Dipl.Ing.Klaus-Peter Wilke

D-82205 Gilching, 25. September 2017
Staeudlweg 7a, Germany
(0049) 81 05 - 2 31 30
e-mail: wasp-engineer@globedrivers.com

Wind And Solar Power System®

Solar Turntable
(2WAA00 AE01)

Technische Beschreibung

Version 1.5

© *2006 by Globedriver Electronics*
Alle Rechte vorbehalten

Die Weitergabe und Vervielfältigung dieses Dokuments oder von Teilen davon ist - gleich welcher Art und Weise - nur mit schriftlicher Genehmigung von Globedriver Electronics gestattet.

Technische Daten dienen nur der Produktbeschreibung und sind keine zugesicherten Eigenschaften im Rechtssinn. Änderungen - auch in technischer Hinsicht - vorbehalten.

Information zum Dokument:

Verteiler:	n.a.
Autor/Bearbeiter:	Klaus-Peter Wilke
Server\Service:	GILCH02\\
File:	technical_description_v15.doc

	erstellt	letzte Änderung	freigegeben
	von / am	von / am	von /am
Version 1.5	kwi / 10.01.2007	kwi / 10.01.2007	kwi / 10.01.2007

Abkürzungsverzeichnis:

AM - Faktor	Atmosphärenfaktor
cw	im Uhrzeigersinn (clockwise)
ccw	entgegen dem Uhrzeigersinn (counterclockwise)

Inhaltsverzeichnis:

1 EINLEITUNG 8
1.1 Grundlagen 8
1.1.1 Sonnenbahn 9
1.1.1.1 Zeitgleichung 9
1.1.1.2 Elevation und Azimuth 10
1.1.2 Fahrzeugposition und –ausrichtung 12
1.1.3 Einstrahlungswinkel Generator 12
1.1.4 Effizienz bei liegender Montage 13
1.1.5 Hinterlüftung 14
1.2 Nachführung 15
1.2.1 Stationäre Nachführungen 15
1.2.2 Nachführungen für den mobilen Einsatz 17
1.2.3 Steuerung 17
1.2.4 Handelsübliche Nachführungen 18
1.2.5 Forderungen an einen Solardrehtisch 18
2 AUFBAU DES SOLAR TURNTABLE 19
2.1 Mechanik 19
2.1.1 Solargenerator 20
2.1.2 Grundrahmen mit Antrieb 20
2.1.3 Aufstellrahmen mit Aufstellvorrichtung 21
2.1.4 Einstellung der Elevation 22
2.1.5 Nachführung des Azimut 22
2.1.6 Verriegelung in PARK-Position 22
2.1.7 Kabeldurchführung 23
2.2 Elektrik und Steuerung 23
2.2.1 Motor Control & Connector Box 23
2.2.2 Signal- und Endschalter außen 24
2.2.3 Schrittmotor 24
2.2.4 Nachführungssensor 25
2.2.5 Sensordisk und Auswerteeinheit 25
2.2.6 Main Control Box 26
2.2.7 Manual Control Box 26
2.2.8 Einschränkungen der Konstruktion 27

3 VERWENDUNG 28
3.1 Notwendiger Drehbereich 28
3.2 Fahrzeugposition und -ausrichtung 29
3.2.1 Parkplatzwahl 29
3.2.2 Abschattung 29
3.2.3 Umsetzen („rewind“) 29
3.2.4 Optimale Fahrzeugausrichtung 30
3.2.4.1 Position in gemäßigten Breiten 30
3.2.4.2 Standorte im hohen Norden oder tiefen Süden 30
3.2.4.3 Standorte zwischen den Wendekreisen 30

4 BEDIENUNG UND ANZEIGEN 32
4.1 Einstellung der Elevation 32
4.2 Manueller Betrieb 33
4.2.1 Anzeigen 33
4.3 Automatischer Betrieb 34
4.3.1 Automatikbetrieb 35
4.3.1.1 Funktion 35
4.3.1.2 Anzeige 35
4.3.2 Nachführung („TRACKING“) 36
4.3.2.1 Funktion 36
4.3.2.2 Anzeige 36
4.3.3 Automatisches Umsetzen („REWIND DAYTIME“) 37
4.3.3.1 Funktion 37
4.3.3.2 Anzeige 38
4.3.4 Umsetzen am Morgen („MORNING REWIND“) 38
4.3.4.1 Funktion 38
4.3.4.2 Anzeige 39
4.3.5 Fahren in die HOME-Position 39
4.3.5.1 Halbautomatisches HOMING 40
4.3.5.2 Funktion 40
4.3.5.3 Anzeige 40
4.3.5.4 Manuelles HOMING 40
4.3.6 Blockierter Modus („LOCKED“) 41
4.3.6.1 Funktion 41
4.3.6.2 Quittierung 41

4.3.6.3 Anzeige 41
4.3.7 Verriegelung 42

5 SOFTWARE 43

5.1 Variablendeklaration 43
5.2 PROGRAMMTEIL STT_SUB_CTRLS_Vxy 44
5.2.1 Routine STT_CONTROLS 44
5.2.2 Routine STT_ACT_TRACKING 45
5.2.3 Routine STT_ACT_HOMING 45
5.2.4 Routine STT_DAY_REWIND 45
5.2.4.1 Funktion 45
5.2.4.2 Realisierung 46
5.2.5 Routine STT_MRNG_REWIND 47
5.2.5.1 Funktion 47
5.2.5.2 Realisierung 47
5.2.6 Routine STT_AUTOMATIC 48
5.2.7 Routine STT_POSITION 48
5.2.8 Routine STT_SUPERVISION 48
5.2.9 Routinen STT_CMD_OUT, stt_meas-supply 49
5.2.10 Routine STT_WINDING 49
5.3 PROGRAMMTEIL STT_SUB_CALCS_Vxy 52
5.3.1 Routine STT_GET_OPERATION_MODE 52
5.3.2 Routine STT_TTIME_COMPARE 52
5.3.3 Routine STT_GET_NEXT_TRACKING 52
5.3.4 Routine STT_PICK_NEXT_TRACKTIME 53
5.3.5 Routine STT_CALC_START_STOPP_EFF 54
5.3.6 Routine STT_CALC_TRACKING_TIMES 54
5.3.7 Routine CALC_CONST_TRACKING_TIMES 55
5.3.8 Routine CALC_VAR_TRACKING_TIMES 56
5.3.8.1 Trackingzeiten 56
5.3.8.2 Sonnenauf- / untergangszeiten 57
5.3.8.3 Drehrichtungsbestimmung 57
5.3.8.4 Berechnungsschritte 57
5.3.9 Routine CALC_SOLAR_POS 58
5.3.10 Routine CALC_ELEVATION_OPT 58
5.3.11 Routine CALC_RESTTIME_SUNSHINE 58

5.3.12 Routine CALC_NUM_RWND_MORNG 59
5.4 PROGRAMMTEIL: TIME_SUBROUTINES_Vxy 59
5.4.1 Routine GET_TIME_DATE 59
5.4.2 Routine CONVERT_TIME_DATE 60
5.4.3 Routinen DOS2TIG, TIG2DOS 60
5.4.4 Routinen CALC_LOCAL_TIME, CALC_UTC_TIME 60
5.4.5 Routine CALC_JULIAN_DATE 60

6 SETTINGS / EINSTELLUNGEN 62

7 SICHERHEITSHINWEISE 63

8 ABBILDUNGSVERZEICHNIS: 64

9 TABELLENVERZEICHNIS: 66

10 OUTSTANDINGS 67

11 ANHANG 68
11.1 Technische DAten 68
11.2 Blockschaltbild 69
11.3 Codes für LOCK Anzeige 70
11.4 Subroutinen für STT Steuerung und ihre Hauptaufgaben 71
11.5 Settings stt_config.cfg 73
11.6 Signalliste 75

1 EINLEITUNG

Energie ist kostbar.

Besonders dann, wenn wir weitab jeder Infrastruktur unterwegs sind, dabei aber auf die Vorteile des modernen Lebens nicht verzichten wollen oder können. Denken Sie an die inzwischen alltägliche Satellitennavigation (GPS oder GALILEO), den scheinbar überflüssigen Bord-PC oder das schnelle Essen aus der Mikrowelle. Sieht man vom Treibstoffverbrauch des Fahrzeugs selbst ab, lässt sich unter normalen Umständen der gesamte Energiebedarf eines Fernreisemobils über regenerative Quellen wie Solar- oder Windenergie vollständig decken.

Voraussetzung hierfür ist allerdings nicht nur eine tadellos funktionierenden Technik, sondern auch eine gewisse *Einsicht* der Reisenden, dass die Ressourcen nicht grenzenlos zur Verfügung stehen. Zur optimalen Nutzung der vorhandenen Ressourcen kann ein „intelligentes Management“ aller Komponenten viel beitragen.

Der *Solar Turntable* 2WAA10 AE01 ist dabei ein zentraler Bestandteil des WASP® Systems zur Versorgung eines Fernreisemobils mit elektrischer Energie. Der *Solar Turntable* dient zur Ausrichtung der Solargeneratoren auf die Sonne und damit zu einer deutlich verbesserten Energiegewinnung aus Sonnenlicht. Der Energiegewinn im Vergleich zu fest montierten, waagerecht liegenden Solargeneratoren kann – je nach Reiseziel – den Einsatz einer Fotovoltaikanlage erst sinnvoll machen.

1.1 GRUNDLAGEN

Viele Besitzer moderner Reisemobile statten ihre Fahrzeuge mit Solargeneratoren aus. Meist begnügen sie sich mit einem oder zwei Paneelen, das waagerecht aufs Dach montiert werden. Bei Verwendung der gängigen Halterungen gewährleistet dies eine einfache Montage als auch die wichtige Hinterlüftung der Paneele. Unabhängig davon, in welcher Himmelsrichtung das Fahrzeug unterwes geparkt wird, garantieren flach liegende Module einen gleich bleibenden Energieertrag. Der ist allerdings oftmals weit von dem entfernt, was im Datenblatt als möglicher Ertrag angegeben ist und was der Betreiber damit stillschweigend erwartet.

Neben recht optimistischen – und zum Teil auch verwirrenden - Angaben in den Datenblättern der Generatoren liegt der reduzierte Ertrag – und damit die allzu oft leere Batterie - jedoch in der Physik der Sache.

1.1.1 Sonnenbahn

Die Sonnenbahn beschreibt den scheinbaren Lauf der Sonne über das Firmament. Sie ist eine der ältesten vermessenen Größen der Erde (Ägypter, Azteken, Kelten, Araber, Chinesen) und in zahlreichen Büchern und Tabellenwerken (Ephemeriden) auf Bruchteile von Bogensekunden genau beschrieben.

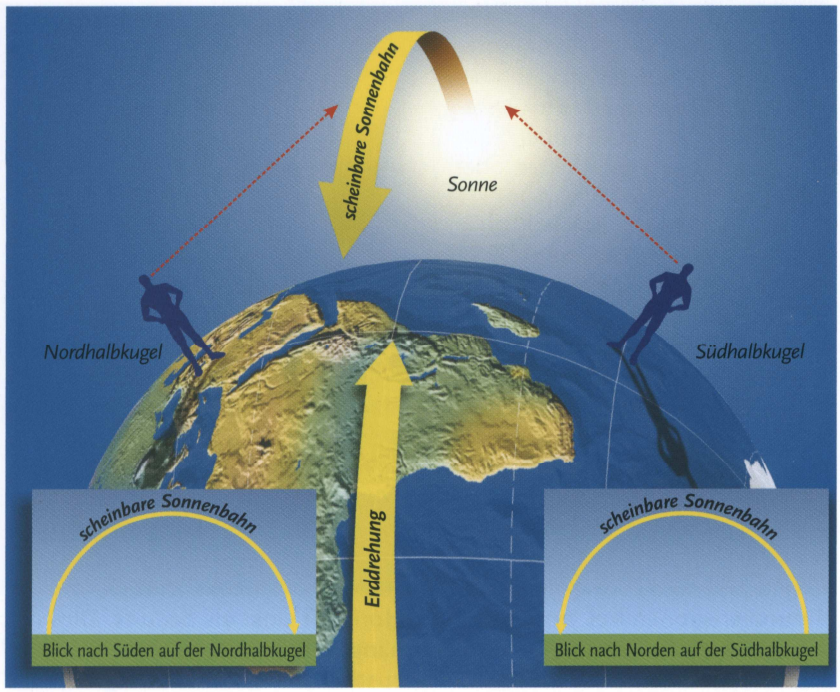


Abb. 1.1: Scheinbare Sonnenbahn auf Nord- und Südhalbkugel

1.1.1.1 Zeitgleichung

Wie wir seit ein paar Jahrhunderten wissen setzt sich der sichtbare Verlauf unseres Tagesgestirns und damit Hauptenergiespenders am Himmel aus der Überlagerung von drei Bewegungen zusammen:

- Umlauf der Erde auf einer elliptischen Umlaufbahn um die Sonne, wobei die Sonne in einem Brennpunkt der Ellipse liegt;
- Schrägstellung der Erdachse um 23,45° im Bezug auf die Ebene der Sonnenumlaufbahn;
- Wechselnde Bahngeschwindigkeit der Erde auf ihrem elliptischen Kurs um die Sonne

Addiert man die beobachteten Abweichungen von der idealen Kreisbewegung, kommt man zur so genannten Zeitgleichung, die in Abb. 1-2 grafisch aufgetragen ist.

Die resultierende gelbe Kurve setzt sich dabei aus der Überlagerung der weißen und roten Kurven zusammen

Der Bahnverlauf lässt sich jedoch auch ohne Zuhilfenahme komplizierter Tabellenwerke (Ephemeriden) mit dem Taschenrechner ausreichend genau berechnen.

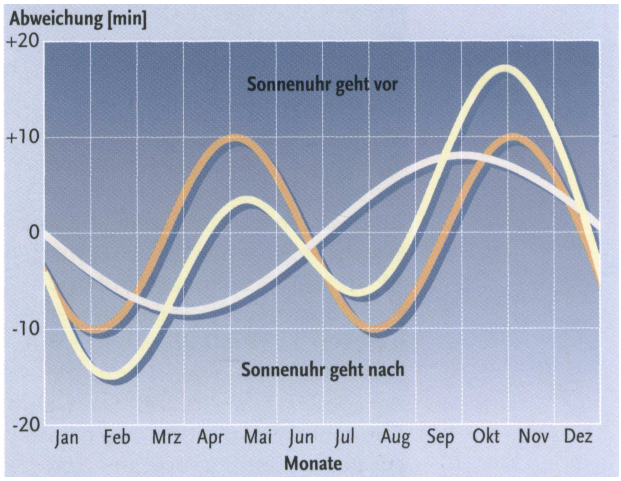


Abb. 1.2: Grafische Zeitgleichung

Sehr viel komfortabler geschieht dies heute üblicherweise mit Softwareprogrammen (z.B. *SunOrb*), die nach Eingabe der eigenen Position (GPS-Koordinaten) komplette Diagramme berechnen können.

1.1.1.2 Elevation und Azimut

Die Diagramme – hier beispielhaft solche aus SunOrb - enthalten die für uns wichtigen Angaben. Neben den (ungefähren) Zeiten für Sonnenauf- und –untergang sind dies in erster Linie die Position der (sichtbaren) Sonne am Firmament.

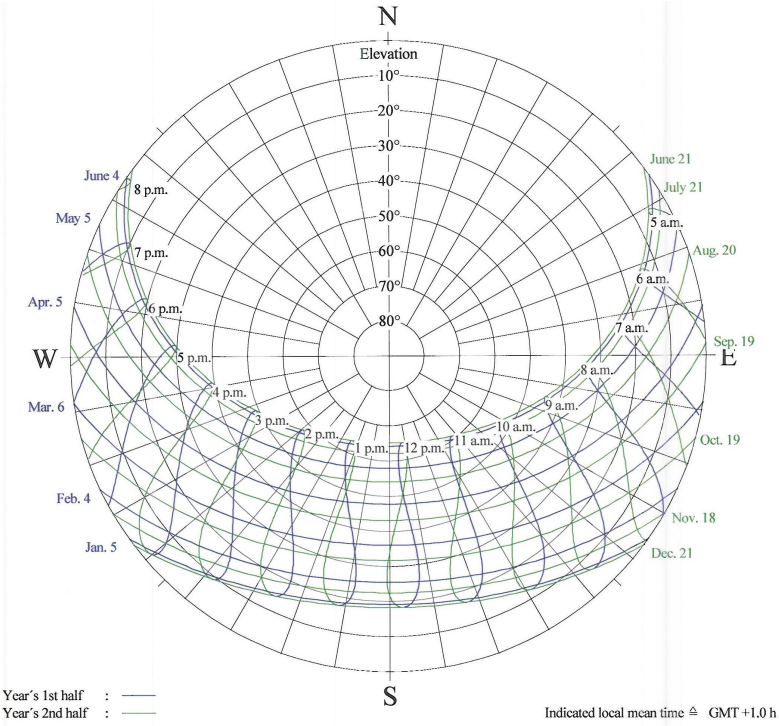


Abb. 1.3: SunOrb-Diagramm für München (horizontale Generatorausrichtung)

Die Position der Sonne am Himmel wird hierbei über zwei Größen (Koordinaten) angegeben:

- **Elevation** (γ_s (gamma), Winkel zwischen dem (wahren) Horizont und der Sonne, auch mit γ_S (epsilon) bezeichnet
- **Azimuth** $\forall_s$ (alpha), Winkel zwischen der Nordrichtung und der Sonne

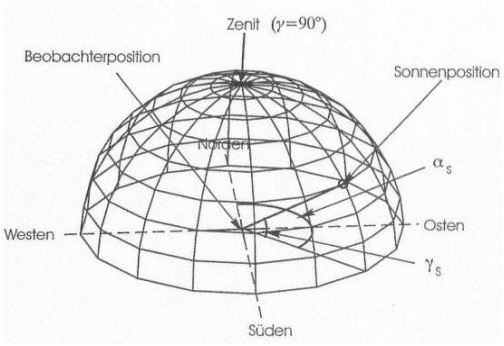


Abb. 1.4: Angaben der Sonnenposition

Die Bahndaten unterscheiden sich von Standort zu Standort und müssten - genau genommen - bei jedem Standortwechsel neu berechnet werden. Wie wir später sehen werden, kommt es bei der Ausrichtung unseres Solargenerators auf die Sonne aber nicht auf die exakten Werte an und wir können größere Ungenauigkeiten tolerieren, wie sie für astronomische Berechnungen undenkbar wären.

Im Normalfall wird es somit ausreichend sein, das Diagramm bei größeren Standortänderungen, z.B. nach langen Transportetappen, bei Erreichen eines neuen Kontinents oder beim Wechsel in eine neue Zeitzone neu zu berechnen.

Bei der Programmierung stellte sich heraus, dass es gar nicht so aufwändig ist, die Position der Sonne zu berechnen. Wofür haben wir denn den Mikrocontroller an Bord? Knapp zwei Minuten hat er zu tun, um uns – zwar nicht die gesamten Bahndaten der Sonne - doch aber die optimale Ausrichtung des Solargenerators sowie die Zeiten für Sonnenaufgang und Sonnenuntergang zu berechnen.

Bei der Berechnung sollten wir darauf achten, ob die Zeit des Diagramms in Lokalzeit oder UTC / GMT angegeben werden soll (sh. auch Hinweis rechts unten im Diagramm) und die Einstellungen des Programms entsprechend anpassen. Im Normalfall wird die Angabe in Lokalzeit die bessere Option sein, da die Sonne dann um 12:00 Uhr Ortszeit wie gewohnt in etwa im Süden steht. Beziehungsweise im Norden, wenn wir uns auf der Südhalbkugel befinden.

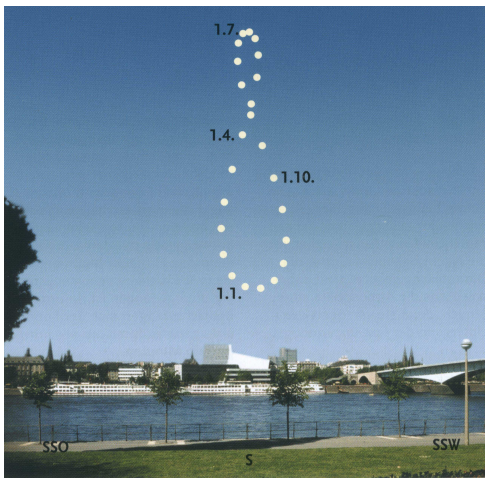


Abb. 1.5: Um 12:00 Uhr Ortszeit steht die Sonne nicht immer genau im Süden

Die im Verlauf eines (astronomischen) Jahres auftretenden Abweichungen von der exakten Südrichtung um 12:00 Uhr werden *Analemma* genannt und sind in beiden Diagrammen gut zu erkennen.

1.1.2 Fahrzeugposition und –ausrichtung

Neben der Position der Sonne am Himmel ist für eine Nachführung unseres Solargenerators auch die Ausrichtung des Fahrzeugs wichtig.

Abb. 1-6 zeigt die Zusammenhänge der Azimutwinkel.

$$\gamma'_{sol} = \gamma_{sol} - \beta_{Fahr}$$

Eine Korrektur des Elevationswinkels ist bei waagerechtem Parken des Fahrzeugs naturgemäß nicht erforderlich.

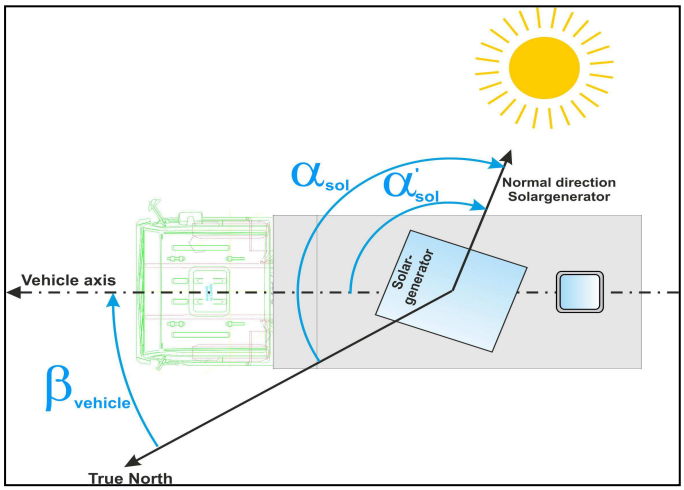


Abb. 1.6: Azimutwinkel bei Fahrzeugmontage

1.1.3 Einstrahlungswinkel Generator

Der Einfallswinkel der Strahlung auf den Solargenerator wird von der Generatorebene zur Einfallsrichtung des Lichts gemessen und mit ∗ (delta) bezeichnet. Fällt das Licht senkrecht auf den Generator, ist ∗ demnach 90°, fällt das Licht seitlich ein, ist ∗ entsprechend kleiner.

Bezeichnet man die Abweichung von der senkrechten Einfallsrichtung mit θ_{hor} und θ_{vert}, ergibt sich die resultierende Abweichung zu

$$\theta_{eff} = \%\&\&\theta_{hor}{}^{2} + \theta_{vert}{}^{2}\&$$

Und damit der effektive Einstrahlungswinkel zu

$$\delta_{eff} = 90° - \theta_{eff}$$

Es lohnt sich also, beide Winkel des Solargenerators „ordentlich“ auf den Sonnenstand auszurichten. Weist die Fläche des Generators direkt auf die Sonne, d.h. (θ_{hor} = 0 und θ_{vert} = 0), wird der Solargenerator von der maximalen Strahlungsmenge getroffen, d.h. wir können den gesamten Strahlungsquerschnitt unseres Paneels nutzen.

Wird der Einstrahlungswinkel verändert**,** reduziert sich die der Strahlung effektiv ausgesetzte Fläche und damit auch unser momentaner Energieertrag:

$$\mathbf{P_{Anstell} = P_{max} * sin (*_{eff}),}$$

Bezieht man den momentanen Energieertrag $P_{Anstell}$ auf den maximal möglichen Energieertrag P_{max}, erhält man den Erntefaktor E mit:

$$\mathbf{E = P_{Anstell} / P_{max}}$$

der sich grafisch recht eindrücklich darstellen lässt.

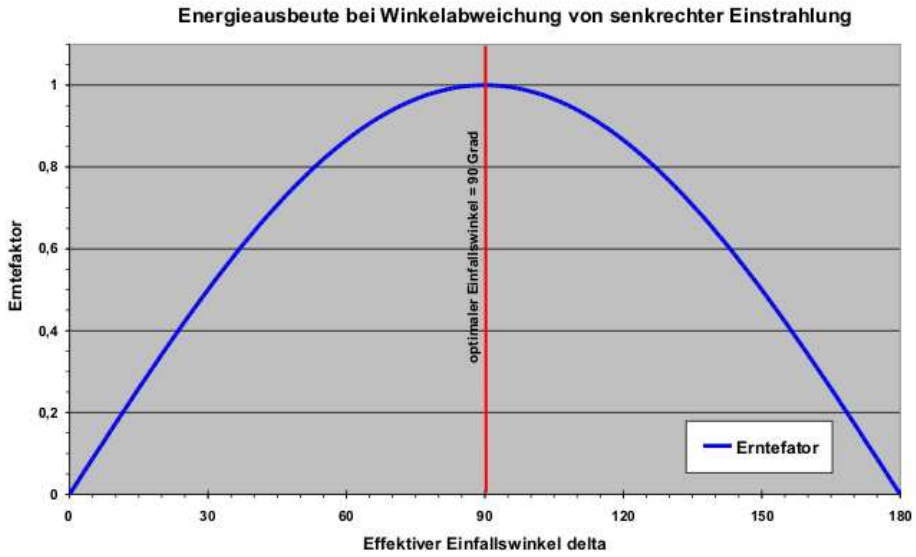


Abb. 1.7: Erntefaktor bei Abweichung von senkrechter Einstrahlung

Wir sehen, dass sich der Energieertrag bei geringen Winkelabweichungen nicht wesentlich reduziert. Bei einer Abweichung von +/- 10° erhalten wir noch ca. 96% der maximal möglichen Energie, bei einer Abweichung von +/- 20° immer noch ca. 94%.

Bei Abweichungen über +/- 30° fällt der Ertrag jedoch merklich ab und wir „verschenken“ einen guten Teil der möglichen Ernte.

1.1.4 Effizienz bei liegender Montage

Besonders interessant wird das Diagramm 1.7, wenn wir uns vergegenwärtigen, welchen Ertrag ein flach auf dem Dach montierter Solargenerator liefern kann.

Nehmen wir die geografische Situation von München (48°N, 11°E) finden wir im Diagramm 1.4 eine maximale Elevation der Sonne von ca. 65° zur Sommersonnwende (21.Juni) und ca.18° zur Wintersonnenwende (21.Dezember). Zusammen mit der Kurve für der Kurve für den Erntefaktor ergeben sich *maximale Erntefaktoren* auf Grund des Einstrahlungswinkels von

- 0,906 für den 21.Juni
- 0,309 für den 21.Dezember,

die zudem nur für den jeweiligen Sonnenhöchststand gültig sind. Für die Morgen- und Abendsonne wird die Ausbeute nochmals deutlich geringer. Kurz gesagt:

Im Winter oder in hohen Breitengraden bringt uns ein flach auf dem Dach montierter Solargenerator rein gar nichts!

In den Sommermonaten - bei hohem Sonnenstand und langer Einstrahlungsdauer – könnten wir mit einem flach montieren Solargenerator recht gut auskommen, auch wenn wir dabei über den Tag (am Beispiel München) ca.30 bis 40% des möglichen Energieertrags „verschenken“.

1.1.5 Hinterlüftung

Weit problematischer stellt sich in den Sommermonaten die *Hinterlüftung* des Solargenerators dar. Naturgemäß wird sich bei einem flach liegenden Solargenerator keinerlei Konvektion (Wärmeströmung) unterhalb der Paneele einstellen, insbesondere bei den stabileren Modulen mit umlaufendem Rahmen. Wir sprechen hier vom klassischen Wärmestau.

Oberflächentemperaturen von 50° bis 60°C sind bei gut belüfteten, aufgeständerten Generatoren keine Seltenheit, unter dem flach montierten Generator werden sich auch bei einer leichten Brise erheblich höhere Temperaturen einstellen! Und die Zelltemperaturen liegen noch einmal um 5° bis 10° darüber.

Allerdings reduziert sich die Leerlaufspannung (und damit die mögliche Ladespannung) des Solargenerators bei steigenden Temperaturen sehr stark. Der Temperaturkoeffizient (-2,0mV/K bis -2,5mV/K bei kristallinen Modulen) sagt, dass bei einer um 50° erhöhten Temperatur die Leerlaufspannung einer Zelle um ca. 0,12V oder ca. 15% (!) abnimmt.

Das klingt zunächst nicht alarmierend. Bezieht man aber die Spannungsverluste der restlichen Bauteile mit ein (Laderegler, Rückstromdiode, Verkabelung) kann das dazu führen, dass die Batterie trotz strahlendem Sonnenschein nicht mehr geladen wird!

Im ersten Moment staunt ihr, im zweiten Moment tippt ihr auf defekte Anzeigen, im dritten Moment verteufelt ihr eure teure Solaranlage und die neumodische Technik. Der wahre Grund aber ist die schlechte Hinterlüftung des Generators und die damit verbundene hohe Zellentemperatur. Ein Problem, das man leicht umgehen kann!

Zusammenfassend können wir sagen, dass flach auf dem Dach montierte Solargeneratoren weder im Winter noch im Sommer eine gute Lösung darstellen. Die Montage ist zwar problemlos, die auftretenden Nachteile sind jedoch gravierend!

1.2 NACHFÜHRUNG

Die Sonne beschreibt im Tagesverlauf einen großen Bogen (scheinbar) über den Horizont. Ihre Strahlen treffen einen feststehenden Solargenerator allenfalls einmal am Tag in einem optimalen Auftreffwinkel. Daher beschäftigen sich schon Generationen von Solartechnikern mit Nachführsystemen für Solargeneratoren – bislang nicht wirklich erfolgreich.

Dem energetischen Mehrertrag durch die Nachführung steht immer ein deutlicher Mehrpreis für die notwendige Mechanik gegenüber. Für sonnenreiche Regionen (hoher Anteil der Direktstrahlung) wird in der Literatur ein erzielbarer Mehrertrag von 20 bis 40% gegenüber einer fest installierten Anlage angegeben. In mitteleuropäischen Gebieten mit einem hohen Anteil an diffuser Einstrahlung fällt der Mehrertrag deutlich geringer aus. Die nachfolgende Abbildung zeigt den Vergleich zwischen einer starren und einer nachgeführten Anlage an einem wechselnd bewölkten Tag.

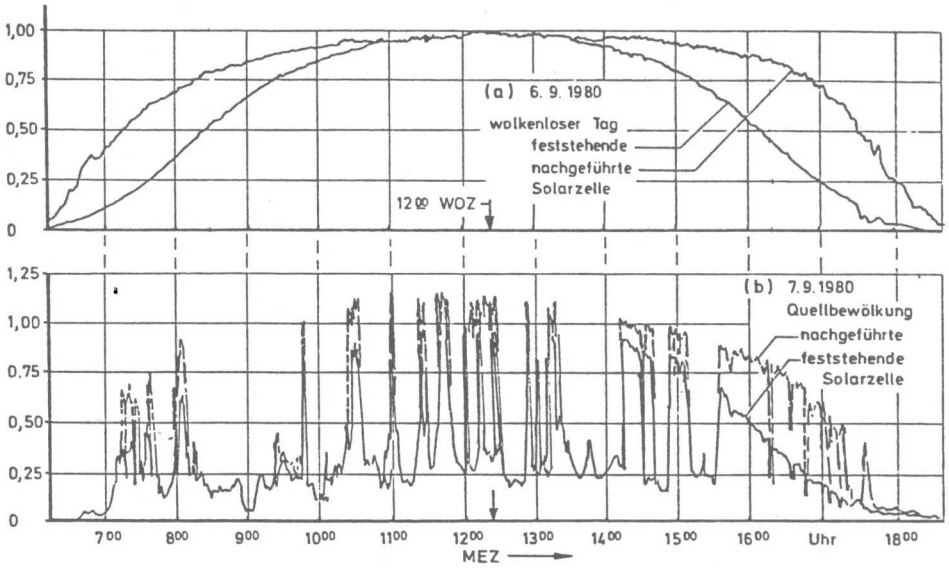


Abb. 1.8: Vergleich zwischen feststehendem und nachgeführtem Solargenerator

1.2.1 Stationäre Nachführungen

Die bisherigen am Markt erhältlichen Nachführungen für Solargeneratoren sind ausschließlich für den stationären Einsatz bestimmt. Dabei werden überwiegend größere Solargeneratoren von 1-2 kW Spitzenleistung oder mehr nach der

Sonne ausgerichtet, da sich hierbei der zu treibende mechanische Aufwand am ehesten amortisiert.





Abb. 1.9: Kommerzielle Nachführsysteme

Ein Großteil der Nachführungen arbeitet mit vertikalen, leicht schräg stehenden Achsen, die eine gleichzeitige Änderung des Azimutwinkel und der Elevation mit einer einzigen Drehbewegung erlauben. Bei richtiger Berechnung des Anstellwinkels der Drehachse kann hier eine gute Ausrichtung über den Jahresverlauf erzielt werden, wobei eine vollständig korrekte Ausrichtung auch nur für wenige Tages des Jahres gegeben ist.

Die Nachführmechanismen arbeiten dabei entweder mit Stellmotoren und Getrieben (diese müssen u.a. der nicht unerheblichen Windlast standhalten) oder mit hydraulischen Nachstelleinrichtungen, die z.T. mit der Wärmeausdehnung eines Öls bei Sonnenbestrahlung operieren.

Generell steht bei stationären Anlagen die Forderung nach einer robusten Mechanik und entsprechenden Stellmotoren und –getrieben im Vordergrund. Die Anlagen müssen unbeaufsichtigt betrieben werden können und ausreichend robust sein, um auch Starkwindböen stand zu halten. Übliche Windgeschwindigkeiten zur Auslegung liegen bei 120 km/h mit Böen bis 160 km/h.

Auf der Kostenseite müssen sie sich an einfachen Gestellen zur fixen Aufstellung des Solargenerators an einem festgelegten Standort messen lassen. Viele Betreiber stationärer Anlagen entscheiden sich daher für eine fixe Aufständerung ohne Nachführung.

1.2.2 Nachführungen für den mobilen Einsatz

Im mobilen Einsatz, also bei einer Montage des Solargenerators auf einen Fahrzeug sehen die Randbedingungen allerdings deutlich anders aus:

- Geringes Platzangebot auf dem Fahrzeugdach; dadurch können nicht beliebig viele Module montiert werden;
- Der Solargenerator konnte bislang nur flach liegend montiert werden; daraus resultiert ein stark verringerter Energieertrag;
- höherer Energiebedarf bei schlechtem Wetter bzw. geringer Einstrahlung (Heizung, Licht); dadurch Forderung nach optimierter Ausbeute unter ungünstigen Einstrahlungsbedingungen; daraus resultiert wiederum die Forderung, den Generator zumindest aufstellen und grob ausrichten zu können
- Eine auch nur rudimentäre Ausrichtung des Generators erfordert ein einfaches Drehgestell; dieses kann leicht um eine Nachführeinrichtung ergänzt werden;
- Ein unbeaufsichtigter Betrieb bei allen Wetterlagen ist nicht zwingend gefordert; bei Gefahr von starkem oder böigem Wind kann der Generator problemlos in der horizontalen Lage geparkt werden;

Wir sehen, dass eine Ausrichtung bzw. Nachführung des Solargenerators im mobilen Bereich erheblich mehr Vorteile bringt als im stationären Bereich.

1.2.3 Steuerung

Die Steuerung der Stellmotoren - bisher nur für stationäre Anlagen entwickelt - erfolgte anfangs oft über einen Vergleich zwischen besonnten- und beschatteten Messfühlern (Fototransistoren). Dieses Prinzip arbeitet bei Direkteinstrahlung recht zuverlässig und ist mit entsprechenden Fühlern und Antrieben auch für zweiachsige Nachführung einsetzbar. Bei bewölktem Himmel und hohem Diffusstrahlungsanteil kommt es jedoch gern zu Fehlmessungen und damit zu oft grotesker Fehlausrichtungen des Generators.

In den letzten Jahren hat sich eine rein mathematische Lösung durchgesetzt. An Hand des geografischen Standorts (GPS-Koordinaten) und der aktuellen (lokalen) Uhrzeit lässt sich der Verlauf der Sonne im Tagesverlauf sehr genau berechnen und somit auch die Zeitpunkte, wann unser Solargenerator wieder einen Schritt weiter gedreht werden muss.

Mit einem Mikroprozessor lässt sich das mit etwas Aufwand gut berechnen. Dafür erhalten wir auch bei bedecktem Himmel, ja sogar bei dicken Regenwolken eine zuverlässige Ausrichtung unseres Generators. Also genau dann, wenn wir für die optimale Nutzung des geringeren Einstrahlungsangebots dankbar sind.

Die Steuerung des beschriebenen Solardrehtisches arbeitet nach diesem Prinzip.

1.2.4 Handelsübliche Nachführungen

Während für stationäre Anlagen inzwischen eine Reihe von Anbietern ein- oder zweiachsige Nachführungen anbieten, ist die Zahl der Anbieter für den mobilen Bereich eher bescheiden.

Für einzelne Solarpaneele sind zweiachsige Nachführungen von einem Hersteller erhältlich, der die Mechanik einer Nachführung für Satellitenempfangsschüsseln angepasst hat. Auf Grund der komplexen Mechanik hat die Anlage ihren Preis. Dabei bleibt die Frage offen, in wie weit der damit erreichbare Mehrertrag *eines* Paneels die nicht unerheblichen Mehrkosten ausgleicht.

Für eine größere Anzahl von Paneelen gestalten sich zweiachsige Nachführungen auch als wenig praktikabel. Zum einen wäre auf Grund der hohen Windkräfte eine robuste – und damit schwere – Mechanik notwendig, zum anderen ist zum Ausrichten wieder Energie notwendig, die den Mehrertrag der Generatoren schmälert.

1.2.5 Forderungen an einen Solardrehtisch

Da wir aber zur Versorgung eines Fernreisemobils mit einem einzelnen Solargenerator kaum auskommen werden, stellt sich die Wunsch nach einer Konstruktion, die die folgenden Anforderungen möglichst gut vereint:

- einfache, robuste und leichte Konstruktion
- geringer Auftrag unter den Solargeneratoren (Dachüberbau); dabei gute Hinterlüftung in Parkposition
- Eignung zur Aufstellung und Nachführung von zwei bis vier Solarmodulen (Leistung ca. 150 Wp bis ca. 300 Wp)
- Aufstellmöglichkeit für Generatoren für Elevationen zwischen 30° und 70° zur Horizontalen, insbesondere für „Winterbetrieb“ (geringe Sonnenelevation)
- (Azimut-)Ausrichtung zur Sonne unabhängig von Parkposition des Fahrzeugs
- Manuelle oder automatische Nachführung entsprechend dem Sonnenlauf über den Tag
- Geringer Energiebedarf für Nachführmechanismus; stabile Ausrichtung auch bei bedecktem Himmel

Eine solche Konstruktion lässt sich mit einer *halbautomatischen* und *einachsigen* Nachführung vergleichsweise einfach realisieren, ohne große Abstriche am Energieertrag hinnehmen zu müssen.

2 AUFBAU DES SOLAR TURNTABLE

2.1 MECHANIK

Die Grundkonstruktion besteht aus zwei Rahmenteilen, wobei der Grundrahmen drehbar am Fahrzeug gelagert ist und der Aufstellrahmen den Solargenerator trägt und hochgeklappt werden kann.

Es wurde eine Konstruktion gefunden, die bei einer minimalen Bauhöhe alle Vorteile einer einfachen, robusten und billigen Mechanik vereint. Die gesamte Konstruktion einschließlich des Solargenerator trägt nur 80mm über die Dachfläche auf, wobei 43,5 mm bereits auf die Paneele selbst entfallen.

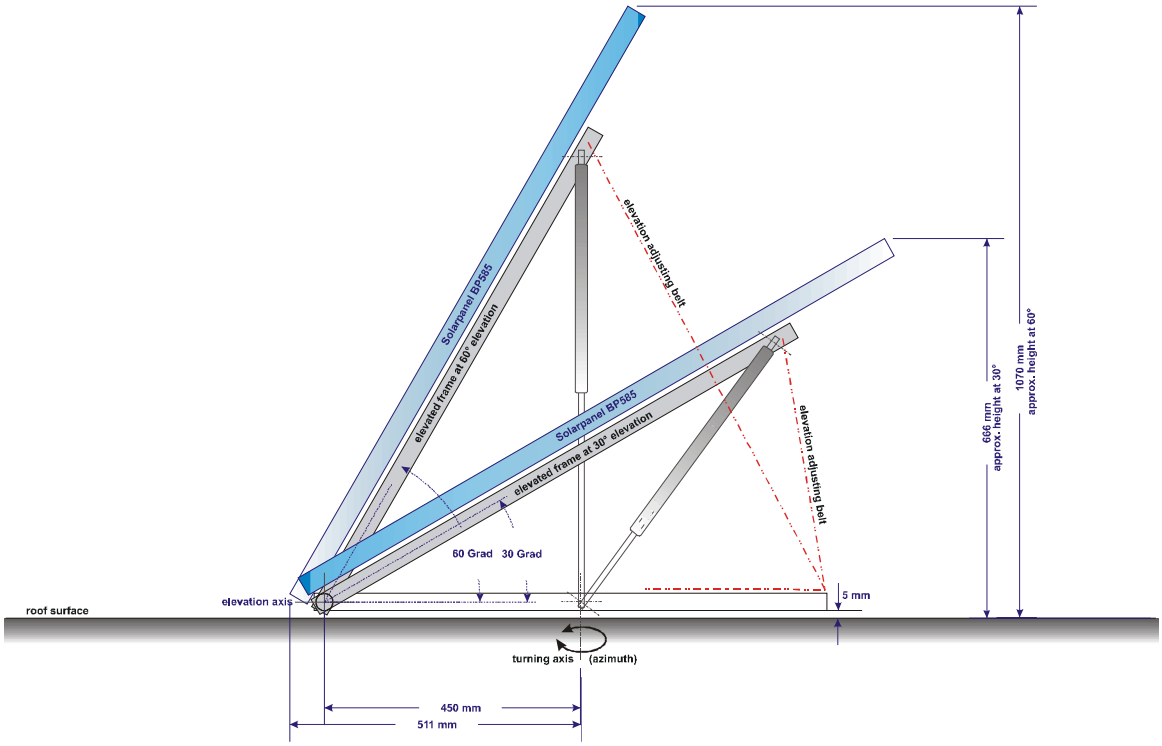


Abb. 2.1: Grundkonstruktion der Aufstellvorrichtung

Mit dieser Konstruktion ist auch die wichtige Hinterlüftung des Solargenerators im nicht hochgeklappten Zustand gewährleistet.

Die Geometrie ist so ausgelegt, dass bei den üblichen Aufstellwinkeln des Solargenerators von 30° bis 70° keine merklichen Kippkräfte auf das Gestell wirken, die auftretenden Windkräfte jedoch durch weit auseinander liegende Auflagepunkte auf dem Dach gut abgefangen werden können.

2.1.1 Solargenerator

Der Solargenerator besteht aus drei Paneelen vom Typ BP580F mit 3 x 80W Nennleistung. Die Außenabmessungen betragen jeweils 530 x 1188 mm bei einer Bauhöhe von 43,5mm und einem Gewicht von 7,5 kg pro Paneel.

Die Mechanik ist hinsichtlich Gewicht und Größe auf die Verwendung dieser Panelle ausgerichtet.

Bei Einsatz anderer Module (andere Hauptabmessungen) ist der Aufstellrahmen entsprechend anzupassen. Dabei ist auch der Freiraum unterhalb der Paneele zu überprüfen, da dort ein Großteil der Mechanik und Elektrik Platz findet.

Die Solarpaneele sind über je 4 Stehbolzen M6 mit dem Aufstellrahmen verschraubt und können zusammen mit ihm hochgeklappt werden.

2.1.2 Grundrahmen mit Antrieb

Der Grundrahmen besteht aus einem nahezu quadratischen Edelstahlrahmen aus 30 x 30mm Vierkantrohr. In den Ecken trägt er zylindrische Kunststoffrollen, die das Gewicht der Anlage sowie anfallende Windkräfte sicher aufnehmen und sich auch unter Last ohne großen Widerstand drehen lassen. Sie stammen aus Rollerskates, sind preiswert und nach Lösen einer Schraube problemlos ersetzbar.

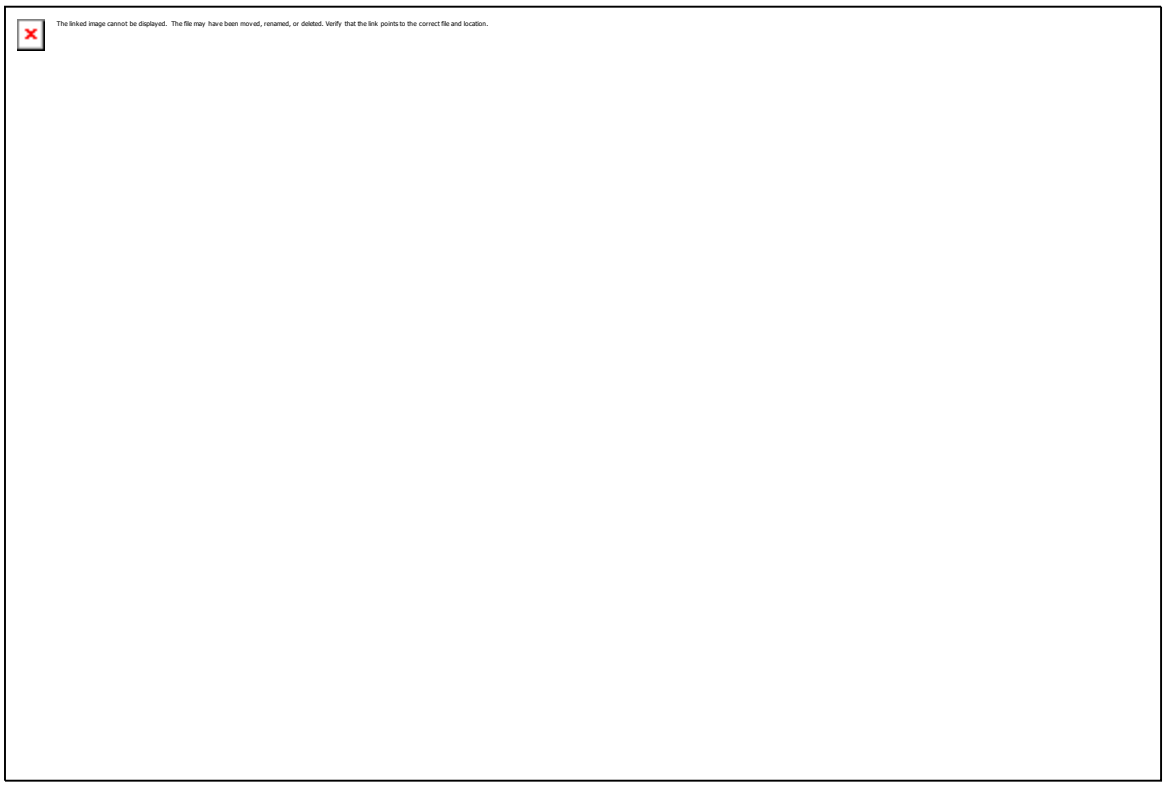


Abb. 2.2: Grund- und Aufstellrahmenkonstruktion

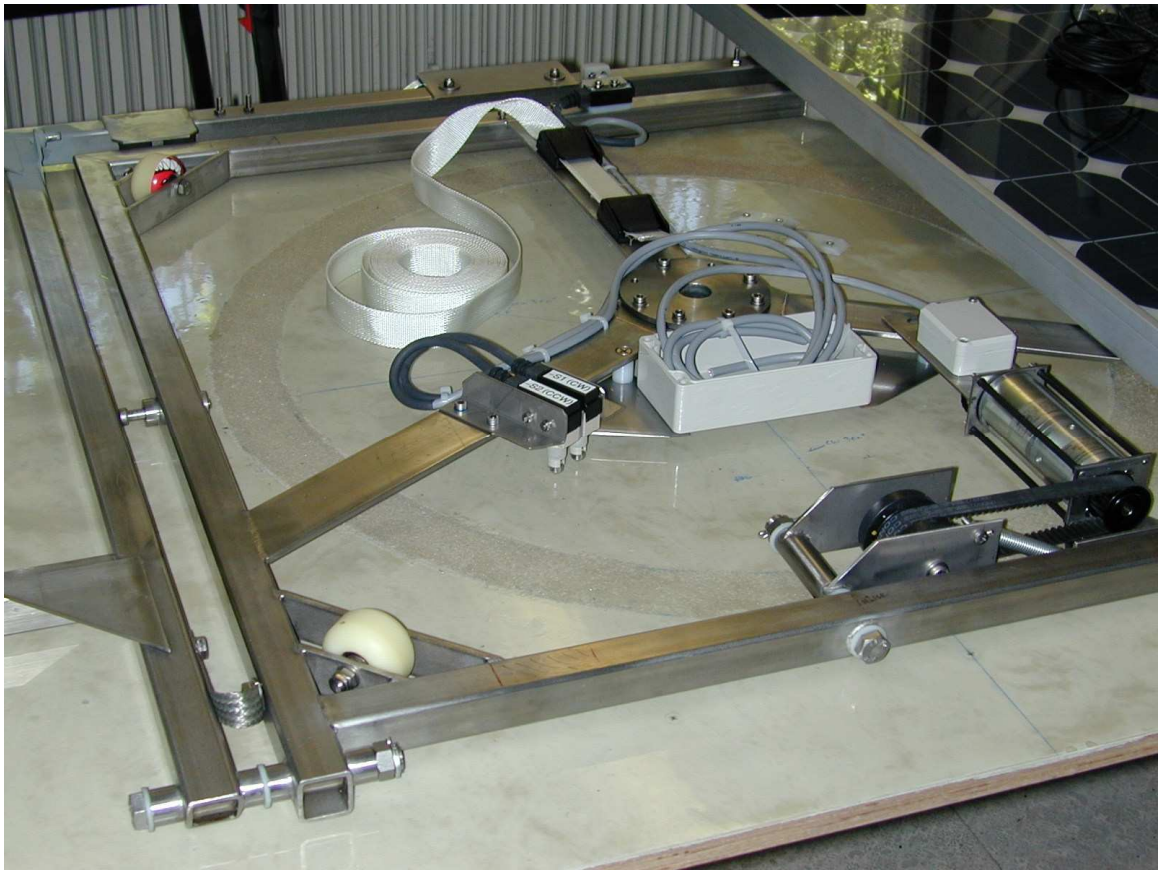


Abb. 2.3: Innenleben des Solar Turntable mit Grund- und Aufstellrahmen

Eine Y-förmige Spinne am Grundrahmen trägt mittig das Führungslager, das zur Zentrierung dient und keine Gewichtskräfte aufnehmen muss. Über dieses Lager erfolgt auch die Zuführung der Energie- und Steuerleitungen.

Zwei kurze Rahmenstummel am vorderen Querholm tragen die Achsschrauben zum Hochstellen des Solargenerators. An zwei eingeschweißte Buchsen ungefähr mittig in den seitlichen Holmen werden zwei Gasdruckfedern montiert, die das Hochstellen des Aufstellrahmens mit dem Solargenerator übernehmen.

Mittig am Vorderteil des Grundrahmens ist der Reibradantrieb montiert. Die Drehung eines Gleichstrom-Getriebemotors wird über einen kurzen Zahnriemen auf ein Reibrad-Paar übertragen. Dieses Räderpaar greift auf eine kreisförmige Reibfläche, die mit einem speziellen Lack direkt auf die Dachfläche aufgetragen wird.

2.1.3 Aufstellrahmen mit Aufstellvorrichtung

Der Aufstellrahmen besteht aus einem Doppel-T-förmigen Träger, ebenfalls aus 30 x 30mm starkem Vierkantrohr (siehe Zeichnung). An der offenen Seite ist er am Grundrahmen über zwei Achsschrauben befestigt, so dass er einfach hochgeklappt werden kann. Seitlich trägt er zwei Ausleger zur Befestigung der So-

larpaneele. Der obere Querträger ist seitlich über die Paneelmaße hinaus verlängert und dient zur Arretierung und Verriegelung des Rahmens während der Fahrt.

Auf dem Aufstellrahmen sind die Paneele des Solargenerators montiert

Um den Aufstellrahmen mit den Paneelen ohne größeren Kraftaufwand hochstellen zu können, sind zwischen Trag- und Grundrahmen zwei Gasdruckfedern montiert. Nach Überwindung des Totpunkts gleiten die Paneele damit in ihren gewünschten Anstellwinkel.

2.1.4 Einstellung der Elevation

Die Einstellung der Elevation erfolgt einmal pro Standort. Um die Konstruktion einfach zu halten, wurde eine „primitive“ Begrenzung des Aufstellwinkels über einen einstellbaren Riemen gewählt. Damit bleibt die Elevation des Solargenerators über den Tagesverlauf unverändert.

2.1.5 Nachführung des Azimut

Die Nachführung des Azimut stellt sich ein wenig aufwändiger dar. Sie ist ja das Kernstück der Anlage und soll Monate und Jahre möglichst fehlerfrei funktionieren. Gewählt wurde ein sog. Reibradantrieb, der ohne schwere Getriebe, Zahnräder und Wellen auskommt. Die Montagefläche selbst – bei uns das Fahrzeugdach – zusammen mit einem einfachen Gummirad bilden ein einfaches Getriebe mit starker Untersetzung. Schließlich müssen wird die Drehzahl eines Motors mit ein paar hundert Umdrehungen pro Minute auf die geforderte Drehzahl des Solargenerators von 1 Umdrehung pro Tag herunter-„bremsen“.

Wie wir gesehen haben, sind geringe Abweichungen im Azimut zulässig. Daher ist eine schrittweise Nachführung der Generatorausrichtung ausreichend, solange wir die Schritte klein genug halten. Die gewählte Schrittweite von 10° sollte einen guten Kompromiss zwischen optimaler Energieausbeute – sprich Ausrichtung – und Aufwand darstellen.

Der Energieaufwand für das Nachführen selbst ist dabei verschwindend gering. Das Verfahren des Turntable dauert im Normalfall zwischen 1 und 1,5 Sekunden pro Schritt, dazu wird ein Strom von ca. 300 mA benötigt. Einschließlich des morgendlichen Rückdrehens benötigen wir nicht einmal 2,5 mAh für unsere Nachführung!

2.1.6 Verriegelung in PARK-Position

Während der Fahrt muss das Gestell sicher verriegelt werden, um ein Hochklappen des Solargenerators zuverlässig zu verhindern. Dabei müssen auch alle Drehkräfte von der Konstruktion ferngehalten werden, da weder das Füh-

rungslager noch der Reibradantrieb die hohen Kräfte während der Fahrt aufnehmen können.

Zur Verriegelung wurden zwei massive Kunststoffblöcke gewählt, die direkt auf dem Dach verschraubt werden. Viereckige Aussparungen nehmen die seitlichen Ausleger des Aufstellrahmens auf und arretieren damit das gesamte Gestell. Über sein Eigengewicht fällt der Rahmen selbstständig in diese Arretierungen, die Schließkraft der Gasdruckfedern verhindert ein zu leichtes Hochklappen.

Zusätzlich muss der Rahmen über ein Schubstangenschloss verriegelt werden, dessen Schließstücke ebenfalls in die Kunststoffblöcke greifen.

Die Stellung des Schubstangenschlosses wird über einen Kontakt zum Fahrerhaus gemeldet.

2.1.7 Kabeldurchführung

Die Zuführung der Energie- und Steuerleitungen erfolgt über das zentrale Führungslager. Dabei muss einerseits der hohe Strom des Solargenerators (ca. 20Adc) über geeignete Leitungen (oder Schleiringe) übertragen werden, andererseits benötigt die Motorsteuerung ein vielpoliges Steuerkabel.

Zur Erzielung eines einfachen Aufbaus wurde eine Kunststoffbüchse gewählt, in der Einzeldrähte vergossen werden können und die quasi eine Verlängerung des metallenen Führungslagers bildet. Durch die Verwendung von Einzeldrähten können die notwendigen Drehkräfte reduziert werden.

Über diese Konstruktion ist auch eine weitgehende thermische Isolation der Kabeldurchführung gewährleistet, so dass sich hier keine Kältebrücke ausbilden kann.

2.2 ELEKTRIK UND STEUERUNG

Die Steuerung des Solar Turntable erfolgt wahlweise von einer manuellen Kontrollbox oder über das zentrale WASP-Steuergerät (Central Tiger Unit).

Einen Überblick schafft das Blockschaltbild im Anhang 11.1.

2.2.1 Motor Control & Connector Box

Die Motor Control & Connector Box (2WAA00 A200) sitzt als einzige Verteilerbox im Freien direkt auf dem Grundrahmen des Drehtisches. Sie beinhaltet folgende Teilbaugruppen:

- Absicherung des Getriebemotors
- Steuerrelais des Getriebemotors

- Drehzahlsteuerung des Getriebemotors
- Anschluss und Verschaltung der mechanischen Endlagenschalter
- Rückmelderelais (reed) für die Anzeige der Drehrichtung
- Überspannungsschutz des Solargenerators

Bei der Motor Control & Connector Box muss zur fehlerfreien Funktion – insbesondere nach Reparatur- oder Messarbeiten - auf eine gute Abdichtung gegen Witterungseinflüsse geachtet werden (IP65).

2.2.2 Signal- und Endschalter außen

Die Drehung des Turntable ist auf Grund der Mechanik (insbesondere der Kabelausleitung) auf +/- 170° begrenzt.

Zwei mechanische Endlagenschalter (-S05 für die cw-Drehung, -S06 für die ccw-Drehung) sind seitlich an der Zentralspinne montiert und unterbrechen beim Überrollen von Schalttrapezen auf der Dachfläche die Stromzufuhr zum Motor.

Der Turntable kann nur bei hochgestelltem Solargenerator manuell oder automatisch verfahren werden. Daher kommt dem Schalter –S03 („*elevation*“) eine besondere Bedeutung zu. Er unterbricht im flachgelegten Zustand die Stromzufuhr zur Steuerelektronik sowie zum Antriebsmotor vollständig. Dies reduziert den Stromverbrauch im geparkten Zustand und verhindert zuverlässig eigenmächtige Fehlfunktionen des Drehtisches während der Fahrt.

Beide Zustände des Schalters (*elevated* und *not elevated*) werden an die zentrale Steuerung gemeldet, ebenso die Stellung der Verriegelungsbolzen.

2.2.3 Schrittmotor

Der Schrittmotor ist im Grunde kein echter Schrittmotor, wie er heute in vielen elektronischen Geräten Verwendung findet. Es handelt sich vielmehr um einen normalen Gleichstrommotor mit einem starken Vorsatzgetriebe, der die Drehzahl reduziert und das Drehmoment an der Welle vervielfacht.

Dieser Gleichstrommotor wird von der Steuerelektronik zu berechneten Zeitpunkten für eine bestimmte Zeit eingeschaltet, so dass der Drehtisch um einen bestimmten Winkel – eben um die gewählte Schrittweite von 10° – verfahren wird.

Die Elektronik kann den Motor in beiden Richtungen steuern, so dass eine Drehung im bzw. entgegen dem Uhrzeigersinn erreicht wird. Der Motor kann natürlich auch längere Zeit eingeschaltet bleiben, um z.B. das Umsetzen im Tagesverlauf oder am Morgen zu bewerkstelligen. Gesteuert wird alles von unserem zentralen Steuergerät, dem Tiger.

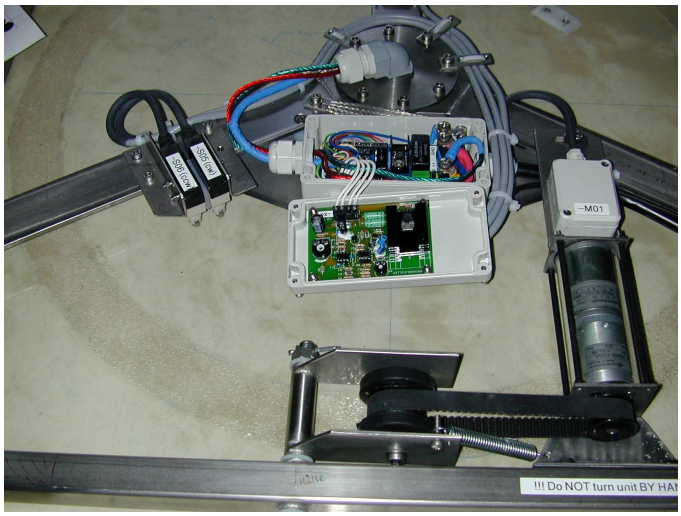


Abb. 2.4: Schrittmotor mit Reibradantrieb und Steuerelektronik

Zusätzlich ist der Motor mit einer Pulsweitensteuerung ausgestattet, über den die Drehgeschwindigkeit feinfühlig eingestellt werden kann.

2.2.4 Nachführungssensor

An einem kleinen Ausleger des Aufstellrahmens sitzen zwei Einstrahlungssensoren.

Über die Messköpfe können die globale Einstrahlung (nicht gerichtete Strahlung) und die Einstrahlung in Richtung des Solargenerators („Schlitzsensor“) gemessen werden. Beide dienen nur der Information und als Hilfestellung bei der Ausrichtung und haben keine Auswirkung auf die automatische Steuerung. Der Sensor für die globale Einstrahlung erlaubt uns darüber hinaus eine Plausibilitätsprüfung der Generatorströme und –spannungen.

2.2.5 Sensordisk und Auswerteeinheit

Auf der Kabineninnenseite sitzt auf der Verlängerung des Führungslagers die sog. Sensordisk mit der zugehörigen Auswerteelektronik. Die Sensordisk ist fest mit der Achse des Turntable verbunden und dreht sich zusammen mit der Außenkonstruktion.

Eine teure Inkrementalscheibe aus Industriesteuerungen wurde dazu abgewandelt und vereinfacht. Sie ist mit Bohrungen auf vier (4) Lochkreisen versehen, die über optische IR-Lichtschranken abgetastet werden. Diese Informationen bilden die Grundlage der automatischen Steuerung:

- *Clock*-Signal (alle 10° auf dem ganzen Umfang)
- *Home*-Signal (aktiv, wenn der Turntable in Parkposition steht)
- *Limit cw* Signal (aktiv bei Erreichen der Endlage in cw-Richtung)
- *Limit ccw* Signal (aktiv bei Erreichen der Endlage in ccw-Richtung)

Die Steuerung der IR-Sender und die Auswertung der IR-Empfänger erfolgt in der daneben sitzenden kleinen Auswerteeinheit (2WAA00 A110).

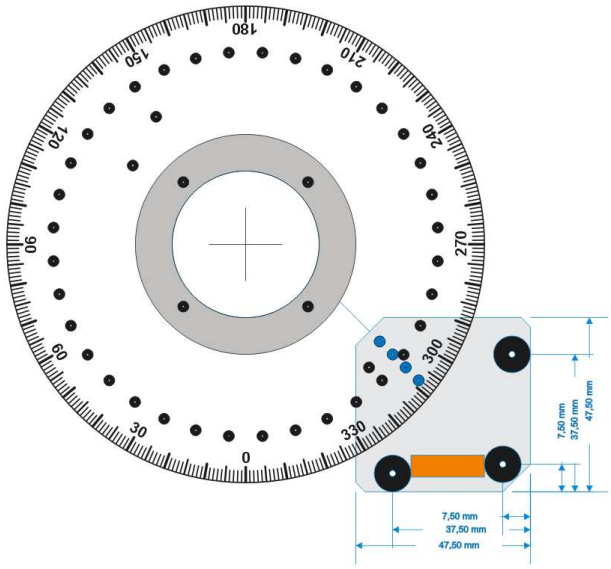


Abb.2.5: Incrementalgeber mit Sensordisk

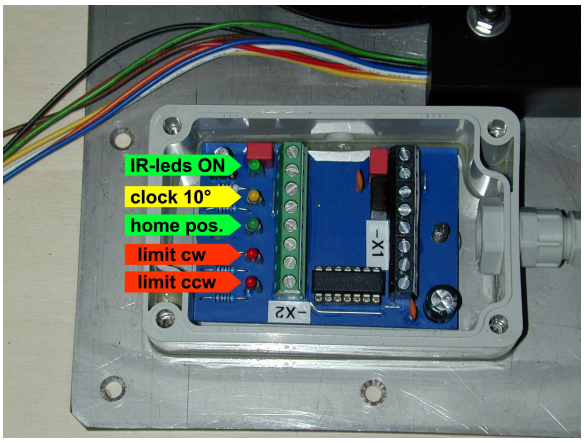


Abb. 2.6: Auswerteeinheit zur Sensordisk mit led-Bezeichnung

2.2.6 Main Control Box

In der Main Control Box (2WAA00 A100) sind die Kabel zu den Einzelgeräten zusammengeführt (sh. Blockschaltbild). Daneben enthält sie noch mehrere Anpassungsschaltungen:

- Umschaltung zwischen Hand- und Automatikbetrieb
- Ansteuerung der Messelektronik für festgelegte Zeit bei Einsatz der Manual Control Box
- Entkopplung der Steuerbefehle von Manual Control Box und Central Tiger
- Treiberschaltungen für Anzeigen

2.2.7 Manual Control Box

Die Manual Control Box (2WAA00 A150) dient zum Steuern des Solar Turntable in Handbetrieb. Über den Schwenktaster unten rechts kann der Turntable in

beide Richtungen verfahren werden (vorausgesetzt, er ist aufgestellt). Über den Taster „AUTO“ kann in den Automatik-Modus umgeschaltet werden. Dann übernimmt die zentrale Steuerung das Verfahren des Turntable.

Die verschiedenfarbigen led’s auf der rechen Seite zeigen die Steuersignale der Sensor Disk sowie laufende Befehle an.

Die led-Reihe auf der linken Seite signalisiert die Einstrahlung des sog. Schlitzsensors und dient als Hilfestellung bei der manuellen Ausrichtung des Solargenerators.

Näheres findet ihr im Abschnitt 4.2.

2.2.8 Einschränkungen der Konstruktion

Wie im Anforderungskatalog notiert, wurde hoher Wert auf eine einfache, kostengünstige und robuste Konstruktion gelegt. Dadurch weist sie eine „Schwachstelle“ auf, auf die hier hingewiesen werden soll. Sie wurde bewusst in Kauf genommen und ist für den geforderten Verwendungszweck durchaus tolerierbar.

Auf Grund der drehbaren Verbindung zwischen Fahrzeug und Drehtisch (Reibradantrieb) kann es dazu kommen, dass der Tisch bei stürmischem Wind „durchrutscht“ („slipping“). Das passiert, wenn das durch den Wind hervorgerufene Drehmoment am Tisch größer wird als das Drehmoment, das der Reibradantrieb übertragen kann.

Ob überhaupt und bei welchen Windstärken so etwas passiert, muss sich in der Praxis weisen. Im schlimmsten Fall kann das allenfalls dazu führen, dass der Turntable nicht mehr optimal ausgerichtet ist und vielleicht seine Kehrseite der Sonne zuwendet.

Über eine Erhöhung des Anpressdrucks des Reibradantriebs (Einbau einer zusätzlichen Anpressfeder) oder eine verbesserte Struktur der Reibflächen (rauhere Oberflächen) kann diesem Problem begegnet werden.

Um auf Nummer sicher zu gehen, sollte der Solargenerator bei größeren Windstärken, einem aufziehenden Gewitter oder vergleichbaren Wettersituationen eingeklappt und verriegelt werden.

3 VERWENDUNG

3.1 NOTWENDIGER DREHBEREICH

Ideal wäre eine Anlage, die ständig und ohne Umsetzen dem Sonnenstand nachgeführt werden könnte und damit einen Drehbereich von n x 360 Grad hat. Auch im Hinblick auf die freie Ausrichtung der Fahrzeugachse wäre ein unbegrenzter Drehbereich wünschenswert.

Die Mechanik schränkt den Drehbereich konstruktionsbedingt nicht ein, auf Grund der Kabelzuführungen kann jedoch ein maximaler Drehbereich von 360° bzw. +/- 180° bezogen auf die HOME-Position erreicht werden.

Welche Winkelüberdeckung über den Tagesverlauf wird aber nun benötigt?

Ein Vergleich der Einstrahlungsdiagramme von zehn ausgewählten Standorten der Nord- und Südhalbkugel und ein Auftragen über die Anwesenheitswahrscheinlichkeit ergibt eine gewisse Häufung bei Tagesüberdeckungswinkeln (Differenz zwischen Azimut bei Sonnenuntergang und Sonnenaufgang) von 240°. Ein anderer Schwerpunkt liegt bei ca. 120°, jedoch mit geringerer Anwesenheitswahrscheinlichkeit. (Nun ja, wer will schon gerne dort sein, wo die Sonne nur ein paar Stunden scheint.)

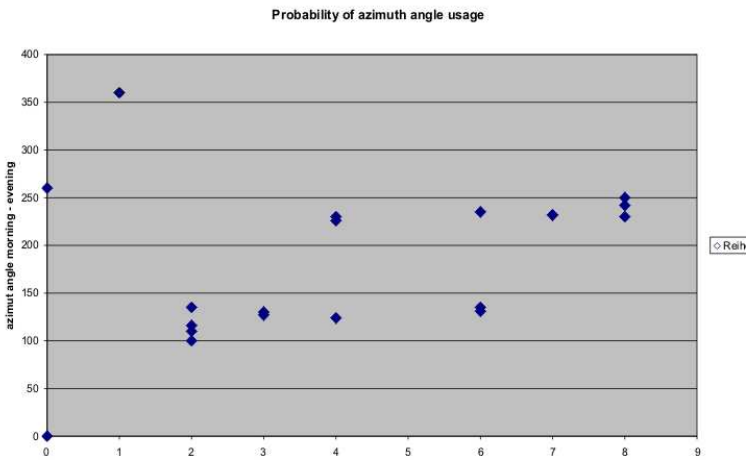


Abb. 3.1: Wahrscheinlichkeit von Azimut Winkeln

Dennoch ist genau dieser zweite Fall der kritischere Fall!

Ein geringer Winkel zwischen Sonnenauf- und –untergang bedeutet, dass die Sonne nur für kurze Zeit scheint. Dabei kann sie naturgemäß auch keine große Elevation erreichen. Genau dann müssen wir aber alles daran setzen, unserem Solargenerator den maximal möglichen Ertrag zu entlocken!

3.2 FAHRZEUGPOSITION UND -AUSRICHTUNG

3.2.1 Parkplatzwahl

In erster Linie werden wir die Fahrzeugposition und –ausrichtung natürlich nach den lokalen Geländeverhältnissen auswählen. Die wunderbare Aussicht auf die herrliche Bergkulisse nur bei einem verrenkten Blick aus dem Klofenster genießen zu können, nur um eine optimale Position für die Solarnachführung zu haben, wäre dann doch der falsche Weg.

Bei freier Parkplatzwahl oder dann, wenn leere Batterien nach einer gründlichen Ladung rufen, können wir das Fahrzeug aber meist so parken, dass wir an den kommenden Tagen einen optimalen Generatorertrag erzielen können.

3.2.2 Abschattung

Ein Faktor, der bei der Parkplatzwahl oft vernachlässigt wird, ist die Verschattung des Generators. Liegt der Solargenerator einen Großteil des Tags im Schatten von nahe stehenden Bäumen, Gebäuden oder umliegenden Bergen, verhilft uns auch die beste Nachführung nicht zu einer akzeptablen Energieausbeute.

Dabei müssen wir besonders darauf achten, dass bereits die Abschattung einer einzelnen Zelle die Leistung des gesamten Solargenerators halbieren oder ganz zusammenbrechen lassen kann (je nach Verschaltung der Generatoren). Dies resultiert aus der meist üblichen Serienschaltung der Zellen innerhalb eines Strangs. Auch hier gilt das Prinzip der Kette mit dem schwächsten Glied!

3.2.3 Umsetzen („rewind“)

Wir haben gesehen, dass mit der Nachführung nur ein begrenzter Drehbereich abzudecken ist. Wurde die Fahrzeugausrichtung nicht optimal gewählt, kann die Anlage dem Sonnenstand nicht ganztägig nachgeführt werden. Nach Erreichen der mechanischen Endposition ist ein „Umsetzen“ notwendig, d.h. ein manuelles oder automatisches Zurückfahren in die entgegengesetzte Endposition, um von dort beginnend weiter dem Sonnenstand nachfahren zu können.

Damit kann für einen Teil des Sonnenlaufs keine optimale Ausrichtung erzielt werden, für geraume Zeit wird die Sonne entweder rechts vom cw-Endpunkt stehen oder – nach dem Umsetzen - links vom ccw-Endpunkt. Zudem geht während der Zeit des Umsetzens Energie für den Antriebsmotor verloren; zudem zeigt dann der Rücken des Generators zur Sonne und die Ausgangsleistung wird zu Null sinken.

Ist ein automatisches Umsetzen in der Konfiguration freigegeben, muss dabei vor dem Umsetzen berechnet werden, ob es - beispielsweise am späten Nachmittag - noch sinnvoll bzw. notwendig ist!

Dies wird aus der noch zu erwartenden Sonnenscheindauer sowie aus dem Ladezustand der Batterien berechnet.

3.2.4 Optimale Fahrzeugausrichtung

Die optimale Fahrzeugausrichtung ist dann gegeben, wenn der Solargenerator von Sonnenaufgang bis Sonnenuntergang ohne Umsetzen der Sonne nachgeführt werden kann. Stehen wir vor einer Gruppe höher Bäume, sollte das Fahrzeug so orientiert werden, dass der Generator mit Blick auf den freien Himmel möglichst lange Zeit ohne Umsetzen nachgeführt werden kann.

Als Faustformel können wir uns merken: Schauen wir in der HOME-Position des Generators von der Verschluss-Seite über den Generator hinweg gen Süden (180°), haben wir die optimale Position gefunden. Geht der Blick gen Südwesten (225°) oder Südosten (135°) haben wir immer noch gute Karten, den Generator ganztägig optimal nachzuführen.

3.2.4.1 Position in gemäßigten Breiten

Zur Sommersonnwende (21. Juni; dann wenn die Tage am längsten sind) ergibt sich für München (48°N) ein Tagesüberdeckungswinkel von 250°$_{ges}$ bzw. +/- 125°. Bei einem festgelegten zulässigen Drehbereich von +/-170° (bezogen auf die HOME-Position) kann die Fahrzeugachse max. +/- 45° von der Optimalausrichtung abweichen, ohne dass wir Einbußen infolge nicht optimaler Nachführung hinnehmen müssen.

3.2.4.2 Standorte im hohen Norden oder tiefen Süden

Bei Standorten nördlich des nördlichen Wendekreises bzw. südlich des südlichen Wendekreises werden die Tagesüberdeckungswinkel im Sommer größer, je weiter wir uns den Polen nähern, bis hin zu Tagesüberdeckungswinkeln von 360°, wenn wir die Polarkreise überschreiten („Mitternachtssonne“). Zunächst erscheint es hier schwierig, eine optimale Fahrzeugausrichtung anzugeben. Ein Umsetzen ist hier – theoretisch – immer notwendig. Auf Grund der ganztägig geringen Elevation der Sonne wird man aber auch hier gut beraten sein, sein Fahrzeug wie oben geschildert grob gen Süden auszurichten und auf ein Umsetzen zu verzichten.

3.2.4.3 Standorte zwischen den Wendekreisen

Bei Standorten zwischen den Wendekreisen liegen die Tagesüberdeckungswinkel zwischen 130° und 230°. Wir haben also entsprechend mehr Toleranz zur Fahrzeugausrichtung.

Auf Grund der hohen Sonnenelevation im Tagesverlauf, der daraus resultierenden hohen Strahlungsleistung (geringer AM-Faktor) sowie des günstigen Einstrahlungswinkels auch auf einen waagerechten Solargenerator kann hier über-

legt werden, auf die Aufstellung und Nachführung des Generators ganz zu verzichten.

4 BEDIENUNG UND ANZEIGEN

Der Solar Turntable kann grundsätzlich in zwei aktiven Betriebsarten betrieben werden:

- Manueller Betrieb
- Automatischer Betrieb

In beiden Betriebsarten erfolgt zunächst eine manuelle Grundausrichtung des Turntable auf den Sonnenstand. Dies betrifft die Einstellung der Elevation sowie die Ausrichtung auf den Sonnenazimut.

Ist der Turntable auf den aktuellen Sonnenstand ausgerichtet, kann in den Automatikbetrieb umgeschaltet und es erfolgt eine automatische Nachführung, als TRACKING bezeichnet.

Ein vollautomatischer Betrieb mit automatischem Ausrichten aus jeder beliebigen Position auf den aktuellen Sonnenstand und nachfolgendem TRACKING ist wie erwähnt nicht implementiert, um die Konstruktion übersichtlich und robust zu halten.

4.1 EINSTELLUNG DER ELEVATION

Die Einstellung der Elevation muss nur bei größeren Änderungen des Breitengrads unserer Position erfolgen, d.h. wenn wir seit der letzten Einstellung lange Strecken gen Süden oder Norden unterwegs waren. Daher wurde zur Einstellung ein einfacher, robuster Mechanismus über einen Riemen am Aufstellrahmen und zwei Klemmblöcke am Grundrahmen gewählt.

Ist eine geringere Elevation gewünscht, öffnen wir die beiden Klemmblöcke, ziehen den Riemen soweit zur Mitte, bis die gewünschte Elevation erreicht ist und schließen die Klemmblöcke wieder. Gegebenenfalls müssen wir dabei am Aufstellrahmen gegenhalten, um ein automatisches Aufstellen durch die Gasdruckfedern zu verhindern.

Ist eine größere Elevation gewünscht, gehen wir vor wie beschrieben, lassen den Riemen aber bei leicht geöffneten Klemmeblöcken ausgleiten, bis sich der gewünschte Elevationswinkel einstellt.

Als „Skala“ für die Elevationseinstellung ist der Riemen mit Markierungen im Abstand von ca. 10 Grad versehen.

Die optimale Elevation wird an Hand des erwarteten Höchststands der Sonne berechnet und im Fenster „WASP>STT>Trackinfo“ angezeigt. Sie gilt naturgemäß für Automatik- und manuellen Betrieb gleichermaßen.

```
WASP>SUPPLIES>STT>TRACKINFO          5/8
-rewind D/M    1/0 |- restsun:    01:10h
-max.sol.elev: 60° |- sunrise:    06:23h
-opt.stt.elev: 30° |- sunset:     20:56h
```

Abb. 4.1: Anzeige der optimalen Generatorelevation

4.2 MANUELLER BETRIEB

Mit der internen Bedien- und Anzeigeeinheit (2WAA00 A100) oder der Manual Control Box (2WAA00 A150) können wir den Solar Turntable manuell auf jeden beliebigen Sonnenazimut (innerhalb des zulässigen Drehbereichs) ausrichten.

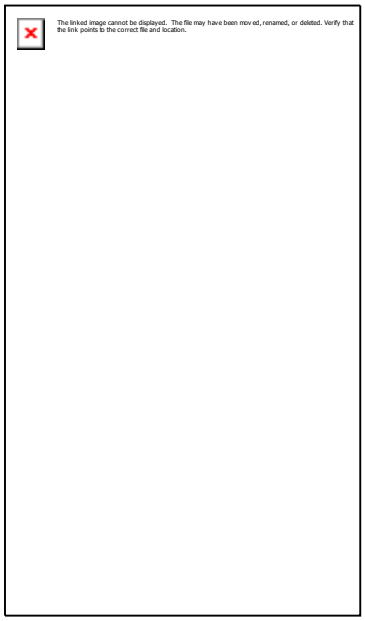


Abb. 4.1: Fernbedieneinheit zur manuellen Steuerung

Damit kann der Drehtisch ausgehend von seiner Home-Position zum aktuellen Sonnenstand ausgerichtet werden. Auch das „Parken“, das Fahren vom aktuellen Sonnenstand in die Home-Position kann hiermit durchgeführt werden.

Dabei kann der Turntable durch Bedienung des Drehschalters im Uhrzeigersinn (CW) als auch gegen den Uhrzeigersinn (CCW) bewegt werden. Eine Bewegung kann ausschließlich innerhalb des zulässigen mechanischen Drehbereichs (+/-170°) erfolgen.

4.2.1 Anzeigen

Während der Drehbewegung wird das Winkelsteuersignal durch langsames Blinken der gelben LED „*clock*“ angezeigt.

Befindet sich der Turntable in der neutralen Home-Position, wird dies durch die grüne LED „*home*“ signalisiert.

Ist eine elektrische Endlage erreicht, wird dies durch die roten LEDs „*limit*_cw“ bzw. „*limit_ccw*“ signalisiert.

!!! Im manuellen Betrieb erfolgt keine Absteuerung der Handbefehle beim Erreichen der elektrischen Endlagenschalter, sondern erst beim Erreichen der mechanischen Endlagenschalter!

Als Hilfestellung zur korrekten Ausrichtung auf den Sonnenstand wird über eine LED-Zeile die am Richtungssensor (2WAA xyz) gemessene „direktionale Einstrahlung“ angezeigt. Erreicht die Anzeige ihr Maximum, so ist die korrekte Ausrichtung erreicht.

!!! **Beim Ausrichten für den nachfolgenden Automatikbetrieb sollte darauf geachtet werden, dass der Turntable in eine Stellung mit aktivem clock-Signal (LED „clock“ leuchtet) positioniert wird. Damit ist sichergestellt, dass beim Erreichen des nächsten Trackingzeitpunkts eine volle Schrittweite durchfahren und damit eine optimale Ausrichtung erreicht wird.**

4.3 AUTOMATISCHER BETRIEB

Durch Drücken der Taste „*AUTO*“ an der Fernbedienungseinheit wird auf automatischen Betrieb umgeschaltet. In dieser Betriebsart kann die beschriebene automatische und zeitgesteuerte Nachführung des Turntable erfolgen.

Dabei können die Betriebszustände entsprechend Tabelle 4.1 angezeigt werden.

Betriebsart	**Funktion**
AUTO	Automatischer Betrieb, Voraussetzung für weitere „aktive“ Betriebsarten; in Betriebsart AUTO werden keine Stellbefehle abgegeben
TRACKING	„normaler“ Betrieb mit schrittweisem Verfahren des Turntable
DAY REWIND	Umsetzen in die entgegengesetzte Endlage nach Erreichen eine Grenzschalters im Tagesverlauf
MORNING REWIND	Umsetzen des Turntable am Morgen
HOMING	Fahren des Turntable in die HOME-Position
CALC	Berechnung der Trackingszeiten
LOCKED	Automatischer Betrieb nach Auftreten von Fehlern blockiert

Tab. 4.1 Betriebszustände Automatik

4.3.1 Automatikbetrieb

Nach Umschalten an der Fernbedienungseinheit auf AUTO wird zunächst nur in den Automatikmodus (Anzeige AUTO) gewechselt.

Liegt das Umschalten innerhalb des berechneten Fensters der Trackingzeiten und liegen keine Fehler vor, wird automatisch in den Modus TRACKING gewechselt.

Liegt die Umschaltung außerhalb des Tracking-Zeitfensters, verbleibt die Steuerung zunächst im AUTO-modus. Wird später die Startzeit des Tracking-Zeitfensters erreicht, erfolgt eine automatische Umschaltung in den TRACKING-Modus

4.3.1.1 Funktion

Im AUTO-Modus werden keine Befehle an den Antrieb abgegeben. Die Überwachungen sind jedoch aktiv. Tritt im AUTO-Modus oder in einem der aktiven Modi ein Fehler auf (siehe Kap. 5.2.8), so wird in den LOCKED-Modus gewechselt.

4.3.1.2 Anzeige

Während des AUTO-Modus erfolgen die folgenden Anzeigen im ersten Fenster („*window*“):

- Statusanzeige „AUTO“
- Aktuelle Uhrzeit (Lokalzeit)
- Zeit des nächsten Trackings (Lokalzeit)
- Relativer Drehwinkel des Turntable
- Effektive Start- und Stoppzeit des Trackings. Diese Zeiten werden an Hand der Sonnenauf- und – untergangszeiten sowie des zulässigen Zeitfensters berechnet (sh. Kap. 5.3.5)



Abb. 4.2: Anzeigefenster „AUTO“

Neben diesem Hauptfenster können zwei weitere Fenster aufgeschaltet werden, in denen Details bzw. weiterführende Informationen erscheinen:

- Freigabe des Tages- bzw. morgendlichen Umsetzens (DAY REWIND bzw. MORNING REWIND)

- Maximale Sonnenelevation (Höhe über Horizont)
- Optimale Elevation des Solargenerators
- Verbleibende Sonnenscheindauer (bis Sonnenuntergang)
- Zeit Sonnenaufgang und Sonnenuntergang (Zirka-Werte!)

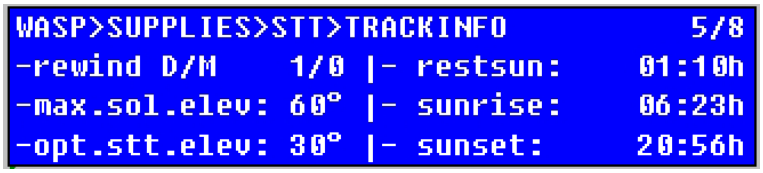


Abb. 4.3: Anzeigefenster „TRACKINFO“

Das dritte Fenster besteht seinerseits aus drei Unterfenstern, die zyklisch umgeschaltet werden. Sie dienen der Auflistung der berechneten Trackingzeiten und werden nur im Sonderfall aufgerufen.

4.3.2 Nachführung („TRACKING“)

Über die Teilung der Sensorscheibe ist festgelegt, in welchen Schritten der Turntable gedreht werden kann. Die eingestellte Teilung beträgt 10°.

Abhängig von der lokalen Position (GPS-Koordinaten) und dem Datum errechnet die zentrale Steuereinheit (Central Tiger Board; 0CMA01 A152)) die Zeitspanne, nach der der Turntable einen Schritt weiter gedreht werden muss. Nach Ablauf jeder Zeitspanne dreht er den Generator um einen Schritt weiter.

Damit ist eine weitgehend automatisierte Nachführung und Ausrichtung auf den Sonnenstand gewährleistet. Die Richtung des TRACKING wird ebenfalls automatisch festgelegt, d.h. auf der Nordhalbkugel erfolgt ein TRACKING im Uhrzeigersinn („CW“), auf der Südhalbkugel entgegen dem Uhrzeigersinn („CCW“).

4.3.2.1 Funktion

Beim aktivierten Tracking wird beim Erreichen der berechneten Verfahrzeit (Trackingzeit) der Drehtisch um einen Schritt – also 10° - in Richtung des Sonnenlaufs verfahren.

Die Intervalle zwischen den Schritten werden automatisch an Hand des Sonnenlaufs berechnet und sind – wie wir später sehen werden – nicht konstant.

4.3.2.2 Anzeige

Während des Tracking erfolgen die folgenden Anzeigen im ersten Fenster („*window*“):

- Statusanzeige „TRACKING“
- Aktuelle Uhrzeit (Lokalzeit)

- Zeit des nächsten Trackings (Lokalzeit)
- Kommandogabe und relativer Drehwinkel
- Effektive Start- und Stoppzeit des Trackings. Diese Zeiten werden an Hand der Sonnenauf- und – untergangszeiten sowie des zulässigen Zeitfensters berechnet (sh. Kap. 5.3.5)



Abb. 4.4: Anzeigefenster „TRACKING“

Es sind keine weiteren manuellen Einstellungen o.ä. durchzuführen.

4.3.3 Automatisches Umsetzen („REWIND DAYTIME“)

Durch „ungünstige“ Positionierung des Fahrzeugs kann im Tagesverlauf ein Umsetzen notwendig werden. Dazu muss der Turntable bis zur jeweils entgegengesetzten Endlage gedreht werden.

Die in der Umsetzzeit verlorene Energie sollte gering sein, da der Solargenerator - außer in der eigentlichen Rückdrehzeit (ca. 60 s) - noch recht gut auf die Sonne ausgerichtet ist. Konkrete Messungen sollten im Betrieb durchgeführt werden.

4.3.3.1 Funktion

Das automatische Umsetzen erfolgt – bei entsprechender Freigabe in der zentralen Steuereinheit – automatisch. Auf Grund der mechanischen Begrenzungen (± 170°) ist hierfür eine Zeitspanne von 3 Intervallzeiten notwendig. Danach ist der Turntable wieder synchron zur Sonnenbewegung.

Das Umsetzen wird aktiviert, wenn während eines „normalen“ Trackingbefehls ein dem Sonnenlauf entsprechender (elektrische) Endlagenschalter erreicht wird (und die Freigabe dazu eingestellt). Da sich das REWIND über 3 Intervallzeiten (also durchschnittlich 2 Stunden) erstreckt, zeigt ein Zähler den gerade aktiven Schritt an; bei Erreichen jeder weiteren Trackingzeit wird der Zähler um eins erhöht.

- Schritt [1]: Erreichen des Endlagenschalter aus dem Tracking heraus
- Schritt [2]: Umsetzen in die entgegengesetzte Endlage
- Schritt [3]: Reaktivieren des Tracking ohne Befehlsgabe.

In der Zeit zwischen den genannten Schritten werden keine Aktionen durchgeführt.

!!! Wird bei aktivierten REWIND auf manuellen Betrieb umgeschaltet, wird das REWIND gelöscht. Ein Umsetzen kann dann nur manuell erfolgen.

Die Zeit für das Umsetzen sowie die Zeit des Sonnenlaufs über den „toten Winkels“ zwischen -170° und +170° (d.h. 20°) wird in der Steuersoftware berechnet.

Nach Abschluss des REWIND wird das zeitgesteuertes TRACKING wie in 4.3.2 beschrieben, weitergeführt.

4.3.3.2 Anzeige

Während des Umsetzens erfolgen entsprechend veränderte Anzeigen der zweiten Zeile des ersten Fensters:

- Statusanzeige „D.REWIND“ (day rewind)
- Zählerstand des Rewind ([2] in Abb 4.5) und relativer Drehwinkel



Abb. 4.5: Anzeigefenster „REWIND“

4.3.4 Umsetzen am Morgen („MORNING REWIND“)

Nach Sonnenuntergang oder bei Sonnenaufgang ist ein Umsetzen auf den Azimut bei Sonnenaufgang notwendig. Dies kann ebenfalls automatisch erfolgen, sofern die entsprechende Freigabe gesetzt ist.

4.3.4.1 Funktion

Das morgendliche Umsetzen erfolgt – bei entsprechender Freigabe in der zentralen Steuereinheit – ebenfalls automatisch. Dazu wird zunächst die Anzahl der Intervalle zwischen Abend- und Morgenazimut berechnet.

Beim Erreichen der morgendlichen Startzeit und freigegebenem MORNING-REWIND wird der Turntable um die berechnete Anzahl von Intervallen *entgegen* dem Sonnenlauf verstellt. Damit ist eine automatische Ausrichtung zur aufgehenden Sonne gewährleistet.

Danach wird wieder in den normalen Trackingmodus umgeschaltet.

Die Anzahl der Rücklaufschritte ist etwas problematisch und wird daher im Fenster ebenfalls angezeigt. Bei nicht freigegebenem DAY-REWIND oder Erreichen der abendlichen Endlage mit zu geringer verbleibender Sonnenscheindauer kann es dazu kommen, dass das morgendliche REWIND nicht ordnungsgeäß funktioniert (sh. Kap. 10).

Ist das automatische MORNING-REWIND nicht freigegeben, kann eine Ausrichtung auf den morgendlichen Sonnenstand manuell erfolgen. Diese kann wahlweise bereits am Abend vorher oder am Morgen vorgenommen werden. Danach kann wieder in den Automatik-Modus umgeschaltet werden. Damit wird das TRACKING zur gewünschten Zeit automatisch gestartet.

4.3.4.2 Anzeige

Während des Umsetzens erfolgen entsprechend veränderte Anzeigen der zweiten Zeile des ersten Fensters:

- Statusanzeige „M.REWIND“ (morning rewind)
- Zählerstand des Rücklaufzählers ([17] in Abb 4.6) und relativer Drehwinkel
  (der Zählerstand wird nach jedem 10°-Intervall reduziert; bei Zählerstand 0 (null) ist das REWIND komplett)



Abb. 4.6: Anzeigefenster „MORNING REWIND“

4.3.5 Fahren in die HOME-Position



Vor Fahrtbeginn – auch bei kürzesten Strecken – ist der Solar Turntable in die Home-Position zu drehen, einzuklappen und zu verrriegeln!

Ist die Verriegelung nicht korrekt eingelegt, erfolgt im Fahrerhaus ein Warnhinweis!

Das Fahren in die HOME-Position kann manuell oder halbautomatisch erfolgen.

4.3.5.1 Halbautomatisches HOMING

Zum Start des halbautomatischen Homings ist über die WASP-Bedieneinheit ein entsprechender Befehl abzusetzen (Variable *stt_home_req*; derzeit noch nicht implementiert!).

4.3.5.2 Funktion

Nach Anforderung des HOMINGS fährt der Turntable – abhängig von der aktuellen Position – in cw- oder ccw-Richtung so lange, bis die HOME-Position erreicht ist.

!!! Das Einklappen des Solargenerators und das Verriegeln des Turntable müssen in jedem Fall manuell erfolgen!

4.3.5.3 Anzeige

Während des HOMINGS erfolgen entsprechend veränderte Anzeigen der zweiten Zeile des ersten Fensters:

- Statusanzeige „HOMING“ (morning rewind)
- Relativer Drehwinkel

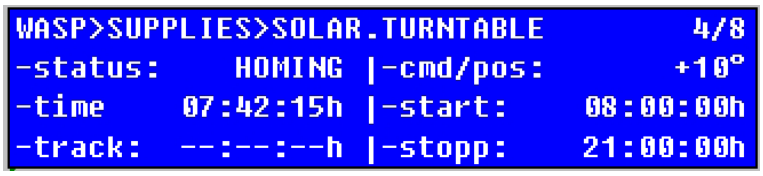


Abb. 4.7: Anzeigefenster „HOMING“

4.3.5.4 Manuelles HOMING

Zum manuellen Fahren in die HOME-Position wird über den Drehschalter an der Fernbedienungseinheit ein cw- oder ein ccw-Signal an den Antrieb gegeben, je nachdem, in welcher Ausrichtung sich der Turntable gerade befindet. Bei Erreichen der HOME-Position erscheint die grüne LED auf der Anzeige.

Nun kann der Solargenerator manuell eingeklappt werden. Dabei ist darauf zu achten, dass die seitlichen Rahmenenden in die dafür vorgesehenen Kunststoffführungen einrasten. Bei kleineren Winkelabweichungen können die Rahmenenden nicht in die Kunststoffführungen einrasten. In diesem Fall können kurze manuelle Drehbefehle gegeben werden, bis die Rahmenenden durch ihr Eigengewicht einrasten.

Ein händisches Drehen des Generators ist in jedem Fall zu vermeiden, um die Reibräder des Antriebs nicht zu beschädigen.

4.3.6 Blockierter Modus („LOCKED“)

Im automatischen Betrieb wird der Turntable stets auf korrekte Funktionen überwacht:

- Korrekte Rückmeldung („*running*“) bei aktiver Befehlsgabe
- Keine Rückmeldung („*running“)* ohne Befehlsgabe
- Änderung des „*clock*“-Signals innerhalb Toleranzzeit bei Befehlsgabe
- Keine Änderung des „*clock*“-Signals ohne Befehlsgabe.

4.3.6.1 Funktion

Wird eine der Überwachungsbedingungen verletzt, schaltet die Automatik in den LOCKED-Modus. Dabei werden alle Befehlsausgänge zurückgesetzt.

Auch aus anderen Gründen kann vom Programm in den LOCKED-Modus gewechselt werden, z.B. bei fehlerhaften Berechnungen, Parameterfehlern o.ä.; eine manuelle Aktivierung dieser Betriebsart ist nicht möglich. Die Ursache der Umschaltung wird im Anzeigefenster visualisiert.

4.3.6.2 Quittierung

Die Quittierung aller Fehler und Rückkehr in den ungestörten Betrieb kann durch Umschaltung in die manuelle Betriebsart und neuerliches Drücken der AUTO-Taste an der Fernbedieneinheit erfolgen.

4.3.6.3 Anzeige

In der Betriebsart LOCKED erfolgen entsprechend veränderte Anzeigen der zweiten Zeile des ersten Fensters:

- Statusanzeige „LOCK“
- Angabe des Fehlercodes in HEX-Format [03h] in Abb.4.8.
- Löschen der nächsten Trackingzeit (es erfolgt bis zur Quittierung kein weiteres Tracking)

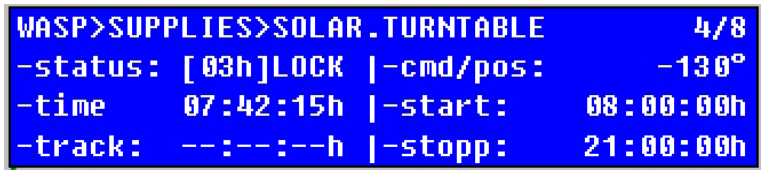


Abb. 4.8: Anzeigefenster „LOCKED“

Eine Tabelle mit möglichen Fehlercodes findet sich in Kapitel 11.3.

4.3.7 Verriegelung („latch“)



Vor Fahrtantritt ist in jedem Fall die Verriegelung des Solar Turntable einzulegen bzw. zu überprüfen. Ist der Solargenerator nicht ordnungsgemäß verriegelt, können Erschütterungen während der Fahrt dazu führen, dass sich der Drehtisch eigenständig aufstellt.

Durch Fahrtwind, Äste oder dergleichen kann dabei der gesamte Solargenerator aus seiner Halterung gerissen werden!

Auf Grund seines Gewichts und der Größe stellt er eine erhebliche Verkehrsgefährdung dar!

Die Verriegelung erfolgt über den an der Oberseite angebrachten Verriegelungshebel. Dieser ist im Uhrzeigersinn um 180° zu drehen, bis die beiden Schubstangen vollständig in den Kunststoffblöcken eingefahren sind.

Die korrekte Verriegelung wird im Fahrerhaus angezeigt.

5 SOFTWARE

Die Software zur Steuerung des Solar Turntable wurde aus Übersichtlichkeitsgründen auf mehrere Programmteile aufgeteilt. Damit können einzelne Module auch von anderen Teilen des Hauptprogramms verwendet werden.

Die ausschließlich für die Steuerung des Solar Turntable zuständigen Routinen beginnen mit STT_ als Kürzel für **S**olar **T**urn **T**able.

Die für die Steuerung notwendigen Programmteile sind:

- STT_SUB_CTRLS (Steuerroutinen)
- STT_SUB_CALCS (Berechnungsroutinen)
- TIME_SUBROUTINES (Zeit- und Datumsbehandlungen)

Darüber hinaus sind eine Reihe von kleineren Unterprogrammen nötig, die nicht ausschließlich für den Solar Turntable zuständig sind und daher in der Gesamtbeschreibung behandelt werden.

Die Steuerung und Überwachung des STT erfolgt über die Routine STT_CONTROLS des Programmteils STT_SUB_CTRLS, die vom WASP-Hauptprogrammm zyklisch aufgerufen wird und ihrerseits die weiteren Routinen aufruft.

Alle Subroutinen und ihre Hauptaufgaben sind im Anhang 11.4 gelistet.

5.1 VARIABLENDEKLARATION

Auf Grund der zahlreichen Unterprogramme, die z.T. rekursiv aufgerufen werden und viele gemeinsame Variablen verarbeiten, wurden (fast) alle Variablen als **globale Variable** angelegt.

Lediglich unbedeutendere, ausschließlich in *einer* Subroutine gültigen Variablen wurden als **lokale Variable** deklariert.

Die Deklaration erfolgte überwiegend als BYTE (Steuervariablen) oder LONG (Zeitvariablen) bzw. STRING (Anzeigestrings), um eine schnelle Abarbeitung sicherzustellen.

Mehrere Variablen, die eigentlich REAL-Charakter haben wurden als LONG Variablen deklariert, da dies eine wesentlich schnellere Berechnung ermöglichen. Zur Berücksichtigung der Nachkommastellen wurden diese mit 1E+3 bzw. 1E+6 multipliziert. So werden z.B. die Längen- und Breitenangaben (GPS-Koordinaten) wie folgt gehandelt:

- latitude = 48130000 (LONG) entspricht 48,130° N
- longitude = 11580000 (LONG) entspricht 11,580° E

Für die astronomischen Berechnungen zum Sonnenstand werden zahlreiche REAL Variablen verwendet, die jedoch lokal deklariert sind. Ausnahme bildet das universell verwendbare Julianische Datum (JD), das global deklariert ist und von mehreren Routinen verwendet wird.

5.2 PROGRAMMTEIL STT_SUB_CTRLS_VXY

In diesem Programmteil sind die Routinen zur Steuerung des STT zusammengefasst, sofern sie keine numerischen Berechnungen erfordern.

_Vxy gibt hierbei die Versionsnummer an.

Ein Aufruf der Routine erfolgt in jedem Zyklus, unabhängig vom Zustand des Solar Turntable (elevated / auto / manuell o.ä.).

Die wichtigsten Routinen daraus sollen kurz erläutert werden.

5.2.1 Routine STT_CONTROLS

Es werden in jedem Zyklus die folgenden Teilaufgaben nacheinander abgearbeitet. Dabei erfolgt die weiterführende Verarbeitung hauptsächlich abhängig von sog. return_codes der vorher aufgerufenen Unterroutinen.

- Überprüfung, ob der STT betriebsbereit ist (aufgerichtet und TRACKING nicht disabled).
- Aufruf der Positionsberechnung (Drehwinkel) unabhängig vom gewählten Betriebsmodus.
- Im manuellen Modus Berechnung der nächsten Trackingzeit
- im AUTO-Modus Setzen der notwendigen *requests* zur Steuerung der Betriebsart.
- Auswertung der gesetzten Betriebsart und der Aufruf der zugehörigen Subroutinen, die die eigentlichen Aktionen der gewählten Betriebsart veranlassen.
- Aufruf zur Bestimmung der nächsten Trackingzeit (tatsächliche Berechnung findet nur statt, wenn der zugehörige request gesetzt ist)
- Aufruf der Überwachungsroutinen, sofern ENABLED

5.2.2 Routine STT_ACT_TRACKING

Hier erfolgt die Steuerung des eigentlichen Trackings.

- Aufruf der Winding Prozedur mit Parameterübergabe für ein (1) Intervall in Richtung des Sonnenlaufs (Richtung des Sonnenlauf wird in STT_CALC_TRACKING_TIMES festgelegt).
- Setzten des Requests zur Berechnung der nächsten Trackingzeit nach Komplettierung der Drehung
- Anstoß des DAY-REWIND bei Erreichen des Endlagenschalters in Richtung Sonnenlauf (über *stt_rewind_req_dayt*); Setzen des Sequenzzählers auf ‚1'
- Umschaltung auf Verriegelung (STT_OP_MODE_LOCK) falls unplausible Rückmeldungen erfolgen

5.2.3 Routine STT_ACT_HOMING

Hier erfolgt die Steuerung des eigentlichen Trackings.

- Entscheid über notwendige Drehrichtung aus der aktuellen Position
- Aufruf der Winding Prozedur mit Parameterübergabe für beliebige Anzahl Intervalle in festgelegter Richtung (stt_home_dir = cw oder ccw)
- Umschaltung auf Stillstand (STT_OP_MODE_NOP), wenn HOME-Position erreicht ist
- Umschaltung auf Verriegelung (STT_OP_MODE_LOCK) falls unplausible Rückmeldungen erfolgen

5.2.4 Routine STT_DAY_REWIND

Hier erfolgt die Steuerung des Rewind im Tagesverlauf. Es ist eine der komplexeren Automatiken, konnte jedoch über den Zähler *stt_rewind_seq_cnt* übersichtlich gehalten werden.

5.2.4.1 Funktion

Der day rewind wird aktiviert, wenn:

- Der day rewind freigegeben ist (Eintrag in der *stt_config.cfg* Datei)
- Bis Sonnenuntergang noch mindestens die minimale Restsonnenscheindauer zu erwarten ist (minimale Restsonnescheindauer = Eintrag in stt_config)
- Der limit-Schalter in der vorgesehenen Richtung angesprochen hat (d.h. der limit_cw Schalter, wenn cw-tracking erforderlich bzw. der limit_ccw Schalter, wenn ccw-tracking erforderlich)
- Die nächste Trackingzeit erreicht ist (dies würde eine Drehung auf z.B. +180° anfordern)

Danach dreht der STT in entgegen gesetzter Richtung bis er den dortigen Anschlag (limit_ccw bzw. limit_cw) erreicht hat.

Danach wird der Befehl abgesteuert und die nächste Trackingzeit ausgelesen.

Bei Erreichen der nächsten Trackingzeit (t_0 + 2 x $t_{intervall}$) wird der rewind modus zurückgesetzt und mit tracking_mem der tracking modus wieder aktiviert. Es erfolgt ein neuerliches Auslesen der nächsten Trackingzeit. Es erfolgt keine aktuelle Befehlsgabe!

Bei Erreichen der nächsten Trackingzeit (t_0 + 3 x $t_{intervall}$) wird wieder ein Stellbefehl für die gewünschte Drehrichtung ausgegeben. Es besteht kein Unterschied mehr zum „normalen“ Tracking.

Die nachfolgende Tabelle soll den zeitlichen Zusammenhang ein wenig verdeutlichen:

Zeitpunkt	**Aktion**	**Position Start**	**Position Stopp**	**Position Sonne**
t_0	< Tracking Befehl cw wird gestartet	+160°		+160°
t_0 + t_{run}	< limit_cw spricht an < tracking-Befehl wird abgesteuert < tracking wird abgesteuert mit Kennung „limit“ und memory = tracking		+170°	
t_0 + 1 x $t_{intervall}$	< Rewind wird gestartet (sofern restliche Voraussetzungen vorliegen) < Befehl ccw wird gesetzt	+170°		+170°
t_0 + 1 x $t_{intervall}$ + t_{rewind}	< Limit_ccw spricht an < Befehl ccw wird abgesteuert		-170°	
t_0 + 2 x $t_{intervall}$	< Mit memory = tracking wird tracking gestartet und rewind zurückgesetzt < keine Befehlsgabe !	-170°		+180°
t_0 + 3 x $t_{intervall}$	< Tracking Befehl cw wird gestartet	-170°	-160	+190° = -170°

5.2.4.2 Realisierung

Die Routine wird nur angestoßen, wenn die entsprechende Freigabe vorliegt (stt_config.cfg) sowie die verbleibende Sonnenscheinzeit (Zeit bis Sonnenuntergang) ausreichend groß ist.

- Bei Zählerstand ‚0’ und ‚1’ erfolgen keine Aktionen.
  ‚0’ entspricht dabei dem Zustand nach dem Programmladen oder in manuellen Betrieb.

’1’ wird gesetzt, wenn die Trackingroutine die Endlage in Richtung des Sonnenlaufs erreicht hat (sh. 5.2.2)

- Aufruf der Winding Prozedur mit Parameterübergabe für Drehung bis zum Endschalter entgegen des Sonnenlaufs bei Zählerstand ‚2’.
- Umschaltung auf Verriegelung (STT_OP_MODE_LOCK) falls unplausible Rückmeldungen erfolgen
- Aktivierung der vorherigen Betriebsart bei Zählerstand ‚3’ (relevant ist hierbei nur der Tracking Mode)

5.2.5 Routine STT_MRNG_REWIND

Hier erfolgt die Steuerung des REWIND am Morgen.

5.2.5.1 Funktion

Der morning rewind wird aktiviert, wenn:

- Der morning rewind freigegeben ist (Eintrag in der *stt_config.cfg* Datei)
- Die Startzeit erreicht ist (= erste Trackingzeit)

Um Mitternacht werden die Trackingzeiten des kommenden Tags berechnet und in dem Array abgelegt. Dabei erfolgt auch eine Bestimmung der Anzahl der Einträge zwischen Start- und Stoppzeit = $count_{start\text{-}stopp}$

Bei Erreichen der Startzeit und aktiviertem automatik-Modus wird der Modus morning-rewind aktiviert.

Daraufhin wird um $count_{start\text{-}stopp}$ Intervalle zurückgedreht.

Bei erfolgreicher Rückdrehung wird morning-rewind abgeschaltet und - bei aktiviertem tracking-mem - in den normalen tracking Modus geschaltet. Danach erfolgt das tracking nach der bekannten Routine.

Ist das morning-rewind nicht aktiviert, verbeliebt der Solar Turntable beim Erreichen der Tracking-Startzeit in seiner derzeitigen Position.

5.2.5.2 Realisierung

Die geforderte Funktion wurde wie folgt realisiert:

- Übernahme der Anzahl der Intervalle aus Berechnungsroutine (sh. 5.3.12)
- Aufruf der Winding Prozedur mit Parameterübergabe für Drehung um x Intervalle entgegen des Sonnenlaufs.
- Anforderung der Betriebsart TRACKING, wenn Drehung erfolgreich abgeschlossen ist

- Umschaltung auf Verriegelung (STT_OP_MODE_LOCK) falls unplausible Rückmeldungen erfolgen

5.2.6 Routine STT_AUTOMATIC

Hier erfolgt die Steuerung des Automatik-Modus. Dies ist ein INAKTIVER Modus, in dem keine Steuerungen durchgeführt werden.

Aus dem Automatik-Modus heraus wird bei Erreichen der Tracking-Startzeit in den (aktiven) Tracking-Modus umgeschaltet.

5.2.7 Routine STT_POSITION

In dieser Routine erfolgt die Steuerung des Positionszählers. Um eine korrekte Positionserkennung zu gewährleisten (sie beruht auf der Zählung der *clock*-Impulse) muss die Routine im *automatik*- und im *manuell*-Modus aufgerufen werden.

Dazu dienen folgende Berechnungen / Abfragen

- Inkrementieren des Positionszählers bei Eintreffen einer positiven *clock*-Flanke und *running_cw* signal
- Dekrementieren des Positionszählers bei Eintreffen einer positiven *clock*-Flanke und *running_ccw* signal
- Setzen der clock-Startzeit bei Eintreffen einer positiven *clock*-Flanke zur Überwachung der Laufzeit bei längeren Steuerbefehlen (*homing* oder *rewind*)
- Vergleich des Positionszählers bei Eintreffen des *home*-Signals (muss 18 · 180° lauten und Generierung des error-codes bei Abweichung. Um unterschiedliche Eintreffzeiten des *clock*- und des *home*-Signals auszugleichen, wird eine Toleranz von 18 ±1 zugelassen.
- Setzen des Positionszählers auf 18 · 180° bei Eintreffen des *home*-Signals.

5.2.8 Routine STT_SUPERVISION

In dieser Routine erfolgt die Überwachung des Solar Turntables. Die Überwachung erfolgt nur im *automatik*-Modus.

Dazu dienen folgende Berechnungen / Abfragen

- Bei aktiver Befehlsgabe muss nach Toleranzzeit (>1 Zyklus) das zugehörige *running*-Signal zurückgemeldet werden (cmd_no_output)
- Eine aktive Rückmeldung (*running_cw* oder *running_ccw*) darf nicht länger als festgelegte Zeit anstehen (t>tmax; Befehlszeitüberschreitung). Die

zulässige Zeit ist abhängig von der Steuerungsart (*Tracking, Homing, Rewind*)

- Bei nicht aktiver Befehlsgabe darf das *clock*-Signal keine Änderung aufweisen (act_no_cmd, „Slipping“)
- Bei nicht aktiver Befehlsgabe darf keine aktive Rückmeldung (*running_cw* oder *running_ccw*) anstehen (nach Toleranzzeit > 1 Zyklus)
- Absteuerung der CW-und CCW-Stellbefehle für den Drehmotor bei Eintritt einer Überwachungsbedingung (s.o.)
- Bei aktiver Befehlsgabe muss nach einer Toleranzzeit das *clock*-Signal zurückgemeldet werden. Diese Überwachung greift nur in den Modi „*rewind*“ und „*homing*“, da im Modus „*tracking*“ bei Eintreffen des *clock*-Signals der cw-Stellbefehl abgesteuert wird.
  Die Startzeit des *clock*-Signals wird in der Routine STT_POSITION gesetzt. Die Toleranzzeit zwischen *clock*-Flanken ist die max. Befehlszeit im *tracking*-Mode.

5.2.9 Routinen STT_CMD_OUT

Hier erfolgt die An- und Absteuerung der Ausgabekontakte für die Befehlsgabe:

- Überprüfung auf anstehende Endlagenschalter in gewünschter Drehrichtung (dann keine Befehlsgabe und Rückgabe eines Fehlercodes)
- Überprüfung auf anstehende gegensinnige Befehle (dann keine Befehlsgabe und Rückgabe eines Fehlercodes)
- Setzen der Startzeiten zur Befehlsüberwachung bei aktivierter Befehlsgabe
- Absteuern der Befehlsgabe und Setzen der Stoppzeiten zur Befehlsüberwachung

5.2.10 Routine STT_WINDING

Dies ist eine der zentralen Unterroutinen. Sie steuert die Drehung abhängig von den Anforderungen des aufrufenden Hauptprogramm. Der gewünschte Modus wird über Parameter übergeben.

Folgende Modi können übergeben werden:

STT_WIND_COUNT	Drehung um x Intervalle im Sinne des Sonnenlaufs; x wird als zweiter Parameter übergeben
STT_WIND_CCOUNT	Drehung um x Intervalle entgegen dem Sonnenlauf; x wird als zweiter Parameter übergeben
STT_WIND_LIM	Drehung bis zum Endlagenschalter im Sinne des Sonnenlaufs

STT_WIND_CLIM	Drehung bis zum Endlagenschalter entgegen dem Sonnenlauf
STT_WIND_HOME	Drehung bis zum Erreichen der HOME-Position; Als Parameter wird die erforderliche Drehrichtung (cw oder ccw) übergeben

Abhängig vom Zustand werden folgende Meldungen zurückgegeben:

STT_WIND_RUNS	Drehung läuft (Befehlsgabe aktiv)
STT_WIND_COMPL	Anforderung abgearbeitet (komplettiert); Impuls für 1 Zyklus
STT_WIND_NOP	Keine Befehlsgabe läuft
STT_WIND_LIM_REACHD	Endlagenschalter im Sinne des Sonnenlaufs erreicht
STT_WIND_CLIM_REACHD	Endlagenschalter entgegen dem Sonnenlauf erreicht
STT_WRONG_PARAMETER	Falsche Parameterübergabe
STT_WIND_CANCELLED	Abbruch wegen fehlerhafter Rückmeldungen

Dazu dienen folgende Berechnungen / Abfragen abhängig vom übergebenen Modus:

- Überprüfung der übergebenen Parameter auf Plausibilität (anhängig vom angeforderten Modus)
- Entscheid über Drehrichtung im Vergleich zur Richtung des Sonnenlaufs (*stt_sol_dir*)
- Ansteuerung der Befehlsgabe (STT_CMD_OUT)
- Auswertung des von STT_CMD_OUT zurückgegebenen Codes und Umwandlung in Primär- und Sekundärcodes, die an aufrufende Routine zurückgegeben werden
- Absteuern der Befehlsgabe bei Erreichen der elektrischen Endlagenschalter
- Zählen der zurückgelegten Schritte und Vergleich mit Sollanzahl (das eigentliche Zählen der positiven *clock*-Flanken erfolgt in STT_POSITION)
- Absteuern der Befehlsgabe bei Erreichen der geforderten Schrittanzahl
- Ansteuerung der Befehlsgabe (STT_CMD_OUT) im HOMING-Modus in gewünschter Drehrichtung (Teilroutine ist unabhängig von der Richtung des Sonnenlaufs, erforderliche Drehrichtung wird von STT_ACT_HOMING übergeben)

- Absteuerung der Befehlsgabe (STT_CMD_OUT) im HOMING-Modus, wenn HOME-Position erreicht ist (Teilroutine ist unabhängig von der Richtung des Sonnenlaufs, erforderliche Drehrichtung wird von STT_ACT_HOMING übergeben)

5.3 PROGRAMMTEIL STT_SUB_CALCS_VXY

In diesem Programmteil sind die Berechnungen zur Steuerung des STT zusammengefasst, _Vxy gibt auch hierbei die Versionsnummer an.

Die wichtigsten Routinen daraus sollen kurz erläutert werden.

5.3.1 Routine STT_GET_OPERATION_MODE

Hier erfolgt die Berechnung und gegenseitige Verriegelung der Betriebsarten:

- Löschen der anstehenden Requests in Betriebsart Manual
- Umschaltung aus TRACKING-Mode beim Erreichen der Tracking-Startzeit
- Umschaltung auf AUTO-Mode beim Erreichen der Tracking-Stoppzeit
- Umschaltung auf gewünschte Betriebsart bei Anstehen eines requests (sofern zugehörige Verriegelungen erfüllt sind.
- Rücksetzen des Request-Signals sobald gewünschte Umschaltung erfolgt ist.

5.3.2 Routine STT_TTIME_COMPARE

Hier erfolgt die Überprüfung, ob eine bestimmte Tracking-Zeit erreicht ist. Alle Überprüfungen beinhalten eine einstellbare Toleranz, da die RTC-Uhr unter schwierigen Bedingungen um 1-2 Sekunden springen kann und somit kein exakter Zeitvergleich (auf ms- oder s-Basis möglich ist).

Die Ausgangssignale stehen jeweils nur für einen Zyklus an, um eine eindeutige Weiterverarbeitung sicherzustellen!

- Überprüfung auf Erreichen der Tracking-Startzeit
- Überprüfung auf Erreichen der Tracking-Stoppzeit
- Überprüfung auf Erreichen einer Tracking-Zeit zwischen Start- und Stoppzeit
- Übergeben der gegenseitig exklusiven Steuersignale, das in den aufrufenden Routinen weiter verarbeitet werden.

5.3.3 Routine STT_GET_NEXT_TRACKING

Diese Routine berechnet die Zeitpunkte, zu denen ein Tracking erfolgen muss. Dabei kann über den Eintrag *stt_intrvl_mode* in der *stt_track_config* zwischen folgenden Möglichkeiten gewählt werden:

- Berechnung mit äquidistanten Zeiten, Drehrichtung im Uhrzeigersinn (cw)
- Berechnung mit äquidistanten Zeiten, Drehrichtung entgegen Uhrzeigersinn (ccw)
- Berechnung mit optimierten Trackingzeiten an Hand des Sonnenlaufs, Drehrichtung wird automatisch berechnet

Während der Laufzeit der Berechnung wird ein progress-Fenster angezeigt.

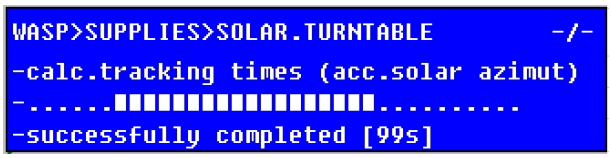


Abb. 5.1: Anzeigefenster bei Berechnung der Trackingzeiten

Die Routine zur Berechnung der optimierten Zeiten wird auf Grund des umfangreichen und zeitaufwändigen Verlaufs nur zum Tageswechsel aufgerufen oder dann, wenn für den laufenden Tag noch keine erfolgreiche Berechnung durchgeführt wurde (z.B. beim ersten Aufstellen des Solargenerators nach dem Programmstart). Der Zeitbedarf für eine Berechnung aller Minutenwerte des Sonnenstands beträgt ca. 2 ½ Minuten.

- Vergleich des aktuellen Datum mit dem Datum der letzten Berechnung; damit Erzwingung einer neuen Berechnung nach Tageswechsel
- Aufruf der Unterroutine STT_CALC_TRACKING_TIME zur Berechnung des Arrays von Tracking-Zeiten (sofern für den laufenden Tag noch nicht erfolgreich abgeschlossen)
- Begrenzung der max. möglichen Berechnungsversuche, falls Berechnungen nicht erfolgreich sind
- Setzen des Fehlercode bei Überschreitung der max. Anzahl von Berechnungen
- Aufruf der Auswahlroutine STT_PICK_NEXT_TRACKTIME zum Auslesen der nächsten Trackingzeit
- Umwandlung der nächsten Trackingzeit in einen String zur Anzeige

5.3.4 Routine STT_PICK_NEXT_TRACKTIME

Hier erfolgt die Auswahl der nächsten Trackingzeit aus dem Array

- Auswahl des niedrigsten Array-Eintrags, der in der Zukunft und innerhalb des Tracking-Zeitfensters liegt
- Rückgabe des Fehlercodes bei nicht erfolgreicher Suche

5.3.5 Routine STT_CALC_START_STOPP_EFF

Für das Tracking kann ein separates Zeitfenster angegeben werden (*stt_track_start, stt_track_stopp*). Im Array der Trackingzeiten werden nur Zeiten abgelegt, die innerhalb dieses Zeitfensters liegen und zu denen die Sonne den Horizont überschritten hat. Damit wird eine Nachführung des Solargenerators ebenfalls nur in diesem Zeitbereich erfolgen.

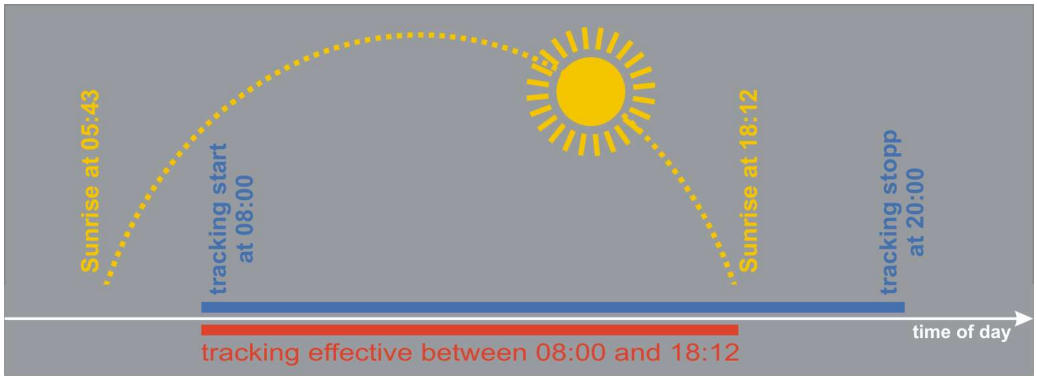


Abb. 5.3: Trackingzeiten für unterschiedliche Zeitfenster

!!! Die Start-/Stoppzeiten sowie die berechneten Trackingzeitpunkte beziehen sich immer auf die lokale Zeit!

Die zugehörige Subroutine berechnet das effektive Zeitfenster (*stt_track_start_eff, stt_track_stopp_eff*) aus dem in der Datei *stt_config.cfg* angegebenen Zeifenster und den Daten für Sonnenauf- und –untergang.

Liegt die Stoppzeit des konfigurierten Zeitfensters vor Sonnenuntergang, kann die vorausgehende Array-Berechnung eine letzte Trackingzeit deutlich vor den eingestellten Ende des Trackingfensters ergeben. Um eine plausible Anzeige zu erreichen, wird in diesem Fall die Stoppzeit auf die konfigurierte Stoppzeit gesetzt, obwohl zu diesem Zeitpunkt keine Tracking mehr erfolgen wird.

5.3.6 Routine STT_CALC_TRACKING_TIMES

Hier erfolgt die Steuerung zur Berechnung des Arrays der Trackingzeiten, die Zeiterfassung der Berechnung und die Anzeige in einem eigenständigen Fenster (sh. 5.3.3).

Die zugehörigen Subroutinen legen die berechneten Zeitpunkte in einem Array (*stt_trck_time (ptr)*) sowie künftig auch im Flash ab.

- Schreiben eines neuen Anzeigefensters mit Überschrift
- Aufruf der ausgewählten Routine zur Berechnung der Trackingszeiten im Array. Auswahl erfolgt an Hand der Einstellung *stt_intrvl_mode* in Datei *stt_config.cfg*

- Anzeige des Erfolgs oder Misserfolgs der Berechnung im Anzeigefenster
- Berechnung der Gesamteinträge (nicht leere Trackingzeiten) für rewind-Berechnung
- Aufruf der Routine zur Berechnung der Gesamteinträge (nicht leere Trackingzeiten) für morning-rewind-Berechnung
- Setzen eines Fehlercodes und Wechsel in LOCK-Modus bei nicht erfolgreicher Berechnung

5.3.7 Routine CALC_CONST_TRACKING_TIMES

Hier erfolgt die Berechnung des Arrays der Trackingzeiten für den Fall, dass konstante Zeitintervalle gefordert sind (sh. Einstellung *stt_intrvl_mode* in Datei *stt_config.cfg*)

Für den fixen Drehwinkel von 10° errechnet sich eine Zeitdifferenz von 40 Minuten (Sonne wandert in 24 Stunden um 360° weiter). Der erste Trackingzeitpunkt liegt bei der Startzeit *stt_track_start*, der zweite 40 Minuten später, der dritte 80 Minuten später usw. bis zum Ende des Zeitfensters *stt_track_stopp.*

Die hierbei berechneten Azimutwerte der Sonne sind nur grobe Anhaltswerte, auf Grund der großen „Toleranz“ des Solargenerators bezüglich Abweichungen vom optimalen Einstrahlungswinkel (sh. 1.1.3) jedoch für manche Anwendungen ausreichend.

Die optimale Elevation des Solargenerators kann hier nicht berechnet werden und wird fix auf 45° gesetzt. Die Einstellung muss daher „per Handausrichtung“ erfolgen. Zu beachten ist, dass über den Eintrag *stt_intrvl_mode* in Datei *stt_config.*cfg festgelegt werden muss, in welcher Richtung der Sonnenlauf erfolgt. Entsprechend des Sonnenlaufs erfolgt die Befehlsgabe beim Tracking.

Die Routine gliedert sich wie folgt:

- Löschen des Arrays
- Schrittweises Incrementieren der Zeit zwischen Start- und Stoppzeit
- Schreiben der Zeitpunkte in das Array
- Schreiben einer (imaginären) Sonnenposition in ein weiteres Array
- Anzeigen des Berechnungsfortschritts über Progressbalken im Anzeigefenster
- Berechnung des (imaginären) optimalen Aufstellungswinkels des Solargenerators sowie der (imaginären) höchsten Sonnenelevation zur Konsistenz zur Berechnung mit variablen Zeitintervallen

5.3.8 Routine CALC_VAR_TRACKING_TIMES

Hier erfolgt eine Berechnung der Trackingzeiten entsprechend dem tatsächlichen Sonnenverlauf. Die Zeitdifferenzen können dabei – standortabhängig - zwischen 20 und 55 Minuten schwanken (Werte für München, 21.07., siehe Abb. 5-2)).

5.3.8.1 Trackingzeiten

Zur Berechnung der Trackingzeiten wird der Sonnenstand für jeden diskreten Zeitpunkt des laufenden Tages berechnet (über *CALC_SOLAR_POS*). Die Berechnung erfolgt standardmäßig im 120-Sekunden-Raster. Ergibt sich dabei eine Änderung des Azimut-Winkels um mehr als 10 Grad gegenüber den vorhergehenden Tracking-Zeitpunkt, so wird die neue Trackingzeit wiederum im Array abgelegt und der Azimut-Vergleich startet von neuem.

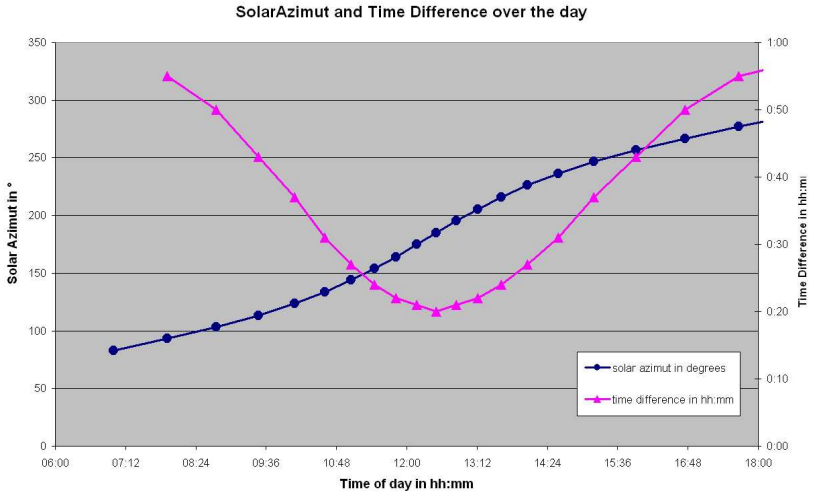


Abb. 5.2: Azimutverlauf und Abstand der Trackingzeiten im Tagesverlauf

Über die Vorgabe der Start- und Stoppzeit (*stt_sol_calc_start, stt_sol_calc_stopp* in *stt_config.cfg*) kann eine Eingrenzung des Zeitraums erfolgen, für den die Berechnung des Sonnenstands erfolgt. Sind die Start-/Stoppzeiten mit 00:00 Uhr / 24:00 Uhr eingetragen, erfolgt die Berechnung für den ganzen Tag. Die Einträge der *config*-Datei müssen im Sekundenformat erfolgen.

Liegen die Zeiten für Sonnenauf- und –untergang außerhalb des eingestellten Zeitfensters, kann keine ordnungsgemäße Berechnung der Auf- und Untergangszeiten erfolgen. Dies kann dazu führen, dass der Solargenerator auch nach Sonnenuntergang oder vor Sonnenaufgang nachgeführt wird.

Wichtige Grundlage für eine Berechnung der Sonnenbahn und damit der Trackingzeiten ist die korrekte Eingabe der Zeitzone und der Koordinaten (Längen-/Breitengrad), wobei die Koordinaten künftig automatisch berechnet werden sollen (GPS-Koordinaten).

5.3.8.2 Sonnenauf- / untergangszeiten

Ein „Abfallprodukt“ der Berechnung sind die Zeiten für Sonnenaufgang und Sonnenuntergang, die in einem separaten Fenster angezeigt werden können.

5.3.8.3 Drehrichtungsbestimmung

Weiters wird aus den berechneten Azimutwinkeln die erforderliche Drehrichtung abgeleitet: vergrößert sich der Azimutwinkel zwischen zwei Trackingzeitpunkten, ist eine Drehung des Solargenerators im Uhrzeigersinn notwendig, verringert sich der Azimut, muss sich der Generator entgegen dem Uhrzeigersinn drehen.

5.3.8.4 Berechnungsschritte

- Berechnung der lokalen Datums- und Zeitangaben
- Schrittweises Incrementieren der lokalen Berechnungszeit zwischen Startzeit und Stoppzeit; sie entsprechen den Einträgen *stt_sol_calc_start* und *stt_sol_calc_stopp* in der *stt_config.cfg* und sind **nicht identisch** zu den Start- und Stoppzeiten des Tracking!
- Umrechnung der Lokalzeit auf UTC-Zeit
- Berechnung der Sonnenposition (Azimut und Elevation) für ausgewählten Zeitpunkt (Berechnungsroutine erfordert Zeitangaben in UTC sowie Längen- und Breitenangaben in festgelegten Format!)
- Berechnung der Richtung des Sonnenlaufs mit Berücksichtigung des Azimutsprungs am Nordpunkt (359°→ 0° bzw. 0° → 359°)
- Eintrag der Zeitpunkte in das Array, falls folgende Bedingungen erfüllt sind:
    - Sonnenstand oberhalb des Horizonts
    - Zeitpunkt liegt nach der Tracking-Startzeit
    - Zeitpunkt liegt vor der Tracking-Stoppzeit
- Abspeichern des Zeitpunkts für Sonnenauf- bzw. –untergang, wenn sich die Sonnenelevationen von negativ auf positiv (Sonnenaufgang) bzw. von positiv auf negativ ändern (Sonnenuntergang)
- Plausibilitätsüberwachung durch Überprüfung der Zeiten für Sonnenauf- und –untergang
- Berechnung der optimalen Elevation für den Solargenerator aus der maximalen Sonnenelevation.

5.3.9 Routine CALC_SOLAR_POS

In dieser Routine wird für einen festgelegten Zeitpunkt (Datum + Uhrzeit) und festgelegte Koordinaten (Längen-/Breitengrad) die Position der Sonne am Firmament bestimmt.

Die Berechnungsvorschriften hierfür sind aus *Wikipedia* übernommen und in weiterführenden Dokumenten beschrieben. Grundlage ist die aus der UTC-Zeit und dem Datum abgeleitete Berechnung des *Julianischen Datums* (JD); eine Größe in der das absolute Datum (Anteil vor dem Komma) sowie der Bruchteil des laufenden Tages (Anteil nach dem Komma) angegeben wird.

Aus dem Julianischen Datum, den geometrischen Größen der Sonnenbahn sowie den Positionskoordinaten auf der Erde berechnen sich die Koordinaten für Azimut und Elevation der Sonne am Firmament.

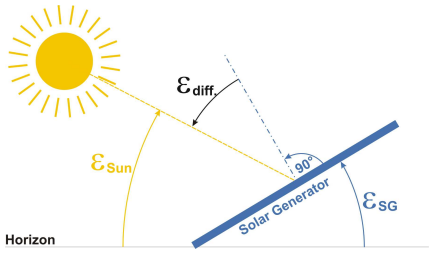
Der Azimut der Sonne wird dabei von Norden beginnend nach Osten hin positiv gezählt. Die Elevation ist positiv bei einem Sonnenstand oberhalb des idealen Horizonts.

Weitere Einzelheiten finden sich in Astronomie-Handbüchern.

5.3.10 Routine CALC_ELEVATION_OPT

Hier erfolgt die Berechnung des optimalen Aufstellungswinkels des Solargenerators.

Aus den im Tagesverlauf gefundenen Elevationswinkeln der Sonne wird der maximale Elevationswinkel $\varepsilon_{Sun,\ max}$ berechnet. Aus ihm ergibt sich auf einfache Weise die optimale Anstellung des Solargenerators $\varepsilon_{SG,\ opt}$. Die Formel wurde empirisch über ein EXCEL-Programm zur Minimierung der Elevationsabweichungen ermittelt.



$$\varepsilon_{SG,\ opt} = a * \varepsilon_{Sun,\ max} + b \quad (a = -0{,}78666,\ b = 89{,}8)$$

5.3.11 Routine CALC_RESTTIME_SUNSHINE

Zum Entscheid, ob eine Umsetzen des Solargenerators im Tagesverlauf sinnvoll ist, wird die verbleibende Sonnenscheinzeit berechnet:

stt_sun_resttime = sol_t_sunset - loc_tod

wobei alle Größen in Sekunden angegeben werden müssen.

5.3.12 Routine CALC_NUM_RWND_MORNG

Die Anzahl der Intervalle, um die der Solargenerator am Morgen zurückgedreht werden muss, ergibt sich zunächst aus der Anzahl der Schritte im Tagesverlauf, d.h. der Anzahl der nicht-leeren Trackingzeiten.

Künftig muss die Berechnung für *stt_num_rwnd_morng* (Anzahl der Intervalle, die am Morgen zurückgedreht werden soll) erweitert werden für den Zustand, dass wegen eines nicht freigegebenem oder nicht erfolgten DAY REWIND der Turntableam Abend **vor** der gewünschten Abendstellung steht.

5.4 PROGRAMMTEIL: TIME_SUBROUTINES_VXY

In diesem Programmteil erfolgen alle zeitrelevanten Berechnungen und Steuerungen.

Die Routinen werden ebenfalls in anderen Programmteilen eingesetzt und dürfen daher nicht ohne vorherige Prüfung aller Verwendungsorte modifiziert werden!

5.4.1 Routine GET_TIME_DATE

Hier wird die aktuelle Uhrzeit ausgelesen und in die lesbaren Einträge für UTC-zeitangabe und lokale Zeitangabe gewandelt

- Auslesen der Zeitinformation im TIGER-Format aus der internen RTC (real time clock)
- Umwandlung in Zeitangaben für UTC:
  - tod (time of day): Sekunden seit Mitternacht
  - time$: Zeitstring zur Anzeige
  - date_s$: kurzer Datumstring zur Anzeige „01.01.2007“
  - date_m$: mittellanger Datumstring zur Anzeige „01.Jan.2007“
  - date_l$: langer Datumstring zur Anzeige „02.Januar 2007“
  - date_ll$: sehr langer Datumstring zur Anzeige „Sonntag, 02.Januar 2007“
- Berechnung der Ortszeit
- Umwandlung in Zeitangaben für Ortszeit
  - tod (time of day): Sekunden seit Mitternacht
  - time$: Zeitstring zur Anzeige
  - date_s$: kurzer Datumstring zur Anzeige „01.01.2007“
  - date_m$: mittellanger Datumstring zur Anzeige „01.Jan.2007“

- date_l$: langer Datumstring zur Anzeige „02.Januar 2007“
- date_ll$: sehr langer Datumstring zur Anzeige „Sonntag, 02.Januar 2007“

5.4.2 Routine CONVERT_TIME_DATE

Hier erfolgt die Umwandlung einer Zeitangabe oder einer kombinierten Datums-/Zeitangabe in „lesbare“ Einträge. („Strings“) wie oben beschrieben.

Es können Zeitangaben oder kombinierte Datums-/Zeitangaben gewandelt werden.

Über den Eintrag *time_mode* in der Datei *time_config.cfg* wird das Anzeigeformat festgelegt:

- 0: Anzeige im EU-Format
- 1: Anzeige im US-Format

Näheres dazu ist in der Datei erläutert.

5.4.3 Routinen DOS2TIG, TIG2DOS

Hierbei handelt es sich um Hilfsroutinen zur Umwandlung des Tiger-internen Zeitformats auf „lesbare“ Größen.

Beide Routinen sind aus den Beispielprogrammen des Hersteller (www.wilke.de) unverändert übernommen.

5.4.4 Routinen CALC_LOCAL_TIME, CALC_UTC_TIME

In diesen beiden Routinen erfolgt die Umrechnung zwischen Ortszeit und UTC-Zeit bzw. umgekehrt.

Grundlage ist in beiden Fällen die in der *time_config.cfg* angegebene Zeitzone, die den Eintragungen im Definitionsarray timezone_def$ (x) entsprechen müssen. Auf Grund der Array-Einträge wird die Zeitverschiebungen in der angegeben Zeitzone berechnet.

5.4.5 Routine CALC_JULIAN_DATE

Grundlage für die meisten astronomischen Berechnungen ist die Angabe des sog. Julianischen Datums (JD).

Das JD ist definiert als die Zeit in Tagen, die seit dem 1.Januar -4712 12:00 TDT vergangen ist. Dem 1. Januar 2000 12:00 TDT entspricht z.B. das Julianische Datum 2551545,0. (TDT = Terrestrische Dynamische Zeit)

Das JD darf nicht verwechselt werden mit einer Datumsangabe im Julianischen Kalender. Als fortlaufende Tageszählung ist das JD frei von Unregelmäßigkeiten wie Schalttagen, unterschiedlich langen Monaten usw.

Zu beachten ist der Wechsel des Vorkommawerts um 12.00 UTC. Der Nachkommawert gibt den Bruchteil am Tagesganzen an, z.B. 18:00h entspricht xxx,25 (6h / 24h).

Weiteres ist ebenfalls den astronomischen Handbüchern zu entnehmen.

6 SETTINGS / EINSTELLUNGEN

Die Default-Einstellungen zur Funktion des Turntable werden über die Datei *stt_config.cfg* festgelegt. Ausgewählte Einstellungen können (künftig) über das Bedientableau angepasst werden. Nach dem Neuladen der Software gelten die in der Datei Default-Einstellungen.

Die Bedeutung der einzelnen Settings ist in der Datei beschrieben, zur Erläuterung sind im Anhang 11.4 die wichtigsten herausgegriffen.

Die Default-Settings wurden in verschiedenen Versuchsaufbauten verfiziert und dürfen nur in begründeten Ausnahmefällen modifiziert werden! Die Settings werden nicht auf Plausibilität und Sinnhaftigkeit überprüft, daher liegt es in der Verantwortung desjenigen, der die Settings verändert, dafür zu sorgen, dass eine einwandfreie Funktion sichergestellt ist.

Ausgenommen hiervon sind folgende Einträge, die je nach Notwendigkeit angepasst werden können:

Variablennamen	Auswahl	Erklärung
stt_rewind_morning	ENABLED / DISABLED	Freigabe (ENABLED) oder Sperrung (DISABLED) des automatischen REWIND am Morgen
stt_rewind_daytime	ENABLED / DISABLED	Freigabe (ENABLED) oder Sperrung (DISABLED) des automatischen REWIND während des Tages (bei Erreichen des LIMIT-Schalters)
stt_intrvl_mode	AUTO / CW / CCW	Berechnung der Trackingzeiten (**AUTO** = Berechnung an Hand des Sonnenlaufs; GPS-Koordinaten erforderlich; **CW** = Berechnung mit fixen Intervallzeiten in CW-Richtung, **CCW** = Berechnung mit fixen Intervallzeiten in CCW-Richtung
stt_supervision_enbl	ENABLED / DISABLED	Freigabe (ENABLED) oder Sperrung (DISABLED) der automatischen Überwachung
stt_supervision_print	ENABLED / DISABLED	Freigabe (ENABLED) oder Sperrung (DISABLED) der Anzeige von Fehlern im LCD-Display

Eine fehlerfreie Funktion des Solar Turntable für alle Kombinationen von Settings kann nicht gewährleistet werden!

7 SICHERHEITSHINWEISE

Die folgenden Sicherheitshinweise sind zu beachten!











Der Drehtisch darf nicht von Hand gedreht werden! Der Antrieb erfolgt über zwei Reibräder, die dabei Schaden nehmen! Die Ausrichtung zur Sonne sowie das Fahren in die *home*-Position darf nur über die elektrische Bedieneinheit erfolgen!



Der Solargenerator sollte bei größeren Windstärken, einem aufziehenden Gewitter oder vergleichbaren Wettersituationen eingeklappt und verriegelt werden.





8 ABBILDUNGSVERZEICHNIS:

Abb. 1.1: Scheinbare Sonnenbahn auf Nord- und Südhalbkugel..... 9

Abb. 1.2: Grafische Zeitgleichung..... 10

Abb. 1.3: SunOrb-Diagramm für München (horizontale Generatorausrichtung)..... 10

Abb. 1.4: Angaben der Sonnenposition..... 11

Abb. 1.5: Um 12:00 Uhr Ortszeit steht die Sonne nicht immer genau im Süden..... 11

Abb. 1.6: Azimutwinkel bei Fahrzeugmontage..... 12

Abb. 1.7: Erntefaktor bei Abweichung von senkrechter Einstrahlung..... 13

Abb. 1.8: Vergleich zwischen feststehendem und nachgeführtem Solargenerator..... 15

Abb. 1.9: Kommerzielle Nachführsysteme..... 16

Abb. 2.1: Grundkonstruktion der Aufstellvorrichtung..... 19

Abb. 2.2: Grund- und Aufstellrahmenkonstruktion..... 20

Abb. 2.3: Innenleben des Solar Turntable mit Grund- und Aufstellrahmen..... 21

Abb. 2.4: Schrittmotor mit Reibradantrieb und Steuerelektronik..... 25

Abb.2.5: Incrementalgeber mit Sensordisk..... 26

Abb. 2.6: Auswerteeinheit zur Sensordisk mit led-Bezeichnung..... 26

Abb. 3.1: Wahrscheinlichkeit von Azimut Winkeln..... 28

Abb. 4.1: Anzeige der optimalen Generatorelevation..... 33

Abb. 4.1: Fernbedieneinheit zur manuellen Steuerung..... 33

Abb. 4.2: Anzeigefenster „AUTO“..... 35

Abb. 4.3: Anzeigefenster „TRACKINFO“..... 36

Abb. 4.4: Anzeigefenster „TRACKING“..... 37

Abb. 4.5: Anzeigefenster „REWIND“..... 38

Abb. 4.6: Anzeigefenster „MORNING REWIND“..... 39

Abb. 4.7: Anzeigefenster „HOMING“..... 40

Abb. 4.8: Anzeigefenster „LOCKED“..... 41

Abb. 5.1: Anzeigefenster bei Berechnung der Trackingzeiten..... 53

Abb. 5.3: Trackingzeiten für unterschiedliche Zeitfenster 54

Abb. 5.2: Azimutverlauf und Abstand der Trackingzeiten im Tagesverlauf..... 56

9 TABELLENVERZEICHNIS:

Tab. 4.1 Betriebszustände Automatik 34

10 OUTSTANDINGS

Die Berechnung für *stt_num_rwnd_morng* (Anzahl der Intervalle, die am Morgen zurückgedreht werden soll) muss erweitert werden für den Zustand, dass wegen eines nicht freigegebenem oder nicht erfolgten day rewind der Turntable **vor** der gewünschten Abendstellung steht.

Aktuell wird als *stt_num_rwnd_morng* die Anzahl der nicht-leeren Einträge im track-time-array *stt_trck_time (ptr)* berechnet.

Einstellung der wichtigsten Settings über WASP-Menü.

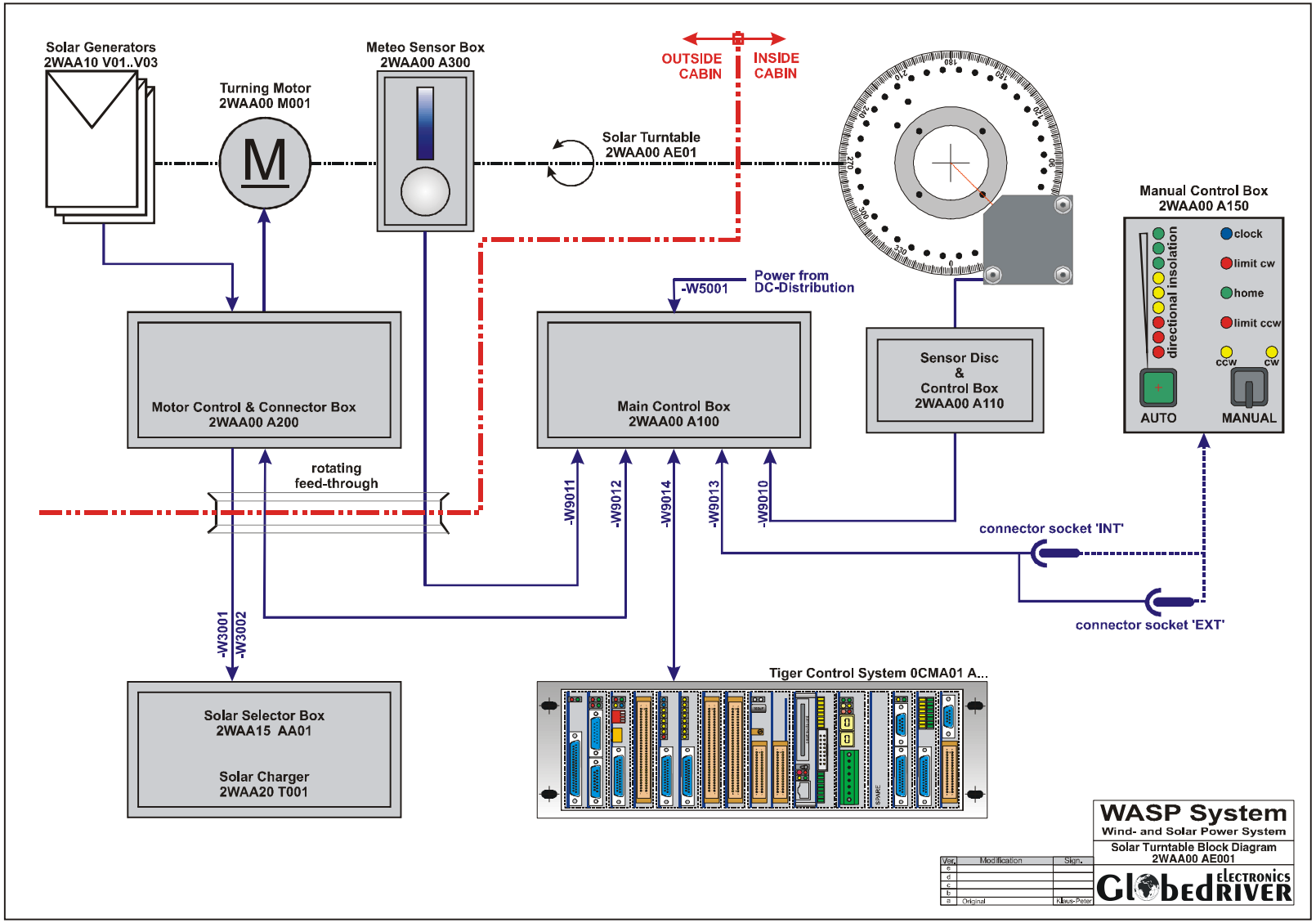
Bei größeren Windstärken sollte das Tracking abgeschaltet werden.

11 ANHANG

11.1 TECHNISCHE DATEN

Abmessungen Drehtisch (B x L x H)	1200 mm x 1900 mm x 80 mm
Gewicht Drehtisch (ohne Generator)	ca. 15 kg
Aufstellwinkel	ca. 15° ... 70° zur Horizontalen
Drehbereich mechanisch / elektrisch	+/- 180° / +/- 170°
Drehrichtung	cw (im Uhrzeigersinn) und ccw (entgegen Uhrzeigersinn) , abhängig von Befehlsgabe bzw. Sonnenlauf
Solargenerator	3 x BP Solar, Typ BP580F, monokristallin, P = 80 W_p, m = 7,5 kg, I_p = 4,4 Adc, U_0 = 22,0 Vdc
Spannung Solargenerator	3 x 12 Vdc, Parallelschaltung
Steuerspannung	12 Vdc
Stromaufnahme im eingeklappten Zustand	0 mA
Stromaufnahme ohne Drehung	35 .. 50 mA
Stromaufnahme bei Drehung	max. 300 mA
Schrittweite Drehung (TRACKING Modus)	10°
Befehlsdauer pro Schritt	1,2 s typ.
Zeit für volle Umdrehung	60s typ.
Laufzeit des Stellmotors pro Tag	15 s / 30 s incl. morgendlichem Rückstellen
Energiebedarf für Drehung pro Tag	2,5 mAh typ (12 Schritte TRACKING + 12 Schritte MORNING REWIND)

11.2 BLOCKSCHALTBILD



11.3 CODES FÜR LOCK ANZEIGE

Code (hex)	Ursache
01h	Fehlerhafter Aufruf einer Sunbroutine
02h	Differenz des Positionszählers bei Erreichen der Home-Position
03h	EIN-Kommando ohne Rückmeldung
04h	AUS-Kommando ohne Rückmeldung
05h	Drehung ohne Befehlsgabe „Slipping“
06h	Überschreitung Befehlszeit (TRACKING): Zeit zwischen Befehlsgabe und Erkennung der positiven *clock*-Flanke
07h	Überschreitung Befehlszeit (REWIND oder HOMING): Gesamtzeit der Befehlsgabe
08h	Endlagenschalter cw erreicht (kein Fehler)
09h	Endlagenschalter ccw erreicht (kein Fehler)
0Ah	Endlagenschalter cw oder ccw erreicht beim HOMING (deutet auf fehlerhafte Berechnung der Position hin)
0Bh	Gegensinnige Befehlsgabe (gleichzeitiger cw- und ccw-Befehl)
0Ch	Aktion nicht abgeschlossen (Berechnung Trackingzeiten o.ä.)
0Dh	REWIND erforderlich, aber nicht freigegeben
0Eh	Berechnung nicht erfolgreich abgeschlossen
0Fh	Falsche Parameterübergabe an Subroutine
10h	Sonne steht den ganzen Tag unterhalb des Horizonts (Berechnung Sonnenposition)
11h	Overflow bei Arrayberechnung
12h	Nicht definiertes Ergebnis einer Berechnung
13h	Zu viele fehlerhafte Berechnungen der Trackingzeiten (Anzahl zulässige Fehler einstellbar)
14h	Abbruch WINDING durch einen nicht spezifizierten Fehler

11.4 SUBROUTINEN FÜR STT STEUERUNG UND IHRE HAUPTAUFGABEN

Programmteil: STT_SUB_CTRLS_Vxy	
Subroutine	**Hauptaufgaben**
STT_CONTROLS	Steuerung aller Automatiken für Solar Tuntable (STT)
SUB STT_ACT_TRACKING	Steuerung des TRACKING-Vorgangs
STT_ACT_HOMING	Steuerung des HOMING-Vorgangs
STT_ACT_DAY_REWIND	Steuerung des REWIND-Vorgangs (tagsüber)
STT_ACT_MRNG_REWIND	Steuerung des REWIND-Vorgangs (am Morgen)
STT_ACT_AUTOMATIC	Steuerung des Automatikmodus (ohne Aktionen)
STT_POSITION	Berechnung der Position (Drehwinkel)
STT_SUPERVISION	Überwachungen (Befehlszeiten, Änderung ohne Befehl etc.)
STT_HANDLE_ERRORS	Zusammenfassung von Fehlermeldungen
STT_ACT_WINDING	Steuerung des Drehvorgangs abhängig von übergeben Parametern
stt_meas_supply	Ein-/Aussschalten der Messspannung
STT_CMD_OUT	Ein-/Ausschalten der Drehkommandos
stt_get_feedback	Dekodierung des binären Feedbacks (Signale *clock-/home-/limit_cw-/limit_ccw*)

Programmteil: STT_SUB_CALCS_Vxy	
Subroutine	**Hauptaufgaben**
STT_GET_OPERATION_MODE	Berechnung des Betriebszustands abhängig von Anforderungen (requests)
STT_TTIME_COMPARE	Zeitvergleich für Start- /Stopp- und Trackingzeiten
STT_CLEAR_INTERLOCKS	Löschen von Fehlermeldungen und -verriegelungen
STT_GET_NEXT_TRACKING	Steuerung zur Berechnung des nächsten Arrays mit Trackingzeiten

STT_PICK_NEXT_TRACKTIME	Auswahl der nächsten Trackingzeit
STT_CALC_START_STOPP_EFF	Berechnung der effektiven Start- und Stoppzeiten für's Tracking
STT_CALC_TRACKING_TIMES	Auswahl der nächsten Trackingzeit
STT_CALC_CONST_TRACKING_TIMES	Berechnung der Trackingzeiten für konstante Intervalle
STT_CALC_VAR_TRACKING_TIMES	Berechnung der Trackingzeiten für variable Intervalle
STT_CALC_SOLAR_POS	Berechnung der Sonnenposition (Azimut und Elevation) aus GPS-Koordinaten und UTC-Zeit
STT_CALC_ELEVATION_OPT	Berechnung der optimalen Elevation des Solargenerators aus der maximalen Sonnenelevation
STT_CALC_RESTTIME_SUNSHINE	Berechnung der verbleibenden Sonnenscheinzeit
STT_CALC_NUM_RWND_MORNG	Berechnung Anzahl der Intervalle für MORNING REWIND
Programmteil: TIME_SUBROUTINES_Vxy	
Subroutine	**Hauptaufgaben**
GET_TIME_DATE	Berechnung der Datums- und Zeitindormation
CONVERT_TIME_DATE	Umrechnung von Zeit- und Datumsinformationen in Anzeigestrings
DOS2TIG, TIG2DOS	Hilfsroutinen zur Umrechnung auf DOS- und TIGER-Zeitformat
CALC_LOCAL_TIME, CALC_UTC_TIME	Umrechnung von UTC- auf Lokalzeit und umgekehrt
CALC_JULIAN_DATE	Brechnung des Julianischen Datums (Datum und Zeitinformation)

11.5 SETTINGS STT_CONFIG.CFG

Variablennamen	Standardsetting	Einheit	Erklärung
stt_track_enbl	ENABLED	-	Freigabe (ENABLED) oder Sperrung (DISABLED) der Gesamtfunktion
stt_rewind_morning	ENABLED	-	Freigabe (ENABLED) oder Sperrung (DISABLED) des automatischen REWIND am Morgen
stt_rewind_daytime	ENABLED	-	Freigabe (ENABLED) oder Sperrung (DISABLED) des automatischen REWIND während des Tages (bei Erreichen des LIMIT-Schalters)
stt_intrvl_mode	AUTO	-	Berechnung der Trackingzeiten (**AUTO** = Berechnung an Hand des Sonnenlaufs; GPS-Koordinaten erforderlich; **CW** = Berechnung mit fixen Intervallzeiten in CW-Richtung, **CCW** = Berechnung mit fixen Intervallzeiten in CCW-Richtung
stt_sol_calc_tinit	15	s	Startzeitpunkt zur Berechnung der Trackingzeiten für laufenden Tag (x s nach Mitternacht)
stt_sol_calc_start	00000	s	Start- und Stoppzeitpunkt zur Berechnung des Sonnenlaufs; Werte müssen vor Sonnenauf- bzw. nach Sonnenuntergang liegen, um gültige Werte für diese Zeiten zu berechnen.
stt_sol_calc_stopp	86400	s	
stt_sol_calc_intrvl	120	s	Schrittweite zur Berechnung des Sonnenlaufs (Einfluss auf Rechenzeit beachten! Default-Setting ergibt ca. 90s Rechenzeit
stt_track_start	25200	s	Start- und Stoppzeitpunkt zur Freigabe des Trackings (25200 = 07:00:00h, 75600 = 21:00:00h); außerhalb der eingestellten Zeit findet kein Tracking statt
stt_track_stopp	75600	s	
stt_track_fix_intrvl	2400	s	Intervallzeit zwischen Trackings bei konstanten Intervallzeiten (*stt_intrvl_mode* = cw oder ccw)

stt_sun_rest_rewind	14400	s	Mindestzeit für restliche Sonnenscheindauer zur Freigabe des automatischen REWIND während des Tages.
stt_elev_step	5	°	Schrittweite zur Anzeige der optimalen Elevation
stt_num_bad_calc_max	3	-	Zulässige Anzahl fehlerhafter Berechnungen der Trackingzeiten.
Variablennamen	**Standardsetting**	**Einheit**	**Erklärung**
stt_supervision_enbl	ENABLED	-	Freigabe (ENABLED) oder Sperrung (DISABLED) der automatischen Überwachung
stt_supervision_print	DISABLED	-	Freigabe (ENABLED) oder Sperrung (DISABLED) der Anzeige von Fehlern im LCD-Display
stt_cmd_time_max_trck	5000	ms	Maximale Befehlszeit für Tracking-Befehle (TRACKING) bzw. zwischen steigenden *clock*-Flanken (REWIND oder HOMING)
stt_cmd_time_max_home	60000	ms	Maximale Gesamtbefehlszeit für HOMING
stt_cmd_time_max_drwnd	180000	ms	Maximale Gesamtbefehlszeit für REWIND während des Tages
stt_cmd_time_max_mrwnd	60000	ms	Maximale Gesamtbefehlszeit für REWIND am Morgen
stt_cmd_time_fdb_dly	2000	ms	Maximale Verzögerung zwischen Befehlsgabe und Rückmeldung *running-cw* bzw *running-ccw*

11.6 SIGNALLISTE

KKS Namen	Beschreibung	Verwendung
2WAA00 xyz	„clock“ von Sensorscheibe	Ja
2WAA00 xyz	„home“ von Sensorscheibe	Ja
2WAA00 xyz	„limit_cw“ von Sensorscheibe	Ja
2WAA00 xyz	„limit_ccw“ von Sensorscheibe	Ja
2WAA00 xyz	Automatikbetrieb	Ja
2WAA00 xyz	„running_cw“ von Antrieb	Ja
2WAA00 xyz	„running_ccw“ von Antrieb	Ja
2WAA00 xyz	„gen_elevated“ von Positionsschalter	fraglich
2WAA00 xyz	„gen_locked“ von Positionsschalter	fraglich
0CJA01 xyz	Befehl „Drehung cw“	Ja
0CJA01 xyz	Befehl „Drehung ccw“	Ja