

Soliterm Group GmbH

**Entwicklung eines mittelgroßen Parabolrinnen-Solar-Kollektors
zur nachhaltigen Hochtemperatur Wärmeversorgung von bis zu 450°C**

Abschlussbericht über ein Entwicklungsprojekt,
gefördert unter dem Az: **38752** von der
Deutschen Bundesstiftung Umwelt

von

Deniz Lokurlu

Aachen, März 2025

Inhaltsverzeichnis

Verzeichnis von Bildern und Tabellen	3
Abkürzungsverzeichnis	4
Zusammenfassung.....	5
Einleitung.....	6
Hauptteil	7
Marktanalyse	7
Modellbildung und Simulation	8
Beschaffung relevanter Komponenten	11
Entwicklung und Aufbau von Prototypen	12
Betriebsinterne Testdurchläufe und iterative Optimierung	13
Auswertung der erzielten Ergebnisse	14
Fazit	15
Literaturverzeichnis	16
Anhänge	16

Verzeichnis von Bildern und Tabellen

Abbildung 1: Prozessablauf des Vorhabens	7
Abbildung 2: 3D-Modell mit den Abmessungen (PTC 3000)	9
Abbildung 3: Darstellung des neuen Kollektors (PTC 3000)	9
Abbildung 4: Ergebnisse der Simulation.....	10
Abbildung 5: Aufstellung des Kollektorstranges nach der Lieferung.....	12

Abkürzungsverzeichnis

Abkürzung	Englisch	Deutsch
ARC	Anti-Reflective Coating	Antireflex-Beschichtung
AT	Absorber Tube	Absorberrohr
AW	Aperture Width	Breite der Kollektoröffnung
BOP	Balance of Plant	Kraftwerksperipherie
CAPEX	Capital Expenditure	Investitionskosten
CNC	CNC Machining	CNC-Bearbeitung
CR	Concentration Ratio	Konzentrationsverhältnis
CSP	Concentrated Solar Power	Konzentrierte Solarenergie
DNI	Direct Normal Irradiance	Direkte Normalstrahlung
EPC	Engineering, Procurement, and Construction	Planung, Beschaffung und Bau
FL	Focal Line	Brennlinie des Kollektors
GHI	Global Horizontal Irradiance	Globale Horizontale Strahlung
Gearbox	Gearbox	Getriebe für das Tracking-System
HTD	High-Temperature Durability	Hochtemperaturbeständigkeit
IAM	Incident Angle Modifier	Winkelabhängiger Strahlungsmodifikator
LCOE	Levelized Cost of Energy	Energiegestehungskosten
LCOH	Levelized Cost of Heat	Wärmegestehungskosten
O&M	Operation and Maintenance	Betrieb und Wartung
OPEX	Operational Expenditure	Betriebskosten
PTC	Parabolic Trough Collectors	Parabolrinnenkollektoren
R&D	Research and Development	Forschung und Entwicklung
ROI	Return on Investment	Kapitalrendite
SCADA	Supervisory Control and Data Acquisition	Leitsystem zur Überwachung und Datenerfassung
TES	Thermal Energy Storage	Thermischer Energiespeicher
TS	Tracking System	Nachführungssystem
η_{opt}	Optical Efficiency	Optischer Wirkungsgrad
η_{therm}	Thermal Efficiency	Thermischer Wirkungsgrad

Zusammenfassung

Der vorliegende Abschlussbericht stellt die Ergebnisse der Entwicklung des innovativen Parabolrinnenkollektors im Rahmen des Projekts „Entwicklung eines mittelgroßen Parabolrinnensolarkollektors zur nachhaltigen Hochtemperatur-Wärmeversorgung bis zu 450°C (Az: 38752)“ vor, dass im Zuge einer Förderung durch die Deutsche Bundesstiftung Umwelt (DBU) durchgeführt wurde.

Die Entwicklung des innovativen Parabolrinnenkollektors war ein anspruchsvolles Vorhaben, das auf der Optimierung verschiedener technischer, materialwissenschaftlicher und wirtschaftlicher Aspekte basierte, um einen effizienten und nachhaltigen Kollektor für die Hochtemperaturwärmeversorgung in industriellen Anwendungen zu schaffen.

Zunächst wurden umfangreiche Marktanalysen durchgeführt, um hochwertige auf dem Markt erhältliche Komponenten zu identifizieren. Durch die sorgfältige Auswahl und Optimierung der Komponenten konnte nicht nur die Effizienz des Kollektors erhöht, sondern auch die Kosten gesenkt und die Umweltbelastung minimiert werden. Dank eines optimierten Designs mit idealer Massenverteilung wegen der mechanischen Stabilität des Kollektors konnte der Kollektor ressourcenschonender und kosteneffizienter Weise hergestellt werden.

Im weiteren Verlauf des Vorhabens wurden umfangreiche Simulations- und Testverfahren, darunter Windlast-, Belastungs- und optische Tests, durchgeführt. Diese Analysen dienten der umfassenden Bewertung des Kollektors sowie der Identifikation potenzieller Schwachstellen. Auf Basis dieser Erkenntnisse wurden iterative Optimierungsprozesse implementiert, die zu einer kontinuierlichen Verbesserung der Leistungsfähigkeit und Zuverlässigkeit des Systems führten.

Ein besonderer Fokus lag auf der Auswahl und Evaluierung verschiedener Nachführsysteme, um eine optimale Ausrichtung des Kollektors sicherzustellen und unter allen Bedingungen eine maximale Ausbeute der Sonnenenergie zu gewährleisten. Neben der technischen Funktionsweise wurden insbesondere die Robustheit und Langlebigkeit der Systeme unter variierenden Umweltbedingungen untersucht.

Die enge Zusammenarbeit mit den Zulieferern sowie eine strenge Qualitätskontrolle während des gesamten Beschaffungsprozesses stellten sicher, dass ausschließlich hochqualitative Komponenten in das System integriert wurden. Trotz dieser sorgfältigen Planung konnten Verzögerungen bei einzelnen Komponenten nicht vollständig vermieden werden, was sich unmittelbar auf den Zeitplan und das Budget auswirkte.

Trotz unvorhergesehener Herausforderungen wurde das Projekt erfolgreich abgeschlossen. Das Ergebnis ist ein hochinnovativer und leistungsfähiger Parabolrinnenkollektor, der die definierten Anforderungen in vollem Umfang erfüllt. Die abschließende Zertifizierung und Weiterentwicklung zur Marktreife des entwickelten Systems konnte jedoch aufgrund der zuvor genannten Verzögerungen nicht durchgeführt werden.

Einleitung

Die Solarthermie ist ein wichtiger Bestandteil der Energie- und Wärmewende, die einen wichtigen Beitrag zur Dekarbonisierung der Industrie leisten kann. Als nachhaltige Alternative zu fossilen Energieträgern wie Erdgas bietet sie langfristig das Potenzial, konventionelle Wärmequellen zu ersetzen. Die Anwendungsmöglichkeiten Solarthermischer Anlagen sind vielfältig. Diese sind u.a. Dampf- und Wärmebereitstellung für die industriellen Prozesse, wo Wärme benötigt werden. Ebenfalls sind Strom- und Kälteerzeugung durch diese Anlagen möglich.¹ Sie können als dezentrale Wärmequelle bei der Meerwasserentsalzung und der Wasserstoffherstellung zum Einsatz kommen.

Die Solarthermieranlage führt zur energetischen Autarkie der Verbraucher und fördert eine nachhaltige Produktion. Trotz ihres erheblichen Potenzials nimmt die Solarthermie in industriellen Wärmeversorgungsprozessen bislang eine untergeordnete Rolle ein.

Um die Wettbewerbsfähigkeit dieser Technologie zu steigern, sind gezielte Optimierungsmaßnahmen erforderlich. Insbesondere die Parabolic-Trough-Collector (PTC)-Technologie kann durch innovative Konstruktionsansätze und fortschrittliche Materialanwendungen effizienter und wirtschaftlich attraktiver gestaltet werden. Um Bandbreite bei den industriellen Anwendungen zu vergrößern bzw. zu erweitern, ist die Entwicklung des neuen mittelgroßen Parabolrinnenkollektors ein wichtiger Schritt. Mit der Tatsache, dass ca. 40% des industriellen Wärmebedarfes in Deutschland unter 500 °C liegt², werden wir mit der Entwicklung des neuen Kollektors in der Lage sein, Wärme bis 450 °C zu liefern und damit den Wärmebedarf in diesem Temperatursegment zu decken. Mit der Einführung dieser neuen Kollektorbaureihe werden wir einen wesentlichen Beitrag zur Transformation des Energiesektors und zur Erreichung der Klimaziele der Wärmewende bis 2045³ leisten.

Durch die Bereitstellung einer nachhaltigen und hochtemperaturfähigen Wärmequelle trägt diese Technologie maßgeblich zur Dekarbonisierung industrieller Prozesse und zur Reduktion fossiler Energieträger bei. Im Rahmen dieses Projekts wurde die Entwicklung, Erprobung und Validierung eines innovativen Parabolrinnenkollektors erfolgreich abgeschlossen, der eine nachhaltige Hochtemperaturwärmeversorgung bis zu 450 °C für industrielle Anwendungen gewährleistet. Das Hauptziel dieses Vorhabens bestand darin, einen Kollektor zu konzipieren, der durch gezielte technologische Optimierungen einen signifikant verbesserten optischen Wirkungsgrad aufweist und somit eine effizientere Nutzung der Solarenergie ermöglicht. Zu diesem Zweck wurden die herkömmlichen Aluminiumreflektoren durch glasbasierte Materialien ersetzt und die traditionellen Absorberrohre durch vakuumierte Absorberrohre ersetzt, um die Wärmeverluste zu minimieren und die Energieausbeute pro Aperturfläche zu maximieren. Ein weiterer Schwerpunkt des Projekts war die Untersuchung der Eignung temperaturbeständiger, aber kostspieliger Thermoole als Wärmeträgermedien für den Kollektor. Durch Simulationen und betriebsinterne Testdurchläufe konnten verschiedene Parameter optimiert werden, was Entwicklungszeiten und -kosten reduzierte und den Prozess effizienter gestaltete.

¹ (Soliterm, 2024)

² (Agentur für Erneuerbare Energien, 2022)

³ (BEE-Wärmeszenario 2045, 2022)

Das Ergebnis ist ein hochgradig effizienter Parabolrinnenkollektor, der die Anforderungen an Effizienz und Nachhaltigkeit erfüllt und einen bedeutenden Beitrag zur Dekarbonisierung industrieller Wärmeprozesse leistet. Damit wurde ein wichtiger Schritt zu einer kosteneffizienten, umweltfreundlichen und zukunftsfähigen Energieversorgung in der Industrie gemacht.

Hauptteil

Die Durchführung des Projekts sowie die angewandten Methoden werden im Folgenden detailliert beschrieben. Die erzielten Ergebnisse werden in diesem Kontext entsprechend erläutert. Eine schematische Übersicht des Projektablaufs ist in der nachstehenden Abbildung dargestellt. Das Projekt ist in insgesamt sechs Abschnitte unterteilt, die nacheinander abgearbeitet wurden, wobei jeder Abschnitt spezifische Ziele, Methoden und Ergebnisse umfasst. Die folgenden Unterkapitel gehen auf jeden dieser Abschnitte im Detail ein.



Abbildung 1: Prozessablauf des Vorhabens

Marktanalyse

Um qualitativ hochwertige Komponenten zu identifizieren, musste eine umfassende Marktanalyse der relevanten Komponenten im Vorfeld durchgeführt werden. Diesbezüglich wurden diverse Hersteller im In- und Ausland selektiert und entsprechend kontaktiert. Zur weiteren Bewertung wurden detaillierte Informationen von den Herstellern angefordert, sodass wir eine fundierte Entscheidung für unseres Vorhaben treffen können. Im Rahmen der Marktanalyse wurden u.a. Unternehmen aus den Bereichen Metallverarbeitung (Stahl- und Aluminiumhersteller), Absorber- und Rotary-Joint-Technologie, Getriebe- und Antriebstechnik sowie Automatisierungstechnik kontaktiert, um nach erforderlichen und marktetablierten Produkten zu recherchieren und ggf. die Möglichkeit einer Sonderfertigung gemäß festgelegten Anforderungen zu evaluieren. Eine wesentliche Herausforderung bei der Sonderfertigung stellt die benötigte Stückzahl der Komponenten dar. Viele Hersteller sind erst ab einer bestimmten Mindestabnahmemenge bereit, eine produktspezifische Anpassung oder Sonderanfertigung vorzunehmen. Durch eine gezielte

Beschaffungsstrategie sowie die langjährige Kooperation mit internationalen Lieferanten, insbesondere in der Türkei, in Belgien, konnte diese Problematik erfolgreich überwunden werden, wodurch die Umsetzung des Vorhabens erheblich erleichtert wurde.

Der Einsatz der hochwertigen auf dem Markt erhältlichen Komponenten konnte bereits zu einer gewissen Verbesserung der Gesamteffizienz führen, reichte jedoch allein nicht aus, um ein optimales Ergebnis zu erzielen. Um den spezifischen Anforderungen gerecht zu werden, waren für einige Komponenten Sonderfertigungen erforderlich. In diesem Zusammenhang wurden relevante Hersteller kontaktiert und maßgeschneiderte Lösungen erarbeitet.

Die Entwicklung eines effizienten Parabolrinnenkollektors ist ein iterativer Prozess, der durch systematische Analyse von Messergebnissen und praktischen Erfahrungen kontinuierliche Verbesserungen ermöglicht. Dieser Ansatz führt zu sukzessiven Verbesserungen in Design und Funktionalität, was in einem leistungsfähigen und nachhaltigen Parabolrinnenkollektor resultiert, der optimal auf die anspruchsvollen Anforderungen der industriellen Wärmeanwendungen abgestimmt ist.

Zur Gewährleistung des bestmöglichen Ergebnisses wurden bei der Auswahl der Komponenten gezielte Maßnahmen ergriffen, um sicherzustellen, dass der neue Kollektor den erhöhten Anforderungen gerecht wird. Da der Kollektor in der Lage sein muss, höhere Temperaturen zu liefern, standen bei der Auswahl insbesondere die Temperatur- und Druckbeständigkeit der Komponenten sowie die Wahl geeigneter Materialien im Vordergrund des Auswahlprozesses.

Modellbildung und Simulation

Dank unserer langjährigen Erfahrung in der Produktentwicklung gelang es uns, bereits zu Beginn des Projekts potenzielle Optimierungsmöglichkeiten zu identifizieren und konsequent in den Entwicklungsprozess zu integrieren. Ein zentrales Anliegen war die signifikante Steigerung des Wirkungsgrads des neuen Kollektors, weshalb unser Fokus auf der Optimierung des optischen Wirkungsgrads und der Minimierung von Wärmeverlusten lag. Diese beiden Faktoren erwiesen sich als entscheidend, um die maximale Leistungsfähigkeit des Kollektors sicherzustellen und die angestrebten Ziele zu erreichen.

Zur Zielverwirklichung wurden zunächst verschiedene Modelle entwickelt und simuliert, um die Auswirkungen von Parametern wie Windlast und weiteren Umweltfaktoren zu analysieren. Diese simulationsgestützte Herangehensweise ermöglichte es, das optimale Modell auszuwählen, das unter realen Bedingungen die bestmögliche Leistung erzielen würde. Bereits in der Modellierungsphase lag ein besonderes Augenmerk auf der Optimierung der Massenverteilung des Kollektors, was nicht nur zu einer Verbesserung des Designs führte, sondern auch die strukturelle Effizienz sowie die Gesamtperformance des Systems erheblich steigerte.

Die nachfolgenden Abbildungen verdeutlichen verschiedene Ansichten des ausgewählten Kollektors sowie die spezifischen Abmessungen, wobei die einzelnen Komponenten präzise dargestellt sind.

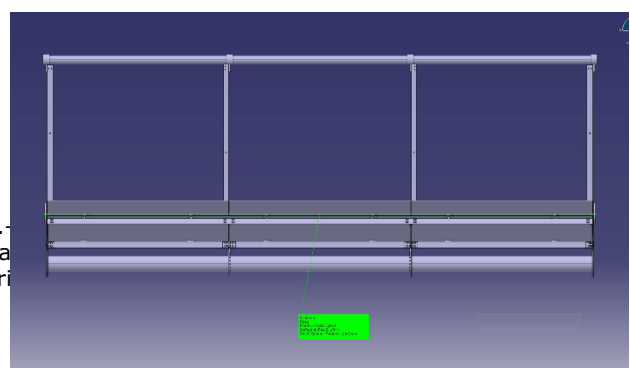
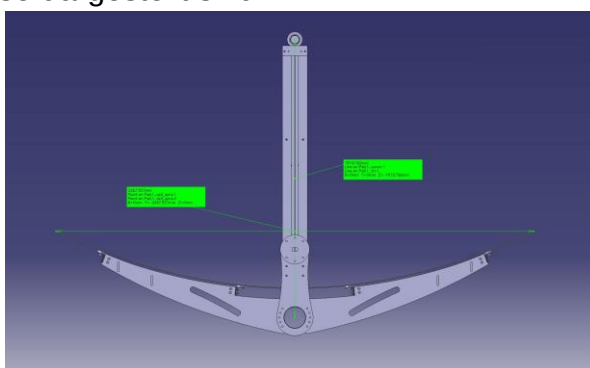


Abbildung 2: 3D-Modell mit den Abmessungen (PTC 3000)

Um eine präzisere Differenzierung der einzelnen Komponenten zu ermöglichen, werden im Folgenden ergänzende Abbildungen präsentiert, die eine detaillierte Visualisierung der jeweiligen Bestandteile und deren Funktionalitäten bieten.

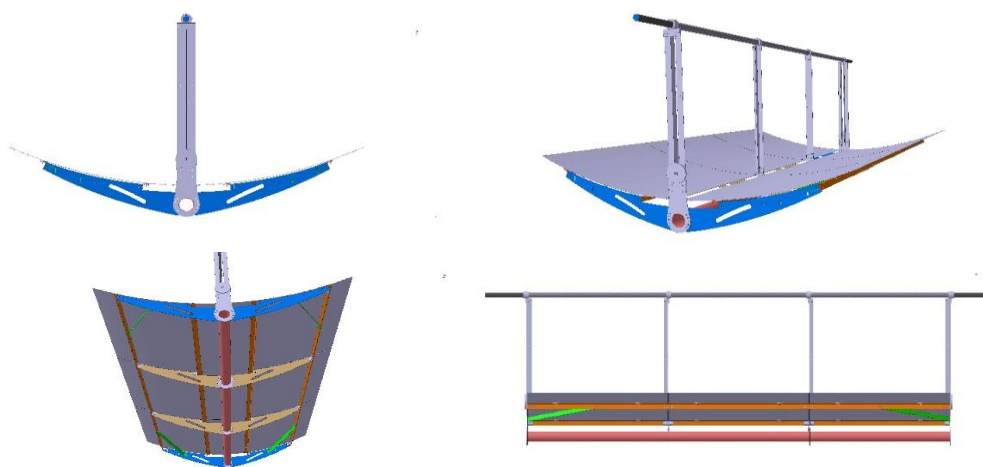


Abbildung 3: Darstellung des neuen Kollektors (PTC 3000)

Die folgenden Abbildungen zeigen die Ergebnisse der durchgeführten strukturellen Analysen, welche mit Finite-Elemente-Methoden (FEM) und Computational Fluid Dynamics (CFD) erarbeitet wurden. Dabei wurden vor allem Deformations-, Spannungs- und Sicherheitsfaktoranalysen durchgeführt, die für verschiedene Anwendungsfälle mit verschiedenen Windgeschwindigkeiten und Betriebsbedingungen untersucht wurden.

Im Rahmen der FEM-Analyse wurden die Deformationen und Spannungen des Bauteils unter verschiedenen Windlasten und Temperaturbedingungen simuliert. Diese Analysen erlaubten eine detaillierte Betrachtung der mechanischen Belastung des Bauteils, um potenzielle Schwachstellen und kritische Stellen im Design zu identifizieren.

Die FEM-Analyse ermöglichte eine detaillierte Untersuchung der mechanischen Verformung und der Spannungsverteilung im Bauteil unter verschiedenen Lasten und Betriebsbedingungen. Insbesondere wurden verschiedene Szenarien simuliert, um zu verstehen, wie sich das Bauteil unter thermischen und mechanischen Einflüssen verhält und wo potenzielle Schwachstellen auftreten könnten.

Die CFD-Analyse hingegen konzentrierte sich auf die Strömungs- und Temperaturverhältnisse innerhalb der Absorberrohre. Dabei wurden verschiedene Strömungsgeschwindigkeiten und Temperaturprofile simuliert, um die Effizienz und Betriebssicherheit unter realen Einsatzbedingungen zu bewerten. Die Ergebnisse lieferten eine umfassende Analyse der Wechselwirkungen zwischen Fluidmechanik und thermischer Strukturmechanik,

wodurch potenzielle Probleme wie Druckverluste und lokale Überhitzung der Absorberrohre identifiziert und bewertet werden konnten.

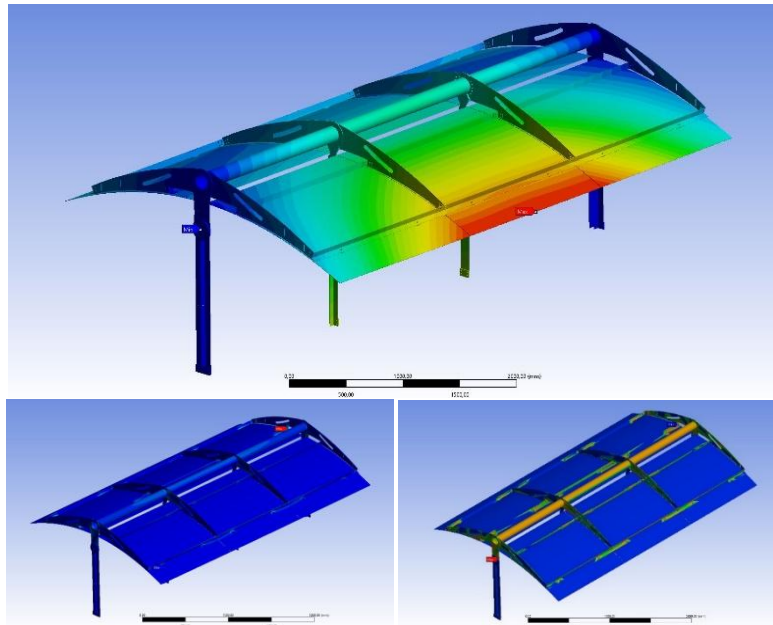


Abbildung 4: Ergebnisse der relevanten Simulationen

Zusätzlich wurden Sicherheitsfaktoranalysen durchgeführt, um die strukturelle Integrität des Systems zu bewerten. Diese Analysen stellen sicher, dass die Bauteile den maximalen thermomechanischen Betriebsbelastungen, wie verschiedenen Windgeschwindigkeiten standhalten können, ohne die zulässigen Sicherheitsgrenzen zu überschreiten. Nach umfassenden Simulationen und Tests wurden die endgültigen Pläne und Zeichnungen für verschiedene Prototypen erstellt. Die Erkenntnisse aus den Simulationen wurden dazu verwendet, das Design der Prototypen weiterhin zu verbessern und zu gewährleisten, dass diese die festgelegten Ziele erfüllen.

Die Simulationen ermöglichten eine präzise Vorhersage des Verhaltens unter realen Bedingungen, wodurch potenzielle Schwachstellen im Design frühzeitig erkannt und behoben werden konnten. Dadurch konnte der Prototyp so optimiert werden, dass er nicht nur die technischen Anforderungen erfüllt, sondern auch eine höhere Zuverlässigkeit und Langlebigkeit aufweist. Besondere Aufmerksamkeit wurde dabei auf die Minimierung von Fehlerquellen und die Verbesserung von kritischen Bereichen wie Wärmeabfuhr, struktureller Integrität und Energieeffizienz gelegt.

Zusätzlich wurden durch die Tests verschiedene Szenarien durchgespielt, um die Reaktion des Systems auf unerwartete oder extreme Betriebsbedingungen zu verstehen. Dabei lag der Fokus auf der Analyse von Belastungen, die unter normalen Betriebsbedingungen selten auftreten, aber im Falle von Fehlfunktionen oder unvorhergesehenen Umwelteinflüssen, wie Windgeschwindigkeiten, Schnee, Temperaturschwankungen etc. entscheidend sein könnten.

Die gewonnenen Daten wurden sorgfältig ausgewertet und flossen direkt in die abschließende Version des Prototyps ein. Dadurch konnte sichergestellt werden, dass das

entwickelte Design nicht nur den normalen Betriebsanforderungen gerecht wird, sondern auch in außergewöhnlichen Situationen zuverlässig funktioniert. Diese umfassende Validierung ermöglichte es, das Design weiter zu optimieren und es so auf die realen Anforderungen und möglichen Betriebsherausforderungen abzustimmen.

Beschaffung relevanter Komponenten

Nachdem die Planungsunterlagen und technische Zeichnungen für verschiedene Prototypen abgeschlossen waren, konnten detaillierte Komponentenlisten erstellt werden. Auf dieser Basis erfolgten die Identifikation und Auswahl geeigneter Hersteller, die bereits im Rahmen der umfassenden Marktanalyse ermittelt und gemäß Kriterien wie Qualität, Lieferzeiten, Kosten und Zuverlässigkeit bewertet wurden. Sowohl nationale als auch internationale Lieferanten wurden kontaktiert, um Angebote einzuholen.

Die eingeholten Angebote wurden daraufhin von unserem Projektteam einer detaillierten Analyse unterzogen und in internen Abstimmungsrunden miteinander verglichen. Hierbei flossen neben den wirtschaftlichen Aspekten auch technische und logistische Überlegungen in die Entscheidungsfindung ein. Nach einer abschließenden Bewertung der Angebote wurden die Bestellungen bei den ausgewählten Lieferanten erteilt.

Im Rahmen des Vorhabens wurden u.a. die folgende Einzelkomponenten angeschafft:

- Flex Pipes – Flexschläuche
- Absorber Holders – Absorberhalterung
- Steel Case Holding Arms – Stahlgehäuse-Halterarme
- Optic Tracking Sensors – Optische Tracking-Sensoren
- PLC / MCC Panel – SPS / MCC (Motor Control Center) Panel
- Encoders – Encoder
- Tracking Motors – Tracking-Motoren
- Protective Film – Schutzfolie
- Rotary Joints – Drehdurchführung
- Metal Frames – Metalrahmen
- Holding Arms – Kollektorarme
- Control Panel (IP65) – Steuerpanel (IP65)

Obwohl bei der Bestellungen gemäß den Plänen und technischen Zeichnungen durchgeführt wurden, erforderte der fortlaufende Prozess eine kontinuierliche Klärung offener Fragen seitens Lieferanten. Aufgrund der Sonderfertigung der Bauteile war es notwendig, dass das Projektteam zum Teil vor Ort, bei den Komponentenhersteller, die Qualität gewährleistete. Diese Präsenz bei der Herstellung von Kollektorkomponenten, wie beispielsweise Reflektoren und Pylonen, ermöglichte es uns, spontane Anpassungen vorzunehmen und sicherzustellen, dass sämtliche Komponenten den höchsten Qualitätsstandards entsprachen.

Dank dieses gezielten Vorgehens für die Qualitätssicherung konnten wir sicherstellen, dass der neue Kollektor nicht nur die festgelegten Leistungsziele erfüllt, sondern auch den Anforderungen der Industriekunden gerecht wird und zuverlässig und effizient arbeitet. Trotz sorgfältiger Planung und enger Kommunikation mit den Lieferanten traten bei einigen Komponenten unerwartete Lieferverzögerungen auf. Diese Verzögerungen hatten

erhebliche Auswirkungen auf den Zeitplan der Prototypentwicklung, da die betroffenen Teile für die Fertigung und Montage der Modelle unverzichtbar waren.

Entwicklung und Aufbau von Prototypen

Nach der Beschaffung der relevanten Komponenten wurde die Entwicklung und der Aufbau eines Prototyps systematisch eingeleitet. Im ersten Schritt erfolgte die Qualitätssicherung der gelieferten Bauteile, die durch eine detaillierte Überprüfung gemäß den festgelegten technischen Zeichnungen und Spezifikationen durchgeführt wurde. Nur die Komponenten, die die strengen Qualitätsanforderungen erfüllten, wurden für den Montageprozess zugelassen.

Die speziell angefertigten und geprüften Komponenten wurden nach einer rigorosen Qualitätskontrolle unter Berücksichtigung der finalen technischen Zeichnungen und der festgelegten Spezifikationen zusammengebaut.

In den untenstehenden Abbildungen sind die Aufstellung der Kollektoren zu sehen, welche während der Qualitätsprüfung nach der Lieferung aufgenommen wurde.

Der Montageprozess erfolgte in mehreren Phasen, wobei zunächst die mechanische Struktur des Prototyps zusammengefügt wurde. Alle Verbindungen und Konstruktionsmerkmale wurden überprüft, um sicherzustellen, dass die Komponenten passgenau und stabil montiert sind. Dabei wurde auch auf eine optimale Belastbarkeit und Standfestigkeit geachtet, um den zukünftigen Betriebsbedingungen standzuhalten.

Parallel zur Kollektoraufstellung wurden sämtliche elektronischen Komponenten integriert, einschließlich der Steuerungseinheit, des Trackingsystems und der Sensoren. Diese elektronischen Systeme wurden präzise nach den festgelegten Anforderungen installiert und verkabelt. Dabei wurden moderne Technologien zur Signalübertragung und Energieversorgung verwendet, um eine zuverlässige Funktionalität und Langlebigkeit der Prototypen sicherzustellen.



Abbildung 5: Aufstellung des Kollektorstranges nach der Lieferung

Wie aus dem obigen Foto zu entnehmen wurden zwei Kollektoren in Reihe geschaltet und auf drei Pylonen platziert. Das Trackingsystem, welches eine zentrale Funktion im Gesamtsystem übernimmt und dafür sorgt, dass die Kollektorreihe während des Betriebs automatisch der Sonnenpositionen folgen, auf dem mittleren Pylonen installiert.

Im Anschluss wurde die Integration des SCADA-Systems (Supervisory Control and Data Acquisition) abgeschlossen, um eine zentrale Überwachung und Steuerung des gesamten Systems zu ermöglichen.

Nach der mechanischen und elektronischen Montage wurde die Funktionalität der Systemkomponenten umfassend geprüft, um sicherzustellen, dass alle Teile einwandfrei zusammenarbeiten und die Komponenten für die internen Testläufe optimal vorbereitet sind.

Auch die Sensoren, die für die Messung von Temperatur, Strahlungsintensität und anderen relevanten Parametern zuständig sind, wurden kalibriert und auf ihre Genauigkeit getestet, um eine präzise Erfassung der Betriebsdaten zu gewährleisten. Darüber hinaus wurden alle Sicherheitsmechanismen des Systems überprüft, um eine zuverlässige Notabschaltung bei Fehlfunktionen oder unerwarteten Ereignissen sicherzustellen.

Nach mehreren Tests der mechanischen, elektrischen und funktionalen Komponenten wurden die Prototypen als betriebsbereit erklärt. Sie konnten nun in die nächste Phase übergehen.

Betriebsinterne Testdurchläufe und iterative Optimierung

Die Form der Reflektoren wurde nach der Lieferung bzw. vor der Kollektoraufstellung mit der in unserer Produktion vorhandenen Messstation überprüft, die jedoch erst nach der Modifikation der Messeinrichtung für diese Messung geeignet war. Diese Modifikationen waren aufgrund der Abmessungen der Reflektoren erforderlich. Da ihre Form entscheidend für den optischen Wirkungsgrad ist, mussten die Reflektoren einer gründlichen Qualitätskontrolle unterzogen werden. Nach der Qualitätssicherung wurde die Kollektoren aufgestellt.

Nach Abschluss der Qualitätssicherung erfolgte die Aufstellung der Kollektoren. Mit der anschließenden Montage des Systems und der relevanten Kalibrierung zur Inbetriebnahme waren die Prototypen bereit für die Durchführung sämtlicher Tests.

Zur Bestimmung der optimalen Antriebsgröße für das Nachführungssystem wurden verschiedene Motoren getestet, wobei der Schwerpunkt insbesondere auf der Präzision der Nachführung und der Überprüfung der Systemfunktionalität, insbesondere der Integration mit dem SCADA-System, lag. Zusätzlich wurde die mechanische Belastbarkeit der eingesetzten Doppelschneckengetriebe, der Kollektorarmlen und deren Verbindungselemente evaluiert.

Im Rahmen der thermischen Testdurchläufe wurde die Beständigkeit der verwendeten Komponenten, insbesondere des Absorbers und der Drehdurchführungen, einer eingehenden Prüfung unterzogen. Bereits in den ersten Versuchen zeigte sich, dass der ursprünglich eingesetzte Absorber den hohen Betriebstemperaturen nicht standhielt, so dass ein vakuumierter Absorber als Ersatz erforderlich wurde. Da dieser jedoch nicht mit der bestehenden Halterung kompatibel war, musste eine Anpassung der Halterungen vorgenommen werden, um den neuen Absorber im Kollektor zu integrieren. Im Zuge der Anpassung der Halterung wurde zusätzlich die thermische Ausdehnung bei hohen

Temperaturen berücksichtigt. Infolgedessen konnten Temperaturen von bis zu 320 °C erreicht werden.

Allerdings stellte sich das verwendete Thermalöl als limitierender Faktor heraus, da es höhere Betriebstemperaturen nicht zuließ. Zur weiteren Optimierung der Effizienz des Kollektors richtete sich die Fokussierung des Projektteams daher auf die Identifikation und Auswahl eines geeigneten Thermalöls mit verbesserten thermischen Eigenschaften. In diesem Kontext wurden verschiedene Thermalöl-Varianten hinsichtlich ihrer Eignung für unterschiedliche Temperaturbereiche getestet und ihre thermodynamischen Eigenschaften umfassend analysiert.

Während der gesamten Testphase lag der Schwerpunkt auf der Überprüfung der mechanischen Stabilität, der thermischen Eignung, der elektrischen Konnektivität sowie der korrekten Integration der Steuerungssysteme und Sensoren.

Durch die iterative Optimierung der Kollektorkomponenten und der eingesetzten Medien konnte ein optimaler Betrieb sichergestellt werden. Die kontinuierliche Verbesserung in den einzelnen Entwicklungsstufen führte dazu, dass Temperaturen von bis zu 400 °C erreicht wurden.

Auswertung der erzielten Ergebnisse

Nachdem sämtliche Tests erfolgreich abgeschlossen und der entwickelte Prototyp validiert worden waren, begann die Auswertung der erzielten Ergebnisse. In dieser Phase wurden die während der internen Tests gesammelten Daten systematisch analysiert, um die Leistungsfähigkeit, Zuverlässigkeit und Effizienz des Systems zu bewerten. Besonders wichtig war dabei der Abgleich der Testergebnisse mit den zuvor in der Designphase definierten Zielvorgaben.

Während der internen Testdurchläufe wurden die erfassten Daten aus unterschiedlichen Blickwinkeln untersucht, insbesondere hinsichtlich der Reaktionsgeschwindigkeit und Präzision des Trackingsystems, der Genauigkeit der Sensoren, der Wärmeentwicklung und der Energieeffizienz.

Die Ergebnisse wurden mit den technischen Anforderungen und Qualitätsstandards verglichen, die zu Beginn des Projekts festgelegt wurden. Mögliche Abweichungen und Schwächen im System wurden identifiziert und detailliert dokumentiert. Auf Grundlage dieser Analysen konnten gezielte Optimierungsmaßnahmen und Designanpassungen abgeleitet werden, um die Leistungsfähigkeit weiter zu steigern und potenzielle Risiken zu minimieren.

Darüber hinaus wurden die Produktionsprozesse sowie die Materialwahl auf ihre Effizienz hin überprüft, um festzustellen, ob sie den Anforderungen für eine serienmäßige Fertigung gerecht werden. In Fällen, in denen Anpassungen notwendig waren, wurden diese in enger Zusammenarbeit mit den Entwicklungsteams und Fertigungspartnern besprochen, um die Herstellbarkeit und Wirtschaftlichkeit zu gewährleisten.

Abschließend stellte die Auswertung der Ergebnisse eine solide Grundlage für die Weiterentwicklung des Produkts und die Vorbereitung auf die nächsten Phasen der Produktion und Markteinführung dar.

Fazit

Die Entwicklung des Solarkollektors wurde unter Anwendung eines systematischen, iterativen Vorgehens realisiert, das signifikante Fortschritte ermöglichte und zu einem innovativen sowie leistungsfähigen Endprodukt führte. Durch gezielte konstruktive und strukturelle Optimierungen konnte das Design des Kollektors nicht nur vereinfacht, sondern auch in wesentlichen Aspekten verbessert werden. Insbesondere die Kompaktheit des Designs stellte einen entscheidenden Faktor dar, der zur Optimierung der Fertigungsprozesse, zur Kostensenkung und zur gleichzeitigen Steigerung der Leistungsfähigkeit und Zuverlässigkeit des Kollektors beitrug.

Die Durchführung umfangreicher Simulationen, Tests und die daraus gewonnenen Erkenntnisse haben es ermöglicht, potenzielle Schwachstellen frühzeitig zu identifizieren und zu beheben. So wurde ein Kollektor entwickelt, der nicht nur den technischen Anforderungen entspricht, sondern auch in der praktischen Anwendung überzeugende Ergebnisse liefert. Dies hat die Robustheit und Effizienz des Kollektors unter realen Bedingungen unterstrichen und das Vertrauen in das Design weiter gestärkt.

Die erfolgreiche Entwicklung des neuen Kollektors legt bereits die Grundlage für die Zertifizierung, die jedoch im Rahmen dieses Vorhabens aufgrund unerwarteter Verzögerungen nicht abgeschlossen werden konnte. Nach Abschluss der Zertifizierung wird der Kollektor eine solide Basis für die Markteinführung und die Integration in verschiedene industrielle Anwendungen bieten.

Durch die Entwicklung dieses Produkts eröffnet sich ein breites Potenzial für nachhaltige Energielösungen, die nicht nur den Energiebedarf von Unternehmen decken, sondern auch zur Senkung der Betriebskosten und zur Reduktion des ökologischen Fußabdrucks beitragen. Die Kombination aus Solarthermie und anderen Energietechnologien bietet Unternehmen die Möglichkeit, in eine effiziente, nachhaltige und kostensparende Zukunft zu investieren.

Insgesamt hat die Produktentwicklung unseres neuentwickelten Kollektors einen bedeutenden Beitrag zur Förderung nachhaltiger Energiequellen und der Weiterentwicklung von Industrien im Hinblick auf Energieeffizienz und Umweltschutz geleistet, was in den kommenden Jahren zu einer breiteren Anwendung und positiven Auswirkungen führen dürfte.

Literaturverzeichnis

Agentur für Erneuerbare Energien. (2022). Von <https://www.unendlich-viel-energie.de/mediathek/grafiken/grafik-dossier-power-to-heat-potenzial-der-deutschen-industrie> abgerufen

(2022). *BEE-Wärmeszenario 2045.* Berlin. Von <https://solitermgroup.com/de/technologie/> abgerufen

Soliterm. (2024). Von <https://solitermgroup.com/de/technologie/> abgerufen

Anhänge