

## 24 Layout großer Photovoltaikkraftwerke

Das Layout großer Photovoltaikkraftwerke birgt eine enorme Zahl von Freiheitsgraden bei der Auswahl, Platzierung und Verschaltung der erforderlichen Komponenten. Durch Mathematische Optimierung wird der Planungsaufwand drastisch reduziert und die Qualität der geplanten Anlage erhöht.

Frau Dr. Petra Bauer arbeitet bei Siemens Technology, der Zentralabteilung für Forschung und Entwicklung der Siemens AG, in einem Team von Experten für Mathematische Optimierung. Das hier vorgestellte Optimierungstool zur Planung großer Photovoltaik-Kraftwerke entstand in einer Kooperation mit Siemens Energy.

Die Auslegung großer Photovoltaikkraftwerke ist eine komplexe Aufgabe, die erfahrene Planerinnen und Planer über Wochen hinweg beschäftigen kann. Sie beinhaltet die Platzierung und Verkabelung der erforderlichen Komponenten unter Beachtung von physikalischen Gesetzen, äußeren Rahmenbedingungen und gegebenen Zielkriterien. Ein bei Siemens entwickeltes Softwaretool konnte den Planungsaufwand wesentlich reduzieren: nach Eingabe aller Daten berechnen Verfahren der Kombinatorischen Optimierung ein Layout in wenigen Minuten. Damit wird es möglich, Planungsvarianten zu vergleichen oder Planungen zu ändern, ohne jedes Mal Tage oder Wochen zu investieren.



Abbildung 26: Große Solaranlagen bestehen aus Hunderttausenden von Solarpanelen, die angeordnet und verkabelt werden müssen.

### Komponenten eines Photovoltaikkraftwerkes

Die wesentlichen Komponenten einer Photovoltaikanlage sind die Photovoltaikmodule, die unter Einstrahlung von Sonnenlicht Gleichstrom produzieren, die Tische, auf de-

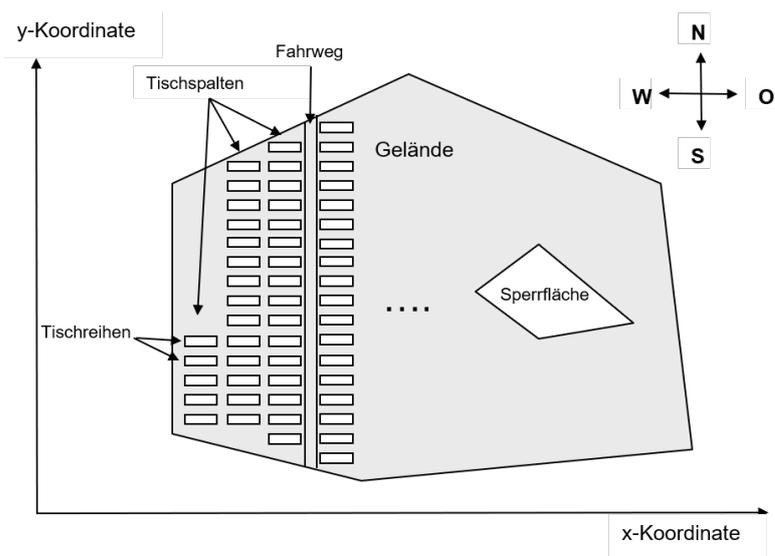
nen die Photovoltaikmodule montiert werden, Wechselrichter, die den Gleichstrom in Wechselstrom umwandeln, Kabel, die die Module untereinander verschalten sowie an den jeweils zugeordneten Wechselrichter anschließen und Anschlusskästen, in denen mehrere Kabel in jeweils einem dickeren Kabel gebündelt werden.

## Die Planungsaufgabe

Die Planungsaufgabe ist, unter Einhaltung physikalischer und weiterer Restriktionen auf einem gegebenen Gelände eine Photovoltaikanlage zu errichten, die die erwartete Leistung maximiert und dies so kostengünstig wie möglich.

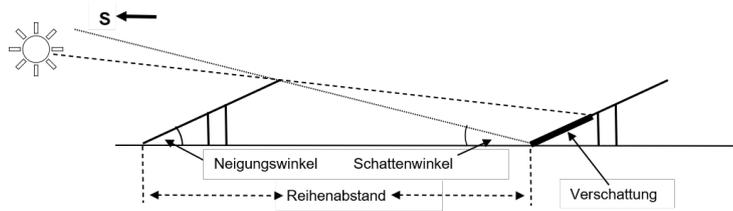
Zur Verdeutlichung der Komplexität des Problems beschreiben wir im Folgenden einige Aspekte der Aufgabe etwas detaillierter.

Das Gelände ist durch einen Polygonzug gegeben, der den Umriss beschreibt, sowie ggf. durch weitere Polygonzüge für Sperrflächen, die nicht bebaut werden dürfen. Für die Annäherung an die Geländetopographie benötigen wir außerdem Höhenangaben an ausreichend vielen Orten als Basis für eine Triangulation, also eine Approximation des Geländes durch ebene Dreiecke.



Die Solarmodule werden, nach Süden geneigt, in von Ost nach West verlaufenden Reihen aufgestellt. Fällt das Gelände nach Norden ab, muss der Abstand zur nächsten Tischreihe (von Süden aus gesehen) wegen Verschattungseffekten größer sein, als wenn das Gelände nach Norden ansteigt.

Man möchte nun möglichst viele Tische platzieren unter der Nebenbedingung, dass Fahrwege von Süd nach Nord nach parametrierbaren Vorgaben existieren und an einem ebenfalls einstellbaren



Zeitpunkt im Jahr (z.B. am längsten Tag des Jahres um 12 Uhr mittags) sich die Module nicht gegenseitig verschatten. Die Reihen müssen zwischen zwei Fahrwegen auf gleicher „Höhe“ in Süd-Nord-Richtung liegen, um für Wartungsarbeiten gut zugänglich zu sein.

Zudem müssen Wechselrichter ausgewählt und platziert werden, die zusammen ausreichend Kapazität haben, um den produzierten Gleichstrom in Wechselstrom umzuwandeln. Jeder Tisch muss außerdem einem Wechselrichter zugeordnet und mit diesem in einer hierarchischen Kabelstruktur verbunden werden.

Bei der Verkabelung ist zu beachten, dass sie stets rechtwinklig verläuft und dass alle Kabel, die in Süd-Nord-Richtung verlaufen unterirdisch verlegt werden müssen, was zusätzliche Kosten verursacht. Kabeldurchmesser müssen in Abwägung zwischen Anschaffungskosten und Verlusten durch den Kabelwiderstand bestmöglich gewählt werden.

## Das Optimierungstool

Diese Gesamtaufgabe ist zu komplex, um sie durch ein Optimierungsverfahren zu lösen, das alle Entscheidungen gleichzeitig fällt. Hier eine Liste der wichtigsten zu treffenden Entscheidungen:

- Lage der Fahrwege
- Verortung der Tische in Reihen und Spalten
- Auswahl der Wechselrichter
- Verortung der Wechselrichter und Zuordnung von Tischen zu Wechselrichtern
- Kabelführung unter Berücksichtigung der Grabungskosten
- Bestimmung der Kabeldurchmesser

Wir sind auf eine Dekomposition des Gesamtproblems angewiesen und lösen einzelne Aufgaben, obwohl sie nicht voneinander unabhängig sind, nacheinander. Um die damit verbundenen Abstriche in der Lösungsqualität so gering wie möglich zu halten, berücksichtigen wir in den einzelnen Teilschritten, soweit möglich, näherungsweise die Aspekte der nachfolgenden Schritte. So geht z.B. bei Bestimmung der exakten Lage

der Fahrwege bereits eine Approximation an die Verkabelungskosten in die Zielfunktion ein.

Bei der Lösung der Teilprobleme kommen die Ganzzahlige Lineare Programmierung, die Dynamische Programmierung und Heuristiken zum Einsatz. Bei der Ganzzahligen Linearen Programmierung werden die Restriktionen und die Zielfunktion durch lineare Gleichungen und Ungleichungen in ganzzahligen Variablen modelliert und mit entsprechenden Solvern gelöst, bei der Dynamischen Programmierung wird die Lösung eines Problems auf die Lösungen zu Teilproblemen zurückgeführt, die gespeichert und dann geeignet kombiniert werden. Wenn Probleme zu komplex sind, um sie exakt ausreichend schnell zu lösen, wendet man Heuristiken an, die durch „geschickte“ Vorgehensweise praktikable Lösungen errechnen.

Das von uns entwickelte Optimierungstool erlaubt es dem Planer auf der Bedienoberfläche die Geländedaten zu importieren, die zur Verfügung stehenden Komponenten (Modultypen, Tische, Wechselrichtertypen, Kabeltypen, etc.) anzugeben und Nebenbedingungen zu formulieren.

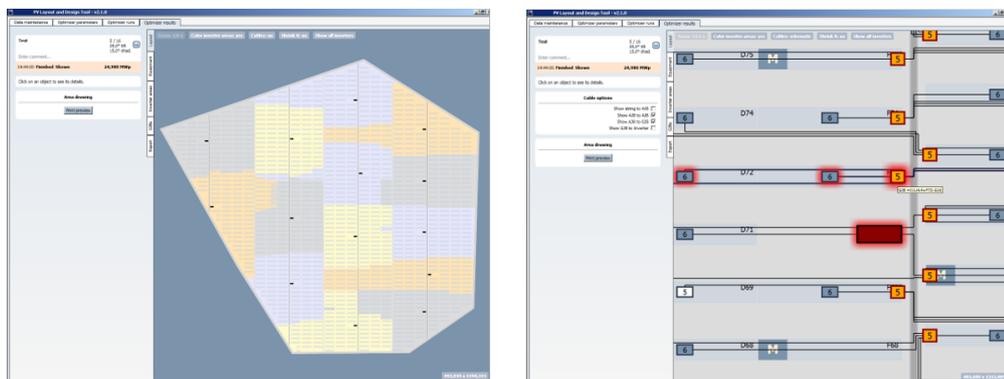


Abbildung 27: 25 MWp Kraftwerk mit Tischen (grau), Wechselrichtern (schwarz), Wechselrichtergebieten (bunt) und Wegen. Rechts eine Detailansicht.

Per Knopfdruck wird in wenigen Minuten ein Layout durch eine Hierarchie mathematischer Optimierungsverfahren berechnet, ausgewertet und an der Oberfläche dargestellt. Durch Hineinzoomen in das Layout können Details angesehen und vom Planer nach Wunsch verändert werden. Auch ein anschließender Reoptimierungsschritt, der die Wünsche des Planers berücksichtigt, kann ausgeführt werden.