

# Projekt LF in MuSuNI

First of its kind

*Herstellung und Harmonisierung  
von Landschaft und Energiegewinnung*



GNN-WNN GmbH

GNN - WNN / Global Nature Network - World Nature Network ®

CEO - Martin Schielein ©

CSO - Christoph Sprung, Ph.D. - interims CFO

Dr. rer. nat. Damian Klimke

Prof. Dr. Harald Bolsinger - externer THWS Promotor

info@apv.berlin

www.gnn-wnn.de

Telefon + 49 93 71 660 69 60

Telefax + 49 93 71 948 94 66

Mobil + 49 16 3 16 11 353

## Abstract:

Lebende Zäune vereinen in einem harmonisierten Konzept die Steigerung der Biodiversität, Schutz, Aufbau und Erhalt von wertvoller Ackerkrume und des Ökosystems mit der Erzeugung von erneuerbarer Energie und gesteigertem landwirtschaftlichem Ertrag. Die lebenden Zäune werden dafür strukturiert in größere Flächen (z.B. Landwirtschaft) eingebracht, so dass nachhaltige und umweltschonende Flächennutzung im Einklang mit der Erzeugung von erneuerbarer Energie möglich ist. Dabei kann signifikant oder gänzlich auf den Einsatz von Bioziden verzichtet werden. Das Konzept ist weltweit skalierbar und adressiert 10 der 17 Sustainable Development Goals (siehe Abb. 1) der Vereinten Nationen. Mit diesem Konzept werden zusätzlich regionale Beschäftigung und neue wirtschaftliche Perspektiven geschaffen, die für nachhaltige Entwicklung sorgen.



Figure 1: Darstellung der 17 Sustainable Development Goals der Vereinten Nationen. Hervorgehoben sind die 10 im Konzept der lebenden Zäune adressierten Ziele.

# Table of Contents

1 Projektbeschreibung – Einleitung.....	3
2. Kostenkalkulation.....	8
2.1 Kosten Zaunelemente.....	8
2.2 Kosten für First-of-its-Kind Projekt.....	9
2.3 Herstellungskosten:.....	11
2.4 Annahmen und Randbedingungen.....	11
3 Geschäftsmodelle.....	13
3.1 Geschäftsmodelle.....	13
3.2 Dienstleistungen.....	18
3.2.1 Öko-Dienstleistungen.....	18
3.2.2 Systemdienstleistungen.....	18
3.2.3 Energie und Energieträger.....	18

## 1 Projektbeschreibung – Einleitung

In diesem Projekt wird die Steigerung von Biodiversität, der reduzierte Einsatz von Bioziden, Wassermanagement, Erhalt und Aufbau der Ackerkrume, und die Erzeugung von erneuerbarer Energie in einem umfassenden Zaunkonzept vereinigt. Damit werden 10 der 17 Sustainable Development Goals der Vereinten Nationen adressiert. Zu diesem Zweck wurde die GNN-WNN GmbH (GNN-WNN / Global Nature Network – World Nature Network®)<sup>1</sup> gegründet, um dieses Konzept global zur Anwendung zu bringen und damit ökologische Dienstleistungen von mehreren hundert Millionen Euro pro Jahr bereitstellen. Der ökonomische Investitionsbedarf zum Erhalt und zur Wiederherstellung wertvoller Biodiversität gemäß des Global Biodiversity Frameworks<sup>2</sup> wird auf etwa \$ 1 Milliarde pro Jahr geschätzt.<sup>3</sup>

Das Konzept zielt auf die strukturierte Einbringung von lebenden Zäunen in größere Flächen (z.B. Acker, Liegenschaften, entlang von Verkehrsinfrastruktur) oder im urbanen Raum. Es wird eine engmaschige, kleinteilige und damit resiliente Infrastruktur für alle Netzformen und Energieträger geschaffen. Der Raumbedarf für das Zaunkonzept ist gering, so dass die ursprüngliche Nutzung der Flächen erhalten bleibt.

Im Bereich der Landwirtschaft kommt besonders der faunistische Effekt<sup>4</sup> zum tragen, welcher als Stand der Technik angesehen werden kann und durch zahlreiche Anwendung und Erforschung in der Praxis bestätigt ist (z.B. Projektberichte aus Großbritannien<sup>5</sup>, den Niederlanden<sup>6</sup> und Polen<sup>7</sup>). In diesen wurde festgestellt, dass die Einführung von Blühbepflanzung erheblich zur Steigerung der Biodiversität und verminderter/ausbleibender Bedarf von Bioziden führte. Gleichzeitig erhöhte sich die Verfügbarkeit von Nützlingen zur Bestäubung und Schädlingsbekämpfung, was eine Reduktion von Stressfaktoren und Krankheiten der angebauten Pflanzen und steigerte deren Qualität bewirkte. Trotz verringerter Anbaufläche konnte ein erhöhter landwirtschaftlicher Ertrag im Vergleich zu einer Fläche ohne derartige Installation beobachtet werden (bis zu 17.9 %). Weiterhin wurde eine höhere Bodenfeuchtigkeit in den mit Blühstreifen umrandeten Arealen festgestellt. Die zusätzliche Installation von begrünten lebenden Zäunen bietet dazu Schutz vor Winden (und damit Bodenabtrag), wodurch die eine Bodenerosion vermieden und der Aufbau der Humusschicht und fruchtbarer Ackerkrume begünstigt wird. Territorial und klimatisch angepasst Bepflanzung unterstützt die optimale Entfaltung des faunistischen Effekts und kann so zur Steigerung der lokalen Bodenqualität genutzt werden.

Wo es angebracht ist, ist der integrierte Wasserpolder ein wichtiger Bestandteil des Wassermanagements in Böden und dient zur Wasserführung und -speicherung, besonders bei Starkregenereignissen. Dadurch lässt sich eine positive Wirkung auf die Grundwasserbestände erzielen.

Mit Photovoltaik wird in diesem Konzept erneuerbare Energie erzeugt. Die Art installierten Module ergibt sich aus der landschaftlichen und gewerblichen Nutzung. So können Freiflächensolarmodule, flexible Module, organische Photovoltaikfolien oder semitransparente Module verbaut werden. In erster Linie steht die Nutzung der hierbei erneuerbar erzeugten Energie im Vordergrund, also die dezentrale Verwertung, um einer Abschaltung bei überlasteten Netzen und fehlenden Möglichkeiten zum Netzanschluss aus dem Weg zu gehen. Die erneuerbar erzeugte Energie kann in vielfältiger

---

1 [GNN-WNN GmbH / Project LE | F6S](#)

2 [Kunming-Montreal Global Biodiversity Framework | UNEP - UN Environment Programme](#)

3 [BNEF](#) (Opportunity Blossoms – The Business of Curbing Nature Loss, BloombergNEF, 25. October 2024)

4 [faunistische-evaluierung\\_bluehflaechen\\_lfl-schriftenreihe-1-2014.pdf \(bayern.de\)](#)

5 [ASSIST End of Programme event | UK Centre for Ecology & Hydrology \(ceh.ac.uk\)](#)

6 [WOCAT SLM Technologies](#)

7 [Agronomy 2020, 10, 1696; doi:10.3390/agronomy10111696](#)

Weise, je nach Gebiet, Bedarf und ökonomischen Gesichtspunkten eingesetzt werden. Eine mögliche Nutzung, wie sie auch in den nachfolgenden Seiten ausgeführt ist, ist die Umsetzung der elektrischen Energie in chemische Energie. Dabei wird Wasser (bereitgestellt aus einer Entsalzungs-/Aufbereitungsanlage) im Elektrolyseur gespalten und der produzierte Wasserstoff in flüssigen organischen Wasserstoffträgern (liquid organic hydrogen carrier (LOHC)) gespeichert.<sup>8</sup> Dafür steht ein Hydrierreaktor und ein entsprechender Tank zur Speicherung/Lagerung des flüssigen Wasserstoffträgers bereit. Lagerung und Transport dieser flüssigen Substanzen sind erprobte Technologien und können zum Ort von Wasserstoffbedarf (z.B. Stahlwerke, Chemische Industrie) transportiert werden.

Weitere denkbare dezentrale Nutzungsoptionen der erneuerbar erzeugten Energie sind die Produktion von Methanol oder die Speicherung in stationären Energiespeichern (elektrisch, thermisch, gravimetrisch).

Es lassen sich weiterhin vielseitige Sensorik in dem Zaunkonzept integrieren, so dass ein weites Feld an Bedarfen abgedeckt werden kann (z.B. Beobachtung von Wetter- und Umweltfaktoren, sonstige Überwachungsfunktionen, Mobilfunk). Dafür und auch zur Leitung von erneuerbar produzierter Energie sind im Boden Leerrohre und Stromführungsleitungen integriert.

Das Konzept ist beliebig skalierbar und lässt sich an Flächen und Verkehrsinfrastruktur/Streckenführungen anpassen. Klimatische Bedingungen werden durch die Wahl der Bepflanzung berücksichtigt, so dass eine globale Umsetzung gegeben ist. Es bringt die positive ökologische Effekte, die Erzeugung von erneuerbarer Energie und gleichzeitige Nutzung der Flächen in herkömmlicher Weise in Einklang → Win-Win!

Unser Konzept adressiert 10 der 17 sustainable development goals der Vereinten Nationen<sup>9</sup>, 4 davon vollständig (siehe Abb. 2).



Figure 2: Im Konzept der lebenden Zäune werden 10 der 17 Sustainable Development Goals der Vereinten Nationen ganz oder teilweise adressiert.

### **1 – End poverty in all its forms everywhere**

Die globale Skalierbarkeit des Konzepts ermöglicht die Schaffung von Beschäftigung, die mit dem Aufbau und dem Betrieb der Anlagen verknüpft sind.

### **2 – End hunger, achieve food security and improved nutrition and promote sustainable agriculture**

Der faunistische Effekt der lebenden Zäune erhöht den Ertrag landwirtschaftlich genutzter Flächen bei gleichzeitiger Verringerung bzw. Eliminierung von schädlichen Bioziden. Damit wird ein erheblicher Beitrag zur Ernährungssicherheit (regional und global) geleistet und die nachhaltige Nutzung von Böden erzielt.

### **7 – Ensure access to affordable, reliable, sustainable and modern energy for all**

Die lebenden Zäune mit den installierten Solarmodulen ermöglichen eine Erzeugung von

<sup>8</sup> [Hydrogenious LOHC Technologies](#)

<sup>9</sup> [THE 17 GOALS | Sustainable Development](#)

erneuerbarer Energie und sorgen in Kombination mit geeigneten Speicherlösungen für eine zuverlässige Energieversorgung.

### **8 – Promote sustained, inclusive and sustainable economic growth, full and productive employment and decent work for all**

Das Konzept der lebenden Zäune ist weltweit skalierbar und ermöglicht damit nachhaltige ökonomische Entwicklung und lokale Beschäftigung in der jeweiligen Zielregion. Wann immer möglich sollen Materialien und Komponenten regional bezogen und gefertigt werden.

### **9 – Build resilient infrastructure, promote inclusive and sustainable industrialization and foster innovation**

Die Nutzung der erneuerbar erzeugten Energie, sei es als Strom für Netzdienste oder zur Versorgung von Inselnetzen, als Wasserstoff zur Energiespeicherung oder industriellen Nutzung, oder als Wärmeenergie unterstützt und schafft neue lokale Wertschöpfungsketten, wodurch eine nachhaltige industrielle Entwicklung basierend auf erneuerbar erzeugter Energie gefestigt wird.

### **10 – Reduce inequality within and among countries**

Das Konzept der lebenden Zäune richtet sich mit einem starken Fokus auf den landwirtschaftlichen Bereich, oft Regionen, in die industriell weniger entwickelt sind. Die lokal erneuerbar erzeugte Energie und deren Vermarktung als Strom, Wasserstoff oder Wärme schafft wirtschaftliche Unterstützung für diese Regionen und minimiert damit ökonomische Ungleichheiten innerhalb von Ländern. Gleichzeitig werden in eher landwirtschaftlich geprägten Ländern neue wirtschaftliche Perspektiven und Möglichkeiten durch die Bereitstellung von erneuerbar erzeugtem Strom, Wasserstoff oder Wärme geschaffen.

### **12 – Ensure sustainable consumption and production patterns**

Die positiven faunistischen Effekte und das integrierte Wassermanagement unterstützen nachhaltige landwirtschaftliche Produktionsprozesse, in dem der Einsatz von Bioziden deutlich verringert bzw. gänzlich vermieden werden kann, bei gleichzeitig höherem Ertrag der landwirtschaftlichen Produktion. Auf diese Weise wird die landwirtschaftliche Nutzung mit dem nachhaltigen ökologischen Schutz der Flächen verbunden. Das Wassermanagement trägt dazu noch zum Erhalt des natürlichen Wasserhaushalts bei.

### **13 – Take urgent action to combat climate change and its impacts**

Die lebenden Zäune bringen sofortige Effekte zur Bekämpfung des Klimawandels: Die lebenden Zäune verringern die Bodenerosion und tragen zum Erhalt der Akerkrume und damit natürlichem Boden bei. Die integrierte Polderfunktion unterstützt den natürlichen Wasserhaushalt und beugt damit Austrocknung und Versumpfung vor. Die Blühstreifen unterstützen die Ansiedlung von Nützlingen, welche den Einsatz von Bioziden stark verringern oder gänzlich unnötig machen, so dass das ökologische Gleichgewicht von Flora und Fauna geschützt und wieder hergestellt wird. All dies trägt dazu bei die Folgen den klimatischen Veränderungen durch Bodenverödung entgegenzuwirken und die Bildung und den Erhalt von fruchtbaren Böden fördern. Weiterhin ist die erneuerbar erzeugte Energie und deren Nutzung ein Beitrag zur Verringerung des durch wirtschaftliche Aktivitäten erzeugten CO<sub>2</sub>-Ausstoßes.

Mit Blick auf aktuelle Extremwetterbedingungen, wie in Spanien (Oktober 2024), kann das Konzept der lebenden Zäune einen positiven Beitrag zur Verbesserung der klimatischen Bedingungen zu schaffen. Die Zeit dafür ist reif!

**15 – Protect, restore and promote sustainable use of terrestrial ecosystems, sustainably manage forests, combat desertification, and halt and reverse land degradation and halt biodiversity loss**

Nachhaltige Nutzung der landwirtschaftlichen Flächen in harmonischer Kombination mit der Erzeugung von erneuerbarer Energie ist der Kern des Konzepts der lebenden Zäune. Besonders hervorgehoben sei hier die Förderung und Rekultivierung der Biodiversität durch die strukturierte Einbringung von Blühstreifen, in denen natürlicher Lebensraum für Nützlinge geschaffen und erhalten wird.

**17 – Strengthen the means of implementation and revitalize the Global Partnership for Sustainable Development**

Die weltweite Skalierung des Konzepts der lebenden Zäune ermöglicht zusätzliche Wege für globale Zusammenarbeit und regionale nachhaltige Entwicklung. Wirtschaftliche Möglichkeiten öffnen sich durch die Nutzung und Vermarktung der erneuerbar erzeugten Energie. Im Zuge der Installation der lebenden Zäune entstehen neue Möglichkeiten für wirtschaftliche Beziehungen, bestehende werden verstärkt und verlorengegangene werden revitalisiert.

## 2. Kostenkalkulation

### 2.1 Kosten Zaunelemente

Die folgende Tabelle listet die kalkulierten Kosten für die Installation von einem Zaunelement inklusive der Solarmodule auf. Für die Solarmodule wurde hier ein Produkt der Firma Sunman Energy (520 Wp, 2246 mm x 1123 mm) angenommen.

Table 1: Kostenverteilung für die Erstellung eines Zaunelements (orange CapEx, grün OpEx).

Kategorie	Einzelposten	Stückpreis / €	Anzahl pro Element	Gesamtkosten / €
Materialien	Stecklinge	0.50	50.00	25.00
Materialien	Erde & Lehm (Pflanzkasten)	70.37	1.00	70.37
Materialien	Pflanzkasten (50x50x5000 mm)	150.00	1.00	150.00
Materialien	Lehmauskleidung Polder	1242.71	0.50	621.35
Materialien	Blumensamen	3.33	1.00	3.33
Materialien	Tröpfchenbewässerung	2.91	1.00	2.91
Materialien	Leerrohr	19.00	4.00	76.00
Materialien	Hilfsmittel	25.00	1.00	25.00
Materialien	Solarmodule	320.00	12.00	3840.00
Materialien	Gestell Solarmodule	400.00	1.00	400.00
Materialien	Elektrik	100.00	1.00	100.00
Personen	Arbeitsstunden	40.00	25.00	1000.00
Maschinen	Maschinenstunden	50.00	1.25	62.50
Maschinen	Sondermaschinen	50.00	1.00	50.00
Sonstiges	Sondermittelverwaltung	250.00	1.00	250.00
Sonstiges	Lagerkosten	12.00	1.00	12.00
Sonstiges	Verwaltung	150.00	1.00	150.00
			<b>Summe / €</b>	<b>6838.47</b>

Für die Erstellung von einem Zaunelement entstehen geschätzte Kosten von **6.838,47 €**. Der höchste Kostenanteil entfällt auf die Solarmodule, wie Abbildung 3 zu sehen ist.



Kostenverteilung



Figure 3: Graphische Kostenverteilung für die Erstellung der lebenden Zäune.

2.2 Kosten für First-of-its-Kind Projekt

In Tabelle 2 sind die geschätzten Kosten für das First-of-its-Kind Projekt in Spanien aufgelistet, welche die Installation der lebenden Zäune auf einer Fläche von 1 km<sup>2</sup> und die Infrastruktur zur Nutzung der erneuerbar erzeugen Energie (Wasserentsalzung/-aufbereitung, Elektrolyseur, Hydrierreaktor, Speichertanks für Wasserstoffträger, Batteriespeicher) beinhaltet. In der Aufstellung sind zunächst Solarmodule mit der höchsten installierten Leistung eingetragen. Ein Vergleich verschiedener Solarmoduletechniken befindet sich im Kapitel “Annahmen und Randbedingungen”.

Table 2: Zusammenstellung der Kosten und Leistungsparameter für die Skalierung der lebenden Zäune auf einer Fläche von 1 km<sup>2</sup>, wie in Abb. 4 dargestellt.

	Anzahl Zaunelemente	6400
	Anzahl Solarmodule	76800
	Kosten Zaunelemente / k€	43766.18
Leistungsparameter		
Solarproduktion	Leistung / kWp	39936.00
	Energie / kWh/d	167731.20
	Leistung / kW(AC)	29802.99
Energiespeicher	Batteriespeicher / kWh	223642
Energieverlust	Verlust Stromtransport / kWh/d	4528.74
	Verlust Energiespeicher / kWh/d	14642.93
	Verlust Komponenten / kWh	16773.12
Verfügbare Energie	Verfügbare Energie / kWh/d	131786.40

<b>Energiebedarf</b>	<b>Energie für Elektrolyse / kWh/d</b>	121487.88
	<b>Energiebedarf Wasseraufbereitung / kWh/d</b>	54.67
	<b>Energie für Hydrierung / kWh/d</b>	38.88
<b>Energieproduktion</b>	<b>Thermische Energie / kWh/d</b>	25755.43
<b>Elektrolyse</b>	<b>H2-Produktion pro Tag / kg-H2/d</b>	2429.76
	<b>H2-Produktion pro Tag / Nm3-H2/d</b>	27027.34
	<b>H2-Produktion pro Tag / mol-H2/d</b>	1214878.77
	<b>Menge Wasser / kg/d</b>	21867.82
	<b>Volumen Wasser / dm3/h</b>	911.16
	<b>PEM Reaktorleistung / kW</b>	6032.52
<b>Hydrierung</b>	<b>Mol DBT / mol/d</b>	134986.529
	<b>Masse DBT / kg/d</b>	43388.527
	<b>Menge DBT / dm3/d</b>	42705.243
<b>Katalysator</b>	<b>Bedarf Kat (Pt/Al2O3) für Tagesproduktion/-durchsatz / kg</b>	187.48
	<b>Kosten – CapEx</b>	
	<b>CapEx Zaunelemente / k€</b>	34009.38
	<b>Land/Fläche / k€</b>	2000
<b>Hydrierung</b>	<b>Materialien / k€</b>	433.89
	<b>Reaktor / k€</b>	11628.13
	<b>Speicherung / k€</b>	39.05
<b>Elektrolyse</b>	<b>PEM Reaktor / k€</b>	10858.54
<b>Umkehrosmose</b>	<b>Wasseraufbereitungsanlage / k€</b>	15.5
	<b>Meerwasserentsalzung / k€</b>	43.7
<b>Battiespeicher</b>	<b>Batteriespeicher / k€</b>	55910.40
<b>Solarinstallation</b>	<b>Installation/Planung/Montage/Komponenten / €</b>	14167.88
	<b>Summe CapEx / k€</b>	<b>129106.50</b>
	<b>Kosten - OpEx</b>	
	<b>OpEx Zaunelemente / k€</b>	9756.80
<b>Hydrierung</b>	<b>Kosten Kat (Pt/Al2O3) / k€</b>	28.12
<b>Wasseraufbereitung</b>	<b>Wasseraufbereitung / k€/y</b>	18.60
<b>Mieten/Pacht</b>	<b>1000 m2 Miete Kaltlagerhalle / k€/y</b>	35.00
	<b>500 m2 Miete Container / k€/y</b>	65.00
	<b>Pacht / k€/ha*y</b>	1.90
<b>Overhead Kosten</b>	<b>Transport und Logistik / k€</b>	10328.52
	<b>Projektmanagement / k€</b>	2582.13
	<b>Beratung/Projektierung/Planung</b>	3873.20

	Genehmigungen/Gutachten / k€	500.00
	Inbetriebnahme / k€	100.00
	Versicherungen / k€	7819.79
	Risikoaufschlag / k€	16421.56
	Finanzierung / k€	903.19
	<b>Summe OpEx / k€</b>	<b>52433.80</b>
	<b>Summe / k€</b>	<b>181540.30</b>

Die kalkulierten Kosten für das First-of-its-Kind Projekt sind zusammengefasst:

- **CapEx: 129.106,50 k€**
- **OpEx: 52.433,80 k€**
- **Gesamt: 181.540,30 k€**

## 2.3 Herstellungskosten:

**Stromgestehungskosten: 0,124 €/kWh** (Zusammensetzung inkl. Batteriespeicher mit einer Kapazität von 1,2 mal der Tagesproduktionen; Abschreibung auf 20 Jahre: 82 % CapEx und 8 % OpEx)

**Wasserstoffkosten aus Elektrolyse: 8,645 €/kg-H<sub>2</sub>** (Zusammensetzung; Abschreibung auf 20 Jahre: 8,1 % CapEx und 91,9 % OpEx)

**Wasserstoffkosten als LOHC (DBT): 10,875 €/kg-H<sub>2</sub>** (Zusammensetzung; Abschreibung auf 20 Jahre: 0,4 % CapEx und 99,6 % OpEx)

## 2.4 Annahmen und Randbedingungen

### Vergleich der verschiedenen Solarmodultechniken:

In Tabelle 3 sind verschiedene Solarmodultechniken aufgelistet zum Vergleich der Flächenleistung pro Solarmodul, der Preis pro Leistung, und die installierte Leistung pro Zaunelement.

Table 3: Überblick über verschiedene Solartechniken und deren Leistungsparameter

Solarmodultechnik	Flächenleistung / Wp/m <sup>2</sup>	Leistungspreis / €/Wp	Wp/ Zaunelement
<b>Organische Photovoltaik</b> (Folien) z.B. von Firma Heliateg	72,0	1.67	2700
<b>Dünn, leicht und biegsame</b> Solarmodule z.B. von Firma Sunman Energy	206,2	0.62	6240
<b>Solarmodule</b> z.B. von Firma Meyer Burger	212,0	0.44	5850
<b>Semitransparente Solarmodule</b> z.B. von Firma Britesolar	69,5	1.00	2250

## Energie:

- Energiebedarf Elektrolyse pro kg-H<sub>2</sub>: **50 kWh/kg-H<sub>2</sub>** (Fraunhofer ISE Studie “Cost Forecast for Low Temperature Electrolysis Technology Driven Bottom-Up Prognosis for PEM and Alkaline Water Electrolysis Systems”, 2021)
- Energiebedarf Elektrolyseur pro kg-H<sub>2</sub>: **4,2 kWh/kg-H<sub>2</sub>** ([DOE Hydrogen Program Record 24005: Clean Hydrogen Production Cost Scenarios with PEM Electrolyzer Technology \(energy.gov\)](https://energy.gov) )
- Energiebedarf Hydrierung pro kg-H<sub>2</sub>: **0,016 kWh/kg-H<sub>2</sub>** (<https://doi.org/10.1016/j.isci.2021.102966> )
- Energieproduktion Hydrierung pro kg-H<sub>2</sub>: **10,6 kWh/kg-H<sub>2</sub>** (<https://doi.org/10.1016/j.isci.2021.102966>)
- Solarmodule von Sunman Energy mit einer Leistung pro Modul von: **520 Wp** ([Sunman | Pioneer of Ultra-Light Solar \(sunman-energy.com\)](https://sunman-energy.com) )
- Solarmodule von Meyer Burger mit einer Leistung pro Modul von: **390 Wp** ([Solarmodule von Meyer Burger | Zellen und Module Made in Germany](https://www.meyerburger.com) )
- Solarmodule semitransparent von Britesolar mit einer Leistung pro Modul von: **150 Wp** ([Products \(britesolar.com\)](https://britesolar.com) )
- Solarfolien (organische Photovoltaik) von Heliatek mit einer Leistung pro Folie von: **360 Wp** ([HeliaSol \(heliatek.com\)](https://heliatek.com) )
- Intensität der Sonneneinstrahlung und durchschnittlicher Ertrag pro installierter Leistung: **2,8 Wh/Wp** (Deutschland), **4,2 Wh/Wp** (Spanien) (<https://globalsolaratlas.info/>)
- Es wird ein **Batteriespeicher** mit der **1,2-fachen Kapazität der Tagesproduktion** angenommen, um eine kontinuierliche Energieversorgung der nachfolgenden Wasserstoffproduktion zu gewährleisten.
- Die eingesetzte Menge an LOHC (in dem Fall DBT) wird mit der **dreifachen Tagesproduktion** angenommen.
- Speicherung von Wasserstoff in DBT: **0,056 kg-H<sub>2</sub>/kg-DBT** (<https://ec.europa.eu/research/participants/documents/downloadPublic?documentIds=080166e5c551f4c2&appId=PPGMS>)

## Physikalisch-chemische Konstanten:

- Dichte Wasserstoff: 0.0899 kg/m<sup>3</sup>
- Molmasse Wasserstoff: 2 g/mol
- Molmasse Wasser: 18 g/mol
- Dichte Wasser: 1 g/cm<sup>3</sup>
- Mol H<sub>2</sub> zur Hydrierung von Dibenzyltoluen (DBT): 9
- Molmasse DBT: 272,38 g/mol
- Dichte DBT: 1,044 g/cm<sup>3</sup>
- Katalysatorbelastung: 0,54 kg-H<sub>2</sub>/(kg-Kat \* h) (<https://doi.org/10.1016/j.isci.2021.102966> )
- Katalysatorstandzeit: 14.000 h (583,3 d) (<https://doi.org/10.1016/j.isci.2021.102966>)

## Kosten:

- Preis DBT: **4 €/kg** (<https://doi.org/10.1016/j.isci.2021.102966>)
- Preis Katalysator: **150 €/kg** (<https://doi.org/10.1016/j.isci.2021.102966>)
- PEM-Elektrolyseur: **~1.800 €/kWe** ([Electrolysers - Energy System - IEA](https://www.iea.org) )
- Umkehrosmose (Meerwasserentsalzung): **~2.500 €/m<sup>3</sup>\*d** ([\(\(PDF\) COST MODELING OF DESALINATION SYSTEMS\)](https://www.iea.org) )
- LOHC Materialien: **5.000 €/t** (<https://doi.org/10.1016/j.isci.2021.102966>)

- LOHC Reaktor: **134.000 €/t** (<https://doi.org/10.1016/j.isci.2021.102966> )
- LOHC Speicherung: **3.000 €/t** (<https://doi.org/10.1016/j.isci.2021.102966> )
- Wasserentsalzung/-aufbereitung: **32.100 €** (5000 l/h) ([Umkehrosmoseanlage 5 m³/h | Onlineshop \(wasseraufbereitung-shop24.de\)](#) )
- Batteriespeicher: **~250 €/kWh** ([U.S. Solar Photovoltaic System and Energy Storage Cost Benchmarks, With Minimum Sustainable Price Analysis: Q1 2023](#) )
- CapEx für die Installation von kommerziellen PV: **1.300 €/kW<sub>AC</sub>** ([Utility-Scale PV | Electricity | 2023 | ATB | NREL](#) ) in unserem Fall fallen etwa 830 €/kW<sub>AC</sub> auf Investitionskosten, somit bleiben noch 470 €/kW<sub>AC</sub> für Planung, Installation, Projektmanagement
- Betriebs- und Wartungskosten einer kommerziellen PV Anlage: **25 €/kW<sub>AC</sub>\*y** ([Utility-Scale PV | Electricity | 2023 | ATB | NREL](#) )
- PEM Reaktor Austausch des Stacks aller 40.000 Betriebsstunden (~4,5 Jahre): 11 % der CapEx → **~2,44 % der CapEx pro Jahr** ([DOE Hydrogen Program Record 24005: Clean Hydrogen Production Cost Scenarios with PEM Electrolyzer Technology \(energy.gov\)](#) )
- LOHC Reaktor Betrieb und Wartung: **0,05 €/kg-DBT** ([Documents download module \(europa.eu\)](#) )
- LOHC Reaktor Personalkosten: **0,07 €/kg-DBT** ([Documents download module \(europa.eu\)](#) )
- Pachtpreis: **170 €/ha\*y** ([Pachtpreise in Europa: Zwischen den Pachtpreisen liegen Welten | agrarheute.com](#) )
- OpEx für Wasseraufbereitungsanlage: **2,33 €/m³\*y** (DOI:10.3390/en12244651)
- Wartung und Reparatur PEM: **20 €/kW\*y** ([Cost Forecast for Low Temperature Electrolysis - Technology Driven Bottom-Up Prognosis for PEM and Alkaline Water Electrolysis Systems](#) )
- Wartung, Betrieb und Reparatur für Elektrolyse (ohne Stackerneuerung): **5 % des CapEx pro Jahr** ([DOE Hydrogen Program Record 24005: Clean Hydrogen Production Cost Scenarios with PEM Electrolyzer Technology](#) )

## 3 Geschäftsmodelle

### 3.1 Geschäftsmodelle

Für das Konzept der lebenden Zäune sind vier Geschäfts- und Vermarktungsmodelle anzuwenden. Bevorzugt werden die Geschäftsmodelle A, C, E, G / H angestrebt. In Abbildung 4 sind alle Modelle zusammengefasst dargestellt und die dazugehörige Übersicht der involvierten Kosten findet sich in Tabelle 4.

## Geschäftsmodelle

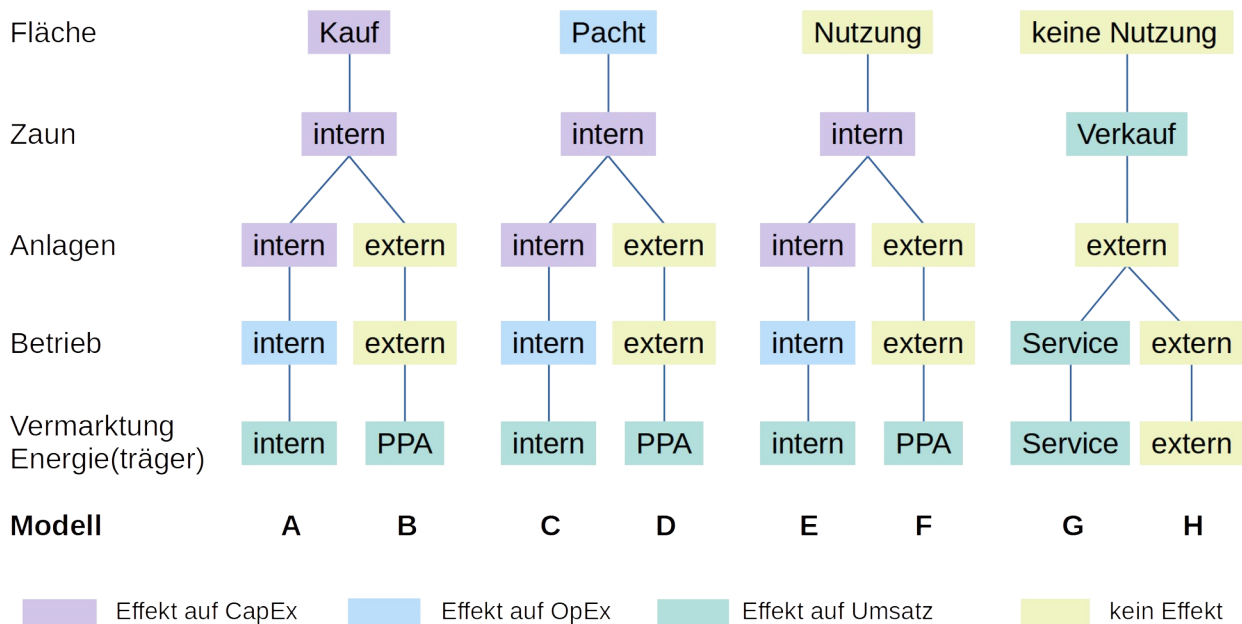


Figure 4: Übersicht der verschiedenen Geschäftsmodelle zur Vermarktung der lebenden Zäune und deren erneuerbar erzeugter Energie.

Die Farben in Abbildung 4 weisen auf den Effekt der jeweiligen Komponente auf CapEx, OpEx, Umsatz oder keinen der genannten Punkte an.

**Fläche:** Die benötigte Fläche kann gekauft (A, B), gepachtet (C, D) oder zur Verfügung gestellt (E, F) werden. Liegt keine Nutzung unsererseits (G, H) vor, werden die Zäune als Produkt verkauft/installiert.

**Zaun:** Die lebenden Zäune (inkl. der Solarmodule) werden entweder zur eigenen Nutzung installiert (intern) oder als Produkt verkauft (Verkauf).

**Anlagen:** Hiermit sind die Anlagen zur Energiewandlung und -speicherung, sowie zur stofflichen Verwertung gemeint (also Elektrolyseur, Batteriespeicher, etc.). Dieser werden entweder selbst beschafft und genutzt (intern) oder durch Dritte beschafft und betrieben (extern).

**Betrieb:** Der Betrieb der Anlagen erfolgt selbst (intern), von Dritten (extern) oder als Dienstleistung (Service) durchgeführt. Im ersten Fall entstehen dadurch operative Kosten (OpEx), im zweiten Fall keine Kosten und im dritten Fall würden damit Einnahmen generiert.

**Vermarktung Energie(träger):** Als Energie bzw. Energieträger werden alle möglichen Zwischen- und Endprodukte verstanden. Dies können Elektrizität (Solarstrom), Wasserstoff (als Reinstoff), gebundener Wasserstoff (z.B. in LOHC (liquid organic hydrogen carrier)) oder auch Wärmeenergie sein. Sind die Anlagen Teil der Firma (intern), dann wird die Vermarktung auch selbst vorgenommen. Sind die Anlagen Eigentum von Dritten, so wird die Vermarktung basierend auf Abnahmeverträgen (PPA (power purchase agreement)) geregelt. Weiterhin kann die Vermarktung der Energie(träger) als Dienstleistung angeboten werden (Service).

In Tabelle 4 sind die Kosten für Erstellung und Betrieb, Produktionskosten der einzelnen Energieträger und geplanten Einnahmen aufgelistet.

Je nach lokalen wirtschaftlichen Gegebenheiten können im Mindesten elektrischer Strom, Wasserstoff (als Reinstoff) oder Wasserstoff (gebunden) als Produkt veräußert werden.

- **Elektrischer Strom** kann zu einem Preis von **0,124 €/kWh** produziert werden, was (mit Aufschlag) eine Einnahme von **3269,95 € pro Tag** bringen würde.
- **Wasserstoff (als Reinstoff, unverdichtet)** kann zu einem Preis von **8,645 €/kg-H<sub>2</sub>** produziert werden, was (mit Aufschlag) eine Einnahme von **4200,98 € pro Tag** bringen würde.
- **Wasserstoff (gebunden in DBT)** kann zu einem Preis von **10,875 €/kg-H<sub>2</sub>** produziert werden, was (mit Aufschlag) eine Einnahme von **5284,75 € pro Tag** bringen würde.

**Vergütung (bis jetzt nicht monetär):** In ein verfeinertes Geschäftsmodell werden weiterhin Vergütungen für die durch das Konzept geleisteten CO<sub>2</sub>-Einsparungen (z.B. CO<sub>2</sub>-Zertifikate) und Ökosystemdienstleistungen, welche beziffert, jedoch (noch) nicht direkt monetarisierbar sind, eingehen.

- **Insekten zur Bestäubung:**  
Global wurde diese Ökodienstleistung durch Insekten auf Nutzpflanzen mit einem Wert von jährlich € 153 Milliarden beziffert.<sup>10</sup> In einer weiteren Studie mit Fokus USA wurde diese ökologische Dienstleistung von Insekten auf US-\$ 57 Milliarden jährlich geschätzt.<sup>11</sup>
- **Reinhaltung von Grund- und Oberflächenwässern:**  
In den Niederlanden wurde eine Eutrophizierung (erhöhter Eintrag von Nährstoffen, wie Stickstoff- und Phosphorverbindungen in Gewässern) mit einem Schaden von jährlich € 600 Millionen beziffert und die Kosten für deren Entfernung zur Trinkwasserproduktion mit jährlich € 23 Millionen. In der selben Studie wurde für Großbritannien ein Schaden für Gewässer durch Landwirtschaft von jährlich € 725 Millionen und die Kosten für die Entfernung der Pestizide zur Trinkwasserbereitstellung von jährlich € 160 Millionen errechnet.<sup>12</sup> In einer australischen Studie wurde der Schaden auf Gewässer durch landwirtschaftliche Aktivitäten mit jährlich AUD 60 Millionen (€ 37,13 Millionen) beziffert.<sup>13</sup>
- **Polderfunktion zum Wassermanagement:**  
Die Schätzung des ökonomischen Werts einer Polderfunktion ist recht komplex. Aus einer aktuellen Studie für den Standort Deutschland kann ein Wert von jährlich etwa 2.000,- €/ha herausgelesen werden.<sup>14</sup>
- **Natürliche Kontrolle von Pflanzenkrankheiten:**

10 Ecological Economics 68 (2009) 810: <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2008.06.014>

11 BioScience 56 (2006) 311: [https://doi.org/10.1641/0006-3568\(2006\)56\[311:TEVOES\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1641/0006-3568(2006)56[311:TEVOES]2.0.CO;2)

12 International Journal of Water Resources Development 27 (2011) 33:  
<https://doi.org/10.1080/07900627.2010.531898>

13 [Monetary costs and benefits of agriculture's impact on water systems | Water Quality and Agriculture : Meeting the Policy Challenge | OECD iLibrary](#)

14 Ecosystem Services 67 (2024) 101615: <https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2024.101615>



Eine Studie mit dem Fokus auf Weizenfeldern in Süd-England errechnete eine Ökosystemdienstleistung von jährlich £ 2,3 Millionen (für diese Region).<sup>15</sup> Dies würden jährlich etwa 13,5 €/ha entsprechen.<sup>16</sup>

Die Umsetzung des Konzepts generiert globalen ökonomischen Wert!

---

15 Ecosystem Services 30 (2018) 149: <https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2018.02.019>

16 [Agricultural facts: South East \(including London\) region - GOV.UK](#)



Table 4: Übersicht der Kostenverteilungen und geplanten Einnahmen in den verschiedenen Geschäftsmodellen. In diesen Modellen B, D, F, G und H sind die OpEx-Kosten von “Lagerhalle” bis “Finanzierung” aus Tabelle 2 enthalten.

Geschäftsmodell	A	B	C	D	E	F	G	H
<b>Kosten für Erstellung und Betrieb</b>								
<b>Summe CapEx / k€</b>	129106.50	36009.38	127106.50	34009.38	127106.50	34009.38	34009.38	34009.38
<b>Summe OpEx / k€</b>	52619.07	23361.24	51997.93	22740.10	51995.72	22737.89	22737.89	22737.89
<b>Summe / k€</b>	181725.57	59370.63	179104.43	56749.48	179102.22	56747.27	56747.27	56747.27
<b>Produktionskosten</b>								
<b>Strom / €/kWh</b>	0.124	0.066	0.122	0.064	0.122	0.064	0.000	0.000
<b>Wasserstoff (Elektrolyse) / €/kg-H<sub>2</sub></b>	8.645	0.000	8.513	0.000	8.511	0.000	0.000	0.000
<b>Wasserstoff (als LOHC) / €/kg-H<sub>2</sub></b>	10.875	0.000	10.743	0.000	10.741	0.000	0.000	0.000
<b>Einnahmen</b>								
<b>Strom / €/d</b>	3269.949	1738.158	3216.198	1684.406	3215.155	1683.363	0.000	0.000
<b>Wasserstoff (Elektrolyse) / €/d</b>	4200.984	0.000	4137.042	0.000	4135.999	0.000	0.000	0.000
<b>Wasserstoff (als LOHC) / €/d</b>	5284.751	0.000	5220.793	0.000	5219.750	0.000	0.000	0.000

Es ergeben sich geringfügige Unterschiede in CapEx und OpEx zu den Werten aus Tabelle 2 da dort Landkauf und Pacht zusammen erscheinen, und in der hiesigen Tabelle separiert sind. Die Kosten (im Vergleich zu den Gesamtkosten) sind eher gering, so dass in der Übersichtsrechnung in Tabelle 2 die Werte so belassen werden.

## 3.2 Dienstleistungen

Das Konzept der lebenden Zäune bietet zunächst einen hohen Wert an Öko-Dienstleistungen. Weiterhin können mit dem vorliegenden Konzept eine Reihe verschiedensten Dienstleistungen abgedeckt werden, welche individuell an die Bedarfe und ökonomischen Begebenheiten der jeweiligen Region und Kunden angepasst werden.

### 3.2.1 Öko-Dienstleistungen

- Die lebenden Zäune, und besonders die Blühstreifen, bieten ein Habitat für eine Vielzahl von Nützlingen, welche den Einsatz von Bioziden in der landwirtschaftlichen Nutzung der Fläche drastisch reduziert bis eliminiert. Insekten und andere Tiere werden damit in ihrem natürlichen Lebensraum geschützt, wodurch ein positiver Beitrag zum Ökosystem geleistet wird.
- Der Wasserpolder trägt zum natürlichen Wasserhaushalt der Fläche bei und kann Speicher- und Bewässerungsfunktionen übernehmen. Dies ist ein positiver Effekt für den Wasserhaushalt der Fläche und den Grundwasserspiegel.
- Die lebenden Zäune bieten weiterhin durch Windschatten Schutz vor Bodenerosion und tragen damit wesentlich zum Erhalt der Ackerkrume bei.
- Durch die dreimal 25 m<sup>2</sup> Solarfläche pro Zaunelementpaar wird eine wertvolle Teilbeschattung erbracht, die vor übermäßiger Sonneneinstrahlung und Verdunstung schützt.
- Zusammen tragen diese drei Öko-Dienstleistungen ebenfalls zum Aufbau und Erhalt der Humusschicht bei.

### 3.2.2 Systemdienstleistungen

Das Konzept der lebenden Zäune bringt die Nutzung (z.B. landwirtschaftlich) der Fläche mit der Erzeugung von erneuerbarer Energie in Einklang. Die im Konzept verbauten elektrischen Speicher können dabei Netzdienstleistungen verschiedenster Art übernehmen und damit für Smart Grid Anwendungen zur Verfügung stehen und können in abgelegenen Regionen Inselnetze (off Grid) mit der erneuerbar erzeugten Energie versorgen.

Weiterhin stehen durch die dezentral erneuerbar erzeugte Energie verschiedene Möglichkeiten zur Verfügung Anlagen stabil mit Strom zu versorgen. Ideen dazu wären Telekommunikationsanlagen, Überwachungsanlagen (z.B. für meteorologische, ökologische oder sicherheitsrelevante Beobachtungen).

### 3.2.3 Energie und Energieträger

Die Verfügbarkeit von dezentral erneuerbar erzeugter Energie kann in verschiedener Weise genutzt werden. Je nach regionalem industriellem Bedarf und Wirtschaftlichkeit bietet das Konzept:

- **Elektrischer Strom:** Für Ladepunkte von (landwirtschaftlichen) Nutzfahrzeugen, Stabilisierung von Inselnetzen.
- **Wasserstoff (Reinprodukt):** Verkauf als Reinprodukt (350 bar verdichtet); als Langzeitspeicher für Rückverstromung zu späteren Zeitpunkten im Jahr; als Treibstoff für

- Fahrzeuge; Einspeisung in eine bestehende Wasserstoffleitung.
- **Wasserstoff (gebunden):** Gebundener Wasserstoff in organischen Trägern (LOHC), welche leicht transportiert und für industrielle Zwecke genutzt werden (z.B. Metallurgie, sonstige Prozesse, die Wärme benötigen).
  - **Wärmeenergie:** Speicherung in “Wärmebatterien” zur dezentralen Bereitstellung von Wärme (z.B. im Winter oder für industrielle Nutzung).
  - **Methanol:** In Kombination mit abgefangenem CO<sub>2</sub> aus Biogasanlagen kann dezentral Methanol synthetisiert werden (Nutzung als Kraftstoff oder als Basischemikalie in der chemischen Industrie).