

Satellitenempfang (3)

Die Entwicklung in der Raumfahrt- und Satellitentechnik sowie der Aufbau eines Satellitensystems wurden bereits aufgezeigt. Dieser Beitrag widmet sich den Positionen der Satelliten und der Ausrichtung von Antennen.

Satellitenposition

Weil sich stationäre Satelliten im GEO (dem geostationären Erdorbit) auf einer festen Kreisbahn in der Äquatorialebene synchron mit der Erde drehen, ist die Charakterisierung ihrer Position durch die Angabe eines einzigen Winkelwertes eindeutig möglich. Meistens wird der Punkt im GEO, der über dem Schnittpunkt des Greenwich-Meridians mit dem Äquator liegt, als Bezugspunkt mit 0° gewählt (Bild 1). Von hier aus werden Satellitenpositionen in westlicher Richtung mit dem Zusatz West (W) und in östlicher Richtung mit dem Zusatz Ost (O) beschrieben, z. B. PanAmSat 45°W, Eutelsat „Hotbird“ 13°O und Astra 19,2°O.

Antennenausrichtung

Nun stellt sich die Frage: „Wie finde ich von meinem irdischen Standpunkt aus einen geostationären Satelliten, dessen Orbitalposition mir bekannt ist?“ Die „Blickrichtung“ vom Antennenstandort zum Satelliten wird durch zwei Winkel charakterisiert: Seitenwinkel und Höhenwinkel.

Azimutwinkel. Der Seitenwinkel beschreibt die horizontale Auslenkung der „Blickrichtung“ der Antenne aus der Nordrichtung im Uhrzeigersinn. 90°, 180° und 270° bedeuten also Ost, Süd und West.

Elevationswinkel. Der Höhenwinkel wird von der Waagrechten nach oben gemessen. 0° Elevation entspricht der Antennenausrichtung auf den Horizont, 90° senkrecht nach oben (Bild 2).

Orbitalbogen. Offensichtlich nimmt die Höhe eines geostationären Satelliten über dem Horizont für einen irdischen Beobachter immer mehr ab, je weiter nördlich sich dieser befindet. Tatsächlich hängen Azimut und Elevation sowohl von den Koordinaten des Antennenstandpunktes als auch von der Position des angepeilten Satelliten ab. Der Orbitalbogen auf dem die geostationären Satelliten zu finden sind, sieht also an jedem Ort Deutschlands etwas anders aus. Die Verhältnisse für drei Satelliten an drei deutschen Orten (Ahlbeck, nordöstlich; Frankfurt zentral; Weil am Rhein südwestlich) zeigt Bild 3.

Winkelberechnung

Die exakte Berechnung von Azimut und Elevation erfolgt gemäß:

$$\text{Azimut} = \arctan\left(\frac{-\tan(\Delta L)}{\sin B}\right)$$

$$\text{Elevation} = \arctan\left(\frac{\cos(\Delta L) \cdot \cos B - \frac{r}{R}}{\sqrt{1 - (\cos(\Delta L) \cdot \cos B)^2}}\right)$$

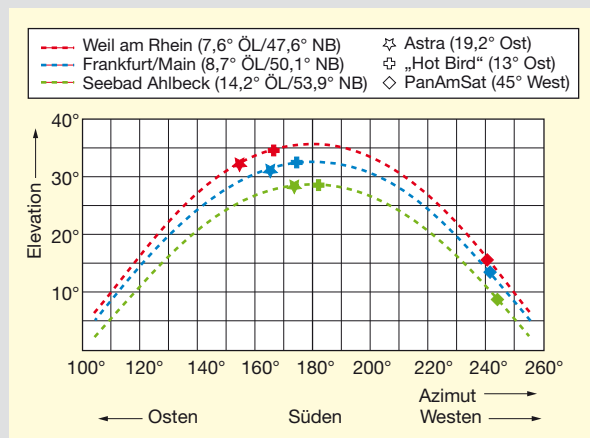
ΔL = Längengrad Satellit - Längengrad Empfängsort

$$\frac{r}{R} = \frac{\text{Erdradius}}{\text{Bahnradius}} = \frac{6378 \text{ km}}{42167 \text{ km}} = 0,1513$$

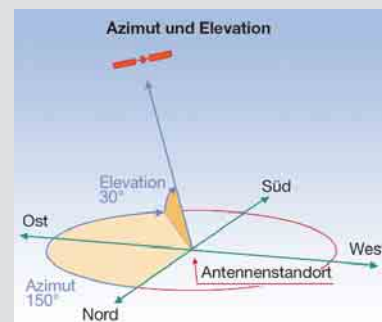
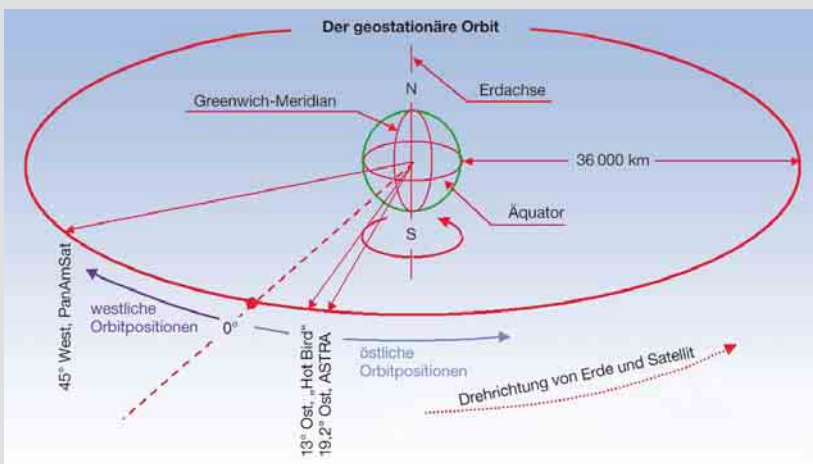
B = Breitengrad Empfängsort

Antennenstandorte in Deutschland sind stets durch eine östliche Länge (= Längengrad) und eine nördliche Breite (= Breitengrad) gekennzeichnet. Um sich das Auswerten der Gleichungen zu ersparen, wurden die Antennenausrichtwerte Azimut und Elevation für 78 Orte Deutschlands berechnet (Tafel 1). *K. Jungk*

Fortsetzung **ep** LERNEN & KÖNNEN
Sendeleistung und Ausleuchtung



3 Je weiter nördlich die Antenne steht, umso kleiner ist ihr Elevationswinkel



2 Zwei Winkel zur Antennenausrichtung: Azimut und Elevation
1 Eindeutige Position eines Satelliten im GEO – Längenangabe genügt

Tafel 1 Seitenwinkel (Azimut) und Höhenwinkel (Elevation) in Winkelgraden für die Ausrichtung einer Antenne in Deutschland auf einige geostationäre Satelliten

Sat-Position	Intelsat 902		Turksat 1C, 2A, 3A		Astra 1E, 1G, 3A		Astra 1F, 1H, 1KR, 1L, 1M		Eutelsat W2		Eutelsat „Hot Bird“ 6, 7A, 8, 9, 10		Eutelsat W1		Sirius 2, 3		Intelsat 10-02		Eutelsat Atlantic Bird 3		Eutelsat Atlantic Bird 2		Hispasat 1C, 1D		PanAmSat 1F			
	ÖL	NB	Az.	El.	Az.	El.	Az.	El.	Az.	El.	Az.	El.	Az.	El.	Az.	El.	Az.	El.	Az.	El.	Az.	El.	Az.	El.	Az.	El.		
Aachen	6.1	50.8	117.7	12.3	137.0	22.8	158.0	29.5	163.3	30.5	167.3	31.1	171.1	31.4	175.0	31.7	181.4	31.8	189.1	31.4	194.2	30.9	198.0	30.3	223.3	22.7	238.0	15.0
Augsburg	10.9	48.4	121.1	16.3	141.1	26.9	163.4	33.1	169.0	33.9	173.2	34.2	177.2	34.4	181.2	34.4	187.9	34.1	195.7	33.2	200.9	32.3	204.6	31.6	229.2	22.1	243.1	13.4
Berchtesgaden	13.0	47.6	122.7	18.0	143.1	28.5	165.9	34.4	171.6	35.0	175.9	35.2	180.0	35.3	184.1	35.2	190.8	34.8	198.7	33.6	203.7	32.6	207.5	31.6	231.6	21.5	245.2	12.4
Bergisch-Gladbach	7.1	51.0	118.6	12.7	138.1	23.1	159.3	29.6	164.6	30.5	168.6	31.0	172.4	31.3	176.3	31.5	182.7	31.6	190.4	31.1	195.4	30.6	199.1	29.9	224.2	22.1	238.2	14.3
Berlin	13.1	52.4	124.7	15.3	145.1	24.4	167.0	29.3	172.3	29.8	176.3	30.0	180.1	30.1	183.9	30.0	190.2	29.6	197.6	28.7	202.4	27.8	206.0	26.9	229.7	18.2	243.7	10.2
Bielefeld	8.5	52.0	120.2	13.0	140.0	22.9	161.2	28.9	166.5	29.7	170.5	30.1	174.3	30.4	178.1	30.5	184.4	30.4	192.0	29.8	196.9	29.2	200.6	28.5	225.3	20.7	239.8	13.0
Bochum	7.2	51.5	118.9	12.5	138.4	22.7	159.5	29.1	164.8	30.0	168.8	30.5	172.6	30.8	176.4	31.0	182.8	31.0	190.4	30.6	195.4	29.9	199.1	29.1	223.1	21.6	237.7	14.0
Bonn	7.1	50.7	118.5	12.9	138.0	23.3	159.2	29.9	164.5	30.8	168.6	31.3	172.4	31.7	176.3	31.9	182.7	31.9	190.4	31.4	195.5	30.8	199.2	30.2	224.3	22.3	238.9	14.5
Bottrop	6.9	51.5	118.6	12.4	138.1	22.6	159.1	29.0	164.4	29.9	168.4	30.4	172.2	30.8	176.0	31.0	182.4	31.0	190.1	30.6	195.1	30.0	198.8	29.4	223.8	21.8	238.5	11.7
Braunschweig	10.5	52.3	122.2	13.9	142.2	23.5	163.7	29.0	169.1	29.6	173.1	30.0	176.8	30.1	180.6	30.2	186.9	30.0	194.4	29.2	199.3	28.5	202.9	27.8	227.2	19.5	241.5	14.2
Bremen	8.8	53.1	120.9	12.6	140.7	22.1	161.8	27.8	167.1	28.6	171.0	29.0	174.8	29.2	178.5	29.3	184.7	29.2	192.2	28.6	197.1	28.0	200.7	27.4	225.2	19.7	239.7	12.3
Bremerhaven	8.6	53.5	120.8	12.3	140.6	21.7	161.7	27.4	166.9	28.1	170.8	28.5	174.5	28.8	178.3	28.9	184.5	28.8	191.9	28.3	196.7	27.6	200.3	27.0	224.8	19.5	239.3	12.2
Chemnitz	12.9	50.8	123.9	16.1	144.3	25.7	166.4	31.0	171.9	31.5	176.0	31.7	179.9	31.8	183.7	31.7	190.2	31.3	197.7	30.3	202.6	29.4	206.2	28.6	230.2	19.4	244.1	11.1
Cottbus	14.3	51.7	125.5	16.3	146.2	25.4	168.3	30.2	173.8	30.7	177.8	30.8	181.7	30.8	185.5	30.7	191.8	30.2	199.2	29.1	204.0	28.1	207.6	27.3	231.2	18.1	245.0	9.9
Darmstadt	8.7	49.9	119.7	14.2	139.3	24.7	160.9	31.1	166.4	31.9	170.5	32.4	174.4	32.6	178.3	32.8	184.8	32.7	192.6	32.0	197.7	31.3	201.4	30.6	226.3	22.1	240.7	14.0
Dortmund	7.5	51.5	119.2	12.7	138.7	22.9	159.9	29.2	165.2	30.0	169.2	30.5	173.0	30.8	176.8	31.0	183.2	31.0	190.8	30.5	195.8	29.9	199.5	29.3	224.4	21.5	239.2	13.8
Dresden	13.8	51.1	124.8	16.4	145.4	25.8	167.6	30.8	173.1	31.3	177.2	31.5	181.0	31.5	184.9	31.4	191.3	30.9	198.8	29.8	203.6	28.9	207.2	28.0	230.9	18.7	244.8	10.4
Düsseldorf	6.8	51.2	118.4	12.5	137.8	22.8	158.9	29.3	164.2	30.2	168.3	30.7	172.1	31.1	175.9	31.3	182.3	31.4	190.0	30.9	195.0	30.3	198.7	29.7	223.8	22.1	238.5	14.4
Duisburg	6.8	51.4	118.5	12.4	137.9	22.6	159.0	29.1	164.3	30.0	168.3	30.5	172.1	30.9	175.9	31.1	182.3	31.1	189.9	30.7	195.0	30.1	198.7	29.5	223.7	21.9	238.4	14.3
Eisenach	10.2	51.0	121.4	14.5	141.4	24.4	163.1	30.3	168.5	31.0	172.6	31.3	176.4	31.5	180.3	31.6	186.7	31.4	194.3	30.6	199.3	29.9	202.9	29.1	227.4	20.6	241.6	12.6
Erfurt	11.0	51.0	122.2	14.9	142.3	24.7	164.1	30.4	169.5	31.1	173.6	31.4	177.4	31.6	181.3	31.6	187.7	31.3	195.3	30.5	200.3	29.7	203.9	28.9	228.2	20.2	242.3	12.1
Essen	7.0	51.5	118.7	12.4	138.2	22.6	159.3	29.0	164.6	29.9	168.6	30.4	172.4	30.8	176.2	31.0	182.6	31.0	190.2	30.6	195.2	30.0	198.9	29.4	223.9	21.7	238.6	14.1
Flensburg	9.4	54.8	122.0	12.0	142.0	20.9	162.9	26.2	168.1	26.9	171.9	27.2	175.6	27.4	179.3	27.5	185.4	27.4	192.7	26.8	197.4	26.1	201.0	25.5	225.1	18.2	238.7	11.1
Frankfurt/Main	8.7	50.1	119.8	14.1	139.4	24.5	161.0	30.9	166.4	31.7	170.5	32.2	174.4	32.4	178.3	32.6	184.8	32.5	192.6	31.8	197.6	31.1	201.4	30.4	226.2	22.0	240.6	13.9
Frankfurt/Oder	14.5	52.4	126.0	16.0	146.7	24.9	168.7	29.5	174.1	29.9	178.1	30.1	181.9	30.1	185.7	29.9	191.9	29.4	199.3	28.4	204.1	27.4	207.6	26.5	231.1	17.5	245.0	9.5
Freiburg/Breisgau	7.9	48.0	118.3	14.7	137.7	25.8	159.4	32.8	165.0	33.8	169.2	34.3	173.2	34.6	177.2	34.8	183.9	34.8	191.9	34.2	197.1	33.5	201.0	32.7	226.3	23.9	240.7	15.4
Garmisch-Partenkirchen	11.1	47.5	120.9	16.9	140.9	27.7	163.4	34.1	169.1	34.8	173.4	35.2	177.4	35.4	181.5	35.4	188.2	35.1	196.2	34.2	201.4	33.2	205.2	32.3	229.8	22.6	243.6	13.7
Gelsenkirchen	7.1	51.5	118.8	12.5	138.3	22.7	159.4	29.1	164.7	30.0	168.7	30.5	172.5	30.8	176.3	31.0	182.7	31.0	190.3	30.6	195.3	30.0	199.0	29.4	224.0	21.7	238.6	14.0
Gera	12.1	50.9	123.2	15.6	143.5	25.3	165.4	30.7	170.9	31.3	175.0	31.6	178.8	31.7	182.7	31.7	189.1	31.3	196.7	30.4	201.6	29.5	205.2	28.7	229.3	19.7	243.3	11.5
Göppingen	9.7	48.7	120.1	15.4	139.9	26.1	161.9	32.5	167.4	33.4	171.6	33.8	175.6	34.0	179.6	34.1	186.2	33.9	194.1	33.2	199.2	32.3	203.0	31.6	227.9	22.5	242.0	14.0
Göttingen	9.9	51.5	121.4	14.0	141.3	23.9	162.8	29.7	168.2	30.4	172.2	30.8	176.0	31.0	179.9	31.1	186.3	30.9	193.8	30.2	198.8	29.4	202.4	28.7	226.9	20.4	241.2	12.5
Hagen/Westfalen	7.5	51.4	119.1	12.8	138.7	22.9	159.9	29.3	165.2	30.1	169.2	30.6	173.0	30.9	176.8	31.1	183.2	31.1	190.8	30.8	195.8	30.0	199.5	29.4	224.5	21.6	239.0	13.9
Halle	12.0	51.5	123.3	15.2	143.6	24.7	165.4	30.1	170.8	30.7	174.9	30.9	178.7	31.0	182.6	31.0	188.9	30.7	196.4	29.8	201.3	28.9	204.9	28.1	229.0	19.4	243.1	11.3
Hamburg	9.7	53.6	121.9	12.8	141.9	22.0	163.0	27.5	168.3	28.2	172.2	28.5	175.9	28.7	179.6	28.8	185.8	28.6	193.2	28.0	198.1	27.3	201.6	26.7	225.9	18.9	240.3	11.5
Hamm	7.8	51.7	119.5	12.8	139.1	22.8	160.3	29.0	165.6	29.9	169.6	30.3	173.4	30.6	177.2	30.8	183.6	30.8	191.2	30.3	196.1	29.6	199.8	29.0	224.7	21.2	239.2	13.6
Hannover	9.7	52.4	121.5	13.4	141.4	23.0	162.8	28.7	168.1	29.4	172.1	29.8	175.8	30.0	179.6	30.1	185.9	29.9	193.4	29.3	198.3	28.5	201.9	27.9	226.3	19.8	240.7	12.1
Heidelberg	8.7	49.4	119.5	14.5	139.1	25.1	160.8	31.6	166.3	32.4	170.4	32.9	174.3	33.2	178.3	33.3	184.9	33.2	192.7	32.6	197.8	31.8	201.6	31.1	226.5	22.5	240.8	14.2
Heilbronn	9.2	49.1	119.8	14.9	139.5	25.1	161.4	32.0	166.9	32.8	171.0	33.3	175.0	33.5	178.9	33.7	185.5	33.5	193.4	32.8	198.5	32.0	202.3	31.3	227.2	22.5	241.4	14.1
Herne	7.2	51.5	118.9	12.5	138.4	22.7	159.5	29.1	164.8	30.0	168.8	30.5	172.6	30.8	176.4	31.0	182.8	31.0	190.4	30.6	195.4	29.9	199.1	29.3	224.1	21.6	238.7	14.0
Hildesheim	9.9	52.2	121.6	13.7	141.6	23.3	163.0	29.0	168.3	29.7	172.3	30.0	176.1	30.2	179.9	30.3	186.2	30.1	193.7	29.4	198.6	28.7	202.2	28.0	226.6	19.9	241.0	12.1
Jena	11.6	50.9	122.7	15.3	142.9	25.1	164.8	30.6	170.2	31.3	174.3	31.6	178.2	31.7	182.1	31.7	188.5	31.4	196.1	30.5	201.0	29.6	204.6	28.8	228.8	20.0	242.9	11.8
Kaiserslautern	7.8	49.4	118.7	13.9	138.2	24.7	159.7	31.4	165.1	32.3	169.3	32.8	173.2	33.1	177.1	33.3	183.7	33.3	191.5	32.7	196.7	32.0	200.4	31.3	225.6	22.9	240.0	14.8
Karlsruhe	8.4	49.0	119.1	14.5	138.6	25.3	160.3	31.9																				