

DARAN ERKENNEN SIE EIN GUTES ERTRAGS- GUTACHTEN

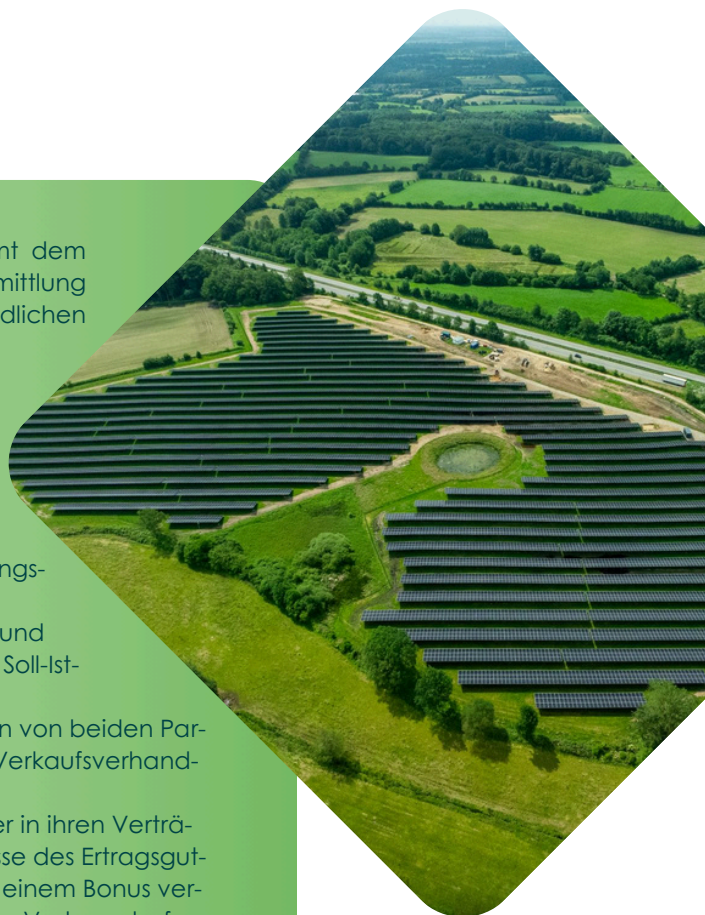


GREENTECH
WHITEPAPER

EIN GUTES ERTRAGSGUTACHTEN DIENT ALLEN BETEILIGTEN PARTEIEN

Bei der Planung eines PV-Parks oder einer PV-Anlage kommt dem Ertragsgutachten eine bedeutsame Rolle zu: es dient der Ermittlung der späteren Anlagen-Performance und liefert den unterschiedlichen Akteuren wertvolle Informationen über ihr Projekt:

- Projektentwickler und Generalunternehmer nutzen es, um das grundsätzliche Ertragspotenzial einer bestimmten Fläche oder eines Gebietes genau zu ermitteln und zu bestimmen, ob sich die Umsetzung eines Projektes und ein möglicher späterer Verkauf für sie rentiert.
- Banken oder Investoren bietet es eine fundierte Entscheidungsgrundlage für eine mögliche Finanzierung des Projektes.
- Dem späteren Betreiber dient es als Investitions-Grundlage und Performance-Orientierung und ermöglicht einen konkreten Soll-Ist-Vergleich über die Leistung seiner Anlage.
- In einem Verkaufsprozess werden oft auch Ertragsgutachten von beiden Parteien zum jeweiligen Projekt vorgelegt und als Basis für die Verkaufsverhandlungen genutzt.
- Immer öfter geben Dienstleister wie EPCs oder Betriebsführer in ihren Verträgen Performance-Garantieren ab, die sich auf die Ergebnisse des Ertragsgutachtens beziehen. Während eine bessere Performance mit einem Bonus vergütet wird, drohen dagegen bei Nichterfüllung empfindliche Vertragsstrafen



VORRANGIGES ZIEL DES ERTRAGSGUTACHTENS: EIN REALISTISCHES ERGEBNIS DER ERWARTBAREN ERTRÄGE

Dazu ist anzumerken, dass ein Ertragsgutachten naturgemäß immer auch gewisse Unsicherheiten beinhaltet: Umso wichtiger ist es, durch die Nutzung langjähriger Daten aus verschiedenen Quellen und unter Berücksichtigung verschiedener relevanter Faktoren und begründeter Annahmen ein möglichst fundiertes Ertragsbild der betreffenden Anlage zu zeichnen. Denn nur dann kann das Ertragsgutachten eine verlässliche und neutrale Basis für die am Projekt beteiligten Akteure darstellen. So findet sich bei zu konservativ getroffenen Prognosen gegebenenfalls kein Investor oder Geldgeber für das Projekt. Wird dagegen zu optimistisch gerechnet, besteht die Gefahr, dass das Projekt am Ende nicht die Erwartungen erfüllt und die Investitionskosten nicht zurückerwirtschaftet werden können. Keiner Partei wäre damit geholfen.

Daher finden immer auch mögliche Standardunsicherheiten Eingang in ein Ertragsgutachten. Sie berücksichtigen beispielsweise abweichende meteorologische Bedingungen oder Unsicherheiten in der fachlichen Interpretation der Daten sowie der Simulations-Software. So gibt der P50-Wert an, welchen Ertrag die Anlage mit einer Wahrscheinlichkeit von 50% erwirtschaften kann. Ein weiterer Wert, P90, gibt dagegen den Ertrag an, der mit einer Wahrscheinlichkeit von 90 Prozent überschritten wird.



WELCHE PARAMETER TRAGEN ZU EINER MÖGLICHST REALISTISCHEN ERTRAGSPROGNOSE BEI?

Vor allem die meteorologischen Bedingungen (insbesondere die Einstrahlung und die Temperatur) am Standort, die gegebene Topografie und mögliche Verschattungsobjekte sowie das technische Design inklusive der genutzten Komponenten haben Einfluss auf den späteren Ertrag einer Photovoltaik-Anlage.

Hier gilt es, alle möglichen Standortfaktoren und technischen Rahmenbedingungen genau zu ermitteln und bei der Erstellung eines Ertragsgutachtens zu berücksichtigen. Im ersten Schritt erfolgt das oft durch eine Aufnahme aller Gegebenheiten vor Ort im Rahmen einer Flächen- und Routenanalyse. Hier hat sich inzwischen die Nutzung von Drohnentechnologie bewährt. Bei einer Drohnenvermessung und der Erstellung eines 3D Geländemodells wird ein genaues Luftbild der Fläche inklusive Erhebungen und Verwerfungen gezeichnet. Dabei werden sämtliche Verschattungsobjekte in Position und Abmessung abgebildet. So lässt sich mit der Software PVsyst später eine präzise 3D-Szene für die Verschattungssimulation erstellen. Gleichzeitig werden spätere Diskussionen – etwa über Baumhöhen – in Investorengesprächen oder bei Verhandlungen über eine PR-Garantie mit dem EPC reduziert.

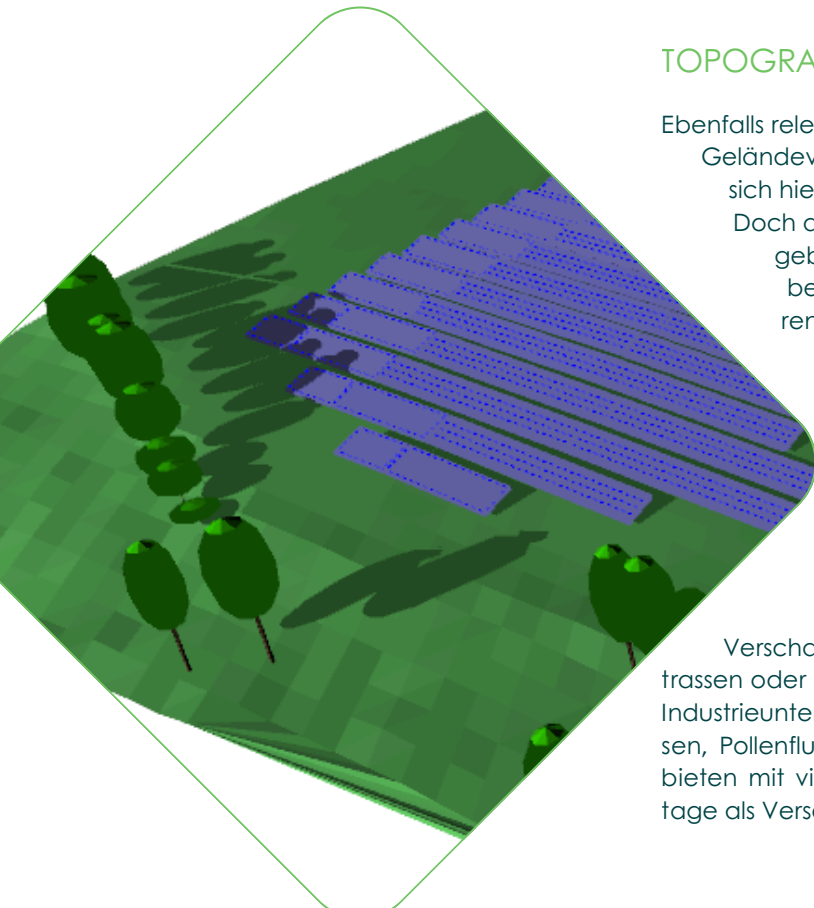
EINSTRALHUNG AM STANDORT

Die zukünftige Einstrahlung am Standort zu ermitteln, stellt die Grundlage für das Gutachten und die spätere Bewertung dar. Dazu wird in der Regel auf historische Daten horizontaler Globalstrahlung (gemessen in kWh/m^2) der letzten 15 bis 20 Jahre zurückgegriffen. Sie werden von verschiedenen vertrauenswürdigen Anbietern erhoben und bereitgestellt. Die Strahlung wird unter anderem über stationäre Systeme in der Umgebung oder durch Satelliten für den jeweiligen Ort gemessen. Da die verschiedenen Messmethoden zu Einstrahlungsdifferenzen von einigen Prozentpunkten führen können, werden für eine möglichst verlässliche Ertragsabschätzung die Daten verschiedener Quellen herangezogen und sorgsam evaluiert. Anschließend wird aus den für den Standort als zuverlässig eingestuftten Quellen ein gewichteter Mittelwert gebildet.



TOPOGRAFIE / VERSCHATTUNG

Ebenfalls relevant für den späteren Ertrag ist der Geländeverlauf der Fläche. In den seltensten Fällen handelt es sich hier um eine ebene Fläche ohne Verschattungsobjekte. Doch auch ein anspruchsvolles, unebenes Gelände mit umgebenden Hängen kann mit einer effizienten PV-Anlage bebaut werden, wenn die Planung mögliche Störfaktoren genau ermittelt und im späteren Design berücksichtigt. Dazu zählt nicht nur der Schattenwurf von Hängen oder Bäumen, auch die nähere Umgebung der Fläche sollte genauer unter die Lupe genommen werden: so können beispielsweise Hochspannungsmasten oder Rotorblätter naher Windkraftanlagen für Schattenwurf sorgen. Fabriken in der Nähe können nicht nur mit ihren Schornsteinen, sondern auch mit ihren Rauchemissionen bei bestimmten Windbedingungen eine Verschattung herbeiführen. Auch an Autobahnen und Bahntrassen oder in der Nähe von landwirtschaftlichen Betrieben oder Industrieunternehmen droht Verschmutzung in Form von Abgasen, Pollenflug und kleinen Partikeln verarbeiteter Stoffe. In Gebieten mit viel Schneeaufkommen sind auch mögliche Schneetage als Verschattungsrisiko relevant.



ANLAGENDESIGN

Neben den Standortbedingungen spielt auch das gewählte Anlagendesign eine bestimmende Rolle.

MECHANISCHES DESIGN

Die Positionierung der Module entscheidet, wie viel Einstrahlung auf den PV-Generator trifft.

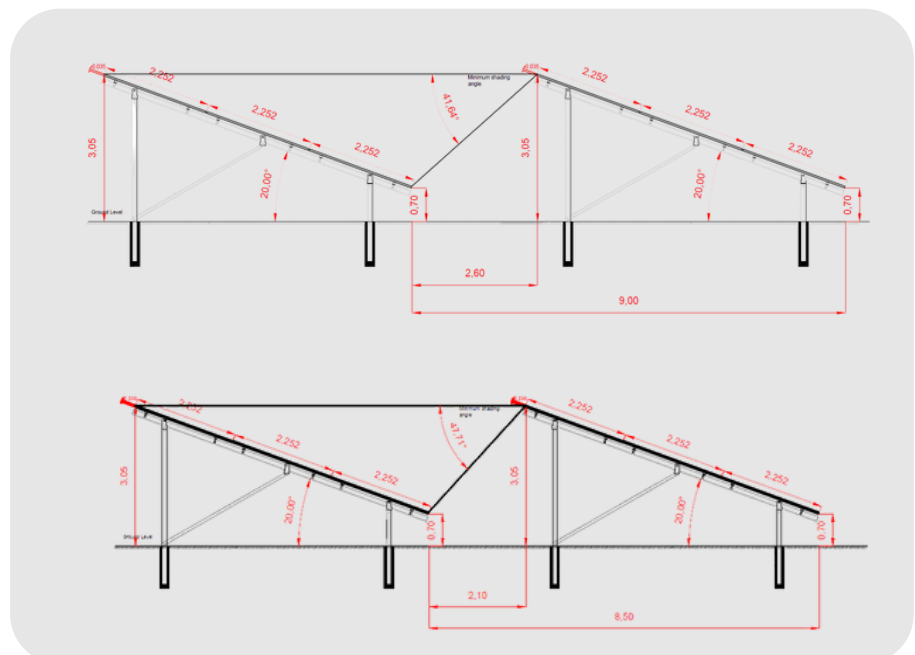
In welchem **Anstellwinkel** werden die Module aufgestellt? Der Anstellwinkel beeinflusst die Einstrahlung auf die Modulfläche, die gegenseitige Verschattung der Modulreihen, den Flächenbedarf und den Reinigungsaufwand. Ein größerer Anstellwinkel kann den Energieertrag unter bestimmten Bedingungen erhöhen, führt jedoch in der Regel auch zu größeren Reihenabständen und einem höheren Flächenbedarf. Ein geringerer Anstellwinkel ermöglicht eine dichtere Belegung, kann aber den Selbstreinigungseffekt durch Regen beeinträchtigen. Der optimale Anstellwinkel wird daher standort- und projektspezifisch bestimmt.

Bei großen Freiflächenanlagen werden heute überwiegend bifaziale Module eingesetzt. Sie können neben der direkten Einstrahlung auf der Vorderseite auch reflektiertes und diffuses Licht auf der Modulrückseite nutzen. Wie hoch der zusätzliche Energieertrag ausfällt, hängt unter anderem von der Bodenbeschaffenheit und deren Reflexionsvermögen, der Modulhöhe, dem Reihenabstand sowie der Anlagenkonfiguration ab.

Alternativ oder ergänzend können einachsige Nachführsysteme, sogenannte Single-Axis-Tracker, eingesetzt werden. Sie verändern den Anstellwinkel der Modulreihen im Tagesverlauf und richten die Module dadurch besser auf die Sonne aus. In Kombination mit bifazialen Modulen können sie den Energieertrag weiter erhöhen. Ein sogenanntes Backtracking reduziert dabei die gegenseitige Verschattung der Modulreihen. Auch bei Agri-PV können einachsige Trackersysteme Vorteile bieten. Die beweglichen Modulreihen ermöglichen es, den Schattenwurf und den Lichteinfall auf die landwirtschaftliche Fläche gezielter zu steuern. Zudem können sie so ausgelegt werden, dass die Bewirtschaftung und die Durchfahrt landwirtschaftlicher Maschinen möglich bleiben. Ob Tracker, eine feste Aufständerung oder ein vertikales System die geeignete Lösung ist, hängt von der angebauten Kultur, der Flächennutzung, den Standortbedingungen und der Wirtschaftlichkeit ab.

Welche **Ausrichtung** wurde für die Module gewählt? Hier spricht man auch vom Azimutwinkel. Ein Winkel von 0° beschreibt die optimale Südausrichtung. Bei Pluswerten (+) erfolgt eine Ausrichtung nach Westen, bei Minuswerten (-) nach Osten. Die maximalen Erträge liefert eine genau nach Süden ausgerichtete Anlage, aber es kann auch je nach Fläche vorteilhafter sein, eine abweichende Auslegung zu wählen, um möglicherweise mehr Leistung zu installieren.

Auch der **Reihenabstand** ist für den Ertrag relevant: Je enger die Modulreihen gestellt werden, desto höher ist die installierte Leistung und der absolute Energieertrag. Jedoch steigt mit engem Abstand zueinander auch die Eigenverschattung an und es sinkt der spezifische Ertrag. Daher muss bei der Planung genau geschaut werden, bei welchem Reihenabstand der zur Verfügung stehende Platz ertragsbezogen am effizientesten genutzt werden kann.



ANLAGENDESIGN

ELEKTRISCHES DESIGN

Das elektrische Design beschreibt die Verschaltung der elektrischen Komponenten auf der Gleichstrom- (DC) und der Wechselstrom- (AC) Seite. So muss bei der Ertragskalkulation berücksichtigt werden, wie viele Module in einer Reihe zu einem Strang verschaltet werden und wie viele Stränge parallel auf einen Generatoranschlusskasten oder direkt auf den Wechselrichter aufgeschaltet sind. Zudem ist es entscheidend, wie viel Modulleistung je Wechselrichter angeschlossen ist. Dieses sogenannte DC-AC-Verhältnis bestimmt, mit welcher Auslastung der Wechselrichter betrieben wird und ob es bei höher Einstrahlung zu einer Begrenzung der DC-Leistung durch den Wechselrichter kommt (hier spricht man auch von Clipping) und somit Erträge verloren gehen. Auf der anderen Seite führt eine hohe Belegung der Wechselrichter auch zu höheren Erträgen in Zeiten mit niedrigerer Einstrahlung.

KOMPONENTENEIGENSCHAFTEN

Auch Komponenten verschiedener Hersteller haben unterschiedliche Eigenschaften, die sich auf die Ertragsgenerierung der Anlage auswirken. Je nach Betriebszustand und äußeren meteorologischen Einflüssen ändern sich Leistung, Verluste und Wirkungsgrad. Daher gilt es, im Ertragsgutachten zu ermitteln, wie die für die Anlage gewählten Komponenten bei unterschiedlichen Bedingungen reagieren. Dazu gehören unter anderem:

- das Verhalten der Module bei hoher und niedriger Einstrahlung: Liegt für das Schwachlichtverhalten ggf. ein unabhängiger Testbericht vor, der die Herstellerangaben bestätigt?
- das Reflexionsverhalten des Moduls (IAM)
- die Veränderung der Modul- oder Wechselrichterleistung bei unterschiedlicher Umgebungstemperatur und entsprechend sich verändernder Modul- bzw. Gerätetemperatur

Auch natürliche Leistungsverluste wirken sich auf den Ertrag einer PV-Anlage aus. So trifft alle kristallinen Module die lichtinduzierte Degradation (LID). Dieser Effekt bewirkt eine initiale leichte, aber dauerhafte Absenkung der Modulleistung beim ersten Kontakt mit dem Sonnenlicht.

Modul-Hersteller stellen Informationen über die genauen Eigenschaften ihrer Komponenten anhand von Dateien für Simulationsanwendungen zur Verfügung (.pan-Files). Sie werden in die Simulationssoftware eingegeben, dort hinterlegt und in der Ertragssimulation berücksichtigt. Jedoch sollte der Gutachter diese Angaben immer auch kritisch hinterfragen und auf Plausibilität prüfen. Hier helfen unter anderem unabhängige Prüfberichte oder Test aus unabhängigen Laboren weiter, die oft ebenfalls über die Hersteller bezogen werden können. Mit der Zeit erhält der Gutachter über die Hersteller-Dateien eine breite Datenbasis über die Charakteristika vieler Komponenten und kann diese bei Bedarf auch untereinander vergleichen.

Auch für die verschiedenen Wechselrichter werden entsprechende Dateien bereitgestellt (.ond-Files). Sie gehen unter anderem auf den Wirkungsgrad unter verschiedenen Bedingungen und das Verhalten bei Temperaturabweichungen ein. Bei Transformatoren weisen die Datenblätter unter anderem für den Ertrag relevante Widerstandsverluste (sog. Kupferverluste) bzw. Verluste durch Ummagnetisierung und Wirbelströme (sog. Eisenverluste) aus.

Ebenso die Verkabelung der Anlage spielt für den Ertrag eine Rolle. Bestimmte Materialien sowie große Kabellängen und Querschnitte führen sowohl auf der DC- als auch auf der AC-Seite zu Spannungsverlusten und mindern so auch den Ertrag, was entsprechend kalkuliert und in die Simulation aufgenommen werden muss.

INFOKASTEN:

ERTRAGSSIMULATION VS. ERTRAGSGUTACHTEN

Während es sich bei einer Ertragssimulation um Ergebnisse handelt, die z.B. aus einer Simulationssoftware wie "PVsyst" ausgegeben werden, komplettiert ein Gutachten die Ergebnisse mit Erläuterungen zu bestimmten Angaben und Herleitungen sowie einer kritischen Würdigung. So wird bspw. dargelegt, aufgrund welcher Gegebenheiten und Annahmen bestimmte Einstellungen im Simulationsprogramm gewählt wurden. Die Ergebnisse werden außerdem ausführlich bewertet und interpretiert.



VORGABEN DER NETZBETREIBER

Ein wichtiger Aspekt bei der Erstellung des Ertragsgutachtens ist es, die projektspezifischen Vorgaben des Netzbetreibers zu berücksichtigen oder – wenn diese noch nicht vorliegen – valide Annahmen anhand der TAB/TAR des Netzbetreibers zu treffen.

So muss bei der Auslegung einer Photovoltaik-Anlage unter anderem auch die Bereitstellung von Blindleistung berücksichtigt werden. In Wechselstromkreisen ist sie unvermeidbar und entsteht durch physikalische Effekte. Dabei spielt der gewünschte oder vom Netzbetreiber geforderte Verschiebungsfaktor ($\cos(\varphi)$) eine entscheidende Rolle: Er bestimmt die Höhe der Scheinleistung und damit die zusätzlich benötigte Wechselrichterleistung. Durch ihn lässt sich eine im Netz bereits vorhandene Phasenverschiebung neutralisieren und die Spannung in Wechselstromnetzen beeinflussen. Das Ertragsgutachten berücksichtigt die Wirkleistung der Anlage in bestimmten Betriebszuständen und kalkuliert auch die Bereitstellung von Blindleistung mit ein.

EIN GUTES ERTRAGSGUTACHTEN HINTERFRAGT AUCH DAS GEGEBENE ANLAGENDESIGN

In der Regel basiert das Ertragsgutachten auf einem bestehenden Anlagendesign mit vorgegebenen Parametern. Wenn durch die Simulation und die anschließende Bewertung durch den Gutachter der Schluss nahelegt, dass ein abgewandeltes Design die Erträge noch verbessern könnte, sollte dies zusammen mit dem Anlagenplaner und Projektentwickler bzw. Investor diskutiert und möglichst umgesetzt werden.

ERTRAGSGUTACHTEN AUF EINEN BLICK

EIN GUTES ERTRAGSGUTACHTEN IST

- ... objektiv erstellt für ein möglichst realistisches Ergebnis
- ... umfassend und detailliert erhoben für bestmögliche Genauigkeit
- ... fachlich fundiert analysiert und bewertet für maximale Belastbarkeit
- ... schlüssig begründet für bestmögliche Transparenz und Nachvollziehbarkeit aller nutzenden Parteien



ÜBER GREENTECH

Als integrierter Solar- und Speicherspezialist begleitet greentech Projekte von der Entwicklung bis in den Betrieb. Im Bereich Engineering & Technical Advisory bietet greentech umfassendes technisches Know-how für PV, Batteriespeicher und Umspannwerke – von der Planung und dem Netzan-schluss über die Bau- und Abnahmebegleitung bis hin zur Technical Due Diligence und Betriebsoptimierung. So verbindet greentech technische Expertise über alle Projektphasen hinweg.

Hinweis: Dieses Whitepaper gibt einen allgemeinen und vereinfachten Überblick über die Erstellung von Ertragsgutachten für Photovoltaikanlagen. Die dargestellten Einflussfaktoren und Arbeitsschritte sind beispielhaft und erheben keinen Anspruch auf Vollständigkeit. Je nach Projekt, Standort, Anlagendesign und Datenbasis können weitere Aspekte, Annahmen und Prüfungen relevant sein, die hier nicht oder nicht im Detail behandelt werden. Die Inhalte ersetzen kein projektspezifisches Ertragsgutachten und stellen keine Rechts-, Steuer-, Finanzierungs- oder Anlageberatung dar.

SIE MÖCHTEN MEHR ERFAHREN?

Dann nehmen Sie gerne mit uns Kontakt auf!

VIOLA HOFFMANN

Commercial Head of Engineering

E-Mail: v.hoffmann@greentech.energy

Tel.: +49 151 11670516

