

badenova AG & Co. KG  
Innovationsfonds Klima- und Wasserschutz  
Tullastr 61, 79108 Freiburg  
als e-mail an: innovationsfonds@badenova.de

### Halbjährlicher Zwischenbericht Nr. 1

Projektnummer: 2022-08

Berichtsdatum: 21.02.2023

Laufzeit : 15.11.2021 – 30.06.2023

Fördervolumen:150.000

Projektname: Grüner Wasserstoff für den Schwerlastbereich

Die Schwerlastfahrzeuge der ASF sollen klimaneutral werden – diese Studie soll zeigen, ob und wie der grüne Wasserstoff dafür lokal erzeugt werden kann.

#### a) Bisher erzielte Ergebnisse:

Ende November 2022 konnte die Ergebnisse der Simulationen der PV-Anlagen einachsrig getracktes, bifaziale und einer hangparallel PV-Anlage fertiggestellt werden.

Der Eichelbuck ist ein Hügel, der ehemals als Freiburger Mülldeponie genutzt wurde. Für die Fläche der PV-Anlage, welche die Energie zur Wasserstoffherzeugung liefern soll, steht nur die Ostflanke des Hügels zur Verfügung.

Diese Fläche unterteilt sich in vier Teilflächen, die in Abbildung 1 dargestellt sind.

Die Fläche oberhalb der Flächen A1+2 kann aus statischen und biologischen Gründen nicht genutzt werden.

Die Flächen A1 und A2 sind die höchstgelegenen auf dem Hügel und werden vom Wald östlich nicht verschattet. Sie werden hier nur unterschieden, da die Flächen eine leicht unterschiedliche Ausrichtung haben.

Die Fläche B ist die kleinste und liegt zwischen zwei Wegen. Die Fläche C, zwischen der Feldunterkante und dem unteren Weg, wurde für die Untersuchungen unterteilt in 3 Abschnitte (o=Oben, m=Mitte, u=Unten), um so die unterschiedlichen Verschattungen durch den Wald darstellen zu können.

Die Verschattung durch den Wald wurde mit einem für die Teilflächen angepassten Horizont berechnet. Diese wurde mit der Horizont-Verschattung durch den Eichelbuck selbst aufaddiert.



Abbildung 1: Eichelbuck mit nutzbaren Flächen für die geplanten PV-Felder

Um das Ertragspotential der Varianten und Teilanlagen zu bestimmen, wurden diese als Beispiel mit einer derzeit am Markt erhältlichen elektrischen PV-Anlagenkonfiguration simuliert.

Die Anlage ist als Hangparallel-Anlage konzipiert und vom Aufbau her vergleichbar mit der Bestandanlage am Südhang des Eichelbuck.

Folgend sind die Hauptparameter aufgelistet:

- Einstrahlungsdaten von SolarGIS
- Aufständering: Halbtische mit 3\*13 Modulen, Abstand zwischen Tischen 1m
- Modultyp: Longi LR5-72-HIBD-540M
- Invertertyp: SMA SunnyHighpower 150
- Elektrische Verschaltung: 12 Strings mit je 26 Modulen in Reihe
- Fremdverschattung: keine
- Kabelverluste: DC 1,0%; AC 1,0%
- Transformator: keiner

Der Begriff Halbtische kommt daher, dass die darauf angebrachten 13 Module einen halben Strang am Wechselrichter bilden. Dies ist die typischerweise kleinste Tischvariante, die bei Freiflächenanlagen verwendet wird.

Fläche	Hang Neigung	Orientierung	Horizont Verschattung	Anzahl Halbtische	Pnenn
A1	15°	70°	0,9%	35	730,08kWp
A2	8°	56°	1,0%	10	210,60kWp
B	18°	49°	0,2%	4	84,24kWp
Coben	23°	61°	1,6%	37	772,20kWp
Cmitte	23°	61°	4,9%	32	673,92kWp
Cunten	23°	61°	17,7%	48	1010,88kWp

Tabelle 1 Teilflächen mit wichtigen Kenngrößen

#### a. einachsig getracktes System

Einachsig nachgeführte Systeme sind Aufständungen mit einer Hauptachse (typischerweise Süd-Nord), um welche das System gedreht werden kann.

Bei Sonnenaufgang werden die Module so weit nach Osten gerichtet wie möglich, jedoch ohne die Nachbarreihe zu verschatten. Im Laufe des Tages, wenn die Sonne Richtung Westen über den Horizont wandert, wird die Modulneigung entsprechend nachgeführt.

Im Fall des Osthangs am Eichelbuck verhält sich ein 1-achsig nachgeführtes System folgendermaßen:

Bei Sonnenaufgang werden die Module nach Osten ausgerichtet, um aber eine Reihen-Verschattung mit den Nachbartischen zu vermeiden ist die Neigung nur minimal günstiger als bei Hangparallel-Festaufständung.

Um die Mittagszeit müsste ein nachgeführtes System für maximalen Ertrag die Tische so stellen, dass die Module horizontal stehen. Da am Eichelbuck durch die Hangneigung jedoch die östlichen Tischachsen tiefer liegen als die westlichen, ist eine sinnvolle Nachführung nur begrenzt möglich, ohne eine Reihen-Verschattung zu verursachen.

Dieser Effekt wird verstärkt und trifft auch für die obersten Tischachsen zu, weil der Gipfel des Eichelbuck selbst höher liegt als diese.

Ein 1-achsig nachgeführtes System am Eichelbuck-Osthang würde die Modulneigungen nur begrenzt anpassen können ohne zusätzliche Reihen-Verschattung zu erzeugen. Der mögliche Mehrertrag ist deutlich geringer als die Mehrkosten für solch ein System.

Ein weiterer Nachteil der 1-achsig nachgeführten Systeme ist, dass die Aufständungssysteme nicht nur die Module tragen müssen, sondern auch die Nachführungseinrichtung mit den Stellmotoren. Hierdurch wird das Gewicht, mit dem der Untergrund belastet wird, deutlich höher. Bei Standorten mit begrenzter Traglast wie am Eichelbuck ist zu erwarten, dass der Hang dieses Gewicht nicht tragen kann.

#### b. Hangparallele Aufständung mit Bifazialen Modulen

Für die berechnete PV-Anlage wurde eine Variante mit bifazialen Modulen berechnet. Bifaziale Module können auch die Einstrahlung auf die Rückseite zu einem gewissen Anteil (Typischerweise circa 70%) in elektrische Energie umwandeln.

Typische nach Süden ausgerichtete Freiflächenanlagen auf ebenem Untergrund erreichen somit einen Mehrertrag von 2% - 5%, je nach Reihenabstand.

Durch die hangparallele Aufständigung, mit dem Wald im Osten und dem Eichelbuck im Westen, ist der Mehrertrag durch die Rückseitenbestrahlung jedoch nochmals geringer als bei einer klassischen Feldanlage.

Bei dieser PV-Anlagenkonfiguration erhält man einen Mehrertrag von nur etwa 1%. Der Mehrertrag durch bifaziale Module ist somit vernachlässigbar und ein Mehrpreis für diesen Modultyp ist nicht zu rechtfertigen.

### c. Hangparallele Aufständigung mit Monofazialen Modulen

Hierbei wurden die Halbtische auf den zur Verfügung stehenden Flächen so platziert, dass möglichst viele Tische auf den Flächen untergebracht werden können. Die Anzahl der Halbtische und die damit verknüpfte Nennleistung sind in Tabelle 1 aufgelistet.

Die Ergebnisse der Ertragssimulationen für die Teilfelder sind in der Tabelle 2 aufgelistet. Das Gesamtergebnis findet sich in der Zeile „Summe Alle“.

Im Laufe des Projektes wurde entschieden, dass für die Wasserstoffherzeugung nur maximal eine PV-Anlage mit einer Nennleistung von 2 MW<sub>p</sub> verwendet werden kann. Hierfür wurden die am stärksten von der Verschattung betroffenen Anlagenteile (Fläche Cuntten und Teile von Fläche Cmitte) aus der Simulation entfernt. Es handelt sich um die Fläche Cuntten und  $\frac{3}{4}$  der Fläche Cmitte. Die Ergebnisse hierfür finden sich in der Zeile „Summe 2 MW<sub>p</sub>“.

<b>Fläche</b>	<b>P<sub>nenn</sub> [kWp]</b>	<b>Spezifischer Ertrag [kWh/kWp]</b>	<b>Ertrag [MWh/a]</b>	<b>Performance Ratio [%]</b>
A1	730,08	1030	752	87,8
A2	210,60	1044	220	87,7
B	84,24	959	81	87,6
Coben	772,20	944	729	87,8
Cmitte	673,92	911	614	87,6
Cuntten	1010,88	780	789	87,7
Summe Alle	3481,92	915	3184	87,4
Summe 2MW <sub>p</sub>	1965,6	985	1935	87,8

Tabelle 2: Simulationsergebnisse der Teilanlagen mit monofazialen Modulen

Sowohl für die 3,5 MW<sub>p</sub> Variante als auch für die 2MW<sub>p</sub> Variante wurden Einspeisezeitreihen (10 Simulationsjahre, 2012 - 2021) für die Auslegung des Elektrolyseurs zur Wasserstoffherzeugung erzeugt und bereitgestellt.

b) Erreichen der gesetzten Meilensteine:

Die folgenden Meilensteine (definiert über Arbeitspakete „AP“ oder „APs“) wurden bisher erreicht:

- AP01 Interessenvertretung – Auftraggeber-Vertreter Datenbereitstellung und Kontaktperson
- AP03 Modellierung des Anlagenertrags der zu errichtenden PV-Anlage - Untersuchung und Bewertung von Modularten und optimale ökonomischer Randbedingungen
  - Auslegung der PV-Anlage hangparalleler HJT-Technologie
  - Auslegung vertikale bifaziale HJT -Technologie in Ost-West-Ausrichtung
  - UK-einachsiger nachgeführtes System
  - CAPEX-/OPEX-Kostenschätzung

Weitere Meilensteine wie

- AP04 Modellierung und Auslegung der Wasserstoffproduktionskomponenten
- AP05 Planung PV-Anlage Eichelbuck - Machbarkeit- und Planung LP01 bis LP04 PV-Anlage
- AP06 Planung Wasserstoffherzeugung u. Tankstelle - Machbarkeit- und Planung LP01 bis LP04 Wasserstoffherzeugung

konnten teilweise abgeschlossen werden.

Da AP02 Projektmanagement und AP09 Öffentlichkeitsarbeit ein über die gesamte Wertschöpfungskette des Projektes dauernder Prozess ist, wird dieser final gegen Ende abgeschlossen sein. Erste Erfolge für AP09 sind Präsentation in Medialen Umfeld, der Stadt Freiburg und auch gegenüber Behörden.

Alle weiter nicht genannten APs müssen noch bearbeitet werden.

Nach aktuellem Stand wird sich die Planung der Anlage voraussichtlich weiter Anfang Q3 2023 verzögern.

c) Aufgetretene Probleme (z.B. mit Finanzierung, Personal, technischer Realisierung, Planabweichung):

Im Laufe der Simulationen für die Wasserstoffherzeugung und -verteilung sind diese unterbrochen worden. Da hierbei Probleme (=Herausforderungen) bezüglich der

Brandschutzeinhaltung und der Wasserversorgung aufgekommen sind. Die daraus resultierende Fragestellung bezüglich des Platzes und Platzbedarf mussten erstmals erörtert werden.

Weiterhin wurde im Laufe des Projektes die gesetzliche Voraussetzung für das Projekt angepasst. Hierzu wurden neue Gesetzesentwürfe diskutiert und teils verabschiedet. Diese Unsicherheit und Wartedauer haben das Projekt zusätzlich verzögert.

Um Schnittstellen innerhalb eines Gewerks zu vermeiden, wurde angestrebt die gleichen ausführenden Unternehmen mit der Planung des Brandschutzes und der Planung der Anlagenkomponenten, auf dem Eichelbuck tätig sind. Aufgrund von Komplikationen bezüglich der Genehmigungsfähigkeit Anlagen, kommt es derzeit jedoch zu Mehraufwand, der bei den ausführenden Unternehmen nun zu personellen Kapazitätsengpässen führt. Folglich kann der ursprünglich angestrebte Terminplan zur Machbarkeitsstudie und daraus folgende Planung nicht eingehalten werden.

**d) Vorgeschlagene Lösungen zur Behebung dieser Probleme:**

1. badenovaWÄRMEPLUS steht in regelmäßigem Austausch mit den Kunden, dem verantwortlichen Planungsbüros sowie den ausführenden Firmen. Als nächstes sollen die Ergebnisse der Wasserstoffsimulation besprochen werden.

2. Des Weiteren wird erwartet, dass in Ende Q1 2023 ein vorab verabschiedetes Regelwerk rechtsgültig implementiert wird. Um diesen Fortschritt zu beobachten wurde ein Forum zum Austausch zwischen Projektplanern, Rechtsberatungsinstituten, Energieversorgern und bereits erfahrenen Anwendern einerseits, sowie Anbietern und Forschungseinrichtungen.

3. Die Simulationen zur Wasserstofferzeugung (AP04 Modellierung und Auslegung der Wasserstoffproduktionskomponenten) sind so weit abgeschlossen. Diese werden noch analysiert und aufbereitet.

4. Da der Potentialbericht für den Absatz in räumlicher Nähe (AP08 Potentialanalyse Wasserstoffabsatz) und die Sonderung der Fördermittel (AP07 Förderungen – Förderlandschaftssondierung) unzureichend war, wird hier nachgearbeitet werden.

5. Sobald die Umsetzungsvariante vom Kunden bestimmt worden ist, wird die weitere Planung zum Entwurf und der Genehmigung aufgenommen. Erste zeitliche Abstimmungen mit dem Kunden und den Projektpartner sind angestoßen.

Unterschrift:



(Christoph Dilger; Projektkoordinator)

Letzter Zwischenbericht wurde erstellt am: - (erster Zwischenbericht)