

Solarpraxis Engineering GmbH · Alboinstraße 36-42 · 12103 Berlin, Germany

Blendgutachten für eine PV-Anlage ▶ auf dem Gelände „Bürgersolarpark Temnitzquell“, Teilbereich Nord

Analyse der Reflexionswirkungen einer Photovoltaikanlage

Auftraggeber:

Michael Wenger
Planungsbüro für Erneuerbare Energien
Dorfstr. 53
16816 Neuruppin, OT Nietwerder

erstellt von:

Ralf Schmersahl
Solarpraxis Engineering GmbH
Alboinstraße 36-42
12103 Berlin Germany
Tel. 030/ 726 296-399
E-Mail: ralf.schmersahl@solarpraxis.com
Internet: www.solarpraxis.com



Datum: 25.07.2023

Projektnummer: P230073/02

Inhalt



1	Zweck und Gegenstand des Gutachtens	4
2	Zusammenfassung der Bewertung	5
3	Einleitung	6
3.1	Gesetzliche Grundlagen	6
3.1.1	Nutzung erneuerbarer Energien in Raumordnung und Baurecht	6
3.1.2	Immissionsschutz	7
3.2	Blendung	8
3.2.1	Blendung allgemein	8
3.2.2	Blendung im Verkehr	8
3.2.3	Blendung im Wohn- und Arbeitsbereich	11
3.3	Entstehung von Reflexionen bei Photovoltaikanlagen	12
3.4	Verwendete Azimut-Winkelangaben	13
4	Situation vor Ort	14
4.1	PV-Anlage	14
4.2	Landesstraße L 18	15
5	Berechnungsmethodik	16
5.1	Reflexionsberechnung	16
5.2	Eingrenzung blendrelevanter Azimutbereiche	17
5.2.1	Vorbetrachtung	17
5.2.2	Reflexionsrichtungen bei Ausrichtung der PV-Module nach Osten	17
5.2.3	Reflexionsrichtungen bei Ausrichtung der PV-Module nach Westen	19
5.2.4	Potenziell blendrelevante Azimutrichtungen	20
5.3	Modellierung der Reflexions- und Blickpunkte	20
5.4	Ergebnisdarstellung durch Reflexionsdiagramme	21
5.5	Lichttechnische Aspekte	22
6	Berechnungsergebnisse	23
6.1	L 18 aus südlicher Richtung	23

6.1.1	Blickpunkt L18vSüd_01.....	23
6.1.2	Blickpunkt L18vSüd_02.....	24
6.1.3	Blickpunkt L18vSüd_03.....	26
6.2	L 18 aus nördlicher Richtung.....	28
6.2.1	Blickpunkt L18vNord_01.....	28
6.2.2	Blickpunkt L18vNord_02.....	29
6.2.3	Blickpunkt L18vNord_03.....	31
7	Bewertung der Blendrisiken.....	32
8	Verwendete Materialien.....	33
8.1	Materialien vom Auftraggeber.....	33
8.2	Literatur.....	33
9	Abbildungsverzeichnis.....	35
10	Tabellenverzeichnis.....	37



1 Zweck und Gegenstand des Gutachtens



Es ist zu prüfen, ob von den Modulen einer auf dem Gelände des „Bürgersolarpark Temnitzquell“, Teilbereich Nord, in der Gemarkung Rägeln geplanten PV-Anlage mit trackergeführter Ost-West-Ausrichtung Sonnenlicht auf die umliegenden Verkehrswege reflektiert werden kann und ob dadurch gegebenenfalls gefährdende oder störende Blendwirkungen auftreten können. Ggf. sind Betriebszustände des Nachführungssystems zu identifizieren, bei denen eine gefährdende oder störende Blendwirkung auftreten kann und Maßnahmen zu deren Vermeidung zu benennen.

Die Analyse erfolgt auf Basis der vom Auftraggeber zur Verfügung gestellten Daten.

Die Lage der geplanten Photovoltaikanlage ist in Abbildung 1 dargestellt.



Abbildung 1: Lage der geplanten PV-Anlage Temnitzquell Nord; Quelle: Kundenmaterial vor dem Hintergrund eines nach geografisch Nord ausgerichteten Luftbilds aus Bing Maps

2 Zusammenfassung der Bewertung



Es wird festgestellt, dass im Regelbetrieb einer Ost-West ausgerichteten trackergeführten PV-Anlage auf der Fläche „Bürgersolarpark Temnitzquell“, Teilbereich Nord, keine blenden Sonnenlichtreflexionen auf die Landesstraße L 18 gerichtet sein können. Dazu muss der Backtracking-Algorithmus des Trackersystems so programmiert werden, dass die Anfangs- und Endelelevation der PV-Module mindestens 3° beträgt.

Für die Parkposition des Trackersystems sollte sichergestellt werden, dass die PV-Module der Anlage nach Osten ausgerichtet sind. Bei einer Ausrichtung nach Westen kann der Verkehr auf der L 12 aus nördlicher Richtung im Dezember morgens für wenige Minuten von potenziell blendenden Sonnenlichtreflexionen in den kritischen Bereich des zentralen Blickfelds betroffen sein.

Bei einer Parkposition mit Ausrichtung nach Osten bleiben die Sicherheit und Leichtigkeit des Verkehrs jederzeit gewahrt.

Aus blendgutachterlicher Sicht erscheint eine Ost-West ausgerichtete trackergeführte PV-Anlage auf der Fläche „Bürgersolarpark Temnitzquell“, Teilbereich Nord, genehmigungsfähig.



3 Einleitung

Der vorliegende Bericht enthält vertrauliche Informationen. Der Bericht dient nur zur Vorlage bei den finanzierenden Banken, beim Errichter der Anlage bzw. dessen Rechtsnachfolger, beim Auftraggeber sowie zur Klärung genehmigungsrechtlicher Fragen bei den entsprechenden Behörden. Darunter fällt auch die Weitergabe des Berichts als Bestandteil des Bebauungsplanes (B-Plan) durch die Gemeinde an berechtigte Interessenten nach dem Informationsfreiheitsgesetz. Eine Weitergabe an sonstige Dritte oder eine Veröffentlichung des Berichtes unabhängig vom B-Plan als Ganzes oder in Teilen ist nur in Absprache mit der Solarpraxis Engineering GmbH zulässig.

3.1 Gesetzliche Grundlagen

3.1.1 Nutzung erneuerbarer Energien in Raumordnung und Baurecht

Die Ziele der Raumordnung der Bundesrepublik Deutschland liegen in der Sicherung der nachhaltigen Daseinsvorsorge, der Unterstützung von nachhaltigem Wirtschaftswachstum und Innovation, der Sicherung von Entwicklungspotenzialen und dem nachhaltigen Ressourcenschutz. Als Aufgabe der Raumordnung benennt das Gesetz u.a., die Versorgung mit Infrastrukturen der Daseinsvorsorge zu gewährleisten und die Schaffung der räumlichen Voraussetzungen für den Ausbau der erneuerbaren Energien.

Das Baugesetzbuch (BauGB) definiert die Nutzung erneuerbarer Energien als öffentlichen Belang, der bei der Aufstellung der Bauleitpläne zu berücksichtigen sei. Als Reaktion auf den Atomausstieg in Deutschland nach der Reaktorkatastrophe von Fukushima wurde die Bedeutung erneuerbarer Energien im BauGB durch das „Gesetz zur Förderung des Klimaschutzes bei der Entwicklung in den Städten und Gemeinde“ gestärkt und die Nutzung insbesondere auch von Photovoltaikanlagen an oder auf Gebäuden erleichtert. U.a. wurde

- ▶ die Ausstattung des Gemeindegebietes mit Anlagen zur dezentralen Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien als Teil des Flächennutzungsplans vorgesehen,
- ▶ die Festsetzung von Flächen und Gebieten im Bebauungsplan ermöglicht, die der dezentralen Erzeugung von Strom aus erneuerbaren Energien dienen sollen,
- ▶ eine Privilegierung von gebäudeintegrierten Solaranlagen im Außenbereich aufgenommen.

Mit der Gesetzesänderung wird der Handlungsspielraum von Städten und Gemeinden hinsichtlich der Nutzung erneuerbarer Energien erweitert. War also schon vorher die Nutzung erneuerbarer Energie als politische Zielsetzung in einer Abwägung gem. BauGB zu berücksichtigen, so ist jetzt die politische Verantwortung der Städte und Gemeinden zur Forcierung dieser Politik hervorgehoben.

Das Erneuerbare-Energien-Gesetz 2023 verlangt eine noch höhere Priorisierung der Nutzung von erneuerbaren Energien gegenüber anderen Schutzgütern. In § 2 des Gesetzes wird festgelegt: „Die Errichtung und der Betrieb von Anlagen sowie den dazugehörigen Nebenanlagen liegen im überragenden öffentlichen Interesse und dienen der öffentlichen Sicherheit. Bis die Stromerzeugung

im Bundesgebiet nahezu treibhausgasneutral ist, sollen die erneuerbaren Energien als vorrangiger Belang in die jeweils durchzuführenden Schutzgüterabwägungen eingebracht werden.“



3.1.2 Immissionsschutz

Das Bundes-Immissionsschutzgesetz (BImSchG) soll den Menschen, die natürliche Umwelt sowie Sachgüter vor schädlichen Umwelteinwirkungen schützen und deren Entstehung vorbeugen. Schädliche Umwelteinwirkungen im Sinne des Gesetzes sind Immissionen, die nach Art, Ausmaß oder Dauer geeignet sind, Gefahren, erhebliche Nachteile oder erhebliche Belästigungen für die Allgemeinheit oder die Nachbarschaft herbeizuführen. Immissionen im Sinne des BImSchG sind „auf Menschen, Tiere und Pflanzen, den Boden, das Wasser, die Atmosphäre sowie Kultur- und sonstige Sachgüter einwirkende Luftverunreinigungen, Geräusche, Erschütterungen, Licht, Wärme, Strahlen und ähnliche Umwelteinwirkungen.“

Nach den Vorschriften des BImSchG sind sowohl genehmigungspflichtige als auch nicht genehmigungsbedürftige Anlagen so zu errichten und zu betreiben, dass schädliche Umwelteinwirkungen, sonstige Gefahren sowie erhebliche Nachteile und Belästigungen für die Allgemeinheit und die Nachbarschaft vermieden werden. Für genehmigungspflichtige Anlagen wird eine entsprechende Vorsorge nach dem Stand der Technik gefordert. Bei nicht genehmigungsbedürftigen Anlagen sind schädliche Umwelteinwirkungen nach dem Stand der Technik auf ein Mindestmaß zu beschränken.

Bei der Bauleitplanung sind im Rahmen der Abwägung von öffentlichen und privaten Belangen auch Lichtreflexionen als Immissionen zu betrachten und zu bewerten. Es existiert aber keine die Errichtung und den Betrieb von Photovoltaikanlagen regelnde Immissionsschutz-Verordnung. Für die immissionsschutzrechtliche Bewertung der Lichtimmissionen von Photovoltaikanlagen werden deshalb Grenzwerte aus anderen Regelungsbereichen herangezogen.



3.2 Blendung

3.2.1 Blendung allgemein

Blendung wird in der DIN EN 1266 als "unangenehmer Sehzustand durch ungünstige Leuchtdichteverteilung oder zu hohe Kontraste" definiert. Die Leuchtdichte ist die Lichtstärke pro Fläche (cd/m^2) und stellt ein fotometrisches Maß für die von Menschen empfundene Helligkeit einer selbstleuchtenden oder beleuchteten Fläche dar. Zu große Leuchtdichteunterschiede oder ungünstige Leuchtdichteverteilungen im Gesichtsfeld können zu einem unangenehmen Gefühl (psychologische Blendung) oder einer tatsächlich messbaren Herabsetzung der Sehleistung (physiologische Blendung) führen. Ab einer Leuchtdichte von 10^4 bis $1,6 \cdot 10^6 \text{ cd/m}^2$ wird die Adaptationsfähigkeit des menschlichen Auges überschritten. Dieser Zustand wird als Absolutblendung bezeichnet.¹

Abbildung 2 zeigt zwei Beispiele für Blendsituationen². Auf der Sichtachse zur Blendquelle werden Gegenstände unerkennbar.



Abbildung 2: Gegenstände auf der Sichtachse zur Blendquelle sind nicht mehr wahrnehmbar

3.2.2 Blendung im Verkehr

Im Rahmen der Verkehrssicherheit kommt es vor allem auf die physiologische Blendung an, die die Sehleistung herabzusetzen vermag. Dagegen spielt die psychologische Blendung in diesem Zusammenhang kaum eine Rolle. Ein nur kurz auftretendes subjektives Unbehagen aufgrund von kurzzeitiger Blendung im Vorbeifahren führt noch nicht zu einer Beeinträchtigung der Fahrleistung.

¹ Wittlich 2010

² Es wird an dieser Stelle darauf hingewiesen, dass die Wahrnehmung des menschlichen Auges nicht direkt mit einer Fotografie vergleichbar ist. Die hier gezeigten Aufnahmen dienen ausschließlich der Verdeutlichung des Sachverhaltes.



Für die physiologische Blendung bewegter Beobachter, die in der Regel nicht direkt in die Blendquelle hineinsehen, spielt deren Leuchtdichte nur im Zusammenhang mit ihrer Größe im Blickfeld eine Rolle. Wesentlich ist die Beleuchtungsstärke (Einheit: lx), die im Auge durch Brechung und Streuung an den Augenmedien eine Schleierleuchtdichte hervorruft und dadurch die Kontrasterkennung vermindert. Für die Gefährdungsbeurteilung entscheidend ist die Beleuchtungsstärke am Auge von Verkehrsteilnehmern, die sich aus dem Produkt von Leuchtdichte und Blendquellengröße im Blickfeld und dem Winkel zwischen Blickrichtung und Blendquelle ergibt, in Relation zur Beleuchtungsstärke am Auge durch direktes, gestreutes und diffus von der Umgebung reflektiertes Sonnenlicht. Darüber hinaus sind die jeweils mögliche Einwirkzeit und die Position der Blendquelle im Blickfeld zu berücksichtigen.

Für die Bewertung der möglichen Blendung durch Reflexionen auf Verkehrsteilnehmer sind demgemäß das Blickfeld und die räumliche Lage der Blendquelle darin wesentlich. Beim Menschen unterscheidet man folgende Arten von Blickfeldern:

- das **monokulare Blickfeld**, das sich aus der Exkursionsfähigkeit (maximale Beweglichkeit) des jeweils rechten und linken Auges ergibt
- das **binokulare Blickfeld**, der Bereich, in dem beide Augen gemeinsam mit maximaler Sehschärfe (foveolar) fixieren können
- das **Fusionsblickfeld**, in dem binokulares Einfachsehen möglich ist
- das **Umblickfeld**, das die Summe der Wahrnehmungen ergibt, die bei unveränderter Standposition mit allen Blickbewegungen und maximalen Kopf- und Körperdrehungen erzielt werden können
- das **Gebrauchsblickfeld** als Bereich innerhalb des binokularen Blickfeldes, innerhalb dessen Objekte ohne zusätzliche, unterstützende Kopfbewegungen fixiert werden können; in der Literatur wird dieser Bereich mit $+25^{\circ}/-40^{\circ}$ vertikal und 30° Rechts- und Linksblick definiert.

Außerhalb des Gebrauchsblickfeldes werden im menschlichen binokularen Blickfeld Objekte nicht unmittelbar wahrgenommen, vielmehr wird das Umgebungsbild im Kurzzeitgedächtnis eingefroren und nur bei starken Veränderungen bewusst erneuert. Bei sog. „Sehaufgaben“ („visual tasks“), z.B. Autofahren, Arbeit am Computer etc., verengt sich dieses bewusst wahrgenommene Blickfeld weiter. Hier werden Änderungen im Umgebungsblickfeld bis zu einer Blickrichtungsänderung von 10° nicht aktiv wahrgenommen und vom Gehirn verarbeitet. Dies entspricht einem bewusst wahrgenommenen Blickfeld von 20° auf der horizontalen Ebene.^{3 4}

Das maximale Gebrauchsblickfeld (im Allgemeinen hier einfach als „Blickfeld“ oder „maximales Blickfeld“ benannt) und das eingeschränkte für Sehaufgaben („zentrales Blickfeld“) werden in Tabelle 1 und in Abbildung 3 einander betragsmäßig und grafisch gegenübergestellt.

³ Reidenbach u. a. 2008

⁴ Kaufmann 1986

Tabelle 1: Menschliches Gebrauchsblickfeld (vertikal positiv ist oben, negativ unten)

Funktion	Benennung im Text	horizontal	vertikal
Für Sehaufgaben	zentrales Blickfeld	$\pm 10^\circ$	$+25^\circ, -35^\circ$
Maximaler Fixierungsbereich	Blickfeld	$\pm 30^\circ$	$+30^\circ, -45^\circ$

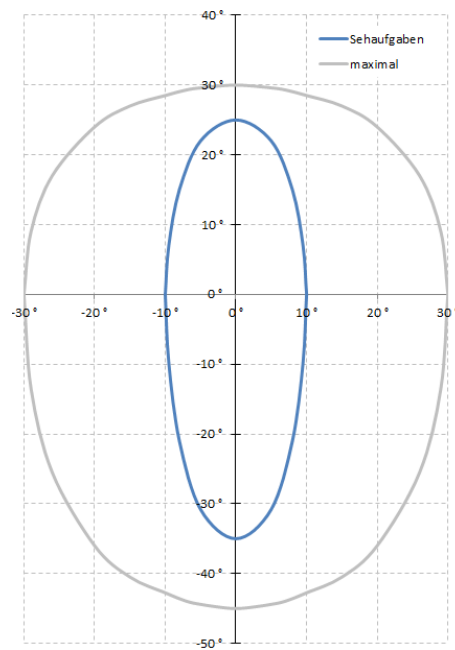


Abbildung 3: Blickfelder aus Tabelle 1; der Achsenschnittpunkt $0^\circ/0^\circ$ stellt dabei einen Punkt auf der Blickachse dar, auf den die Augen fokussieren, und nicht notwendigerweise einen Punkt auf dem Horizont

Für die Beurteilung des Bereichs, in dem auftretende Reflexion als Blendung empfunden wird, wird typischerweise das maximale Gebrauchsblickfeld mit je 30° rechts und links der Blickrichtung als Blickfeld herangezogen. Diese Eingrenzung basiert auf umfangreichen Untersuchungen zu nächtlicher Blendung. Nächtliches, sog. skotopisches Sehen oder Stäbchensehen wird ermöglicht durch die große Lichtempfindlichkeit der Fotorezeptoren im Auge, die als Stäbchen bezeichnet werden. Sie sind ausschließlich außerhalb der Foveola (oder Sehgrube) angeordnet, die im zentralen Bereich der Netzhaut rund um die Sehachse liegt. Die beim photopischen Sehen (Tages- oder Zapfensehen) aktivierten farbempfindlichen Zapfen haben ihre größte Dichte in der Foveola. Ihre hohe Dichte ermöglicht auch die höchste Sehschärfe nahe der Sehachse bei ausreichender Helligkeit. Zu Blendung unter Tageslichtbedingungen gibt es so gut wie keine Untersuchungen. Die Unterschiedlichkeit der Sehvorgänge, eigene Beobachtungen, Informationen von Betroffenen und Diskussionen mit anderen Sachverständigen in diesem Bereich legen es nahe, unter Tageslichtbedingungen nicht den gesamten Bereich des maximalen Blickfeldes gleich stark zu bewerten.



Bei der Gefährdungsbeurteilung bzgl. Blendung von Fahrzeugführenden bei Tageslicht wird deshalb der Bereich im zentralen Blickfeld von $\pm 5^\circ$ neben der Blickachse als höchst kritisch und derjenige von $\pm 10^\circ$ als kritisch angesehen (zentrales Blickfeld). Zwischen $\pm 10^\circ$ und $\pm 20^\circ$ werden abgestufte Anforderungen an das Verhältnis der Beleuchtungsstärken zwischen den Sonnenlichtreflexionen der PV-Anlage und direktem, gestreutem oder diffusem Sonnenlicht gestellt, da sich die Schleierleuchtdichte, die im Auge durch Streuung eindringenden Lichts erzeugt wird und die Sehleistung beeinträchtigen kann, reziprok zum Quadrat des Abstandswinkels zwischen Strahlungsquelle und Blickrichtung verhält. Zwischen $\pm 20^\circ$ und $\pm 30^\circ$ kann es nur bei einem abrupten Anstieg der Helligkeit zu einer Adaptionsblendung der Fahrzeugführenden kommen. Wahrnehmbare Reflexionen außerhalb von $\pm 30^\circ$ werden generell als physiologisch unerheblich bewertet.

3.2.3 Blendung im Wohn- und Arbeitsbereich

Das Bayerische Landesamt für Umwelt (LfU) hat bereits vor über 15 Jahren damit begonnen, in Ermangelung von zeitlichen Grenzwerten für Sonnenlichtreflexionen von Photovoltaikanlagen (PVA), Grenzwerte aus einem anderen Regelungsbereich, der sogenannten Schattenwurf-Richtlinie für Windenergieanlagen (WEA), zu übernehmen und die Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft für Immissionsschutz (LAI) empfahl seit 2012 bundesweit, diese zeitlichen Grenzwerte als ersten Anhaltspunkt für die Zumutbarkeit im Wohn- und Arbeitsbereich zu nutzen. Danach liegt ein Hinweis auf Unzumutbarkeit vor, wenn ein Wohn- oder Arbeitsbereich länger als 30 Minuten am Tag oder kumuliert mehr als 30 Stunden im Jahr von Lichtimmissionen einer PVA getroffen werden kann. Zur Berechnung wird dabei ein vereinfachtes Verfahren vorgegeben, bei dem nur solche Sonnenlichtreflexionen als Immissionen zählen, die einen Abstandswinkel von mehr als 10° zur Sonne haben, und bei dem die Sonne punktförmig angenommen wird. Aufgrund der realen Größe der Sonnenscheibe mit einem Durchmesser von $0,56^\circ$ können real auftretende Reflexionen etwas länger andauern, als die schematische Berechnung ergibt.

Die LAI-Richtlinie stellt weiterhin fest, dass sich eine unzumutbare Belästigung für Immissionsorte in Abhängigkeit von ihrer Lage und Entfernung bereits ohne rechnerischen Nachweis ausschließen lassen, darunter Immissionsorte, die sich weiter als ca. 100 m von einer PV-Freiflächenanlage entfernt befinden und damit nur kurzzeitige Blendwirkungen erfahren.

In der Rechtsprechung wird die Zumutbarkeit von Lichtimmissionen nach der durch die Gebietsart und die tatsächlichen Verhältnisse zu bestimmenden Schutzwürdigkeit und Schutzbedürftigkeit der betroffenen Nachbarschaft beurteilt, wobei wertende Elemente wie Herkömmlichkeit, soziale Adäquanz und allgemeine Akzeptanz einzubeziehen sind. Zeitdauern von bis zu einer Stunde werden keinesfalls grundsätzlich als unzumutbar angesehen (LG Frankfurt / Main 2/12 O 322/06; OLG Stuttgart 3 U 46/13).



3.3 Entstehung von Reflexionen bei Photovoltaikanlagen

Eine Photovoltaikanlage besteht aus den Haupt-Komponenten Montagegestell, Wechselrichter und Photovoltaik-Modul (PV-Modul).

Komponenten, an denen ggf. relevante direkte Reflexionen entstehen können, sind in erster Linie die Deckgläser der PV-Module. Daneben bewirken Reflexionen an inneren Grenzflächen von Einbettmaterialien oder Rückseitenfolien sowie die Texturierung der Oberflächen, dass auch Anteile diffuser Reflexion auftreten können. Dies kann zu Bündelaufweitung und Versatz der ideal gerichteten Reflexionsstrahlen führen.

Potenziell blendende Lichtreflexionen an den Gläsern der PV-Module können nur zu Zeiten direkter Sonneneinstrahlung auftreten. Bei diffusem Licht mit ungerichteter Strahlung kann keine gerichtete Reflexion auftreten.

Die Deckgläser der PV-Module bestehen im Allgemeinen aus unstrukturiertem eisenarmen Weißglas. Es wird ein spezielles Glas verwendet, um die Transmission zu erhöhen, also den Lichteinfall des gesamten Strahlungsspektrums auf die solar aktive Fläche der PV-Module zu maximieren. So werden ein hoher energetischer Wirkungsgrad, ein hoher Ertrag und eine geringe Reflexion gesichert. Dies hat nach heutigem Stand der Technik zur Folge, dass bei senkrechter Einstrahlung weniger als 9 % des gesamten eingestrahnten sichtbaren Lichtes reflektiert werden.

Die Reflexionseigenschaften von Glas variieren mit dem Einfallswinkel der Sonnenstrahlen, wie Abbildung 4 verdeutlicht.

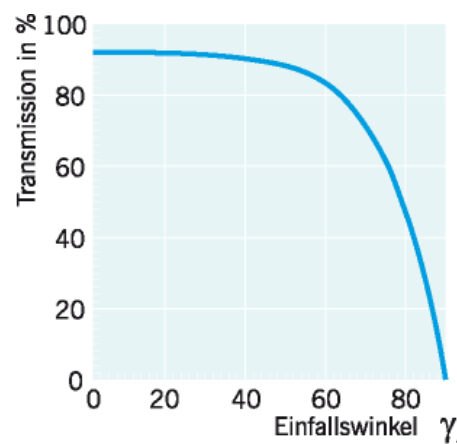


Abbildung 4: Auswirkung des Einfallswinkels auf den Transmissionsgrad für Modulgläser

Die Transmission ist bei senkrechtem Einfall auf die Modulebene (0°) am größten. Mit zunehmendem Einfallswinkel sinkt die Transmission und die Reflexion am Glas steigt an. Als Beispiel beträgt der Transmissionsgrad bei einem Einfallswinkel von 65° etwa 80 %. In diesem Falle werden für das Beispiel in Abbildung 4 ca. 20 % der auftretenden Strahlung reflektiert.

Da die Leuchtdichte der Sonne bei klarer Sicht bereits kurz über dem Horizont $6 \cdot 10^6 \text{ cd/m}^2$ beträgt und um die Mittagszeit $1,5 \cdot 10^9 \text{ cd/m}^2$ erreicht, muss aber auch bei den niedrigen Reflexionsgraden von Solarmodulen mit dem Eintritt von Absolutblendung ($> 10^5 \text{ cd/m}^2$) bei Beobachtern gerechnet werden.



3.4 Verwendete Azimut-Winkelangaben

Allgemein werden in der Solartechnik Azimutwinkel von Süden ($=0^\circ$) aus angegeben, so dass üblicherweise eine Ostausrichtung mit -90° und eine Westausrichtung mit $+90^\circ$ angegeben wird.

Da die Berechnungsmethode zur Bestimmung der Reflexionen jedoch aus der Geodäsie entnommen worden ist und dort allgemein vom Norden ($=0^\circ$) aus im Uhrzeigersinn gerechnet wird, werden in den Reflexionsdiagrammen und bei der Beschreibung von Blickrichtungen die sich daraus ergebende Azimutangabe verwendet: Norden = 0° , Osten = 90° , Süden = 180° und Westen = 270° .

4 Situation vor Ort



4.1 PV-Anlage

Die PV-Anlage Temnitzquell Nord soll auf einer Fläche von ca. 70 ha im Teilgeltungsbereich Nord des Bebauungsplans „Bürgersolarpark Temnitzquell“ in der Gemarkung Rägelin (Flur 5) geplant. Das Baufeld befindet sich mehr als 1,5 km nordwestlich des Siedlungsbereiches von Rägelin, und östlich der Landesstraße L 18. Im Westen grenzt das Baufeld an ein Waldgebiet. Abbildung 5 zeigt die Lage der PV-Anlage Temnitzquell, Teilbereich Nord.



Abbildung 5: Lage der PV-Anlage (Tischreihen in blau) und der Landesstraße L 18; Quelle: Kundenmaterial vor dem Hintergrund eines nach geografisch Nord ausgerichteten Luftbilds aus Bing Maps

Das Baufeld liegt auf einer Höhe von 64 m üNN $\pm$ 1,5 m. Die Höhenunterschiede verteilen sich über einen größeren Flächenbereich, so dass keine Geländesprünge zu verzeichnen sind.

Nach den Systemangaben werden die PV-Module über ein einachsiges Trackersystem im Tagesverlauf von Ost nach West mit einem Neigungsbereich von 0° bis 55° dem astronomischen Sonnenstand nachgeführt. Die Achse des Nachführsystems verläuft in Nord-Süd-Richtung, so dass die Module vormittags nach Osten und nachmittags nach Westen gerichtet sind. Die Nachführung des Trackersystems wird kurz nach Sonnenaufgang und kurz vor Sonnenuntergang durch Backtracking geregelt, um die gegenseitige Verschattung der Module zu begrenzen. Die Module werden morgens aus annähernd horizontaler Neigung bis auf die maximale Neigung von 55° bei Ostausrichtung gedreht. Spätestens ab einem Höhenwinkel der Sonne von 30° ist die Nachführung



astronomisch und folgt der Sonnenhöhe, bis die Module nach dem Erreichen des höchsten Sonnenstandes im weiteren Tagesverlauf nach Westen gedreht werden. Nachmittags werden die Module über die astronomische Nachführung der Sonnenhöhe folgend bis auf 55° Neigung bei Westausrichtung gedreht. Zum Sonnenuntergang hin greift dann wieder das Backtracking. Bei 55° Neigung liegt die Unterkante der PV-Module 0,5 m über dem Geländepunkt und die Oberkante erreicht 4,0 m.

Der Modulbelegungsplan ist in einem UTM-Koordinatensystem erstellt, das eine Meridiankonvergenz von $-1,95^\circ$ zu geographisch Nord aufweist. Diese führt zu einer realen Azimutausrichtung der PV-Module von $88,1^\circ$ Ost und $268,1^\circ$ West. Die Querneigung der PV-Module (Neigung der horizontalen Drehachse) beträgt weniger als 1° . Die Unter- und Oberkanten der Module liegen bei 55° Modulneigung 0,5 m bzw. 4,0 m über dem Geländepunkt. In Horizontalposition des Trackersystems befinden sich die PV-Module 2,3 m über dem Boden. Tabelle 2 fasst die für die Blendanalyse genutzten Systemangaben der PV-Anlage zusammen.

Tabelle 2: Systemangaben Bürgersolarpark Temnitzquell, Teilbereich Nord

PV-Anlage:	Bürgersolarpark Temnitzquell, Teilbereich Nord
Standort:	Gemarkung Rägelin, Flur 5 (Br.: $52,98^\circ$, Länge: $12,59^\circ$)
UTM-Meridiankonvergenz:	$-1,92^\circ$
Höhe des Baugrunds:	64 m üNNH
Planneigung der Module:	Trackersystem mit 0° bis 55° Parkposition: noch nicht festgelegt
Querneigung der PV-Tische:	$< 1^\circ$
Höhe Modulunterkante:	0,5 m über Geländepunkt (bei 55° Neigung)
Höhe Moduloberkante:	4,0 m über Geländepunkt (bei 55° Neigung)
Azimutwinkel (Solardiktion in Klammern):	Ost: $88,1^\circ$ ($-91,9^\circ$) West: $268,1^\circ$ ($+88,1^\circ$)

4.2 Landesstraße L 18

Die Landesstraße L 18 führt, aus Rägelin kommend, mit einer Azimutrichtung von 309° auf die Anlage zu, die für die Fahrzeugführenden auf der linken Fahrbahnseite sichtbar ist. Kurz vor dem Erreichen der staßennahen PV-Tische schwenkt die L 18 in einer leichten Rechtskurve auf eine Azimutrichtung von 323° , die sie auch nach dem Passieren der Anlage beibehält. Die Höhe der Fahrbahndecke steigt im Streckenverlauf leicht von 64 m üNNH am Ortsausgang Rägelin auf 65 m üNNH nördlich der Anlage.

5 Berechnungsmethodik



5.1 Reflexionsberechnung

Die Reflexionsberechnung erfolgt nach dem Reflexionsgesetz für ideal gerichtete Reflexion (Einfallswinkel = Ausfallwinkel). Bei gegebener reflektierender Ebene entspricht jedem Einfallswinkel des Sonnenlichts genau ein Ausfallswinkel reflektierter Strahlung. Abbildung 6 zeigt diese geometrischen Beziehungen einschließlich des Abstandswinkels zwischen den Blickrichtungen zur Sonne und zum Reflexionspunkt.

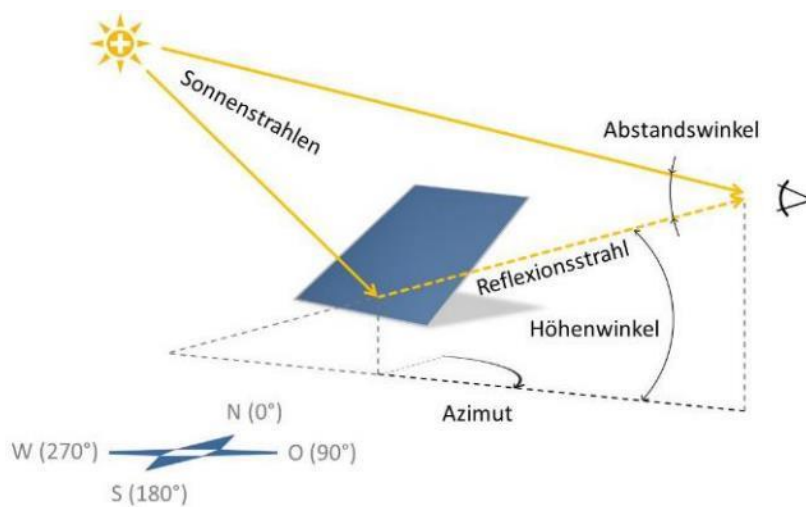


Abbildung 6: Darstellung des Reflexionsstrahls anhand von Azimut und Höhenwinkel wie in den Berechnungen verwendet und des Abstandswinkels zwischen den Blickrichtungen zur Sonne und zum Reflexionspunkt

Für die Reflexionsberechnungen wird der in einem UTM-Koordinatensystem erstellte Belegungsplan der geplanten Solaranlage auf eine nach geographisch Nord ausgerichtete Karte mit einem Koordinatensystem in winkeltreuer Lambert-Kegelprojektion übertragen und zum Ausgleich der Meridiankonvergenz gedreht. Auf dieser Grundlage werden die reale Ausrichtung und die reale Neigung der Module unter Berücksichtigung des Höhenprofils des Baufelds bestimmt. Anschließend wird eine Aufstellung mit sämtlichen Sonneneinfallswinkeln im Jahresverlauf am Standort der Anlage in 6-minütiger Auflösung für 12 Tage im Jahr vorgenommen (jeweils für den 21. jeden Monats)⁵. Die sich daraus ergebenden Reflexionsrichtungen werden anschaulich in einem Reflexionsdiagramm aus Sicht eines beliebigen Reflexionspunkts dargestellt. Alle möglichen Reflexionsrichtungen werden dabei durch Azimut (x-Wert) und Höhenwinkel (y-Wert) beschrieben.

⁵ Berechnung nach Eicker 2001



5.2 Eingrenzung blendrelevanter Azimutbereiche

5.2.1 Vorbetrachtung

Die Anlage ist mit einem einachsigen Trackersystem ausgestattet, welches die Neigung der PV-Module dem Sonnenstand nachführt. Die Nachführung verhindert, dass potenziell blendende Reflexionen mit geringen Höhenwinkeln entstehen. Deshalb können nur Betriebszustände außerhalb des astronomischen Nachführungsregimes zu potenziell blendenden Reflexionen auf Verkehrsteilnehmer führen. Diese Zustände umfassen die Parkposition und die Backtrackingregelung zu Sonnenaufgang und -untergang. Es ist zu prüfen, ob bei geringen Neigungen blendrelevante Reflexionsrichtungen mit Höhenwinkeln $< 3^\circ$ und Abstandswinkeln zur Sonne $< 6^\circ$ auftreten können.

5.2.2 Reflexionsrichtungen bei Ausrichtung der PV-Module nach Osten

Das Reflexionsdiagramm in Abbildung 7 zeigt die potenziellen Reflexionsrichtungen für nach Osten ausgerichtete PV-Module mit einer Planneigung von 3° ohne Berücksichtigung einer Querneigung. Die Reflexionsrichtungen werden mit ihrem Azimut- und Höhenwinkel als Tagesganglinien mit gleichfarbigen Markierungspunkten für den 21. des Monats dargestellt. Die roten Punkte markieren die Reflexionsrichtungen am 21. Juni und die dunkelblauen die am 21. Dezember. Zwischen den Markierungspunkten liegt ein Zeitraum von 6 min. Eine graue Umrandung der Markierungspunkte zeigt, dass der Abstandswinkel zwischen Reflexions- und Sonnenstrahlen bei weniger als 6° liegt und die Reflexionen damit keine eigenständige Blendwirkung bewirken. Potenziell störende Reflexionen können abends in einem östlichen Azimutbereich von 35° bis 120° auftreten.

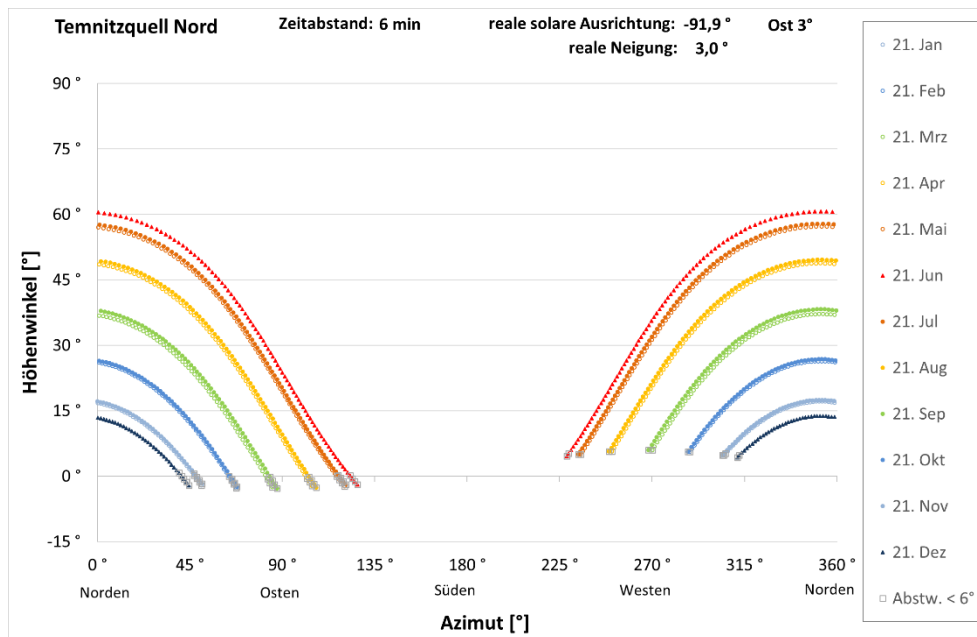


Abbildung 7: Reflexionsdiagramm für nach Osten ausgerichtete PV-Module mit 3° Neigung am Standort der geplanten Anlage mit waagrecht aufgetragenen Azimut- und senkrecht aufgetragenen Höhenwinkeln und Markierung der Reflexionen mit einem Abstandswinkel zur Sonne von weniger als 6° durch graue Umrandung

Bei einer Modulneigung von 9° verschiebt sich, wie in Abbildung 8 dargestellt, der blendrelevante östliche Azimutbereich auf 30° bis 115°.

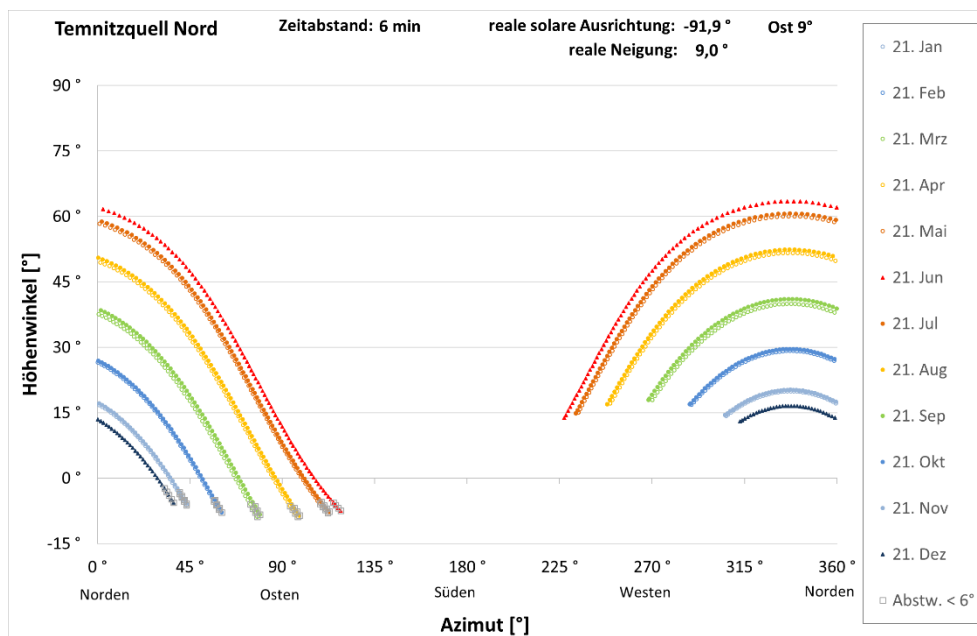


Abbildung 8: Reflexionsdiagramm für nach Osten ausgerichtete Module mit 9° Neigung

5.2.3 Reflexionsrichtungen bei Ausrichtung der PV-Module nach Westen



Die Reflexionsdiagramme in Abbildung 9 zeigen die potenziellen Reflexionsrichtungen für nach Westen ausgerichtete PV-Module mit einer Planneigung von 3° (oben) und 9° (unten). Potenziell störende Reflexionen können bei 3° Neigung morgens in einem westlichen Azimutbereich von 238° bis 320° auftreten. Bei einer Modulneigung von 9° verschiebt sich der blendrelevante Azimutbereich auf 248° bis 332°.

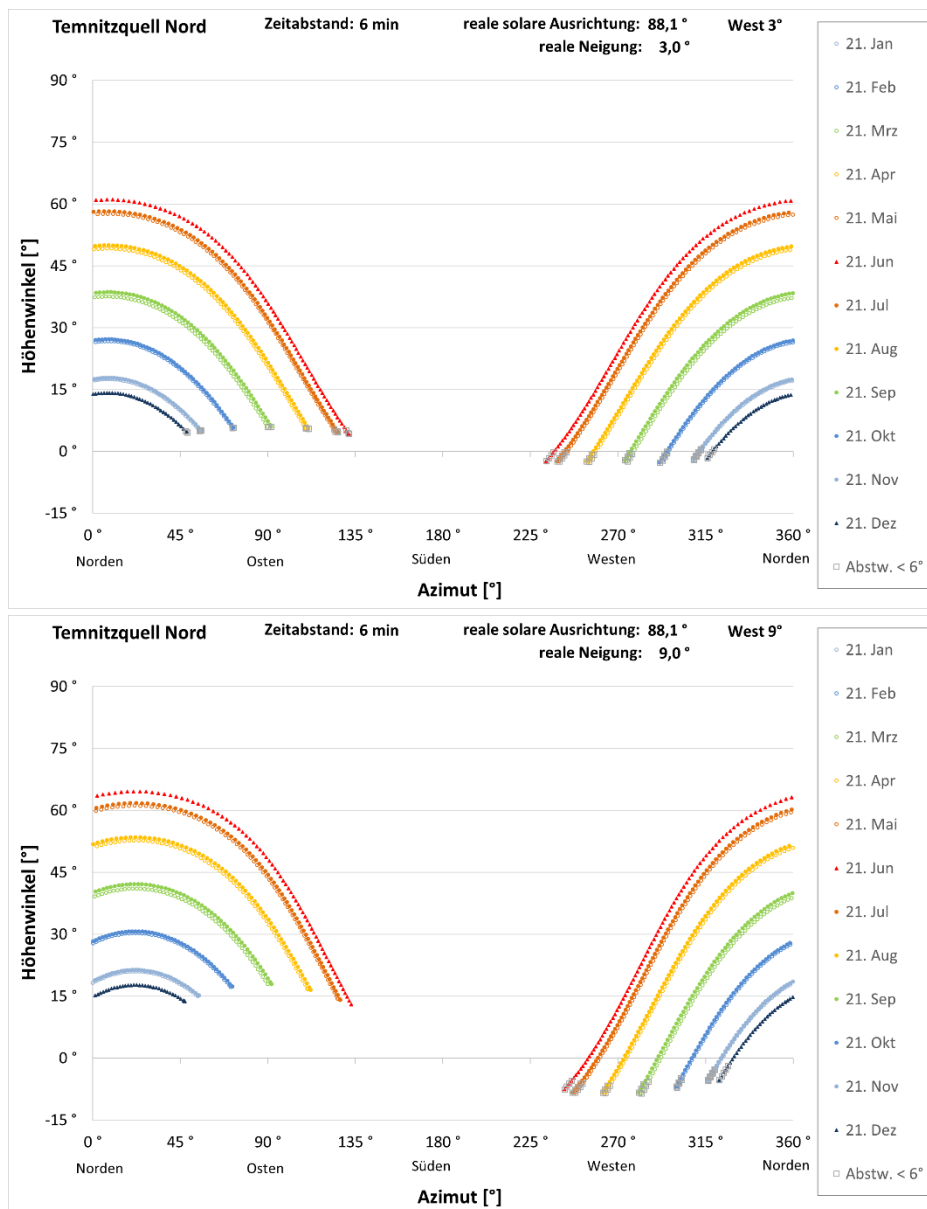


Abbildung 9: Reflexionsdiagramme für nach Westen ausgerichtete PV-Module mit 3° Neigung (oben) und 9° Neigung (unten)

5.2.4 Potenziell blendrelevante Azimutrichtungen

Die Darstellung der potenziell blendrelevanten Azimutrichtungen außerhalb des Nachführsystems des Trackersystems in Abbildung 10 zeigt, dass im Neigungsbereich von 3° bis 9° bei Ostausrichtung der Module abends der Verkehr auf der L 18 aus beiden Richtungen von Sonnenlichtreflexionen der PV-Anlage betroffen sein kann. Bei westausgerichteten Modulen kann morgens der Verkehr auf der L 18 aus nördlicher Richtung betroffen sein.

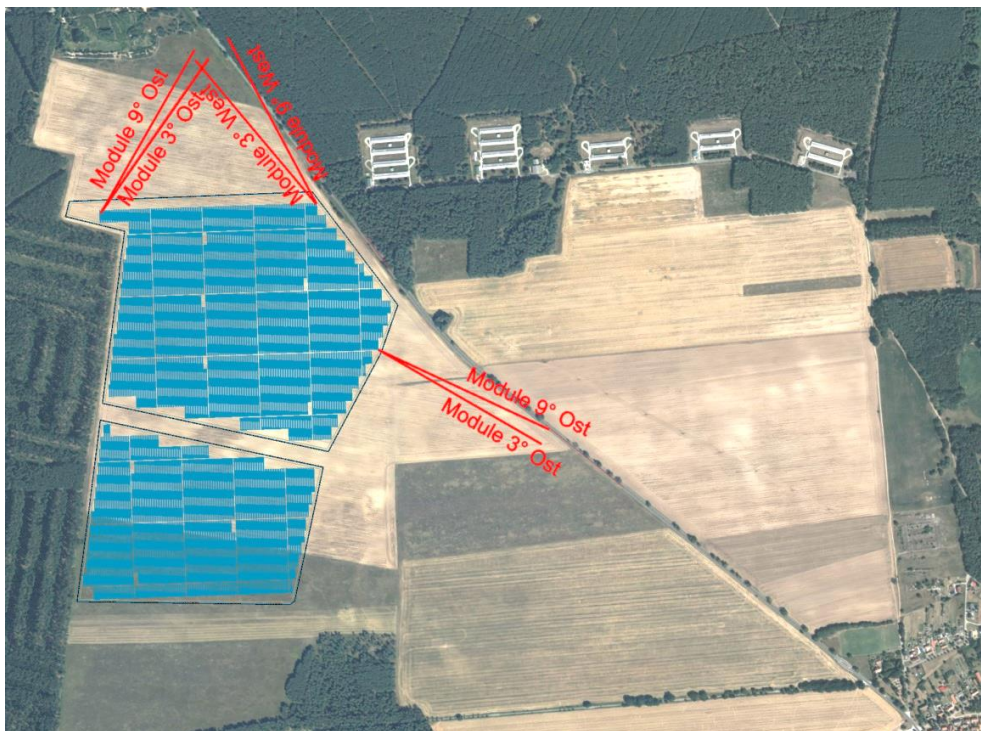


Abbildung 10: Blendrelevante Azimutrichtungen der potenziellen Sonnenlichtreflexionen bei 3° und 9° Neigung der PV-Module

5.3 Modellierung der Reflexions- und Blickpunkte

Die x-y-Koordinaten der Reflexions- und Blickpunkte werden dem auf eine nach geographisch Nord ausgerichteten Karte in winkeltreuer Lambert-Kegelprojektion übertragenen Belegungsplan entnommen und mit den Höheninformationen der Vermessungsdaten ergänzt. Daraus wird ein Kugelmodell erstellt, in dem die Reflexionen durch ihre Winkel (Azimut in der x-y-Ebene und Höhenwinkel zwischen x-y-Ebene und z-Achse) charakterisiert werden. Ob ein Reflexionsstrahl einen Immissionsort treffen kann, hängt nur von den Azimut- und Höhenwinkeln zwischen Reflexions- und Immissionsort ab, die sich aus Entfernungs- und Höhendifferenzen ergeben.

Im Rahmen dieser Betrachtung werden die Reflexionspunkte der PV-Anlage mit den x-y-Koordinaten der PV-Tische und einer Geländehöhe von 64 m üNNH modelliert. Die Unterkante wird mit 0,5 m und die Oberkante mit 4 m über dem Gelände angesetzt.

Der Straßenverkehr auf der L 18 wird aus beiden Richtungen mit je drei Blickpunkten repräsentiert. Die Augenhöhe der Fahrzeugführenden wird mit minimal 1 m und maximal 3 m über der Fahrbahnhöhe angesetzt. Abbildung 11 zeigt die ausgewählten Blickpunkte.



Abbildung 11: Modellierte Blickpunkte (cyanfarbene Kreise)

5.4 Ergebnisdarstellung durch Reflexionsdiagramme

In einem Reflexionsdiagramm mit Blickbeziehung zu den Fahrzeugführenden, wie in Abbildung 12 dargestellt, werden die Kugelkoordinaten Azimut- und Höhenwinkel eines Blickpunkts aus Sicht der modellierten Reflexionspunkte dargestellt. Die Augenhöhen der Fahrzeugführenden werden dabei mit „min“ als schwarzer Raute und „max“ als blauem Querstrich gekennzeichnet. Weil das Diagramm aus Sicht der Reflexionspunkte erstellt wird, muss das Blickfeld der Fahrzeugführenden um 180° gedreht entgegen der Blickrichtung eingezeichnet werden. Das maximale Blickfeld von $\pm 30^\circ$ um die Blickachse wird durch ein graues Oval dargestellt. Das blaue Oval zeigt das zentrale Blickfeld von $\pm 10^\circ$ um die Blickachse.

Liegt ein Blickpunkt innerhalb des von Reflexionen betroffenen Bereichs, d.h. zwischen den Tagesganglinien für den 21. Juni (rote Dreiecke) und den 21. Dezember (dunkelblaue Dreiecke), so kann die Dauer und Jahreszeit potenzieller Reflexionen abgeschätzt werden. Im gezeigten Beispiel liegt die PV-Anlage im Blickfeld der Fahrzeugführenden. Von Mitte April bis Ende August können abends, kurz vor Sonnenuntergang, Sonnenlichtreflexionen für wenige Minuten in das Blickfeld der Fahrzeugführenden gerichtet sein, von Ende Mai bis Mitte Juli sogar in den Randbereich des zentralen Blickfelds.

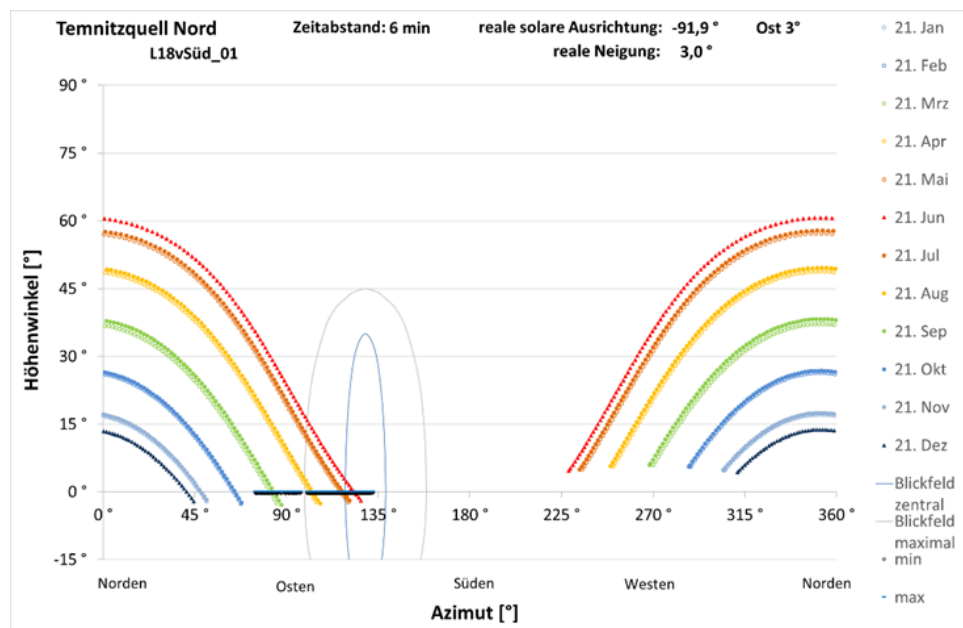


Abbildung 12: Beispielhaftes Reflexionsdiagramm für einen Blickpunkt im Straßenverkehr

5.5 Lichttechnische Aspekte

Das Verhältnis der Beleuchtungsstärken am menschlichen Auge – einerseits verursacht durch Sonnenlichtreflexionen der zu prüfenden Anlage, andererseits verursacht durch direktes, gestreutes oder diffus reflektiertes Licht – ist wesentlich für die Beurteilung, ob Anlagenreflexionen im Blickfeld von Verkehrsteilnehmern eine potenzielle Gefährdung darstellen.

Zur Abschätzung der Beleuchtungsstärken ist zunächst der Sonnenhöhenwinkel zu Zeitpunkten möglicher Betroffenheit durch Anlagenreflexionen zu bestimmen, um aus ihm auf diese Parameter schließen zu können. Dazu werden die Berechnungsformeln der DIN 5034 Teil 2 Abschnitt 5.3 für die Bedingungen von klarem Himmel verwendet, um sicherheitshalber den für Blendung ungünstigsten Fall zu betrachten. Die horizontale Beleuchtungsstärke bei klarem Himmel aus direktem Sonnenlicht und Himmelslicht beträgt nach DIN 5034 an sonnigen Tag in Mitteleuropa bei einer Sonnenhöhe von 60° (mittags im Sommer) 90.000 lx und bei einer Sonnenhöhe von 16° (mittags im Winter) 20.000 lx.

6 Berechnungsergebnisse



Hinweis: Die Reflexionsberechnungen unterstellen eine freie Sichtverbindung zwischen Reflexions- und Blickpunkt. Ein durch Vegetation, Gebäude und das Geländeprofil bestehender Blendschutz wird erst im Nachgang berücksichtigt.

6.1 L 18 aus südlicher Richtung

6.1.1 Blickpunkt L18vSüd_01

Der Blickpunkt L18vSüd_01 befindet sich ca. 750 m von den nächstgelegenen PV-Modulen entfernt. Die Blickachse der Fahrzeugführenden ist mit einem Azimut von 309° nach Nordnordwest gerichtet. Die PV-Module sind hauptsächlich links der Blickachse für die Fahrzeugführenden sichtbar.

Das Reflexionsdiagramm für ostausgerichtete PV-Module mit 3° Neigung in Abbildung 13 zeigt, dass die potenziellen Sonnenlichtreflexionen der Anlage von Mitte April bis Ende August abends kurz vor Sonnenuntergang für wenige Minuten in das Blickfeld der Fahrzeugführenden gerichtet sein können, von Ende Mai bis Mitte Juli sogar in den Randbereich des zentralen Blickfelds.

Die Berechnungen ergeben einen Abstandswinkel der Reflexionen zur Blickachse von $\geq 5,7^\circ$. Die Beleuchtungsstärke im zentralen Blickfeld erreicht maximal 50 lx bei einer sichtbaren Winkelhöhe von $< 0,1^\circ$. Die Sonne steht im Zeitraum der potenziellen Reflexionen ins zentrale Blickfeld auf einer Höhe von $\leq 5,3^\circ$ und bei Reflexionen ins maximale Gebrauchsblickfeld bei $\leq 6^\circ$. Die Beleuchtungsstärke im maximalen Gebrauchsblickfeld erreicht maximal 60 lx.

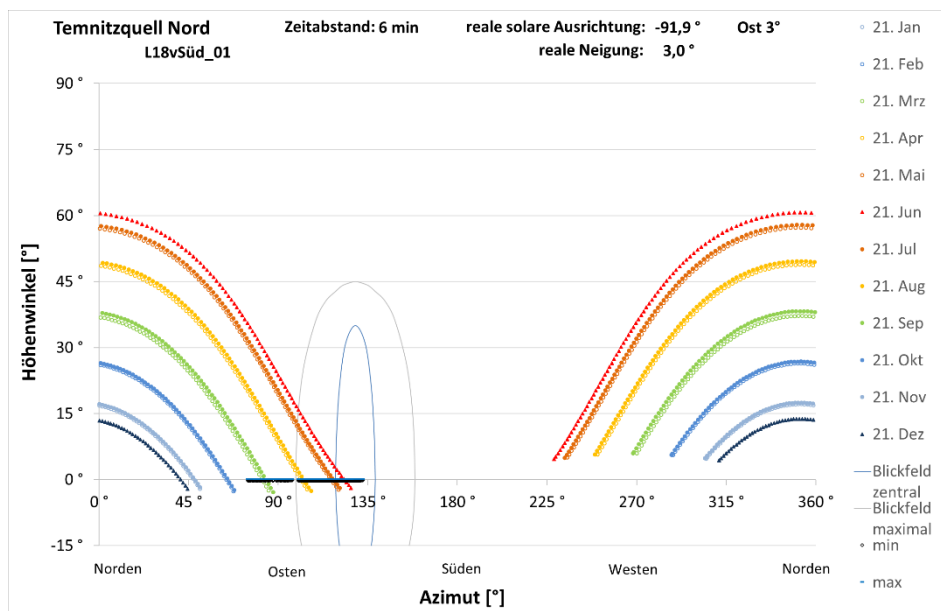


Abbildung 13: Reflexionsdiagramm für ostausgerichtete Module mit 3° Neigung am Blickpunkt L18vSüd_01



Das Reflexionsdiagramm für ostausgerichtete PV-Module mit 9° Neigung in Abbildung 14 zeigt, dass die potenziellen Sonnenlichtreflexionen der Anlage von Ende Mai bis Mitte August abends für wenige Minuten in das Blickfeld der Fahrzeugführenden gerichtet sein können.

Die Berechnungen ergeben einen Abstandswinkel der Reflexionen zur Blickachse von mehr als 23,2°. Die Beleuchtungsstärke im Blickfeld erreicht maximal 250 lx bei einer Winkelhöhe der Reflexionen von $\leq 0,1^\circ$. Die Sonne steht im Reflexionszeitraum auf einer Höhe von $\leq 18^\circ$.

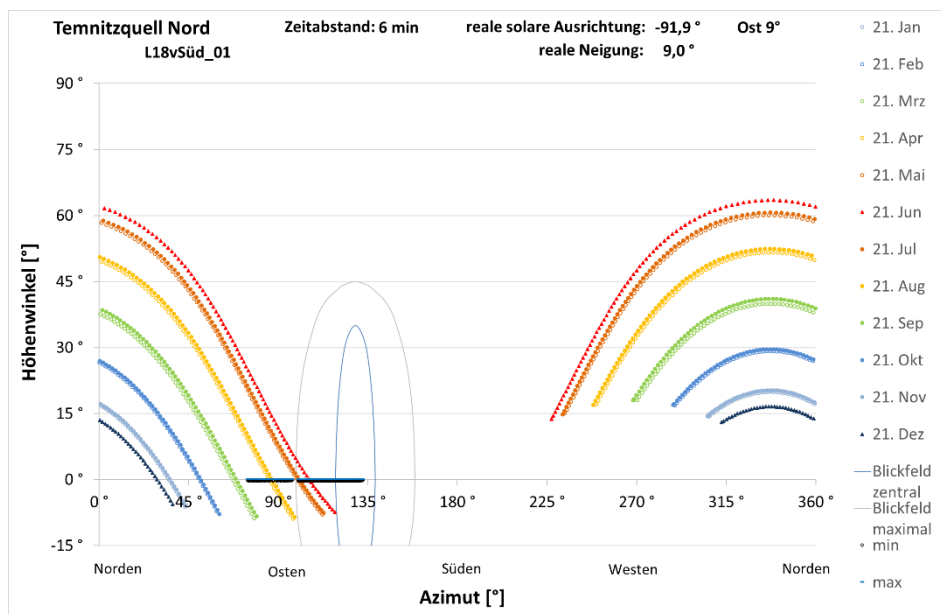


Abbildung 14: Reflexionsdiagramm für ostausgerichtete Module mit 9° Neigung am Blickpunkt L18vSüd_01

6.1.2 Blickpunkt L18vSüd_02

Der Blickpunkt L18vSüd_02 befindet sich ca. 300 m von den nächstgelegenen PV-Modulen entfernt. Die Blickachse der Fahrzeugführenden ist bei der Kurvendurchfahrt mit einem Azimut von 318° nach Nordnordwest gerichtet. Die PV-Module sind links der Blickachse für die Fahrzeugführenden sichtbar.

Das Reflexionsdiagramm für ostausgerichtete PV-Module mit 3° Neigung in Abbildung 15 zeigt, dass die potenziellen Sonnenlichtreflexionen der Anlage von Anfang Mai bis Mitte August abends kurz vor Sonnenuntergang für wenige Minuten in das Blickfeld der Fahrzeugführenden gerichtet sein können. Das zentrale Blickfeld bleibt jederzeit frei von Reflexionen.

Die Berechnungen ergeben einen Abstandswinkel der Reflexionen zur Blickachse von $\geq 15,4^\circ$. Die Beleuchtungsstärke im Blickfeld erreicht maximal 250 lx bei einer sichtbaren Winkelhöhe von $< 0,35^\circ$. Die Sonne steht im Zeitraum der potenziellen Reflexionen ins Blickfeld auf einer Höhe von $\leq 6,0^\circ$.

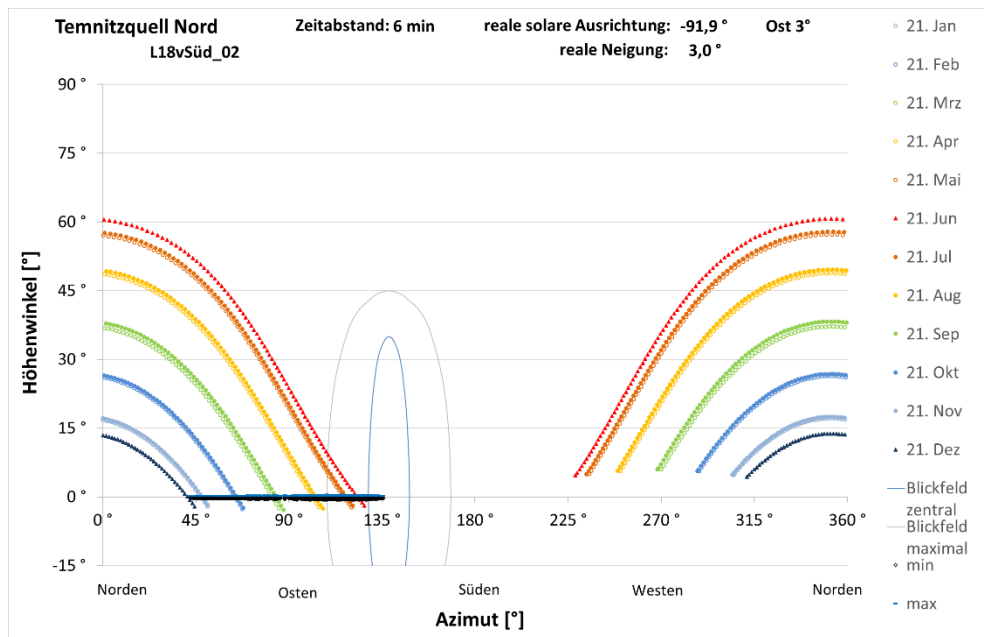


Abbildung 15: Reflexionsdiagramm für ostausgerichtete Module mit 3° Neigung am Blickpunkt L18vSüd_02

Das Reflexionsdiagramm für ostausgerichtete PV-Module mit 9° Neigung in Abbildung 16 zeigt, dass das Blickfeld der Fahrzeugführenden jederzeit frei von Reflexionen der PV-Anlage bleibt.

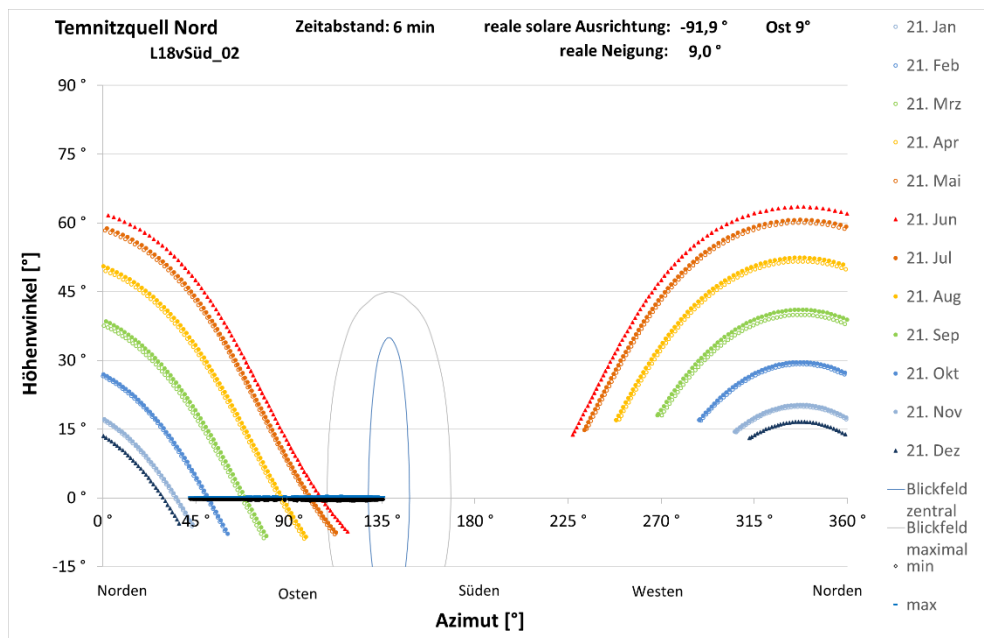


Abbildung 16: Reflexionsdiagramm für ostausgerichtete Module mit 9° Neigung am Blickpunkt L18vSüd_02

6.1.3 Blickpunkt L18vSüd_03



Der Blickpunkt L18vSüd_03 befindet sich ca. 50 m von den nächstgelegenen PV-Modulen entfernt. Die Blickachse der Fahrzeugführenden ist mit einem Azimut von 323° nach Nordnordwest gerichtet. Die PV-Module sind links der Blickachse für die Fahrzeugführenden sichtbar.

Das Reflexionsdiagramm für ostausgerichtete PV-Module mit 3° Neigung in Abbildung 17 zeigt, dass die potenziellen Sonnenlichtreflexionen der Anlage von Mitte April bis Ende August abends kurz vor Sonnenuntergang für wenige Minuten in das Blickfeld der Fahrzeugführenden gerichtet sein können.

Die Berechnungen ergeben einen Abstandswinkel der Reflexionen zur Blickachse von $\geq 23,3^\circ$. Die Beleuchtungsstärke im Blickfeld erreicht maximal 450 lx. Die Sonne steht im Zeitraum der potenziellen Reflexionen ins Blickfeld auf einer Höhe von $\leq 6,8^\circ$.

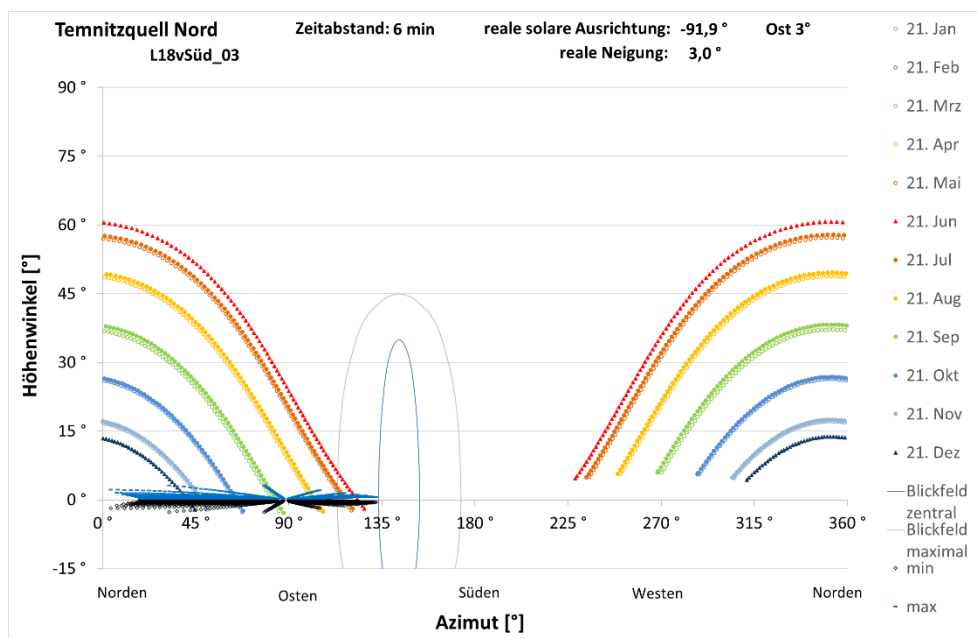


Abbildung 17: Reflexionsdiagramm für ostausgerichtete Module mit 3° Neigung am Blickpunkt L18vSüd_03

Das Reflexionsdiagramm für ostausgerichtete PV-Module mit 9° Neigung in Abbildung 18 zeigt, dass das Blickfeld der Fahrzeugführenden jederzeit frei von Reflexionen der PV-Anlage bleibt.

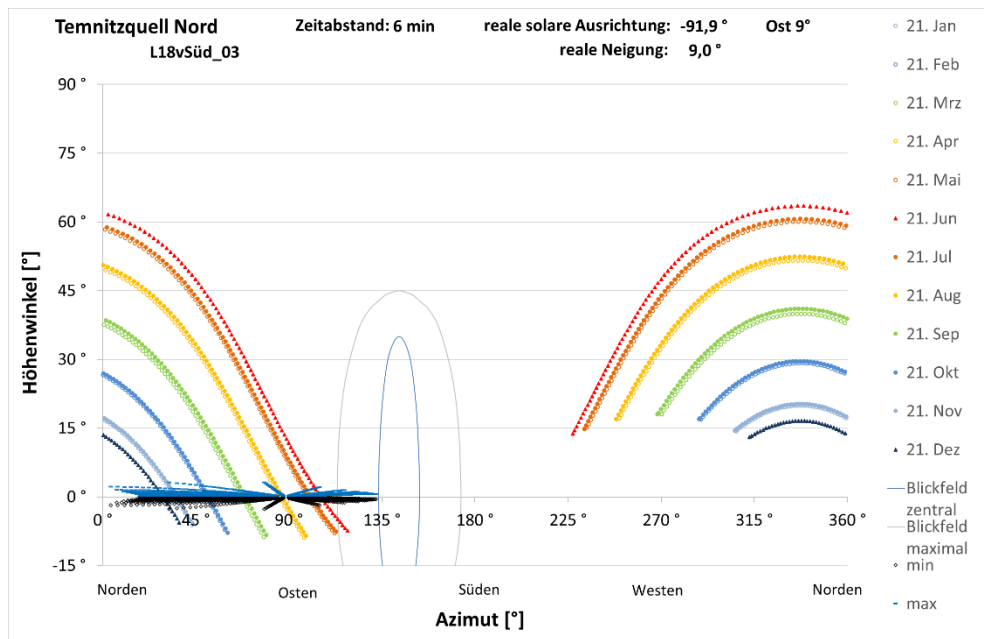


Abbildung 18: Reflexionsdiagramm für ostausgerichtete Module mit 9° Neigung am Blickpunkt L18vSüd_03

6.2 L 18 aus nördlicher Richtung



6.2.1 Blickpunkt L18vNord_01

Der Blickpunkt L18vNord_01 befindet sich ca. 370 m von den nächstgelegenen PV-Modulen entfernt. Die Blickachse der Fahrzeugführenden ist mit einem Azimut von 143° nach Südsüdost gerichtet. Die PV-Module sind rechts der Blickachse für die Fahrzeugführenden sichtbar. Die Reflexionsdiagramme für ostausgerichtete PV-Module mit 3° und 9° Neigung in Abbildung 19 zeigen, dass zu keinem Zeitpunkt im Jahr Sonnenlichtreflexionen der PV-Anlage in das Blickfeld der Fahrzeugführenden gerichtet sein können.

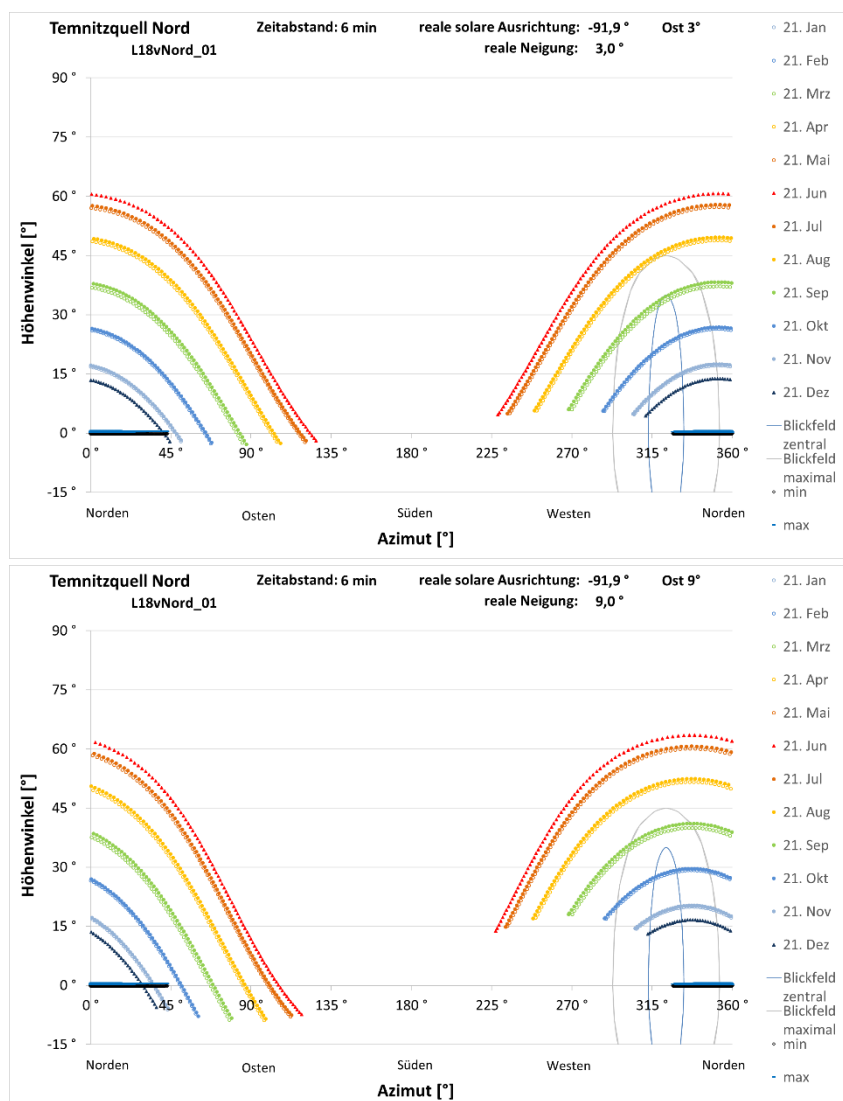


Abbildung 19: Reflexionsdiagramme für ostausgerichtete Module mit 3° (oben) und 9° (unten) Neigung am Blickpunkt L18vSüd_01



Das Reflexionsdiagramm für westausgerichtete PV-Module mit 9° Neigung in Abbildung 20 zeigt, dass die potenziellen Sonnenlichtreflexionen der Anlage im Dezember morgens für wenige Minuten in das zentrale Blickfeld der Fahrzeugführenden gerichtet sein können.

Die Berechnungen ergeben einen Abstandswinkel der Reflexionen zur Blickachse von $\geq 3,7^\circ$. Die Beleuchtungsstärke im Blickfeld erreicht maximal 350 lx bei einer Winkelhöhe der Reflexionen von $\leq 0,25^\circ$. Die Sonnensteht im Reflexionszeitraum auf einer Höhe von $\leq 9,6^\circ$.

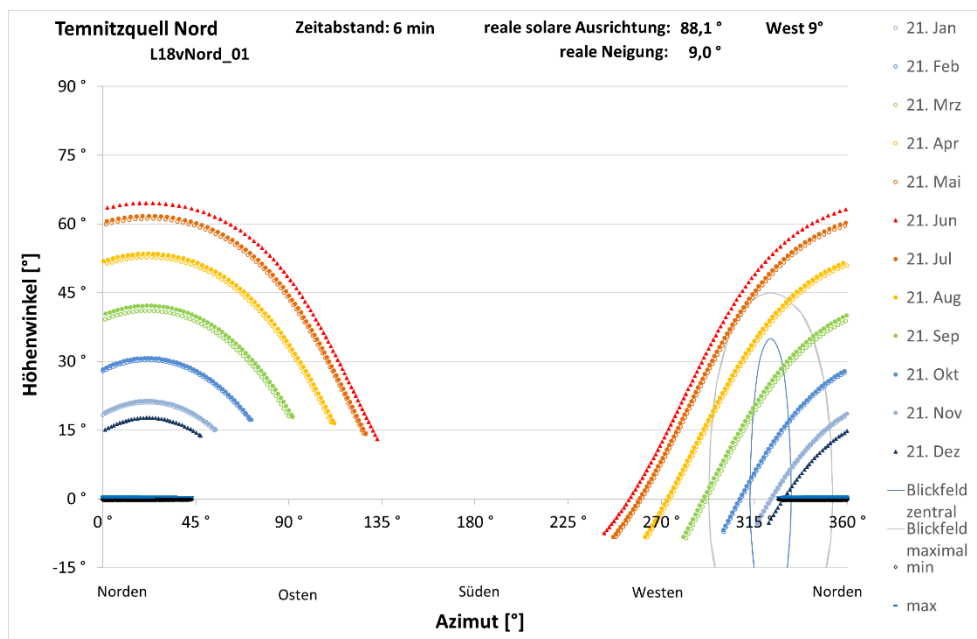


Abbildung 20: Reflexionsdiagramm für westausgerichtete Module mit 9° Neigung am Blickpunkt L18vNord_01

6.2.2 Blickpunkt L18vNord_02

Der Blickpunkt L18vNord_02 befindet sich ca. 120 m von den nächstgelegenen PV-Modulen entfernt. Die Blickachse der Fahrzeugführenden ist mit einem Azimut von 143° nach Südsüdost gerichtet. Die PV-Module sind rechts der Blickachse für die Fahrzeugführenden sichtbar. Das Reflexionsdiagramm für ostausgerichtete PV-Module mit 9° Neigung in Abbildung 21 bestätigt, dass auch an diesem Blickpunkt zu keinem Zeitpunkt im Jahr Sonnenlichtreflexionen der PV-Anlage in das Blickfeld der Fahrzeugführenden gerichtet sein können.

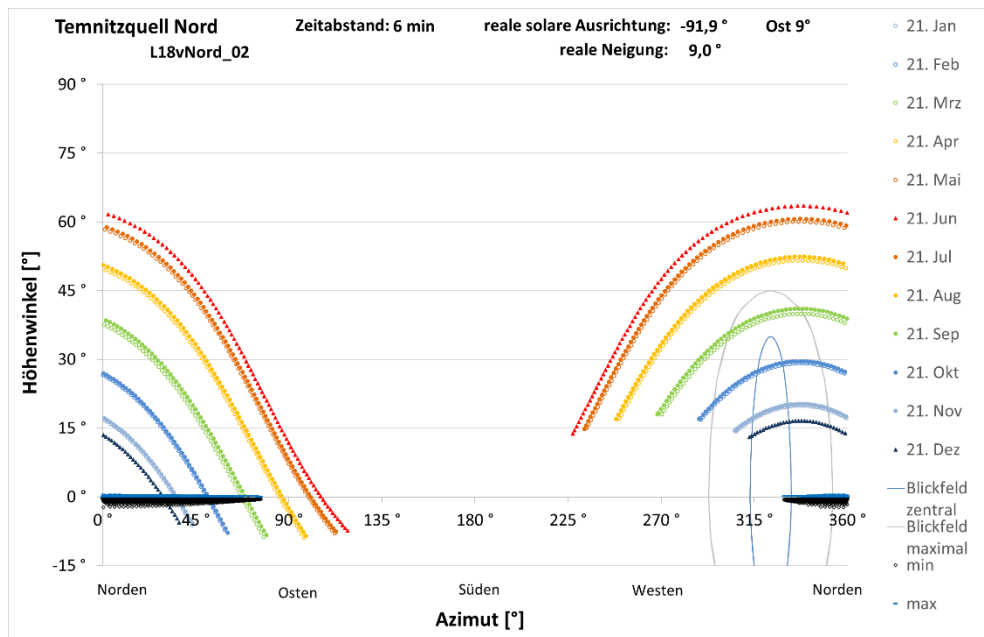


Abbildung 21: Reflexionsdiagramm für ostausgerichtete Module mit 9° Neigung am Blickpunkt L18vNord_02

Das Reflexionsdiagramm für westausgerichtete PV-Module mit 9° Neigung in Abbildung 22 zeigt, dass zu keinem Zeitpunkt Reflexionen in das Blickfeld der Fahrzeugführenden gerichtet sein können.

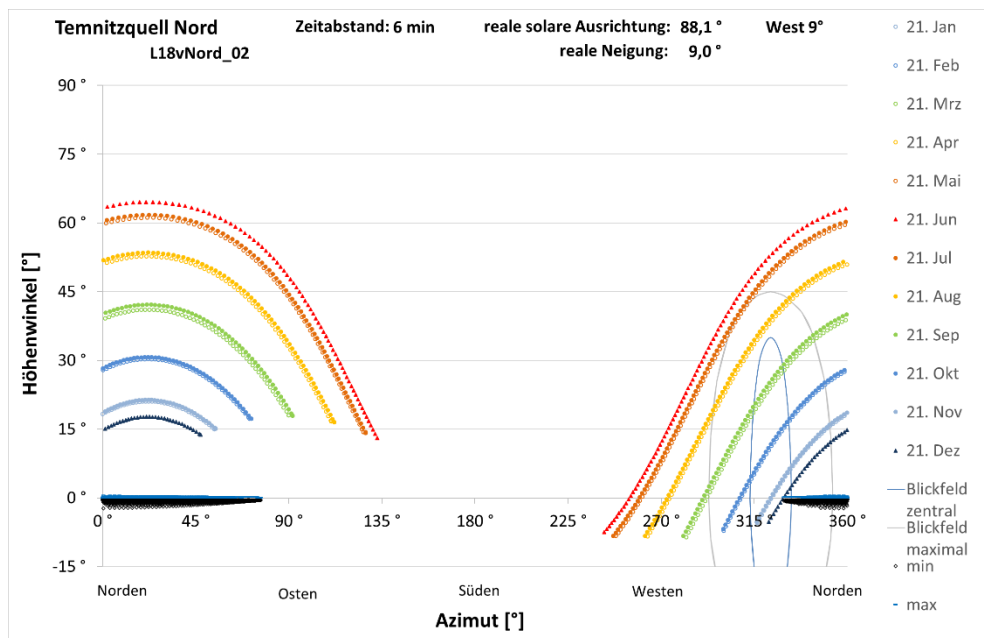


Abbildung 22: Reflexionsdiagramm für westausgerichtete Module mit 9° Neigung am Blickpunkt L18vNord_02

6.2.3 Blickpunkt L18vNord_03

Der Blickpunkt L18vNord_03 befindet sich ca. 50 m von den nächstgelegenen PV-Modulen entfernt. Die Blickachse der Fahrzeugführenden ist mit einem Azimut von 142° nach Südsüdost gerichtet. Das Reflexionsdiagramm für ostausgerichtete PV-Module mit 9° Neigung in Abbildung 23 zeigt, dass zu keinem Zeitpunkt Lichtreflexionen in das Blickfeld der Fahrzeugführenden gerichtet sein können.

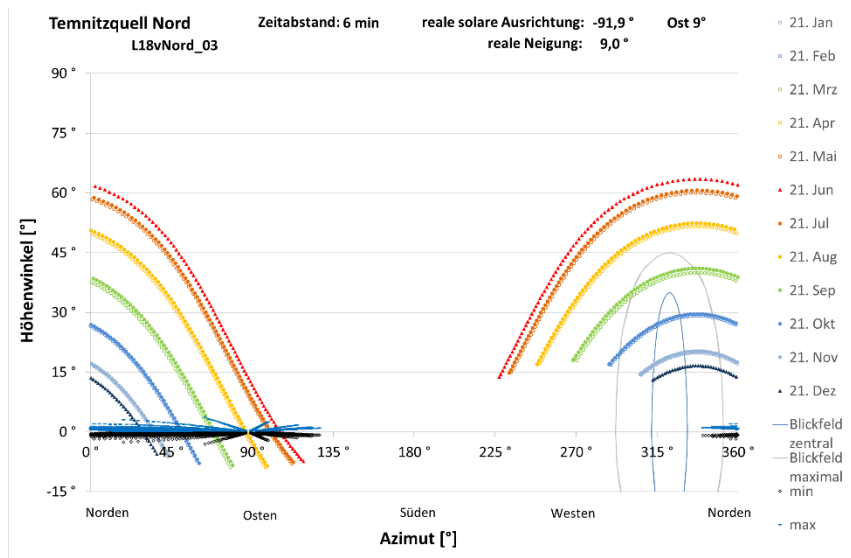


Abbildung 23: Reflexionsdiagramm für ostausgerichtete Module mit 9° Neigung am Blickpunkt L18vNord_03

Das Reflexionsdiagramm für westausgerichtete PV-Module mit 9° Neigung in Abbildung 24 zeigt, dass zu keinem Zeitpunkt Reflexionen in das Blickfeld der Fahrzeugführenden gerichtet sein können.

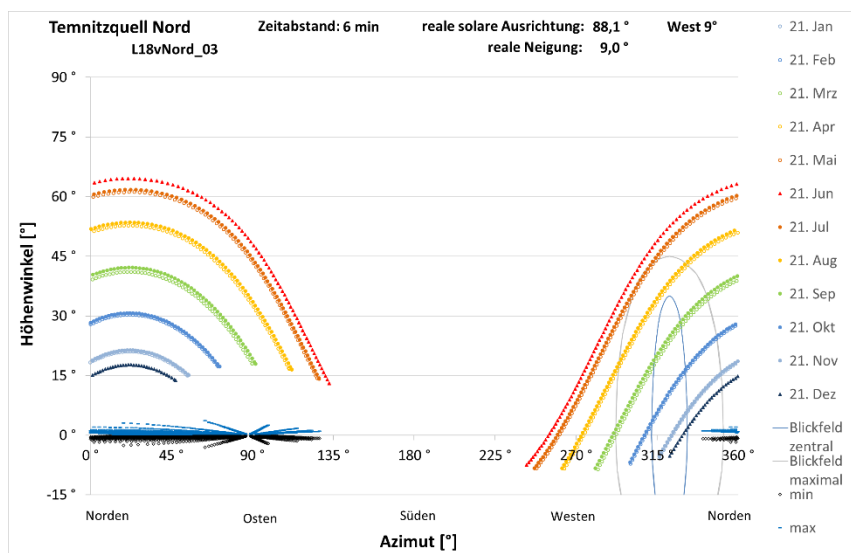


Abbildung 24: Reflexionsdiagramm für westausgerichtete Module mit 9° Neigung am Blickpunkt L18vNord_03



7 Bewertung der Blendrisiken

Im Regelbetrieb einer trackergeführten Ost-West ausgerichteten PV-Anlage auf dem Gelände des „Bürgersolarpark Temnitzquell“, Teilbereich Nord, können keine blenden Sonnenlichtreflexionen auf die Landesstraße L 18 gerichtet sein. Dazu sollte der Backtracking-Algorithmus so programmiert werden, dass die Elevation (Neigung) der PV-Module zu Sonnenaufgang respektive -untergang mindestens 3° beträgt.

Für die mögliche Parkpositionen der geplanten PV-Anlage ergeben die Berechnungen, dass bei einer Ausrichtung zwischen 3° und 9° nach Osten im Spätwinter und Herbst kurz vor Sonnenuntergang für wenige Minuten Sonnenlichtreflexionen in das Blickfeld der Fahrzeugführenden auf der L 18 aus südlicher Richtung gerichtet sein können.

Bei einer Modulneigung von 3° können von Ende Mai bis Mitte Juli Sonnenlichtreflexionen der PV-Anlage bis in das zentrale Blickfeld gerichtet sein. Die Berechnungen ergeben einen Abstandswinkel der Reflexionen zur Blickachse von $\geq 5,7^\circ$. Die Beleuchtungsstärke im zentralen Blickfeld erreicht maximal 50 lx bei einer sichtbaren Winkelhöhe von $< 0,1^\circ$. Die Sonne steht im Zeitraum der potenziellen Reflexionen ins zentrale Blickfeld auf einer Höhe von $\leq 5,3^\circ$ und bei Reflexionen ins maximale Gebrauchsblickfeld bei $\leq 6^\circ$. Die Beleuchtungsstärke im maximalen Gebrauchsblickfeld erreicht maximal 60 lx. Eine Blendung der Fahrzeugführenden kann auf Grund der geringen Beleuchtungsstärke und des geringen Abstandswinkel zur knapp über den Modulen stehenden Sonne ausgeschlossen werden. Mit zunehmender Annäherung an die PV-Anlage wandern die Reflexionen bei zunehmender Beleuchtungsstärke in den Randbereich des Blickfelds.

Bei einer Modulneigung von 9° bleibt das zentrale Blickfeld der Fahrzeugführenden aus südlicher Richtung jederzeit frei von Sonnenlichtreflexionen der PV-Anlage. Die potenziellen Reflexionen in das maximale Gebrauchsblickfeld bewirken auf Grund ihrer Position im Blickfeld und ihrer Beleuchtungsstärke keine Blendung der Fahrzeugführenden.

Bei einer Ausrichtung der Module nach Westen und einer Modulneigung von 9° können im Dezember morgens potenziell blendende Sonnenlichtreflexionen in den kritischen Bereich des Blickfelds der Fahrzeugführenden aus Richtung Norden gerichtet sein. Die Berechnungen ergeben einen Abstandswinkel der Reflexionen zur Blickachse von $\geq 3,7^\circ$. Die Beleuchtungsstärke im Blickfeld erreicht maximal 350 lx bei einer Winkelhöhe der Reflexionen von $\leq 0,25^\circ$. Die Sonne steht im Reflexionszeitraum auf einer Höhe von $\leq 9,6^\circ$. Eine Blendung der Fahrzeugführenden ist damit nicht ausgeschlossen.

Für die Parkposition sollte deshalb eine Ausrichtung der PV-Module nach Osten gewählt werden.

8 Verwendete Materialien



8.1 Materialien vom Auftraggeber

- ▶ Belegungsplan als Datei „02112022_PV Temnitzquell Preliminary Layout Rev 0.dwg“
- ▶ Bauungsplan als Datei „T 752_Begruündung fru h. Bet. Januar 2023.pdf“
- ▶ Beschreibung des Trackersystems als Dateien „Tech Datasheet AxialTracker 1V.pdf“ und „Soltigua-G2314-EN-v2.2-Brochure iTracker Duetto.pdf“

8.2 Literatur

- ▶ Raumordnungsgesetz vom 22. Dezember 2008 (BGBl. I S. 2986), das zuletzt durch Artikel 5 des Gesetzes vom 3. Dezember 2020 (BGBl. I S. 2694) geändert worden ist
- ▶ Baugesetzbuch in der Fassung der Bekanntmachung vom 3. November 2017 (BGBl. I S. 3634), das zuletzt durch Artikel 2 des Gesetzes vom 26. April 2022 (BGBl. I S. 674) geändert worden ist
- ▶ BMWK: Entwurf eines Gesetzes zu Sofortmaßnahmen für einen beschleunigten Ausbau der erneuerbaren Energien und weiteren Maßnahmen im Stromsektor, Bearbeitungsstand 4.3.2022
- ▶ Erneuerbare-Energien-Gesetz 2023, Stand 08.07.2022
- ▶ Bundes-Immissionsschutzgesetz in der Fassung der Bekanntmachung vom 17. Mai 2013 (BGBl. I S. 1274; 2021 I S. 123), das zuletzt durch Artikel 1 des Gesetzes vom 24. September 2021 (BGBl. I S. 4458) geändert worden ist
- ▶ Licht und Beleuchtung - Grundlegende Begriffe und Kriterien für die Festlegung von Anforderungen an die Beleuchtung; Deutsche Fassung EN 12665:2018, Ausgabe 2018-08
- ▶ Wittlich, M.: Blendung – Theoretischer Hintergrund, Informationen des Instituts für Arbeitsschutz der Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung (IFA); Sankt Augustin 2010
- ▶ Schattenwurf-Richtlinie: Hinweise zur Ermittlung und Beurteilung der optischen Immissionen von Windenergieanlagen (WEA-Schattenwurf-Hinweis, verabschiedet auf der 103. Sitzung des Länderausschusses für Immissionsschutz (LAI), 6.-8.5.2002
- ▶ LAI (Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft für Immissionsschutz): Hinweise zur Messung, Beurteilung und Minderung von Lichtimmissionen; Beschluss der LAI vom 13.09.2012, Anhang 2 – Stand 3.11.2015
- ▶ Leitlinie des Brandenburger Ministeriums für Landwirtschaft, Umwelt und Klimaschutz zur Messung und Beurteilung von Lichtimmissionen (Licht-Leitlinie) vom 16. April 2014
- ▶ Fischbach, M.; Mack, M.; Haselhuhn, R.: Blendgutachten Photovoltaik – ein Statusbericht aus der Gutachterpraxis; Tagungsband 29. Symposium Photovoltaische Solarenergie 12.-14.3.2014 Bad Staffelstein; Hsg.: OTTI e.V.
- ▶ Eicker, U.: Solare Technologien für Gebäude; 1. Aufl. B. G. Teubner GmbH Stuttgart/Leipzig/Wiesbaden, 2001
- ▶ Reidenbach H.-D., Dollinger K., Ott G., Janßen M., Brose M. (2008): Blendung durch optische Strahlungsquellen. Bericht der BAUA, Forschung Projekt 2185
- ▶ Kaufmann, H.: Strabismus. Stuttgart, Enke, 1986

- ▶ Empfehlungen der Strahlenschutzkommission: Blendung durch natürliche und neue künstliche Lichtquellen und ihre Gefahren; verabschiedet in der 205. Sitzung der Strahlenschutzkommission am 16./17. Februar 2006
- ▶ DIN 5034-2:2021-08 Tageslicht in Innenräumen – Teil 2: Grundlagen



9 *Abbildungsverzeichnis*



Abbildung 1: Lage der geplanten PV-Anlage Temnitzquell Nord; Quelle: Kundenmaterial vor dem Hintergrund eines nach geografisch Nord ausgerichteten Luftbilds aus Bing Maps	4
Abbildung 2: Gegenstände auf der Sichtachse zur Blendquelle sind nicht mehr wahrnehmbar	8
Abbildung 3: Blickfelder aus Tabelle 1; der Achsenschnittpunkt 0°/0° stellt dabei einen Punkt auf der Blickachse dar, auf den die Augen fokussieren, und nicht notwendigerweise einen Punkt auf dem Horizont	10
Abbildung 4: Auswirkung des Einfallwinkels auf den Transmissionsgrad für Modulgläser	12
Abbildung 5: Lage der PV-Anlage (Tischreihen in blau) und der Landesstraße L 18; Quelle: Kundenmaterial vor dem Hintergrund eines nach geografisch Nord ausgerichteten Luftbilds aus Bing Maps	14
Abbildung 6: Darstellung des Reflexionsstrahls anhand von Azimut und Höhenwinkel wie in den Berechnungen verwendet und des Abstandswinkels zwischen den Blickrichtungen zur Sonne und zum Reflexionspunkt	16
Abbildung 7: Reflexionsdiagramm für nach Osten ausgerichtete PV-Module mit 3° Neigung am Standort der geplanten Anlage mit waagerecht aufgetragenen Azimut- und senkrecht aufgetragenen Höhenwinkeln und Markierung der Reflexionen mit einem Abstandswinkel zur Sonne von weniger als 6° durch graue Umrandung	18
Abbildung 8: Reflexionsdiagramm für nach Osten ausgerichtete Module mit 9° Neigung	18
Abbildung 9: Reflexionsdiagramme für nach Westen ausgerichtete PV-Module mit 3° Neigung (oben) und 9° Neigung (unten)	19
Abbildung 10: Blendrelevante Azimutrichtungen der potenziellen Sonnenlichtreflexionen bei 3° und 9° Neigung der PV-Module	20
Abbildung 11: Modellierter Blickpunkte (cyanfarbene Kreise)	21
Abbildung 12: Beispielhaftes Reflexionsdiagramm für einen Blickpunkt im Straßenverkehr	22
Abbildung 13: Reflexionsdiagramm für ostausgerichtete Module mit 3° Neigung am Blickpunkt L18vSüd_01	23
Abbildung 14: Reflexionsdiagramm für ostausgerichtete Module mit 9° Neigung am Blickpunkt L18vSüd_01	24
Abbildung 15: Reflexionsdiagramm für ostausgerichtete Module mit 3° Neigung am Blickpunkt L18vSüd_02	25



Abbildung 16: Reflexionsdiagramm für ostausgerichtete Module mit 9° Neigung am Blickpunkt L18vSüd_02.....	25
Abbildung 17: Reflexionsdiagramm für ostausgerichtete Module mit 3° Neigung am Blickpunkt L18vSüd_03.....	26
Abbildung 18: Reflexionsdiagramm für ostausgerichtete Module mit 9° Neigung am Blickpunkt L18vSüd_03.....	27
Abbildung 19: Reflexionsdiagramme für ostausgerichtete Module mit 3° (oben) und 9° (unten) Neigung am Blickpunkt L18vSüd_01.....	28
Abbildung 20: Reflexionsdiagramm für westausgerichtete Module mit 9° Neigung am Blickpunkt L18vNord_01.....	29
Abbildung 21: Reflexionsdiagramm für ostausgerichtete Module mit 9° Neigung am Blickpunkt L18vNord_02.....	30
Abbildung 22: Reflexionsdiagramm für westausgerichtete Module mit 9° Neigung am Blickpunkt L18vNord_02.....	30
Abbildung 23: Reflexionsdiagramm für ostausgerichtete Module mit 9° Neigung am Blickpunkt L18vNord_03.....	31
Abbildung 24: Reflexionsdiagramm für westausgerichtete Module mit 9° Neigung am Blickpunkt L18vNord_03.....	31

10 Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Menschliches Gebrauchsblickfeld (vertikal positiv ist oben, negativ unten)	10
Tabelle 2: Systemangaben Bürgersolarpark Temnitzquell, Teilbereich Nord.....	15

