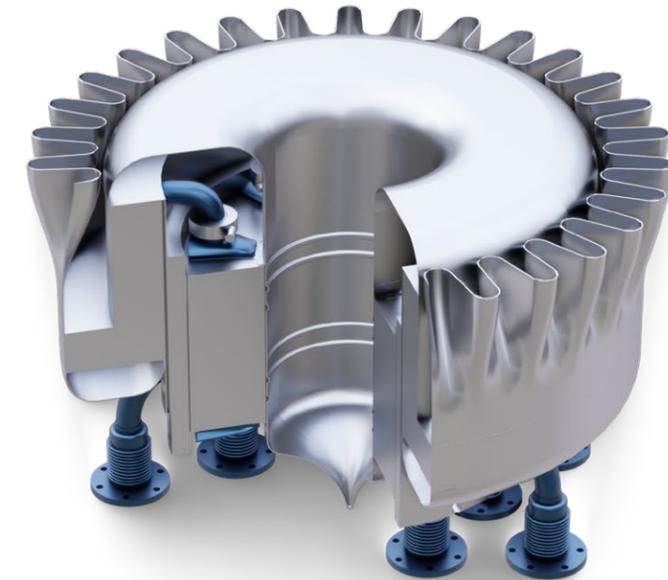
**Die T-Cell kombiniert die Technologien einer Mikrogasturbine und einer Hochtemperatur-Brennstoffzelle.**

Die Stromerzeugung erfolgt durch Kombination einer Turbomaschine mit der innovativen Hochtemperatur-Brennstoffzellen-Technologie. Der Teil der Brennstoffenergie, den die Brennstoffzelle nicht in Strom umwandelt, steht der Turbomaschine als Wärme für die weitere Verstromung zur Verfügung. So entsteht zusätzlicher Strom und es wird ein deutlich höherer Wirkungsgrad im Vergleich zu einem reinen Brennstoffzellenprozess erreicht.

Die hohe Effizienz der Technologie ergibt sich aus der kompakten, temperaturgerechten Anordnung der Bauteile innerhalb eines Kammer-Systems. Die entstehende Abwärme wird zur Bedarfsdeckung wieder in andere Baugruppen eingespeist. Ein zentraler Wärmetauscher erhitzt die komprimierte Luft mit der Wärme des austretenden Abgases. Durch diese Technologie erreicht die T-Cell den Weltrekord im elektrischen Wirkungsgrad.

# Turbosystem

Das am unteren Abschluss der Maschine angeordnete Turbosystem beherbergt drei Komponenten: Den Kompressor, die Turbine und den Generator. Betrachtet man die Energiewandlung in der T-Cell in linearer Abfolge, beginnt sie beim Kompressor: Er verdichtet die angesaugte Frischluft und erhöht so die Effizienz des Systems.



# Rekuperator

Nach der Verdichtung durchläuft die komprimierte Frischluft den Wärmetauscher, wo sie im Gegenstrom zum Abgas vorgewärmt und anschließend in die Brennstoffzellentraube eingeleitet wird.



# MLC-Wandsystem

Maßgeblich für das Funktionieren des beschriebenen Prozesses ist das kompakte, mehrlagige Wandsystem (Multi-Layer-Containment, MLC), das alle Komponenten umfasst. Durch eine temperaturgerechte Schichtung der Stoffkreisläufe vereinfacht es die zu erfüllenden Zulassungsbedingungen im Hinblick auf die nach außen

wirkende Temperatur und minimiert den Isolieraufwand sowie die Wärmeverluste. Es dient in diesem Sinne an der inneren Behälterwand der Vorwärmung der Zuluft nach Durchlaufen des Wärmetauschers und vor Eintritt in die Brennstoffzelle.

# Reformer

Im Reformer wird der Brennstoff, zum Beispiel Grün- oder Erdgas, mit Wasserdampf zu einem wasserstoffreichen Synthesegas umgewandelt. Dieses Synthesegas wird in die Brennstoffzellentraube eingeleitet und dort Strom erzeugend umgesetzt.

# Brennstoffzelle

In der Brennstoffzellenraube liegt der Kern des Prozesses der Energieumwandlung: Sie besteht aus zwei Lagen konzentrischer Zylinder, die aus symmetrisch aufeinander gestapelten, keramischen Brennstoffzellen bestehen. Jede dieser Zellen verfügt über zwei Seiten, die durch eine keramische Membran getrennt sind:

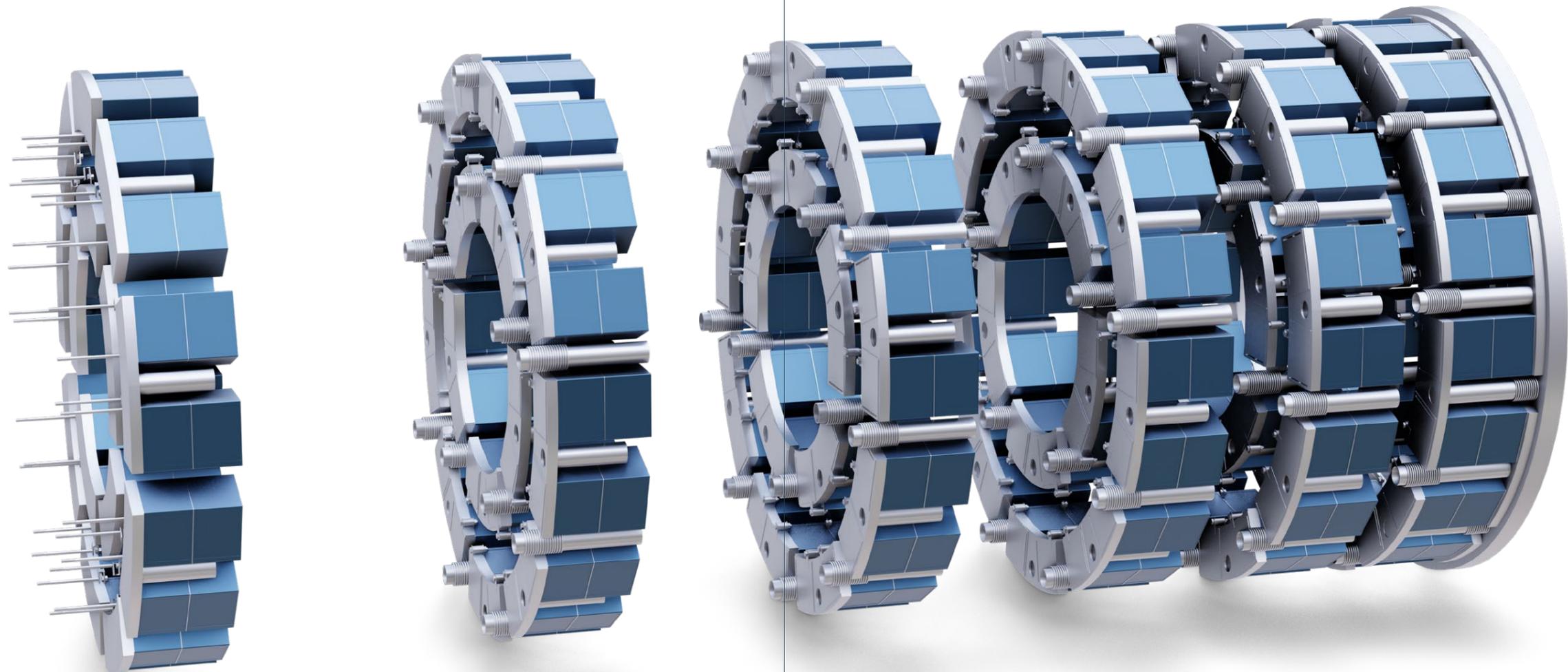
Auf der einen Seite strömt das Synthesegas aus

dem Reformer ein und auf der anderen Seite die erwärmte Frischluft aus dem Wärmetauscher. So wird ein chemisches Potenzial gebildet. Dem keramischen Material wohnt die Eigenschaft inne, bei der vorherrschenden Prozesstemperatur leitfähig für Sauerstoff-Ionen zu werden.

Durch die Abgabe von Elektronen und der Sauerstoffpartialdruckdifferenz werden Sauer-

stoff-Ionen über Leerstellen von der Luft auf die Synthesegasseite geleitet und bilden ein elektrisches Potenzial. Dieses elektrische Potenzial kann extern als elektrische Leistung des Systems genutzt werden. Die Hochtemperatur-Brennstoffzelle wird mit einem unvollkommenen Gasumsatz betrieben, sodass Restgase im Nachbrenner umgesetzt werden müssen. Dadurch

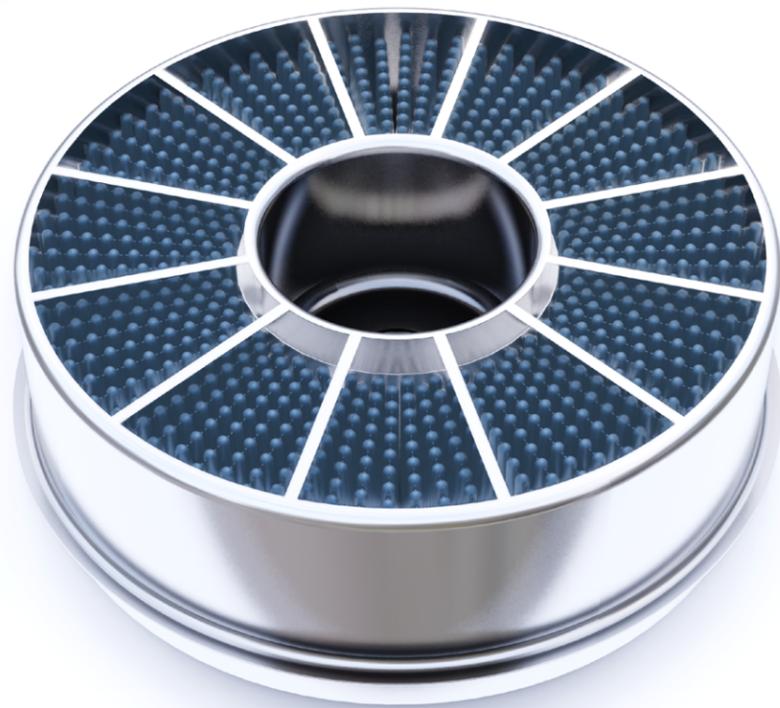
wird Wärme für den Gasturbinenprozess zur Verfügung gestellt, der elektrischen Strom über einen Generator erzeugt, den Betriebsdruck herstellt sowie die Luftversorgung der Hochtemperatur-Brennstoffzellen übernimmt.



# Nachoxidation

Da in der Brennstoffzellentraube nicht die gesamte Menge des Synthesegases konvertiert wird, erfolgt im Anschluss eine Nachoxidation des Rest-Synthesegases. Die hierbei gewonnene Wärme wird teilweise als Prozesswärme an den Reformier zur Herstellung des zuzuführenden Synthesegases abgegeben und

teilweise gemeinsam mit der Wärme aus der Brennstoffzellentraube an die Turbine überführt und dort in mechanische Energie für den Verdichterantrieb und für eine zusätzliche Stromgenerierung von bis zu 40 kW eingesetzt.



# Generator

Wieder im Turbosystems angelangt, erfolgt nun die Expansion der heißen Verbrennungsgase durch die Turbine. Durch diese Expansion werden der eingangs beschriebene Kompressor sowie ein Hochenergiemagnet angetrieben. Der durch die Turbine angetriebene, luftgelagerte

Hochenergiemagnet bildet als Teil eines Generators die zweite Strom erzeugende Komponente der T-Cell und liefert hochfrequenten Wechselstrom. Der „Zyklus“ der Stromerzeugung ist damit geschlossen. Es entsteht die Energie der Zukunft.

# Stoffströme

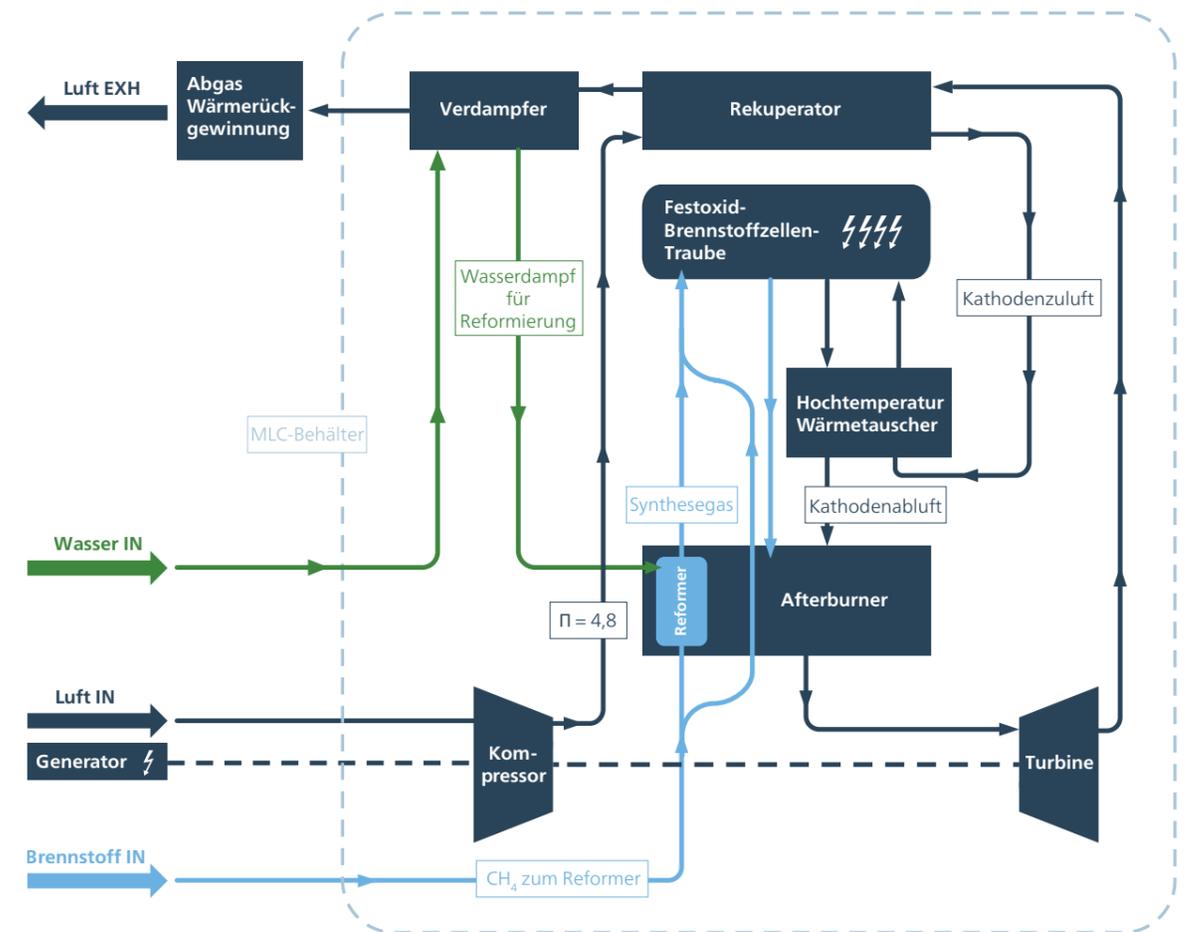
## Der Prozess der Stromerzeugung in der T-Cell beruht auf der Verarbeitung von drei Stoffströmen: Luft, Wasser und Brennstoff

Der Luftstrom beginnt mit der Ansaugung der Frischluft, die anschließend im Turboverdichter komprimiert wird. Die komprimierte Luft wird im Rekuperator vorgewärmt. Die erhitzte Luft durchströmt die Brennstoffzellen. Die Kathodenabluft passiert die Nachoxidation und treibt die Mikrogasturbine an. Im Rekuperator wird Wärme aus der Abluft zurückgewonnen. Im Abgaswärmetauscher wird die Restwärme ausgekoppelt.

Im Anschluss verdampft Wasser in einem Dampferzeuger. Wasserdampf und Brennstoff werden zusammengeführt und überhitzt. Das Dampf-Brennstoff-Gemisch wird in den Reformier geleitet und reagiert zu einem Synthesegas.

Das Synthesegas passiert die Brennstoffzelle, wo es mit dem Sauerstoff des Luftstroms galvanisch umgesetzt wird. Durch diese Reaktion wird Strom erzeugt.

Die Rest-Brennluft reagiert mit dem Rest-Brenn-gas in der Nachoxidation. Dabei wird Prozess-wärme auf den Reformier übertragen. Die Abluft durchströmt im Anschluss an die Nachoxidation die Turbine und erzeugt die mechanische Energie zum Antrieb des Verdichters und des Generators. Die Restwärme des Prozesses wird nach Durchlaufen des Rekuperators und des Verdampfers im Niedertemperatur-Abgaswärmetauscher zur Deckung des Heizwärmebedarfs in umliegenden Gebäuden ausgekoppelt.



Funktionsschema des hochintegrierten T-Cell-Prozesses



# Bodenraum

## Der Bodenraum bietet die **Schnittstelle** der T-Cell zum öffentlichen Versorgungsnetz.

Als Schnittstelle zum öffentlichen Versorgungsnetz beherbergt der Bodenraum den Fernwärmeanschluss und den Brennstoffanschluss sowie Stromeinspeisung und Wasserversorgung für die Anlage. Darüber hinaus dient er als Behausung der Anlagenschalttechnik und der Batteriespeicher zur Gewährleistung der Leistungsdynamik der T-Cell. Über eine Revisionsöffnung in der Deckenplatte kann die Wartung der T-Cell unmittelbar aus dem Bodenraum heraus erfolgen. So können die Komponenten Turbosystem und Nachoxidation/Reformer für Reparaturarbeiten erreicht werden, ohne die gesamte Maschine zurückbauen zu müssen.

Durch die Konstruktion aus wasserundurchlässigem Beton mit einem hohen Maß an Vorfertigung weist der Bodenraum eine kurze Bauzeit und einen geringen Wartungsaufwand auf. Seine unterirdische Anordnung hält den öffentlichen Raum frei von störenden technischen Anlagen und eröffnet Möglichkeiten für die Nutzung der T-Cell auch an öffentlichen Räumen mit begrenztem Platzbedarf wie beispielsweise Nahverkehrshaltestellen.

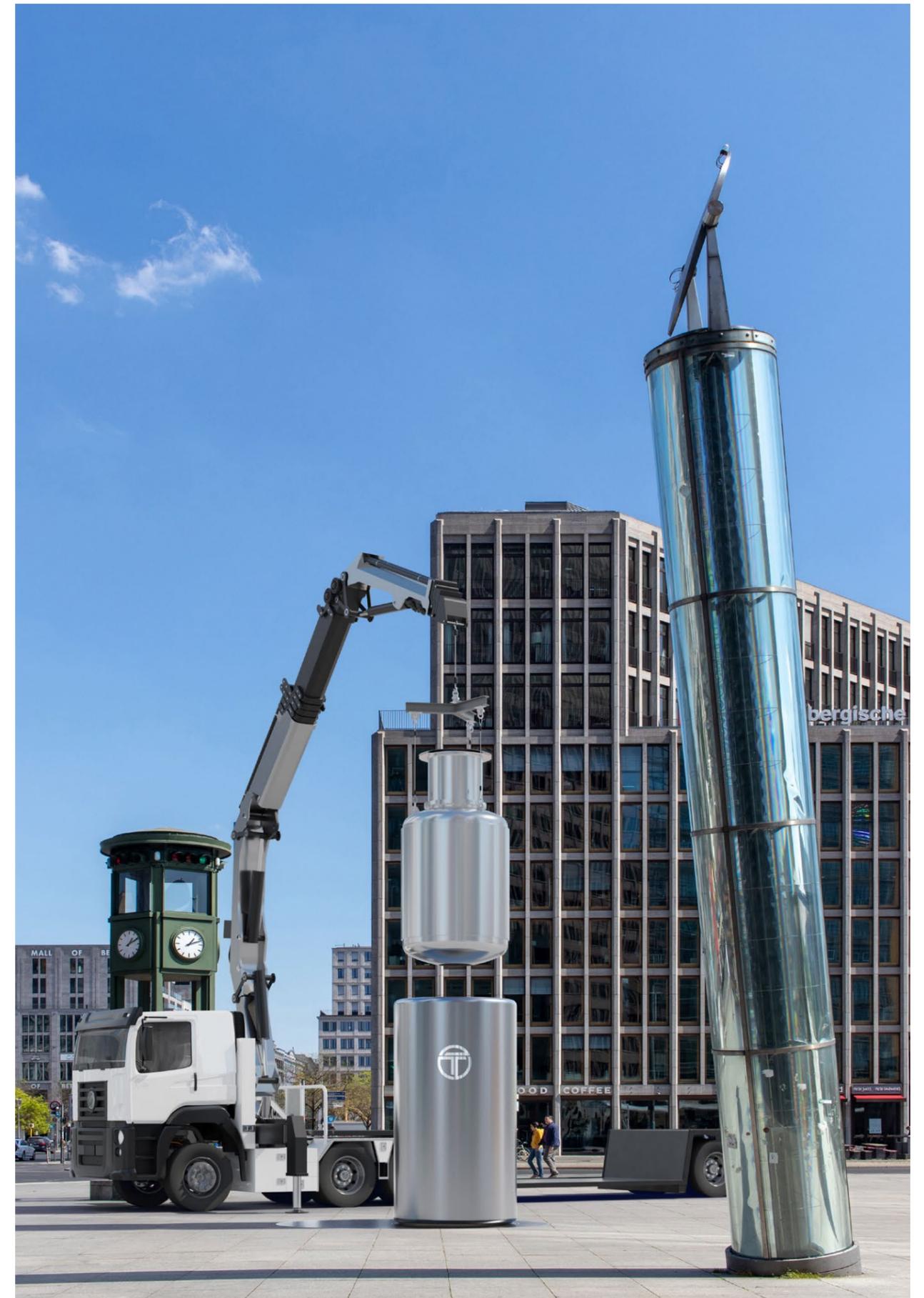
# Äußere Hülle

Die multifunktionale Außenhülle verleiht der T-Cell ihr individuelles **Erscheinungsbild** und **schützt sie vor äußeren Einwirkungen**.

Durch das vielfältige Design ihrer Außenhülle kann die T-Cell in unterschiedliche Kontexte integriert werden und auf verschiedenste Nutzeranforderungen reagieren. Als Objekt im öffentlichen Raum unterliegt sie hohen Sicherheitsanforderungen. Die Außenhülle dient als Anfahrtschutz und macht die T-Cell terrrorsicher. Darüber hinaus übernimmt sie bauliche Schutzfunktionen gegen klimatische Einwirkungen und reduziert die Schallemission der T-Cell auf ein nicht wahrnehmbares Minimum. Als thermisch wirksame Hülle sorgt sie für eine regulierte Oberflächentemperatur der Anlage und

minimiert sowohl Wärmeverluste bei Anwendung im Außenraum als auch Wärmeeinträge bei Anwendung im Innenraum.

Abseits ihrer Schutzfunktion ermöglicht die äußere Hülle zudem eine reibungslose Wartung der T-Cell. Muss eine Maschine zur Wartung in einer Service-Facility demontiert werden, verbleibt die Hülle eigenständig am Standort und wahrt die Erscheinung der Anlage im öffentlichen Raum auch während der Wartung.







## Impressum

### Herausgeber:

BTU Cottbus-Senftenberg  
Lehrstuhl Verbrennungskraftmaschinen und Flugantriebe  
Univ.-Prof. Dr.-Ing. Heinz Peter Berg  
Siemens-Halske-Ring 14  
03046 Cottbus  
peter.berg@b-tu.de

### Produktdesign und Grafikdesign:

Lehrstuhl Architektur und Visualisierung  
BTU Cottbus-Senftenberg  
Univ.-Prof. Dipl.-Ing. Dominik Lengyel  
Dipl.-Ing. Architektin Catherine Toulouse  
M.A. Ferdinand List

### Redaktionsschluss:

September 2021

### Fotos und Visualisierungen:

Lehrstuhl Architektur und Visualisierung  
Foto Seite 25 mit Genehmigung von Prof. Dr. Berg & Kießling GmbH

### Beteiligte Fachgebiete der BTU Cottbus-Senftenberg

Verbrennungskraftmaschinen und Flugantriebe  
Univ.-Prof. Dr.-Ing. Heinz Peter Berg

Füge- und Schweißtechnik  
Univ.-Prof. Dr.-Ing. habil. Vesselin Michailov

Thermodynamik/Thermische Verfahrenstechnik  
Univ.-Prof. Dr.-Ing. Fabian Mauß

Konstruktion und Fertigung  
kommissarisch Univ.-Prof. Dr.-Ing. habil. Sabine Weiß

Flugtriebwerksdesign  
Univ.-Prof. Dr.-Ing. Klaus Höschler

Angewandte Physik und Halbleiterspektroskopie  
Univ.-Prof. Dr. rer. nat. habil. Jan Ingo Flege

Numerische Strömungs- und Gasdynamik  
Univ.-Prof. Dr.-Ing. Heiko Schmidt

Architektur und Visualisierung  
Univ.-Prof. Dipl.-Ing. Dominik Lengyel

Energieverteilung und Hochspannungstechnik  
Univ.-Prof. Dr.-Ing. Harald Schwarz; M.Sc. Kristian Platta

Technische Mechanik und Fahrzeugdynamik  
Univ.-Prof. Dr.-Ing. habil. Hon. Prof. (NUST) Dieter Bestle

Fahrzeugtechnik und -antriebe  
komm. Leiter Univ.-Prof. Dr.-Ing. Heinz Peter Berg

### Fraunhofer-Institut für Keramische Technologien und Systeme IKTS Dresden

Werkstoffe und Komponenten: Keramische Energiewandler  
Dr.-Ing. Stefan Megel  
M. Sc. Christian Eckart

Chemische Verfahrenstechnik  
Dr.-Ing. habil. Matthias Jahn  
Dipl.-Ing. Aniko Walther



Brandenburgische Technische Universität  
Cottbus-Senftenberg  
[www.b-tu.de/t-cell](http://www.b-tu.de/t-cell)

Univ.-Prof. Dr.-Ing. Heinz Peter Berg  
Siemens-Halske-Ring 14  
03046 Cottbus  
0355 69-4592  
[peter.berg@b-tu.de](mailto:peter.berg@b-tu.de)

