

Avances en los Estudios Arqueológicos: Magnetometría Basada en Drones en la Fortaleza Romana de Theilenhofen

16 de diciembre de 2024



En 2023, investigadores de la Universidad Ludwig-Maximilians de Múnich llevaron a cabo un estudio arqueológico utilizando un magnetómetro montado en un dron para investigar la fortaleza romana de Theilenhofen, en Alemania. El estudio tenía como objetivo evaluar las capacidades de la magnetometría basada en drones para la prospección arqueológica, comparando su eficiencia y precisión con los métodos terrestres tradicionales.

Antecedentes

La **magnetometría** es una de las técnicas más fiables y ampliamente utilizadas en la prospección arqueológica, capaz de identificar características subterráneas basándose en variaciones del campo magnético terrestre. Históricamente, los estudios terrestres han proporcionado a los arqueólogos mapas muy detallados y precisos de estructuras enterradas.

Los recientes avances en la tecnología de drones han creado oportunidades para superar algunas de las limitaciones de los estudios magnéticos terrestres. En particular, **el sistema de SPH Engineering con el magnetómetro SENSYS MagDrone R4** ha demostrado ser muy prometedor en la prospección arqueológica basada en drones. Al combinar la **recopilación de datos magnéticos de alta resolución** con la **movilidad y flexibilidad de los drones**, el equipo de investigación decidió explorar a fondo la eficacia de este método en el yacimiento de Theilenhofen.

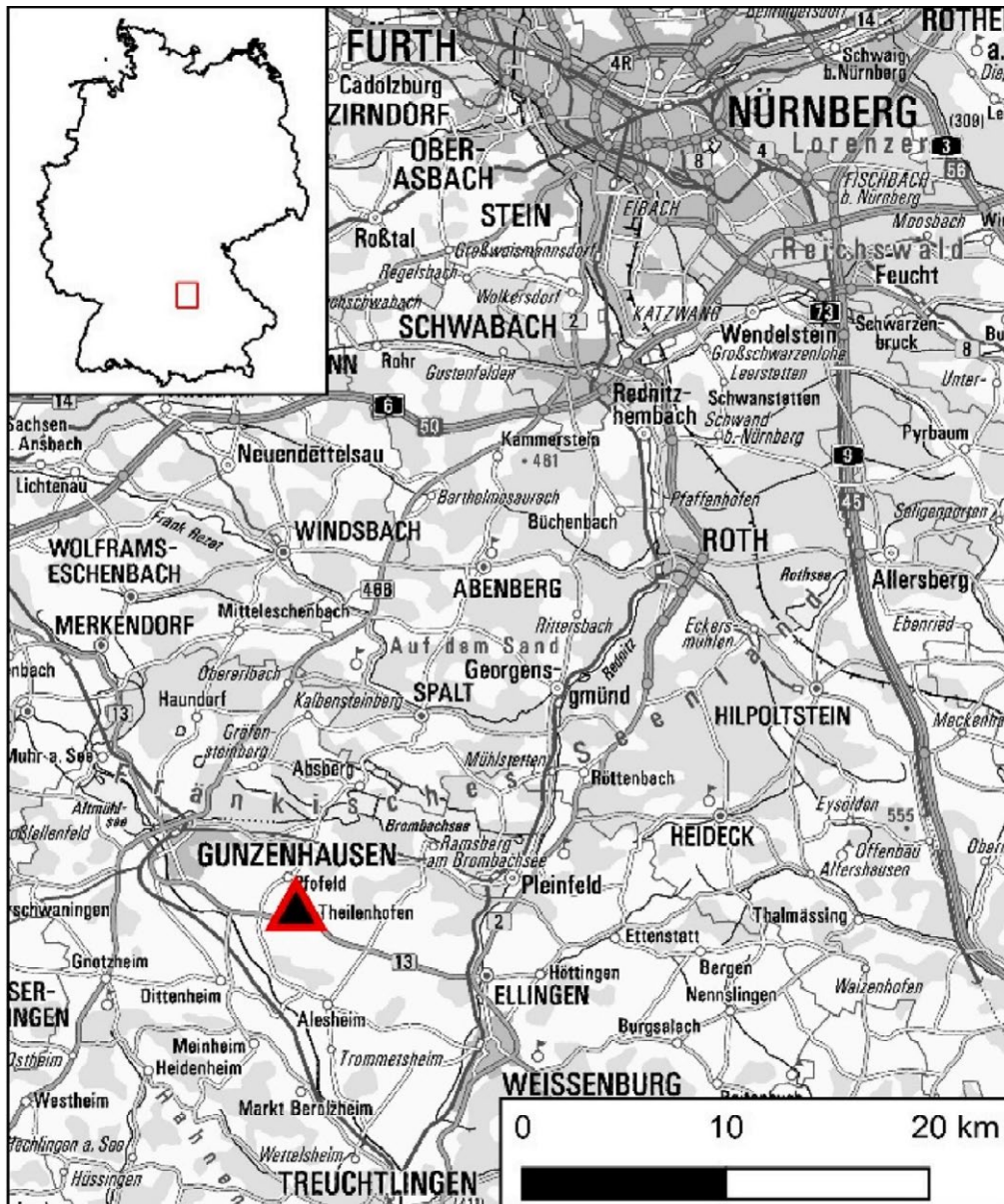


Ilustración: Mapa topográfico de Baviera que muestra la ubicación del sitio de prueba Theilenhofen (triángulo negro con borde rojo cerca de Gunzenhausen). El mapa de Alemania en la esquina superior izquierda muestra la posición del mapa topográfico ampliado como un rectángulo rojo.

El Reto

El equipo llevó a cabo este estudio con un enfoque basado en drones para determinar si estos podían ofrecer una alternativa más rápida y flexible a la magnetometría terrestre tradicional en la inspección de grandes yacimientos arqueológicos. Los métodos terrestres, aunque sumamente precisos, exigen una gran cantidad de tiempo y mano de obra, y a menudo se restringen a áreas de fácil acceso. Los drones, en cambio, pueden cubrir extensas áreas rápidamente y acceder a lugares desafiantes u obstruidos, lo que los hace ideales para estudios iniciales a gran escala.

A pesar del tremendo potencial de **la magnetometría basada en drones**, uno de los retos principales fue la interferencia causada por el propio dron. El ruido magnético y mecánico generado por los motores y la electrónica del VANT puede degradar la calidad de los datos magnéticos recogidos por los sensores. Minimizar estas perturbaciones mientras se vuela a altitudes ultrabajas, lo cual es estrictamente necesario para obtener lecturas magnetométricas detalladas y precisas, **plantea un obstáculo técnico considerable**.

Además, el dron opera con la tecnología **Seguimiento Real del Terreno (TTF, por sus siglas en inglés)**, que le permite volar extremadamente cerca del suelo —a partir de tan solo 40 cm— mientras se ajusta automáticamente

para evitar colisiones con la topografía. Esto garantiza que el dron mantenga una altitud ultrabaja constante en relación con el terreno irregular, algo esencial para realizar mediciones magnéticas exactas. Las condiciones de vuelo, como las fluctuaciones del viento y la temperatura, también juegan un papel crucial para mantener la estabilidad y la precisión necesarias en estos estudios.

Por último, existía el desafío del procesamiento de datos. El ruido introducido por el dron tuvo que ser eliminado mediante técnicas de filtrado, lo que implicó el uso de múltiples métodos, incluidos filtros de paso bajo, para aislar las señales arqueológicas del ruido de fondo.

La Solución

Inicialmente, se utilizó un enfoque terrestre para establecer un conjunto de datos de referencia de alta resolución utilizando un magnetómetro de cesio, conocido por su capacidad para detectar finos detalles arqueológicos. A continuación, el SENSYS MagDrone R4 se probó tanto en **modo terrestre como en modo dron**. En la configuración terrestre, el R4 se montó en un soporte a 0,3 m sobre el suelo, con posicionamiento preciso proporcionado por un RTK GNSS.

Para abordar el desafío de la interferencia del ruido, el equipo montó el sistema **del magnetómetro SENSYS MagDrone R4** en un dron DJI M300 RTK, que también incluía posicionamiento basado en RTK GNSS para una navegación milimétrica. La matriz del magnetómetro se fijó directamente al tren de aterrizaje del dron y se operó a baja altitud, con la elevación del dron monitoreada constantemente mediante un altímetro de radar. Esta configuración permitió al equipo mantener la altitud de vuelo necesaria de **45 a 75 cm** sobre el suelo, un factor crítico para recopilar datos magnéticos de alta calidad.

Para mitigar la interferencia magnética generada por el dron, los investigadores aplicaron técnicas avanzadas de filtrado de datos durante el posprocesamiento. Se utilizó el software SENSYS MagDrone DataTool para eliminar las señales de ruido, empleando filtros diseñados para apuntar a bandas de frecuencia específicas causadas por los motores y los sistemas eléctricos del dron.



Ilustración: A) Magnetómetro Smartmag SM4G en modo de cuadrícula terrestre. B) Sensys R4 en modo GNSS terrestre. C) Sensys R4 en modo GNSS en dron.

El equipo llevó a cabo vuelos sobre un área de 3,8 hectáreas del yacimiento de Theilenhofen, operando el dron a diferentes velocidades y altitudes para identificar las condiciones óptimas en la detección de características arqueológicas. Posteriormente, los datos del estudio con el dron se compararon directamente con los datos existentes del magnetómetro terrestre de alta resolución, lo que permitió al equipo evaluar la eficacia real del enfoque basado en drones.

Más información sobre la tecnología de magnetómetros montados en VANT

El Resultado

El estudio de magnetometría basado en drones proporcionó resultados muy alentadores. Los datos recopilados por el magnetómetro lograron detectar características arqueológicas significativas, que incluían **fosos, pozos, fogones y restos de cimientos de piedra**. Estos son precisamente los tipos de características que resultan críticas en la prospección arqueológica romana, ya que revelan conocimientos valiosos sobre la disposición y función de las estructuras antiguas.

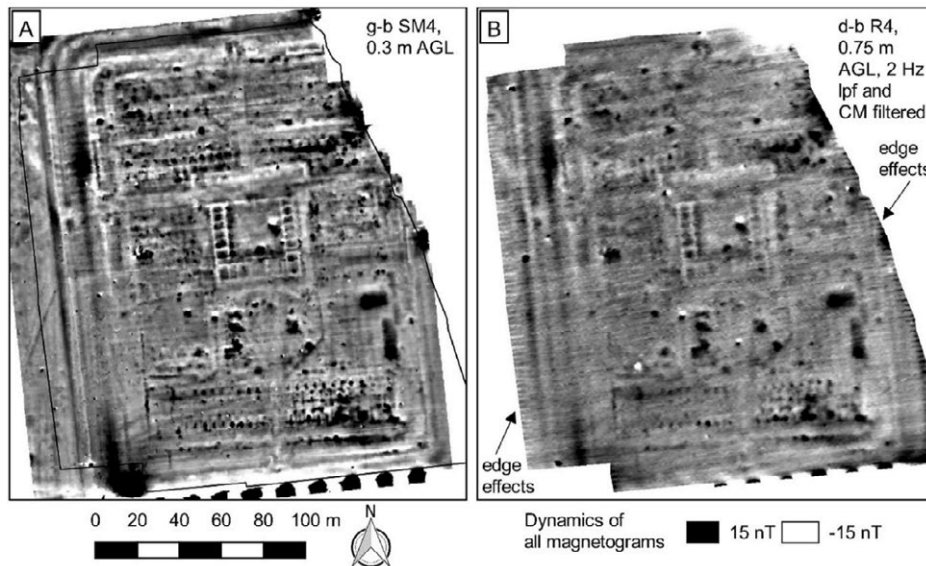


Ilustración: Comparación de magnetogramas del SM4 terrestre (A) y del MagDrone R4 en dron (B)

Si bien la resolución de los datos del dron no alcanzó la altísima precisión del magnetómetro terrestre, **fue más que suficiente para identificar las principales características arqueológicas**. El estudio demostró que las inspecciones con drones pueden cubrir rápidamente áreas grandes y de difícil acceso, proporcionando una evaluación de primera pasada que puede guiar investigaciones terrestres más detalladas.

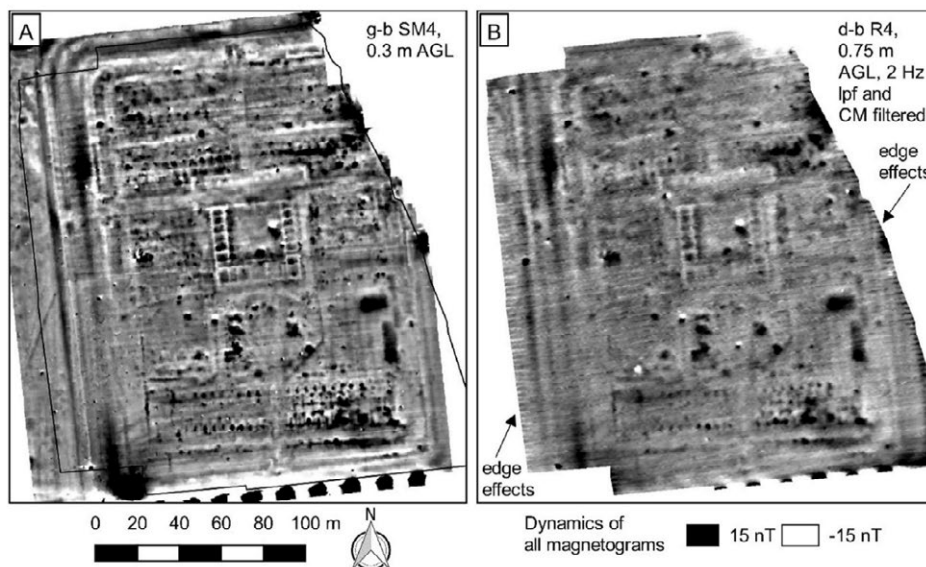


Ilustración: Comparación de magnetogramas elaborados a partir de datos obtenidos a diferentes alturas y velocidades

Volar a altitudes ultrabajas, combinado con un posicionamiento GNSS preciso y un filtrado de ruido efectivo, mejoró enormemente la calidad de los datos magnéticos. Esto permitió al equipo establecer las mejores prácticas para futuros estudios arqueológicos basados en drones.

Conclusión

El estudio realizado por la Universidad Ludwig-Maximilians destaca el creciente potencial de la magnetometría basada en drones en la investigación arqueológica. Aunque los métodos terrestres siguen siendo el estándar de oro para la obtención de datos de alta resolución, los drones ofrecen un enfoque complementario invaluable que puede inspeccionar rápidamente grandes áreas e identificar características arqueológicas clave. La capacidad de cubrir yacimientos inaccesibles o de difícil acceso supone una ventaja significativa y, con nuevas mejoras tecnológicas, como una reducción de ruido optimizada y controles de vuelo perfeccionados, la magnetometría con drones podría convertirse en una herramienta esencial para los arqueólogos.

En el futuro, la integración de métodos terrestres y basados en drones podría considerarse el enfoque estándar en la prospección arqueológica. Los estudios iniciales con drones pueden identificar rápidamente áreas de interés, a las que luego se les puede dar seguimiento mediante investigaciones terrestres minuciosas.

[Leer el artículo completo](#)