

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

► **Gut Prädikow**

Analyse der Reflexionswirkungen einer Photovoltaikanlage

Auftraggeber:

Solarenergie Prädikow SeP GmbH & Co.KG
Ihlower Weg 1
15345 Prötzel OT Prädikow

erstellt von:

Wolfgang Rosenthal
Solarpraxis Engineering GmbH
Alboinstraße 36-42
12103 Berlin Germany
Tel. 030/ 726 296-396
Fax. 030/ 726 296-360
E-Mail: Wolfgang.Rosenthal@solarpraxis.com
Internet: www.solarpraxis.com



Datum: 02.10.2023

Projektnummer: P230140/v.2



Inhalt

1	Zweck und Gegenstand des Gutachtens	4
2	Zusammenfassung der Ergebnisse	5
3	Einleitung	6
3.1	Blendung.....	6
3.2	Entstehung von Reflexionen bei Photovoltaikanlagen	9
3.3	Verwendete Azimut-Winkelangaben	10
4	Situation vor Ort	11
4.1	Die Photovoltaikanlage	11
4.2	Die Landeplätze	12
4.2.1	Verkehrslandeplatz (VLP) Strausberg (EDAY).....	12
4.2.2	Sonderlandeplatz (SLP) Neuhardenberg	12
5	Berechnungen	13
5.1	Methodik der Berechnung	13
5.1.1	Geometrische Aspekte.....	13
5.1.2	Lichttechnische Aspekte.....	15
5.2	VLP Strausberg	16
5.2.1	Flugrichtung Nordost.....	16
5.2.2	Flugrichtung Südwest.....	16
5.3	SLP Neuhardenberg	19
5.3.1	Anflug aus Westen auf Landebahn 08.....	19
5.3.2	Flugrichtung 26.....	19
5.4	Gut Prädikow.....	23
6	Bewertung der Ergebnisse	24
6.1	Generelle Vorbemerkungen	24
6.1.1	Reflexionen von niedrigen Sonnenständen.....	24
6.1.2	Reflexionen bei gleichbleibender oder steigender Flughöhe	24
6.2	Verkehrslandeplatz Strausberg	24

6.2.1	Flugrichtung 05.....	24
6.2.2	Flugrichtung 23.....	24
6.2.3	Zusammenfassende Bewertung	25
6.3	Sonderlandeplatz Neuhardenberg	25
6.4	Gut Prädikow.....	25
7	Verwendete Materialien.....	26
7.1	Dokumente vom Auftraggeber	26
7.2	Literatur.....	26
8	Abbildungsverzeichnis.....	27
9	Tabellenverzeichnis	29





1 Zweck und Gegenstand des Gutachtens

Es soll untersucht werden, ob von den Modulen der geplanten Photovoltaikanlage auf dem Gut Prädikow zwischen den Ortschaften Prädikow und Ihlow Sonnenlicht auf die An- und Abflugkorridore

- ▶ des Verkehrslandeplatzes (VLP) Strausberg (EDAY), 9 km südwestlich oder
- ▶ des Sonderlandeplatzes (SLP) Neuhardenberg, 13 km östlich

reflektiert werden kann und ob dadurch gegebenenfalls störende Blendwirkungen auftreten können. Die geografische Lage der geplanten Anlage sowie der beiden Landeplätze ist in Abbildung 1 zu erkennen.

Anschließend sind ggf. Maßnahmen zur Verhinderung eventuell auftretender Blendung zu erarbeiten.

Die Analyse erfolgt auf Basis der vom Auftraggeber zur Verfügung gestellten Daten und Pläne sowie unter Zuhilfenahme von Google Earth Pro.

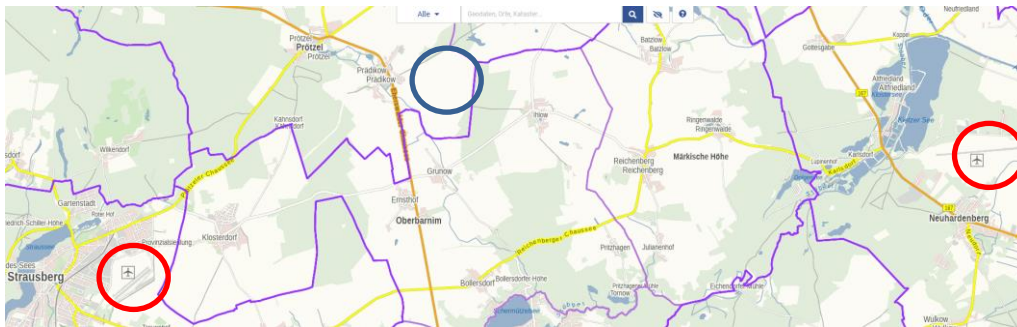


Abbildung 1: Lage der geplanten Anlage (blau eingekreist) und der beiden Landeplätze (rot umkreist); Hintergrundkarte entnommen dem Brandenburgviewer © GeoBasis-DE/LGB (2023)

Ergänzend soll überschlägig geprüft werden, ob ein Wohnhaus vom Gut Prädikow von Reflexionen betroffen sein kann.



2 Zusammenfassung der Ergebnisse

Es wird festgestellt, dass von der geplanten Anlage keinerlei Blendrisiken für die An- und Abflugkorridore des Verkehrslandeplatzes Strausberg und des Sonderlandeplatzes Neuhardenberg ausgehen können, unabhängig davon, auf welchen Teilflächen südlich ausgerichtete Module mit Neigungen zwischen 20° und 25° oder west-östlich ausgerichtete mit Neigungen zwischen 10° und 15° installiert werden.

Weiterhin wird festgestellt, dass auch Anwohner nicht durch Reflexionen beeinträchtigt werden können.



3 Einleitung

Der vorliegende Bericht enthält vertrauliche Informationen. Der Bericht dient nur zur Vorlage bei den finanzierenden Banken, beim Anlagengerichter 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 berechnete 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 Blendung

Blendung ist in der DIN EN 12665 als "unangenehmer Sehzustand durch ungünstige Leuchtdichte-Verteilung oder zu hohe Kontraste" definiert. Die Leuchtdichte ist als Lichtstärke pro Fläche definiert (cd/m^2) und stellt ein fotometrisches Maß für die von Menschen empfundene Helligkeit 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 $1,6 \cdot 10^6 \text{ cd}/\text{m}^2$ wird die Adaptationsfähigkeit des menschlichen Auges überschritten. Dieser Zustand wird als Absolutblendung bezeichnet.¹ Normalerweise treten Abwehrreaktionen wie Blinzeln und Blickabwendung auf, ohne die eine thermische Schädigung der Netzhaut eintreten kann.

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



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

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.



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.

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. Entscheidend für die Gefährdungsbeurteilung ist letztlich 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 ist die jeweils mögliche Einwirkzeit 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}

³ Reidenbach u. a. 2008

⁴ Kaufmann 1986



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

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

Gebrauchsblickfeld	Benennung im Text	horizontal	vertikal
für Sehaufgaben	zentrales Blickfeld	$\pm 10^\circ$	$+25^\circ, -35^\circ$
maximal	Blickfeld	$\pm 30^\circ$	$+30^\circ, -45^\circ$

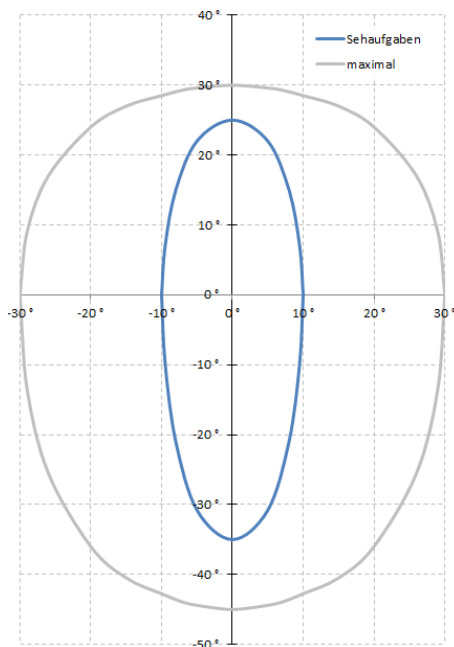


Abbildung 3: Blickfelder von Tabelle 1; der Achsenschnittpunkt $0^\circ/0^\circ$ stellt dabei einen Punkt auf der Blickachse dar, auf den die Augen fokussieren, und nicht notwendigerweise einen Punkt auf dem Horizont

Für die Beurteilung des Bereichs, in dem auftretende Reflexion zur Blendung führen kann, 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 rundum 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 Fahrzeugführern 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). Wahrnehmbare Reflexionen außerhalb von $\pm 30^\circ$ werden hier als physiologisch unerheblich bewertet. Zwischen $\pm 10^\circ$ und $\pm 30^\circ$ werden abgestufte Anforderungen an das Verhältnis der Beleuchtungsstärken durch Reflexionen und direkt einfallendes 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.⁵ Bei Einmündungen oder Kreuzungen muss ein größerer Blickbereich frei von Blendrisiken sein.

3.2 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.⁶

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.

Deckgläser, die für PV-Module verwendet werden, 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 weniger als 9 % des gesamten eingestrahelten sichtbaren Lichtes reflektiert werden.

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

⁵ Reidenbach u. a. 2008

⁶ Fischbach u.a. 2014

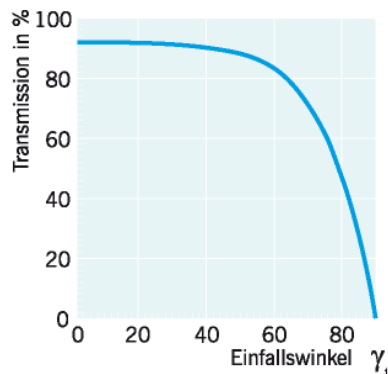


Abbildung 4: Auswirkung des Einfallswinkels auf den Transmissionsgrad für Modulgläser

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.

3.3 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 ergebenden Azimutangaben verwendet:

Norden = 0° , Osten = 90° , Süden = 180° und Westen = 270°

Zur leichteren Lesbarkeit für Leser, die in der Regel mit der in der Solartechnik üblichen Bezeichnung zu tun haben, wird dagegen die Ausrichtung der Anlagen regelmäßig in der Solardiktion aufgeführt.



4 *Situation vor Ort*

4.1 *Die Photovoltaikanlage*

Die geplante Anlage wird in mehreren Teilabschnitten errichtet und erstreckt sich im Endstadium über eine Breite von 1.255 m und eine nord-südliche Ausdehnung von 1.500 m. Der erste Bauabschnitt, der in Abbildung 5 in rot senkrecht schraffiert ist, ist in West-Ost-Bauweise geplant. Das heißt, dass die Modulreihen dachförmig von einer nord-südlichen Mittellinie aus jeweils nach Ost und West geneigt montiert werden. Der hierfür geplante Neigungswinkel beträgt 15° und die Oberkante erreicht 2,6 m über Gelände. Für den Fall einer späteren Planänderung soll auch ein Neigungswinkel von 10° geprüft werden.

In einem oder mehreren späteren Schritten soll der nördliche Bereich, der in Abbildung 5 in magenta quer schraffiert ist, ebenfalls belegt werden, wobei zum jetzigen Zeitpunkt noch offen ist, ob die Belegung dort ebenfalls in West-Ost-Bauweise erfolgt oder mit einheitlicher Südausrichtung. Im letzteren Fall wird der Neigungswinkel 20° betragen und die Oberkante erreicht eine Höhe von 3,2 m über Grund. Für den Fall einer späteren Planänderung soll auch ein Neigungswinkel von 25° geprüft werden.

Die Geländehöhe bewegt sich im gesamten Bereich zwischen 75 m üNNH und 88 m üNNH.

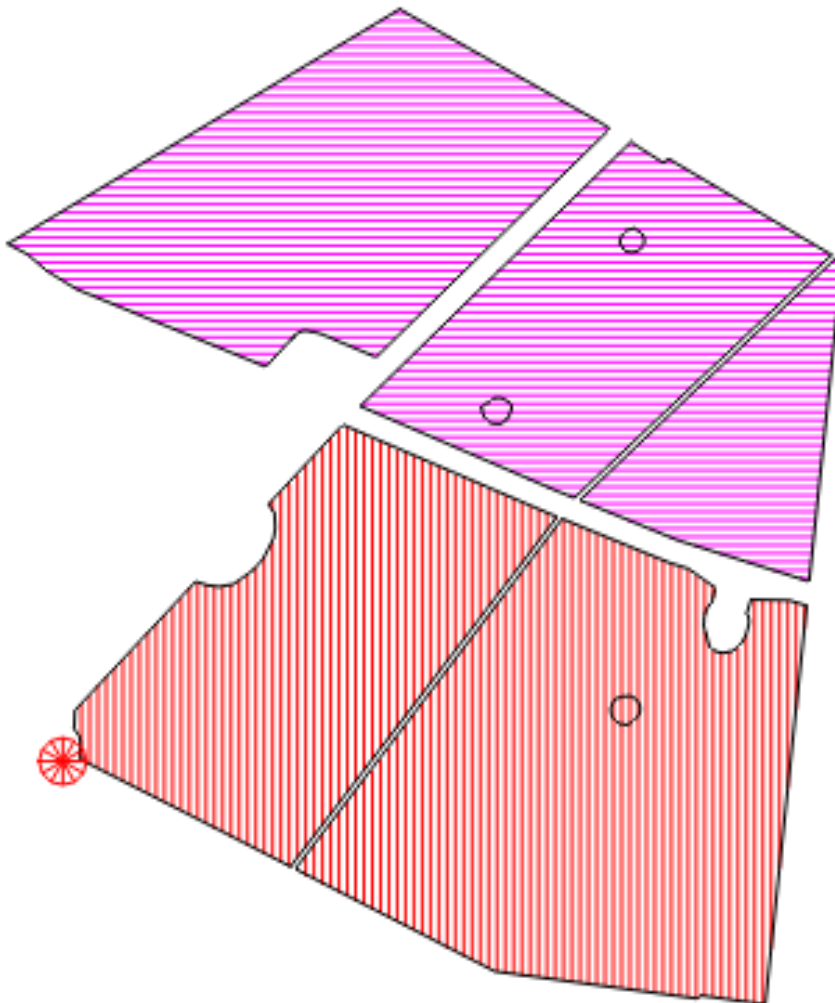


Abbildung 5: Belegungsflächen der späteren Gesamtanlage, rot schraffiert in West-Ost-Bauweise, magenta schraffiert in West-Ost-Bauweise oder mit Südausrichtung

4.2 Die Landeplätze

4.2.1 Verkehrslandeplatz (VLP) Strausberg (EDAY)

Die Start- und Landebahn hat eine Länge von 1.200 m und Ausrichtungen von 49° (RWY 05) bzw. 229° (RWY 23). Die Höhe beträgt 80 m üNNH.

4.2.2 Sonderlandeplatz (SLP) Neuhardenberg

Die Start- und Landebahn hat eine Länge von 2.400 m und Ausrichtungen von 84° (RWY 08) bzw. 264° (RWY 26). Die Höhe beträgt 10 m üNNH.



5 Berechnungen

5.1 Methodik der Berechnung

5.1.1 Geometrische Aspekte

Zunächst wird eine Aufstellung mit sämtlichen Sonneneinfallswinkeln im Jahresverlauf am Standort Prädikow (geografische Länge 14,04°, Breite 52,63°) in 6-minütiger Auflösung für 12 Tage im Jahr erstellt (jeweils für den 21. jeden Monats).⁷ Anschließend werden die sich daraus ergebenden Reflexionsrichtungen bestimmt. Jedem Einfallswinkel des Sonnenlichts entspricht nach dem Reflexionsgesetz bei ideal gerichteter Reflexion („Einfallswinkel = Ausfallswinkel“) genau ein Ausfallswinkel reflektierter Strahlung bei gegebener reflektierender Ebene. Die danach physikalisch möglichen Reflexionsrichtungen lassen sich anschaulich in einem Diagramm darstellen, das über dem Horizont, aus Sicht eines beliebigen Reflexionspunktes heraus, alle möglichen Reflexionsrichtungen durch die Koordinaten Azimut- und Höhenwinkel beschreibt (siehe Abbildung 6). Mögliche Abweichungen der realen Reflexionen von den ideal gerichteten (durch Bündelauflösung oder Versatz) werden im Rahmen der Einzelberechnungen und -bewertungen bei Bedarf durch Sicherheitszuschläge abgeschätzt.

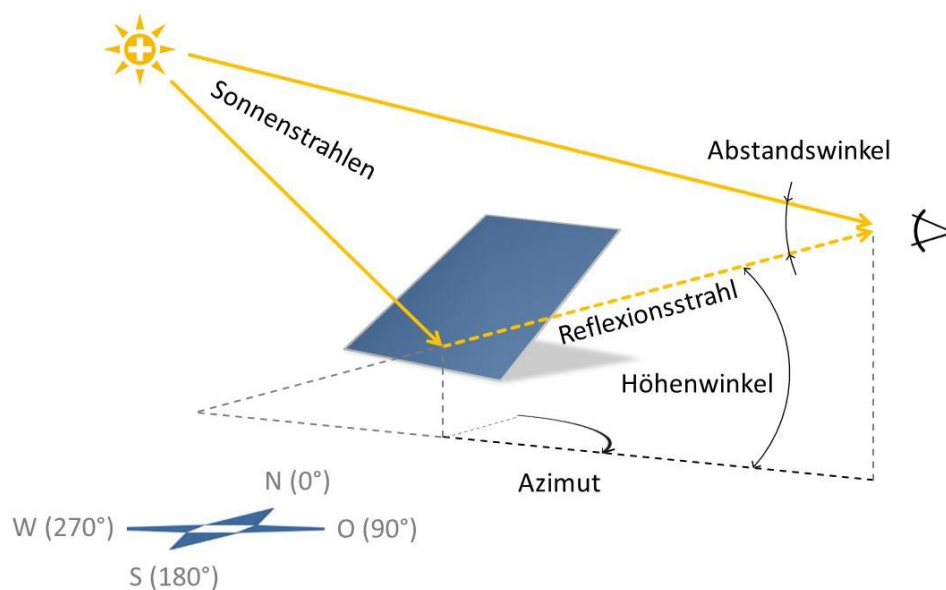


Abbildung 6: Darstellung des Reflexionsstrahls anhand von Azimut und Höhenwinkel wie im Reflexionsdiagramm verwendet und Beschreibung des Abstandswinkels zwischen Blickrichtungen zur Sonne und zum Reflexionspunkt

⁷ Berechnung nach Eicker 2001



Ebenfalls in Abbildung 6 ist der Abstandswinkel zwischen den Blickrichtungen zur Sonne und zum Reflexionspunkt beschrieben.

Die sechs verschiedenen Modulorientierungen, die sich aus den beiden Ausrichtungsvarianten, West-Ost bzw. Süd, sowie den alternativ zu prüfenden Neigungswinkeln ergeben, führen zu den nachfolgend dargestellten Reflexionsdiagrammen in Abbildung 7 und Abbildung 8.

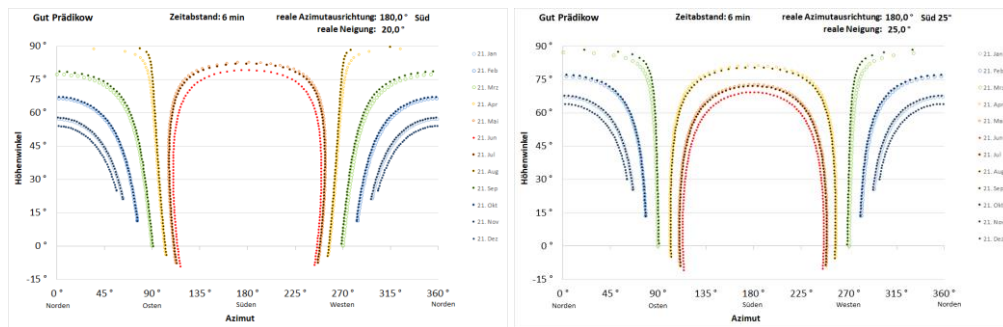


Abbildung 7: Reflexionsdiagramme aus Sicht eines beliebigen potenziellen Reflexionspunktes der mit 20° Planneigung (links) und alternativ 25° (rechts) nach Süden ausgerichteten Module am Standort der Anlage; waagrecht aufgetragen sind die Azimutwinkel von Norden (0°) über Osten (90°), Süden (180°) nach Westen (270°), senkrecht die Höhenwinkel

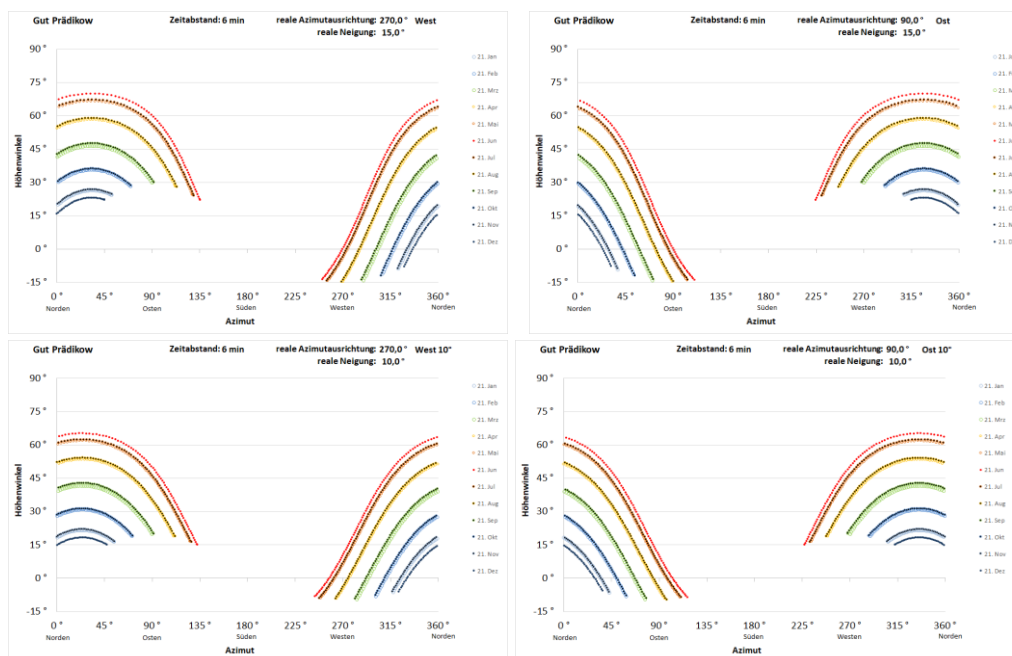


Abbildung 8: Reflexionsdiagramme aus Sicht eines beliebigen potenziellen Reflexionspunktes der mit 15° Planneigung (obere Zeile) und alternativ 10° (untere Zeile) nach Westen (links) bzw. nach Osten (rechts) ausgerichteten Module am Standort der Anlage



Liegt ein Blickpunkt mit seinen Kugelkoordinaten Azimut und Höhenwinkel innerhalb des betroffenen Bereichs (d.h. zwischen den Kurven für den 21. Juni und den 21. Dezember) im Reflexionsdiagramm, so kann anhand des Diagramms die Dauer und Jahreszeit potenzieller Reflexionen abgeschätzt werden (der Abstand zwischen zwei Markierungspunkten einer Tagesganglinie entspricht 6 Minuten). Sofern es auf konkrete Uhr- und Jahreszeiten oder die jeweilige Dauer potenzieller Reflexion ankommt, erlauben die Datentabellen eine noch genauere Ermittlung.

Die Höhenwinkel zwischen Betrachtungsort und Anlagenpunkt können in aller Regel mehr oder weniger variieren, je nach konkreter Augenhöhe von Piloten, im Anflugkorridor (Beispielsskizze Abbildung 9) oder über der Rollbahn.

Um die gesamte Bandbreite möglicher Cockpithöhen über einer Landebahn zu berücksichtigen, werden Höhen zwischen 3 m und 9 m angesetzt, über der Landungsschwelle zwischen 6 m und 24 m. Innerhalb der Anflugkorridore ergeben sich die Höhen aus den zulässigen Höhenabweichungen vom jeweiligen Leitstrahl.

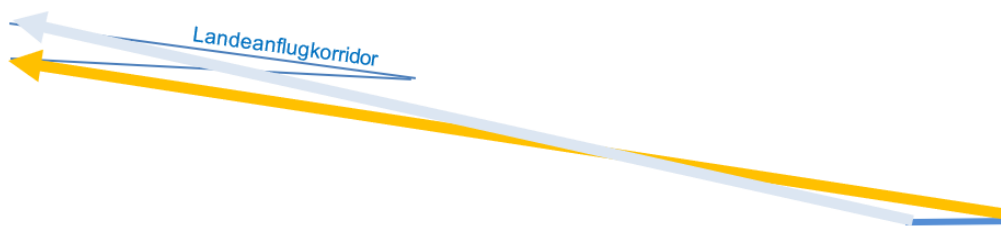


Abbildung 9: Beispiel für Bandbreite im Anflugkorridor

In den Reflexionsdiagrammen werden deshalb mit „min“ und „max“ die sich ergebenden Höhenwinkel bezeichnet, um die mögliche Spanne als Worstcase zu berücksichtigen.

5.1.2 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 eine potenzielle Gefährdung darstellen (s. Abschnitt 3.1).

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.



5.2 VLP Strausberg

5.2.1 Flugrichtung Nordost

Zwischen dem Verkehrslandeplatz Strausberg und der geplanten Anlage liegt die Hügellinie „Schwarze Berge“ mit Höhen von über 120 m üNN, wie das Höhenprofil in Abbildung 10 verdeutlicht.

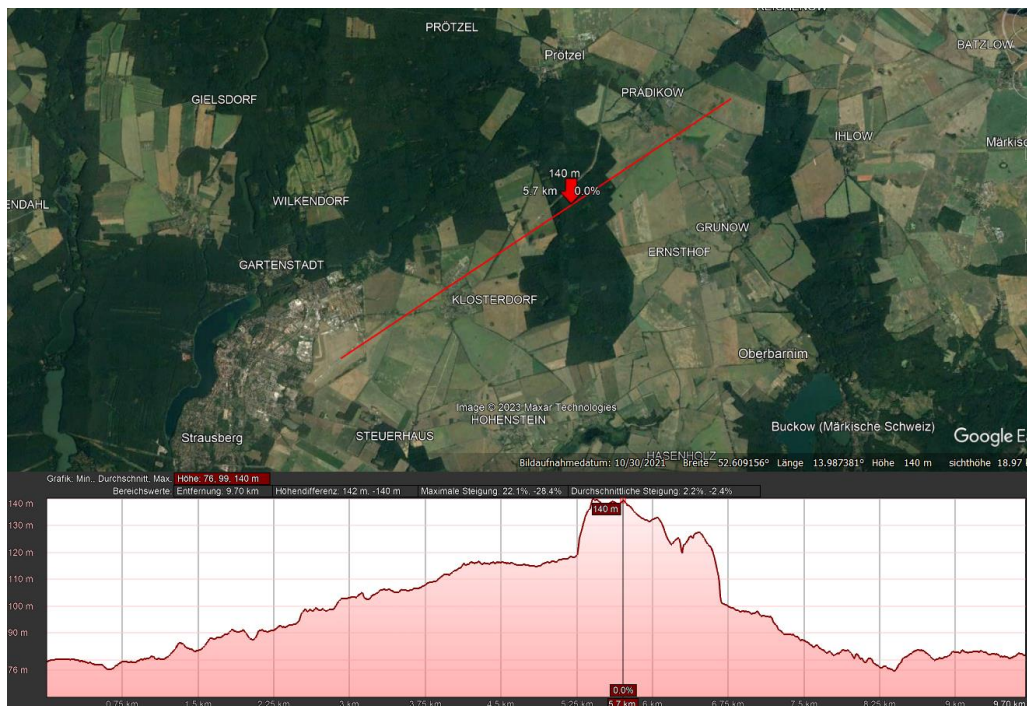


Abbildung 10: Höhenprofil der Verbindungsline zwischen dem VLP Strausberg und der geplanten Anlage

Damit erübrigen sich Berechnungen für das Geschehen auf der Start- und Landebahn und für Landeanflüge aus südwestlicher Richtung.

Bei Abflügen in nordöstlicher Richtung besteht die Abschirmung gegenüber möglichen Reflexionen mindestens bis zum Erreichen von 40 m Höhe gegenüber der Startbahn, womit jegliche Irritationen beim Abheben ausgeschlossen sind. Im weiteren Verlauf des Abflugs sind vom Boden kommende Reflexionen in keiner Weise mehr störend, da sie nicht anders als Reflexionen von Wasseroberflächen wirken.

5.2.2 Flugrichtung Südwest

In 10 km Abstand zur Landungsschwelle 23 auf einem Leitstrahl mit 3° Sinkflugwinkel ergibt sich das Reflexionsdiagramm in Abbildung 11 für Umrandungspunkte der Gesamtanlage unter der Annahme reiner Südausrichtung aller Modultische mit 20° Neigung.

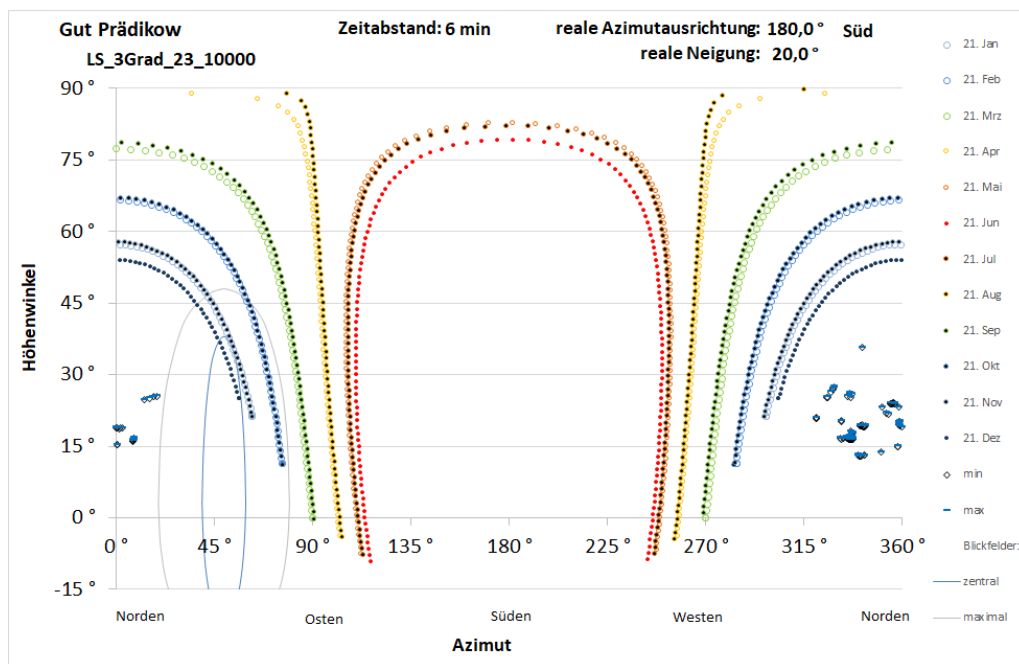


Abbildung 11: Reflexionsdiagramm für Umrandungspunkte der Gesamtanlage und einen Piloten auf einem Leitstrahl mit 3° Sinkflugwinkel in 10 km Abstand zur Landungsschwelle 23 unter der Annahme einer Südausrichtung aller Modultische mit 20° Neigung

Der blau und grau umrandete Bereich kennzeichnet dabei diejenigen Richtungen, aus denen Reflexionen kommen müssten, um in das zentrale oder maximale Blickfeld, das in Kapitel 3.1 beschrieben ist, von Piloten zu gelangen. Damit zeigt das Diagramm zum einen, dass die Gesamtanlage, unabhängig von möglichen Modulausrichtungen, außerhalb des Blickfeldes von Piloten liegt, und dass zum anderen bei Südausrichtung aller Tische, also einschließlich derer im südlichen Teilfeld, die ohnehin nicht südlich ausgerichtet werden, auch keinerlei Reflexionsrichtungen zum betrachteten Punkt möglich sind. Ein abweichender Neigungswinkel von 25° ändert hieran nichts.

In Abbildung 12 werden noch die sich für West- und Ostausrichtung ergebenden Diagramme dargestellt, die zeigen, dass bei einer West-Ost-Ausrichtung zwar Reflexionen zum untersuchten Punkt gerichtet sein können, in keinem der Fälle aber auch nur das maximale Blickfeld von Piloten betroffen sein kann. Ein alternativer Neigungswinkel von 10° ändert an diesem Ergebnis nichts.

Anhand des Reflexionsdiagramms für Südausrichtung, das das Verhältnis von Blickfeldern zu Anlagenrandpunkten klarer erkennen lässt, wird in Abbildung 13 gezeigt, dass nur an der äußersten Nordflanke des zulässigen Korridors um den Leitstrahl ein kleiner Teil der Anlage in das maximale Blickfeld hineinragen kann.

Von diesem Tischbereich können allerdings sowohl bei West- als auch bei Ostausrichtung Reflexionen zum untersuchten Punkt an der Nordflanke des Landekorridors gerichtet sein, wie die Diagramme in Abbildung 14 zeigen.

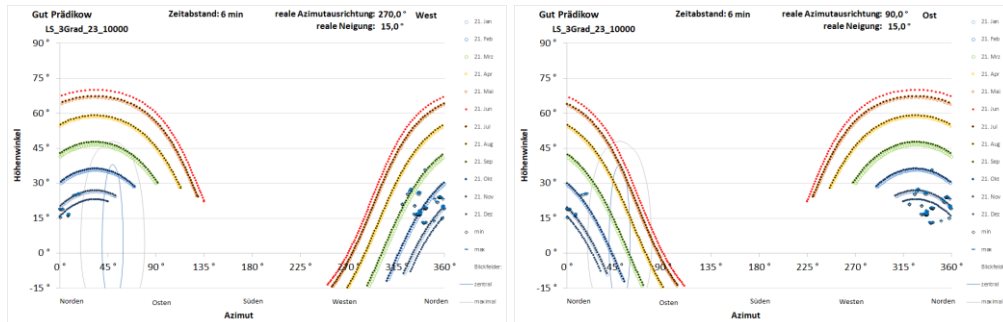


Abbildung 12: Reflexionsdiagramme für Umrandungspunkte der Gesamtanlage und einen Piloten auf einem Leitstrahl mit 3° Sinkflugwinkel in 10 km Abstand zur Landungsschwelle 23 unter der Annahme einer West- (links) und einer Ostausrichtung (rechts) aller Modultische mit 15° Neigung

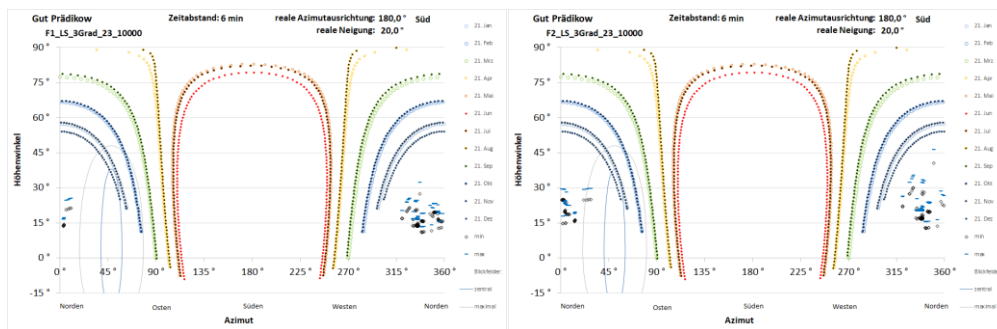


Abbildung 13: Reflexionsdiagramme für Umrandungspunkte der Gesamtanlage und einen Piloten an der südlichen (links) und nördlichen (rechts) Flanke des zulässigen Korridors um einen Leitstrahl mit 3° Sinkflugwinkel in 10 km Abstand zur Landungsschwelle 23 unter den Annahmen Südausrichtung und 20° Neigung

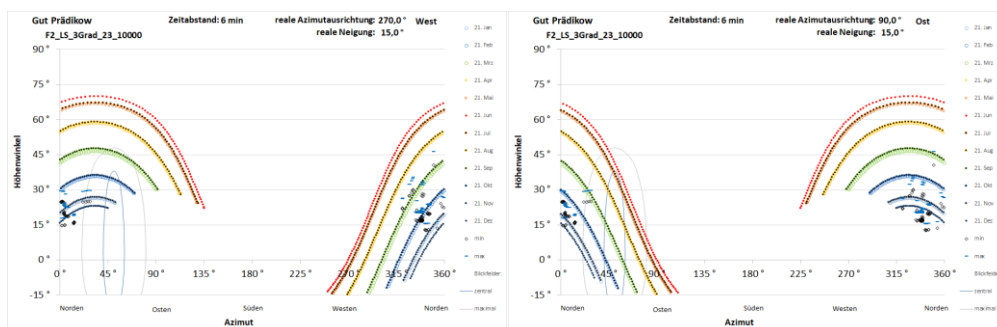


Abbildung 14: Reflexionsdiagramme für Umrandungspunkte der Gesamtanlage und einen Piloten an der nördlichen Flanke des zulässigen Korridors um einen Leitstrahl mit 3° Sinkflugwinkel in 10 km Abstand zur Landungsschwelle 23 unter der Annahme einer West- (links) und einer Ostausrichtung (rechts) aller Modultische mit 15° Neigung



Diese möglichen Reflexionen werden im Folgenden auf potenzielle Sichtbeeinträchtigungen von Piloten hin genauer untersucht. Die Untersuchung ergibt, dass der seitliche Abstand zur Blickachse mindestens 22° beträgt und die reflektierende Fläche im Blickfeld von Piloten maximal eine Winkelhöhe von $0,43^\circ$ einnehmen kann. Außerdem kann von den Reflexionen der westlich ausgerichteten Module mit 15° Neigung an Pilotenaugen maximal eine Beleuchtungsstärke von 1.100 lx bewirkt werden bei gleichzeitiger Beleuchtung senkrecht von der Sonne bestrahlter Objekte von 28.500 lx. Von den östlich ausgerichteten Modulen mit 15° Neigung liegen beide Werte mit 2.000 lx und 63.000 lx höher.

Bei einer alternativen Modulneigung von nur 10° ändern sich nur die resultierenden Beleuchtungsstärken zu 1.100 lx / 37.000 lx (West 10°) und 2.000 lx / 61.000 lx (Ost 10°)

Da die jeweilige Betroffenheit in unterschiedlichen Monaten auftritt, können die Reflexionen sich nicht additiv verstärken.

Im weiteren Verlauf des Anflugs vergrößert sich der Abstand zur Blickachse noch, sodass keine potenziell reflektierenden Modultische mehr darin auftreten.

5.3 SLP Neuhardenberg

5.3.1 Anflug aus Westen auf Landebahn 08

Bereits 15 km vor der Landungsschwelle 08 befindet sich die geplante Anlage mit mehr als 37° Abstand zur Blickachse weit außerhalb des maximalen Blickfeldes von Piloten.

5.3.2 Flugrichtung 26

Beim Anflug aus östlicher Richtung ergibt sich auf einem Leitstrahl mit 3° Sinkflug 3 km vor der Landungsschwelle 26 unter Annahme reiner Südausrichtung und 20° Neigung sämtlicher Tische das Reflexionsdiagramm in Abbildung 15. Es zeigt, dass mögliche Reflexionen bis in den Rand des zentralen Blickfeldes von Piloten hineinragen können, was eine genauere Analyse erfordert.

Diese Analyse ergibt, dass Reflexionen ausschließlich von Sonnenständen unter $4,5^\circ$ ausgehen können, was bedeutet, dass die Sone mit ihrer eigenen Blendwirkung direkt über der potenziell reflektierenden Fläche steht und damit eine eigenständige Blendwirkung der schwächeren Reflexionen ausschließt. Hinzukommt, dass die Winkelhöhe der möglichen Reflexion im Blickfeld eine maximale Größe von $0,03^\circ$ nicht überschreiten kann.

Im Falle eines Neigungswinkels von 25° liegen maximale Sonnenstände bei bis zu $5,7^\circ$, was im Ergebnis aber noch nichts ändert.

Bei Annahme einer West-Ost-Ausrichtung aller Tische und 15° Neigung ergeben sich die Reflexionsdiagramme in Abbildung 16.

Hier können keinerlei Reflexionen auf Pilotenaugen treffen, abgesehen davon, dass die Flächengröße im Blickfeld sich auch nicht ändert. Eine Prüfung des alternativen Neigungswinkels von 10° zeigt zwar



mögliche Reflexionen der östlich ausgerichteten Module, die aber die selbe geringfügige Winkelhöhe im Blickfeld einnehmen.

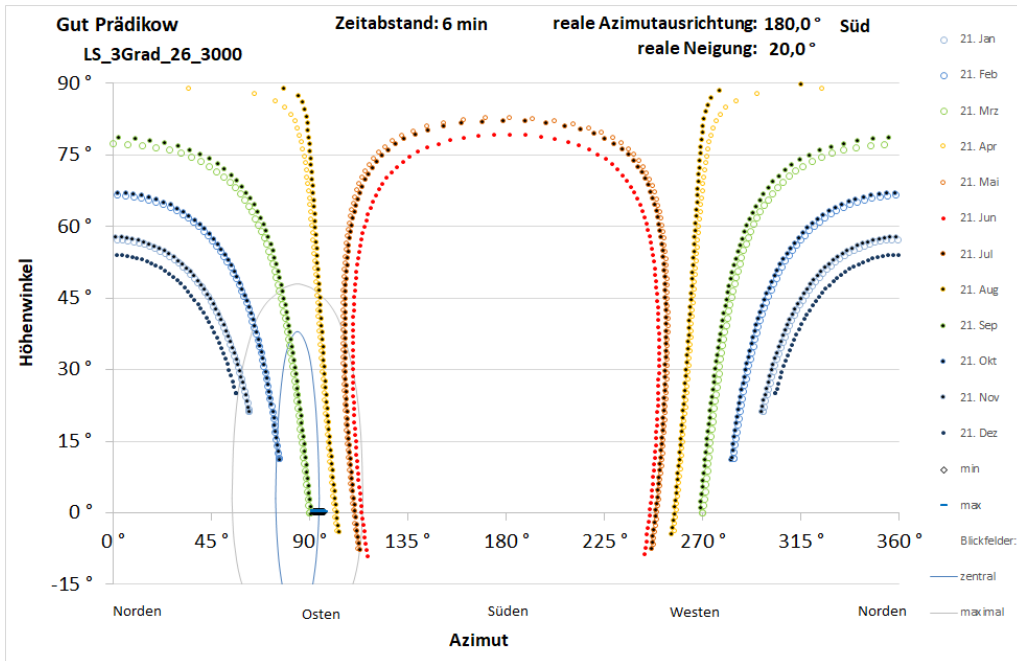


Abbildung 15: Reflexionsdiagramm für Umrandungspunkte der Gesamtanlage und einen Piloten auf einem Leitstrahl mit 3° Sinkflugwinkel in 3 km Abstand zur Landungsschwelle 26 unter der Annahme einer Südausrichtung aller Modultische mit 20° Neigung

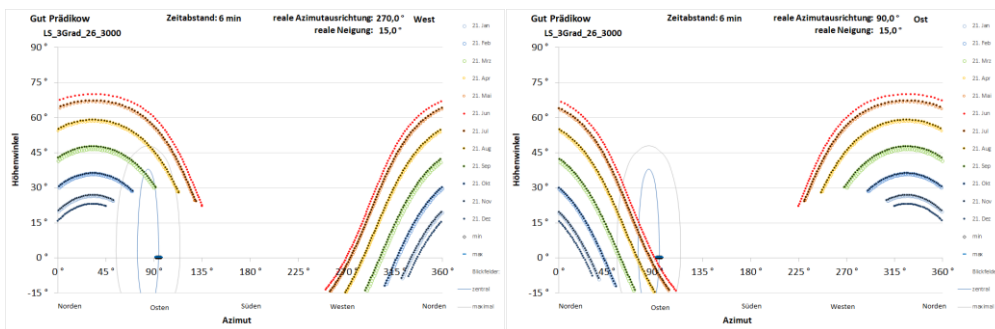


Abbildung 16: Reflexionsdiagramme für Umrandungspunkte der Gesamtanlage und einen Piloten auf einem Leitstrahl mit 3° Sinkflugwinkel in 3 km Abstand zur Landungsschwelle 26 unter der Annahme einer West- (links) und einer Ostausrichtung (rechts) aller Modultische

Beim weiteren Anflug ändern sich die Reflexionsrichtungen nicht, nur der Abstand zwischen Blickachse und Modulfeld vergrößert sich sowie die sichtbare Winkelhöhe im Blickfeld, beides zunächst in sehr geringem Umfang. Für die West-Ost-Ausrichtungen mit 15° Neigung bedeutet dies jedenfalls, dass von ihnen auch weiterhin keine Reflexionen zu Piloten gerichtet sein können.



Als nächstes wird ein Pilot über der Landungsschwelle betrachtet am Beispiel einer Südausrichtung mit 20° Neigungswinkel im Diagramm Abbildung 17. Abweichungen durch einen steileren Neigungswinkel von 25° werden ergänzend erwähnt.

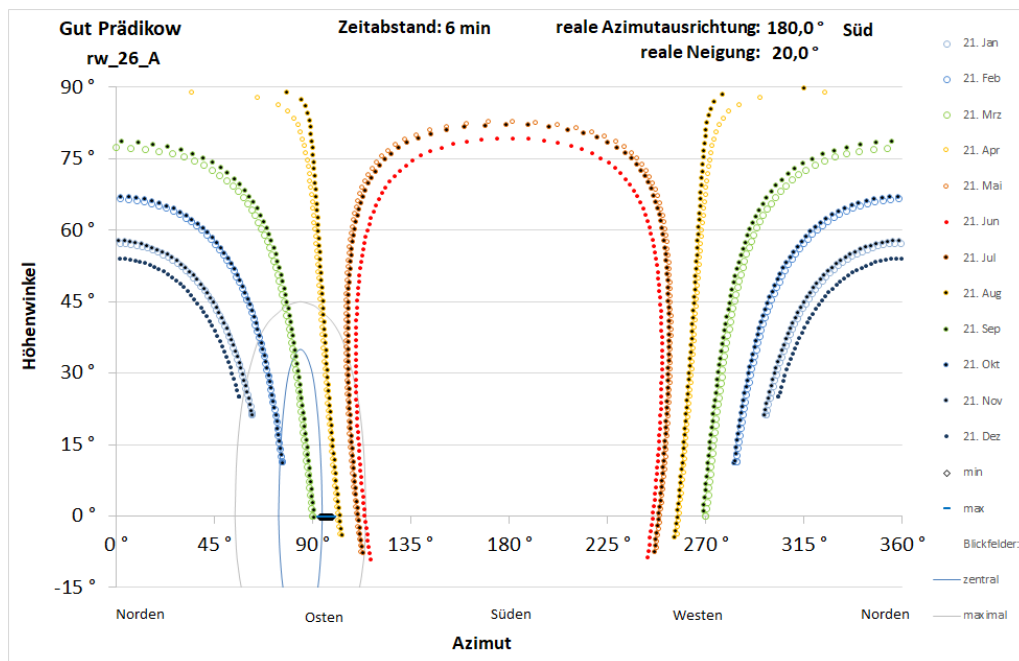


Abbildung 17: Reflexionsdiagramm für Umrandungspunkte der Gesamtanlage und einen Piloten über der Landungsschwelle 26 unter der Annahme einer Südausrichtung aller Modultische mit 20° Neigung

Mit 9,2° Abstand zur Blickachse reichen hier potenzielle Reflexionen immer noch in den Rand des zentralen Blickfeldes hinein, aber sie gehen noch immer von möglichen Sonnenständen von unter 5,7° aus, was eine eigenständige Blendung neben der direkt darüberstehenden Sonne ausschließt. Bei einer alternativen Modulneigung von 25° treten Reflexionen von Sonnenständen über 6° zwar auf, aber erst mit Abständen zur Blickachse von über 13,6° und mit im Blickfeld eingenommenen Winkelhöhen von maximal 0,01°.

Von östlich ausgerichteten Modulen mit der alternativ zu prüfenden Neigung von 10° gehen potenzielle Reflexionen sämtlich von Sonnenständen über 6° aus, wobei ihre Winkelhöhe im Blickfeld aber 0,02° nicht übersteigen.

Bis zum Ende der Start- und Landebahn 26 vergrößert sich der Minimalabstand möglicher Reflexionen von der Blickachse auf 11°, so dass das zentrale Blickfeld nicht mehr betroffen ist. Reflexionen, die von Sonnenhöhen über 6° ausgehen, beginnen bei der Standardneigung von 20° für Südausrichtung sogar erst ab 15,3° Abstand zur Blickachse und bei 25° Neigung bei 13,7°. Östlich ausgerichtete Module mit 10° Neigung können im gesamten Bereich ab 11° Abstand zur Blickachse Sonnenstände über 6° zum untersuchten Punkt reflektieren.



In allen Fällen übersteigt aber die Winkelhöhe im Blickfeld $0,04^\circ$ nicht.

Für einen Abflug von der Startbahn 26 ergibt sich auf einem Leitstrahl mit $2,4^\circ$ Steigwinkel nach 1 km für südlich ausgerichtete Module mit Standardneigung 20° das Diagramm in Abbildung 18.

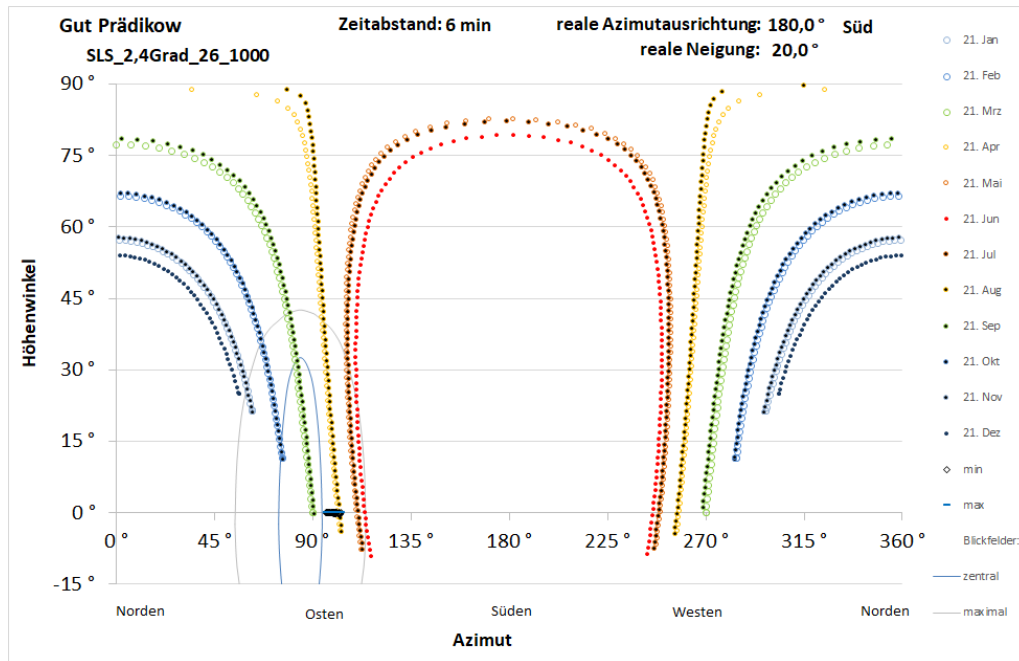


Abbildung 18: Reflexionsdiagramm für Umrandungspunkte der Gesamtanlage und einen Piloten 1 km hinter der Startbahn 26 auf einem Startleitstrahl mit $2,4^\circ$ Steigwinkel unter der Annahme einer Südausrichtung aller Modultische mit 20° Neigung

Reflexionen von Sonnenständen über 6° beginnen mit 15° Abstand zur Blickachse und nehmen im Blickfeld keine Winkelhöhe von mehr als $0,03^\circ$ ein.

Andere Modulorientierungen (Süd 25° bzw. Ost 10°) ändern an dieser Größe im Blickfeld nichts.

Nach einem weiteren Kilometer auf diesem Abflugleitstrahl ergibt sich für südlich ausgerichtete Module mit Standardneigung 20° das Diagramm in Abbildung 19. Der Mindestabstand zwischen Blickachse und Modultischen beträgt bereits 13° und die von den Reflexionen im Blickfeld eingenommene Winkelhöhe überschreitet $0,05^\circ$ nicht. Die Flughöhe beträgt bereits 116 m üNN.

Im weiteren Verlauf des Fluges entfernt sich die Anlage zunehmend von der Blickrichtung. Das Augenmerk der Piloten konzentriert sich auf den Luftraum und von unten kommende mögliche Reflexionen wirken nicht anders als solche von Gewässern.

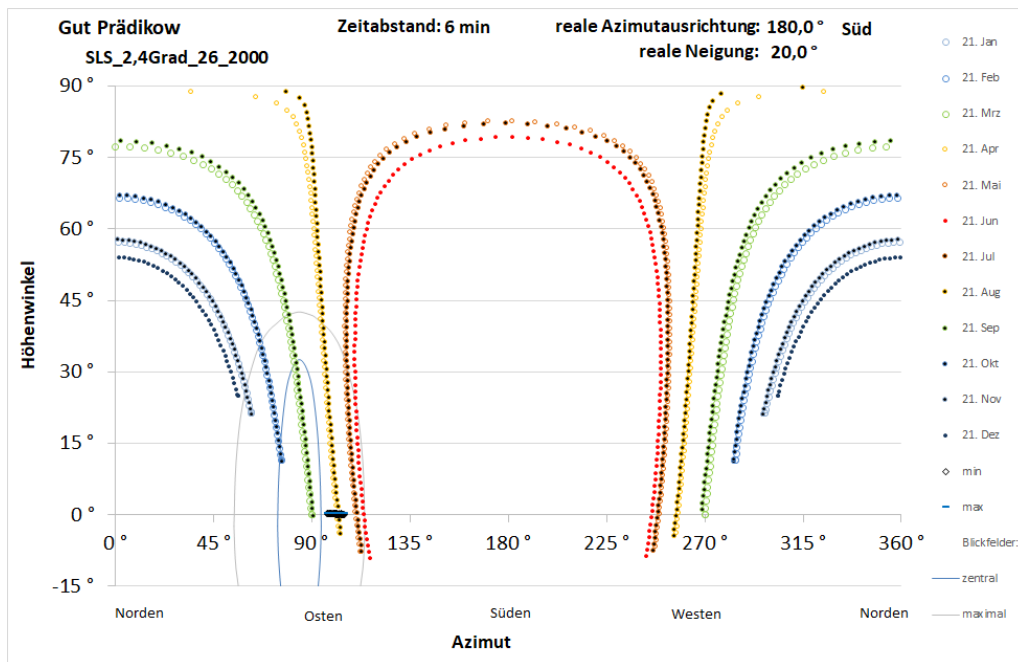


Abbildung 19: Reflexionsdiagramm für Umrandungspunkte der Gesamtanlage und einen Piloten 2 km hinter der Startbahn 26 auf einem Startleitstrahl mit 2,4° Steigwinkel unter der Annahme einer Südausrichtung aller Modultische mit 20° Neigung

5.4 Gut Prädikow

Eine ergänzende Abschätzung für das Wohnhaus vom Gut Prädikow, das der Anlage am nächsten gelegen ist, ergibt, dass von westlich und südlich ausgerichteten Modulen Reflexionen in den Sommermonaten für maximal 5 Minuten täglich auf das Haus gerichtet sein können.



6 Bewertung der Ergebnisse

6.1 Generelle Vorbemerkungen

6.1.1 Reflexionen von niedrigen Sonnenständen

Wenn die Sonne niedriger als 6° über dem Horizont steht und an flach geneigten Flächen reflektiert wird, dann liegen aus Betrachtersicht reflektierende Fläche und Sonne sehr dicht beieinander (Abstandswinkel im niedrigen einstelligen Bereich, in aller Regel unter 3°). Befinden sich nun die Sonne selbst und ihre Reflexion im Blickfeld, so überstrahlt die Sonne die naturgemäß deutlich schwächere Reflexion derartig, dass die Reflexion keine eigenständige Blendwirkung ausüben kann.

Deshalb werden generell Reflexionen von Sonnenständen unter 6° – unabhängig von ihrer Lage im Blickfeld – als nicht blendrelevant betrachtet.

6.1.2 Reflexionen bei gleichbleibender oder steigender Flughöhe

Bei gleichbleibender Flughöhe wirken vom Boden kommende Reflexionen von nicht konzentrierenden Solaranlagen in keiner Weise mehr störend als Reflexionen von Wasseroberflächen. Das Gleiche gilt nach Abheben von der Startbahn und Erreichen des freien Luftraums.

6.2 Verkehrslandeplatz Strausberg

6.2.1 Flugrichtung 05

Es wird festgestellt, dass die Hügelkette „Schwarze Berge“ zwischen der geplanten Anlage und dem VLP Strausberg jedwede möglichen Reflexionen der Anlage derartig abschirmt, dass der Flugplatz selbst, von Südwesten kommende Anflüge und Startvorgänge nach Nordost nicht beeinträchtigt werden können.

6.2.2 Flugrichtung 23

Für den Landeanflugkorridor aus Nordosten wird festgestellt, dass von südlich ausgerichteten Modultischen keinerlei Reflexionen auf Piloten gerichtet sein können.

Von west- und östlich ausgerichteten Modultischen auf einer kleinen Teilfläche, die im Blickfeld Winkelhöhen von maximal $0,43^\circ$ einnehmen kann, können 10 km vor der Landungsschwelle noch Reflexionen zur Nordflanke des zulässigen Anflugkorridors gerichtet sein. Mit Mindestabständen zur Blickachse von Piloten von 22° können sie dort zu Beleuchtungsstärken von maximal 2.000 lx führen, bei gleichzeitiger Beleuchtung senkrecht von der Sonne bestrahlter Objekte von mindestens 61.000 lx.



Eine derart kleinflächige Reflexion am äußeren Rand des maximalen Blickfeldes stellt keinerlei Beeinträchtigung für Piloten dar und im weiteren Verlauf des Anfluges ist der gesamte Bereich des maximalen Blickfeldes frei von jeglichen Reflexionen.

6.2.3 Zusammenfassende Bewertung

Die geplante Anlage kann zu keinen Blendrisiken in den An- und Abflugkorridoren führen, unabhängig davon, welche Teilflächen mit südlich ausgerichteten Modultischen mit Neigungen zwischen 20° und 25° oder west-östlich ausgerichteten mit Neigungen zwischen 10° und 15° belegt werden.

6.3 Sonderlandeplatz Neuhardenberg

Für Anflüge aus Westen auf die Landebahn 08 wird festgestellt, dass die geplante Anlage schon 15 km vor der Landungsschwelle vollständig weit außerhalb des maximalen Blickfeldes von Piloten liegt.

Für die Flugrichtung 26 aus Osten wird festgestellt, dass weder westlich noch östlich ausgerichtete Module mit 15° Neigung zu irgendwelchen Reflexionen im Blickfeld von Piloten führen können.

Lediglich von südlich ausgerichteten Modulen und von östlich ausgerichteten mit 10° Neigung können Reflexionen in das Blickfeld von Piloten aus Osten gerichtet sein.

Dabei treten Reflexionen mit Winkelhöhen im Blickfeld von maximal 0,04° auf, was keinerlei Sichtbeeinträchtigung zur Folge haben kann. Bei einem Startvorgang in westlicher Richtung vergrößert sich der Mindestabstand zwischen Blickachse und potenziell blendrelevanten Reflexionen stetig und bis zu einer Flughöhe von 116 m üNN überschreitet die Winkelhöhe der Reflexionen 0,05° nicht.

Damit bergen mögliche Reflexionen aller untersuchten Modulorientierungen keinerlei Blendrisiken für Piloten.

6.4 Gut Prädikow

Eine überschlägige Prüfung ergibt eine mögliche Betroffenheit von Reflexionen südlich und westlich gerichteter Module in den Sommermonaten, die maximal 5 Minuten andauern kann.

Eine Beeinträchtigung ergibt sich hieraus nicht.



7 Verwendete Materialien

7.1 Dokumente vom Auftraggeber

- ▶ Teilfeldabgrenzungen als Datei Bebaubarer_Bereich_PV_Gut_Prädikow.dxf
- ▶ Gesamtfläche als Datei Geltungsbereich_PV_Gut_Prädikow.dxf
- ▶ Belegungsplan der südlichen Teilflächen als Datei RatedPower-pv_behnen_15m-02-LAYOUT_3D.dwg

7.2 Literatur

- ▶ 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; <http://www.lai-immissionsschutz.de/servlet/is/20170/Hinweise%20zur%20Messung%20Beurteilung%20und%20Minderung%20von%20Lichtimmissionen.pdf?command=downloadContent&filename=Hinweise%20zur%20Messung%20Beurteilung%20und%20Minderung%20von%20Lichtimmissionen.pdf>
- ▶ 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



8 *Abbildungsverzeichnis*

Abbildung 1: Lage der geplanten Anlage (blau eingekreist) und der beiden Landeplätze (rot umkreist); Hintergrundkarte entnommen dem Brandenburgviewer © GeoBasis-DE/LGB (2023).....	4
Abbildung 2: Gegenstände auf der Sichtachse zur Blendquelle sind nicht mehr wahrnehmbar.....	6
Abbildung 3: Blickfelder von 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	8
Abbildung 4: Auswirkung des Einfallwinkels auf den Transmissionsgrad für Modulgläser	10
Abbildung 5: Belegungsflächen der späteren Gesamtanlage, rot schraffiert in West-Ost-Bauweise, magenta schraffiert in West-Ost-Bauweise oder mit Südausrichtung	12
Abbildung 6: Darstellung des Reflexionsstrahls anhand von Azimut und Höhenwinkel wie im Reflexionsdiagramm verwendet und Beschreibung des Abstandswinkels zwischen Blickrichtungen zur Sonne und zum Reflexionspunkt.....	13
Abbildung 7: Reflexionsdiagramme aus Sicht eines beliebigen potenziellen Reflexionspunktes der mit 20° Planneigung (links) und alternativ 25° (rechts) nach Süden ausgerichteten Module am Standort der Anlage; waagrecht aufgetragen sind die Azimutwinkel von Norden (0°) über Osten (90°), Süden (180°) nach Westen (270°), senkrecht die Höhenwinkel.....	14
Abbildung 8: Reflexionsdiagramme aus Sicht eines beliebigen potenziellen Reflexionspunktes der mit 15° Planneigung (obere Zeile) und alternativ 10° (untere Zeile) nach Westen (links) bzw. nach Osten (rechts) ausgerichteten Module am Standort der Anlage	14
Abbildung 9: Beispiel für Bandbreite im Anflugkorridor	15
Abbildung 10: Höhenprofil der Verbindungslinie zwischen dem VLP Strausberg und der geplanten Anlage	16
Abbildung 11: Reflexionsdiagramm für Umrandungspunkte der Gesamtanlage und einen Piloten auf einem Leitstrahl mit 3° Sinkflugwinkel in 10 km Abstand zur Landungsschwelle 23 unter der Annahme einer Südausrichtung aller Modultische mit 20° Neigung.....	17
Abbildung 12: Reflexionsdiagramme für Umrandungspunkte der Gesamtanlage und einen Piloten auf einem Leitstrahl mit 3° Sinkflugwinkel in 10 km Abstand zur Landungsschwelle 23 unter der Annahme einer West- (links) und einer Ostausrichtung (rechts) aller Modultische	18
Abbildung 13: Reflexionsdiagramme für Umrandungspunkte der Gesamtanlage und einen Piloten an der südlichen (links) und nördlichen (rechts) Flanke des zulässigen Korridors um einen Leitstrahl mit 3° Sinkflugwinkel in 10 km Abstand zur Landungsschwelle 23 unter der Annahme einer Südausrichtung aller Modultische	18



- Abbildung 14: Reflexionsdiagramme für Umrandungspunkte der Gesamtanlage und einen Piloten an der nördlichen Flanke des zulässigen Korridors um einen Leitstrahl mit 3° Sinkflugwinkel in 10 km Abstand zur Landungsschwelle 23 unter der Annahme einer West- (links) und einer Ostausrichtung (rechts) aller Modultische mit 10° Neigung..... 18
- Abbildung 15: Reflexionsdiagramm für Umrandungspunkte der Gesamtanlage und einen Piloten auf einem Leitstrahl mit 3° Sinkflugwinkel in 3 km Abstand zur Landungsschwelle 26 unter der Annahme einer Südausrichtung aller Modultische mit 20° Neigung..... 20
- Abbildung 16: Reflexionsdiagramme für Umrandungspunkte der Gesamtanlage und einen Piloten auf einem Leitstrahl mit 3° Sinkflugwinkel in 3 km Abstand zur Landungsschwelle 26 unter der Annahme einer West- (links) und einer Ostausrichtung (rechts) aller Modultische 20
- Abbildung 17: Reflexionsdiagramm für Umrandungspunkte der Gesamtanlage und einen Piloten über der Landungsschwelle 26 unter der Annahme einer Südausrichtung aller Modultische mit 20° Neigung 21
- Abbildung 18: Reflexionsdiagramm für Umrandungspunkte der Gesamtanlage und einen Piloten 1 km hinter der Startbahn 26 auf einem Startleitstrahl mit 2,4° Steigwinkel unter der Annahme einer Südausrichtung aller Modultische mit 220° Neigung 22
- Abbildung 19: Reflexionsdiagramm für Umrandungspunkte der Gesamtanlage und einen Piloten 2 km hinter der Startbahn 26 auf einem Startleitstrahl mit 2,4° Steigwinkel unter der Annahme einer Südausrichtung aller Modultische mit 20° Neigung 23

9 Tabellenverzeichnis



Tabelle 1: Menschliches Gebrauchsblickfeld (vertikal positiv ist oben, negativ unten)8