

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

► ***Kogel - Leizen***

*Analyse der Reflexionswirkungen einer
Photovoltaikanlage*

Auftraggeber:

Solarpark KS-MV GmbH & Co. KG
Herr Günter Schmarje
Krischanweg 8b
18069 Rostock

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: 23.05.2019

Projektnummer: P19171/v.1



Inhalt

1	Zweck und Gegenstand des Gutachtens	3
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 Autobahn A 19	13
5	Berechnungen	14
5.1	Methodik der Berechnung	14
5.1.1	Geometrische Aspekte.....	14
5.1.2	Lichttechnische Aspekte.....	17
5.2	Eingrenzung potenziell relevanter Reflexionsrichtungen	17
5.3	Detailuntersuchung zum verbleibenden Azimutbereich	21
6	Bewertung der Ergebnisse	22
7	Verwendete Materialien.....	23
7.1	Dokumente vom Auftraggeber	23
7.2	Literatur.....	23
8	Abbildungsverzeichnis.....	24
9	Tabellenverzeichnis	26



1 Zweck und Gegenstand des Gutachtens

Es soll untersucht werden, ob von den Modulen der geplanten Photovoltaikanlage Kogel-Leizen beiderseits der Autobahn A 19 Sonnenlicht auf die Autobahn reflektiert werden kann und ob dadurch gegebenenfalls störende Blendwirkungen auftreten können. Die Lage der geplanten Anlage sowie der Autobahn ist in Abbildung 1 zu erkennen.



Abbildung 1: Lage der geplanten Anlage (schwarz) und der Autobahn A 19 (blau/lila, in Google Earth gelb) auf Hintergrund von Google Earth Pro

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 und unter Zuhilfenahme von Google Earth Pro.





2 Zusammenfassung der Ergebnisse

Es wird festgestellt, dass keinerlei Blendrisiken durch Reflexionen der geplanten Anlage bestehen können.

Zusätzliche Blendschutzmaßnahmen sind damit nicht erforderlich.



3 Einleitung

Der vorliegende Bericht enthält vertrauliche Informationen. Der Bericht dient nur zur Vorlage bei den finanzierenden Banken, beim Anlagenerrichter bzw. dessen Rechtsnachfolger, beim Auftraggeber sowie zur Klärung genehmigungsrechtlicher Fragen bei den entsprechenden Behörden. Darunter fällt auch die Weitergabe des Berichts als Bestandteil des B-Planes 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 Leuchtdichte-Verteilungen 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, 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	$\pm 9^\circ - \pm 10^\circ$	$+25^\circ, -35^\circ$
maximal	Blickfeld	$\pm 30^\circ$	$+30^\circ, -45^\circ$

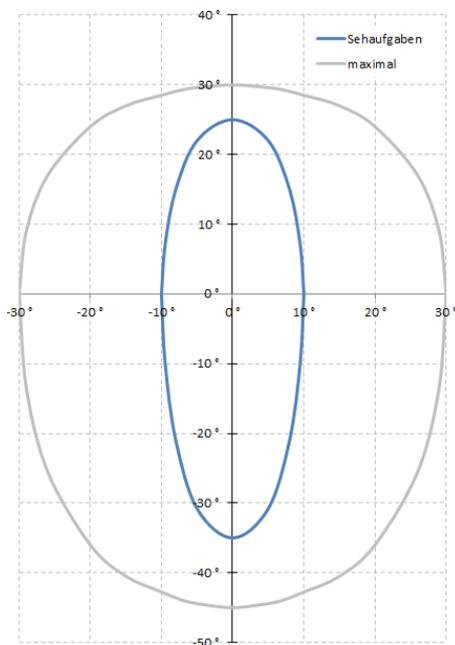


Abbildung 3: Blickfelder von Tabelle 1; der Achsenschnittpunkt $0^\circ/0^\circ$ stellt dabei einen Punkt auf der Blickachse dar, auf den die Augen fokussieren, und nicht notwendigerweise einen Punkt auf dem Horizont

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 eingestrahnten sichtbaren Lichtes reflektiert werden.

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

⁵ Empfehlungen der Strahlenschutzkommission 2006

⁶ Fischbach u.a. 2014

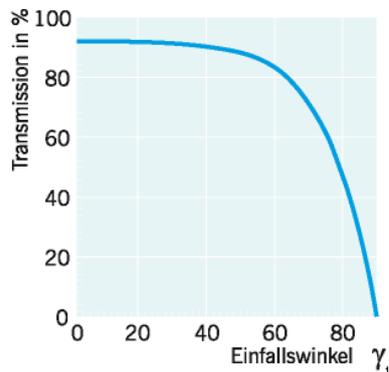


Abbildung 4: Auswirkung des Einfallswinkels auf den Transmissionsgrad für Modulgläser

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

Laut Belegungsplan soll die Anlage genau südlich ausgerichtet werden. Allerdings scheint diese Ausrichtung anhand eines rechtwinkligen Gitters orientiert zu sein, das nur am Mittelmeridian auch genau nach geografisch Nord ausgerichtet ist. Für Sonnenstands- und Reflexionsberechnungen ist aber die genaue Ausrichtung nach geografisch Nord erforderlich. Diese Ausrichtung nach geografisch Nord bietet Google Earth und deshalb wurden der Belegungsplan ebenso wie die Höhenlinien dieser Ausrichtung durch Drehung um $-2,3^\circ$ angepasst. Das Ergebnis ist in Abbildung 5 dokumentiert.

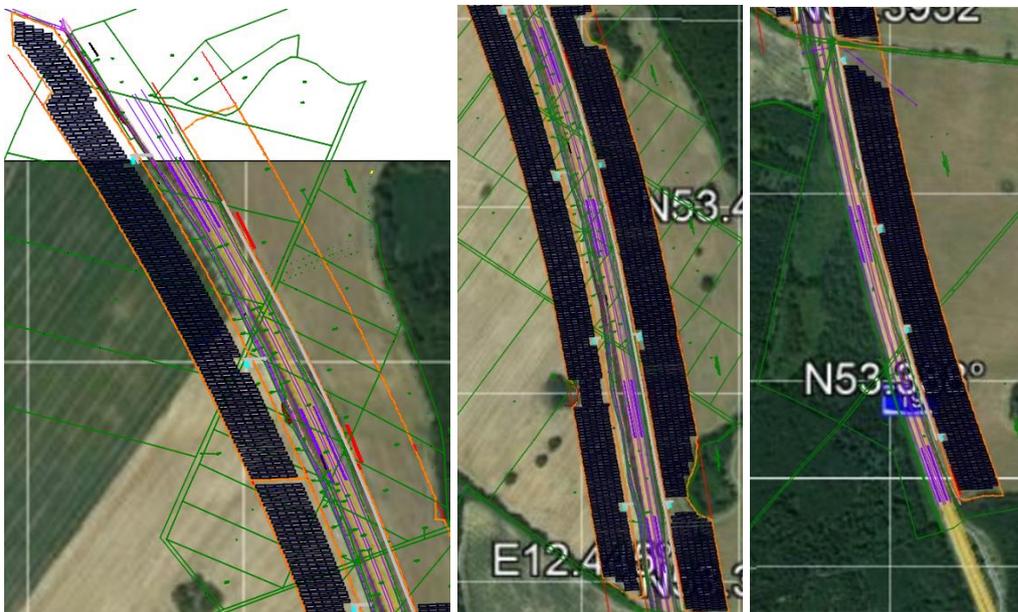


Abbildung 5: Lage der Modultischreihen (schwarz) an Google Earth angepasst anhand des Autobahnverlaufs; links: nördlicher Anlagenteil; Mitte: mittlerer Anlagenbereich mit Modulreihen beidseits der Autobahn; rechts: südlicher Anlagenteil

Die Neigung der Modultische nach Süden soll nach Plan 20° betragen, die Modultischunterkante liegt bei 90 cm über dem Gelände und die Oberkante bei 2,22 m, wie der Systemschnitt in Abbildung 6 zeigt.

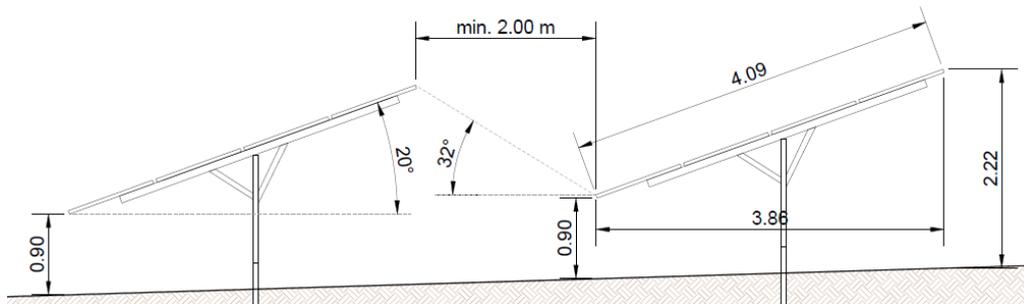


Abbildung 6: Seitlicher Schnitt durch eine Modultischreihe

Das Gelände ist aber nicht eben, wie die Höhenlinien im 0,5-m-Abstand in Abbildung 7 verdeutlichen.

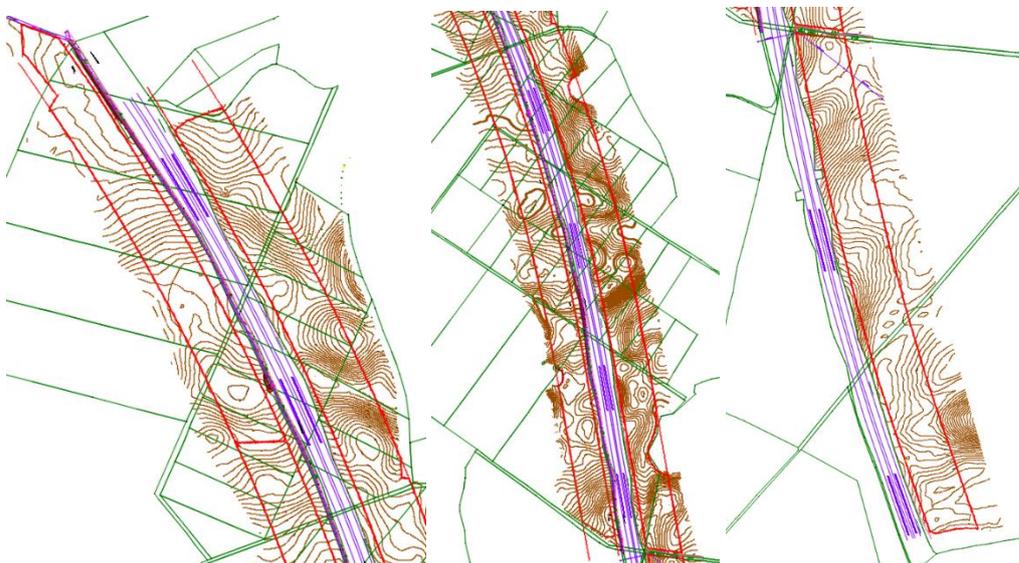


Abbildung 7: Höhenlinien im 0,5-m-Abstand (braun); links: nördlicher Anlagenbereich; Mitte: mittlerer Anlagenbereich beidseits der Autobahn; rechts: südlicher Anlagenbereich

Bei hangparalleler Bauweise ändert sich je nach West-Ost-Steigung bzw. -Gefälle des Untergrunds eines Modultisches vor allem die Ausrichtung der reflektierenden Ebene und in geringerem Maße auch ihre Neigung.

Westlich der Autobahn variiert die west-östliche Tischneigung zwischen einem Gefälle von $-2,7^\circ$ und einer Steigung von $6,0^\circ$. Daraus ergeben sich reale solare Ausrichtungen / Neigungen von $-9,6^\circ / 20,2^\circ$ bis $+13,8^\circ / 20,7^\circ$.

Östlich der Autobahn variiert die west-östliche Tischneigung zwischen einem Gefälle von $-8,2^\circ$ und einer Steigung von $7,8^\circ$. Daraus ergeben sich reale solare Ausrichtungen / Neigungen von $-23,9^\circ / 21,4^\circ$ bis $+18,5^\circ / 21,3^\circ$. Tabelle 2: enthält die sich ergebenden Extremfälle in zusammengefasster Darstellung.



Tabelle 2: Extremwerte der auftretenden Ebenenorientierung

	West-Ost-Neigung	Reale Ausrichtung	Reale Neigung
Maximales Tischgefälle Westseite	-2,7°	-9,6°	20,2°
Maximale Tischsteigung Westseite	6,0°	+13,8°	20,7°
Maximales Tischgefälle Ostseite	-8,2°	-23,9°	21,4°
Maximale Tischsteigung Ostseite	7,8°	+18,5°	21,3°

Die Geländehöhen variieren im westlichen Anlagenteil zwischen 88 m ü. NN im Norden und 115 m ü. NN im Süden. Im östlichen Anlagenteil variieren Die Höhen zwischen 98 m ü. NN im Süden und 113 m ü. NN im nördlichen Viertel.

4.2 Die Autobahn A 19

Die Autobahn A 19 verläuft von Süd-Südost in einer schwach ausgeprägten S-Kurve nach Nord-Nordwest. Die Blickrichtung hat aus Süden kommend am Beginn der Anlage einen Azimut von 340,2°, im Bereich der sanften S-Kurve maximal einen Azimut von 350,2° und am Ende der Anlage einen Azimut von 327,9°. Ihre Höhe beginnt im Süden der Anlage mit 102 m ü. NN. Sie steigt dann an bis auf 110 m ü. NN am südlichen Ende des westlichen Anlagenteils und fällt dann wieder ab auf 93 m ü. NN am nördlichen Ende der Anlage.



5 Berechnungen

5.1 Methodik der Berechnung

5.1.1 Geometrische Aspekte

Zunächst wird eine Aufstellung mit sämtlichen Sonneneinfallswinkeln im Jahresverlauf am Standort zwischen Kogel und Leizen (geografische Länge $12,4^\circ$, Breite $53,4^\circ$) in 6-minütiger Auflösung für 12 Tage im Jahr erstellt (jeweils der 21. jeden Monats)⁷ und die sich daraus ergebenden Reflexionsrichtungen werden 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 wiederum anschaulich in einem Diagramm darstellen, das über dem Horizont, aus Sicht eines beliebigen Reflexions- oder potenziellen Blendpunktes heraus, alle möglichen Reflexionsrichtungen durch die Koordinaten Azimut- und Höhenwinkel beschreibt (siehe Abbildung 8). Mögliche Abweichungen der realen Reflexionen von den ideal gerichteten (durch Bündelauflerung oder Versatz) werden im Rahmen der Einzelberechnungen und -bewertungen bei Bedarf durch Sicherheitszuschläge abgeschätzt.

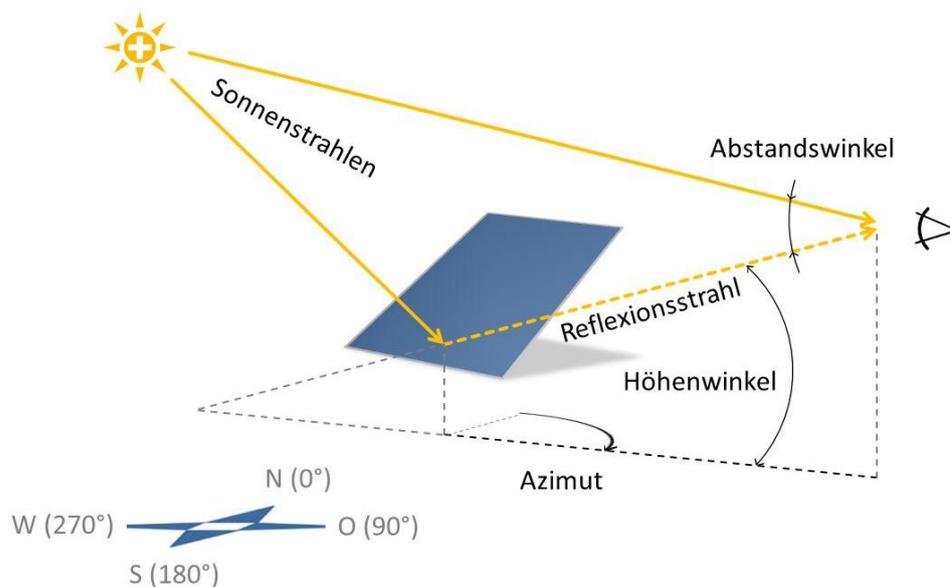


Abbildung 8: Darstellung des Reflexionsstrahls anhand von Azimut und Höhenwinkel wie im Reflexionsdiagramm verwendet und Beschreibung des Abstandswinkels zwischen Blickrichtungen zur Sonne und zum Blendpunkt

⁷ Berechnung nach Eicker 2001



Ebenfalls in Abbildung 8 ist der Abstandswinkel zwischen den Blickrichtungen zur Sonne und zum Blendpunkt beschrieben.

Für einen beliebigen Punkt waagrecht stehenden Modultisches mit einer Ausrichtung von $-2,3^\circ$ und 20° Neigung ergibt sich so das in Abbildung 9 dokumentierte Reflexionsdiagramm.

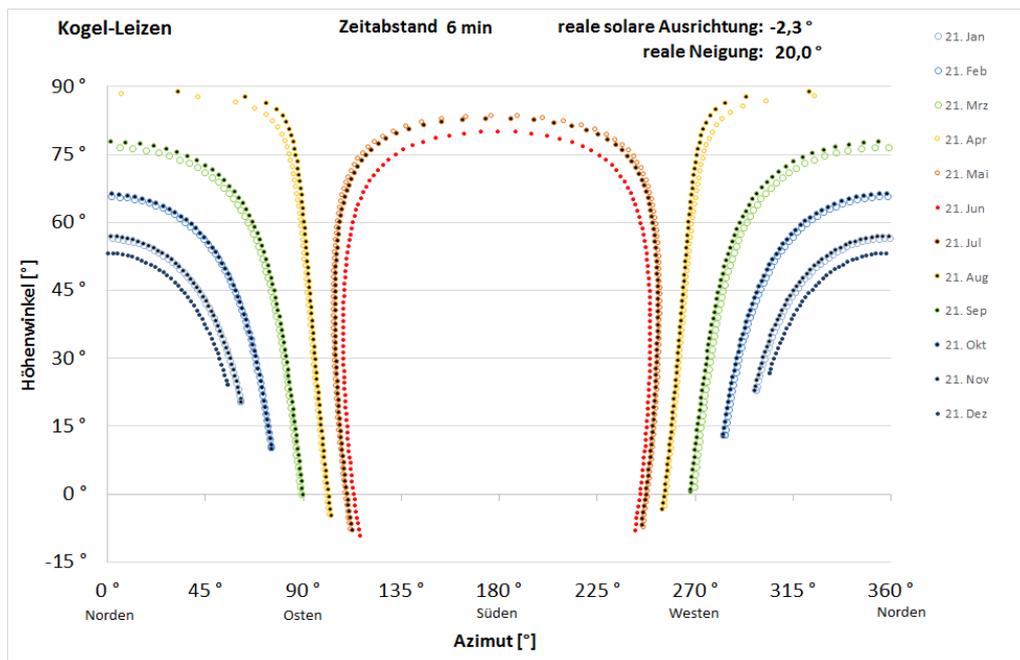


Abbildung 9: Reflexionsdiagramm aus Sicht eines beliebigen potenziellen Blendpunktes eines waagrecht stehenden modultisches mit einer Ausrichtung von $-2,3^\circ$ und einer Modulneigung von 20° am Standort der Anlage; waagrecht aufgetragen sind die Azimutwinkel von Norden (0°) über Osten (90°), Süden (180°) nach Westen (270°), senkrecht die Höhenwinkel

Wie in Abschnitt 4.1 beschrieben stehen keineswegs alle Modultische waagrecht und es ergeben sich hangbedingt große Unterschiede in der realen Ausrichtung und Neigung der reflektierenden Ebene. Die Auswirkung auf die zugehörigen Reflexionsdiagramme werden im Folgenden für den westlichen (Abbildung 10) und den östlichen Anlagenteil Abbildung 11 jeweils an den Extremwerten dargestellt.

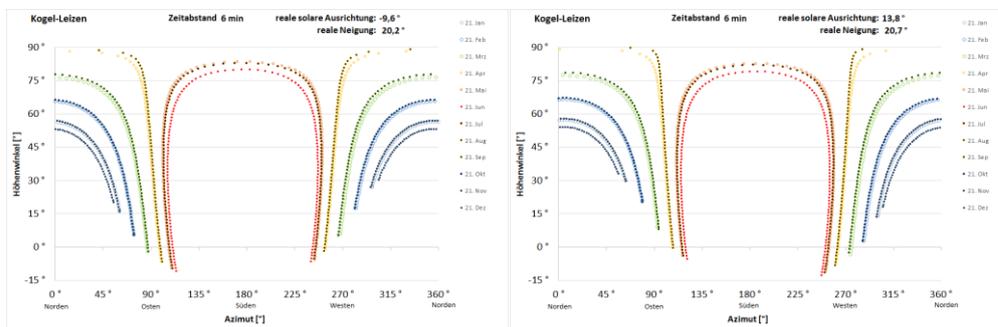


Abbildung 10: Reflexionsdiagramme für maximales West-Ost-Gefälle eines Modultischs des westlichen Anlagenteils (links) und für maximale Steigung (rechts)

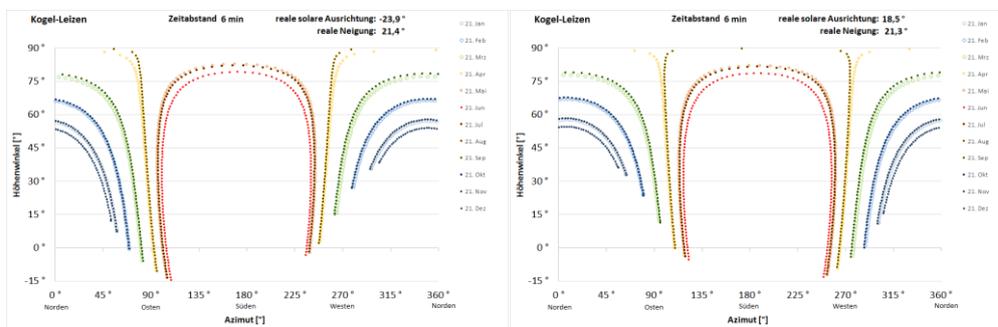


Abbildung 11: Reflexionsdiagramme für maximales West-Ost-Gefälle eines Modultischs des östlichen Anlagenteils (links) und für maximale Steigung (rechts)

Liegt ein Blickpunkt innerhalb des betroffenen Bereichs (d.h. zwischen den Kurven für den 21. Juni und den 21. Dezember oder darüber) im Reflexionsdiagramm, so kann anhand des Diagramms die Dauer und Jahreszeit potenzieller Reflexionen abgeschätzt werden (der Abstand zwischen zwei Markierungspunkten eines Tages 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, z.B. je nachdem, ob es sich bei Verkehrsteilnehmern um PKW- oder LKW-Fahrer handelt.

Abbildung 12 verdeutlicht dies skizzenhaft: Maximale Höhenwinkel ergeben sich zu höchstmöglichen Fahreraugen in großen LKW und minimale Höhenwinkel zu Fahreraugen in niedrigen PKW. Bei allen Berechnungen für den Straßenverkehr wird die minimale Augenhöhe mit 1 m über der Fahrbahn angesetzt und die maximale mit 3 m.

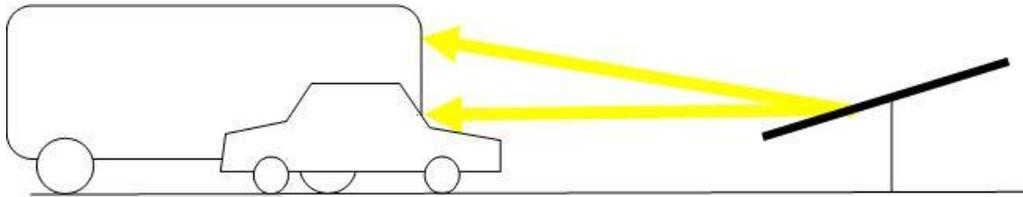


Abbildung 12: Beispiel für Bandbreite möglicher Höhenwinkel

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

5.1.2 Lichttechnische Aspekte

Das Verhältnis der Beleuchtungsstärken – einerseits verursacht durch Sonnenlichtreflexionen der zu prüfenden Anlage – andererseits verursacht durch direktes, gestreutes oder diffus reflektiertes Licht – am menschlichen Auge 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 4.2 für die Bedingungen von klarem Himmel verwendet, um sicherheitshalber den für Blendung ungünstigsten Fall zu betrachten.

5.2 Eingrenzung potenziell relevanter Reflexionsrichtungen

Allen möglichen Reflexionsdiagrammen ist gemeinsam, dass mit kleiner werdenden Höhenwinkeln die Azimutbereiche der möglichen Reflexionen stärker eingeschränkt sind. Durch Bestimmung der maximal möglichen Höhenwinkel von einem potenziellen Blendpunkt zu einem möglichen Blickpunkt kann somit der Bereich potenziell störender Reflexionen eingegrenzt werden. Die größtmöglichen Höhenwinkel ergeben sich dort, wo die Fahrbahn am weitesten oberhalb des Anlagengeländes liegt zusammen mit der geringstmöglichen Entfernung. Am höchsten liegt die Fahrbahn mit 102 m ü. NN im Süden der Anlage über dem Gelände, das dort eine Höhe von nur 98 m ü. NN aufweist. Die maximale Augenhöhe liegt hier bei 105 m ü. NN und damit um 6,1 m über der niedrigsten Modulunterkante bei 98,9 m ü. NN. Die Module haben einen Mindestabstand zur Fahrbahn von 25 m. Am Rand des zentralen Blickfeldes 10° rechts zur Blickrichtung beträgt damit der Mindestabstand zwischen Blick- und Blendpunkt etwa 140 m und am Rand des maximalen Blickfeldes 30° rechts zur Blickachse 43 m. Daraus errechnet sich für den Rand des zentralen Blickfeldes ein maximal möglicher Höhenwinkel von 2,5° und für den Rand des maximalen Blickfeldes ein maximal möglicher Höhenwinkel von 8,1°.

Wie in Abschnitt 4.2 dargelegt variiert die Blickrichtung von Verkehrsteilnehmern, die aus Süden kommen, auf der Autobahn A 19 im Bereich der Anlage nur zwischen 327,9° und 350,2° Azimut. In der Gegenrichtung variiert die Blickrichtung dementsprechend zwischen 147,9° und 170,2°. Das



zentrale Blickfeld bis 10° rechts und links der Blickrichtung, in dem Reflexionen hauptsächlich kritisch sein können, liegt somit stets zwischen $317,9^\circ$ und $360,2^\circ$ ($= 0,2^\circ$) bzw. zwischen $137,9^\circ$ und $180,2^\circ$. Das maximale Blickfeld variiert entsprechend zwischen $297,9^\circ$ und $380,2^\circ$ ($= 20,2^\circ$) bzw. zwischen $117,9^\circ$ und $200,2^\circ$.

Trägt man diese Informationen grafisch in das Reflexionsdiagramm für das maximale Tischgefälle der östlichen Anlage ein, so erhält man Abbildung 13 und sieht, dass weder das zentrale noch das maximale Blickfeld in einer der beiden Fahrtrichtungen betroffen sein kann.

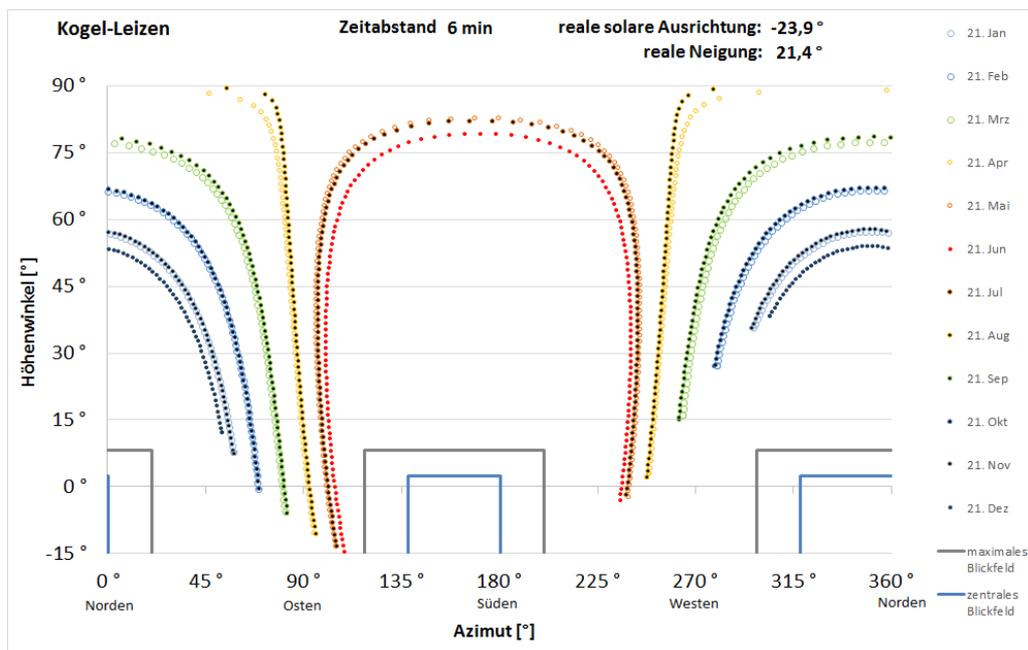


Abbildung 13: Reflexionsdiagramm für das maximale West-Ost-Tischgefälle des östlichen Anlagenteils und maximal mögliche Bereiche von zentralem und maximalem Blickfeld von Fahrzeugführern auf der gesamten Strecke und für beide Fahrtrichtungen

Ähnliches zeigt sich für die maximale West-Ost-Tischsteigung des östlichen Anlagenteils in Abbildung 14, wenn man bedenkt, dass nur westwärts gerichtete Reflexionen, die also Azimutwinkel größer 180° aufweisen, überhaupt zur Autobahn gerichtet sein können.

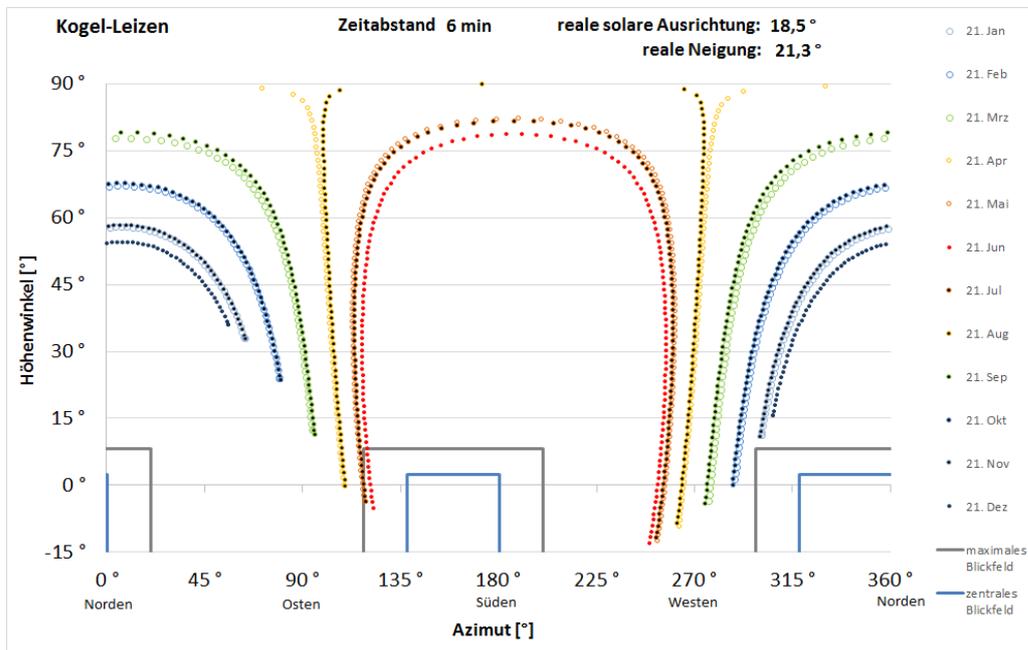


Abbildung 14: Reflexionsdiagramm für die maximale West-Ost-Tischsteigung des östlichen Anlagenteils und maximal mögliche Bereiche von zentralem und maximalem Blickfeld von Fahrzeugführern auf der gesamten Strecke und für beide Fahrtrichtungen

Für das maximale West-Ost-Tischgefälle des westlichen Anlagenteils ergibt sich Abbildung 15. Auch hier sind weder das zentrale noch das maximale Blickfeld in irgendeiner Weise betroffen.

Lediglich für das Reflexionsdiagramm für die maximale West-Ost-Tischsteigung des westlichen Anlagenteils ergibt sich in Abbildung 16, dass zwar sicher das zentrale Blickfeld nicht betroffen sein kann, aber eine Betroffenheit am Rand des maximalen Blickfeldes kann hier noch nicht ausgeschlossen werden.

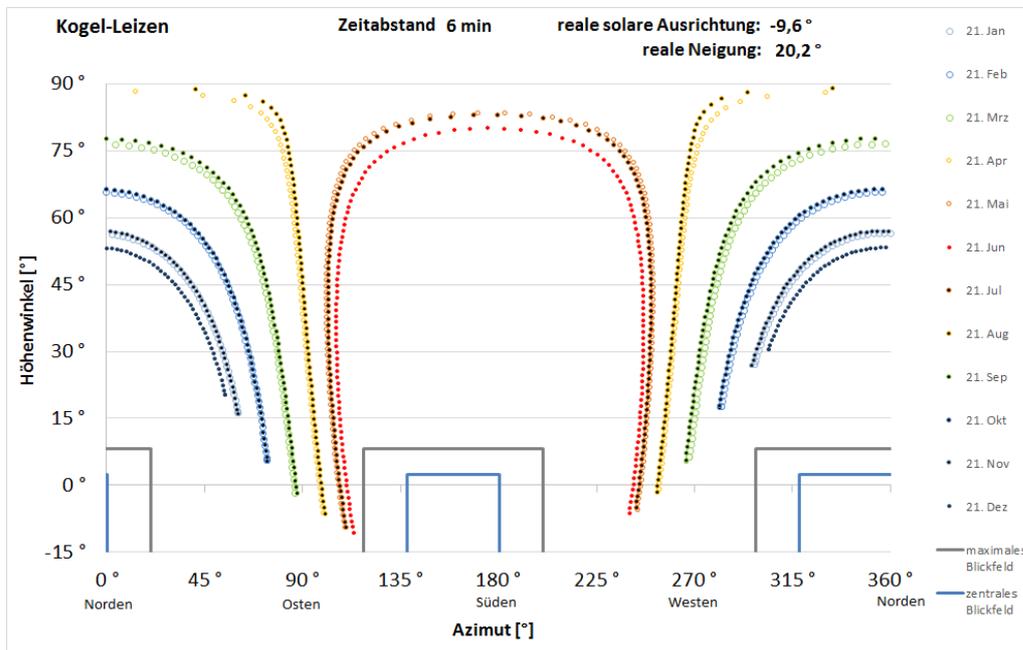


Abbildung 15: Reflexionsdiagramm für das maximale West-Ost-Tischgefälle des westlichen Anlagenteils und maximal mögliche Bereiche von zentralem und maximalem Blickfeld von Fahrzeugführern auf der gesamten Strecke und für beide Fahrrichtungen

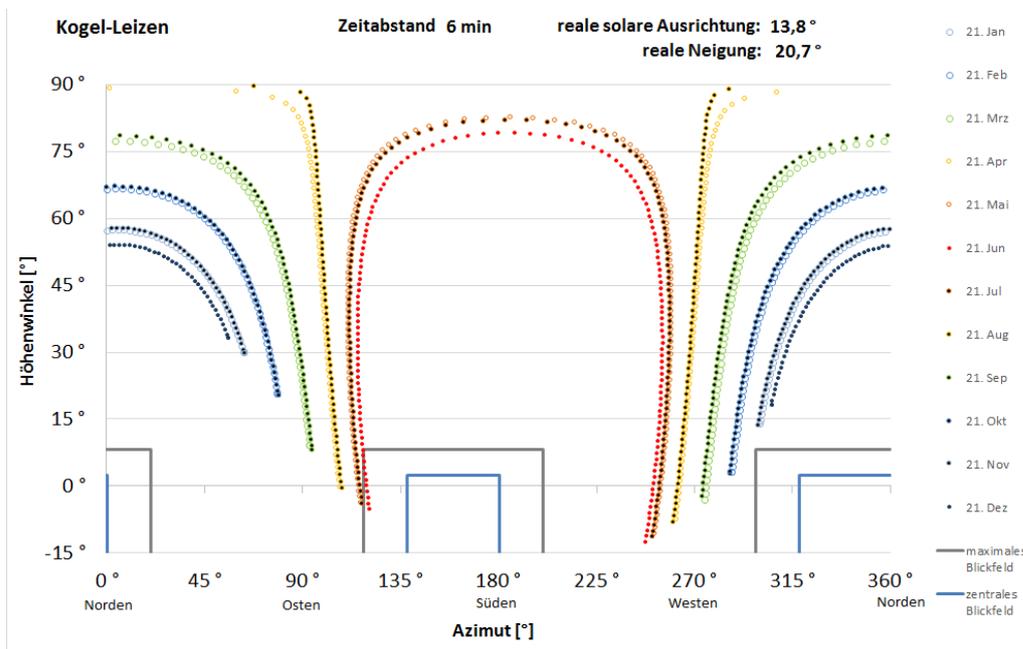


Abbildung 16: Reflexionsdiagramm für die maximale West-Ost-Tischsteigung des westlichen Anlagenteils und maximal mögliche Bereiche von zentralem und maximalem Blickfeld von Fahrzeugführern auf der gesamten Strecke und für beide Fahrrichtungen



5.3 Detailuntersuchung zum verbleibenden Azimutbereich

Nach den zuvor durchgeführten Berechnungen verbleibt nur noch ein kleiner Azimutbereich, in dem am Rand des maximalen Blickfeldes Reflexionen von Tischen des westlichen Anlagenteils mit starker West-Ost-Steigung auftreten können. Bei der stärksten Tischsteigung, die zu einer solaren Ausrichtung von $13,8^\circ$ führt, treten östlich gerichtete bodennahe Reflexionen am Ende des 21. Juni mit Azimutwinkeln von höchstens 121° auf. Sie können damit nur bis zu einer Blickrichtung von 331° im Randbereich des maximalen Blickfeldes auftreten, der bis 301° reicht. Wie in Abschnitt 4.2 dargelegt, liegt die Blickrichtung aus Süden kommender Verkehrsteilnehmer zu Beginn der Anlage bei $340,2^\circ$ und wendet sich im weiteren Verlauf nach Norden hin zunächst zu noch größeren Azimutwinkeln von bis zu $350,2^\circ$. Am nördlichen Ende des östlichen Anlagenteils liegt die Blickrichtung noch bei 339° . Erst ab der 70. Reihe des westlichen Anlagenteils, von Norden gezählt, wendet sich die Blickrichtung zu Werten unter 331° . In Abbildung 17 ist dieser Punkt mit Blickrichtung und Blickfeldabgrenzungen dargestellt.

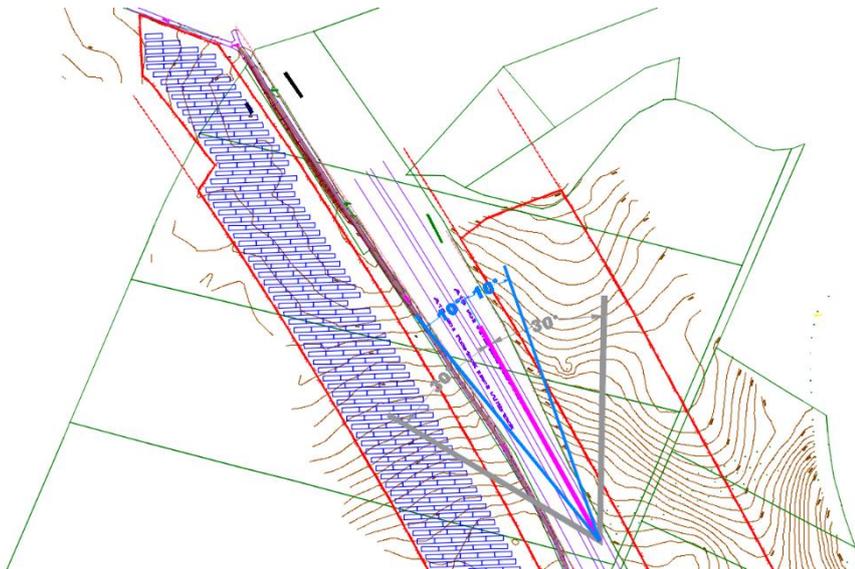


Abbildung 17: Nördlichster Anlagenbereich und Blickrichtung von 331° (lila) mit Abgrenzung des zentralen (blau) und maximalen Blickfeldes (grau)

In dem von hier an sichtbaren Anlagenbereich treten aber keine starken West-Ost-Steigungen der Tische mehr auf, so dass auch in diesem Bereich das gesamte maximale Blickfeld frei von Reflexionen ist.

6 *Bewertung der Ergebnisse*



Es wird festgestellt, dass keine Reflexionen der geplanten Anlage in das maximale Blickfeld von Verkehrsteilnehmern gerichtet sein können. Damit besteht keinerlei Blendrisiko und zusätzliche Blendschutzmaßnahmen sind nicht erforderlich.



7 *Verwendete Materialien*

7.1 *Dokumente vom Auftraggeber*

- ▶ Belegungsplan mit vermessenen Höhen als Datei „Baugenehmigung Kogel + Leizen.dwg“
- ▶ Fahrbahnhöhen als Datei „Bestand A19 km29-32.pdf“

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 5034-2:1985-02 Tageslicht in Innenräumen; Grundlagen



8 *Abbildungsverzeichnis*

Abbildung 1: Lage der geplanten Anlage (schwarz) und der Autobahn A 19 (blau/lila, in Google Earth gelb) auf Hintergrund von Google Earth Pro	3
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: Lage der Modultischreihen (schwarz) an Google Earth angepasst anhand des Autobahnverlaufs; links: nördlicher Anlagenteil; Mitte: mittlerer Anlagenbereich mit Modulreihen beidseits der Autobahn; rechts: südlicher Anlagenteil.....	11
Abbildung 6: Seitlicher Schnitt durch eine Modultischreihe.....	12
Abbildung 7: Höhenlinien im 0,5-m-Abstand (braun); links: nördlicher Anlagenbereich; Mitte: mittlerer Anlagenbereich beidseits der Autobahn; rechts: südlicher Anlagenbereich.....	12
Abbildung 8: Darstellung des Reflexionsstrahls anhand von Azimut und Höhenwinkel wie im Reflexionsdiagramm verwendet und Beschreibung des Abstandswinkels zwischen Blickrichtungen zur Sonne und zum Blendpunkt.....	14
Abbildung 9: Reflexionsdiagramm aus Sicht eines beliebigen potenziellen Blendpunktes eines waagrecht stehenden modultischs mit einer Ausrichtung von $-2,3^\circ$ und einer Modulneigung von 20° am Standort der Anlage; waagrecht aufgetragen sind die Azimutwinkel von Norden (0°) über Osten (90°), Süden (180°) nach Westen (270°), senkrecht die Höhenwinkel	15
Abbildung 10: Reflexionsdiagramme für maximales West-Ost-Gefälle eines Modultischs des westlichen Anlagenteils (links) und für maximale Steigung (rechts).....	16
Abbildung 11: Reflexionsdiagramme für maximales West-Ost-Gefälle eines Modultischs des östlichen Anlagenteils (links) und für maximale Steigung (rechts).....	16
Abbildung 12: Beispiel für Bandbreite möglicher Höhenwinkel	17
Abbildung 13: Reflexionsdiagramm für das maximale West-Ost-Tischgefälle des östlichen Anlagenteils und maximal mögliche Bereiche von zentralem und maximalem Blickfeld von Fahrzeugführern auf der gesamten Strecke und für beide Fahrtrichtungen.....	18
Abbildung 14: Reflexionsdiagramm für die maximale West-Ost-Tischsteigung des östlichen Anlagenteils und maximal mögliche Bereiche von zentralem und maximalem Blickfeld von Fahrzeugführern auf der gesamten Strecke und für beide Fahrtrichtungen.....	19



- Abbildung 15: Reflexionsdiagramm für das maximale West-Ost-Tischgefälle des westlichen Anlagenteils und maximal mögliche Bereiche von zentralem und maximalem Blickfeld von Fahrzeugführern auf der gesamten Strecke und für beide Fahrtrichtungen..... 20
- Abbildung 16: Reflexionsdiagramm für die maximale West-Ost-Tischsteigung des westlichen Anlagenteils und maximal mögliche Bereiche von zentralem und maximalem Blickfeld von Fahrzeugführern auf der gesamten Strecke und für beide Fahrtrichtungen..... 20
- Abbildung 17: Nördlichster Anlagenbereich und Blickrichtung von 331° (lila) mit Abgrenzung des zentralen (blau) und maximalen Blickfeldes (grau)21

9 *Tabellenverzeichnis*



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

Tabelle 2: Extremwerte der auftretenden Ebenenorientierung.....13