



# TANDEM-X

## MATERIAL

Papier und Stift für die Berechnungen, Internetzugang per Rechner/Smartphone/Tablet für die Recherche

## SEK. I + II

14 - 19 Jahre

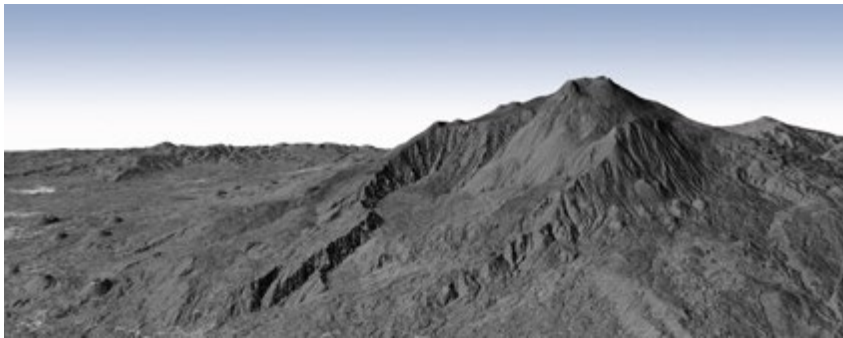
## FÄCHER

Physik

## INHALTE

Satelliten, Keplerbahnen, Newtonsches Gravitationsgesetz

## ZUSAMMENFASSUNG



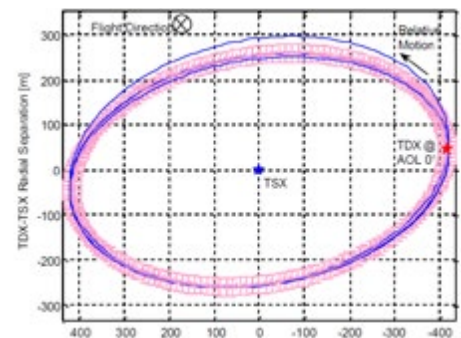
**ABB.1** Die Abbildung zeigt ein 3D-Modell des Vulkans Ätna

Mit seinen gut 3.300 Metern Höhe ist der Ätna auf Sizilien der höchste Vulkan Europas. Die Gegend um den Ätna ist, wie bei den meisten Vulkanen auf der Erde, dicht besiedelt, weshalb er unter ständiger Beobachtung steht. Neben Messeinrichtungen in der Umgebung wird der Berg auch aus dem Weltall überwacht. Kleinste Bewegungen der Erdkruste werden mithilfe modernster Satellitentechnologie erfasst. Das oben gezeigte 3D-Modell basiert auf Daten der Radar-Satelliten-Zwillinge TerraSAR-X und TanDEM-X. Die beiden Satelliten umrunden die Erde in einer Höhe von 514 Kilometern in einer ganz besonderen Formation. Um ein dreidimensionales Modell der Erdoberfläche, ein sogenanntes Digital Elevation Model (DEM) zu erstellen, werden von zwei verschiedenen nebeneinander liegenden Positionen aus Radarbilder erstellt und miteinander in Beziehung gesetzt. Diese Technik wird als SAR-Interferometrie bezeichnet und ähnelt dem Sehen mit zwei Augen. Im Detail ist das Verfahren jedoch hochkomplex und in der Lage, Höhenveränderungen im Millimeterbereich zu erkennen.

**ABB.3** Die Satelliten bewegen sich auf Keplerbahnen um die Erde

## KONZEPT

Die Aufnahme der beiden am Nachthimmel sichtbaren Satelliten (ABB.2) zeigt, wie nah sie nebeneinander sind. Bedenkt man, mit welcher hohen Geschwindigkeiten Satelliten durchs Weltall rasen, ist es kaum vorstellbar, dass die beiden sich auf ihren Orbits auf bis zu 120 Meter annähern. Dazu bewegt sich der etwas ältere TerraSAR-X auf einer Kreisbahn, während der jüngere TanDEM-X auf einer dazu leicht versetzten, schwach elliptischen Bahn unterwegs ist. Auf diese Weise befinden sich die Satelliten über dem Äquator nebeneinander und an den Polen übereinander. Von TerraSAR-X aus gesehen scheint es so, als würde sein Zwillingbruder ihn während eines Umlaufs um die Erde einmal komplett umkreisen.



Die Satelliten bewegen sich aufgrund der Erdanziehung auf Keplerbahnen (Ellipsen beziehungsweise Kreise) um die Erde. Da ihre Entfernung voneinander als Berechnungsgrundlage für die SAR-Interferometrie von größter Bedeutung ist, wird sie mit speziellen GPS-Empfängern und anderen Sensoren millimetergenau überwacht. Bei dieser Präzision spielen sogar kleinste Lageänderungen der Satelliten eine Rolle. Ein Beispiel: Der sogenannte Sonnenwind, also der von der Sonne ausgehende Teilchenstrom, beeinflusst die Lage der Satelliten und ihre Geschwindigkeit im Bereich von wenigen Zentimetern pro Sekunde. Dies muss für exakte Messungen berücksichtigt werden. Die beiden Satelliten sind im Wesentlichen baugleich. Sie sind etwa fünf Meter hoch und haben einen Durchmesser von 2,4 Metern. Mit einer Masse von etwa 1,3 Tonnen sind sie von der Größe her typische Fernerkundungssatelliten, allerdings mit einem weltweit einzigartigen Auftrag: ein digitales Höhenmodell der gesamten Erde in noch nie da gewesener Präzision zu erstellen.

**ABB.2** TanDEM-X und TerraSAR-X sind am Nachthimmel zu sehen



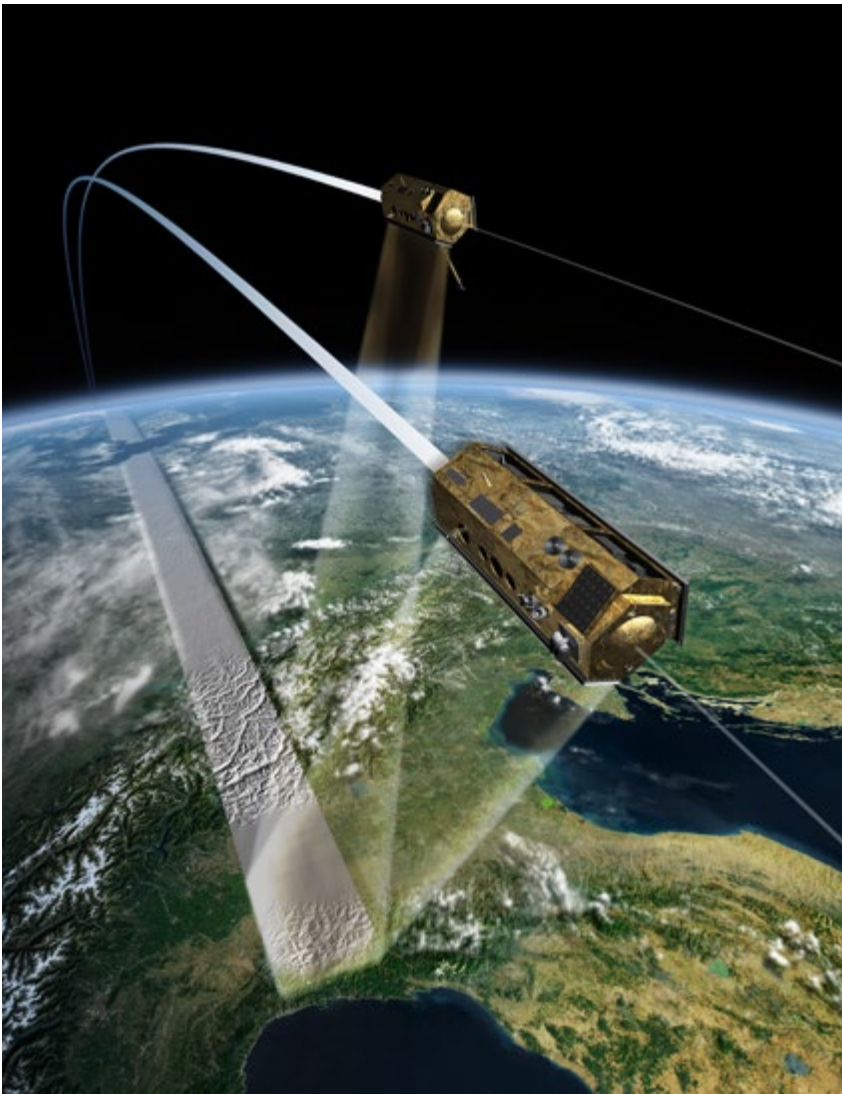


ABB. 3 TanDEM-X und TerraSAR-X im Formationsflug

Das vorliegende Unterrichtsmaterial ist in Zusammenarbeit mit dem DLR\_School\_Lab Oberpfaffenhofen entstanden.

Die Lösungen zu diesen Aufgaben finden Sie im think ING. Netzwerk unter: [s.think-ing.de/tandem-x-loesungen](https://s.think-ing.de/tandem-x-loesungen)

Sie können die Lösungen nur abrufen, wenn Sie sich unter [www.think-ing.de](https://www.think-ing.de) für das Netzwerk registriert haben.

#### ZUR KOOPERATION

Die Schülerlabore des DLR, die DLR\_School\_Labs, bieten Kindern und Jugendlichen die Gelegenheit, die faszinierende Welt der Forschung selbst zu entdecken. Rund 40.000 Schülerinnen und Schüler besuchen die Schülerlabore jedes Jahr und erleben die Faszination Forschung durch spannende Hands-on-Experimente. DLR\_School\_Labs gibt es aktuell an den folgenden Standorten: Berlin, Braunschweig, Bremen, Göttingen, Köln, Lampoldshausen/Stuttgart, Neustrelitz, Oberpfaffenhofen, RWTH Aachen, TU Darmstadt, TU Dortmund, TU Dresden, TU Hamburg. Weitere Infos dazu unter: [s.think-ing.de/dlr](https://s.think-ing.de/dlr)

#### IMPRESSUM

Herausgeber: Gesamtmetall, Gesamtverband der Arbeitgeberverbände der Metall- und Elektro-Industrie e.V. Voßstraße 16 - 10117 Berlin. Verantwortliche Leitung: Wolfgang Gollub  
Redaktion & Gestaltung: concedra GmbH, Bochum

## AUFGABE

- 1 Satelliten bewegen sich auf geschlossenen Ellipsen- oder Kreisbahnen um die Erde. Grund dafür ist das Newtonsche Gravitationsgesetz:

$$F_G = G \cdot \frac{m \cdot M_{\text{Erde}}}{r^2}$$

- a Zeigen Sie, dass aus einem geeigneten Kraftansatz folgt:

$$\frac{T^2}{r^3} = \frac{4\pi^2}{G \cdot M_{\text{Erde}}}$$

- b Berechnen Sie den Betrag der ersten kosmischen Geschwindigkeit. Das ist die Geschwindigkeit, die ein Satellit benötigt, um die Erde auf einer Kreisbahn kurz über dem Erdboden zu umrunden ( $r = R_{\text{E}}$ ).

- 2 Die Bahnhöhe von TerraSAR-X liegt bei  $h = 514 \text{ km}$ . Berechnen Sie die Umlaufdauer des Satelliten und seine Bahngeschwindigkeit.

- 3 Begründen Sie, dass die Satelliten TerraSAR-X und TanDEM-X nicht einfach nebeneinander her fliegen können.

- 4 Die beiden Satelliten befinden sich in einem sogenannten sonnensynchronen Orbit. Recherchieren Sie im Internet, was man darunter versteht und begründen Sie, warum ein solcher Orbit gewählt wurde.

- 5 Radarbilder entstehen durch Reflexion der Radarwellen an der Erdoberfläche. Schätzen Sie die Laufzeit der Radarsignale durch eine geeignete Rechnung ab.

- 6 Beschreiben Sie die Vor- und Nachteile der Fernerkundung mit Radarsystemen gegenüber der optischen Fernerkundung.

- 7 Die Radarsignale werden im X-Band mit einer Mittelfrequenz von  $f = 9,65 \text{ GHz}$  ausgesandt.

- a Bestimmen Sie die Wellenlänge der Radarstrahlung.
- b Aufgrund der Bewegung der Satelliten ist das Radarsignal durch den Dopplereffekt beeinflusst. Schätzen Sie ab, um welchen Anteil sich dadurch die Frequenz ändert?

#### WEITERE INFOS IM NETZWERK

Tauschen Sie sich über diese Aufgaben und mit anderen Pädagogen im think ING. Netzwerk aus: [www.think-ing.de](https://www.think-ing.de)

Dieses und weiteres Unterrichtsmaterial ist auch als Download verfügbar:

[s.think-ing.de/unterrichtsmaterial](https://s.think-ing.de/unterrichtsmaterial)

