

SimQuality - Validierung der Sonnenstandsberechnung

IBK, TU Dresden

15. Oktober 2021

Zusammenfassung

Für die Berechnung der solaren Lasten in der thermischen Gebäudesimulation ist die korrekte Abbildung des Sonnenstands notwendig. Nachfolgend sind die Ergebnisse des Testfalles samt dessen Auswertung gelistet.

Inhaltsverzeichnis

1	Tools, Berechnungsvarianten und Bemerkungen	2
1.1	Tools	2
1.2	Standorte	2
1.3	Probleme bei der Durchführung	2
2	Ergebnisse	3
2.1	Potsdam	3
2.2	Denver	4
2.3	Kaxgar	5
2.4	Melbourne	6
2.5	Barrow	7
2.6	Shanghai	8
2.7	Singapur	9
2.8	Lima	10
3	Auswertung	11
3.1	Ergebnisüberblick	11
3.2	Fehleranalyse	11
3.3	Bewertung	13
3.4	Fazit	13

1 Tools, Berechnungsvarianten und Bemerkungen

1.1 Tools

Alle verwendeten Tools implementieren die Berechnung des Sonnenstandes vergleichbar. Die Programme¹ TRNSYS und TAS geben nur Sonnenhöhenwinkel und Azimutwinkel aus, wenn die Sonne über dem Horizont steht. Im Programm TAS werden erst Sonnenstände bei einem Sonnenhöhenwinkel $> 2^\circ$ ausgegeben.

Tabelle 1.1: Übersicht über die verwendeten Programme für die Berechnung des Sonnenstandes

Programm	Version	Bearbeiter
NANDRAD	1.4	Dirk Weiß, IBK TU Dresden
Radiance	5.2.0	Stephan Hirth, IBK TU Dresden
IDA ICE	4.8.0.1	Caroline Seifert, INNIUS DÖ
TRNSYS*	18	Julian Agudelo, Hochschule München
ETU / Hottgenroth	4.1	Dr. Rainer Rolfs, ETU Hottgenroth
ETU 2 / HottCAD	5.1.x.19	Dr. Rainer Rolfs, ETU Hottgenroth
Modelica	Dymola Version 4.1 AixLib Version 0.7.3	Amin Nouri, RWTH Aachen
TAS	9.5.0	Rainer Strobel, PGMM

1.2 Standorte

Die nachfolgend in Tab. 1.2 aufgelisteten Standorte werden näher untersucht.

Tabelle 1.2: Liste der Prüfstandorte

Standort	Längen- grad in °	Breiten- grad in °	Zeitzone	Bemerkung
Barrow	-156.78	71.30	-9	Innerhalb des nördlichen Polarkreises
Denver	-104.86	39.76	-7	Geringer Abstand zum Standardmeridian
Lima	-77.12	-12.00	-5	Auf der Südhalbkugel und innerhalb des südlichen Sonnenwendkreises
Potsdam	13.067	52.383	1	Geringer Abstand zum Standardmeridian auf der Ostseite
Shanghai	121.43	31.17	8	Geringer Abstand vom Standardmeridian
Kaxgar	75.98	39.47	8	Sehr großer Abstand zum Standardmeridian (gleiche Zeitzzone wie Shanghai)
Singapur	103.98	1.37	8	Geringer Abstand zum Äquator und innerhalb des nördlichen Sonnenwendkreises
Melbourne	144.83	-37.67	10	Auf der Südhalbkugel außerhalb des Sonnenwendkreises

1.3 Probleme bei der Durchführung

Schwierigkeiten, die sich bei der Durchführung der Sonnenstandsberechnung ergeben können:

- Beachtung der äquatorbezogenen Azimut-Definition im amerikanischen Kontext
 - In Europa ist die Definition wie folgt: N 0° , O 90° , S 180° , W 270°
 - In Amerika ist die Definition meist: N $\pm 180^\circ$, O -90° , S 0° , W 90°
- Beachtung der Definition des Längengrades:
 - In Europa ist der Längengrad Richtung Osten positiv definiert ausgehend vom Null-Meridian
 - In Amerika ist der Längengrad Richtung Westen positiv definiert ausgehend vom Null-Meridian
- Die Sonnenstände hängen maßgebend von der richtigen Zeitzone des Ortes ab. Sonst wird der eigentlich korrekte Sonnenstand zu einem falschen Zeitpunkt geschrieben.

¹nachfolgend mit * gekennzeichnet

2 Ergebnisse

2.1 Potsdam

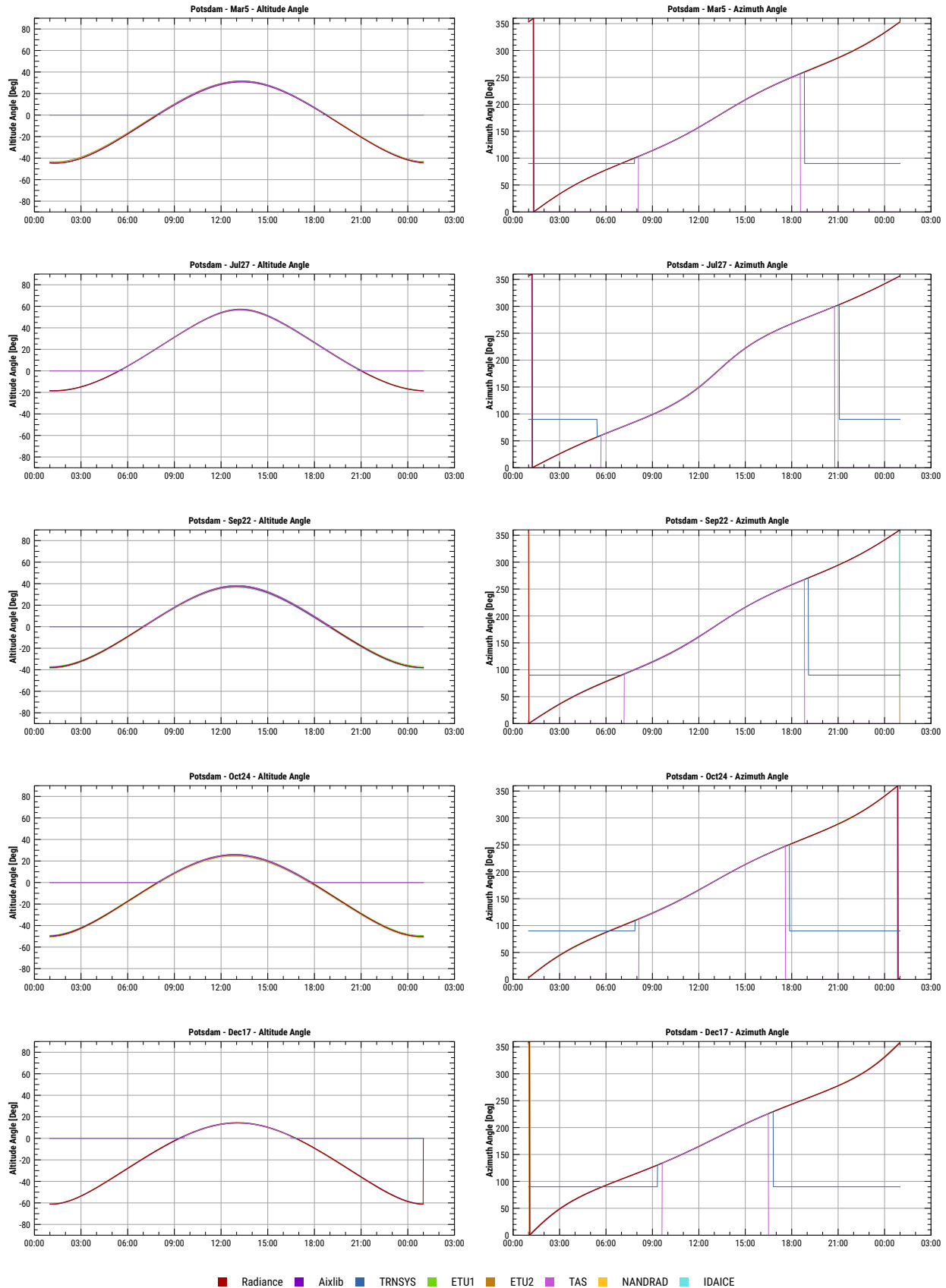


Abbildung 2.1: Ergebnisse für Standort Potsdam vom 5. März, 27. Juli, 22. September, 24. Oktober und 17. Dezember

2.2 Denver

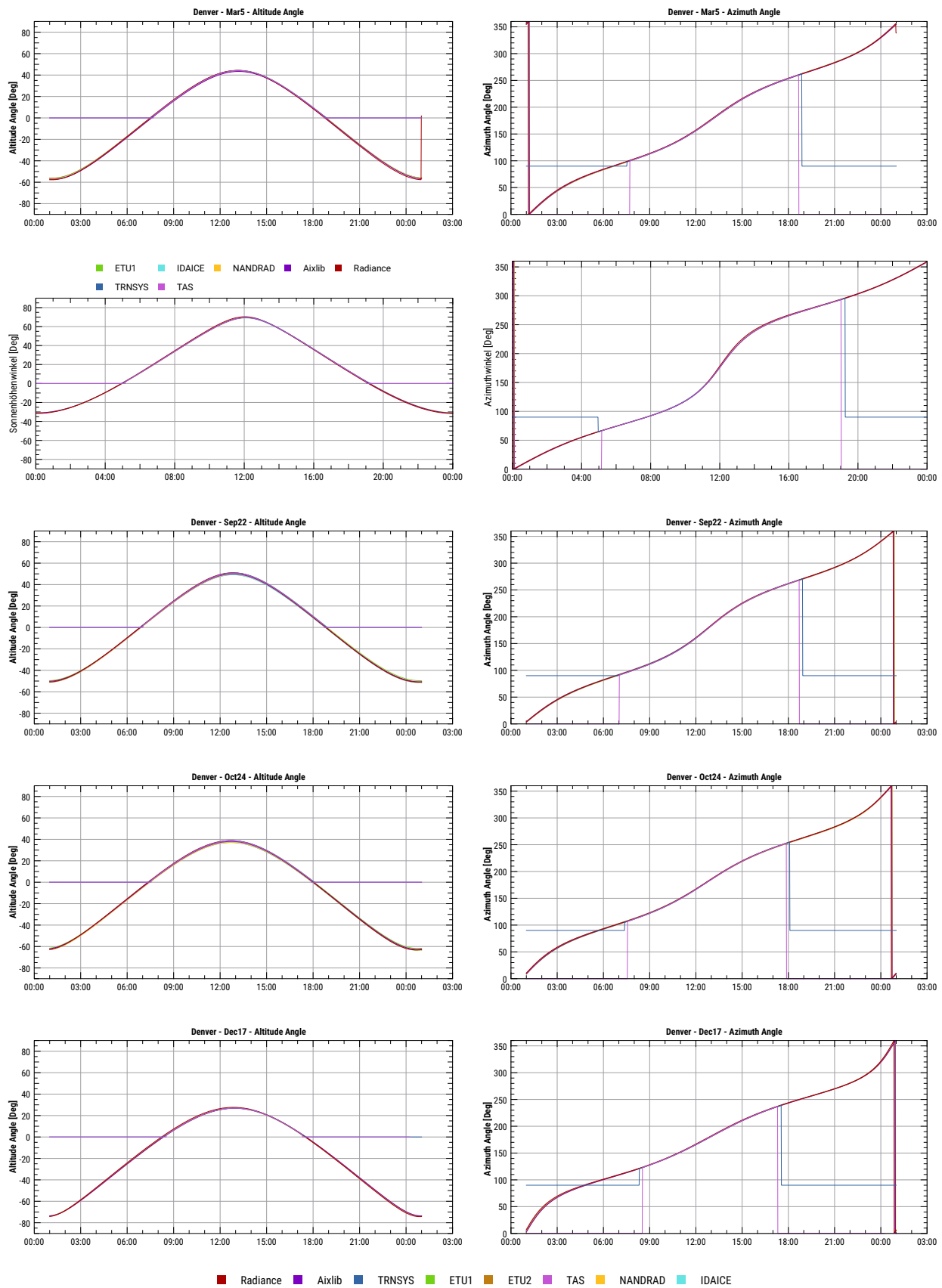


Abbildung 2.2: Ergebnisse für Standort Denver vom 5. März, 27. Juli, 22. September, 24. Oktober und 17. Dezember

2.3 Kaxgar

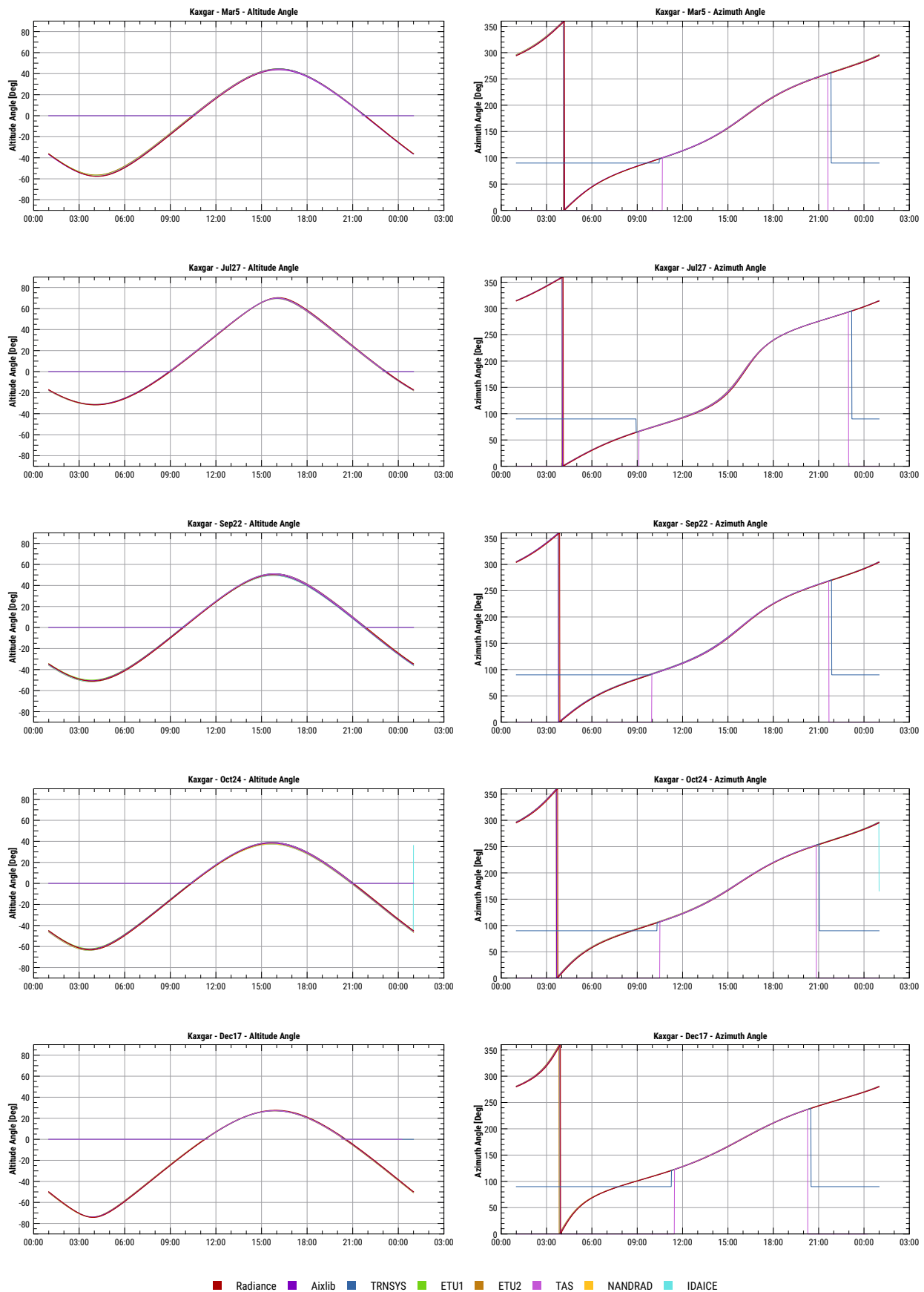


Abbildung 2.3: Ergebnisse für Standort Kaxgar vom 5. März, 27. Juli, 22. September, 24. Oktober und 17. Dezember

2.4 Melbourne

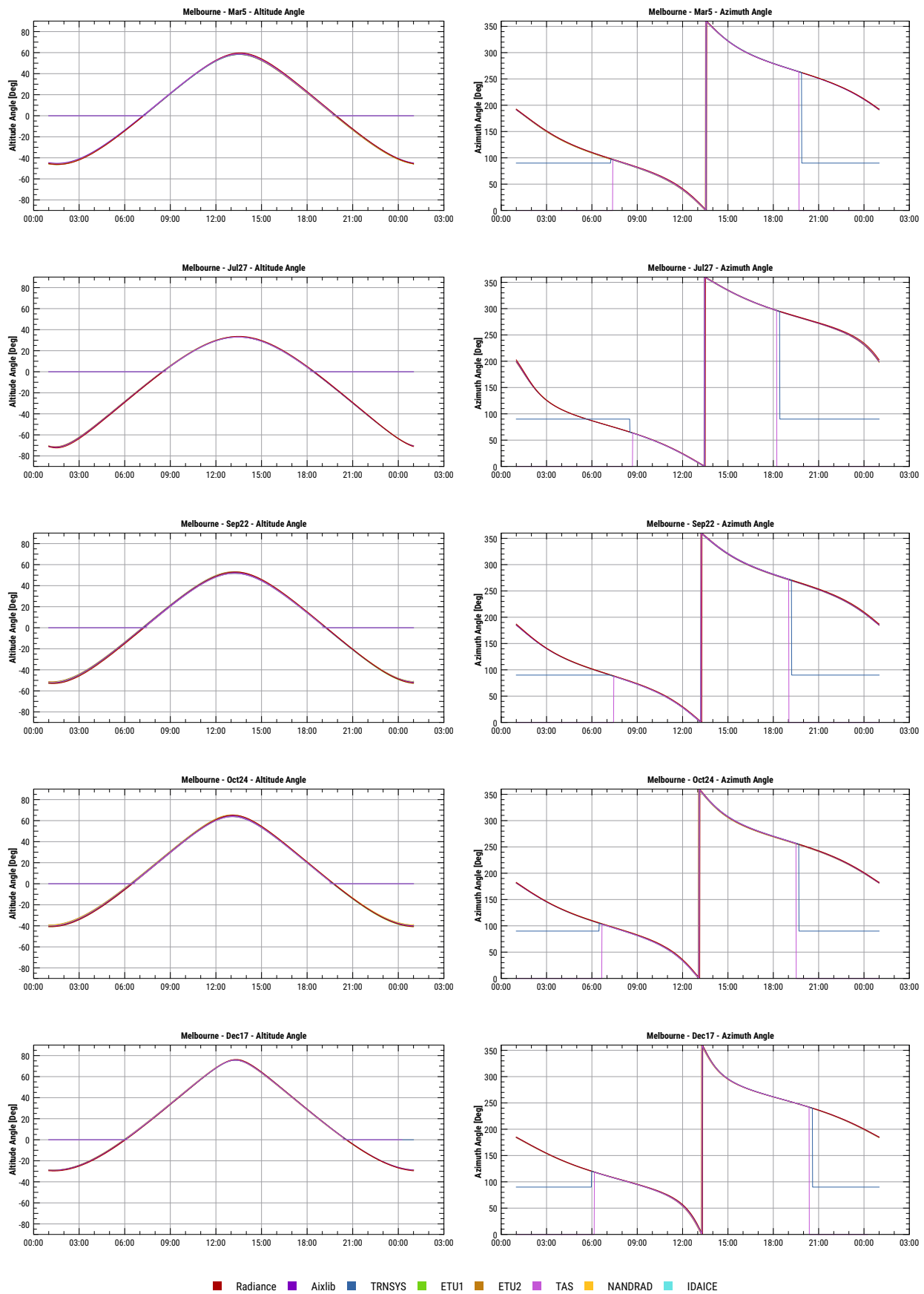


Abbildung 2.4: Ergebnisse für Standort Melbourne vom 5. März, 27. Juli, 22. September, 24. Oktober und 17. Dezember

2.5 Barrow

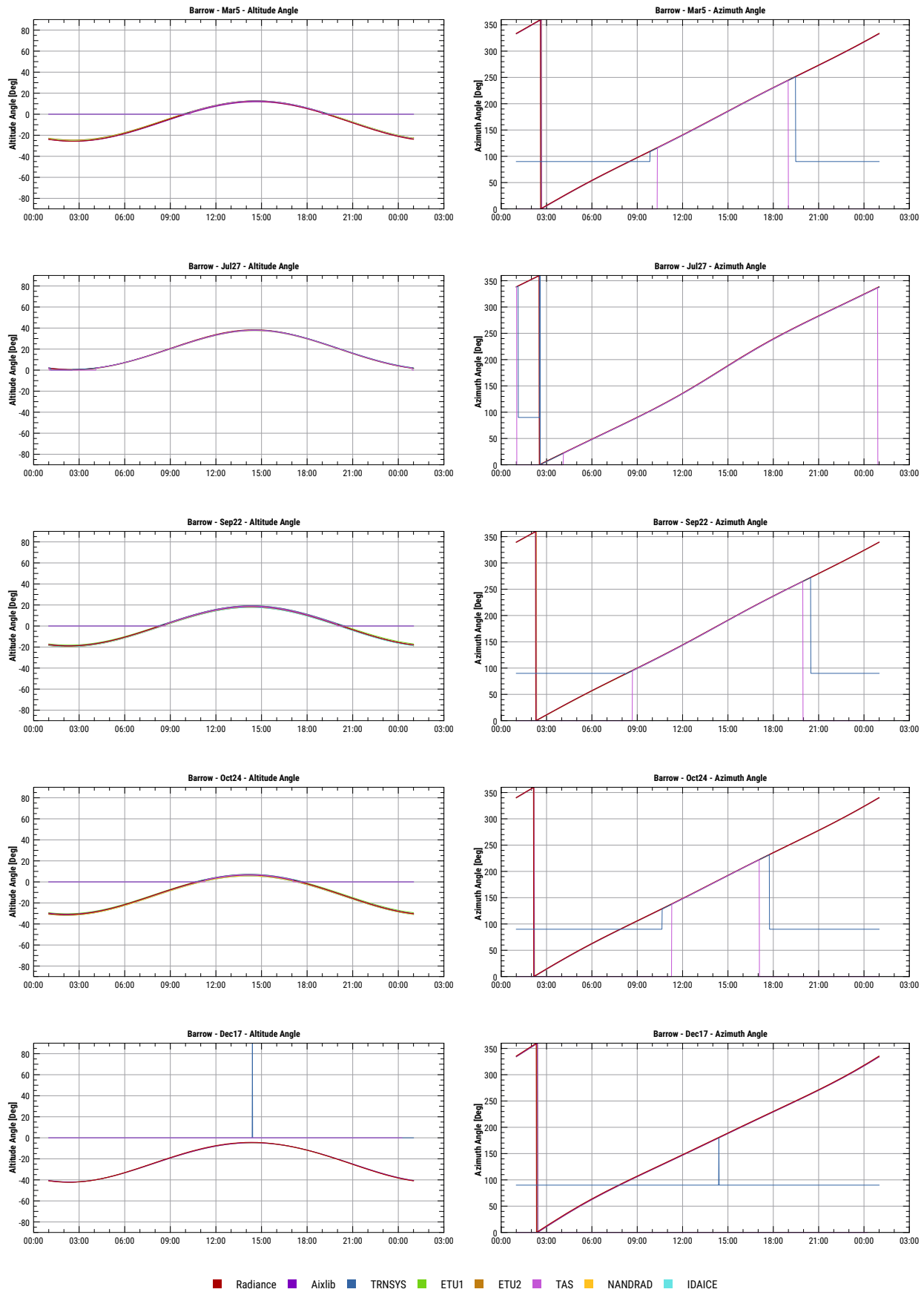


Abbildung 2.5: Ergebnisse für Standort Barrow vom 5. März, 27. Juli, 22. September, 24. Oktober und 17. Dezember

2.6 Shanghai

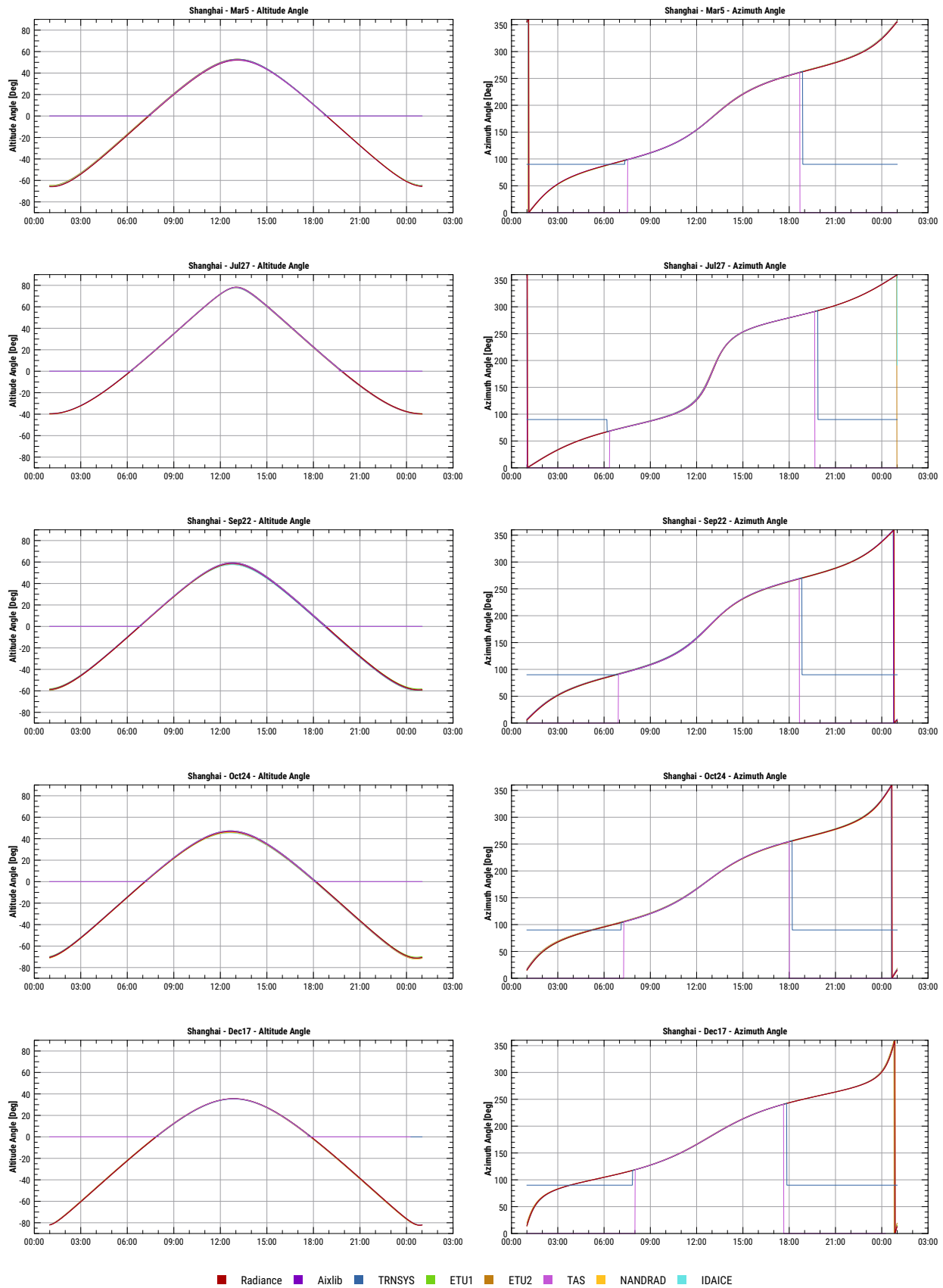


Abbildung 2.6: Ergebnisse für Standort Shanghai vom 5. März, 27. Juli, 22. September, 24. Oktober und 17. Dezember

2.7 Singapur

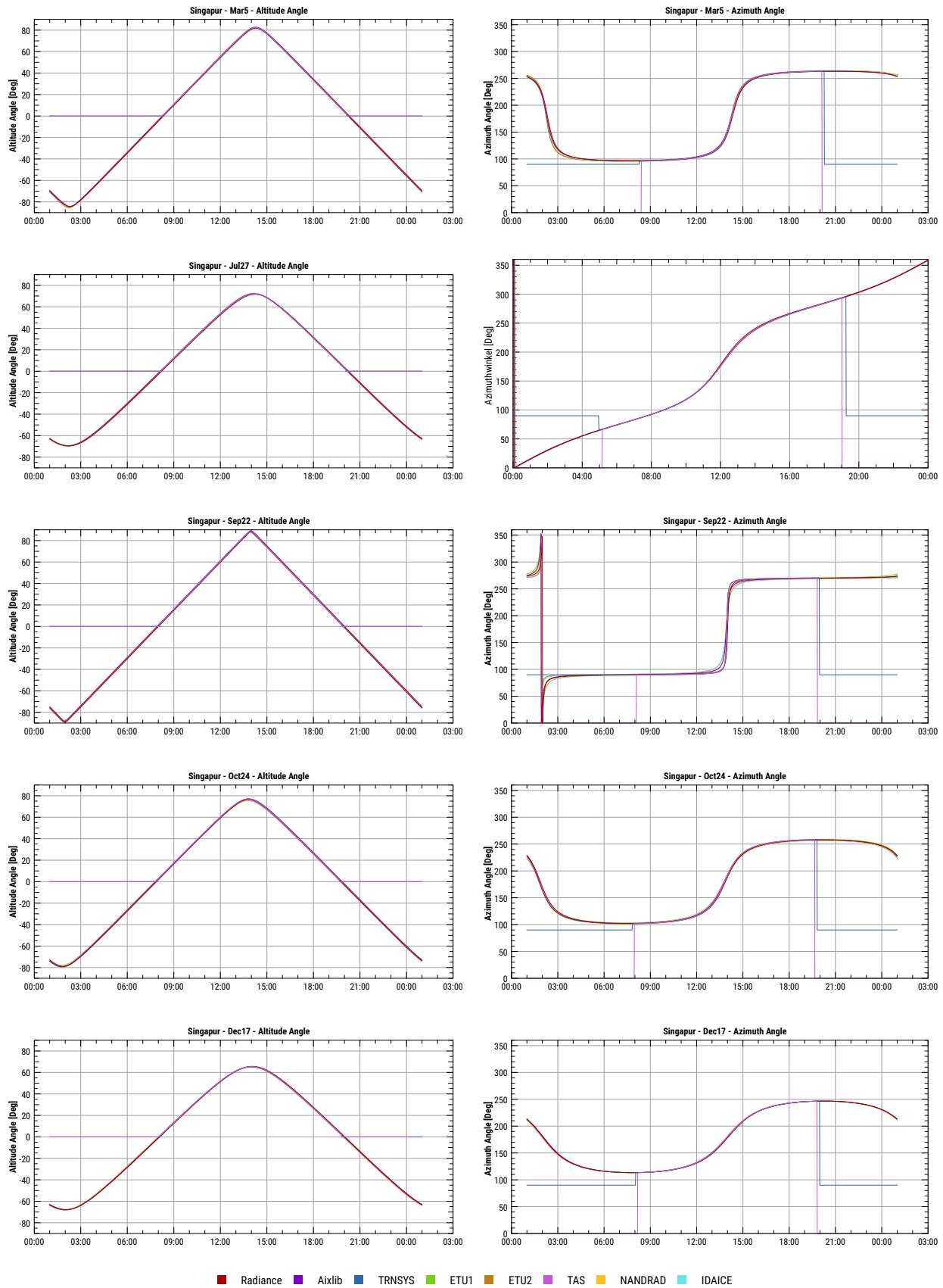


Abbildung 2.7: Ergebnisse für Standort Singapur vom 5. März, 27. Juli, 22. September, 24. Oktober und 17. Dezember

2.8 Lima

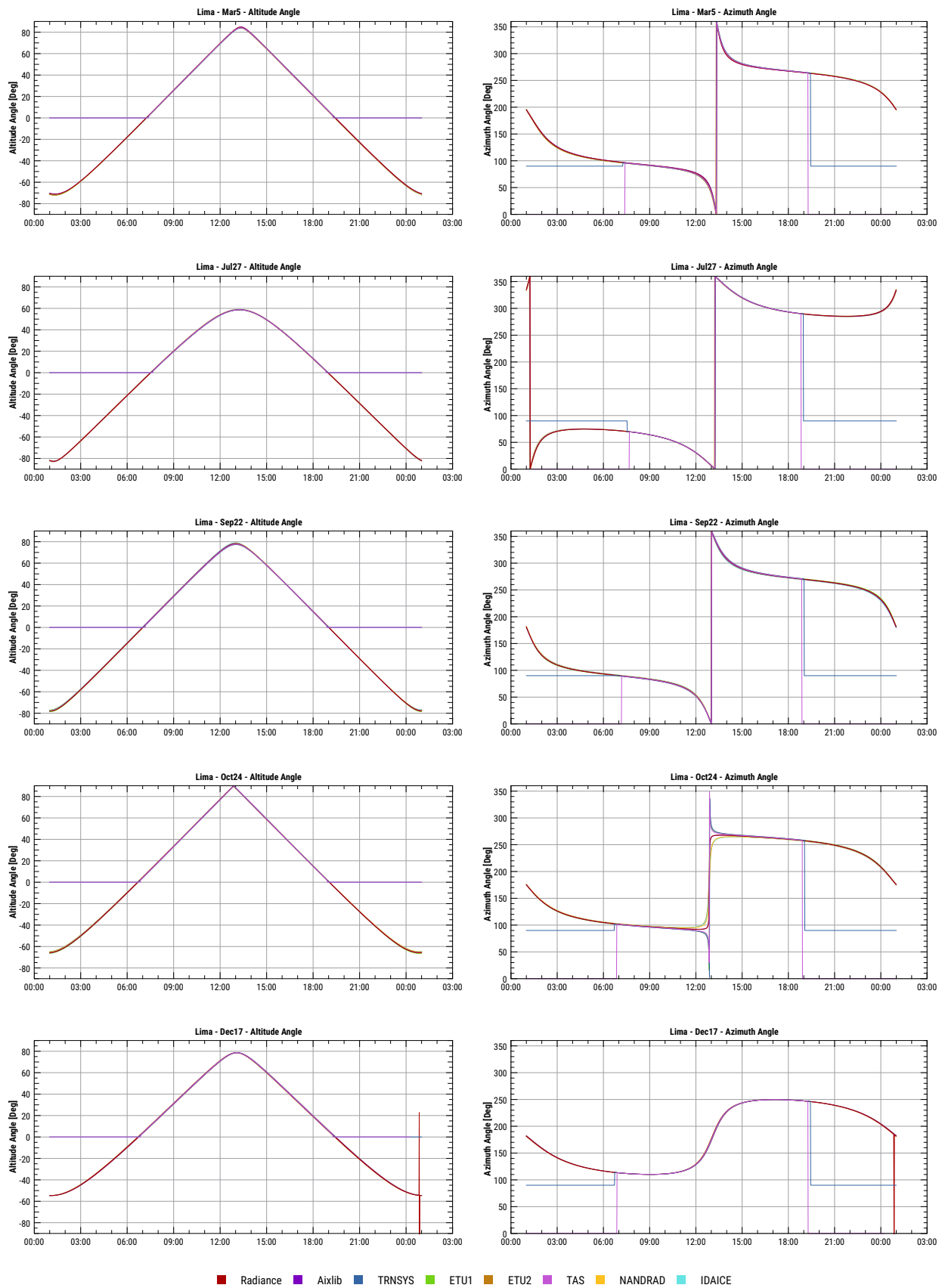


Abbildung 2.8: Ergebnisse für Standort Lima vom 5. März, 27. Juli, 22. September, 24. Oktober und 17. Dezember

3 Auswertung

Für die Prüfung der Korrektheit des im jeweiligen Programm verwendeten Sonnenstandmodells wird für jeden berechneten Zeitschritt (Minute, Stunde) aus angegebenem Azimut und Altitude der Vektor des Sonnenstrahls im kartesischen Koordinatensystem ermittelt. Anschließend wird der Vektor mit dem Vektor der Referenzwerte zum gleichen Zeitpunkt verglichen. Dafür wird der von beiden Vektoren aufgespannte Winkel über das Skalarprodukt ermittelt und ab einem Wert von >3 Grad als abweichend betrachtet. Die Referenzwerte für den Vergleich entstammen von NANDRAD.

Es wird hierbei für jeden Tag und für alle Zeitpunkte, in denen die Sonne oberhalb des Horizonts (Sonnenstunden) steht:

- die Summe aller Abweichungswinkel über den Vergleichszeitraum aufaddiert und
- der maximal aufgespannte Winkel zwischen beiden Vektoren im gesamten Vergleichszeitraum ermittelt.

Zu beachten ist weiterhin, dass die Sonnenstandsdaten für TRNSYS und TAS² nur für Zeitpunkte, in denen die Sonne oberhalb des Horizonts³ steht, geschrieben werden. Für diese beiden Programme kann deshalb die Auswertung nur für diese Zeitpunkte und nicht den ganzen Tag erfolgen.

3.1 Ergebnisüberblick

Tabelle 3.1 zeigt die erfassten Überschreitungen der gewählten Ergebnistoleranz, allerdings nur für die Tools und Standorte, an denen Abweichungen aufgetreten sind. Die Tabelle zeigt hierbei die Anzahl der Zeitpunkte (Minuten) des Tages, an denen eine Abweichung berechnet wurde. Alle nicht aufgeführten Tools berechneten den Sonnenstand auf 3° genau, verglichen mit den Referenzwerten des Simulationsprogramms NANDRAD.

Standort	Tag	IDA ICE	TRNSYS
Barrow	Jul27	1	86
Denver	Dec17		1
Kaxgar	Dec17		1
Lima	Mar5	1	1
	Jul27	1	
	Sep22	1	
	Oct24		1
	Dec17		1
Melbourne	Mar5	1	2
	Jul27	1	2
	Sep22	1	3
	Oct24	1	9
	Dec17	1	1
Shanghai	Dec17		1
Singapur	Jul27	1	
	Dec17		1

Tabelle 3.1: Anzahl der Toleranzüberschreitungen

3.2 Fehleranalyse

Die Ursachen für die Abweichungen sind bei IDAICE und TRNSYS unterschiedlich. Abbildung 3.1 zeigt, wie bei IDA ICE beim Überschreiten der Nordorientierung, also des 0° Winkels, einen dazwischenliegenden Winkel (offensichtlich durch Interpolation) ausgibt.

²nachfolgend mit * gekennzeichnet

³für TAS nur, wenn der Höhenwinkel mehr als 2 Grad beträgt

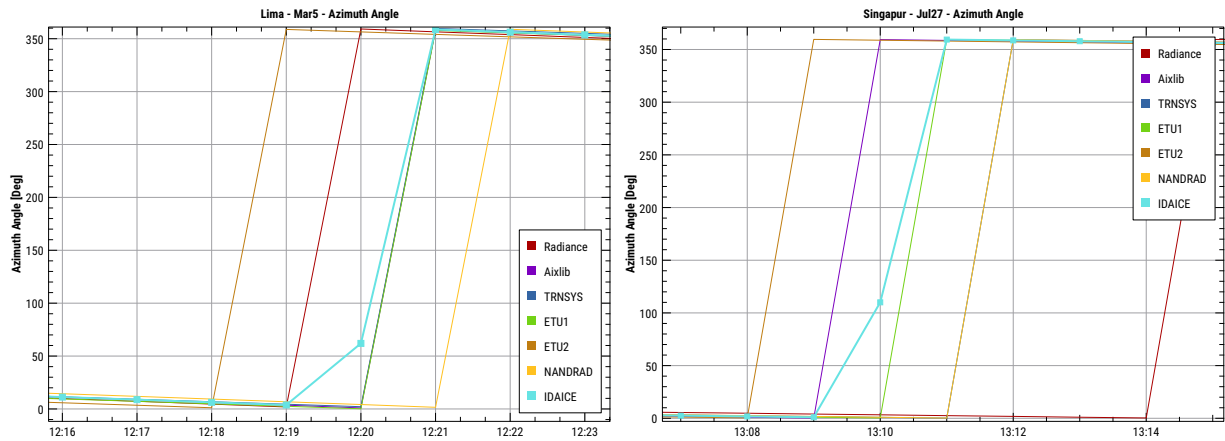


Abbildung 3.1: Beispiele für Ausgabefehler bei IDA ICE - Datenwerte (Azimutwinkel) sollten nicht interpoliert werden

Bei TRNSYS gibt es Fehler an einigen Tagen beim Sonnenauf- und untergang, wie in Abb. 3.2 zu sehen ist.

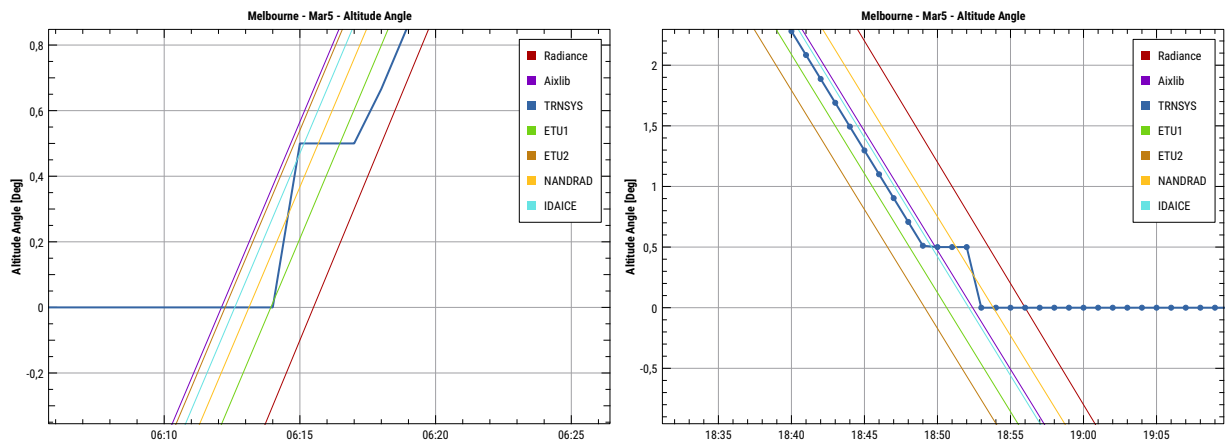


Abbildung 3.2: Berechnungs-/Ausgabefehler in TRNSYS bei manchen Tagen bei Sonnenauf- und untergang.

Beim Standort Barrow, bei dem der Sonnenhöhenwinkel stets $> 0^\circ$ ist, liefert TRNSYS für mehrere Minuten falsche Sonnenhöhen- und Azimutwinkel, siehe Abb. 3.3. An anderen Tagen und Standorten trat dieses Problem nicht auf.

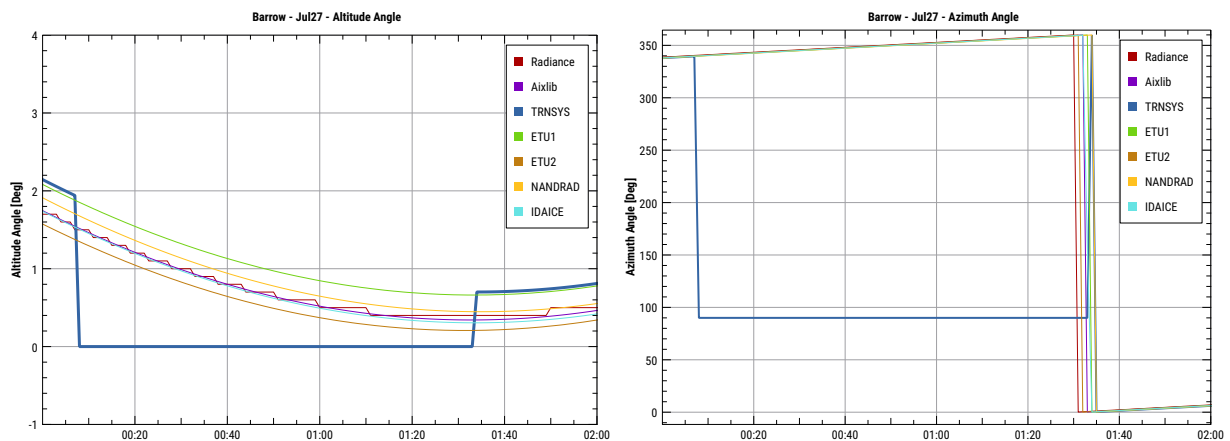


Abbildung 3.3: Berechnungsfehler beim Azimutwinkel in TRNSYS zu Beginn des 27. Juli.

3.3 Bewertung

Die Ausgabefehler bei IDA ICE sind als kosmetische Probleme einzustufen, da es sich offenbar nur um Ausgabefehler handelt (Nachfrage hierzu wurde an IDA ICE Entwickler gestellt). In der Simulation werden mit hoher Wahrscheinlichkeit die korrekten Azimutwinkel verwendet. Ansonsten wäre der Fehler insgesamt sehr klein, da nur eine Minute des Tages betroffen ist. Daher ist IDA ICE als korrekt rechnend anzusehen.

Bei TRNSYS ist tatsächlich ein Problem bei niedrigen Sonnenhöhenwinkeln und bestimmten Standorten festzustellen (In einer neuen Version wurde dieser Fehler durch das Entwicklungsteam von TRNSYS behoben; derzeit sind die Daten in SimQuality jedoch von Versionsnummer 18). Allerdings wirken sich die Fehler in der Gebäudesimulation nicht nennenswert aus, da die korrespondierenden Strahlungsintensitäten im Zeitintervall mit Berechnungsfehlern selbst sehr klein sind, und daher nur minimale Auswirkungen auf die Strahlungslasten auf Wand-, Dach- und Fensterflächen haben. Daher ist TRNSYS auch als ausreichend korrekt rechnend anzusehen.

3.4 Fazit

Alle getesteten Simulationsprogramme bestehen die Prüfung.