Bestimmung der optimalen Antennenausrichtung für Intersatelliten-Links des Satellitenkommunikationssystems Iridium

Harald Keller

TU Ilmenau, Fachgebiet System- und Steuerungstheorie

Postfach 0565

98684 Ilmenau

E-Mail: keller@theoinf.tu-ilmenau.de

1 Beschreibung des Systems Iridium

Das System Iridium der Firma Motorola [2-5] besteht aus 66 Satelliten, welche die Erde in einer Höhe von 780 Kilometer (LEO) auf polaren Bahnen (hier: 86 Grad Inklination, Inklination = Neigungswinkel der Bahnebene des Satelliten gegenüber der Äquatorebene) umlaufen sollen. Das System wurde nach dem chemischen Element Iridium benannt, um dessen Atomkern 77 Elektronen kreisen. Ursprünglich war dieses System auch mit 77 Satelliten geplant, es wurde aber festgestellt, daß auch 66 Satelliten genügen, der Name wurde daraufhin aber nicht mehr geändert. Das System erreicht eine globale Bedeckung bei 8,2 Grad minimaler Elevation (Erhebungswinkel des Satelliten über der Horizontalebene).
Als Kanalzugriffsverfahren werden FDM/TDMA (frequency division multiplex/time division multiple access) verwendet. Jeder Satellit wird ca. 4000 Kanäle mit einer Bandbreite von 41,67 kHz zur Verfügung stellen. Die angebotenen Dienste des Systems werden Telefon, Fax, Datenübertragung, Positionsmeldung und Paging (Funkrufdienst) sein. Zur Benutzung des Systems werden Gebühren von 3 Dollar/Minute und eine Grundgebühr von 50 Dollar/Monat anfallen. Motorola hat eine Teilnehmerzahl von 1,6 Millionen Benutzern im Jahr 2002 und von 3,2 Millionen Benutzern im Jahr 2007 vorauskalkuliert. Die Systemkosten des gesamten Systems werden sich auf circa 3,4 Milliarden Dollar belaufen. Eine Besonderheit des Systems besteht in der Benutzung von ISLs (Intersatellite-Links: Direkte Funkverbindung zwischen benachbarten Satelliten). Ein Telefongespräch gelangt von einem Benutzer zu dem nächsten sichtbaren Satelliten. Von diesem Satelliten wird es durch die ISLs bis zu dem Satelliten geroutet, bis es denjenigen Satelliten erreicht, der an der Gegenstation am nächsten steht. Die Satelliten fungieren hier also als selbständige Vermittlungsstellen, was den Datentransfer beschleunigt. [3]
Bild 1 zeigt die Bahnrichtung der Satelliten für die verschiedenen Orbits. Anhand des Bildes erkennt man, daß sich die Satelliten entweder in nördlicher oder südlicher Richtung bewegen. Weiterhin gibt es zwei Stellen, an denen sich die Satelliten in unterschiedlicher Richtung bewegen. Bild 2 zeigt die Topologie der Satelliten und Intersatelliten-Links über den Längen-

und Breitengraden der Erde mit Angabe der Bewegungsrichtung. In diesem Bild sind 6 Intersatelliten-Links je Orbit eingetragen, jeweils 3 Intersatelliten-Links auf jeder Seite der Erde.

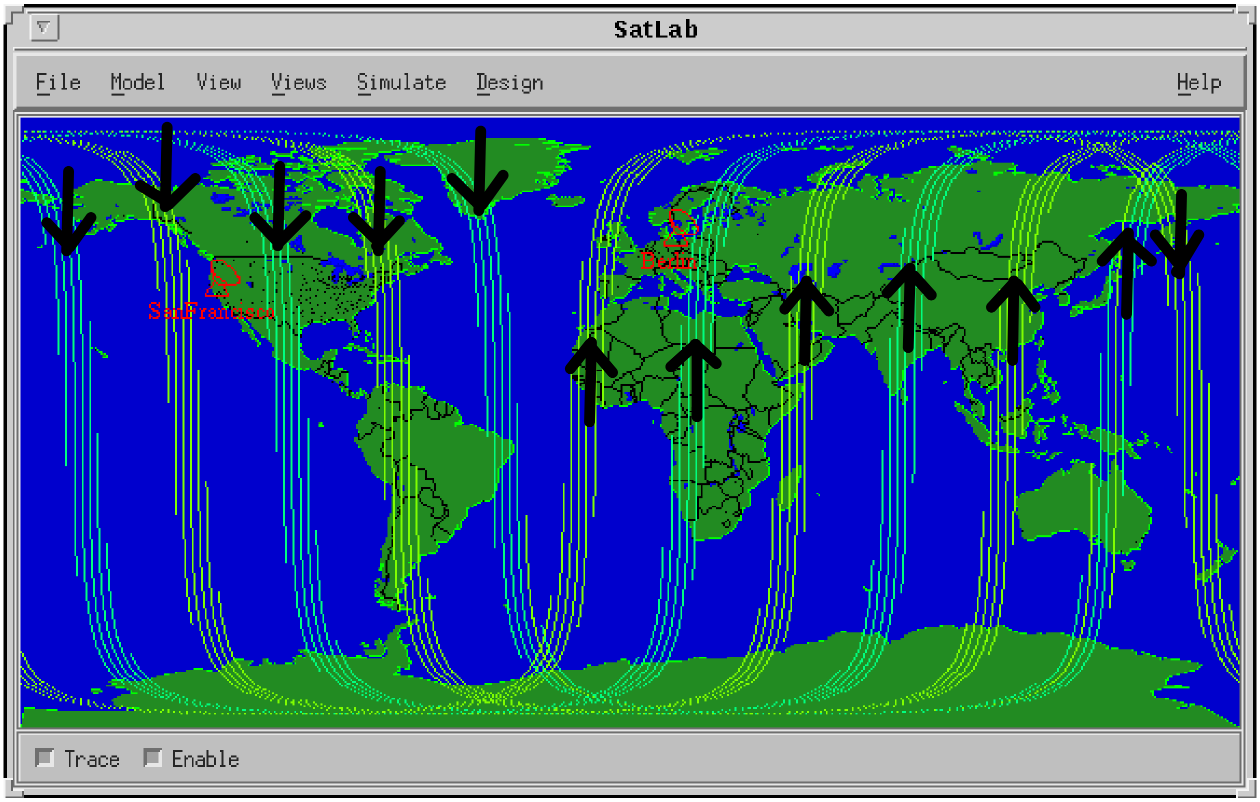

Bild 1: Darstellung der Bahnrichtung der Satelliten [1]

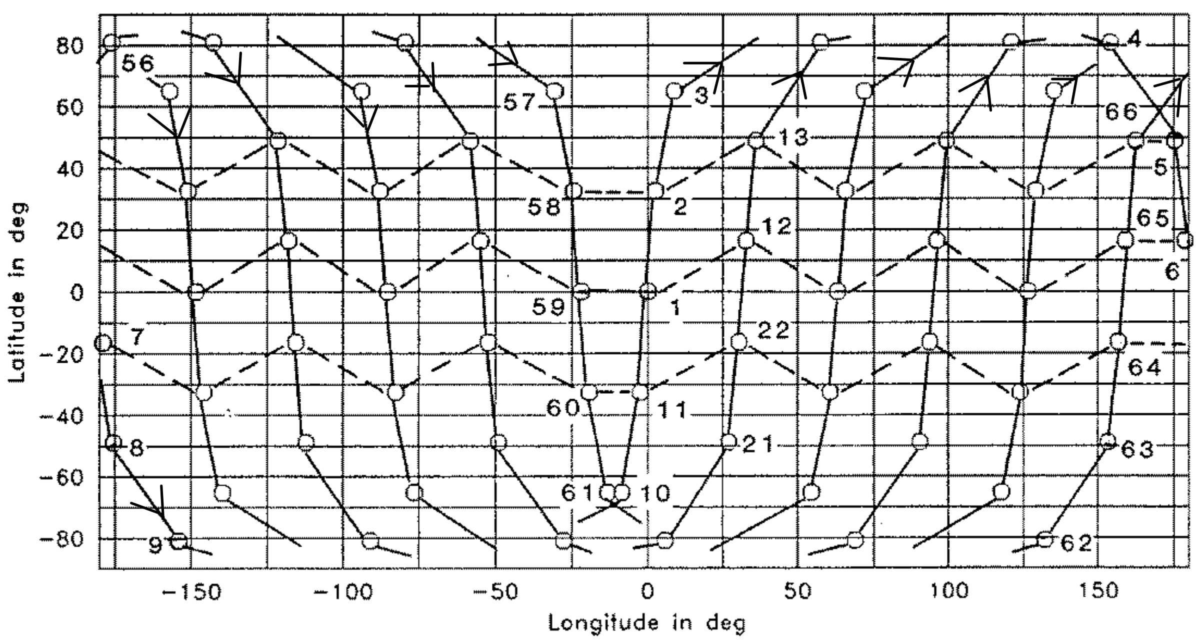

Bild 2: Topologie der Satelliten und ISLs für Iridium [6]

2 Intersatelliten Links (ISLs)
2.1 Intra-Orbit ISLs
Intra-Orbit ISLs sind Verbindung zwischen Satelliten innerhalb eines Orbits. Im Normalfall bestehen pro Satellit eines Orbits zwei Intra-Orbit ISLs, und zwar ein ISL zu dem jeweils im Orbit voranfliegenden Satelliten und ein ISL zu dem jeweils im Orbit hinterherfliegen Satelliten. Dabei sehen sich die Satelliten immer unter gleichen Elevations- u. Azimuthwinkel. Es ist deshalb keine Antennennachführung nötig und die Intra-Orbit ISLs können auch dauerhaft benutzt werden

2.2 Inter -Orbit ISLs
Inter-Orbit ISLs sind Verbindung zwischen Satelliten aus benachbarten Orbits. Hierbei ergibt sich eine relative Bewegung zwischen den Satelliten. Diese Bewegung kann in gleicher oder umgekehrter Richtung sein. Er ergeben sich deshalb zeitlich verändernder Azimuth- und Elevationswinkel, was eine Antennennachführung nötig macht. Die Inter-Orbit ISLs können daher nicht dauerhaft benutzt werden

Tabelle 1 zeigt die Vorgaben für die Intersatelliten-Links des Systems Iridium. Es sollen pro Satellit entweder zwei oder vier ISLs möglich sein. Dabei sollen die zwei Intra-Orbit ISLs ständig benutzt werden und 2 Inter-Orbit ISLs geschaltet werden, wenn es möglich ist.

ISLs: (Vorgaben für Iridium)

Pro Satellit	2/4
Intra-Orbit ISls	2
Inter-Orbit ISLs	0/2

Tabelle 1: ISL-Vorgaben für Iridium [6]

3 Antennenausrichtung
3.1 Orbits in gleicher Richtung

3.1.1 Intra-Orbit ISLs
Nach Abschnitt 2.1 ist hier keine weitere Betrachtung nötig

3.1.2 Inter-Orbit ISLs
3.1.2.1 Bestimmung der Antennenausrichtung für Azimuthwinkel
Bild 3 zeigt den Azimuthwinkel zwischen den Satelliten 1H (Orbit 1) und den Satelliten 2H (Orbit 2).

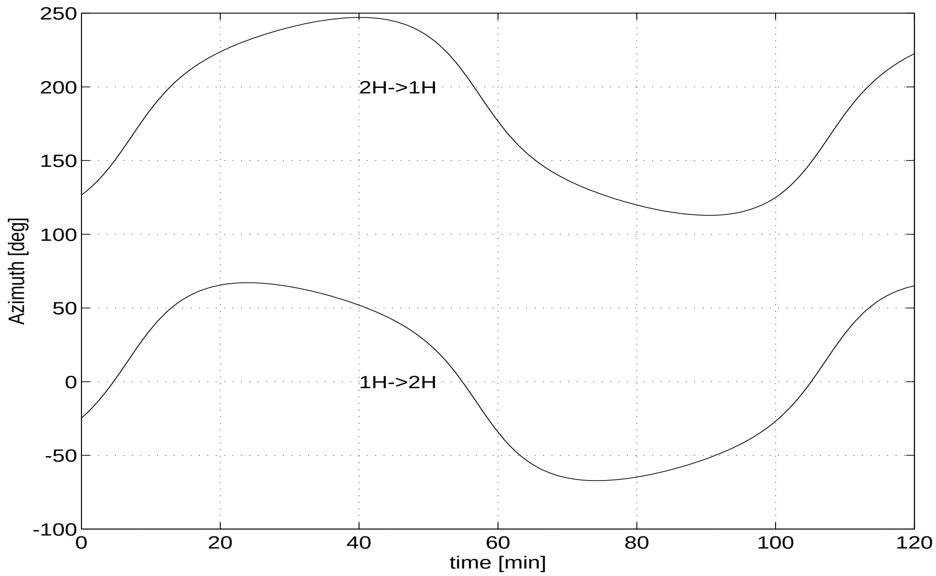

Bild 3: Azimuthwinkel zwischen Satelliten 1H / 2H

Um eine optimale Antennenausrichtung zu finden, muß man Punkte suchen, an denen sich die Winkel möglichst wenig ändern. Dazu wurde der Verlauf der Azimuthwinkel zwischen den Satelliten differenziert und in Bild 4 dargestellt. Da man Punkt benötigt, an denen die Änderung beider Azimuthwinkel am geringsten ist, wurde in Bild 5 die Summe der differenzierten Azimuthwinkel zwischen den Satelliten 1H und 2H über der Zeit dargestellt. Anhand des Bildes erkennt man, daß es zwei Bereiche gibt, an denen die Summe der differenzierten Azimuthwinkel minimal werden. Dies ist der optimale Bereich zum Aufbau von Intersatelliten-Links. Der geographische Ort dieser Satelliten über der Erde ist in diesem Bereich das Überfliegen des Äquators.

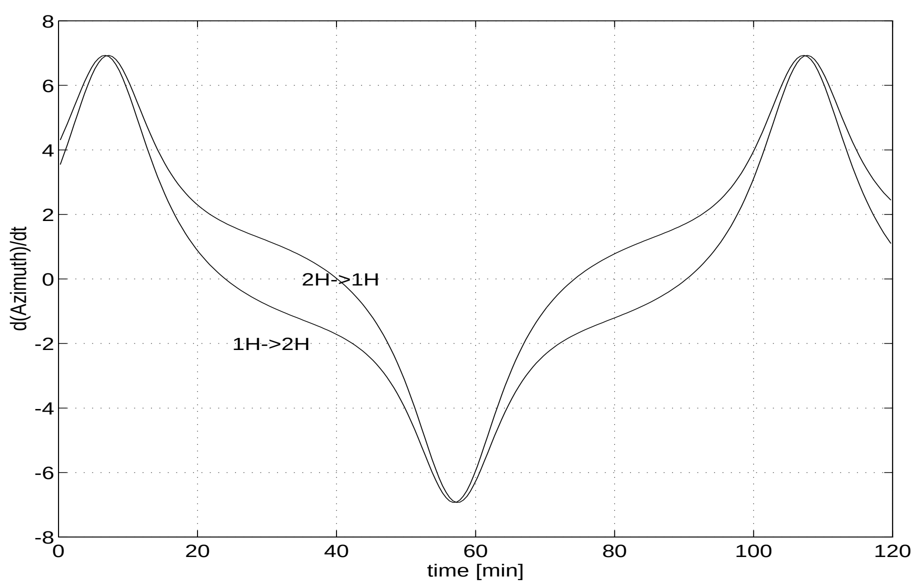

Bild 4: Differenzierte (über Zeit) Azimuthwinkel zwischen Satelliten 1H / 2H

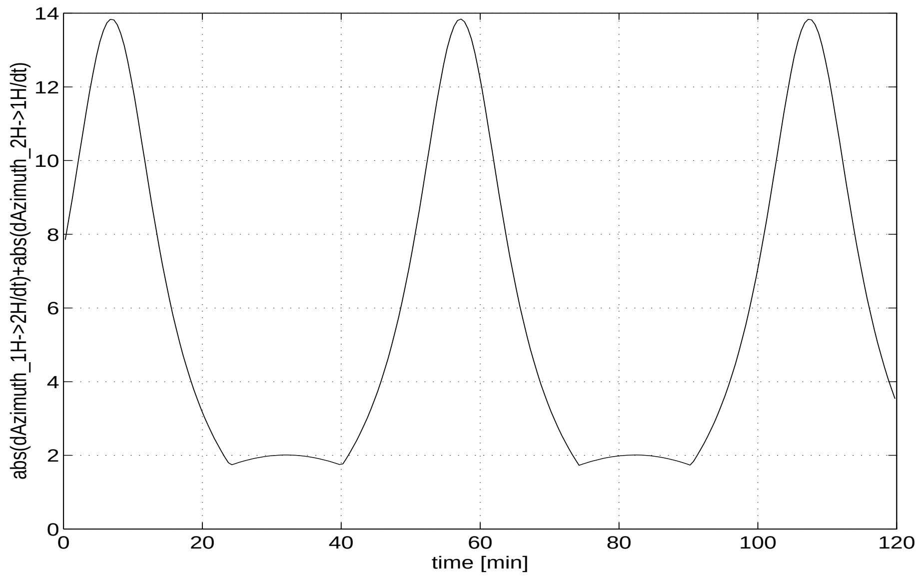

Bild 5: Summe der diff. Azimuthwinkel zwischen Satelliten 1H / 2H

Als Link Time ergibt sich für 2 Inter-Orbit ISLs:

$$t_{L\min} = t_{Periode} / (1*11)$$

Mit t_{Periode} = 101 min folgt: $t_{\mathrm{Lmin}} = 9{,}18$ min

daraus ergibt sich ein minimaler Antennen-Ausrichtwinkel von:

$$\Theta_{\mathrm{Aus\_min}} = 9{,}08 \text{ deg.}$$

für die Antennen-Azimuthwinkel

$$\Omega_1 = \text{+/-67,15 deg (up)}$$
$$\Omega_2 = \text{+/-112,85 deg (down)}$$

Bild 6 zeigt den Verlauf des Ausrichtwinkels über der Link-Time, in Tabelle 2 werden die Ausrichtwinkel und Antennenwinkel für eine verschiede Anzahl von ISLs aufgereiht.

ISLs	Min. Link Time	$\Theta_{\mathrm{Aus\_min}}$	Ω_{up}	Ω_{down}
2	9,18 min	9,08 deg	+/- 67,15...+/- 58,07	+/- 112,85...+/-121,93
4	18,36 min	17,46 deg	+/- 67,15...+/- 49,69	+/- 112,85...+/-130,31
6	27,55 min	28,74 deg	+/- 67,15...+/- 38,41	+/- 112,85...+/-141,59
8	36,73 min	44,51 deg	+/- 67,15...+/- 22,64	+/- 112,85...+/-157,36
10	45,91 min	69,58 deg	+/- 67,15...-/+ 2,43	+/- 112,85...-/+177,57
12	55,09 min	99,78 deg	+/- 67,15...-/+ 32,63	+/- 112,85...-/+147,37
14	64,27 min	120,94 deg	+/- 67,15...-/+ 53,79	+/- 112,85...-/+126,21
16	73,45 min	131,00 deg	+/- 67,15...-/+ 63,85	+/- 112,85...-/+116,15
18	82,64 min	134,20 deg	+/- 67,15...-/+ 67,05	+/- 112,85...-/+112,95
20	91,82 min	134,29 deg	+/- 67,15...-/+ 67,15	+/- 112,85...-/+112,85
22	101 min	134,29 deg	+/- 67,15...-/+ 67,15	+/- 112,85...-/+112,85

Tabelle 2: Antennenwinkel für verschiedene Link-Times

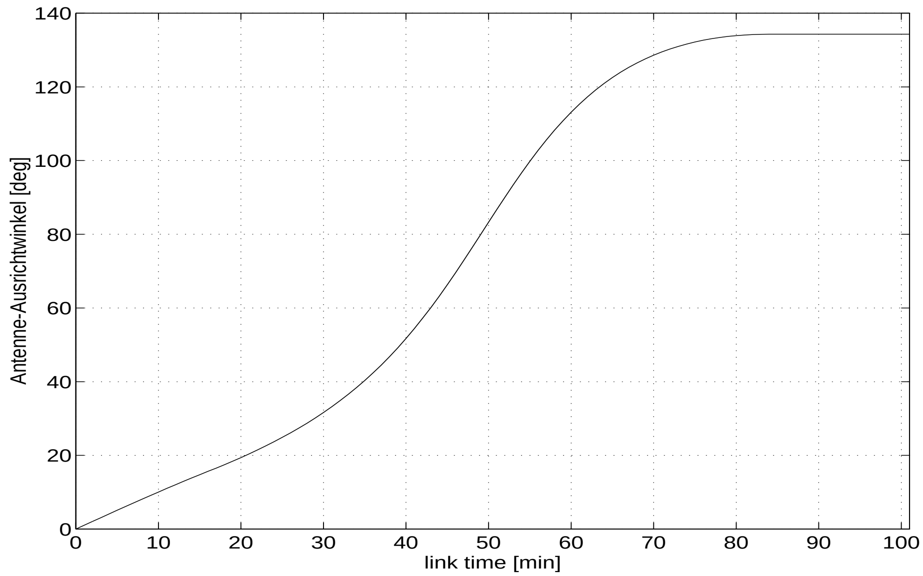

Bild 6: Ausrichtwinkel über Link-Time

Der geographische Ort der Links ist:
2 ISLs: Über Äquator
4 ISLs: Bis +/- 20 Breitengrad
6 ISLs: Bis +/- 40 Breitengrad
8 ISLs: Bis +/- 50 Breitengrad
10 ISLs: Bis +/- 60 Breitengrad
usw.

Hauptverkehr: Im Bereich der Industrienationen (30-50 Breitengrad) [6]
=> 8 ISLs genügen => $\Theta_{Aus\_min} = 44{,}51$ deg.

3.1.2.2 Bestimmung der Antennenausrichtung für Elevationswinkel

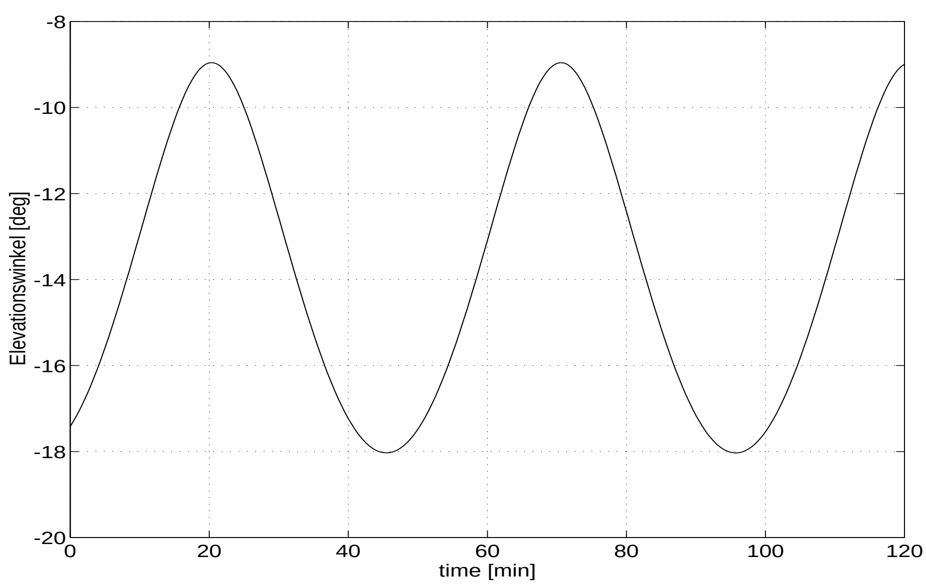

Bild 7: Elevationswinkel zwischen Satelliten 1H / 2H

Bild 7 zeigt den Verlauf des Elevationswinkels zwischen den Satelliten 1H (Orbit 1) und 2H (Orbit 2). Anhand des Bildes erkennt man, daß sich der Elevationswinkel nur geringfügig ändert, eine weitere Untersuchung ist deshalb nicht nötig.

3.2 Orbits in umgekehrter Richtung

3.2.1 Intra-Orbit ISLs

Nach Abschnitt 2.1 ist hier keine weitere Betrachtung nötig

3.2.2 Inter-Orbit ISLs

3.2.2.1 Bestimmung der Antennenausrichtung für Azimuthwinkel

Hier hat man das Problem, daß die Orbits gegeneinander laufen und eine hohe relative Geschwindigkeit zwischen den Satelliten entsteht. Weiterhin schauen die Antennen der Satelliten von Orbit 1 auf der einen Seite der Erde zu Orbit 6 und auf der anderen Seite der Erde zu Orbit 2 (Orbit 6 dito.)

Hieraus ergeben sich zwei Fragen: Benötigt man eine extra Antennenausrichtung für Satelliten auf Orbits 1+6 und muß man unterscheiden, ob Antenne zu Satellit zeigt, der sich in gleicher oder der sich in unterschiedlicher Richtung bewegt ?

Für die Link Time gilt hier:

$$t_{\mathrm{Lmin}} = t_{\mathrm{periode}} / (2*11)$$

Mit $t_{\mathrm{Periode}} = 101$ min folgt: $t_{\mathrm{Lmin}} = 4{,}59$ min

Ziel: 8 ISLs genügen => $\Theta_{\mathrm{Aus\_min}} = 44{,}51$ deg => $\Omega_{\mathrm{up}} = +/- 67{,}15...+/- 22{,}64$

Es läßt sich anhand der Simulation des Systems zeigen, daß die Antennenausrichtung von Abschnitt 3.1.2.1 für 8 ISLs auch hier genügt, um wieder 8 ISLs zu erhalten, d.h. die Antennenausrichtung muß nicht verändert werden.

3.2.2.2 Bestimmung der Antennenausrichtung für Elevationswinkel

Der Verlauf ist hier wie in Abschnitt 3.1.2.2, d.h. es ist keine weitere Untersuchung nötig

Literatur

[1] Alta Group, Cadence Design Systems: SatLab-Satellite Laboratory User´s Guide (for Use with BONeS DESIGNER). SAT8000-S4. Dezember 1994

[2] ETSI Technical Report: Possible European Standardisation of Certain Aspects of Satellite Personal Communications Networks (S-PCN). ETSI PT37V. Version 3.1. 30 April 1993

[3] Keller H., Salzwedel H.: Übersicht und Darstellung mobiler Satellitenkommunikations-systeme. Nachrichtentechnische Zeitschrift NTZ Heft 11/95, Berlin/Offenbach 1995

[4] Leopold, R.J.: The Iridium Communications System. Communication for Competitive Advantage Conference and Trade Exhibition. Tuanz 1992, 10-12 August

[5] Salzwedel, H.: Optimization of Satellite Systems for Mobile/Personal Communications. 39th International Scientific Colloquium. Ilmenau. September 27-30, 1994

[6] Werner M.,Jahn A., Lutz E., Böttcher A.: Analysis of System Parameters for LEO/ICO-Satellite Communication Networks. ESA/ESTEC-Report. Wessling 1994