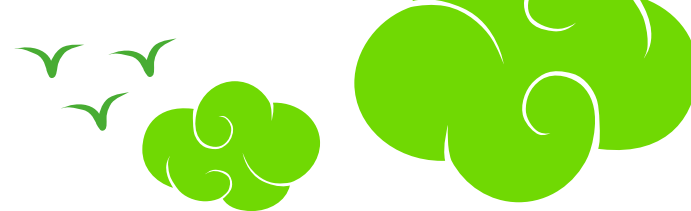


# Cleantech Energy Crossing

Grenzüberschreitende Zusammenarbeit in der Entwicklung von Cleantech Innovationen





Die Energiewende kann mir nicht schnell genug gehen. Im vergangenen Jahr, in dem der Ausbruch der COVID-19-Pandemie die Welt zum Stillstand brachte, sanken die CO<sub>2</sub>-Emissionen drastisch und der Energieverbrauch ging um 8 % zurück. Um die Pariser Klimaziele zu erreichen, müssten wir jedoch jedes Jahr die Emissionen um die gleiche Menge reduzieren wie im Jahr 2020. Das heutige Tempo ist viel zu langsam. Wir müssen unbedingt beschleunigen, weltweit. Eine Beschleunigung lässt sich erreichen, wenn wir neue und intelligente Lösungen und Produkte entwickeln, wenn wir branchen- und länderübergreifend zusammenarbeiten und wenn von staatlicher Seite neue politische Maßnahmen ergriffen werden. Deswegen ist es umso erfreulicher, dass wir Ihnen heute den Abschlussbericht zum Cleantech Energy Crossing Projekt präsentieren können. In diesem Bericht werden 15 neu entwickelte und weiterentwickelte Produkte, Pläne und Ideen beschrieben, die nicht nur helfen, die Energiewende zu beschleunigen, sondern auch eine Inspiration für viele andere sind.

Die Energiewende ist nicht nur Aufgabe des Energiesektors. Auch die Schwerindustrie, der Transportsektor und die gebaute Umwelt werden diese Wende in den kommenden Jahren vollziehen müssen. Das Projekt Clean Energy Crossing konzentrierte sich auf die gebaute Umwelt: Lösungen für Privathäuser und Lösungen für Einrichtungen mit eigener Stromversorgung wie Campus, Einkaufszentren und autarke Stadtteile. In den letzten vier Jahren haben Dutzende von engagierten Organisationen aus der Wirtschaft und dem Bildungs- und Forschungsbereich in den Niederlanden und Deutschland intensiv zusammengearbeitet, um neue Produkte zu entwickeln. Unter der inspirierenden Leitung der Mitarbeiter der Stichting Kiemt und der EnergieAgentur.NRW wurden schließlich Lösungen sowohl für das unmittelbare Wohnumfeld als auch für Micro-Grids gefunden. Dies zeigt einmal mehr, dass die Zusammenarbeit entscheidend ist - zwischen Experten, Industriezweigen und zwischen Ländern. Das Projekt Cleantech Energy Crossing bestätigt ebenfalls, dass neue Technologien und Innovationen kombiniert werden

müssen, um letztlich die Beschleunigung der Wende zu erreichen. Speichertechnologien ermöglichen nachhaltiges Heizen und Kühlen und verschiedene Arten von Kleinbatterien werden benötigt, um sicherzustellen, dass wir zu Hause nicht nur Strom erzeugen, sondern diesen Strom auch tatsächlich nutzen können. Größere Batterielösungen werden für Gewerbegebiete, Schulen und Industrie benötigt. Dieses Projekt bietet Lösungen in all diesen Bereichen. Es hat nicht nur 15 Produkte hervorgebracht, sondern auch für Inspiration und einen Wissens- und Gedankenaustausch zwischen allen Beteiligten gesorgt. Darauf können wir weiter aufbauen.

Allerdings ist das Bild der Energiewende mit Wirtschaft, Forschung und Bildung allein nicht vollständig. Auch der Staat spielt eine entscheidende Rolle: mit finanzieller Unterstützung für Innovationen, Partnerschaften und neuen Rechtsvorschriften. Ohne die Unterstützung der Europäischen Union, des niederländischen Wirtschaftsministeriums, des Ministerium für Wirtschaft, Innovation, Digitalisierung und Energie des Landes Nordrhein-Westfalen und der Provinzen Gelderland, Brabant und Limburg wären wir nicht in der Lage, Ihnen heute dieses phantastische Ergebnis zu präsentieren. Ein Staat, der unterstützt, inspiriert und den Weg für eine saubere und sichere Zukunft für alle ebnet, das ist es, was wir für die kommenden Jahrzehnte brauchen.

Ich möchte mich bei allen Beteiligten bedanken, die an diesem gleichermaßen wichtigen wie inspirierenden Projekt mitgewirkt haben. Auf zur nächsten Phase, in der wir erneut beschleunigen müssen.

**Caroline Kamerbeek**  
*Vorstandsvorsitzende Stichting Kiemt*  
*Director Marketing, Communications, Policy*  
*Energy Systems bei DNV*



## – Leseanleitung zum Abschlussbericht des Projekts Cleantech Energy Crossing +

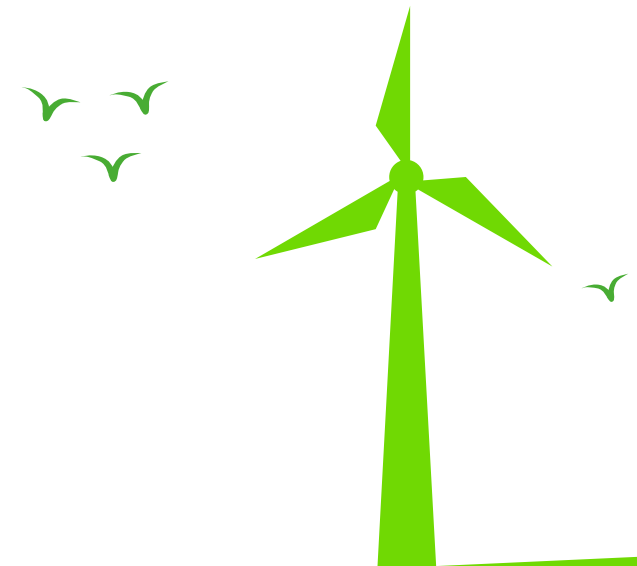
Das Cleantech Energy Crossing Projekt fördert die grenzüberschreitende Zusammenarbeit zwischen niederländischen und deutschen Organisationen, die sich mit der Entwicklung von Cleantech-Innovationen befassen. Dabei handelt es sich konkret um Innovationen, die darauf abzielen, die gebaute Umwelt nachhaltiger zu gestalten, einschließlich der lokalen Energieinfrastruktur. Diese Produktinnovationen tragen zur Energiewende in der gebauten Umwelt bei. In diesem Projekt haben sich die Stichting Kiemt und die EnergieAgentur.NRW in einem Konsortium aus mehr als 40 KMU sowie Wissens- und Forschungsinstituten zusammengeschlossen, um die Produktinnovationen in der Grenzregion von Nordrhein-Westfalen und den niederländischen Provinzen Gelderland, Brabant, Limburg und Overijssel voranzutreiben. Die Produktinnovationen wurden in drei Arbeitspakete unterteilt und werden in der vorliegenden Bürgerversion des Abschlussberichts in dieser Reihenfolge beschrieben.

**Das Arbeitspaket 1** mit dem Titel *Sustainable heating & cooling* konzentriert sich auf innovative Heiz- und Kühltechnologien. Innerhalb dieses Arbeitspakets wurden 11 Produktinnovationen von KMUs entwickelt. Die Innovationen wurden in folgenden Bereichen entwickelt: Solarenergie, Solarthermie, thermoelektrische Wandelemente und Produkte für die Heizung und Kühlung von Gebäuden. Schließlich wurde auch eine vergleichende Studie zwischen diesen Arten von Innovationen durchgeführt. Ein speziell entwickeltes IT-Tool gibt Aufschluss über die Anwendbarkeit der verschiedenen Produkte für unterschiedliche Gebäudetypen.

**Das Arbeitspaket 2** mit dem Titel *Batteries@Home* konzentriert sich auf die Entwicklung von Kleinbatterietechnologie zur Speicherung von Strom im häuslichen Sektor. Dadurch können

die Speicherkapazität und die Eigenverbrauchsquote von selbst erzeugtem Strom in Haushalten erhöht werden. Innerhalb dieses Arbeitspakets wurden zwei Batterietypen weiterentwickelt: die Bleikristallbatterie und die Natrium-Schwefel-Batterie. Die Batterien wurden in Demohäusern implementiert und ihre Leistung wurde untersucht. Mit Hilfe eines Auswahl-Tools können die Batterien miteinander verglichen werden.

**Arbeitspaket 3** mit dem Titel *Micro-Grid Storage* konzentriert sich auf die Entwicklung größerer Batterietechnologien in einer Micro-Grid-Umgebung. Diese Batterien zielen auf die lokale Energieversorgung ab, indem sie u.a. durch Wind- und Sonnenenergie erzeugten Strom speichern. Innerhalb dieses Arbeitspakets wurden 2 Batterietechnologien weiterentwickelt: die Meersalzbatterie und die Brom-Wasserstoff-Fluss-Batterie. Diese Batterien wurden an verschiedenen Standorten getestet und demonstriert, und auf der Grundlage der gewonnenen Erkenntnisse wurden verschiedene Geschäftsmodelle ausgearbeitet.



## Das Arbeitspaket 1

Einleitung Arbeitspaket 1.....	4
Solar Energy Booster.....	5
Energiedach.....	7
Q-Roof.....	9
Biogas Turbine.....	11
PVT-Solarkollektor.....	13
BEAUsolar.....	15
Active Wall.....	17
Supro Cooling.....	19
Infrarot Heizelemente.....	21
Bioenergie-Kraft-Wärme-Kopplung.....	23
Vergleichsstudie zur Wärmeversorgung.....	25
Online IT-tool.....	27

## Das Arbeitspaket 2

Einleitung Arbeitspaket 2.....	29
Natrium-Schwefel-Batterie.....	31
Bleikristallbatterie.....	33
Ergebnissen der Praxistests.....	35

Arbeitsbereich.....	40
---------------------	----

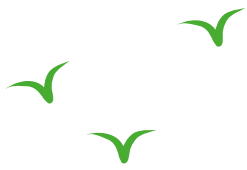
## Das Arbeitspaket 3

Einleitung Arbeitspaket 3.....	41
Meersalzbatterie.....	43
Brom-Wasserstoff-Flussbatterie.....	45
Teststandort Aardehuizen, Olst.....	47
Teststandort De Wijk van Morgen, Heerlen.....	49
Teststandort IPKW, Arnhem.....	51

Vielen Dank an alle Partner.....	53
----------------------------------	----



Fotos im Uhrzeigersinn v.l.n.r.:  
- Q-roof (Chatim B.V.)  
- ActiveWall (Saint Trofee)  
- Supro Cooling (Supro New Business B.V.)  
- Energiedak (SolarTech International B.V.)



# Einleitung Arbeitspaket 1



## *Sustainable heating & cooling*

Für dieses Arbeitspaket wurden 11 innovative Produkte im Bereich der nachhaltigen Heiz- und Kühltechniken von KMU entwickelt. Diese Produkte zielen auf eine nachhaltigere Gestaltung der gebauten Umwelt ab. Die 11 verschiedenen Produkte befanden sich in unterschiedlichen Entwicklungsstadien und konzentrieren sich auf folgende Bereiche: Solarenergie, Solarthermie, thermoelektrische Wandelemente und Produkte zum Heizen und Kühlen von Gebäuden.

Diese Produkte wurden mit Hilfe der grenzüberschreitenden Zusammenarbeit entwickelt, um sie auf den Markt zu bringen. Die Unternehmer wurden dabei von Experten aus dem Markt und durch den Wissensaustausch und die Zusammenarbeit im Rahmen des Projekts unterstützt. Es wurden neun Treffen zwischen Produktentwicklern organisiert, die dem Wissensaustausch dienten. Darüber hinaus fanden 10 Treffen zwischen Produktentwicklern und Experten aus dem Markt statt. Die neuen Technologien wurden zu Prototypen weiterentwickelt, die anschließend in betrieblichen Umgebungen getestet wurden. In einer Reihe von Fällen wurden die Prototypen mit Hilfe des GWI Essen in der Praxis getestet und wurden die Ergebnisse mit verschiedenen Technologien verglichen. In einigen Fällen wurde Mess- und Regeltechnik zur Integration in ein Gesamtsystem entwickelt.

Es wurde ein IT-Tool entwickelt, um Abnehmern und potenziellen Kunden einen Einblick in die verschiedenen Heiz- und Kühlsysteme zu vermitteln. Potenzielle Kunden können damit die verschiedenen Systeme vergleichen und feststellen, welches System für ein bestimmtes Gebäude am besten geeignet ist. Das IT-Tool vergleicht technische und wirtschaftliche Optionen und berücksichtigt dabei unterschiedliche (internationale) Gebäudetypen. Das IT-Tool ist technisch einsatzbereit und wird

2021 mit Inhalten und Produkten ausgestattet. Das IT-Tool ist zu finden unter: [www.eyegreen.eu](http://www.eyegreen.eu).

Schließlich wurden die Ziele erreicht, denn 11 Produkte (von 10 Unternehmen) sind technisch einsatzbereit und (zeitnah) für die Verbraucher verfügbar. In diesem Kapitel beschreiben die Unternehmen selbst, welche Produkte sie entwickelt haben und wie diese Entwicklung im Rahmen des Projekts verlaufen ist. Am Ende des Kapitels beschreibt das GWI Essen in einer vergleichenden Studie die verschiedenen Wärmeversorgungssysteme für Einfamilienhäuser.



# – Solar Energy Booster | Jan Putman Beheer B.V. +

## Produkt

Der Solar Energy Booster verleiht bestehenden Solarmodulen einen Boost. Die Wärme wird zum Heizen eines Hauses abgeführt, während die Sonnenkollektoren mit einer Flüssigkeit gekühlt werden. Damit wird der Wirkungsgrad der Kollektoren erhöht. Die Kombination einer PV-Anlage mit einer thermischen Anlage ist nicht ganz neu. Der Solar Energy Booster unterscheidet sich dadurch von herkömmlichen Systemen, dass er ein separater Wärmetauscher ist. Dadurch entsteht ein universelles thermisches System, das für PV-Module unterschiedlicher Größe eingesetzt werden kann.

## Entwicklung und Zusammenarbeit

Eine der Herausforderungen bestand darin, die Temperatur der Wärme aus der SEB-Platte zu regulieren. Die Intensität der Sonne ist unterschiedlich, das gilt demnach auch für das Temperaturangebot der Wärmepumpe. Eine Effizienzsteigerung wäre möglich, wenn die zugeführte Temperatur konstant wäre. Durch die Speicherung von Wärme in einem Puffer (eventuell mit Phase Changing Materials [PCM], siehe unten) bleibt die Temperatur konstant. Die Firma Movements Group hat Untersuchungen zur Überwachung der erzeugten Wärme und der Effizienz der Übertragung dieser Wärme auf Heizung und Warmwasserversorgung durchgeführt. Zu diesem Zweck hat sie eine Software entwickelt, die es ermöglicht, zu bestimmten Zeiten gezielt zu heizen oder zu laden. Auf diese Weise kann die tagsüber erzeugte Wärme am Abend zur Wärmeversorgung genutzt werden.

## SOLAR ENERGY BOOSTER

BOOST YOUR SOLAR PANEL

Momentan wird mit der Hogeschool Arnhem & Nijmegen (HAN) zusammengearbeitet. Sie entwickeln eine Kunststoffdachdurchführung und ein Ableitungssystem für die Wärmepumpe und den Kessel hinter dem Kniestock. Darüber hinaus arbeitet Solar Energy Booster auch eng mit der Firma MTT energy von Thomas Niemann zusammen, mit der zwei Pilotprojekte bei der Familie Loeters und der Familie Raben in Didam gestartet wurden.



Die Bilder zeigen, wie die Komponenten im Untergrund und im Kniestock angebracht werden.

## Ergebnisse und Zukunft

Bei der Familie Loeters wurde eine Kombination aus 3 Wärmepumpen erprobt, die auf einem Solarfeld mit SEB-Platten und einem unterirdischen Speicher kombiniert wurden. Das Besondere an diesem Projekt ist, dass mehrere Wohnhäuser mit einem einzigen Energiesystem beheizt werden. Dieses Projekt wurde mit Software der Firma Movements Group überwacht. Bei Familie Raben wurde die Kombination aus einem Erdkollektor (dem Energiezaun) und einem Bodenbrunnen getestet. Letzterer ist mit der Solarwärme verbunden und der Energiezaun entzieht dem Erdreich Wärme und Kälte und führt sie ein. Das Einzigartige an dieser Kombination ist die Möglichkeit, Gebäude auch zu kühlen. Dieses Projekt wurde ebenfalls mit Software der Firma Movements Group überwacht.

Solar Energy Booster bespricht zurzeit mit der TU Delft die Möglichkeit eines Projekts, bei dem die Wärme von Sonnenkollektoren mit PCMs gespeichert wird. Es wird daran geforscht, einen Behälter mit PCMs in Kombination mit einer kleinen Wärmepumpe im Knieraum anzubringen, so dass kein unterirdischer Speicher benötigt wird.

Solar Energy Booster  
Jan Putman  
Den Aam 21  
7044 AB Lengel, Niederlande

T. +31 26 8200344  
M. [jan.putman@solarenergybooster.nl](mailto:jan.putman@solarenergybooster.nl)  
W. [www.solarenergybooster.nl](http://www.solarenergybooster.nl)



## Produkt

Das Energiedach® ist in erster Linie ein gewöhnliches Dach, aber unter der Bedachung befindet sich ein patentierter Wärmekollektor. Die Sonneneinstrahlung erwärmt das Dach und über ein ausgeklügeltes Leitungssystem von Kollektoren wird die Wärme „geerntet“. Die oberste Dachschiicht besteht aus einer dunklen und somit hoch absorbierenden Dacheindeckung. Nachts kann dieser Vorgang umgekehrt werden und das Dach zur Kühlung genutzt werden. Die Größe des Energiedaches® wird an den Energiebedarf des Gebäudes unter dem Dach angepasst. Eine Variante des Energiedaches® ist das Energiedach®-Plus, das zusätzlich die Vorteile einer leichten PV-Dacheindeckung bietet. Diese Dünnschicht-PV-Module basieren auf der CIGS-Technologie, einem Dünnschicht-Solarmodul auf der Grundlage von anderen Komponenten, das im Gegensatz zu regulären kristallinen Solarmodulen als eine einzige Solarzelle gelten kann. Energiedach®-Plus liefert also nicht nur Wärme und Kälte, sondern auch Strom.

## Entwicklung und Zusammenarbeit

SolarTech International hat in dem Projekt mit der Technische Universiteit Eindhoven (TU/e), TNO und verschiedenen Marktparteien zusammengearbeitet. Es gab auch intensive Beratungen mit der Firma NRGTEQ (Entwickler und Hersteller von Wärmepumpen) über die von ihr gelieferte Wärmepumpe. SolarTech installierte die gesamte Außenanlage, Re-Source Solar installierte die Innenanlage. Im Rahmen des Projekts wurden integrierte PVT-Wärmepumpensysteme modelliert und simuliert. Zu diesem Zweck wurden die Simulationstools TRNSYS und Polysun verwendet, die dynamische Simulationen ermöglichen. In TRNSYS wurde ein PVT-Wärmepumpensystem simuliert, bei dem die PVT-Wärme als Quellwärme für die Wärmepumpe verwendet wird.



An einem Teststandort der TU/e hat SolarTech eine sogenanntes Energiekap (Energiedach für Schrägdächer) errichtet. Es besteht aus einer Basis-Sandwichplatte (Dachpaneel), auf der nacheinander eine bituminöse Dampfsperre, ein Solarthermie-Dach, eine EPDM-Dachbahn und flexible Miasolé PV-Module angebracht werden. Das Energiedach für Schrägdächer besteht aus zwei separaten Paneelen mit einer Größe von jeweils ca. 6 m<sup>2</sup>. Diese wurden vorgefertigt und zu Solarbeat (Freiluft-Teststandort TU/e) transportiert, mit einem mobilen Turmdrehkran auf das Dach gesetzt und auf der Versuchsanlage montiert.



*Hier ist das Projekt VirTUE abgebildet. Ein Fertighaus, das zunächst auf dem TU/e-Campus errichtet und dann demontiert und nach Dubai transportiert wurde, um dort Ende 2018 am Solar Decathlon-Wettbewerb teilzunehmen, wo ein beeindruckender 6. Platz belegt wurde.*





*Bei dem zweiten Projekt handelt es sich um eine mäßig isolierte Bestandswohnung im niederländischen Oirschot innerhalb des denkmalgeschützten Stadtkerns. Die Wärme vom Dach wird für mehrere Zwecke genutzt: Vorwärmung eines Warmwasserboilers, direkte Steuerung einer 20-kW-Erdwärmepumpe und Regeneration eines geschlossenen Erdwärmesystems. Der Strom wird zum Antrieb der Wärmepumpe umgewandelt. Das Haus ist nicht an das Gasnetz angeschlossen und deckt seinen Energiebedarf selbst.*

W/E adviseurs hat die Möglichkeiten und Grenzen von PVT-Wärmepumpensystemen für die Anwendung in Bestands- und Neubauwohnungen untersucht. Dies wurde durch den Vergleich der Energieleistung, des Energieverbrauchs und der finanziellen Auswirkungen von PVT-Wärmepumpensystemen mit konkurrierenden Techniken für 5 verschiedene Haustypen untersucht. Die konkurrierenden Techniken sind: Luft-Wasser-Wärmepumpe, Erdwärmepumpe und (für Bestandsbauten) die Zentralheizungsanlage.

## Ergebnisse und Zukunft

Für den finanziellen Vergleich wurden die „Total Cost of Ownership“ (TCO) für 15 Jahre berechnet. Die Investition beinhaltet alles, was benötigt wird, um das Haus gasfrei zu machen und mit niedriger Temperatur zu heizen. Im Vergleich zur Luft-Wasser-Wärmepumpe bietet das PVT-Wärmepumpensystem den Vorteil geringerer Energiekosten. Die Investition für eine PVT-WP ist jedoch höher. Im Vergleich zu einer Erdwärmepumpe ist die Investition für eine PVT-WP-Anlage etwas geringer und der Energieeinsatz etwas höher. Die Vorteile von PVT-Wärmepumpen gegenüber Erdwärmepumpen bestehen darin, dass die Bodenbeschaffenheit keine Rolle spielt und dass kein Platz für (Bohr-)Brunnen benötigt wird.

Mit einer ähnlichen Finanzierungsform wie bei Nullenergiehäusern oder dem Energiesparkredit lassen sich vielleicht auch Privatpersonen für diese Technik gewinnen. Die Vorteile sind, dass es keine Geräusche von der Quelle in der Umgebung gibt, dass die Quelle hinter Solarmodulen „versteckt“ ist und dass ein Austausch der Quelle seltener notwendig ist.

Das Produkt Energiekap ist jetzt frei erhältlich und wird als vorgefertigtes System in einem ersten Haus im Projekt Brandevoort Smart District in der niederländischen Gemeinde Helmond eingesetzt.

Energiedak  
A.A.G. Schiebroek  
Noord Brabantlaan 1A  
5652LA Eindhoven, Niederlande

T. +31 (0)40 888 2992 / +31 (0)6 5373 8537  
W. [www.energiedak.nl](http://www.energiedak.nl)

## Produkt

Q-Roof ist ein junges Startup, das ein patentiertes System zur sinnvollen Nutzung der Wärme von Dachziegeln oder Schiefer entwickelt hat. Da das System unsichtbar installiert wird, eignet es sich hervorragend für denkmalgeschützte Gebäude und Gebäude in einem denkmalgeschützten Dorf- oder Stadtkern.

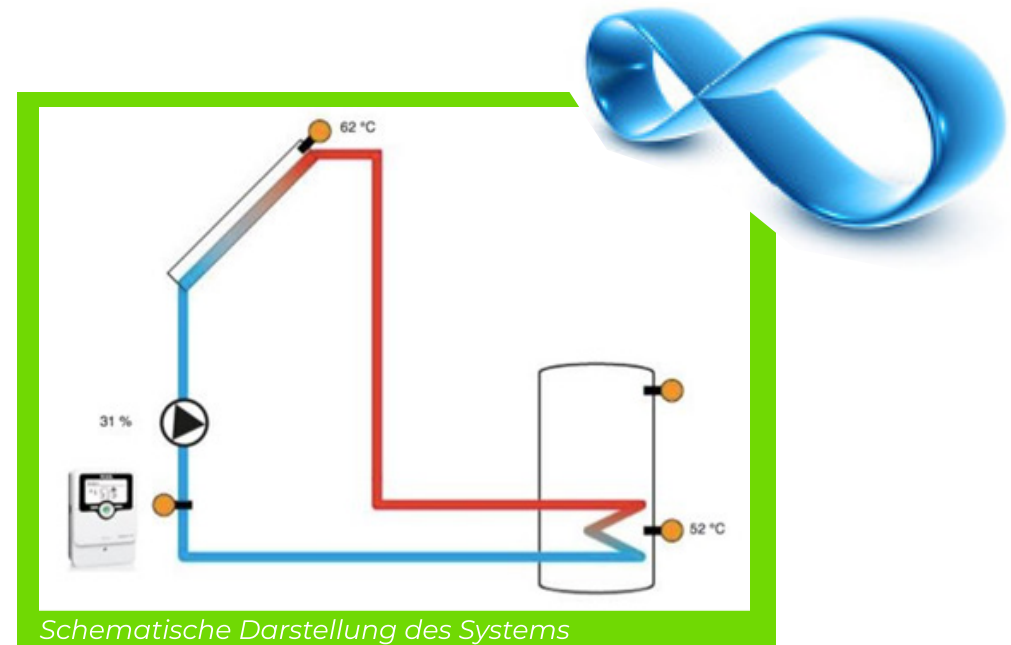
## Entwicklung und Zusammenarbeit

Die enge Zusammenarbeit mit den Projektpartnern Hogeschool Zuyd und GWI Essen ermöglichte die Entwicklung der folgenden beiden Elemente in diesem Projekt:

1. Mess- und sichtbar machen des Ertrags des Q-Roof-Systems
2. Weiterentwicklung des Q-Roof-Systems für den Einsatz unter Schieferdächern

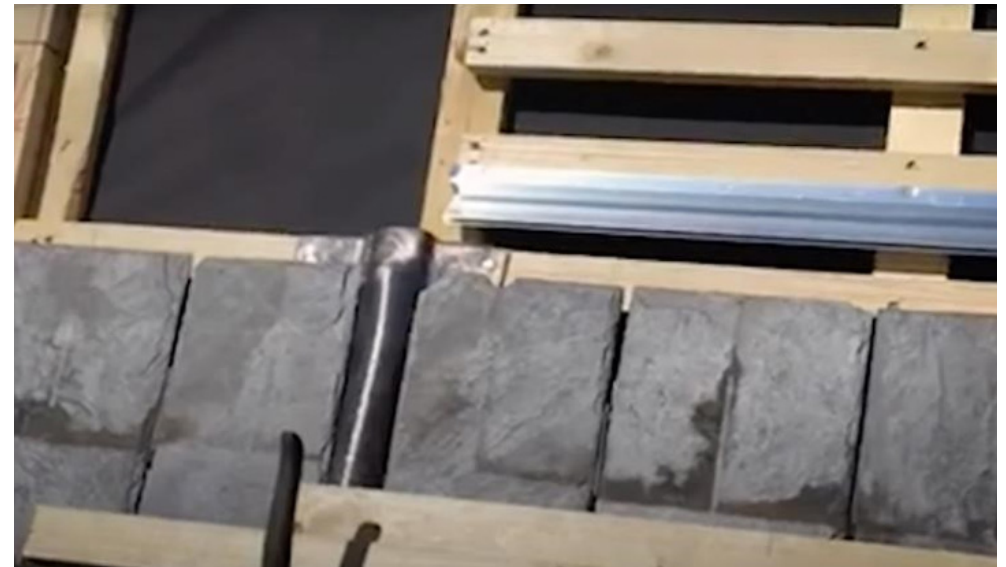
### 1. Mess- und sichtbar machen des Ertrags des Q-Roof-Systems

Es wurde ein System entwickelt, um die Situation und den Ertrag des Q-Roof-Systems online zu messen. Dargestellt wird der aktuelle Betrieb der Anlage sowie der Gesamtertrag der Anlage seit der Inbetriebnahme. Diese Daten sind speziell auch für den Kunden sichtbar. In der kommenden Zeit wird an der weiteren Verarbeitung der Daten und ihrer Nutzung als Input für die weitere Optimierung der Anlagen gearbeitet. Untenstehend ist ein Beispiel für ein Diagramm mit den Daten eines der Q-Roof-Systeme abgebildet, das auf dem Dach eines denkmalgeschützten Gebäudes in den Niederlanden installiert wurde. Das Diagramm zeigt, welche Temperatur an welcher Stelle im System vorhanden ist.



### 2. Weiterentwicklung des Q-Roof-Systems für den Einsatz unter Schieferdächern

In erster Linie wurde Q-Roof für den Einsatz unter verschiedenen Arten von Dachziegeln entwickelt. In diesem Projekt wurde zusammen mit anderen Unternehmen untersucht, was zu tun ist, damit das System auch mit Schieferplatten funktioniert. In Zusammenarbeit mit einer Reihe von Partnern haben wir zunächst untersucht, wie Q-Roof zwischen Schieferplatten installiert werden kann. Innerhalb dieses Projekts hat Q-Roof Wissen mit den Firmen Enlop GmbH, Supro New Business B.V. und BEAU solar/Technisches Planungsbüro Comuth ausgetauscht. Das Verlegen eines denkmalgeschützten Schieferdaches ist eine Arbeit für Experten. Daher sind sehr erfahrene Schieferdachdecker an der Untersuchung beteiligt. Zunächst wurden Tests in einer Werkstatt mit dem Typ Penrhyn-Schiefer durchgeführt.



### Ergebnisse und Zukunft

In der Werkstatt wurde eine geeignete Anbringungsmethode für die Schieferdacheindeckung gefunden. Diese Methode wurde in einem Pilotprojekt in Middelburg an einem denkmalgeschützten Gebäude eingesetzt. Es stellte sich heraus, dass der Entwurf der Q-Roof-Elemente komplett angepasst werden musste. Das Dachziegelsystem konnte nicht verwendet werden, weil es nicht zwischen die dichte Schieferabdeckung passte. Der neue Entwurf wurde auf einem Seitendach angebracht. Die Ergebnisse des tatsächlichen Wärmeertrags sind sehr vielversprechend. Q-roof will weitere Optimierungen untersuchen.

Q-Roof  
Valkenburgerweg 223  
6419 AT Heerlen, Niederlande

T. +31 (0) 6 25 11 1939  
M. [info@q-roof.nl](mailto:info@q-roof.nl)  
W. [www.q-roof.nl](http://www.q-roof.nl)



## Produkt

Der EnerTwin ist eine Mikro-KWK-Anlage (Kraft-Wärme-Kopplungsanlage mit kleiner Leistung), bei der eine Heizungsanlage und ein Kleinkraftwerk in einem kompakten, langlebigen Gerät zusammengefasst sind. Das Herzstück des von MTT (Micro Turbine Technology BV) entwickelten EnerTwin ist eine Mikrogasturbine, die einen Generator antreibt.

Die Mikroturbine liefert 3 kW elektrische Leistung und 15 kW thermische Leistung für die Heizung und Warmwasserbereitung. Der EnerTwin ist die erste Mikro-KWK-Anlage, die eine Mikroturbine verwendet. Mikroturbinen bieten große Vorteile in Bezug auf Zuverlässigkeit und Lebensdauer und haben sehr geringe Wartungskosten. Der EnerTwin kann mit grünem Gas, Biomethan oder Erdgas unter Beimischung von bis zu 23 % Wasserstoff betrieben werden, was die CO<sub>2</sub>-Emissionen weiter reduziert. Für jeden installierten EnerTwin werden - bei Einsatz von Erdgas - jährlich bis zu ca. 9,5 Tonnen CO<sub>2</sub>-Emissionen im Vergleich zu Strom aus konventionellen Kraftwerken vermieden.

Der Preis des EnerTwin richtet sich nach der Abnahmemenge und dem Vertriebsweg, über den er zum Endverbraucher gelangt. Für einen typischen Endverbraucher amortisiert sich der EnerTwin auf der Grundlage vermiedener Stromkäufe, je nach lokalen Preisen für Strom und Brennstoff, sowie verfügbarer staatlicher Anreize (Fördermittel) in 3-6 Jahren.

## Entwicklung und Zusammenarbeit

Der EnerTwin ist seit dem Jahr 2018 für den Erdgasbetrieb auf dem Markt. In diesem Projekt wurde das Gerät für den Betrieb



mit Biogas modifiziert. Da Biogas einen niedrigeren Heizwert hat (weniger Energie pro m<sup>3</sup> Gas), mussten der Brenner und die Gasanlage angepasst werden. Die Leistung des eingebauten Gaskompressors, der den Gasdruck auf 3 bar bringen muss, musste stark erhöht (verdoppelt) werden. Deshalb wurden neue Kompressoren ausgewählt und ausgiebig getestet. Damit die Anlage

korrekt auf den Brennstoff abgestimmt ist, musste die Steuerung so angepasst werden, dass beim Kalt- oder Warmstart keine Überhitzung der Gasturbine auftritt. Wichtig ist auch, dass die Emissionen innerhalb der geforderten Grenzwerte bleiben.

Das Biogassystem wurde im Labor von MTT ausgiebig getestet. Regelmäßig gehen Anfragen von potenziellen Kunden ein, die nach einer Biogaslösung suchen. Bei dem Projekt wurde hauptsächlich mit dem Institut GWI in Essen zusammengearbeitet, das Messungen zur Leistung und den Emissionen des Systems bei verschiedenen Gaszusammensetzungen und unter verschiedenen Betriebsbedingungen durchgeführt hat.



Laboreinrichtung bei MTT

## Ergebnisse und Zukunft

Mit der Umrüstung des EnerTwin im Rahmen dieses Projekts für den Betrieb mit niederkalorischem (Roh-) Biogas, kann die Anlage einen interessanten Nischenmarkt bedienen, auf dem es bisher nur wenige Mikro-KWK-Lösungen gibt.

Bei dem nächsten Schritt handelt es sich um die Entwicklung eines guten Wärmetauschers und die Modifizierung der Materialien, durch die die heiße Luft strömt, damit sie resistent gegen die aggressiveren Biogasverbrennungsrückstände sind. Es wird damit gerechnet, dass der EnerTwin für den Biogasbetrieb Anfang 2022 im Handel erhältlich sein wird.

Die wichtigsten Spezifikationen des EnerTwin (Erdgasbetrieb) sind:

- elektrische Nettoleistung: 3,2 kW (max.) bis 1,0 kW (min.)
- thermische Nettoleistung: 15,6 kW (max.) bis 6,0 kW (min.)
- Stromkennzahl bei max. Leistung: 20 %
- Nettowirkungsgrad (elektrisch): 16 %
- Gesamtwirkungsgrad > 94 % (LHV)
- iaw EcoDesign (EU 813/2013) > 112 %
- Brennstoffdurchsatz (H-Gas, 38,5 MJ/nm<sup>3</sup>): 1,87 nm<sup>3</sup>/h (max.) bis 0,84 nm<sup>3</sup>/h (min.)
- Abmessungen (H x B x T): 995 x 600 x 1170 mm
- Gewicht (leer/mit Wasser und Öl): 205/215 kg



*Prüfung des EnerTwin im Biogasbetrieb bei GWI (Essen)*

Micro Turbine Technology BV  
Herr W.M.P. Ahout  
Esp 310,  
5633 AE Eindhoven, Niederlande

T. +31 (0)88 6 88 00 00

M. [info@mtt-eu.com](mailto:info@mtt-eu.com)

W. [www.mtt-eu.com](http://www.mtt-eu.com) / [www.enertwin.com](http://www.enertwin.com)





# – PVT-Solarkollektor | Power Kombi Module B.V. +

## Produkt

Power Kombi Module entwickelt PVT-Solarkollektoren. Ein PVT-Kollektor ist ein Solarmodul, das sowohl Strom als auch Wärme erzeugt. Ein PVT-Solarkollektor kombiniert zwei Energiequellen: Strom und Warmwasser. Die Kühlung des Solarkollektors erhöht den Wirkungsgrad des Moduls und versorgt ein Gebäude mit Wärme. Die Solarkollektoren sind weltweit die ersten ihrer Art, die TÜV-zertifiziert wurden. Eine teilweise oder vollständige Integration der Heizungsanlage ist ebenfalls möglich und lässt sich bei der Verwendung von Fußbodenheizung und Niedertemperaturheizkörpern einsetzen. Das System ist daher auch sehr gut für die Renovierung eines Hauses geeignet. Da es sich um ein kombiniertes System handelt, benötigt es zudem weniger Platz auf dem Dach und kann somit auch auf kleinen Dächern eingesetzt werden. Dank der Verwendung der PVT-Module zur Erzeugung von Strom, Wärme und Warmwasser entstehen keine CO<sub>2</sub>-Emissionen. Bei Kombination der



eingebauten Wärmepumpe mit einem Boiler entsteht eine Gesamtlösung für den Energiebedarf eines Hauses.

## Entwicklung und Zusammenarbeit

Power Kombi Module hat im Rahmen des Projekts an einer Verbesserung der Kupferrohre der Module gearbeitet, wodurch eine verbesserte Kontaktfläche zwischen dem Solarmodul und dem Kupferrohr entstanden ist. Dies erhöht die Effizienz des PVT-Systems erheblich und vereinfacht den Produktionsprozess. Das Unternehmen hat mittlerweile ein Patent für die entwickelte Technik angemeldet.





Das Produktdesign wurde weiter modifiziert. Für den Absorber (Wärmekollektor) wird eine spezielle Aluminiumart verwendet, die die Wärmeübertragung erhöht. Dies wurde mit IR-Fotografie getestet. Darüber hinaus wurde die Dämmung im Inneren des PVT-Moduls untersucht. Außerdem wurden Luftdrucktests mit 7 atm Druck durchgeführt (zum Aufspüren von Löchern). Auch wurde dafür gesorgt, dass weniger Wärme zwischen dem Rahmen des Kollektors übertragen wird, so dass weniger Wärme verloren geht. Die ersten Tests zeigen, dass die Module eine Lebensdauer von bis zu 25 Jahren haben können.

Das Unternehmen untersucht Möglichkeiten der Zusammenarbeit mit dem Projektpartner BEAUsolar, die zu einem gebäudeintegrierten Solarwärmedach führen könnte.

### Ergebnisse und Zukunft

Power Kombi Module wollte das Modul an einem Teststandort in Deutschland testen. Die Testmöglichkeiten am Standort wurden mit dem GWI Essen untersucht, das in der Lage wäre, das System im Rahmen dieses Projekts zu testen. Diese Tests wurden vorbereitet, aber letztendlich nicht realisiert, da es sich herausstellte, dass dies im Rahmen des Projekts nicht mehr möglich war.

Power Kombi Module wird sich in der kommenden Zeit auf die Optimierung des PVT-Moduls konzentrieren. Ein besonderer Schwerpunkt liegt dabei auf der Optimierung der Wärmeaufnahme und -absorption.

Um das System vollständig energieneutral zu machen, sucht das Unternehmen derzeit nach einer Bio-Flüssigkeit mit einem höheren Wärmeeffekt.



*Teile des systems*

Power Kombi Module B.V.  
Nusterweg 103C  
6163 KT Sittard, Niederlande

T. +31 (0)6 17 41 33 21  
M. [info@powerkombimodule.com](mailto:info@powerkombimodule.com)  
W. [powerkombimodule.com/](http://powerkombimodule.com/)

# – BEAUsolar | Technisches Konstruktionsbüro Comuth +

## Produkt

BEAUsolar ist eine Dacheindeckung mit integrierten Solarmodulen. Es ist eine völlig neue BIPV (Building Integrated PhotoVoltaic)-Entwicklung ohne Dachziegel mit Standard-Solarmodulen. Die Dacheindeckung ist durch die Gummidichtungen, die Rinnenkonstruktion und eine offene Dampfsperrefolie dreifach abgedeckt und wasserdicht. Die Besonderheit von BEAUsolar ist, dass jedes handelsübliche Solarmodul ohne weitere Vorkehrungen in diese Eindachung eingesetzt werden kann. Sie eignet sich sowohl für die Renovierung als auch für den Neubau.

## Ontwikkeling en samenwerking

Gemeinsam mit dem GWI Essen wurde ein Demo-Haus analysiert. Leider eignet sich das Dach des Hauses nicht zur Installation der Dach-integrierten Solarmodule. BEAUsolar und GWI untersuchten jedoch eine mögliche Markteinführung in



BEAUsolar



Deutschland. BEAUsolar konnte sich ein hervorragendes Bild von den großen Unterschieden insbesondere in Bezug auf das Dachdeckerhandwerk (Innungssystem) und die Bereitstellung von TÜV-Zertifikaten für den Verbraucher machen. Anfänglich gab es ein Sprachproblem, vor allem im technischen Bereich. Aber dank der flexiblen Haltung aller Beteiligten wurde dieses Hindernis rasch überwunden. BEAUsolar hat viel Wissen über die Zusammenarbeit mit deutschen Unternehmen gesammelt. Dieses Wissen bezieht sich auf die Struktur der Unternehmen in Deutschland, aber auch auf die gesellschaftliche Relevanz der Energiewende.

Gemeinsam mit Solar Energy Booster wurde die Möglichkeit untersucht, beide Produkte zu kombinieren. Es wurde nach Lösungen für die gleichzeitige Montage beider Produkte gesucht. Dies bietet Möglichkeiten, gemeinsam Kunden zu finden und die Kräfte zu vereinen.

Mit der Firma Q-roof wurde ebenfalls die Möglichkeit der Kombination beider Produkte untersucht.

Die Firma Power Kombi Module kennt den chinesischen Markt. Gemeinsam haben wir untersucht, ob es möglich ist, Aluminiumprofile zu beschaffen.





BEUsolar b.v.  
Molensingel 73,  
6229 PC Maastricht, Niederlande

T. + 31 (0)6 15 50 54 99  
M. [info@beausolar.eu](mailto:info@beausolar.eu)  
W. [www.beausolar.eu](http://www.beausolar.eu)

### Ergebnisse und Zukunft

BEUsolar hat umfangreiche Erkenntnisse über den deutschen Markt und seine Bedürfnisse gewonnen. Außerdem wurde mit den Partnern in diesem Projekt viel Wissen über mögliche Kooperationen ausgetauscht. Die von BEUsolar gewonnenen Erkenntnisse können genutzt werden, um Projekte in Deutschland zu starten. Die Eindachung von BEUsolar ist erhältlich über: [www.beausolar.eu](http://www.beausolar.eu).



## Produkt

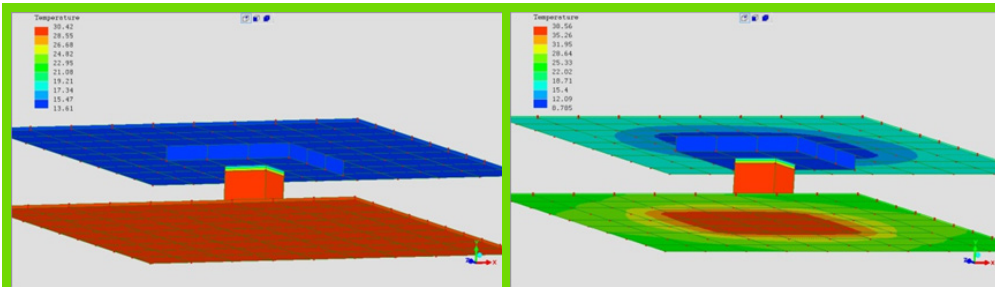
ActiveWall ist eine neue Art von Wärmepumpe mit außergewöhnlich niedrigen Investitionskosten und ohne Geräuschemission. Das ist auf den Umstand zurückzuführen, dass es sich um eine Wärmepumpe ohne Kompressor, Ventilator, Erdwärmesystem und Kältemittel handelt. Da es keine beweglichen Teile gibt, ist ActiveWall außerdem wartungsfrei und absolut geräuschlos.

Ihr Funktionsprinzip ist thermoelektrisch (basierend auf Halbleitertechnologie) und unterscheidet sich damit von allen Wärmepumpen auf dem Markt. Saint Trofee hat ein Patent auf dieses System zum Heizen und Kühlen von Häusern. Die ActiveWall ist eigentlich eine „aktive Wand“, d.h. eine Hauswand, die je nach Bedarf beheizt oder gekühlt werden kann. In der Stellung „Heizen“ pumpt diese aktive Wand Wärme von der Außenluft durch die Wand nach innen. Diese Wärme wird von der Innenwand abgegeben. Gewöhnungsbedürftig ist, dass sowohl die Außenwand als auch die Innenwand aus (massivem) Aluminium bestehen. Die gesamte Wandkonstruktion hat eine Dicke von nur 8 cm und ist besonders für die Modulbauweise (z.B. für Bungalows) geeignet. Da die Wärmepumpe in die Wand integriert ist, wird kein Platz für die Installation benötigt. Daher ist weder ein separates Außengerät noch eine Fußbodenheizung erforderlich.

Saint Trofee entwickelt diese Wärmepumpe für modulare Gebäude wie etwa Bungalows, Wohnwagen, „Tiny Houses“ und ähnliche Unterkünfte. Das Bemerkenswerteste an dieser „ActiveWall“-Wärmepumpe ist ihr Preis, der z.B. für einen Bungalow, einschließlich Installation und Emissionssystem, zwischen 1000 € und 2000 € liegt.



*Demo-Modell der ActiveWall (50 cm x 50 cm)*



Einfache thermische Konstruktion, 2 mm Aluminium (oben links), 1 mm Stahl (oben rechts). 1 mm Aluminium ist die gewählte Variante im dritten Entwicklungsschritt

### Entwicklung und Zusammenarbeit

Es wurde an einem Prototyp gearbeitet, der auf einem Aluminiumrahmen basiert. Es wurden auch Tests zur Wärmeübertragung von Peltier-Elementen durchgeführt. Zwei Produktentwürfe beruhen auf einer Holzrahmenplatte und einer PUR-Sandwichplatte. Für diese Entwürfe wurden Untersuchungen zur Heizleistung, zur Wärmeübertragung und zu weiteren technischen und wirtschaftlichen Vorgaben für den Produktentwurf durchgeführt.

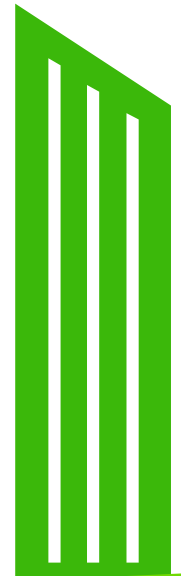
In Zusammenarbeit mit der RWTH Aachen wurde ein Modell zur Wärmeübertragung dieses Systems entwickelt. Es wurden mehrere Simulationen mit dem Softwareprogramm BERTRIX durchgeführt, mit denen der Einfluss des Produktdesigns auf die Effizienz nachgewiesen wurde. Dabei wurde festgestellt, dass Peltier-Elemente eine gute Leistungszahl (COP) aufweisen können, allerdings nur bei geringen Temperaturunterschieden. Bei einem Delta-T von etwa 5 Grad führt dies zu einer Leistungszahl von 3-4.

### Ergebnisse und Zukunft

Im Rahmen dieses Projekts wurde ein letzter Entwicklungsschritt hin zu einem einfacheren Wärmetauscherentwurf gemacht. Die gesamten Materialkosten verringern sich durch diesen Entwicklungsschritt, die Systemoberfläche wird jedoch größer. ActiveWall ist derzeit noch nicht auf dem Markt. Es werden Partner im Bereich Bungalowbau und -vermietung gesucht, um gemeinsam eine Praxis-Demo durchzuführen.

Saint Trofee  
Oude Kanonsdijk 62  
7205 AR Zutphen, Niederlande

W. [www.sainttrofee.nl](http://www.sainttrofee.nl)



## Produkt

Supro Cooling ist ein Startup (2017), das sich auf umweltfreundliche und wärmegetriebene Ab- und Adsorptionskälteanlagen und Wärmepumpen spezialisiert hat. Diese Anlagen können zur Kühlung von Gebäuden, Häusern und Prozessen eingesetzt werden, indem sie (Rest-)Wärme, Solarthermie, Wärmenetze und Prozesswärme nutzen.

## Entwicklung und Zusammenarbeit

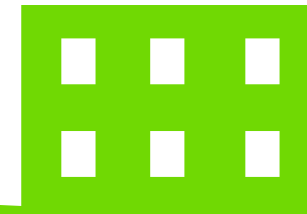
Im Rahmen dieses Projekts wurden Pakete für wärmegetriebene Kälteanlagen und Wärmepumpen entwickelt. Außerdem wurden vorgefertigte Skids für Adsorptionskältemaschinen entwickelt. In diesem Zusammenhang wurden technische Datenblätter für die wärmegetriebenen Wärmepumpen und Kälteanlagen erarbeitet. Dazu gehören auch die Datenblätter für die Rückkühlanlagen und die Hydraulikschemas für alle Adsorptions- und Adsorptionsanlagensets.



In Zusammenarbeit mit der Firma H. ter Maat Holding wurden die Masterberechnungen für die vorgefertigten Adsorptions-Skids erstellt. Der Demo-Aufbau mit dem Überwachungssystem wurde in Zusammenarbeit mit Heva gebaut. Schließlich wurde die Anlage auf dem ehemaligen niederländischen Flugplatz Valkenburg installiert und in Betrieb genommen.

Im vergangenen Jahr haben wir regelmäßig Daten erhalten. Für einen stabilen Datenexport wurde im Dezember 2020 eine zusätzliche 4G-Kommunikationsbox installiert. Seit August 2020 werden die Daten an das GWI in Essen weitergeleitet.

Ab Januar 2021 gehen täglich Daten ein, so dass am Ende des Jahres ausgewertet werden kann, wie die wärmegetriebene Kälteanlage von Supro in Kombination mit den thermischen Solarkollektoren der Marke Hone funktioniert. Der Demo-Skid für Valkenburg und das Überwachungssystem wurden gebaut, installiert und in Betrieb genommen.



## Ergebnisse und Zukunft

Dieses Projekt bot die Möglichkeit, die interessantesten Anlagensets und Skids mit mindestens zwei Konfigurationen zu entwickeln.

- Es wurden 8 Adsorptions-Anlagensets (Silicagel) mit unterschiedlichen Konfigurationsmöglichkeiten (8, 16, 25, 32, 50, 75 und 100 kW) ausgearbeitet.
- Es wurden 6 vorgefertigte Absorptions-Skids mit unterschiedlichen Konfigurationsmöglichkeiten (17, 35, 70, 105, 176 und 352 kW) fertig entwickelt.
- Die Feldanlage mit Überwachungssystem wurde fertiggestellt und 2020 in Betrieb genommen.

Alle Anlagensets für die Ab- und Adsorptionswärmepumpen und Kältemaschinen sind fertig entwickelt und stehen zum Verkauf bereit. Datenblätter mit entsprechenden Hydraulikschemata sind verfügbar. In den letzten sechs Monaten wurden verschiedene Angebote abgegeben. Anfang 2021 wird mit den ersten Aufträgen gerechnet.

Die Strategie von Supro Cooling konzentriert sich auf die Endverbraucher. Bei der Installation arbeitet Supro Cooling eng mit vertrauenswürdigen Installationsfirmen oder eventuell dem hauseigenen Installateur zusammen. Zu den Endverbrauchern gehören Privatpersonen und Unternehmen mit Wohnungen, Büroräumen oder Firmengebäuden. Darüber hinaus wird Kontakt zu Energieversorgern gesucht, die Wärme liefern. Das Produkt ist eine Ergänzung der Dienstleistungen für die Versorgung mit Wärme, Leitungswasser und Kälte.

Supro Cooling  
Mercatorstraat 40,  
7131 PX Lichtenvoorde, Niederlande

T. +31 (0) 85 130 1936  
M. [Info@supro-cooling.com](mailto:Info@supro-cooling.com)



## Product

Think [RED] Energy® -Low Temperature ist ein Flächenheizsystems zur Hüllflächen- und Bauteiltemperierung auf Basis infraroter Wärmestrahlung sind die energieeffizienten stromgeführten Think [RED] Energy®-Wärmewände. Der Einbau dieser Wärmewand erzeugt eine thermodynamische Innenraum-Dämmung® und stellt so die optimale Alternative zu Wärmedämm-Verbundsystemen aus Polystyrol im Außenwandbereich dar.

Spezielle Carbonfaser platten sorgen für eine exzellente Wärmeverteilung. Modernste Speicherplatten ermöglichen eine Wärmespeicherung von bis zu 12 Stunden.

Die unsichtbaren Think [RED] Energy®-Niedertemperatur-Wärmewände sind für den nachträglichen Einbau in Bestandsgebäude konzipiert und somit ideal zur Altbausanierung geeignet. Die bedarfsgerechte und umweltschonende Steuerung der Wärmewände erfolgt durch spezielle Thermostate und kann darüber hinaus in SmartHome-Systeme eingebunden werden. Die Elektroinstallation befindet sich in den nach VDE vorgesehenen Zonen; vorhandene Installationen können genutzt werden (zum Beispiel beim Austausch von Nachtspeicherheizung gegen Infrarot-Heizung).

## Entwicklung und Zusammenarbeit

Bei dem Produkt, dass wir während der Zusammenarbeit im Projekt „Cleantech Energy Crossing“ in den letzten drei Jahren weiter optimiert und ausgebaut haben, handelt es sich um das Think [RED] Energy® - Niedertemperatur-Flächenheizsystem auf Basis infraroter Wärmestrahlung. Das Infrarot-Heizsystem besteht aus folgenden Komponenten: Deckenheizungen, Wandheizungen, Nischenheizungen, Wärmeleisten und Heizelementen. Die Investitionskosten für das Heizsystem liegen z.B. gegenüber Wärmepumpensysteme um bis zu ca. 50 % niedriger. Die Effizienz unseres Heizsystems können wir anhand vieler unterschiedlicher



Referenzgebäude belegen. All diese Gebäude sind im Außenwandbereich NICHT gedämmt. Trotzdem erreichen unsere Kunden, je nach individuellem Heizverhalten Wärmebedarfszahlen zwischen 45 und 75 Watt / m<sup>2</sup> / Jahr.

Die Projektaktivitäten lagen zu Beginn bei der Optimierung unseres bis zu diesem Zeitpunkt entwickelten Niedertemperatur-Flächenheizsystem. Es galt, die Angebotspalette auszuweiten und abzurunden. Die Schwerpunkte lagen bei der Entwicklung einer Wärmedecke, einer Wärmewand / Wärmedecke mit Latent-Wärmespeichern, einer Wärme- und Kühlwand sowie bei der Entwicklung einer eigenen Steuerung für unsere Wärmeleiste. Die Wärmedecke zählt heute zu dem am häufigsten zum Einsatz kommenden Heizungsvarianten. Die entwickelte Wärmewand / Wärmedecke mit den Wärmespeicherboxen der Fa. Rubitherm, Berlin, ist für den Vertrieb bereit. Allerdings fehlen hier erste Pilotprojekte. Zu einer tatsächlichen Zusammenarbeit im Forschungs- und Entwicklungsbereich ist es, aufgrund sehr unterschiedlicher Ausgangssituationen leider nicht gekommen.



## Ergebnisse und Zukunft

Die Wärme- und Kühlwand ist grundsätzlich auch für einen Markteintritt vorbereitet, hier sind wir jedoch bisher auf wenig Interesse seitens der Immobilienbesitzer gestoßen. Unsere Steuerung für die Wärmeleisten ist fertig. Hier werden wir in Laufe dieses Jahres Gespräche mit möglichen Herstellern aufnehmen, um über die Fertigung einer Eigenmarke zu diskutieren. Das Gesamtsystem als Niedertemperatur-Flächenheizsystem ist im Markt erhältlich. Mittlerweile führen wir Gespräche mit großen Wohnungsbaugesellschaften über den Einbau unseres Heizsystems in ca. 1.000 Wohneinheiten.

Wir erhoffen uns, dass durch die Veröffentlichung der Ergebnisse des „Cleantech Energy Crossing“-Projektes in holländischer Sprache Unternehmen der Energiebranche, Wohnungsbaugesellschaften, Elektro- und Trockenbau-Unternehmen aber auch Privatpersonen auf unser Heizsystem aufmerksam werden. Zudem werden wir, sobald wieder eine normale Reisetätigkeit möglich ist, holländische Gesprächspartner aufsuchen und über eine Zusammenarbeit diskutieren. Vor der Heizungsproblematik in den Niederlanden durch die Gassituation sehen wir für unser Heizsystem große Marktchancen. Zu allen Vorteilen unseres Niedertemperatur-Flächenheizsystems kommt noch hinzu, dass ein deutlicher Raumgewinn verzeichnet wird. Ein Heizungsraum / Heizungskeller wird nicht mehr benötigt.



Think [E] Energy GmbH  
Gehrberg 96  
45138 Essen, Deutschland

T. 0201 61 63 68 43 / 0160 - 740 60 63  
M. w.tauchmann@think-e-energy.de  
W. [www.think-e-energy.de](http://www.think-e-energy.de)



# – Bioenergie-Kraft-Wärme-Kopplung | Vapora Group B.V. +

## Produkt

Es gab und gibt bis heute keine Agropellets, die TA-Luft-konform verbrannt werden dürfen außer den neu entwickelten Agropellets von Vapora. Pyrolyse-Aggregate konnten bisher nur EU-Normpellets zur kombinierten Kraftwärme-Produktion verwenden. Mit dem von Vapora entwickelten Verfahren zur Nutzung von Agropellets ist nun auch die kombinierte Nutzung in KWK-Aggregaten möglich.

## Entwicklung und Zusammenarbeit

Die Suche nach einem Separationssystem, welches die drucklose Trennung von Feststoff und Flüssigkeit ermöglicht, gestaltete sich als schwierig. Alle einschlägigen und auch exotischen Hersteller verwenden bis heute druckgeführte Trennverfahren mit den dargestellten Verhinderungen einer energetischen Nutzung. Somit schlossen sich alle Separationstechniken aller namhaften Hersteller aus. Durch Zufall stießen wir aber auf eine Dokumentation einer Separationstechnik, die bei einem Vergleichsversuch eben die Nährstoffe durch einen Einstellungsfehler nicht in die feste Phase gepresst hat, sondern weit über 70% der Nährstoffe in die flüssige Phase transferierte. Das war der Startpunkt für weitere Forschung.

Das nun identifizierte Separationsverfahren wurde weiter verfeinert. Es wurden unterschiedliche Siebe mit unterschiedlicher Führung des Ausgangsstoffes GG, mit unterschiedlichen Drücken und Vortrieben des Materials getestet, um zum bestmöglichen Ergebnis zu gelangen. Ziel war die 90%-Grenze nach oben zu überschreiten. Dies gelang uns Ende 2018 in einem Versuch auf einer Biogasanlage in der Nähe von Meppen im Emsland. Der TS-Gehalt liegt durchschnittlich bei ca. 33% und damit signifikant höher als bei anderen Separationsverfahren.

Allein die Separation konnte aber die gewünschte und vom Markt und von den Genehmigungsbehörden geforderte Qualität nicht leisten. Nun rückte die Trocknungstechnik in den Mittelpunkt der weiteren Untersuchungen.

Nur die Kombination von druckloser Separation und anschließender Hochtemperaturtrocknung mit Microwelleneffekt ermöglicht die genehmigungsfähige und hochenergetische Nutzung von Agro-Pellets aus landwirtschaftlichen Reststoffen/ GG bei etwas erhöhtem Ascheanteil, vergleichbar mit Miskantus. Die erreichte Produktqualität entspricht der Qualitätsnorm von Industriepellets.

Aus der Gruppe der im Projekt involvierten Projektpartnerfirmen hat sich bis auf einige Koordinationsversuche keine konkrete Zusammenarbeit ergeben, weil der Entwicklungsstand und time-to-market zu unterschiedlich waren.



Testlauf der drucklosen Separation auf einer Biogasanlage im Emsland





*Hochtemperaturtrocknung seinheit Nähe Augsburg*



*Ringmatrizen-Pelletierer zur Herstellung von Agro-Pellets*

### Ergebnis und Zukunft

Durch Einbettung der Feststoff-Veredelung in die Vollaufbereitung von GG entstand ein Synergieeffekt, der weit über die Anwendung der Forschung und Entwicklung zu Agropellets hinausgeht. Die Wertschöpfung aus den Agro-Pellets ist begrenzt. Daher wurde

nach anderen möglichen Veredelungsformen für die Feststoff-Fraktion aus GG gesucht. Alternativ wird derzeit der Aufbau von Produktionslinien zur Herstellung von Synthesegas und daraus weiter veredeltem „grünem“ Methanol geplant. An allen derzeit in der Entwicklung befindlichen 5 Standorten in Deutschland wird dieser Veredelungsweg aus der Feststoffmasse nach Separation und Trocknung von GG konkret umgesetzt werden.

Es ist definitiv nun ein Substitutionsprodukt für Braunkohlestaubfeuerung vorhanden. Durch den Ausstieg aus der Braunkohle ist ein „grünes“ Ersatzprodukt mit guter energetischer Leistung verfügbar. Dadurch wird es in bestimmten Anwendungsgebieten zu Veränderungen in den Lieferketten kommen. Der geplante KWK-Modulhersteller Entrade AG, der die neuen Agro-Pellets einsetzen wollte, ist leider in die Insolvenz gegangen. Der spätere Aufkäufer hatte an den Agro-Pellets kein Interesse. Glücklicherweise haben wir uns nicht nur auf diesen Anwendungsbereich konzentriert und konnten Alternativen im Bereich der Herstellung von „grünen“ Chemie-Grundstoffen generieren.

Die Produktion startet in großtechnischem Maßstab mit ca. 8.000 Tonnen/Jahr/Anlage in 2022. Es sind derzeit bis 2025 insgesamt 23 Großanlagen geplant. Davon befinden sich bereits 5 Anlage in der Genehmigungsplanung.

Drs. Hans J.P. Frhr. v. Donop

Vapora group B.V.

Benedendorpsstraat 24, NL-7038 BV Montferland

M. group.bv@vapora.com

T. +31-314 65 1618

Fax: +31-314 65 01 42

Vapora Bioenergie GmbH

Südwall 26, D-46397 Bocholt, Deutschland

T. +49 2871-21 88 777 Mob. +49 172 526 08 38

M. bioenergie.gmbh@vapora.de

W. [www.vapora.com](http://www.vapora.com)





# – Vergleichsstudie zur Wärmeversorgung +

## Vergleichsstudie zur Wärmeversorgung von Einfamilienhäusern



Der Gebäudebereich ist für rd. 30 bis 40 % des gesamten Energieverbrauchs in Deutschland und in den Niederlanden verantwortlich. Um die Klimaziele beider Länder zu erreichen, bedarf es daher der Entwicklung nachfrageorientierter und für den Endkunden einzusetzender Produkte, die den Energieverbrauch auch aus erneuerbaren Energien decken und/oder vermindern.

Um den Energiebedarf zu senken, wurden gesetzliche Vorgaben zur energetischen Versorgung von Gebäuden immer weiter verschärft und die Einbindung von Erneuerbaren Energien vorgeschrieben. Auch hängt die staatliche Förderung von energieeinsparenden Maßnahmen des Primärenergieverbrauchs des Gebäudes ab.

In dieser Studie wurden Analysen zur Wärmeversorgung von neugebauten Einfamilienhäusern durchgeführt. Für ein Einfamilienhaus-Referenzgebäude wurde der spezifische Primärenergiebedarf sowie der Endenergiebedarf und die CO<sub>2</sub>-Emissionen verschiedener gasbasierter Heizsysteme und anderer Technologien mit dem Programm „Energieberater Professional 3D“ der Hottgenroth Software GmbH & Co.KG berechnet. Es wurde neben der zumindest geforderten Abluftanlage auch alternativ eine Wärmerückgewinnungsanlage bei jeder Technologie berücksichtigt. Alternativ zu den verschiedenen dezentralen Heiztechnologien wurden einige Nah- und Fernwärmeversorgungen mit fossilen und erneuerbaren Brennstoffen berechnet, da Neubauten niedrige spezifische Wärmebedarfe aufweisen und je nach den örtlichen

Gegebenheiten eine zentrale Wärmeversorgung eine mögliche Alternative zur dezentralen Wärmeversorgung jedes einzelnen Neubaus ist. Wird das Nahwärmenetz mit einer KWK-Anlage oder ein Heizkraftwerk mit erneuerbaren Brennstoffen, z. B. Biogas oder Holz versorgt, ist der Jahresprimärenergiebedarf aufgrund der sehr niedrigen Primärenergiefaktoren ebenfalls sehr niedrig.





Auch die Gastechnologien erfüllen die Anforderungen der EnEV 2016. Der Erdgas-Brennwert-Kessel mit solarer Trinkwassererwärmung ist über die Systemlebensdauer die preiswerteste Lösung; durch die Kombination mit einer Lüftungsanlage mit WRG steigen zwar die Investitionskosten, man erzielt jedoch besonders niedrige jährliche Verbrauchskosten. Elektrowärmepumpen allein haben günstige Anschaffungskosten, aber hohe Betriebskosten, es sei denn man investiert außerdem in eine PV-Anlage, durch die die Betriebskosten dann besonders niedrig ausfallen. Für die Auslegung von Wärmepumpen müssen die Abhängigkeit zwischen den Komponenten des hydraulischen Gesamtsystems, dem Nutzereinfluss und dem energetischen Niveau des Gebäudes berücksichtigt und optimiert werden. Heizen durch Nah- und Fernwärme hat die niedrigsten Investitions-, aber die höchsten laufenden Kosten. In Nahwärmenetzen lassen sich erneuerbare Energien sehr gut integrieren, auch die Beimischung von Biogas oder ein 100%-iger Einsatz von Biogas in einem BHKW ist möglich, wodurch eine hohe CO<sub>2</sub>-Einsparung erfolgt. Wärmerückgewinnungsanlagen senken den Primärenergiebedarf um 16-19 %.

Bereits bei der Planung der Gebäude können energieeinsparende Maßnahmen berücksichtigt werden, beispielsweise kurze Leitungswege für Heizung und Warmwasser sowie eine räumliche Nähe für Küche, Bad und WC aufgrund kurzer Leitungswege beim Abluftsystem. Den Aufstellungsort für die Heizzentrale in der beheizten Gebäudehülle wählen, am besten als Dachheizzentrale, wodurch der Schornstein entfällt und eine Solaranlage optimal angeschlossen werden kann. Energie kann unter anderem auch durch den Verzicht auf die Zirkulation, den Einsatz einer Fußbodenheizung oder elektronische Heizungsregelung eingespart werden.



## Produkt

Die aus der Vergleichsstudie gewonnenen Informationen wurden zu einem Tool weiterentwickelt, mit dem sich Einkäufer und Entscheidungsträger im Markt, wie z.B. Stadtwerke, Wohnungsbaugesellschaften, Installateure, Hauseigentümer und Architekten einfach über verschiedene, für ihr Gebäude relevante Systeminnovationen informieren können. Das Tool macht technische und wirtschaftliche Möglichkeiten transparent und vergleichbar und berücksichtigt dabei (internationale) Unterschiede beim Gebäudetyp.

## Entwicklung und Zusammenarbeit

Anfang 2020 sorgten Probleme bei der Implementierung der Vergleichsmodulvorlage dafür, dass diese nicht mehr funktionierte und eine neue Vorlage erstellt werden musste. Die neue Vorlage ist jetzt online und das Vergleichsmodul wurde implementiert. Alle Vergleichsfelder wurden ausgearbeitet und in das Tool integriert. Diese sind mit den Hauptgruppen verknüpft. Die Produkte können eingeben und zu einer Hauptgruppe hinzugefügt werden. Die flexiblen Felder für den Vergleich wurden pro Hauptgruppe angelegt. Diese erscheinen wieder bei der Produkteingabe. Die festen Felder können über ein Dropdown-Menü ausgewählt werden. In offene Felder können Werte eingegeben werden. Am Frontend können die Besucher nach diesen flexiblen Feldern filtern und vergleichen.



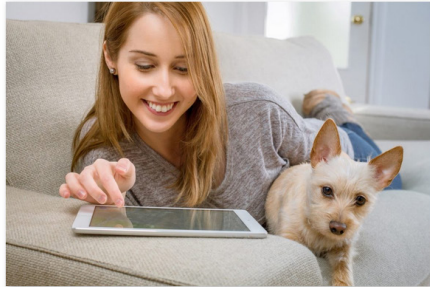
## Ergebnisse und Zukunft

Trotz der Rückschläge wurden Fortschritte bei der Realisierung des Vergleichstools und der Gestaltung des Theme (Erscheinungsbild der Website) sowie der Implementierung der Website gemacht. Die Website ist unter [www.eyegreen.eu](http://www.eyegreen.eu) zu finden. Das Tool ist technisch einsatzbereit und die ersten Produkte von Supro Cooling wurden eingegeben. Die Inhalte und

Details	Flexveld waarden	Waarde	Productnummer intern	(T)ekst of (C)ombobox	(S)pecificatie of (P)rodukc veld	Sorteervolgorde
	Maximaal koelvermogen (kW)	105,6	KL10000046	T	P	1
	Inlaattemperatuur koud water circuit LT (°C)	12,5	KL10000046	T	P	2
	Uitlaattemperatuur koud water circuit LT (°C)	7,0	KL10000046	T	P	3
	Drukverlies verdampert LT circuit (kPa)	70,1	KL10000046	T	P	4
	Maximale werkdruk LT circuit (kPa)	588	KL10000046	T	P	5
	Volumestroom LT circuit (l/s)	4,58	KL10000046	T	P	6
	Waterhoeveelheid LT circuit (l)	73,0	KL10000046	T	P	7
	Maximaal vermogen warmteafvoer MT circuit (kW)	256,2	KL10000046	T	P	8
	Inlaattemperatuur re-cool MT circuit (°C)	31,0	KL10000046	T	P	9
	Uitlaattemperatuur re-cool MT circuit (°C)	35,0	KL10000046	T	P	10
	Drukverlies absorber, condensor MT circuit (kPa)	46,4	KL10000046	T	P	11



## Wordt jij ook blij van een goed aanbod? Wij wel!



**Ben jij net als wij op zoek geweest naar overzicht binnen de energiemarkt?** Dan heb je vast gezien dat er verschillende mogelijkheden zijn, om je huis te verduurzamen. Wij kunnen ons voorstellen dat het soms een grote puzzel is, om tot de juiste verduurzaming te komen. Daarom komen we graag met een oplossing die past bij jou persoonlijke wensen en behoeften.

Bij ons gaat het hierom; wat heb je nodig? Waar wordt je blij van? En waar heb je voor nu en in de toekomst behoefte aan? Door dit in kaart te brengen, komen we tot een passende keuzemogelijkheid van één of meerdere producten.

Onze vergelijker geeft niet alleen overzicht van de mogelijkheden, maar verbindt u tegelijkertijd met gerenommeerde adviseurs, installateurs en leveranciers uit de regio.

### Wij vinden het belangrijk dat we transparant, onafhankelijk en overzichtelijk zijn.

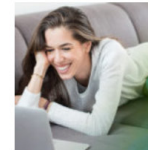
Wij streven naar een onafhankelijk en transparant overzicht van systemen en producten waarmee u uw woning kunt verduurzamen. Wij werken samen met gerenommeerde adviseurs, installateurs en leveranciers uit de regio, die u kunnen helpen met advies, systeem integratie en installatie.



andere Produkte müssen noch verarbeitet werden. Die Ursachen für die Verzögerung sind:

- Der Start der Entwicklung war erst spät möglich, da die Produkte zuerst entwickelt werden mussten und Informationen von Partnern erst später bereitgestellt werden konnten.
- Aufgrund eines Konflikts mit dem Vergleichsmodul mussten zwei Vorlagen erstellt werden.

Seafuy wird weiterhin Produkte importieren, die direkt zur Energiewende beitragen. Es wird damit gerechnet, dass die ersten Produkte bis Ende März 2021 online sein werden und dass auch die Website dann live gehen kann.



### Supro Cooling Benelux bv

Parallelweg 10-31  
7137 PE Lievelede  
+31851301936  
info@supro-cooling.com

Website

Wilt u, uw gebouw, woning of proces duurzaam verwarmen of koelen? Supro Cooling is de specialist op het gebied van warmte gedreven koelsystemen en warmtepompen. Onze systemen staan garant voor een duurzame en comfortabele woon- of werkomgeving

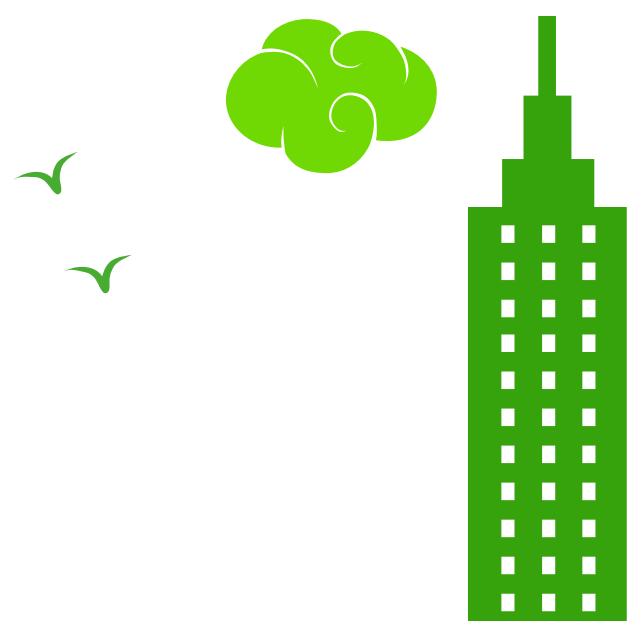


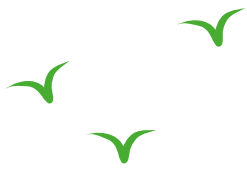
### BEAU solar bv

Molensingel 73  
6229PC Maastricht  
+31 6 15 50 54 99  
info@beausolar.eu

Website

Wat BEAU solar® anders maakt? Waar traditionele zonnepanelen los bovenop uw dakbedekking geplaatst worden, integreren wij onze zonnepanelen in de dakbedekking. Dat ziet er niet alleen veel mooier uit, maar stelt ons ook in staat om het hele dakvlak te benutten: kwalitatief en duurzaam.





## – Einleitung Arbeitspaket 2 +

### *Batteries@Home*

In vielen Siedlungen wird zunehmend Energie dezentral, beispielsweise durch Photovoltaikmodule, erzeugt. Nicht der gesamte Solarstrom, der erzeugt wird, wird auch im Gebäude verbraucht. Tagsüber wird hauptsächlich Energie erzeugt, während morgens und abends der Energiebedarf am größten ist. Im Durchschnitt wird ein Drittel sofort verbraucht, während zwei Drittel zurück in das öffentliche Stromnetz eingespeist wird. Wenn der Energiebedarf in den Gebäuden sehr groß ist, wird immer noch konventioneller Strom aus dem öffentlichen Netz genommen. Durch die Speicherung von elektrischer Energie mit kleinen Batterien in den einzelnen Gebäuden kann der Eigenverbrauch verdoppelt werden. Innerhalb dieses Arbeitspaketes haben daher verschiedene KMU und Fachorganisationen an der (Weiter-)Entwicklung von innovativen stationären Batterietechnologien (5-10 kWh) gearbeitet, um die Speicherkapazitäten und die Eigenverbrauchsquote von selbst produziertem Strom in Wohnhäusern zu erhöhen. Die Verbindung zum Stromnetz blieb dabei bestehen – daher wird keine vollständige Netzautarkie angestrebt.

Im Rahmen des Projekts lag der Fokus auf dem Test und der Weiterentwicklung der folgenden 2 Batterietypen bis zur Marktreife.

a) Bleikristall-Batterien können eine hohe Anzahl von Entladezyklen verkraften. Das macht die Technologie sehr robust und bietet dadurch einen Wettbewerbsvorteil gegenüber herkömmlichen Li-on-Technologien. Durch die einzigartige Zusammensetzung von anorganischen Salzen und organischen Substanzen in der Batterie, ist es möglich, die Lade- und Entladezyklen aufeinander abgestimmt zwischen den Elektroden und dem Bleikristall verlaufen zu lassen. Dies verhindert, dass das Material spröde wird und macht mehr Ladezyklen möglich.

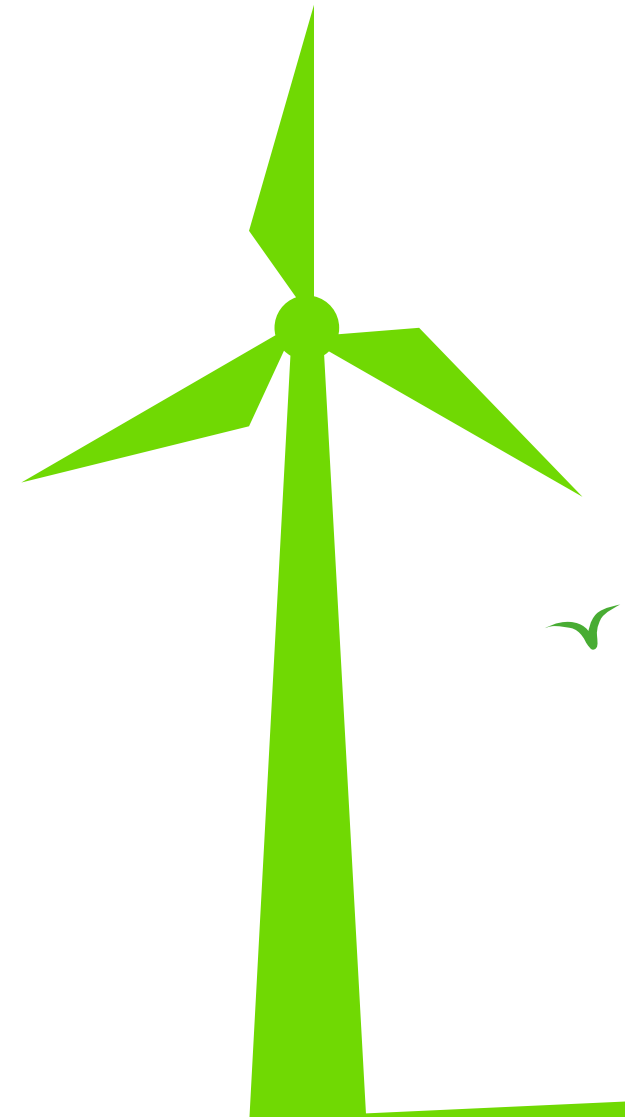
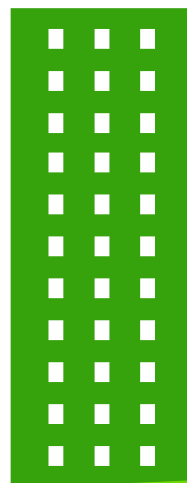
b) Natrium-Schwefel-Batterien, die sich im Gegensatz zu herkömmlichen Batterien durch sehr geringe Speicherkosten auszeichnen (aufgrund der Verwendung des im Überfluss vorhandenen natürlichen Rohstoffs Natrium aus Natriumsalzen). Durch das Hinzufügen von organischen und anorganischen Additiven an der Elektrode wird es möglich diese Batterien bei niedrigeren Temperaturen zu betreiben, als es bei herkömmlichen Natrium-Schwefel-Batterien der Fall ist, die nur bei sehr hohen Temperaturen funktionieren.

Um die im Rahmen des Tests der Bleikristall Batterie in einem Einfamilienhaus erhaltenen Daten weiter zu analysieren, wurde außerdem das Gebäude modelliert und verschiedene Simulationen durchgeführt. So konnte das Verhalten des Energiesystems sehr genau verstanden werden, um Einblicke in die Auswirkungen verschiedener Faktoren zu erhalten, die die Leistung und Effizienz des Energiesystems beeinflussen können. Dies geschieht unter anderem durch Variation der Größe und



Kapazität der verschiedenen Komponenten in der Simulation. Man erhält so wichtige Erkenntnisse zur idealen Auslegung der Batterie und des gesamten Energiesystems.

Um den Prototypen der Natrium-Schwefel-Batterie auch im Labor unter möglichst praxisnahen Bedingungen testen zu können, wurden realistische Verbrauchs- und Erzeugungprofile eines Einfamilienhauses mit einer zeitlichen Auflösung von 1s verwendet. Somit ist es möglich auch bei fortlaufender Weiterentwicklung der Batterie schon im Vorfeld wichtige Erkenntnisse über die zukünftige Funktion der Batterie in einem Wohnhaus zu erlangen.



# – Natrium-Schwefel-Batterie | Exergy Storage +

## Produkt

Exergy Storage ist ein niederländisches Startup-Unternehmen, das eine neue Batterietechnologie entwickelt, die auf reichlich verfügbaren und billigen Rohstoffen basiert. Die Entwicklung dieser neuen Batterietechnologie begann mit dem Ziel, sich dabei auf Rohstoffe wie gängige Metalle (z.B. Aluminium und Eisen), (Stein-)Salz, und Sand zu stützen.

## Entwicklung und Zusammenarbeit

Im Rahmen dieses Projekts wurde in einer einzigartigen deutsch-niederländischen Zusammenarbeit eine wichtige neue salzbasierte Batterietechnologie entwickelt. Die Zusammenarbeit im Projekt erfolgte zwischen Exergy Storage, CNC Speedform aus Deutschland, die die Hardware für die Prototypen herstellte, der Hogeschool Arnhem & Nijmegen (HAN) und dem Gas- und Wärme-Institut GWI Essen, die einen Beitrag zu den Simulationen und Zellmessungen leisteten.

Ziel war es, einen Demonstrator zu realisieren, mit dem die neue Technologie vom Labormaßstab auf den Maßstab einer Hausbatterie hochskaliert werden kann. In diesem Projekt wurde die erste Generation (Gen1) dieser Batterietechnologie zunächst im Labormaßstab getestet (Abb. 1) und für die Hochskalierung vorbereitet. Anhand dieser Tests konnte festgestellt werden, dass die Wirtschaftlichkeit der neuen Technologie noch verbesserungsfähig war. In einem Parallelprojekt wurde zum Projektende eine neue verbesserte Zellchemie (Gen2) entwickelt.



	Li-ion (LFP)	Gen I	Gen II
Aktivmaterial	LiFePO4/Carbon	Natriumschwefel	„Ionic liquid“ auf der Grundlage von Na-Ionen
Separator/Elektrolyt	Flüssiger Elektrolyt	ionenleitende keramische Zellmembran	
Energiedichte (Wh/kg):	120	50	<b>100</b>
Entladungszeit	1 - 2 Stunden	10 Stunden	<b>4 - 8 Stunden</b>
Intrinsische Sicherheitsmerkmale	Brennbarer Elektrolyt, Thermisches Durchgehen möglich	Sicherheit durch Zelldesign	<b>Idem + nicht brennbare Rohstoffe</b>
Geschätzte Produktionskosten	250 (Großverbraucher) - 750 (Haushalte) €/kWh	100 €/kWh	<b>50 (Großverbraucher) - 70 (Haushalte) €/kWh</b>
Kreislaufprinzip	Schwierig zu recyceln	recyclebar	<b>Idem + zirkulärer Materialeinsatz</b>

Zur Demonstration wurden hochskalierte Zellen mit realistischen Nutzungs- und Erzeugungsprofilen getestet, die vom GWI Essen bezogen wurden. Die Erzeugungs- und Nutzungsprofile stammen von einem repräsentativen (deutschen) Haushalt mit einer 4,5 kW PV-Anlage. Exergy stellte fest, dass hochskalierte Zellen den schnellen Leistungsschwankungen gut folgen können. Außerdem wurde in einer Simulation auf Basis der experimentellen Batterieparameter festgestellt, dass durch den Einsatz einer Hausbatterie der Eigenverbrauch steigt. Der Eigenverbrauch ist der Prozentsatz des erzeugten Solarstroms, der tatsächlich vor Ort genutzt wird. In dieser repräsentativen Situation steigt er von ca. 42 % auf ca. 67 % und in den sonnigen Perioden im Frühjahr und Sommer steigt der Eigenverbrauch von 35 bis 40 % auf ca. 85 %.



## Ergebnisse und Zukunft

In diesem Projekt wurde das Ziel erreicht, einen Demonstrator zu realisieren, mit dem die Zellentechnologie vom Labormaßstab auf den Maßstab einer vollwertigen Hausbatterie hochskaliert werden kann. Die Entwicklung zeigt auch, dass der Einsatz einer Hausbatterie dazu beiträgt, die CO<sub>2</sub>-Emissionen aus dem Energieverbrauch von Haushalten zu reduzieren, indem der Eigenverbrauch erhöht wird. Die Batterie erhöht auch die Wirtschaftlichkeit von Solarmodulen, sobald der ins Netz eingespeiste Strom nicht mehr verrechnet werden kann (wie es in Deutschland schon seit einiger Zeit der Fall ist und in den Niederlanden ab 2023 eingeführt wird). Die neue Technologie wird derzeit weiterentwickelt und ein Demonstrationsprototyp ist geplant.

Exergy Storage

F&E-Standort:  
Industriepark IPKW, Gebäude CB-U10  
Westervoortsedijk 73  
6827 AV Arnhem, Niederlande

M. [contact@exergy-storage.com](mailto:contact@exergy-storage.com)



Abbildung 1: Exergy Laborzelle



Abbildung 2: Exergy hochskalierte Prototypzelle. (24 dieser Zellen bilden eine Gen1-Batterie mit einer Kapazität von ca. 5 kWh.)

## Produkt

HaHe b.v. entwickelt Batterien auf der Grundlage von Bleikristallbatterien. Bleibatterien laden und entladen sich schnell, sie sind sicher und leicht zu recyceln. Bleikristallbatterien werden am Ende ihrer Lebensdauer zu 99 % recycelt. Das gilt für alle Komponenten der Batterie, das Kunststoffgehäuse, Elektrolyt, Elektroden und Kleinteile. Sollte eine Störung in einer Batterie auftreten, z.B. eine Überspannung, wird die Batterie einfach „austrocknen“. Es besteht keine Brand- oder Explosionsgefahr. Aufgrund dieser hohen Sicherheit werden Bleikristallbatterien auch häufig in Militärfahrzeugen eingesetzt. Die Lade- und Entladerate (C-Rate) ist für den Heimgebrauch sehr gut geeignet. Die Batterien sind schwer, aber das spielt bei stationären Anwendungen eine untergeordnete Rolle.

## Entwicklung und Zusammenarbeit

In Kleve haben HaHe, GWI Essen, Crijns Energy Controlling und die Hogeschool Arnhem & Nijmegen gemeinsam an der Überwachung der Batterie in einem Demo-Haus gearbeitet. Nach einigen Problemen mit dem Einspeisen der Daten, standen diese schließlich zur Verfügung.



HaHe.bv

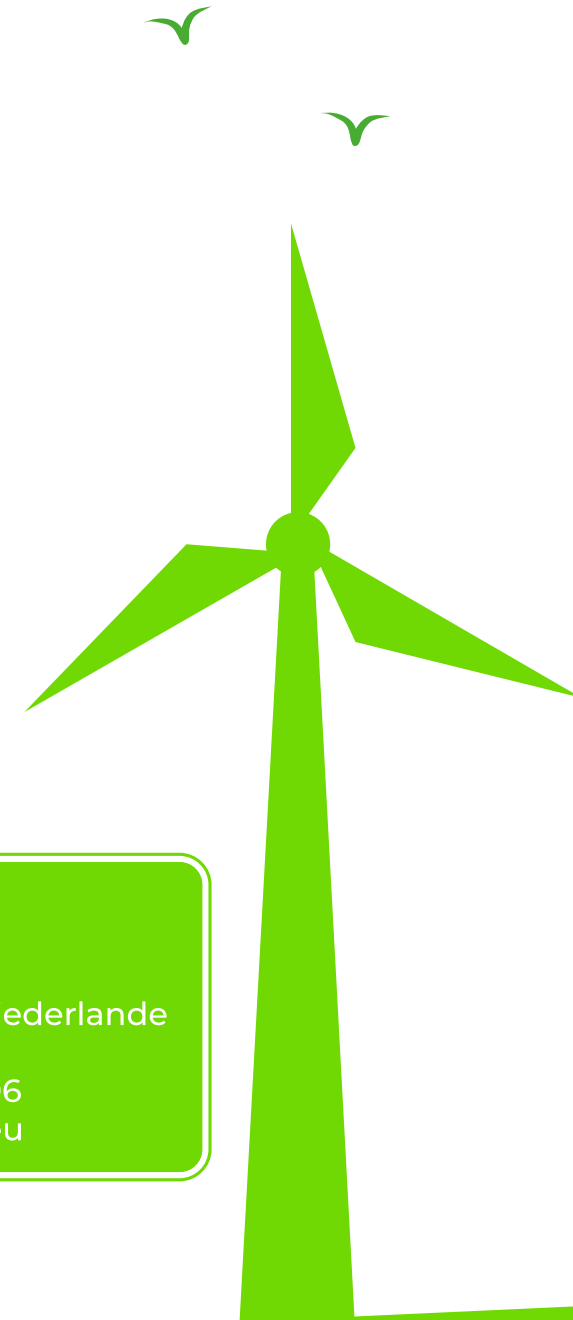
Die Hogeschool Zuyd bot an, einen größeren Teststandort in Heerlen in Betrieb zu nehmen. Bei der Inbetriebnahme hat HaHe die Batterien selbst montiert. Nach der Anpassung des Zählerkastens konnten die Daten abgerufen werden und konnte man sich einen guten Überblick über die Erzeugung und den Verbrauch im Testhaus machen.

Schließlich wurde der Teststandort in Heerlen geschlossen und wurden die einzelnen Batterien nach Kleve transportiert, um in der Endphase des Projekts einen Vergleich zwischen den verschiedenen Batterien vornehmen zu können. Es wurden Untersuchungen durchgeführt, um die richtige Größe der Batteriesätze und deren Optimierung zu ermitteln. Beide Systeme mit unterschiedlichen KW-Leistungen wurden dort nebeneinander montiert und untersucht.



## Ergebnisse und Zukunft

Die Zusammenarbeit mit den verschiedenen Partnern im Projekt Cleantech Energy Crossing verlief gut. Die Ergebnisse zeigten, dass der größte Engpass bei Batteriesystemen die Kosten betrifft. Die Preise für Solarmodule und diese Batteriesysteme sind für potenzielle Kunden zu hoch, sicherlich für deutsche Verhältnisse. Die Untersuchungen im Zusammenhang mit der Bleikristallbatterie waren sehr lehrreich, z.B. in Bezug auf die Prüfsensoren, die für die Einrichtung der Prüfoptimierung notwendig sind. Die grenzüberschreitende Zusammenarbeit mit den verschiedenen Partnern leistete dabei einen wichtigen Beitrag zu diesem Projekt. Die Erfahrungen aus diesem Projekt waren für HaHe bv sehr hilfreich und können bei einem neuen Projekt mit Solarmodulen, zum Beispiel in Indien, genutzt werden.



HaHe b.v.  
Herman Harkink  
Looweg 5  
7244RT Barchem, Niederlande

T. +31 (0)6 29 57 67 96  
M. Herman@HaHe.eu

# Ergebnissen der Praxistests

In diesem Arbeitspaket wurden zwei Häuser analysiert, in denen ein Batteriespeichersystem installiert ist. Messdaten wurden über einen mehrjährigen Zeitraum gesammelt und dienten als Basis für die Modellierung.

Die Kooperationspartner in diesem Arbeitspaket sind:

1. HaHe
  - Lieferung und Installation der Batteriespeichersysteme
2. Energy Controlling
  - Beschreibung der Testhäuser mit zugehörigen Installationen
  - Überwachung und Verarbeitung der Messdaten
3. HAN
  - Analyse und Modellierung der Messdaten mit dem HOMER-Softwarepaket
4. GWI
  - Analyse und Modellierung der Messdaten mit dem Softwarepaket Modelica Dymola
  - Analyse der wirtschaftlichen Rentabilität

## 1. Teststandorte

Für den Praxistest standen zwei Häuser zur Verfügung:

1. Ein renoviertes Bergmannshaus in Heerlen, Niederlande, mit dem Energiezeichen A ++ und 27,6 m<sup>2</sup> PV-Modulen in Ost-West-Ausrichtung, in dem von August 2018 bis Dezember 2019 7,2 kWh auf einem Batteriespeichersystem gemessen wurden.
2. Eine Doppelhaushälfte in Kleve, Deutschland, gebaut in den Jahren 2007-2008, ebenfalls mit dem Energielabel A ++ und 41 m<sup>2</sup> nach Südosten ausgerichteten PV-Modulen. In diesem Haus wurde von Januar 2019 bis August 2020 ein Batteriespeichersystem mit einer Bruttokapazität von 9,6 kWh gemessen.

## 2. HAN-Modellierung, basierend auf den erhaltenen Messdaten

HAN verwendete das HOMER-Softwarepaket zur Analyse und Modellierung basierend auf den erhaltenen Messdaten. Mithilfe der Modellierung können wir das Verhalten der Energiesysteme so genau wie möglich

simulieren, um so einen Einblick in die Auswirkungen verschiedener Faktoren zu gewinnen, die die Leistung und Effizienz der Energiesysteme beeinflussen können. Dies wurde unter anderem durch Variation der Größe und Kapazität der verschiedenen Komponenten in der Simulation erreicht. Zum Beispiel mehr oder weniger Energiespeicher oder mehr oder weniger Solarpaneele auf dem Dach eines Hauses. Die Analyse wurde für den deutschen Teststandort durchgeführt. Abbildung 1 zeigt schematisch die Struktur des Modells in HOMER:

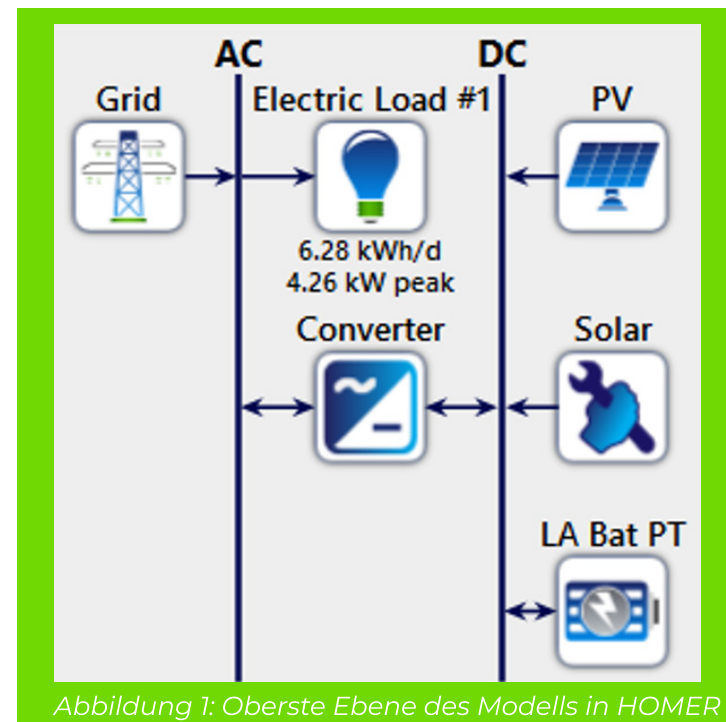


Abbildung 1: Oberste Ebene des Modells in HOMER

Die folgenden Komponenten sind in der obigen Abbildung zu sehen:

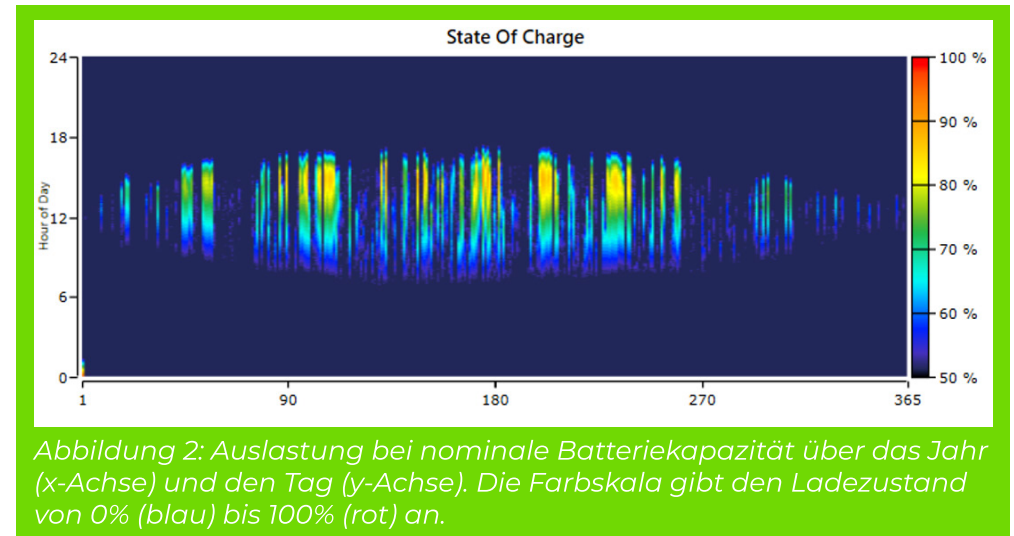
- Grid: Der Netzanschluss.
- Electric Load # 1: Das Bedarfsprofil des Hauses basierend auf den Messdaten. Darunter der durchschnittliche Verbrauch in kWh pro Tag und der Spitzenleistungswert in kW; Der angegebene Wert ist ein Beispiel.
- Converter: Wandelt Strom von Gleichstrom (DC) in Wechselstrom (AC) um oder umgekehrt.
- Solar: Der Solarstrom, der mit PV-Modulen basierend auf den Messdaten erzeugt wird.
- LA Bat PT: Dies sind die Blei-Säure-Batterien (LA = Blei-Säure) des Lieferanten PowerTrust (PT).
- PV: Dies ist das Standard-HOMER-Solarmodul zum Vergleich mit der gemessenen Solarleistung.

Folgende mögliche Situationen wurden in HOMER Pro für den Deutschen Teststandort untersucht:

- Einmaliger nominaler Strombedarf und zweimaliger nominaler Strombedarf
- Einmal die nominale Speicherkapazität halbieren und verdoppeln
- Einmal die nominale Solarmodulkapazität und doppelt so viel

Die Ergebnisse der Modellierung in HOMER befassen sich unter anderem mit der Auslastung der Batterie. Ihr Ladezustand über das Jahr ist in Abbildung 2 für die nominale Batteriekapazität und den nominalen Strombedarf dargestellt. Das Verhalten der Batterie ist in dieser Grafik deutlich sichtbar. Die linke Achse zeigt Stunden des Tages, die rechte Achse zeigt die Ladezustandslegende und die horizontale Achse zeigt die Tage im Jahr.

Hier sieht man, dass die Batterie vor allem gegen Mittag geladen wird und dass dies hauptsächlich in den Sommermonaten geschieht. Es ist jedoch ebenfalls gut zu erkennen, dass die Batterie nur in begrenztem Umfang verwendet wird und häufig nicht vollständig aufgeladen ist.



### Schlussfolgerungen der Modellierung in HOMER

Während der Arbeit mit HOMER wurde deutlich, dass die Kosten für den Batteriespeicher auf sehr niedrige und unrealistische Werte eingestellt werden müssen, um das Ergebnis zu erzielen, das HOMER für große Batteriekapazitäten optimiert. Ansonsten ist das Ergebnis der Optimierung, dass HOMER eine sehr kleine Batterie empfiehlt. Dies liegt daran, dass HOMER die Batterie anscheinend hauptsächlich als Puffer für kurze Spannungsspitzen betrachtet. Infolgedessen werden Optionen zum Laden während des Tages und zum Entladen nachts mit Strom, der im analysierten Szenario billiger als Netzstrom ist, nicht verwendet.

Dies hat sich als unvorhergesehene Einschränkung von HOMER herausgestellt, die erst spät nach einer Sensitivitätsanalyse der für die Kosten verwendeten Zahlen entdeckt wurde. Die Untersuchung der Möglichkeiten zur Pufferung von Elektrizität trotz dieser Einschränkungen ist dennoch sehr relevant. Diese Analyse zeigt, dass die Installation von Batteriespeichern in Privathaushalten in der aus Kostengründen analysierten Situation eindeutig keinen Sinn ergibt. Ein Batteriepaket kann jedoch beispielsweise dazu beitragen, Spitzenlasten bei der Erzeugung von Solarenergie zu absorbieren, sodass der Wechselrichter mit

einem kleinen Batteriespeicher kleiner gemacht werden kann. In Bezug auf die Kosteneffizienz ist die Installation einer größeren Anzahl von Solarmodulen eindeutig sinnvoll. Dies entspricht angesichts der niedrigen Preise für Solarmodule und des hohen Strompreises für Haushalte in Deutschland den Erwartungen.

### 3. GWI-Modellierung, basierend auf den erhaltenen Messdaten

Das GWI hat die objektorientierte Programmiersprache Modelica zur Modellierung verwendet. Damit können in der Dymola-Modellierungs- und Simulationsumgebung äußerst komplexe Modelle physikalischer Systeme erstellt und simuliert werden. Es eignet sich damit insbesondere für Gebäudesimulationen. Bei dieser Modellierung müssen alle Komponentenmodelle kombiniert und anschließend anhand der Gebäudedokumentation des Testhauses kalibriert werden, damit das Gebäudemodell dem tatsächlichen Gebäude so gut wie möglich entspricht. Die Messdaten aus dem Testhaus wurden für den Stromverbrauch des Haushalts verwendet. Zur Bestimmung der PV-Erzeugung und des Strombedarfs der Wärmepumpe zur Beheizung des Gebäudes wurden lokale Wetterdaten aus dem Testjahr verwendet und sichergestellt, dass die Jahreserzeugung, bzw. der Jahresverbrauch mit den gemessenen Werten identisch sind. Bei der Modellierung der Batterie wurden die Spezifikationen so genau wie möglich an die der PowerTrust-Batterie angepasst. Die Struktur der obersten Ebene des Modells ist in Abbildung 3 schematisch dargestellt.

#### Ergebnisse der Modellierung in Modelica Dymola

Nachdem das Modell so genau wie möglich an die tatsächlichen Umstände angepasst ist, kann außerdem durch die Variation einzelner Parameter deren Einfluss auf das Gesamtsystem untersucht werden. So kann zunächst gezeigt werden, dass die Leistung der Batterie im Vergleich zur ihrer Kapazität nur einen sehr geringen Einfluss auf den Energiefluss im Haus

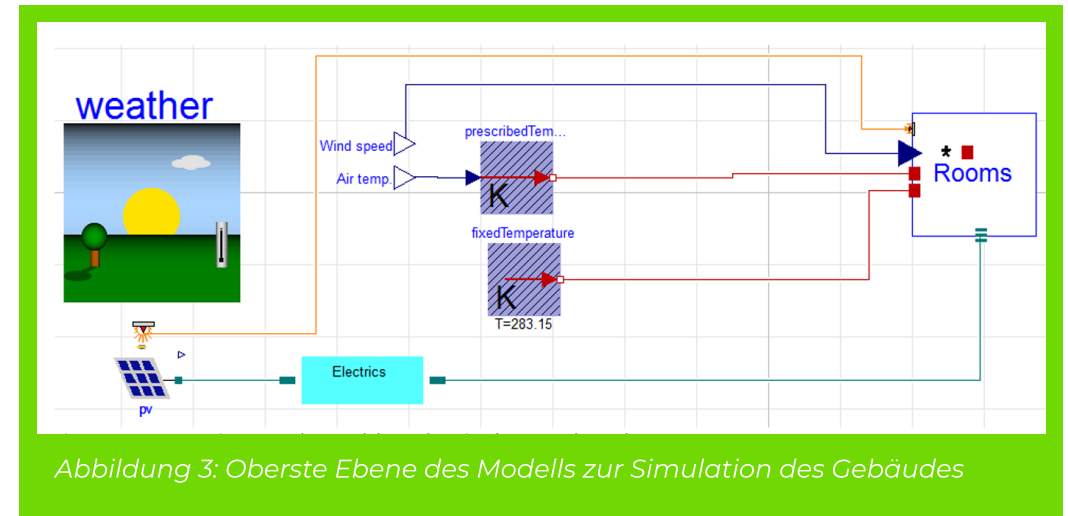


Abbildung 3: Oberste Ebene des Modells zur Simulation des Gebäudes

hat. Anschließend wird das Testhaus neben der Simulation mit der vorhandenen Batterie auch mit kleineren und größeren Batterien simuliert. Das Ergebnis der Variation dieses Parameters ist in Abbildung 5 dargestellt. Sie zeigt die Abhängigkeit der Anteile der Deckung des eigenen Strombedarfs durch PV-Strom (Eigendeckung), der Einspeisung von Strom in das öffentliche Netz und des Strombezugs aus dem Netz (Netzbezug) von der relativen Batteriegröße (1 entspricht der im Haus installierten Batterie). Nachdem das Modell so genau wie möglich an die tatsächlichen



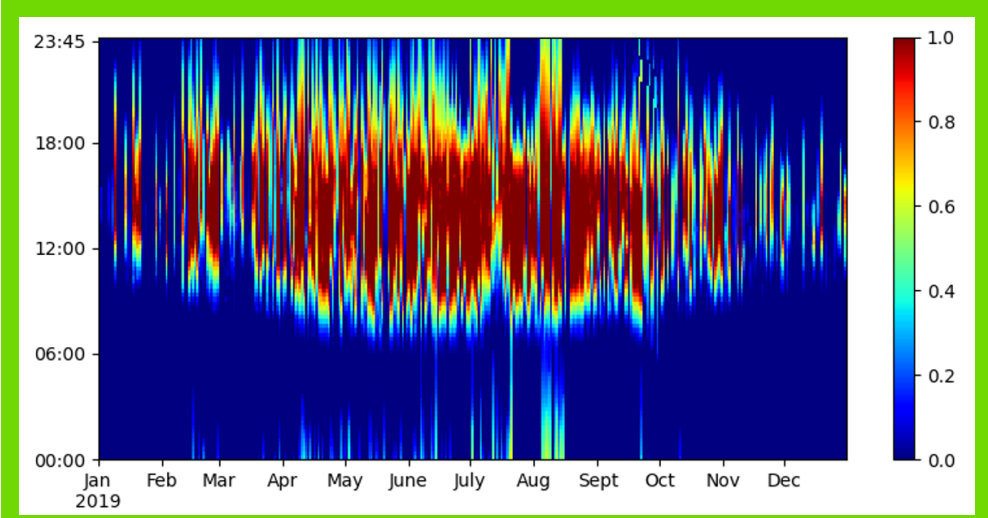


Abbildung 4: Entwicklung des Ladezustands der Batterie über das Jahr (x-Achse) und den Tag (y-Achse). Die Farbskala gibt den Ladezustand von 0% (blau) bis 100% (rot) an.

Umstände ist angepasst, kann außerdem durch die Variation einzelner Parameter deren Einfluss auf das Gesamtsystem untersucht werden. So kann zunächst gezeigt werden, dass die Leistung der Batterie im Vergleich zur ihrer Kapazität nur einen sehr geringen Einfluss auf den Energiefluss im Haus hat. Anschließend wird das Testhaus neben der Simulation mit der vorhandenen Batterie auch mit kleineren und größeren Batterien simuliert. Das Ergebnis der Variation dieses Parameters ist in Abbildung 5 dargestellt. Sie zeigt die Abhängigkeit der Anteile der Deckung des eigenen Strombedarfs durch PV-Strom (Eigendeckung), der Einspeisung von Strom in das öffentliche Netz und des Strombezugs aus dem Netz (Netzbezug) von der relativen Batteriegröße (1 entspricht der im Haus installierten Batterie).

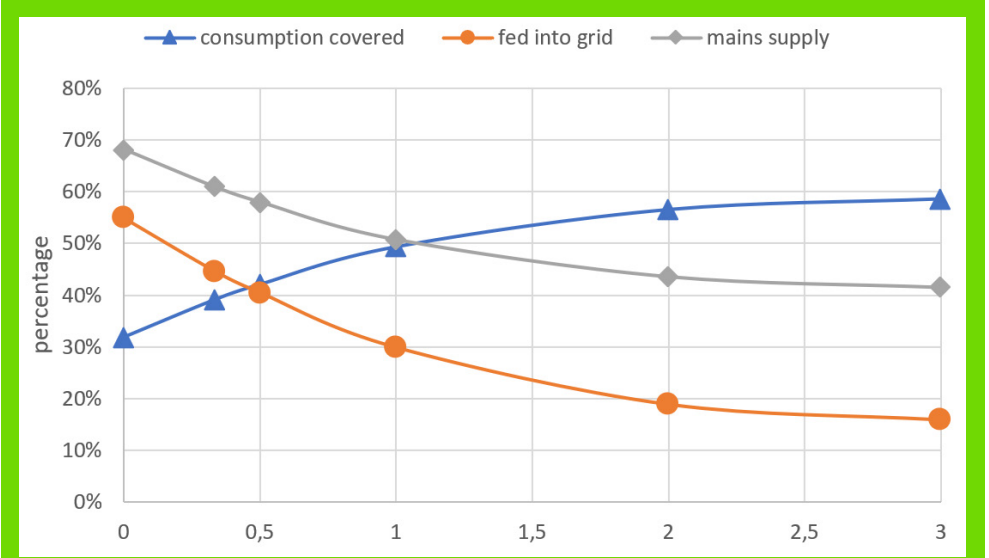


Abbildung 5: Abhängigkeit der Anteile von Eigendeckung, Einspeisung und Netzbezug in Abhängigkeit der relativen Batteriegröße (1 entspricht der im Haus installierten Batterie mit 2,5 kW und 5,6 kWh)

Darüber hinaus wird untersucht, wie sich die Verwendung von zwei Wechselrichtern auswirkt. Die Kombination aus einem kleinen und einem großen Wechselrichter kann die Effizienz des Systems erhöhen, da der Wirkungsgrad eines Wechselrichters deutlich unterhalb seiner Leistungsgrenze stark abnimmt. Für die Technologiekombination im Testhaus werden die besten Ergebnisse erzielt, wenn der kleinere Wechselrichter 1/3 der Leistung des größeren aufweist. Der resultierende Wirkungsgrad der Kombination in Abhängigkeit der von den Wechselrichtern gelieferten Leistung ist in Abbildung 6 dargestellt. Der positive Effekt auf die Gesamtbilanz ist bereits ohne Batterie vorhanden, steigt aber mit der Größe der Batterie. Ob sich die Investition in einen zweiten Wechselrichter auch auszahlt hängt von der genauen Größe der Komponenten und dem Stromtarif des Betreibers ab.

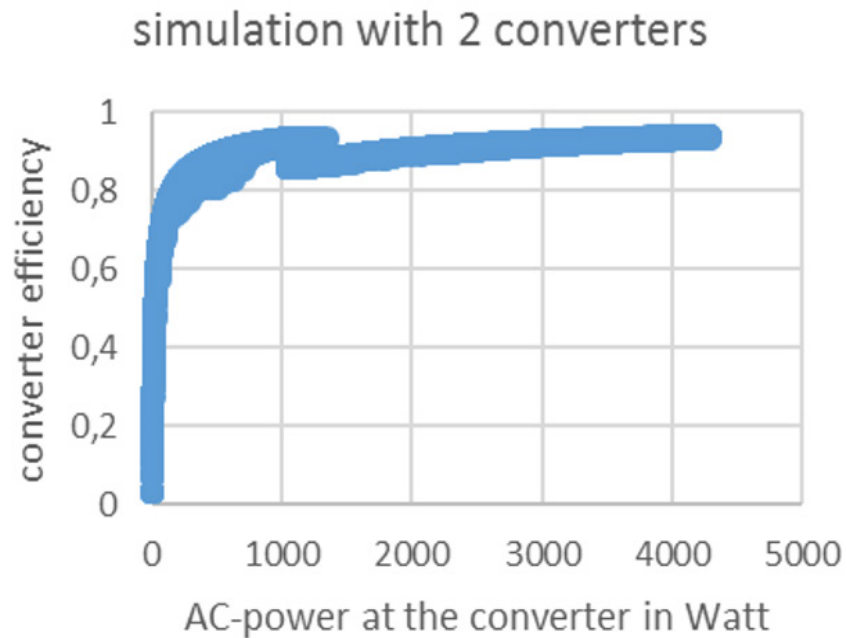


Abbildung 6: Abhängigkeit des kombinierten Wechselrichterwirkungsgrades von der gelieferten Leistung bei der Verwendung von 2 Wechselrichtern, wobei der kleinere 1/3 der Leistung des größeren hat.

### Schlussfolgerungen der Modellierung in Modelica Dymola & wirtschaftliche Machbarkeit

Die wirtschaftliche Machbarkeit der verschiedenen simulierten Systemvarianten wurde nach der Simulation anhand der Ergebnisse in einer Excel-Tabelle berechnet. Man sieht zunächst, dass die Einsparungen durch einen zweiten Wechselrichter über einen Zeitraum von 12 Jahren zwischen 370 € (nur PV) und 700 € (PV + 2 Batterien) und über einen Zeitraum von 20 Jahren zwischen 690 € und 1300 € liegen. Gemessen an den aktuellen Marktpreisen ist es unwahrscheinlich, dass sich eine Installation in diesem speziellen Fall amortisiert.

Es ist auch ersichtlich, dass nach 12 Jahren die Gesamtkosten ohne Batterie mit 1/3 und 1/2 Batterien nahezu identisch sind und die Kosten der Variante mit einer Batterie nur etwa 3% höher sind, während die Variante mit 2 Batterien 18% teurer ist. In diesem Fall lohnt sich die Investition in eine Batterie rein finanziell nicht. Wenn Sie jedoch einen höheren Deckungsgrad durch Solarenergie wünschen, entstehen in jedem Fall nur sehr geringe zusätzliche Kosten. Geht man von einer Laufzeit von 20 Jahren aus, lohnt sich die Anschaffung von 1/3, 1/2 oder 1 Batterie mit ähnlich guten Ergebnissen, bei 2 Batterien fallen jedoch auch dann wieder höhere Kosten an.





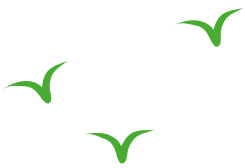


# Arbeitsbereich

## Arbeitsbereich

Der geografische Schwerpunkt dieses Projektes liegt in der Grenze des Landes Nordrhein-Westfalen mit der niederländischen Provinzen Gelderland, Nordbrabant und Limburg.





## Micro-grid storage

Die enorme Zunahme der Zahl der Windturbinen, Solarmodule, Wärmepumpen und Elektrofahrzeuge, die zu unterschiedlichen Tageszeiten Energie produzieren und verbrauchen, führt zu immer größeren Schwankungen bei Energieangebot und -nachfrage. Dies führt zu Instabilität im Stromnetz und hat schwankende Energiepreise zur Folge. Durch den Einsatz von Batterietechnologie in der lokalen Energieversorgung können die Spitzen und Täler im Energienetz ausgeglichen werden. Das Ziel dieses Arbeitspakets ist die Entwicklung, Demonstration und Analyse von zwei innovativen Batterietechnologien in einer Micro-Grid-Umgebung. In diesem Arbeitspaket arbeiten verschiedene KMU und Wissenseinrichtungen gemeinsam an der (Weiter-)

Entwicklung innovativer stationärer Batterietechnologien (50 - 300 kWh), um die Speichermöglichkeiten innerhalb lokaler Micro-Grids zu erhöhen. Der Schwerpunkt liegt dabei auf der Weiterentwicklung der folgenden beiden Batterietypen zu marktreifen Produkten:

- Dr. Ten Meersalzbatterie
- Elestor Wasserstoff-Brom-Redox-Flow-Batterie

Beide Systeme können eine große Anzahl von Ladezyklen absolvieren, was die Technologie sehr robust macht und somit einen Wettbewerbsvorteil gegenüber der konventionellen Li-Ion-Technologie bietet. Zudem unterscheiden sie sich durch sehr niedrige Speicherkosten (durch die Verwendung reichlich vorhandener natürlicher Rohstoffe: Meersalz, Wasserstoff und

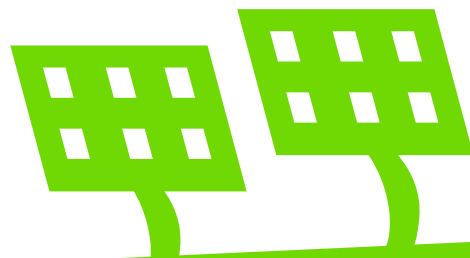
Brom) von herkömmlichen Batterien. Infolge der hohen Löslichkeit von Bromidionen ist die Substanz im Überfluss in den Ozeanen vorhanden. Kommerziell lässt sich Brom leicht aus Solequellen gewinnen, zum Beispiel in den Vereinigten Staaten, Israel und China.

Dieses Arbeitspaket befasst sich mit der Steuerung innerhalb von Micro-Grids, in denen dezentrale Energieerzeugung, -speicherung und -verteilung von Strom optimal aufeinander abgestimmt sind. Das Arbeitspaket setzt sich folgendermaßen zusammen:

- Erarbeitung der Anforderungen und Kriterien für die Batterietechnologien und die Ladeinfrastruktur innerhalb eines Micro-Grids und anschließende Entwicklung von Batteriesystemen für Demonstrationsprojekte
- Durchführung von Demonstrationsprojekten für zwei Batteriesysteme (Meersalz und Bromwasserstoff), um das Zusammenspiel von Speichertechnologie und Energieinfrastruktur zu testen
- Entwicklung eines intelligenten Micro-Grid-Modells als Auftakt der kommerziellen Realisierung von Micro-Grids
- Implementierung von innovativen Marktmodellen und Techniken für den Austausch und die Lieferung von Energie innerhalb des Micro-Grids. Darüber hinaus werden technisch-wirtschaftliche Geschäftsmodelle entwickelt, um verschiedene Geschäftsmodelle in beiden Ländern zu positionieren, wie z.B. ein System, das Herkunftsnachweise für nachhaltige Energie ausstellen kann.



Durch die Erprobung der Batteriesysteme unter realistischen Bedingungen an den verschiedenen Teststandorten können Erkenntnisse über die technischen und wirtschaftlichen (Un-) Möglichkeiten des Einsatzes von innovativen Micro-Grids gewonnen werden. Das Micro-Grid-Energieüberwachungsmodell bildet die Kommunikationsplattform der Batteriesysteme mit dem Micro-Grid. Im Anschluss werden die beiden Produktentwicklungen und die Teststandorte beschrieben.





## Produkt

Die Meersalzbatterie von Dr Ten ist eine Batterie, die aus Mineralien, Kohlenstoffarten und Salzen besteht, die größtenteils aus dem Meer und natürlichen Materialien gewonnen werden. Meersalz ist ein wichtiger Bestandteil. Die Batterie hat eine Energiedichte von etwa 30 Wh/kg und einen niedrigeren Selbstkostenpreis als andere Batterien. Außerdem kann die Batterie vollständig leer geladen werden und absolvierte bei den ersten Tests mehr als 7000 Zyklen. Die Anzahl der Zyklen wurde in diesem Projekt erhöht.

Mit dieser neuen Meersalzbatterie gewann Dr Ten im November 2013 den Jan Terlouw Innovation Award. Darüber hinaus hat Dr. Ten zwei Accenture Innovation Awards gewonnen. Die Batterie wurde außerdem für die 20 besten Kreislaufinnovationen in der Provinz Gelderland nominiert.

## Entwicklung und Zusammenarbeit

In diesem Projekt arbeitete Dr Ten an der Entwicklung von Demo-Batterien, integriert in IKT, Elektronik, Netzanschluss und Datenverarbeitung in einem solarbetriebenen Micro-Grid in Olst und Heerlen, mit Optionen für den Stromhandel auf dem Markt.

An den Teststandorten arbeitete Dr Ten mit der Saxion Hogeschool, GPX und der Hogeschool Zuyd zusammen, um die Batterie zu testen und weiterzuentwickeln. Weitere Informationen zu diesen Teststandorten und den Ergebnissen finden sich in den nächsten Kapiteln.

Während des Projekts wurden verschiedene Setups analysiert. Die Batterien konnten erfolgreich mehrere Monate lang stabil betrieben werden, auch wenn die Tests noch bei niedrigen Leistungen durchgeführt wurden. Es wurden gängige Wechselrichter verwendet, die üblicherweise in Solar-PV-Anlagen eingesetzt werden. Im Rahmen des Projekts wurden

die folgenden Wechselrichtertypen getestet: Solar Edge, Victron, SMA und Growatt. Die Untersuchungen ergaben, dass ein normaler Solar-PV-Wechselrichter von Victron (der in den meisten niederländischen Häusern installiert wird) angeschlossen werden kann. Das Hauptproblem bestand darin, dass der Wechselrichter für Blei-Säure- und Lithium-Ionen-Batterien ausgelegt war und sich der Betriebsspannungsbereich von dem der Meersalzbatterie unterschied. Die Meersalzbatterie kann bis auf 0 Volt entladen werden, was für den Großteil der Elektronik kein normaler Wert ist. In diesem Projekt wurde Hard- und Software entwickelt, die einerseits in der Lage ist, mit Wechselrichtergeräten zu kommunizieren und andererseits Meersalzbatterien vollständig entladen kann, wobei sich die Lade- und Entladeeigenschaften von herkömmlichen Batterietechnologien wie Lithium oder Blei-Säure unterscheiden. Die Hard- und Software konnte am Standort Aardehuizen erfolgreich getestet werden.

In den Feldstudien untersuchte Dr Ten die Möglichkeiten eines vollständigen DC-Systems (Gleichstrom) zur Reduzierung der Netzlast bei der Hogeschool Zuyd. Dort wurde zunächst ein Batteriesystem installiert und eine weitere Analyse des Netzes durchgeführt.

Auch die Meersalzbatterie selbst wurde verbessert. Das Ergebnis der Forschungsarbeit war eine Batterie mit einem verbesserten Zinkanteil, der es ermöglichte, bei der Entladung mehr als 2,5 Ah pro Zelle je Batterie-Pouch (Beutel) zu erreichen, eine deutlich höhere Kapazität als die Batterie ohne die Zinkmodifikation. Die Stabilität muss jedoch noch verbessert werden. Außerdem konnten andere Typen dieser Batterien im Labormaßstab bis zu 64000 Mal aufgeladen werden.

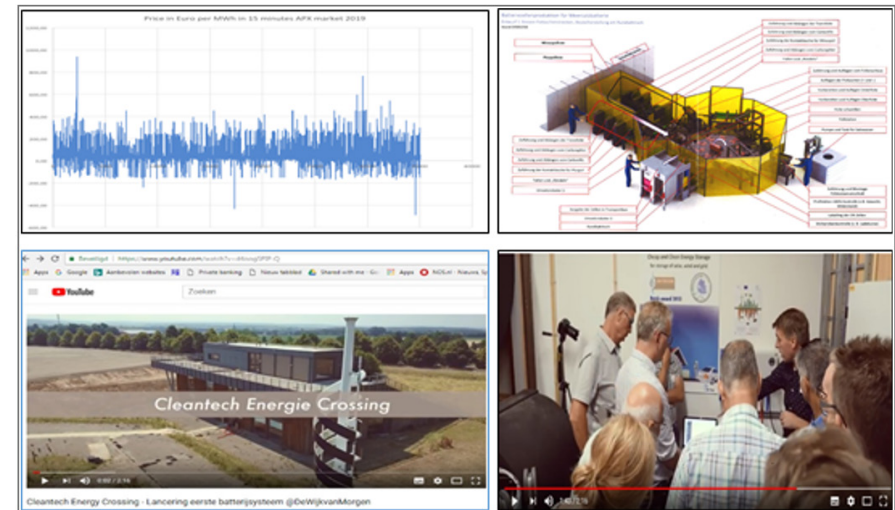


Jules Box für die Interaktion mit dem Energiemarkt. Gleichzeitig eine erste Demo für netzgekoppeltes EV Mobility Back-up.

### Ergebnisse und Zukunft

Die Entwicklung der Pilotproduktion von Batterien verlief zwar langsamer als erwartet, sie war jedoch dank der Unterstützung mehrerer Projektpartner erfolgreich. Viele Materialien, mit denen die Batterie verbessert und hergestellt werden kann, stammen aus Deutschland und aus der Provinz Limburg. Kürzlich wurde ein deutscher Partner gefunden, der bereit und in der Lage ist, Ofenversuche durchzuführen, um aus diesen Roh- und Filzmaterialien die richtige Elektrode zu entwickeln. Außerdem gab es eine intensive Zusammenarbeit mit SGL in Deutschland, in deren Rahmen verschiedene neue Materialien getestet wurden.

Die Batterie hat die Dauertests erfolgreich bestanden, muss aber noch weiter hochskaliert werden, um höhere Kapazitäten zu erreichen. Dank dieses Projekts wurde die Montage verbessert und die halbautomatische manuelle Produktion wird schneller durchgeführt. Es wird davon ausgegangen, dass die Marktaussichten für netzgekoppelte Systeme gut sind. Dr Ten konzentriert sich nun auf die Massenproduktion und Kostenreduzierung. Verschiedene Unternehmen (und Hochschulen) in der Provinz Limburg und Deutschland können diesen Prozess unterstützen und dadurch mitwachsen.



Dr Ten  
 Rondweg 11M+N  
 8091 XA Wezep, Niederlande  
 T. +31(0)38 2000153  
 M. info@drten.nl

# – Brom-Wasserstoff-Flussbatterie | Elestor B.V. +

## Produkt

Die Brom-Wasserstoff-Fluss-Batterie (HBr-Batterie) von Elestor ist ein innovatives Produkt zur Speicherung elektrischer Energie. Dabei handelt es sich um ein System, das sich besonders für Großspeicher mit Nennleistungen ab 100 kW und Energie ab 1000 kWh eignet.

Die HBr-Batterie bietet zahlreiche Vorteile wie etwa:

- Reaktanten werden nicht abgebaut
- sehr schneller Betrieb möglich
- Skalierbarkeit auf unterschiedliche Größen
- freie Dimensionierung der Leistung (von 100 kW bis zu vielen Megawatt)
- freie Dimensionierung der Energiespeicherkapazität (bis zu vielen Megawattstunden)
- längere Zeitspanne, über die die Batterie geladen und entladen werden kann (10 Stunden oder mehr sind problemlos erreichbar)
- guter Wirkungsgrad (vergleichbar mit Li-Ion und besser als herkömmliche Systeme mit Elektrolyseur und Brennstoffzelle)

Für HBr-Batterien gilt, dass sie umso wirtschaftlicher sind, je größer die Anwendung ist. Die Batterien profitieren also von der Skalierung. Auf diese Weise scheint es durchaus möglich zu sein, Speicherkosten zu realisieren, die in der Größenordnung der Erzeugungskosten von Energie liegen. Das ist bemerkenswert, denn viele der derzeitigen Systeme sind auf einem deutlich höheren Niveau. Dieses Projekt bot Elestor die Möglichkeit zur Weiterentwicklung dieses innovativen Produkts. Elestor wurde mit dem KVK Innovation Top 100 Public Award 2020 ausgezeichnet.



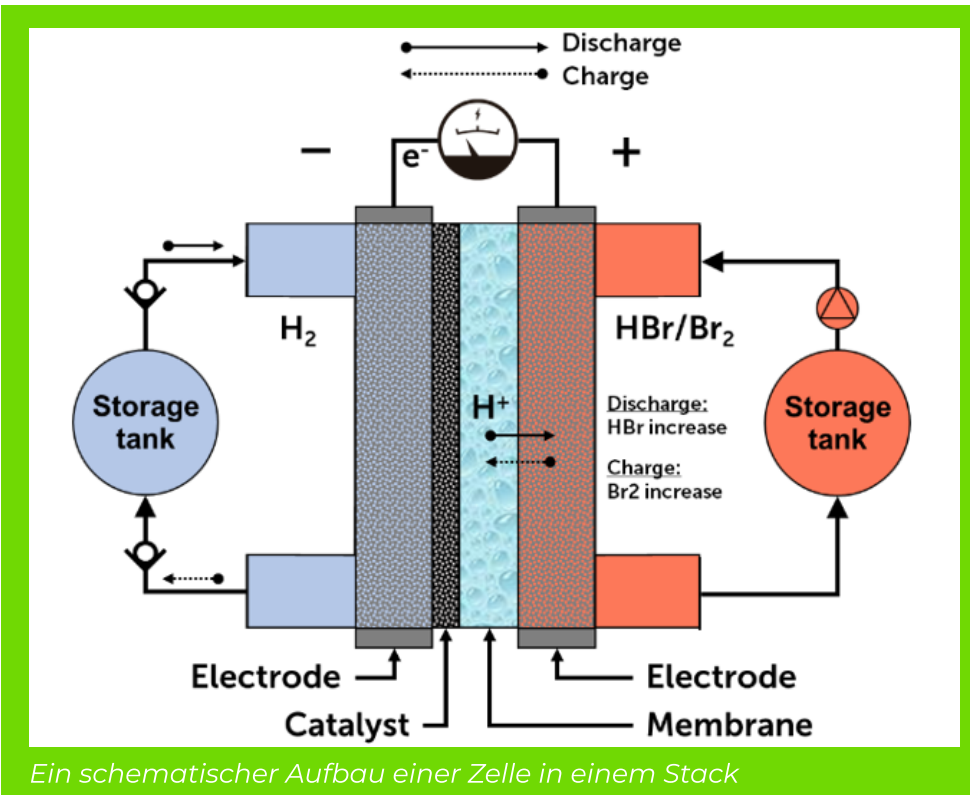
## Entwicklung und Zusammenarbeit

Innerhalb dieses Projekts kooperierte Elestor mit den deutschen Projektpartnern GWI Essen sowie mit der NEW Niederrhein Energie und Wasser GmbH und der niederländischen Firma GPX. Diese Zusammenarbeit wird im Kapitel über das Testgelände in Arnhem ausführlicher beschrieben. Die Bemühungen des CEC-Projekts zielten lange auf einen Erfolg mit Stacks der dritten Generation (Gen3) ab. Nachdem sich jedoch herausstellte, dass diese Stacks nicht in der Lage sind, die oben genannten Anforderungen zu erfüllen, wurden alle verfügbaren Ressourcen genutzt, um einen guten Stack zusammenzustellen. Mit Hilfe von Analysen wurden die für einen neuen Stack erforderlichen Änderungen untersucht und schließlich wurden Stacks der 4. Generation (Gen4) entworfen und gebaut. Dadurch war es



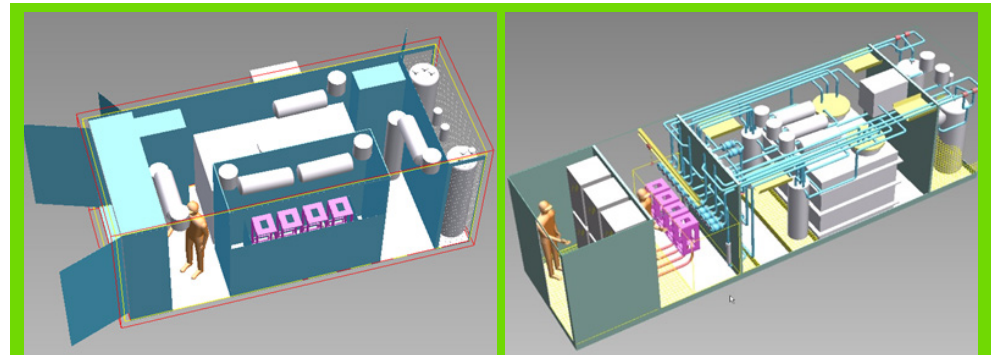
Das Elestor-Batteriesystem mit Modulen mit einem Gen4-Stack

Daher wurden auch diese Komponenten im Rahmen des CEC-Projekts entwickelt. Darüber hinaus wurde ein Energiemanagementsystem (EMS) entwickelt und eine Reihe von Tests durchgeführt, um die Fernsteuerung für bestimmte Geschäftsmodelle zu testen.



möglich, mehrere Gen4-Stacks zu bauen, darunter Dutzende kleinerer Gen4-Stacks (Junior) und mehrere größere Gen4-Stacks (Senior), einschließlich eines 4-Zellen-Stack. Sowohl die Dauertests mit kleineren Gen4-Stacks im Labor als auch die Tests mit den größeren Gen4-Stacks in einer Testanlage für größere Stacks ergaben gute und stabile Ergebnisse. Um die Stacks als Herzstück der Batterie betriebsbereit zu machen, wird ein umgebendes Prozesssystem benötigt.

Innerhalb der begrenzten Zeit und Ressourcen dieses Projekts erwies es sich als unmöglich, ein solches 50-kW-System tatsächlich zu realisieren. Dazu sind Folgeprojekte notwendig. Tatsache ist, dass durch dieses Projekt, auch im Bereich des Anlagenbaus, viele Erfahrungen gesammelt und viele verschiedene Formen des Systemaufbaus geprüft wurden. Um Energie mit dem Stromnetz austauschen zu können, ist neben Stacks und dem Umgebungssystem für die Wirkstoffe auch ein elektrisches System erforderlich.



Zwei HYCE-Entwürfe, die im Rahmen des CEC-Projekts für ein 50-kW-System angefertigt wurden

### Ergebnisse und Zukunft

Als abschließendes Fazit kann gesagt werden, dass es eine gute Zusammenarbeit mit den genannten Projektpartnern gab und eine erfolgreiche Entwicklung der HBr-Batterietechnologie möglich war. Es ist gelungen, ein Batterieprodukt zu realisieren, das in einem Mikronetz oder, noch besser, in einem größeren Netz betrieben werden kann. Auch das Zusammenspiel zwischen der HBr-Speichertechnologie und der Energieinfrastruktur wurde erfolgreich getestet. Aufgrund der nicht vorhersehbaren größeren Herausforderungen war es nicht möglich, Batteriesysteme an Pilotstandorten zu realisieren. Dennoch war der gesamte Prozess äußerst wertvoll für die Weiterentwicklung des Produkts und steht Elestor kurz vor der Vermarktung. Elestor erhält viele Anfragen von Interessenten aus dem Markt. Das Unternehmen wird seine Entwicklung fortsetzen und 2021 wird in dieser Hinsicht ein wichtiges Jahr sein.

Elestor B.V.  
 Joep Lauret (Projektmanager)  
 Westervoortsedijk 73 (Building BF)  
 6827 AV Arnhem, Niederlande

T. +31 6 5132 4053  
 W. [www.elestor.nl](http://www.elestor.nl)

# Teststandort Aardehuizen | Olst

## Teststandort

In der niederländischen Gemeinde Olst befindet sich das Viertel Aardehuizen: ein weitgehend autarkes Viertel, in dem die Bewohner ihre eigenen nachhaltigen Häuser aus Altmaterialien gebaut haben. Am Teststandort in Aardehuizen wurde an einem Energieüberwachungssystem, einer Elektroboilersteuerung und einem Batterie- und Steuerungssystem gearbeitet. Dort wurde ebenfalls die Meersalzbatterie von Dr Ten installiert und erprobt.

## Entwicklung und Zusammenarbeit

An diesem Projekt arbeiteten zwei Forscher, zwei wissenschaftliche Mitarbeiter, fünf Fachhochschulabsolventen/-praktikanten, ein Masterstudent und mehr als zwanzig Fachhochschulstudenten im 3. und 4. Studienjahr der Hogeschool Saxion und der Universität Twente in Projektgruppen.

Es wurden zwei Prototypen von Energieüberwachungssystemen entwickelt, um die Energiebilanz der einzelnen Haushalte über einen Smart Meter zu überwachen. Eines dieser Systeme hat die Energiebilanz eines Haushalts zwei Jahre lang gemessen und gespeichert.

In der letzten Phase des Projekts wurde eine Änderung vorgenommen, durch die Daten auch an ein zentrales Überwachungs- und Steuerungssystem geliefert werden können. Ein Prototyp eines Elektroboilersteuerungssystems wurde entwickelt und getestet, sowohl in einem Labor bei Saxion als auch in einem Haus in Aardehuizen. Schließlich wurden Batteriekapazität und intelligente Steuerungsoptionen für Aardehuizen untersucht und wie sich diese auf die Energieautarkie, den Eigenverbrauch und die Spitzenreduzierung auswirken. Daran ist zu erkennen, wie autark (d.h. nicht abhängig von Energiezufuhr oder -abfuhr von außerhalb des Systems) ein System wie z.B. ein Wohnviertel sein kann. Je höher der Eigenverbrauch, desto autarker das Viertel. Um dies zu untersuchen, wurde ein Energiemodell entwickelt und wurden die Einflüsse

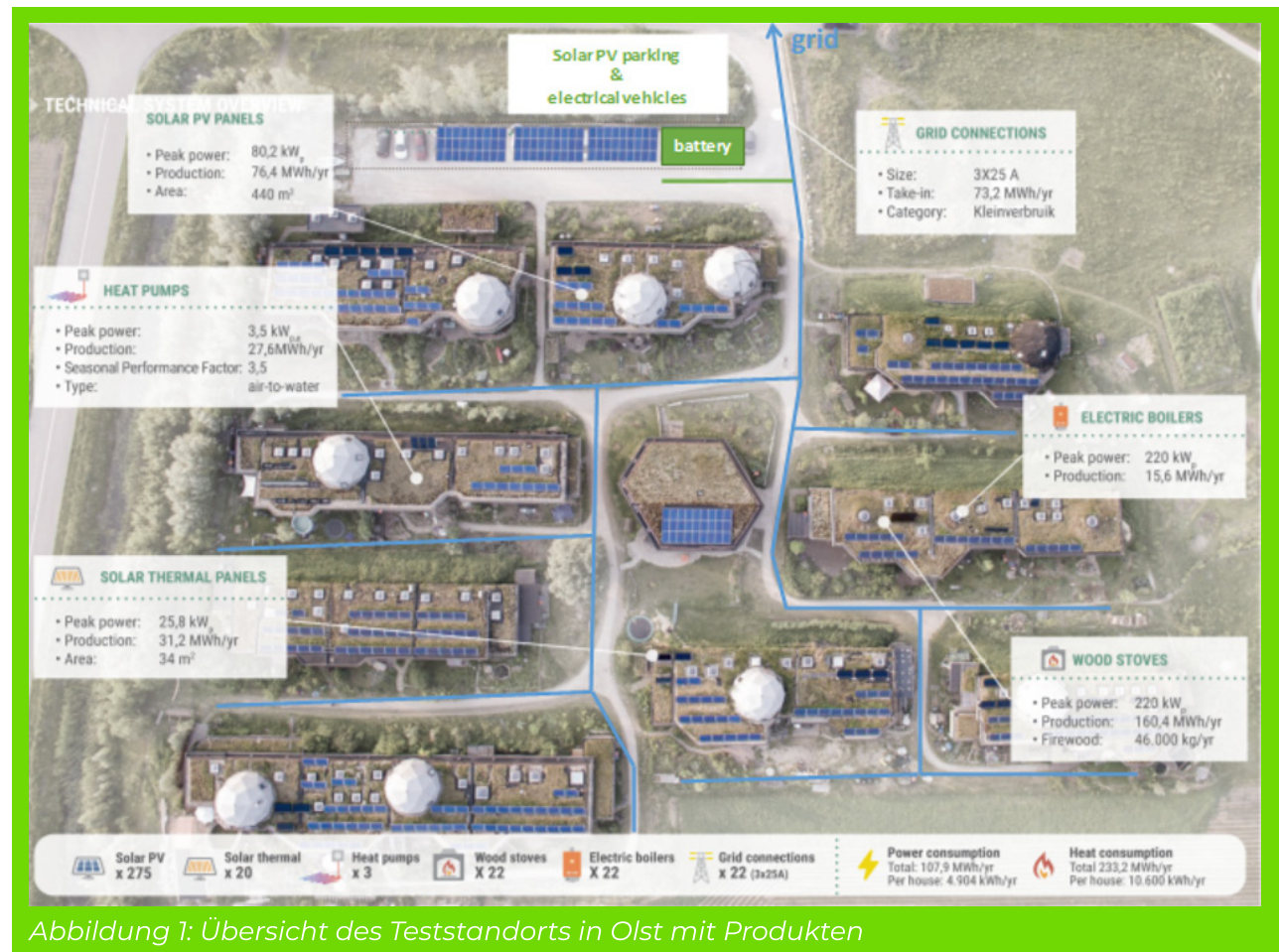


Abbildung 1: Übersicht des Teststandorts in Olst mit Produkten



verschiedener Steuerungsoptionen ermittelt.

Der Test der Meersalzbatterie in Aardehuizen bestand aus zwei Teilen. Im ersten Teil wurde die gesamte Elektronik getestet, um Änderungen im Netzwerk und die Stabilität des Internets zu prüfen. Dieser Teil wurde auch genutzt, um die Interaktion zwischen den Wechselrichtern und der Batterie und andere kleinere Probleme bei der Installation zu beobachten. Im zweiten Teil wurde das System einen Monat lang angeschlossen, um das Lade- und Entladeverhalten der Batterie am Netz und ihre Stabilität zu beobachten.

Das Ziel von GPX ist es, den Nachweis dafür zu erbringen, „wer welche Energie an wen liefert“, um diese Lieferung tatsächlich zu realisieren und nachzuweisen. Dieser Prozess erfolgt durch Mikro Zertifizierung und die Verknüpfung der Energieerzeugung in Echtzeit bis hin zum Verbrauch dieser spezifischen Energie. Dies geschieht durch Messen, Schalten und Kommunizieren sowie Registrieren und Sichern in Echtzeit.

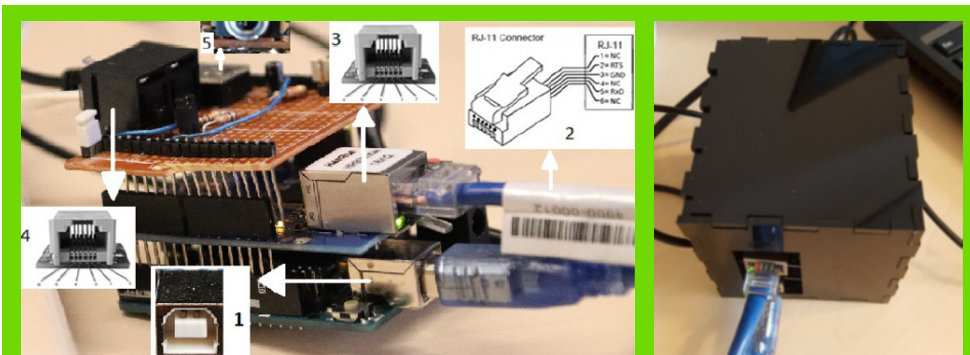


Abbildung 2 Prototyp Hardware mit Gehäuse

Im Rahmen dieses Projekts arbeitete GPX mit Saxion, Dr Ten und InnovationMatters an einer Demo in Aardehuizen, bei der die gesamte Lieferung und Rückverfolgbarkeit der nachhaltigen Erzeugung erfasst wird und belegbar ist. In Aardehuizen wird mit Hilfe von bescheinigten viertelstündlichen Zählerstandablesungen aufgezeigt, dass die Energie, die an einer Messstelle (A) erzeugt wird, entweder an einer anderen Messstelle (B) verbraucht oder in der Quartiersbatterie von Dr Ten gespeichert wird.

Die Quartiersbatterie ermöglicht es, das System weiter zu verfeinern, da sie sowohl Energie liefern als auch Überschüsse für eine spätere Nutzung speichern kann.

## Ergebnisse und Zukunft

Die Energieüberwachung auf Haushaltsebene und der Export dieser Daten an eine zentrale Steuerung wurden realisiert. In einem Folgeprojekt ist es notwendig, die Kontrollmöglichkeiten anhand der Überwachungsdaten zu untersuchen. Wie kann dies beispielsweise weiter zur Energieunabhängigkeit beitragen?

Die Boilersteuerung funktioniert und die Modellierung vermittelt einen Eindruck von der Energie des Elektroboilers. Mit einigen Anpassungen kann das System in Zukunft von einer zentralen Steuerung gesteuert werden. Dies sollte ein Ziel in einem Folgeprojekt sein, ebenso wie die weitere Prüfung und Implementierung von Boilersteuerungen in den übrigen Häusern.

Es wurde ein Modell der elektrischen Energieflüsse in Aardehuizen angefertigt und zur Bestimmung der Batteriegröße verwendet: 62 kWh auf Quartiersebene. In einem Folgeprojekt könnte es interessant sein zu untersuchen, welchen Einfluss eine weitergehende Form der intelligenten Steuerung (unter Einbeziehung von Wettervorhersagen und historischen Verbrauchsdaten) sowohl auf die benötigte Batteriekapazität als auch auf die Energieautarkie des Viertels hat. Darüber hinaus ist auch die Untersuchung der Frage interessant, welche Rolle hybride Energiespeicher (intelligente und optimale Nutzung mehrerer Energiespeicherformen) in dem Viertel spielen könnten.

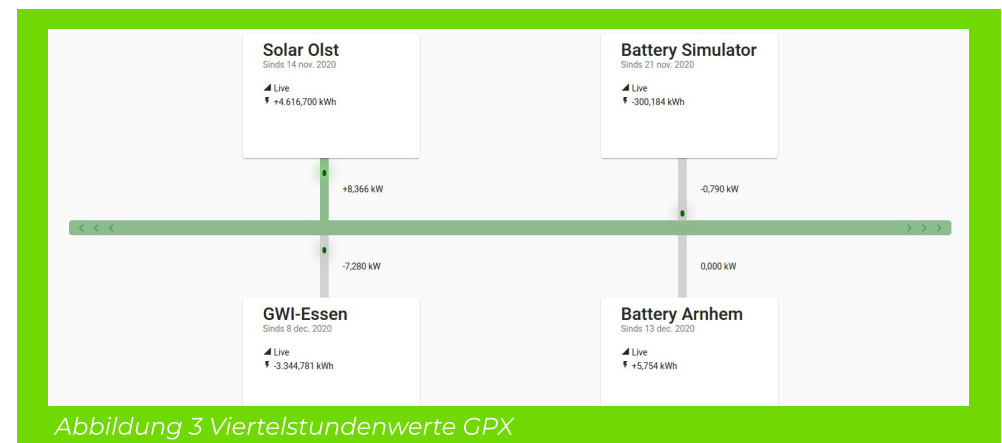


Abbildung 3 Viertelstundenwerte GPX



# – Teststandort De Wijk van Morgen | Heerlen +

## Teststandort

Die „Wijk van Morgen“ (Viertel von morgen), ein Realtestgelände der Zuyd Hogeschool, befindet sich im deutsch-niederländischen Gewerbepark Avantis und besteht aus drei nachhaltigen Gebäuden. Diese Gebäude stellen eine gemeinsame Quelle für Erzeugung, Verbrauch und Speicherung dar (lokaler Ausgleich auf Quartiersebene). An diesem Teststandort haben die Zuyd Hogeschool, Dr Ten und GPX zusammengearbeitet.

## Entwicklung und Zusammenarbeit

In einem der Gebäude wurde zur Speicherung ein Prototyp der Meersalzbatterie von Dr Ten mit einer Speicherkapazität von 2 kWh installiert. An diesem Teststandort wurden drei verschiedene Marktmodelle für das Energiemanagement untersucht:

1. Reduzierung des Netzanschlusses: um den Nutzen des lokalen Ausgleichs zu demonstrieren. Zum Beispiel: 20 kW Produktion, 20 kW maximaler Verbrauch, 10 kW Netzanschluss.
2. Tag-Nacht-Ausgleich: Während der Nacht muss der Großteil der Energie aus dem Speicher kommen.
3. Energiepreis in Abhängigkeit von den Energieverbrauchsspitzen und -tälern: Dies wird nicht im Regler implementiert, sondern mit den gewonnenen Daten simuliert.

Für dieses Projekt wurden 8 Smart Meter installiert, um die tatsächlichen (Echtzeit-) Energieflüsse zwischen den Gebäuden und innerhalb jedes Gebäudes zu registrieren. Nach der Untersuchung mehrerer Typen fiel die Wahl auf einen ABB-Zähler mit hoher Genauigkeit. Dies ist für die Realisierung eines zuverlässigen und schnellen Energieüberwachungssystems notwendig.



Abbildung 1: Teststandort „De Wijk van Morgen“ Zuyd hogeschool

Die Zähler werden über eine Datenverbindung (Modbus) ausgelesen und an einen Mikrocomputer angeschlossen, der die Datenerfassung, Verarbeitung, lokale Speicherung und Kommunikation mit der Datenbank in einer Cloud-Umgebung namens InfluxDB übernimmt.

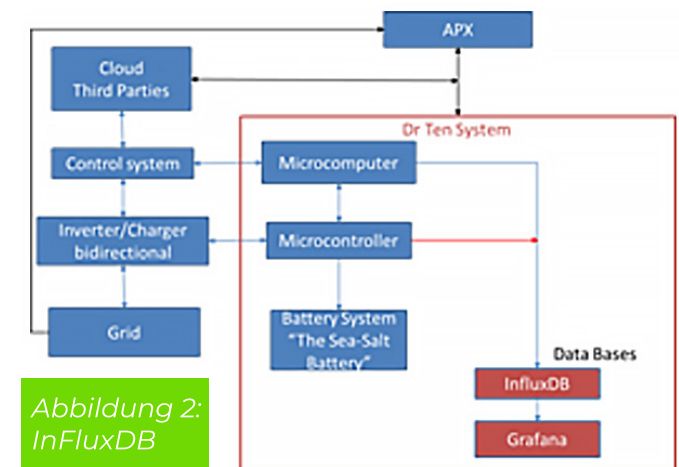


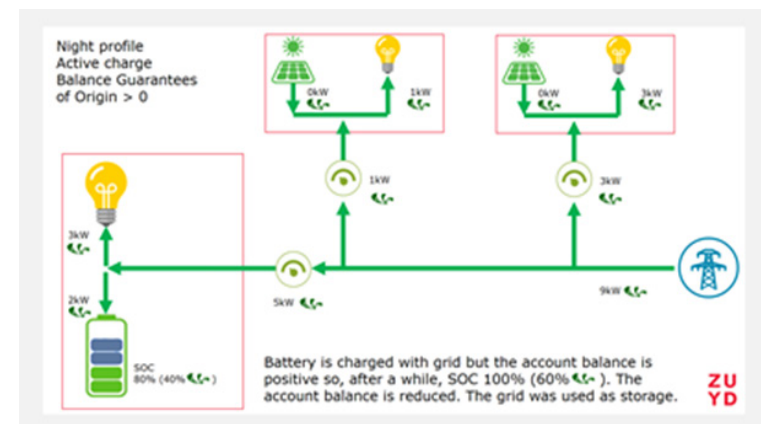
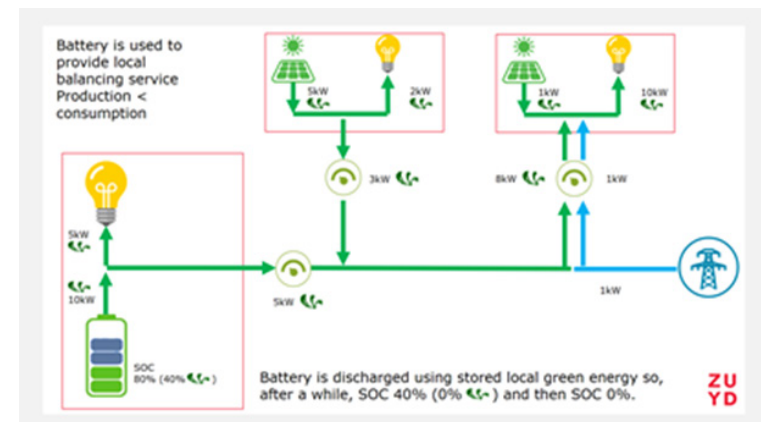
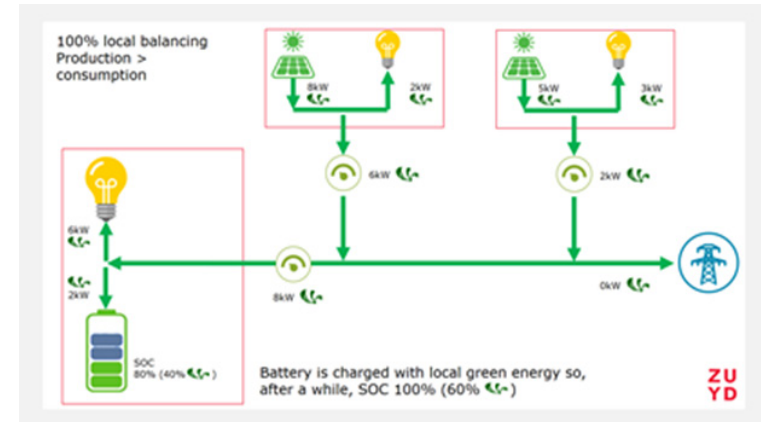
Abbildung 2: InfluxDB

Diese Datenbank ist sehr leistungsfähig und in der Lage, viele Millionen Datenpunkte pro Sekunde zu lesen, zu filtern und zu verarbeiten. Auf diese Weise ist das System von den drei Gebäuden auf Hunderte oder mehr erweiterbar. Über die Datenbank steht ein Dashboard zur Verfügung. Dadurch ist es möglich, viele verschiedene Anwendungen mit der Datenbank zu verbinden. Da das Dashboard in erster Linie für die Überwachung des historischen Verhaltens vorgesehen ist, war es notwendig, (zusammen mit GPX) ein neues Tool für die Visualisierung der Echtzeitdaten zu entwickeln.

In den folgenden drei Abbildungen werden einige Szenarien der auftretenden Energieflüsse dargestellt. Bei den grünen Linien handelt es sich um lokal erzeugte Energie, bei den blauen um Energie aus dem Netz. Das GPX-Energiebank-Symbol wird verwendet, um anzuzeigen, dass diese Energie eine GPX-garantierte Herkunft hat. Der unten stehende Vorschlag hat zu dem von GPX entwickelten aktuellen Dashboard geführt.

### Ergebnisse und Fazit

Der Wechselrichter zwischen der Meersalzbatterie und dem Energienetz wurde während des Testzeitraums nicht vollständig fertiggestellt. Daher wurde das Energieüberwachungssystem auch nicht an diesem Standort getestet. Die Tests für die Batterie wurden erstmals am Teststandort Aardehuizen in Olst durchgeführt. Dieses Projekt bot nicht genügend Zeit für weitere Untersuchungen am Teststandort in Heerlen. Auf den Abbildungen des Teststandorts Aardehuizen ist zu erkennen, dass das aktuelle Energieüberwachungssystem von GPX noch nicht so detailliert ist wie das obige System der Zuyd Hogeschool. Diese Aspekte können in einem möglichen Folgeprojekt weiter ausgearbeitet werden.



# Teststandort IPKW | Arnhem

## Teststandort

Die Projektpartner Elestor, GWI Essen, GPX und NEW haben gemeinsam mögliche Pilotstandorte für die Erprobung und Durchführung von Messungen an der Redox-Flow-Batterie von Elestor untersucht.

## Entwicklung und Zusammenarbeit

Es erwies sich als Herausforderung, die Möglichkeit der Aufstellung einer solchen Batterie an einem Pilotstandort zu klären. Die Herausforderungen bezogen sich auf:

- Die Standorte für ein Außengelände mit ausreichendem Platz. Schließlich wurde an beiden Standorten eine mögliche Stelle gefunden.
- Die gemeinsame Klärung der Systemsicherheit und der damit verbundenen Positionierung.
- Abklärung der erforderlichen Genehmigungen.

Leider war es noch nicht möglich, eine Demonstration in der geplanten Größenordnung an den vorgesehenen Pilotstandorten durchzuführen, aber es hat sich gezeigt, dass ein Batterieprodukt realisiert werden kann, das in einem Micro-Grid oder, noch besser, in einem größeren Netz betrieben werden kann. Das Zusammenspiel zwischen der HBr-Speichertechnologie und der Energieinfrastruktur wurde erfolgreich getestet, allerdings in zwei Teilen, nämlich einem Teil, der den Stack-Betrieb und die Steuerung zeigt, und einem weiteren Teil, der zeigt, dass die Batteriesteuerung durch ein Energiemanagementsystem im Netz gesteuert werden kann. Konkret wurden zwei Geschäftsmodelle getestet, nämlich „Optimierung der Nutzung von selbst erzeugter Energie“ und „Peak Shaving“. Der Projektpartner GPX hat im



Rahmen des Projekts auch aufgezeigt, wie ein Geschäftsmodell realisiert werden kann, bei dem ein „Herkunftsnachweis für Energie“ in ein Steuersystem integriert wird. Die rechtzeitige Installation eines funktionierenden Prototyps der Elestor-Redox-Flow-Batterie am GWI-Teststandort war vor Projektabschluss nicht möglich. Deshalb wurden mit den Partnern zur Erprobung der Batterie Relevante Daten über das Internet ausgetauscht. Basierend auf den Leistungsdaten des Prototyps in Arnhem und zur weiteren Analyse wurden die Daten extrapoliert.

## Ergebnisse und Zukunft

Trotz Rückschlägen an den Teststandorten ist es GPX gelungen, eine virtuelle Verknüpfung zu realisieren und das GWI konnte Energieprofile für weitere Untersuchungen übermitteln.

Für die virtuelle Ladung der Batterie mit synthetischen Daten über das Internet wurde eine Analyse des Strombedarfs des GWI durchgeführt. Diese Analyse zeigt, dass der Strombedarf von GWI je nach Jahreszeit zwischen 24-26 MWh pro Monat in den Wintermonaten und 17-18 MWh pro Monat in den Sommermonaten schwankt. Die Grundlast beträgt in der Regel etwa 25 kW und der Bedarf steigt während der Geschäftszeiten auf über 60 kW. Je nach Art der Tests und Versuche, die im GWI durchgeführt werden, kann die Grundlast aber auch über 60 kW betragen und es treten Leistungsspitzen von über 150 kW auf. In Abbildung 1 werden die Stromlastganglinien von drei Beispielwochen mit leistungsintensiven Versuchen in der

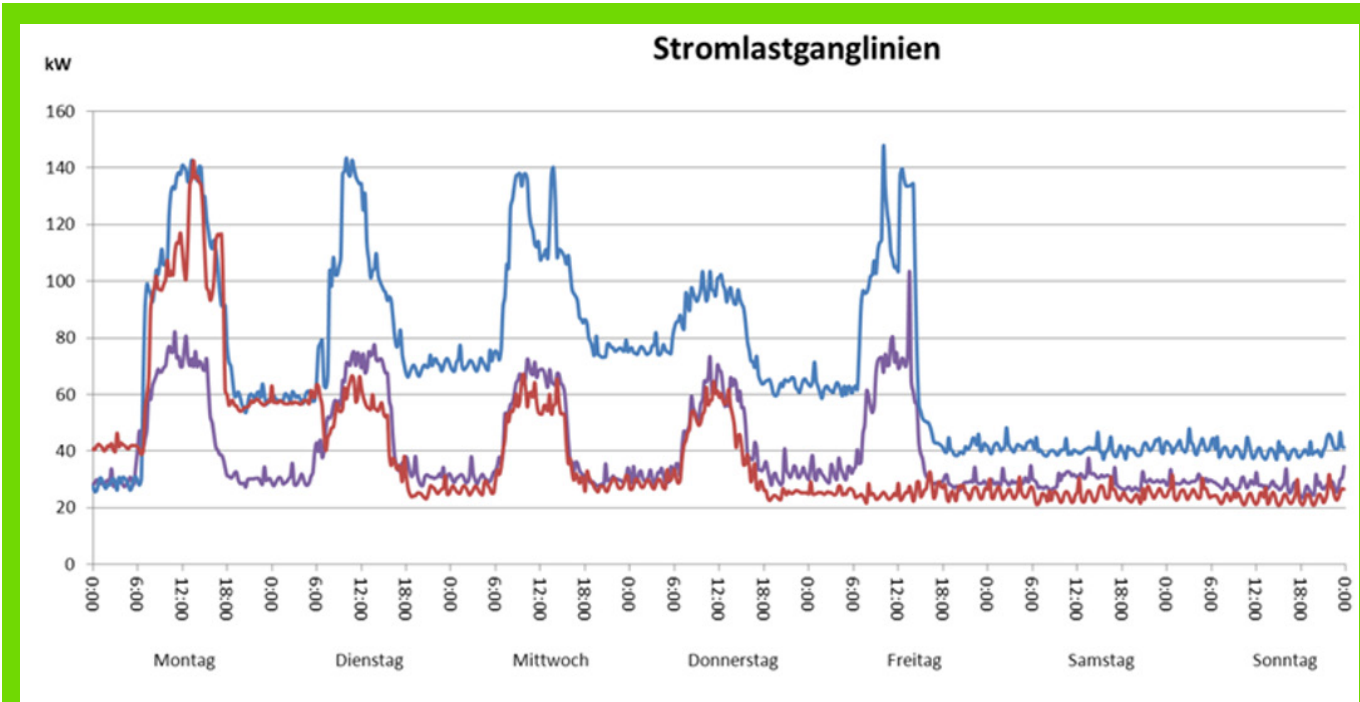


Abbildung 1: Stromlastganglinien in kW für drei aufeinanderfolgender Wochen (1. Woche lila, 2. Woche blau, 3. Woche rot) mit Strom-intensiven Experimenten in der 2. und zu Beginn der 3. Woche.

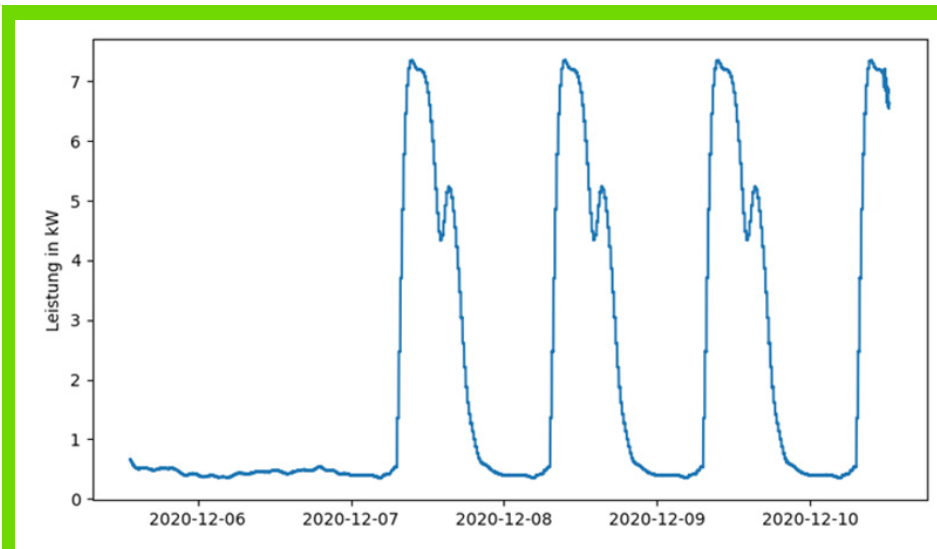


Abbildung 2: Übermittelter Leistungsbedarf in kW pro Tag

zweiten und zu Beginn der dritten Woche dargestellt. Aufgrund der Leistungsdaten des in Arnheim stehenden Prototyps und für eine gute Vergleichbarkeit der Ergebnisse, wurden passend zum Bürobedarf des GWI synthetische Daten basierend auf dem Standardlastprofil G1 für Gewerbeeinrichtungen des Bundesverbandes der Energie- und Wasserwirtschaft (BDEW), wie in Abbildung 2 dargestellt, erstellt und übermittelt.

Trotz der Tatsache, dass die Batterie letztlich nicht zur sinnvollen Aufstellung an den Pilotstandorten bereit war, konnten Erfahrungen mit den Herausforderungen künftiger Batterie-Setups und ihrer korrekten Aufstellung gesammelt werden.

GPX hat eine virtuelle Verknüpfung realisiert, mit der das theoretische Szenario dargestellt wird, in dem der von den Solarmodulen in Aardehuizen erzeugte Strom in der anderen Batterie von Elestor in Arnheim gespeichert wird. Diese wird für den Energieverbrauch von GWI in Essen verwendet.

# – Vielen Dank an alle Partner +

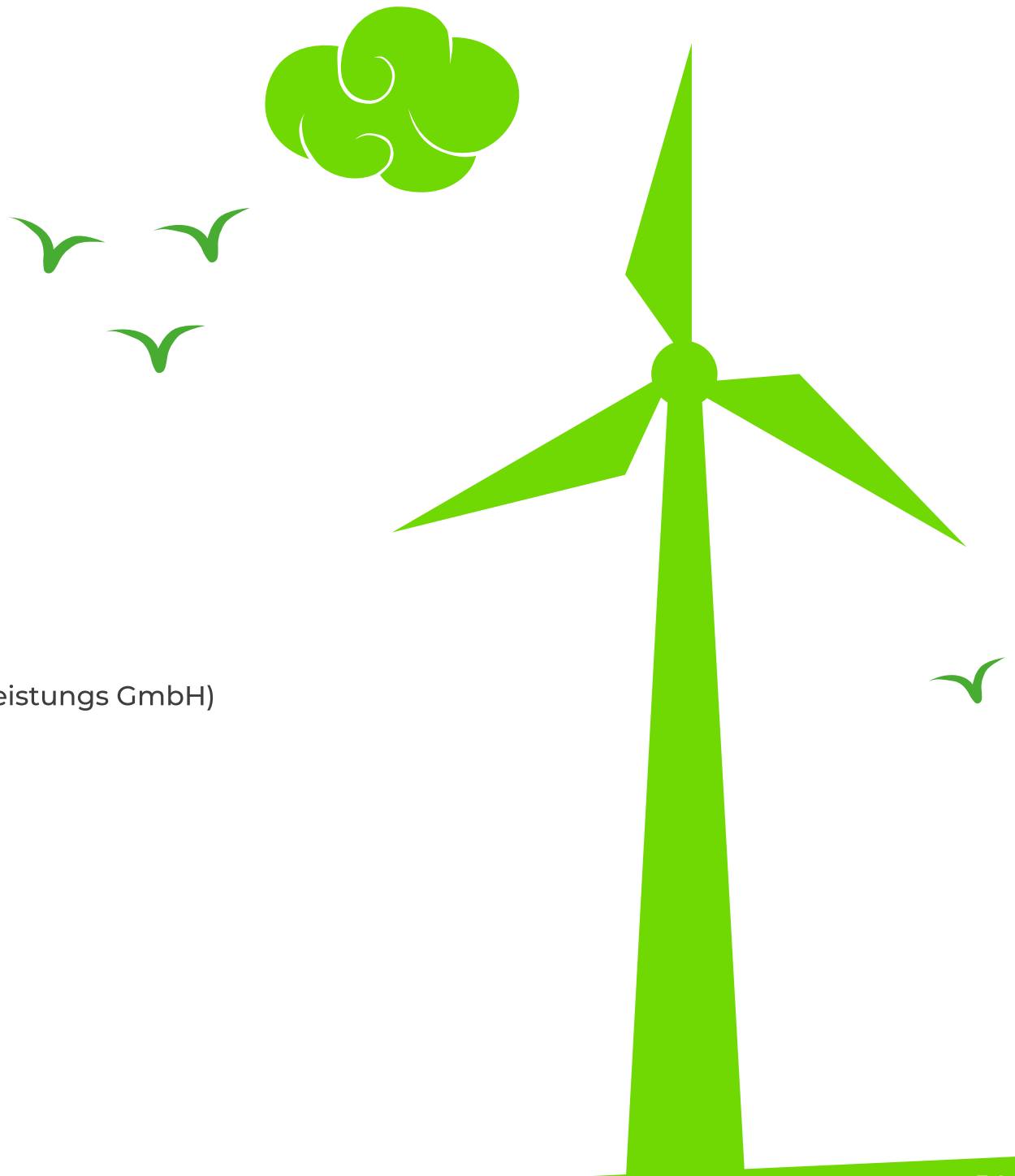
## Partner

Diese Partner haben zur Umsetzung beigetragen an des Cleantech Energy Crossing-Projekts in Form von grenzüberschreitende Zusammenarbeit und Entwicklung von Cleantech-Innovationen. Insgesamt haben diese Partner ihre eigenen hat mehr als 1,7 Mio. € zur Umsetzung beigetragen.

Amarre B.V.  
Bilan BV  
Bouwkundig & Facilitair Adviesbureau Comuth  
Chatim BV  
CNC Speedform AG  
Coins & Bubbles BV  
Crijns Energy Controlling  
Dr. Ten BV  
Elestor BV  
Energie Effectief BV  
EnergieAgentur.NRW GmbH  
Energieversorgung Oberhausen AG  
Energy Exchange Enablers B.V.  
ENLOP GmbH  
Exergy Mechanical Engineering  
Exergy Storage Components and Systems  
G. Langelaar Holding bv  
GPX Octrooi BV  
GWI Essen (Gas- und Wärme-Institut Essen e.V.)  
HAN (Hogeschool van Arnhem en Nijmegen)



H.J. ter Maat Holding BV  
HaHe BV  
Heva Klimaat & Installatie  
Jan Putman Beheer BV  
Kiemt  
Maan Lite BV  
Micro Turbine Technology BV  
Mitsubishi Electric Europe B.V.  
MJM ter Bille Holding b.v.  
MTTenergy UG (haftungsbeschränkt)  
NEW AG  
Power Kombi Module BV  
Saint Trofee  
Scholt Energy Control GmbH  
Scholt Energy Services B.V.  
Schraven-Solar (Schraven Service und Dienstleistungs GmbH)  
Seafuy BV  
Solar Energy Booster BV  
SolarTech International B.V.  
Stichting Saxion  
Stichting Zuyd Hogeschool  
Supro New Business B.V.  
Thermofer GmbH & Co. KG  
think [E] energy GmbH  
Vapora Bioenergie GmbH  
VAPORA group BV  
Varta Storage GmbH  
WTW consultancy B.V.



# Cleantech Energy Crossing

Cleantech Energy Crossing fördert die grenzüberschreitende Zusammenarbeit in der Entwicklung von Cleantech Innovationen, ausgerichtet auf die Nachhaltigkeit von Wohngebäuden, Siedlungen und der lokalen Energieinfrastruktur.

Kiemt ist Lead Partner und Koordinator.

Jochem Garthoff  
Programmamanager Energietransitie  
Garthoff@kiemt.nl

**Kiemt**  
Westervoortsedijk 73 – HB  
6827 AV Arnhem  
www.kiemt.nl

# kiemt

*Das Projekt Cleantech Energy Crossing wird im Rahmen des INTERREG-Programms Deutschland-Niederland durchgeführt und mit über 3,1 Mio. Euro durch die Europäische Union, das Ministerium für Wirtschaft, Innovation, Digitalisierung und Energie des Landes Nordrhein-Westfalen (MWIDE), das niederländische Wirtschaftsministerium und die Provinzen Gelderland, Noord-Brabant & Limburg mitfinanziert.*

Möglich gemacht durch:



Europäische Union  
Europese unie



**Euregio Rhein - Waal**  
gemeinsam stärker samen sterker

Ministerium für Wirtschaft, Innovation,  
Digitalisierung und Energie  
des Landes Nordrhein-Westfalen



≡ provincie  
**Gelderland**

**Provincie Noord-Brabant**

provincie limburg



Ministerie van Economische Zaken  
en Klimaat