



# GEO EXKURSION KLEINTOBEL AUF DEN SPUREN VON DR. VOLKER SACH

EXKURSION ZUR HYPOTHESE KEIN DOPPELEINSCHLAG RIES UND  
STEINHEIM, WIR BESUCHEN DEN AUFSCHLUSS IN KLEINTOBEL

22.03.2025

Thomas Kühfuß  
Fliederweg 3  
88281 Schlier

thomas.kuehefuss@web.de  
+49 151 1250 7144



## Hinweise

Abbildungen und Fotos, sofern nicht vom Organisator der Exkursion selbst angefertigt, mit freundlicher Genehmigung unseres Mitglieds



### Volker J. Sach

Fokus Natur - Dr. Volker Sach

Dr. rer. nat.

*Fossils & earthquake/impact-induced seismite horizons in Miocene sediments of the North Alpine Foreland Basin (Germany)*

# Nördlinger Ries: Doch kein Doppel-Einschlag?

Erdbebenspurten sprechen für eine spätere Entstehung des Steinheimer Beckens



Bild-1

# Nördlinger Ries: Doch kein Doppel-Einschlag?

Erdbebenspurten sprechen für eine spätere Entstehung des Steinheimer Beckens



*Aufnahme Thomas Kühfuß, Bild Meteoriten selbst mit KI generiert*

Bild-2

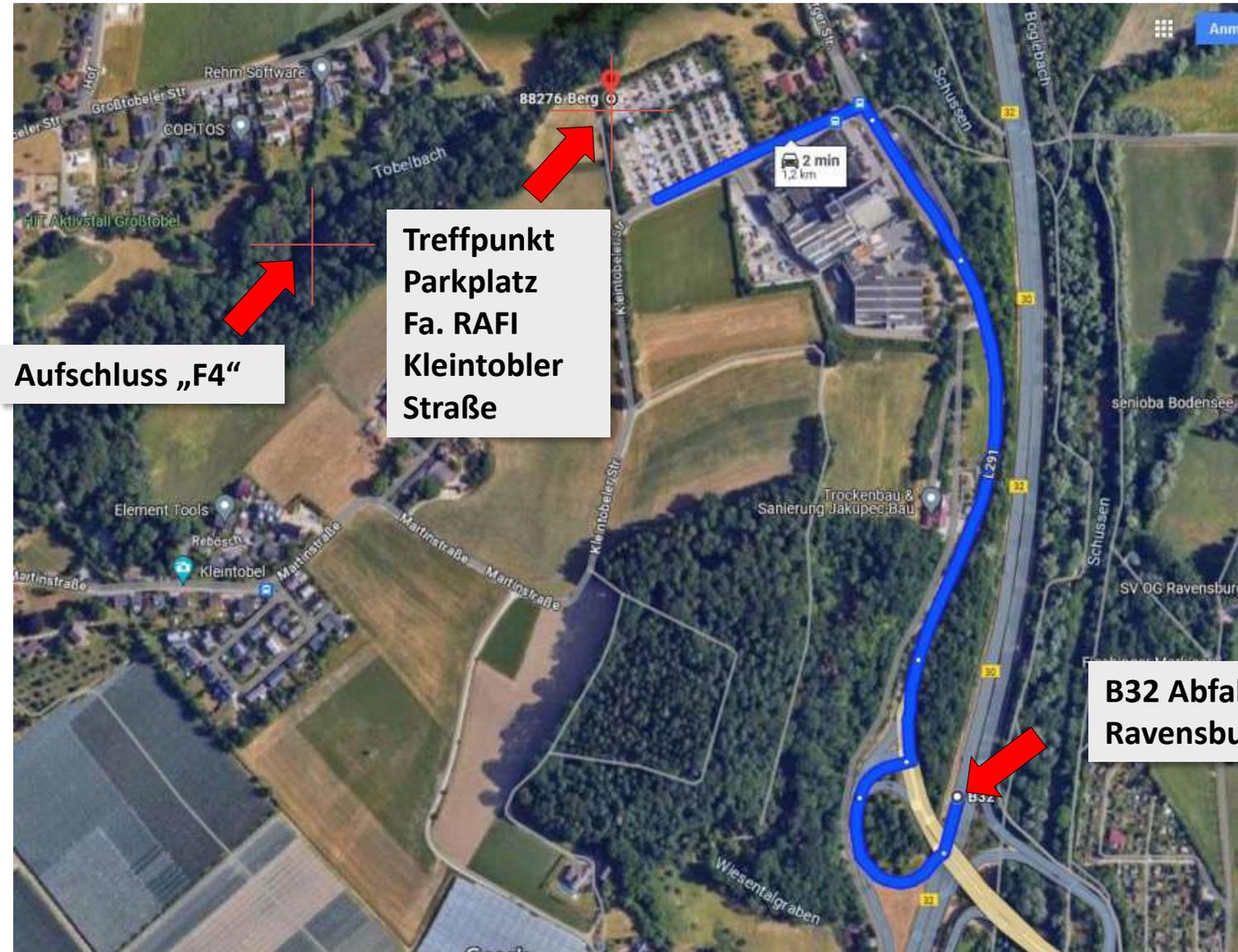
# TREFFPUNKT

EXKURSION ZUR HYPOTHESE KEIN DOPPELEINSCHLAG  
RIES UND STEINHEIM

22.03.2025

Thomas Kühfuß  
Fliederweg 3  
88281 Schlier  
thomas.kuehefuss@web.de  
+49 151 1250 7144

Treffpunkt, 22.03.2025, um 13:00 Uhr



Wir treffen uns um 13:00 Uhr  
An der Ecke des  
Mitarbeiterparkplatzes der  
Firma RAFI



Aktuelle Aufnahme vom 04. April 2024

Alle Bilder  
Thomas Kühefuß

# AUSRÜSTUNG

EXKURSION ZUR HYPOTHESE KEIN DOPPELEINSCHLAG  
RIES UND STEINHEIM

22.03.2025

Thomas Kühfuß  
Fliederweg 3  
88281 Schlier  
thomas.kuehefuss@web.de  
+49 151 1250 7144

# Ausrüstungstipps



Robuste Hosen und Gummistiefel mit griffigem Profil. Wechselkleidung und im Auto ein paar größere Mülltüten sorgen nach der Exkursion für Ordnung. Geländearbeit ist nicht Sightseeing.



Die anstehende Sedimentschicht ist recht weich. Spachtelkelle fürs Feine, Klappspaten fürs Grobe. Sieb zum sortieren

# MOTIVATION

EXKURSION ZUR HYPOTHESE KEIN DOPPELEINSCHLAG  
RIES UND STEINHEIM

22.03.2025

Thomas Kühfuß  
Fliederweg 3  
88281 Schlier  
thomas.kuehefuss@web.de  
+49 151 1250 7144

Hintergrund: In der lokalen Presse im Kreis Ravensburg erschien am 31.01.2021 ein Artikel in der schwäbischen Zeitung mit folgendem Titel



Schwäbische.de AM 2021-01-31 19:00

### Fundstellen in Kleintobel liefern neue geologische Erkenntnisse über Meteoriten-Krater



An einem Aufschluss bei Ravensburg-Kleintobel sind deutlich die wellenartig verformten Strukturen zu erkennen, die das extrem starke Erdbeben nach dem Ries-Einschlag hinterlassen hat. (Foto: Volker Sach)

Unter anderem an diesem äußerst interessanten Aufschluss fand Dr. Sach die Auswurf-Schichtung, den sogenannten Brockhorizont, oberhalb eines deutlich erkennbaren Seismit.

Seismite zeichnen sich durch eine in situ stattfindende Schock-Deformation aus. Weitgehend unverfestigte, noch wassergesättigte Tone und Sande wurden durch die Schockwelle des Einschlags quasi verflüssigt und verlieren damit ihre ursprünglichen sedimentären Texturen

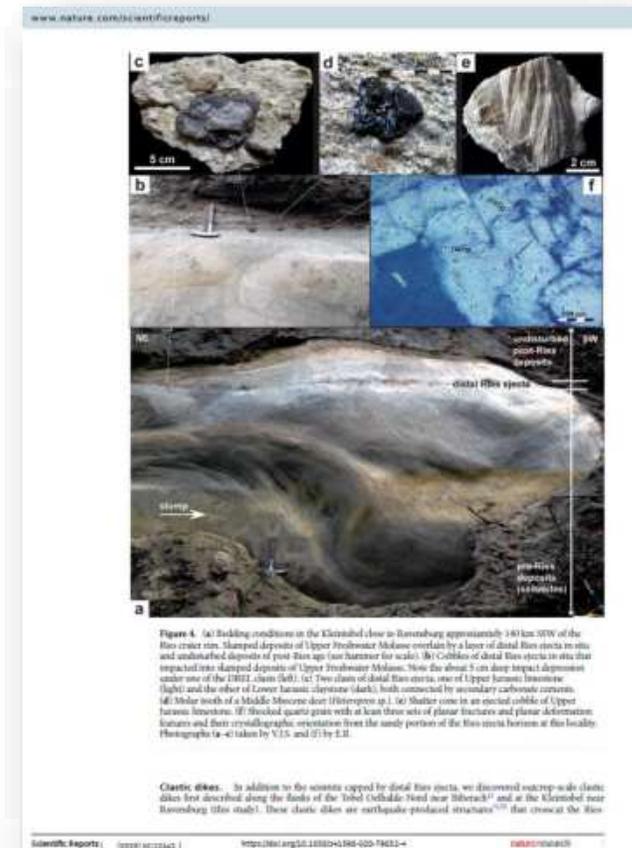
Diese Struktur im Gelände möchten wir gemeinsam aufsuchen.

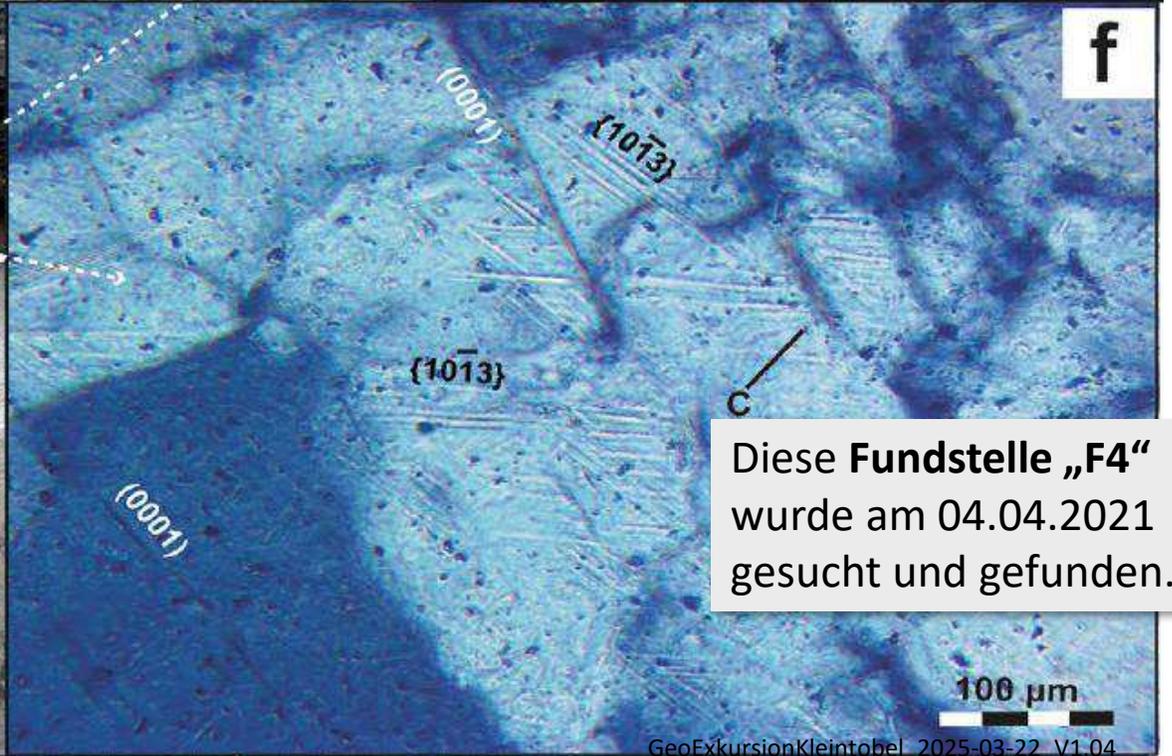
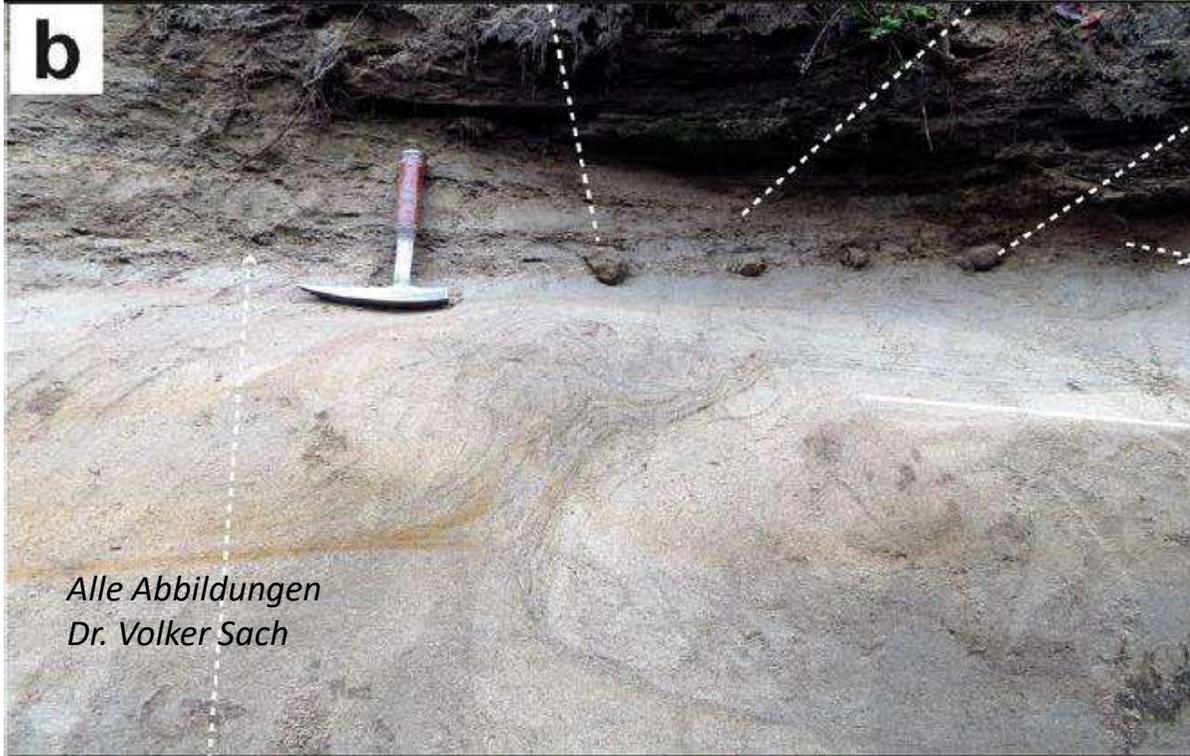
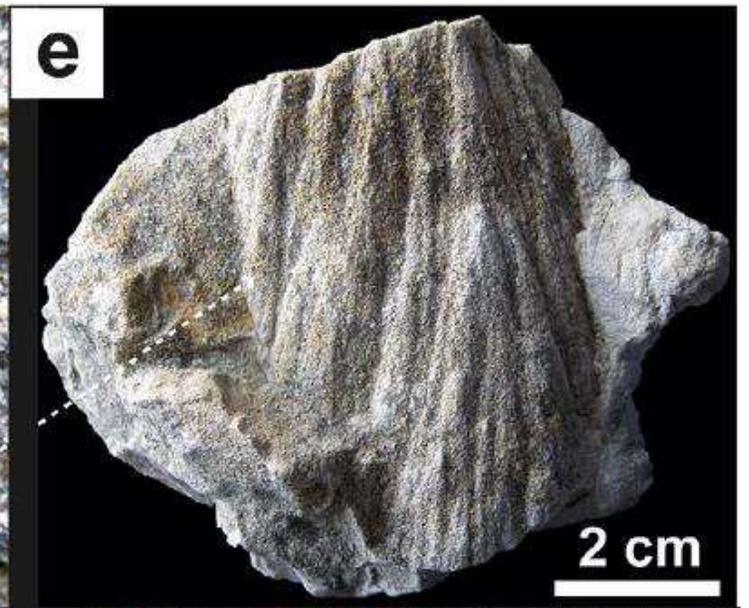
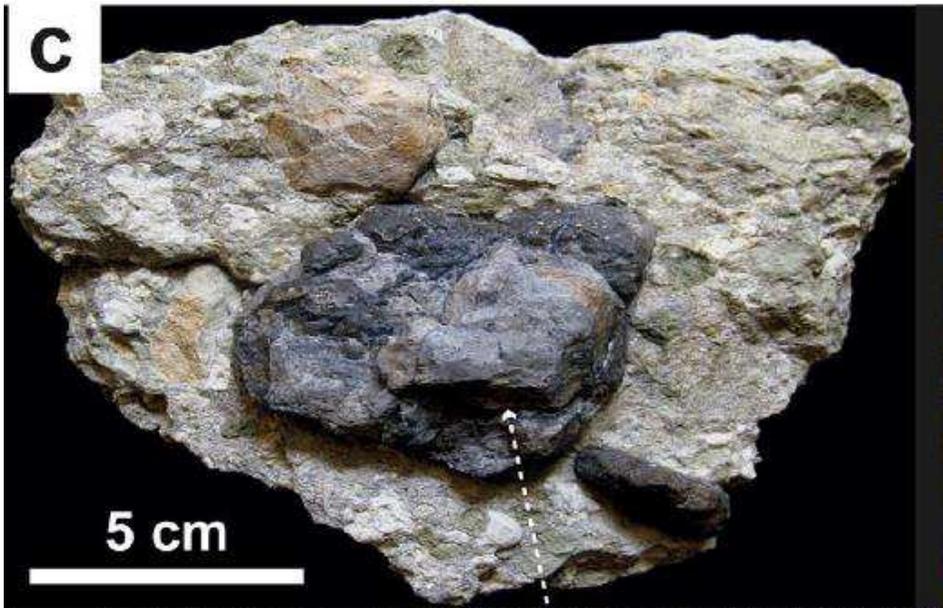


Diese Fundstelle „F4“ wurde am 04.04.2021 gesucht und gefunden.

Figure 4. (a) Bedding conditions in the Kleintobel close to Ravensburg approximately 140 km SSW of the Ries crater rim. Slumped deposits of Upper Freshwater Molasse overlain by a layer of distal Ries ejecta in situ and undisturbed deposits of post-Ries age (see hammer for scale). (b) Cobbles of distal Ries ejecta in situ that impacted into slumped deposits of Upper Freshwater Molasse. Note the about 5 cm deep impact depression under one of the DREL clasts (left). (c) Two clasts of distal Ries ejecta, one of Upper Jurassic limestone (light) and the other of Lower Jurassic claystone (dark), both connected by secondary carbonate cements. (d) Molar tooth of a Middle Miocene deer (*Heteroprox* sp.). (e) Shatter cone in an ejected cobble of Upper Jurassic limestone. (f) Shocked quartz grain with at least three sets of planar fractures and planar deformation features and their crystallographic orientation from the sandy portion of the Ries ejecta horizon at this locality. Photographs (a–e) taken by V.J.S. and (f) by E.B.

Alle Abbildungen  
Dr. Volker Sach





Diese Fundstelle „F4“  
wurde am 04.04.2021  
gesucht und gefunden.



Diese **Fundstelle „F4“**  
wurde am 04.04.2021  
gesucht und gefunden.

*Alle Abbildungen  
Dr. Volker Sach*

# AUFSCHLUSS FOTOS / KOORDINATEN

EXKURSION ZUR HYPOTHESE KEIN DOPPELEINSCHLAG  
RIES UND STEINHEIM

22.03.2025

Thomas Kühfuß  
Fliederweg 3  
88281 Schlier  
thomas.kuehefuss@web.de  
+49 151 1250 7144



**Foto, Fundstellensituation  
am 04.04.2021**

**Das Gelände ist nicht leicht  
zugänglich**



*Abbildungen  
Thomas Kühfuß*



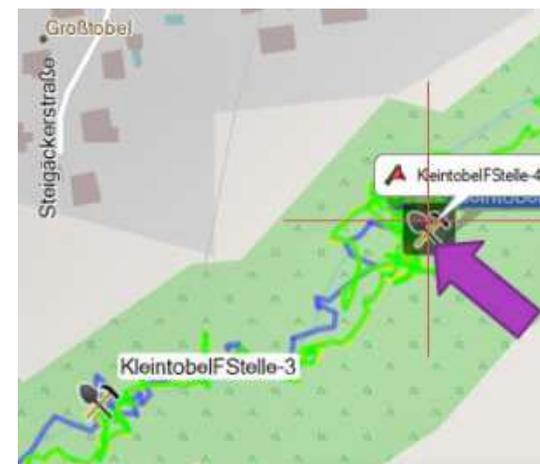
## Fundstelle „F4“

04.04.2021

Gefunden

N47.80360°

E9.59894°



Abbildungen  
Thomas Kühfuß



### Fundstelle „F4“

04.04.2024  
Auf den Tag 3  
Jahre später

N47.80360°  
E9.59894°



Abbildungen  
Thomas Kühefuß



## Fundstelle „F4“

04.04.2024

Auf den Tag 3

Jahre später

N47.80360°

E9.59894°



Abbildungen  
Thomas Kühfuß



**Fundstelle „F4“**  
04.04.2021

N47.80360°  
E9.59894°



NE



SW



**Fundstelle „F4“**  
04.04.2021

N47.80360°  
E9.59894°



*Abbildungen  
Thomas Kühefuß*



**Fundstelle „F4“**  
 04.04.2021

N47.80360°  
 E9.59894°



**a**

Abbildung  
 Dr. Volker Sach



**Fundstelle „F4“**

04.04.2024

3 Jahre später

N47.80360°

E9.59894°



*Abbildungen  
Thomas Kühefuß*

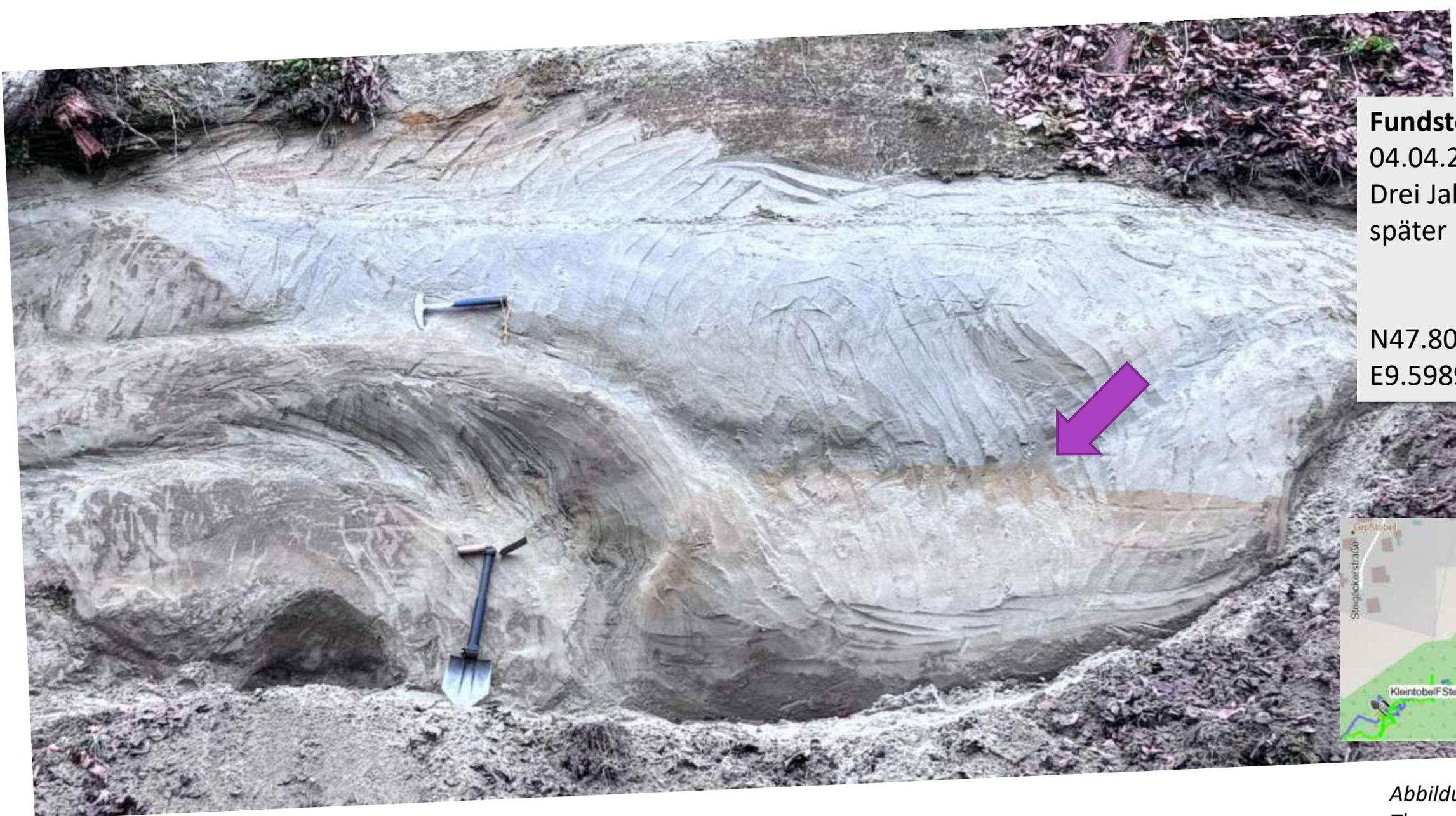


**Fundstelle „F4“**  
04.04.2021

N47.80360°  
E9.59894°



*Abbildungen  
Thomas Kühefuß*



**Fundstelle „F4“**  
04.04.2024  
Drei Jahre  
später

N47.80360°  
E9.59894°



Abbildungen  
Thomas Kühefuß



**Fundstelle „F4“**  
 04.04.2021

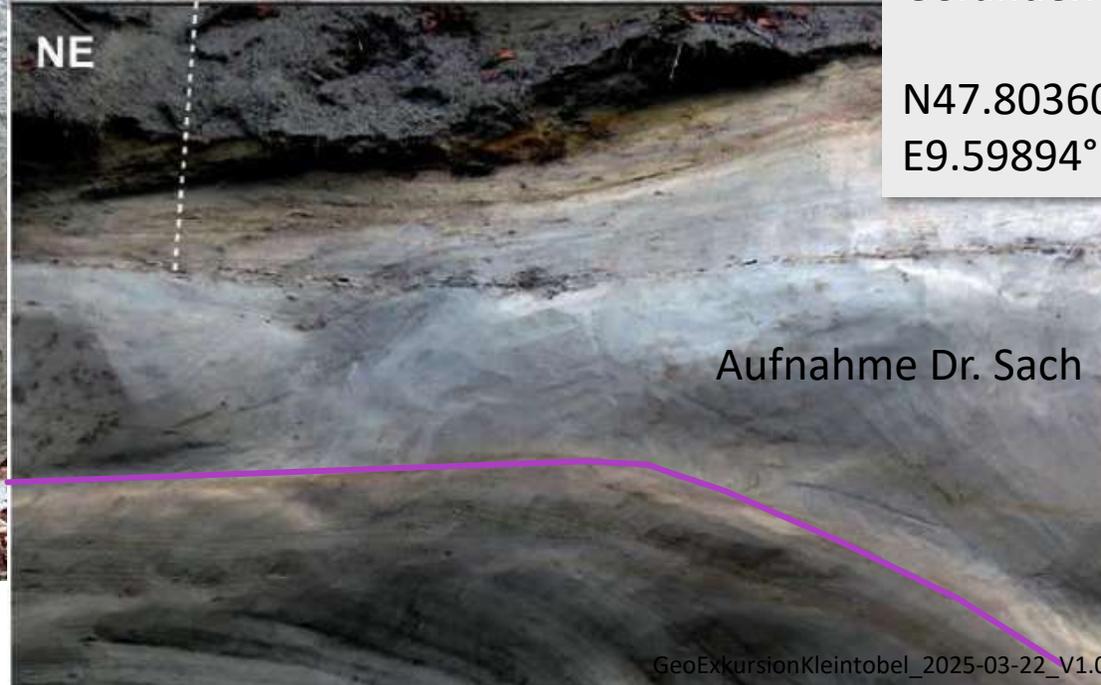
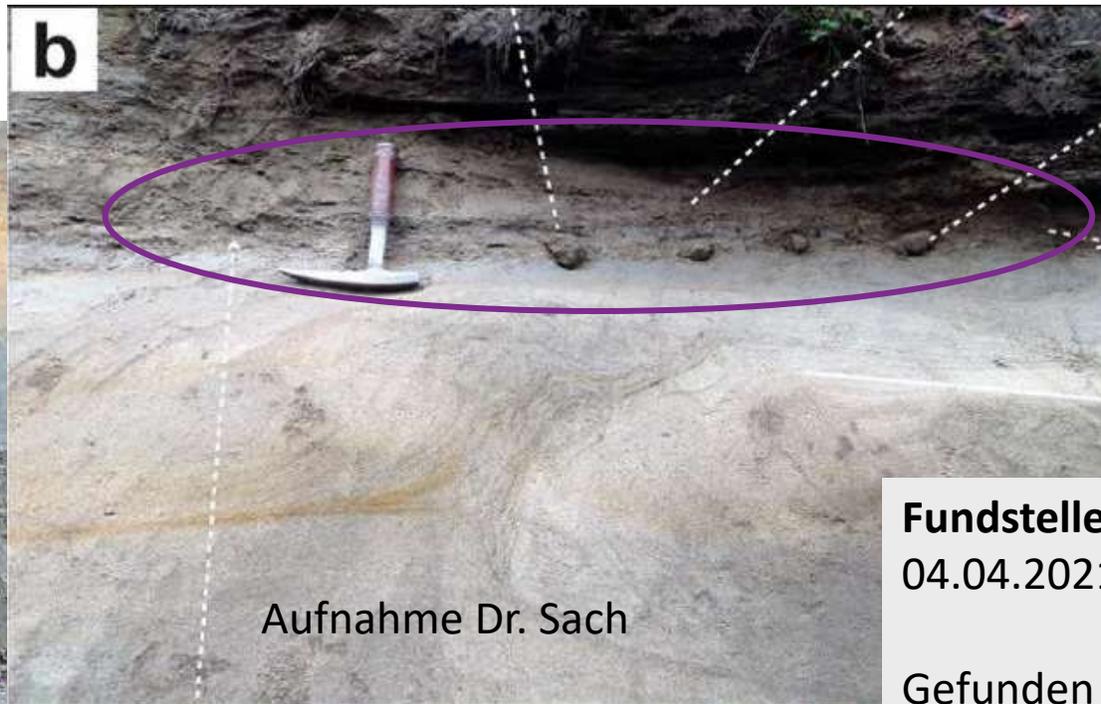
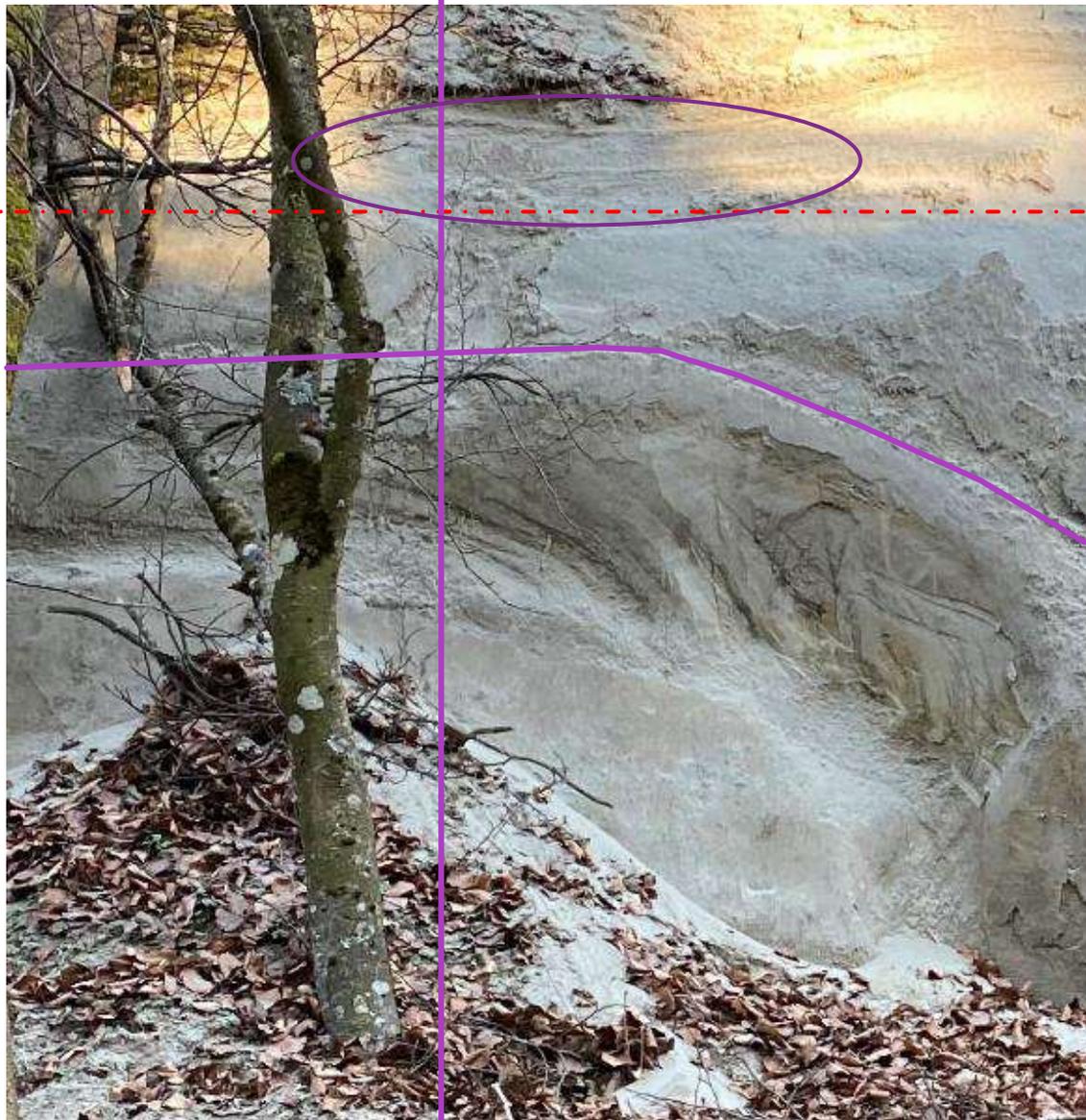
N47.80360°  
 E9.59894°



**a**

Abbildung  
 Dr. Volker Sach

Struktur gefunden, 04.04.2021

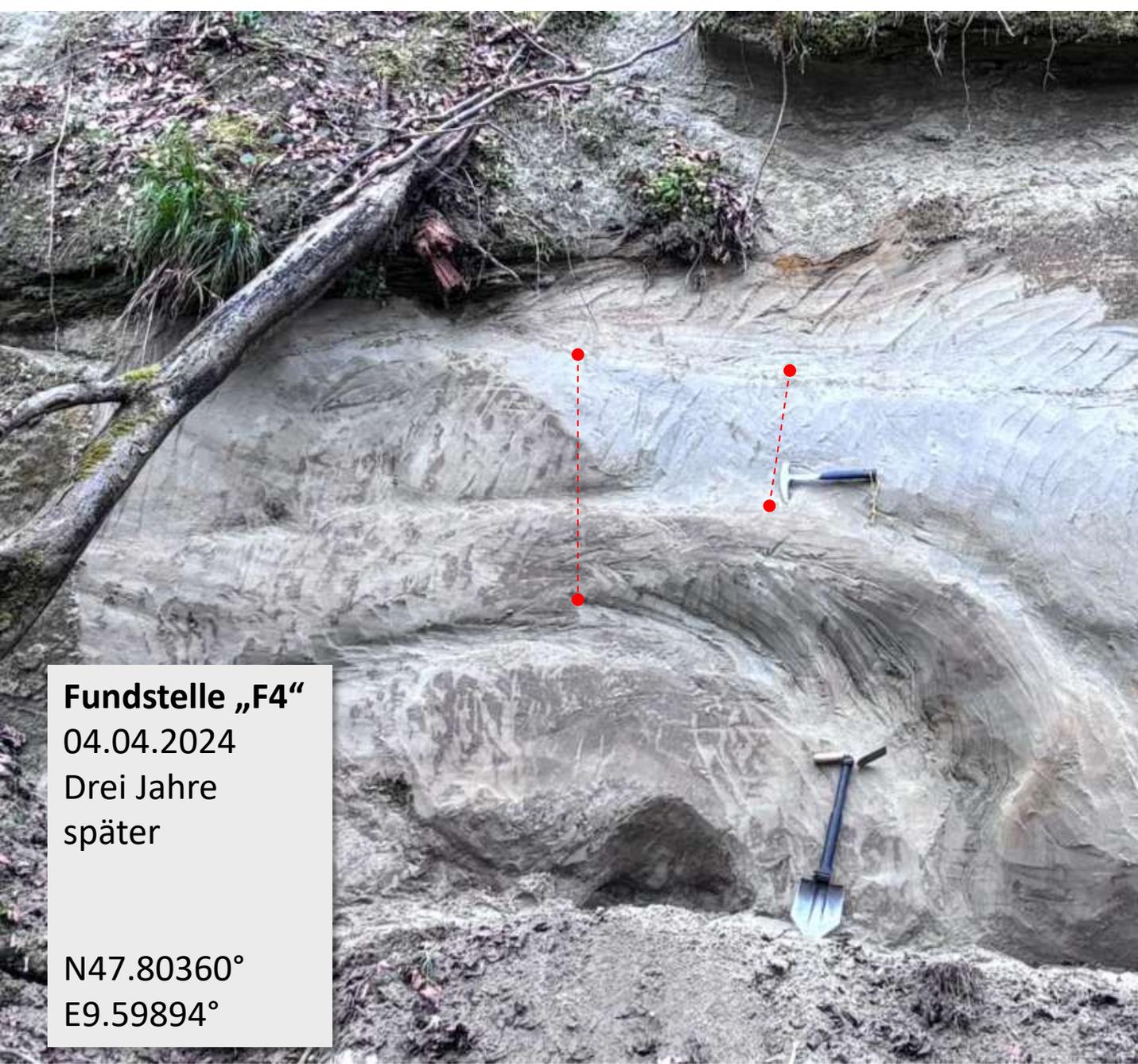


**Fundstelle „F4“**  
04.04.2021  
Gefunden  
N47.80360°  
E9.59894°

Aufnahme Dr. Sach

Aufnahme Dr. Sach

Abbildung Thomas Kühefuß



**Fundstelle „F4“**

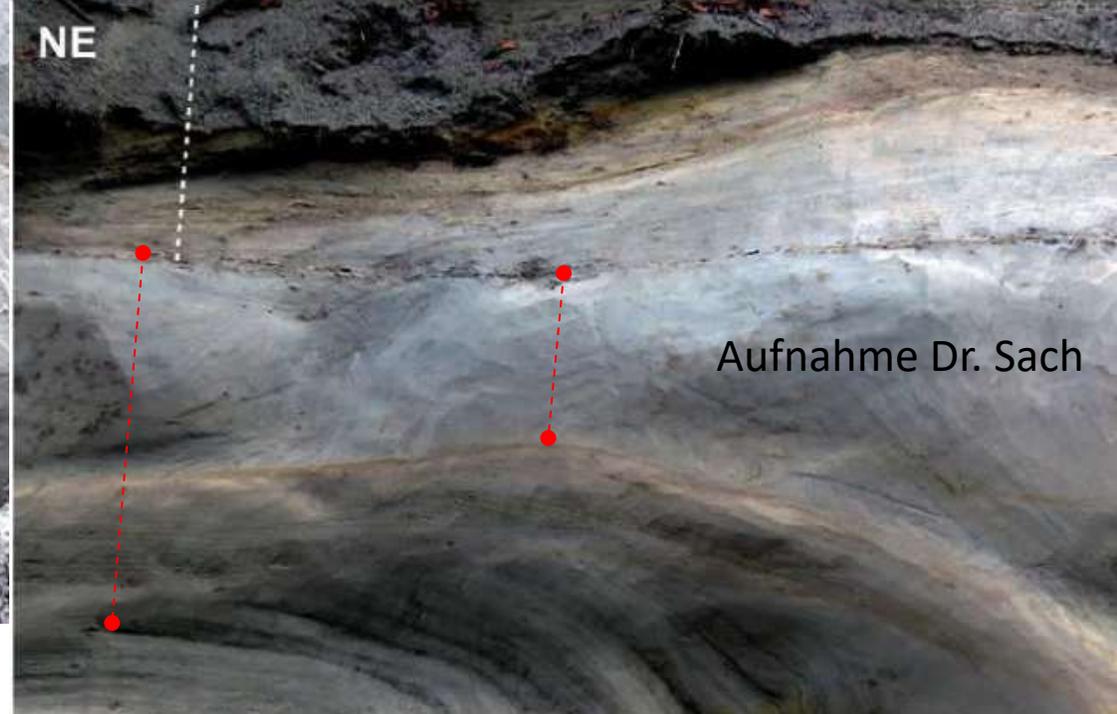
04.04.2024

Drei Jahre  
später

N47.80360°

E9.59894°

*Aufnahme Thomas Kühefuß, 04.04.2024*



# UMGEBUNG

# FOTOS / KOORDINATEN / KARTEN

EXKURSION ZUR HYPOTHESE KEIN DOPPELEINSCHLAG  
RIES UND STEINHEIM

22.03.2025

Thomas Kühfuß  
Fliederweg 3  
88281 Schlier  
thomas.kuehefuss@web.de  
+49 151 1250 7144



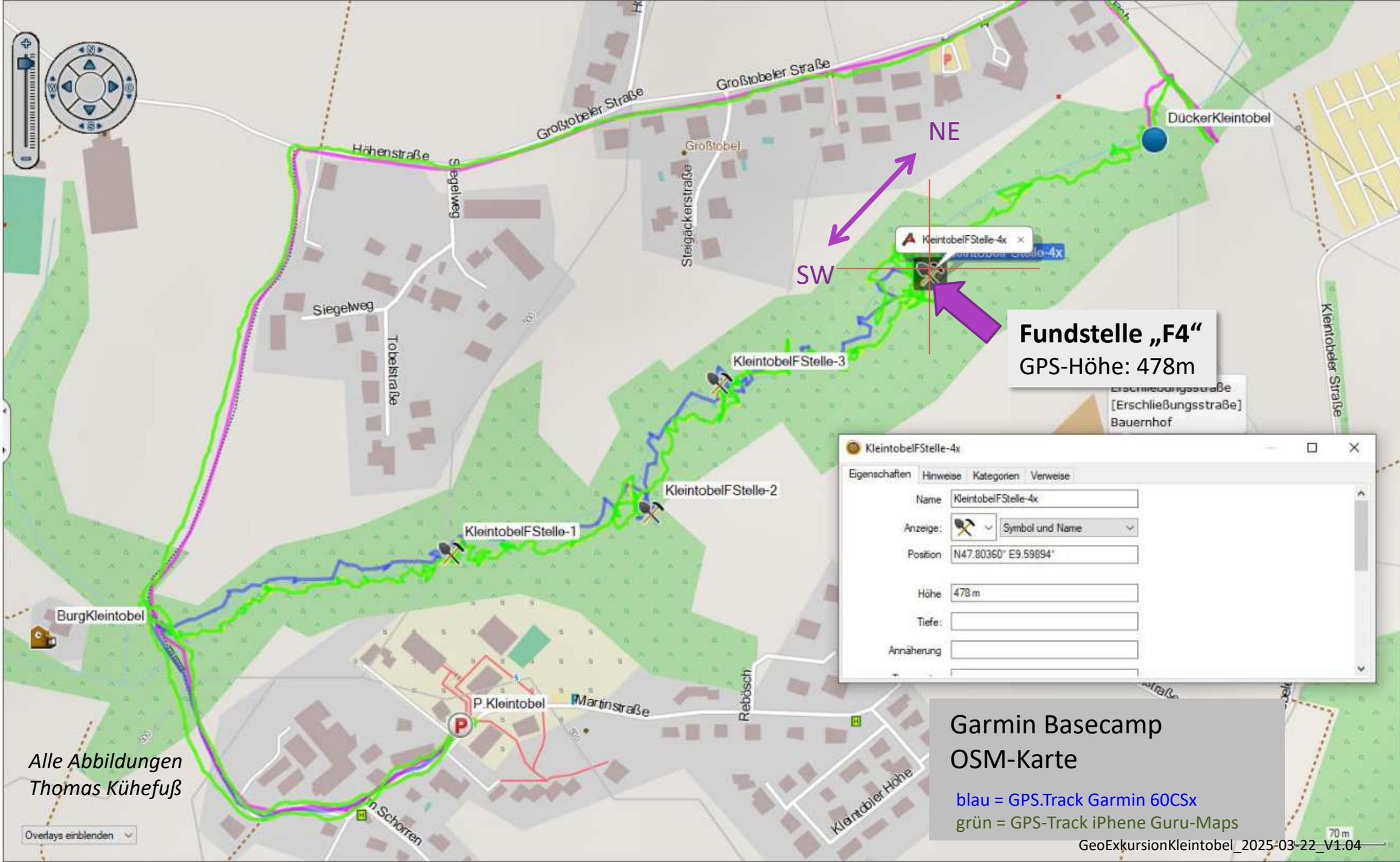
*Alle Bilder  
Thomas Kühefuß*



**Fundstelle „F2“**  
04.04.2021



*Alle Bilder  
Thomas Kühefuß*



Alle Abbildungen  
Thomas Kühfuß

Garmin Basecamp  
OSM-Karte

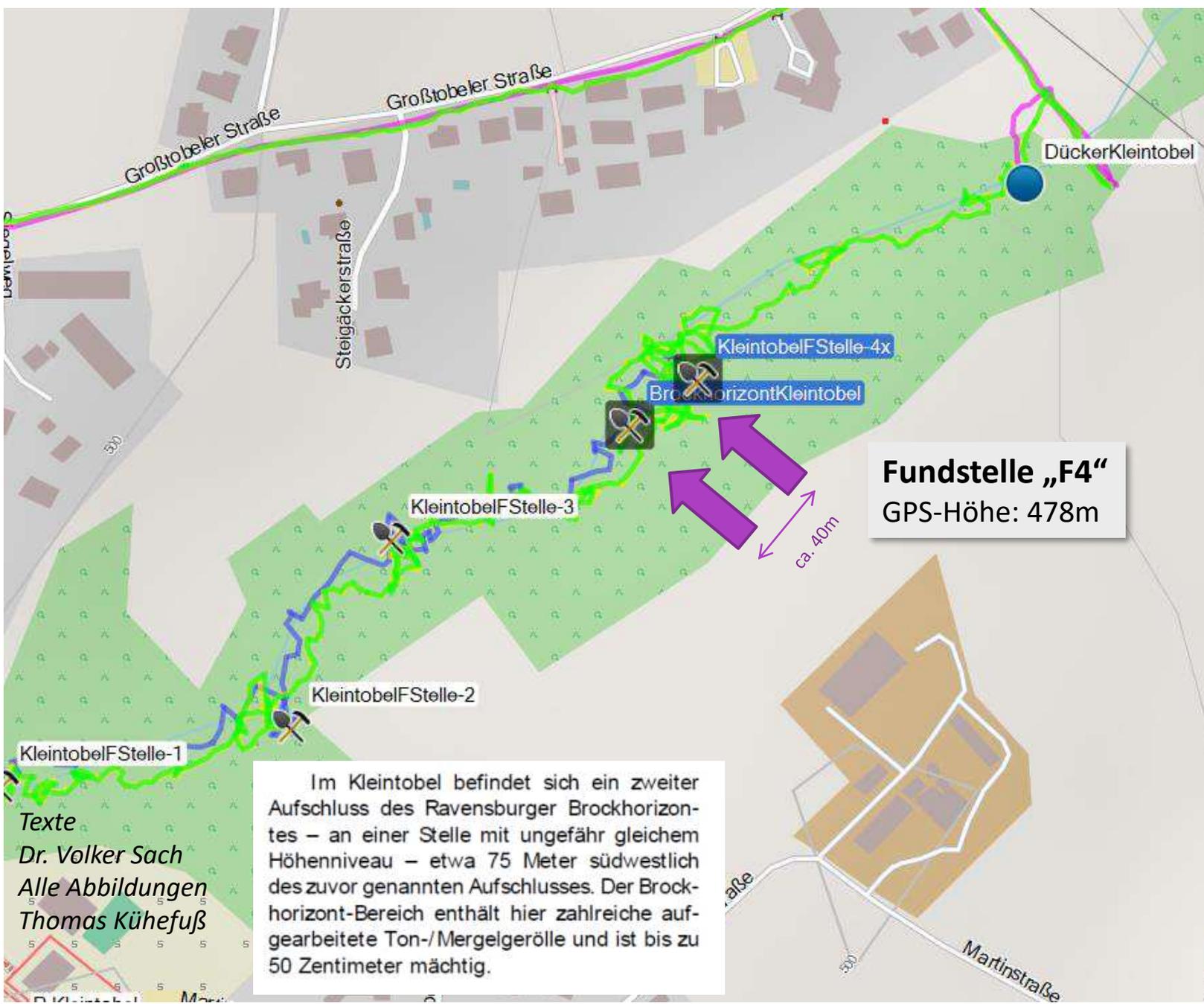
blau = GPS-Track Garmin 60CSx  
grün = GPS-Track iPhone Guru-Maps



Alle Abbildungen  
Thomas Kühefuß

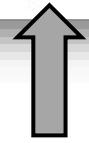






**Fundstelle im Kleintobel bei Ravensburg/Weingarten**

Aufschluss des „Ravensburger Brockhorizontes“ im Bachtobel (nordwestliche Tobelwand) etwa 500 Meter nordöstlich der Ortschaft Kleintobel/Berg westlich von Weingarten, etwa 220 Meter nordöstlich der Einmündung des südöstlichen Seitentobels bei Kleintobel. TK 25 Blatt 8123 Weingarten. – GAUSS-KRÜGER-Koordinaten: R<sup>35</sup>44907, H<sup>52</sup>96301. Topographische Höhe: etwa 449,3 Meter ü. NN. Literatur: SACH (2011).



? Höhe  
445m ist die Höhe der Schussenmündung des Tobelbaches...

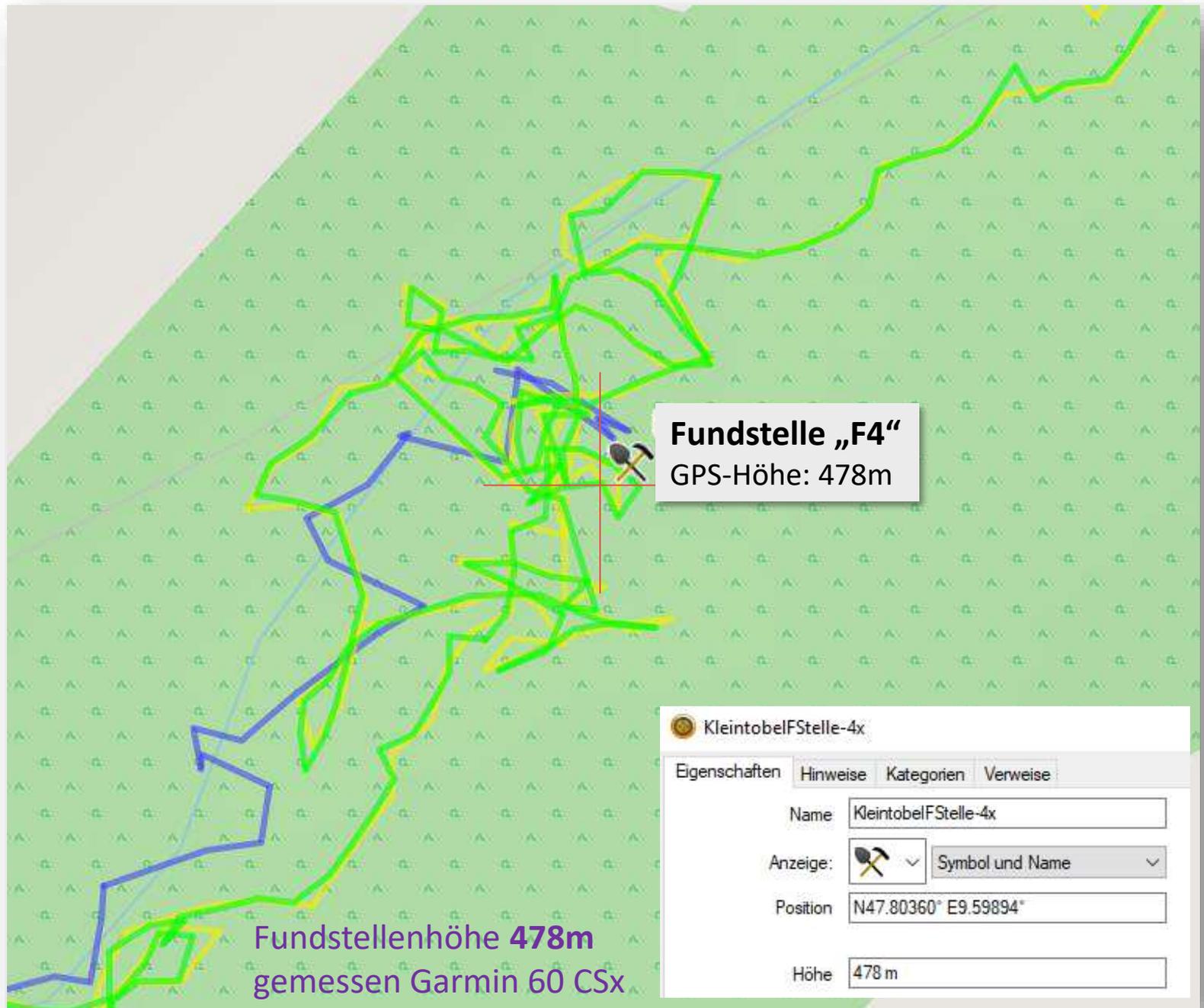
**Fundstelle „F4“**  
GPS-Höhe: 478m

**Shatter-ConesOberschwaben\_VJ-Sach-2012-06.pdf**

Im Kleintobel bei Ravensburg/Weingarten konnte der Verfasser 2011 in Oberschwaben ein weiteres Brockhorizont-Vorkommen mit kantigen Oberjura-Kalkbrocken sowie mit dunkel gefärbten Mitteljura- bzw. Unterjura-Komponenten lokalisieren. Der neu entdeckte Aufschluss des sogenannten „Ravensburger Brockhorizontes“ befindet sich an der nordwestlichen Tobelwand etwa 6 Meter oberhalb der Tobelbasis. Die Brockhorizont-Lage ist hier auf einer Länge von etwa 11 Meter angeschnitten und bis zu 20 Zentimeter mächtig.

Texte  
Dr. Volker Sach  
Alle Abbildungen  
Thomas Kühfuß

Im Kleintobel befindet sich ein zweiter Aufschluss des Ravensburger Brockhorizontes – an einer Stelle mit ungefähr gleichem Höhenniveau – etwa 75 Meter südwestlich des zuvor genannten Aufschlusses. Der Brockhorizont-Bereich enthält hier zahlreiche aufgearbeitete Ton-/Mergelgerölle und ist bis zu 50 Zentimeter mächtig.



Alle Abbildungen  
Thomas Kühfuß

Fundstellenhöhe **478m**  
gemessen Garmin 60 CSx

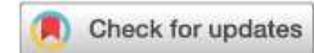
# INTERNET-RECHERCHE

EXKURSION ZUR HYPOTHESE KEIN DOPPELEINSCHLAG  
RIES UND STEINHEIM

22.03.2025

Thomas Kühfuß  
Fliederweg 3  
88281 Schlier  
thomas.kuehefuss@web.de  
+49 151 1250 7144

# scientific reports



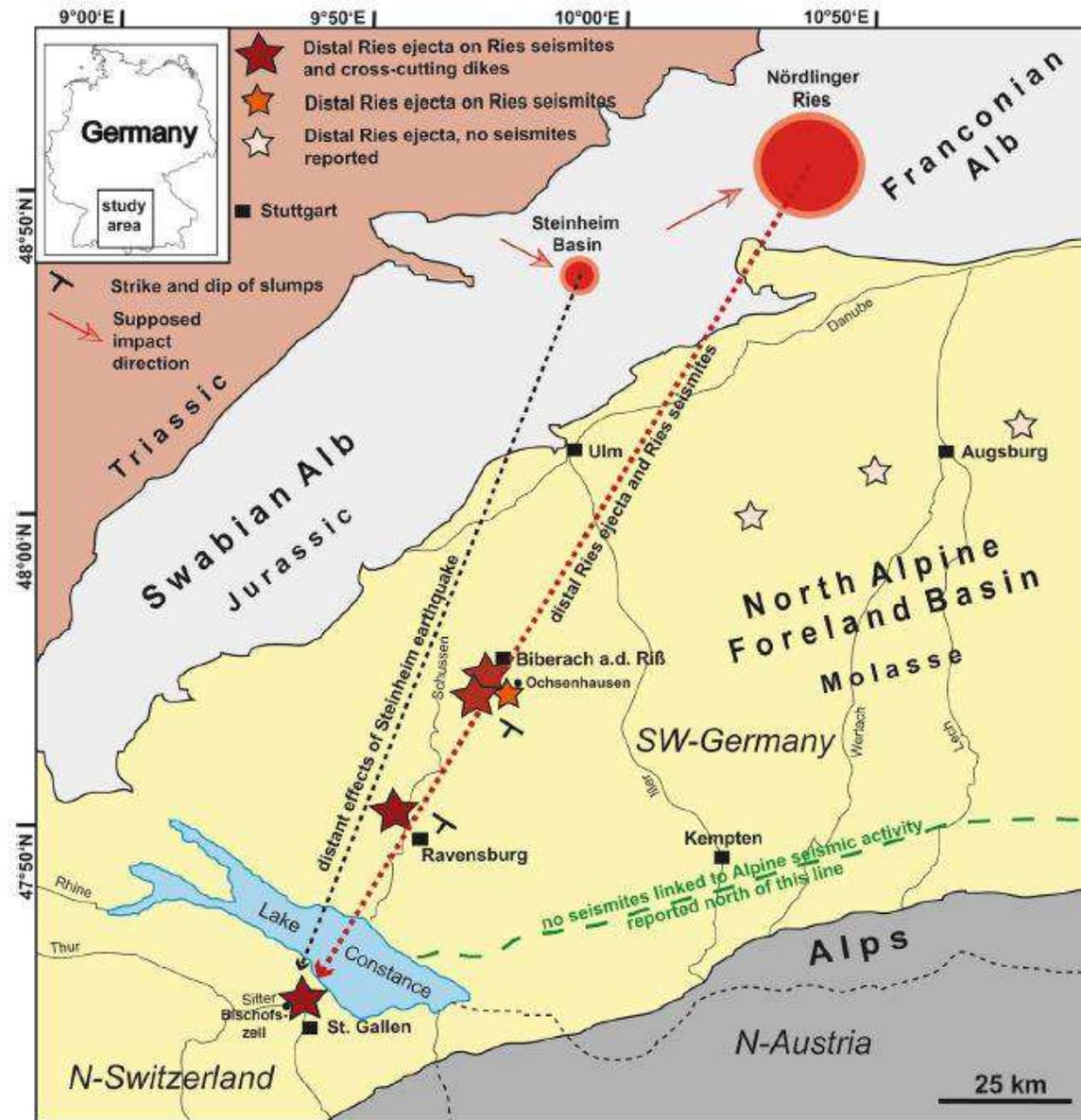
OPEN

## New discovery of two seismite horizons challenges the Ries–Steinheim double-impact theory

Elmar Buchner<sup>1,2✉</sup>, Volker J. Sach<sup>2,3</sup> & Martin Schmieder<sup>1,2,4</sup>

Anschrift des Autors:

Dr. Volker J. Sach, In der Talwiese 2, D-72488 Sigmaringen; E-Mail: [vsach@gmx.de](mailto:vsach@gmx.de)



**Figure 1.** Geographic and geologic situation in the study area in southern Germany and northern Switzerland and Austria. Outcrops with Ries seismites overlain by the distal Ries ejecta layer (DREL), in turn cross-cut by clastic dikes presumably linked to the Steinheim impact<sup>15</sup>, are situated within a distance of 80 to 180 km from the centres of the two impact structures. Supposed different impact directions (orange arrows) of Ries and Steinheim asteroids are taken from the literature<sup>1,8</sup> and are discussed in detail within these studies.

# Internet-Recherche „Kleintobel Meteorit“

<https://www.mineralienatlas.de/lexikon/index.php/Brockhorizont?lang=de>



## Mineralienatlas - Fossilienatlas

Übersicht Suche **Lexikon** Medien Neuigkeiten Forum



### Brockhorizont

Ein „Brockhorizont“ ist eine Schicht mit Kalkstein- Auswürflingen, die vom Meteoriteneinschlag im Nördlinger Ries stammen. (Malm-Kalk der Alb-Deckschichten.) Trümmerlagen ortsfremder Oberjura-Gesteine in der Oberen Süßwassermolasse.

Bei den Meteoriten-Einschläge im Nördlinger Ries und Steinheimer Becken wurden gewaltige Mengen an Gesteinsmaterial aus den Kratern gesprengt, ballistisch transportiert und bis über 180 km vom Zentrum des Nördlinger-Ries-Kraters entfernt abgelagert. Einzelne solche Gesteinstrümmer dieser mittelmiozänen Schuttdecke findet man heute noch im Brockhorizont der Oberen Süßwassermolasse, der nur in Süddeutschland und in der Ostschweiz gebietsweise aufgeschlossen ist. Man findet solche Brockhorizonte bei Augsburg, Ulm, Biberach, Ravensburg und St. Gallen. Wenn man Augsburg aussen vor läßt, ergibt sich eine gerade Linie vom Nördlinger Ries bis St. Gallen (180 km).

Das geologische Alter des Brockhorizontes entspricht ziemlich genau dem Zeitpunkt des Ries-Impaktes vor etwa 14,5 Millionen Jahren.

**Literatur:**

- Volker J. Sach (2004). NÖRDLINGER RIES UND BIBERACHER BROCKHORIZONT. SPUREN DER RIES-KATASTROPHE IN OBERSCHWABEN. Oberschwaben Naturmah.
- SACH, Volker J. (2014). Strahlenkalk (Shatter-Cones) aus dem Brockhorizont der Oberen Süßwassermolasse in Oberschwaben (Südwestdeutschland) – Fernauswürflinge des Nördlinger-Ries-Impaktes. Verlag Dr. Friedrich Pfeil. 16 S. ISBN: 978-3-89937-175-8
- Volker J. Sach (2016). Documenta n a t u r a e. Sonderb.70, 2.Aufl., F O S S I L I E N K A T A L O G der Miozän-Molasse in Südwestdeutschland (Obere Süßwassermolasse, Brackwassermolasse, Obere Meeresmolasse, Untere Süßwassermolasse). 115 S.



**Jura-Kalk - Auswürfling des Ries-Ereignisses**  
Brockhorizont der Oberen Süßwassermolasse.  
Kleintobel, Berg, Kr.Ravensburg, Tübingen, Baden-  
Württemberg. L: 10,5cm.  
Doc Diether

**Weblinks:**

- [https://www.lfu.bayern.de/geologie/geologie\\_bayerns/ueberblick/doc/24\\_obere\\_suesswassermolasse.pdf](https://www.lfu.bayern.de/geologie/geologie_bayerns/ueberblick/doc/24_obere_suesswassermolasse.pdf)
- [https://www.researchgate.net/publication/298214578\\_Nordlinger\\_Ries\\_und\\_Biberacher\\_Brockhorizont\\_-\\_Spuren\\_der\\_Ries-Katastrophe\\_in\\_Oberschwaben\\_Sudwestdeutschland](https://www.researchgate.net/publication/298214578_Nordlinger_Ries_und_Biberacher_Brockhorizont_-_Spuren_der_Ries-Katastrophe_in_Oberschwaben_Sudwestdeutschland)
- <https://pfeil-verlag.de/publikationen/sach-strahlenkalk-bzw-shatter-cones/>
- [https://www.zobodat.at/pdf/Ber-Naturwiss-Ver-fuer-Schwaben\\_105\\_0002-0003.pdf](https://www.zobodat.at/pdf/Ber-Naturwiss-Ver-fuer-Schwaben_105_0002-0003.pdf)
- <http://www.oberschwaben-portal.de/inhalte-ausgabe/items/noerdlinger-ries-und-biberacher-brockhorizont.html>

**Kategorien:**

- Kategorie/Geotektonik
- Kategorie/Geophysik
- Kategorie/Geschiebekunde

**Einordnung**

- bitte durch Kategorie ersetzen

**Willkommen Gast**  
Anmelden  
Registrieren

Suchtext ... Enter

Diskussion

**Granaterlebnis**  
Den Südschein auf der Spur  
www.granatum.at

**hausen**  
Mineralien-  
grosshandel GmbH

**mineralbox**  
Seit über 25 Jahren

# Internet-Recherche „Kleintobel Meteorit“

https://pfeil-verlag.de/publikationen/sach-strahlenkalke-bzw-shatter-cones/



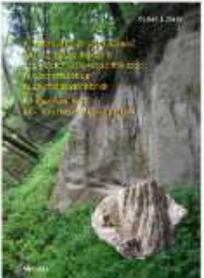
Verlag Dr. Friedrich Pfeil

- Shop
- Gesamtverzeichnis
- Archäologie
- Biologie
- Geographie
- Geologie
- Ökologie
- Paläontologie
- Sonstiges
- E-Book (PDF) Bestellungen
- Verlag
- Buchhandel
- Für Autoren
- Kontakt

f    t

Suche

## Strahlenkalke (Shatter-Cones)



**SACH, Volker J.**  
**Strahlenkalke (Shatter-Cones) aus dem Brockhorizont der Oberen Süßwassermolasse in Oberschwaben (Südwestdeutschland) – Fernauswürflinge des Nördlinger-Ries-Impaktes**

2014. [Deutsch] – 16 Seiten, 13 Farbabbildungen, 2 Tabellen.  
24,0 x 17,0 cm. Geheftet  
ISBN: 978-3-89937-175-8

**10.00 €** zzgl. Versandkosten

zzgl. Versandkosten / Versandkostenfrei in D

Mehr Seiten anzeigen

Aus der Erdgeschichte Deutschlands sind mit dem Nördlinger Ries und dem benachbarten Steinheimer Becken nur zwei größere Meteoritenkrater bekannt. Wahrscheinlich gehen beide sogar auf ein und dasselbe kosmische Ereignis vor etwa 15 Millionen Jahren zurück. Infolge dieser Meteoriten-Einschläge wurden gewaltige Mengen an Gesteinsmaterial aus den Kratern gesprengt, ballistisch transportiert und bis über 180 Kilometer vom Zentrum des Nördlinger-Ries-Kraters entfernt abgelagert. Einzelne solche Gesteinstrümmen dieser mittelmiozänen Schuttdecke findet man heute noch im Brockhorizont der Oberen Süßwassermolasse, der nur in Süddeutschland und in der Ostschweiz gebietsweise aufgeschlossen ist. Die in der Broschüre beschriebenen und abgebildeten Strahlenkalke (=Shatter-Cones) sind sehr seltene Fundstücke aus dem Brockhorizont. Es handelt sich um die ersten eindeutigen Nachweise derartiger Impact-Gesteine aus der Schichtenabfolge des Molassebeckens in Süddeutschland.

Wir sind gerne für Sie da

**Verlag Dr. Friedrich Pfeil**  
Wolfratshauer Str. 27  
81379 Munich – Germany

Tel.: +49 89 55 28 6000  
Fax: +49 89 55 28 6004  
E-Mail: [info@pfeil-verlag.de](mailto:info@pfeil-verlag.de)

BESTELLNUMMER:	DATUM:	GESAMT:	ZAHLMETHODE:
38836	6. April 2021	10,00 €	PayPal

### BESTELLDDETAILS

PRODUKT	GESAMTSUMME
Strahlenkalke (Shatter-Cones)	
SACH: Strahlenkalke bzw. Shatter-Cones: * 1	10,00 €
<b>ZWISCHENSUMME:</b>	<b>10,00 €</b>
LIEFERUNG:	Versandkosten Deutschland Versandkostenfrei
ZAHLMETHODE:	PayPal
<b>GESAMT:</b>	<b>10,00 €</b>

# Internet-Recherche „Kleintobel Meteorit“

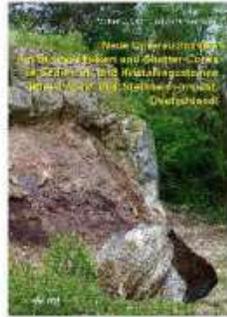
<https://pfeil-verlag.de/publikationen/sach-strahlenkalke-bzw-shatter-cones/>



Verlag Dr. Friedrich Pfeil

- Shop
- Gesamtverzeichnis
- Archäologie
- Biologie
- Geographie
- Geologie
- Ökologie
- Paläontologie
- Sonstiges
- E-Book (PDF) Bestellungen
- Verlag
- Buchhandel
- Für Autoren
- Kontakt

## Neue Untersuchungen an Strahlenkalcken und Shatter-Cones



Blick ins Buch:



**SACH, Volker J. & Johannes Baier**  
**Neue Untersuchungen an Strahlenkalcken und Shatter-Cones in Sediment- und Kristallingesteinen (Ries-Impakt und Steinheim-Impakt, Deutschland)**

2017, [Deutsch] - 36 Seiten, 7 Farbtafeln mit 42 Abbildungen, 9 Farbabbildungen, 3 Tabellen.  
24,0 × 17,0 cm, geheftet.

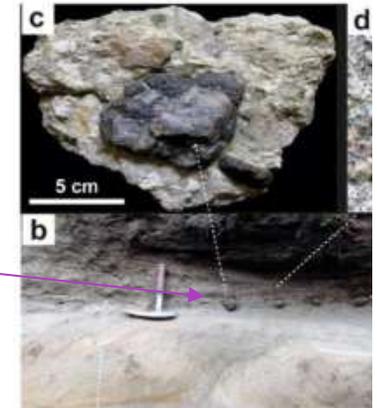
ISBN: 978-3-89937-229-8

**20.00 €** zzgl. Versandkosten

zzgl. Versandkosten / Versandkostenfrei in D

1 **In den Warenkorb**

Wilhelm von Branco (1844-1928) und Eberhard Fraas (1862-1915)  
in memoriam  
(den Erstbeschreibern von Strahlenkalcken aus dem Steinheimer Becken)



Suche

## Internet-Recherche „Kleintobel Meteorit“

<http://www.riesgeologie.de/index.php?page=Events2017>



The image shows the header and navigation menu of the Riesgeologie website. The header features a large image of a meteorite impact on the left, the title "Riesgeologie" in the center, and a logo on the right. Below the header is a navigation menu with four items: "Ries-See", "Ries-Impakt", "Steinheimer Becken", and "Impakt-Bibliothek". The main content area displays "Events 2017" and a link to "Aktuelle Events". A paragraph of text describes the page's purpose, and a note mentions an archive for older contributions.

# Riesgeologie



- Ries-See
- Ries-Impakt
- Steinheimer Becken
- Impakt-Bibliothek

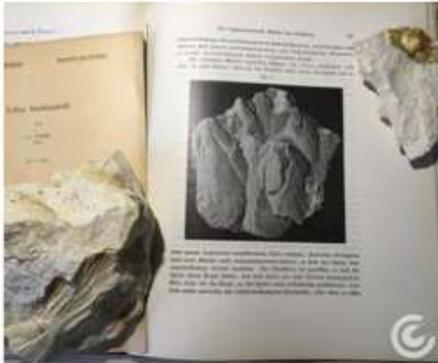
Events 2017 [Aktuelle Events](#)

Auf dieser Seite finden Interessierte der Riesgeologie ab sofort Neuigkeiten und aktuelle Events (z. B. Berichte und Fotos von Vorträgen, Konferenzen oder Kolloquien), neue Publikationen (Bücher, Dissertationen, Diplomarbeiten, etc.) oder Forschungsaktivitäten im Ries. Gerne können Sie der Redaktion eine kurze Mail schicken, falls Aktualisierungen, Korrekturen oder Ergänzungen notwendig sein sollten.

Ältere Beiträge finden sich im Beitragsarchiv am Ende der Seite.

# Internet-Recherche „Kleintobel Meteorit“

<http://www.riesgeologie.de/index.php?page=Events2017>



Freitag, 10.11.2017, Vortrag von Diplom-Geologe Dr. Volker Sach im RiesKraterMuseum (RKM) in Nördlingen

**Thema: Shatter-Cones aus Ries-Krater, Steinheimer Becken und Molasse**

Dr. Volker Sach berichtete zu neuen Erkenntnissen über Shatter-Cones, welche durch den Ries-Impakt und durch das Impaktereignis des Steinheimer Beckens entstanden sind. Shatter-Cones sind u. a. unter dem Namen Strahlenkegel, Druckkegel oder Strahlenkalke bekannt und wurden erstmals 1905 aus dem Steinheimer Becken wissenschaftlich genauer beschrieben. Heute gelten sie als klares Indiz für einen Meteoriteneinschlag und wurden nicht nur in den Meteoritenkratern selbst, sondern auch im weiteren Umfeld gefunden.

Foto: Originalpublikationen von 1905 (Branco & Fraas, Das Kryptovulkanische Becken von Steinheim) und 1931 (Linck, Ueber Strahlenkalk) mit zwei fossilhaltigen Shatter-Cones (Ammonit, Muschel) aus dem Steinheimer Becken (Sammlung Dr. Sachs)

Fotos: Zwei Aufschlussfotos mit dem Brockhorizont. Deutlich erkennbar sind die ortsfremden, kantigen Kalkbrocken des Oberen Juras (Durchmesser bis etwa 10 cm) in den Sanden der Oberen Süßwassermolasse. Die Kalkbrocken wurden durch die süddeutschen Impaktereignisse herausgeschleudert und dadurch in die tertiären Molassesedimente eingelagert.

Fundort: Ravensburger Brockhorizont, Kleintobel

Bilder: Volker J. Sach, Sigmaringen



Dr. Sach begann seinen Vortrag mit einer kurzen Einführung zur geologischen Geschichte der beiden süddeutschen Impaktkrater. Durch den Einschlag wurden Gesteinstrümmen von bis zu 30 cm Durchmesser über 100 km weit ausgeworfen. Einzelne Bruchstücke wurden noch in Bernhardzell bei St. Gallen in der Schweiz gefunden. In dem geologischen Becken zwischen der Schwäbisch-Fränkischen Alb und den Alpen, dem sog. Molassebecken, wurden auf diese Weise viele ortsfremde Gesteinsbruchstücke abgelagert. Dieser Horizont wird heute als „Brockhorizont“ bezeichnet (siehe die zwei oberen Fotos). Den Geologen dient diese auffällige Lage heute als absolute Zeitmarke. Alle Gesteine darüber sind jünger als das Riesereignis, alle darunter sind älter. Zusätzlich wurden in diesen Schichten vereinzelt Shatter-Cones gefunden.

Kartenausschnitt: Schematische Übersichtskarte mit den beiden Impaktkratern Nördlinger Ries und Steinheimer Becken sowie den Shatter-Cone-Fundgebieten in der Molasse Südwestdeutschlands und der Ostschweiz (rote Kreise)

Abbildung: Volker J. Sach, Sigmaringen

# Internet-Recherche „Kleintobel Meteorit“

<http://www.riesgeologie.de/index.php?page=Events2017>

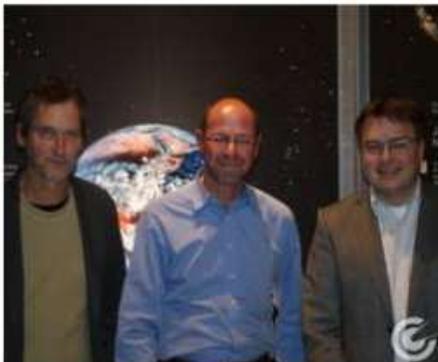
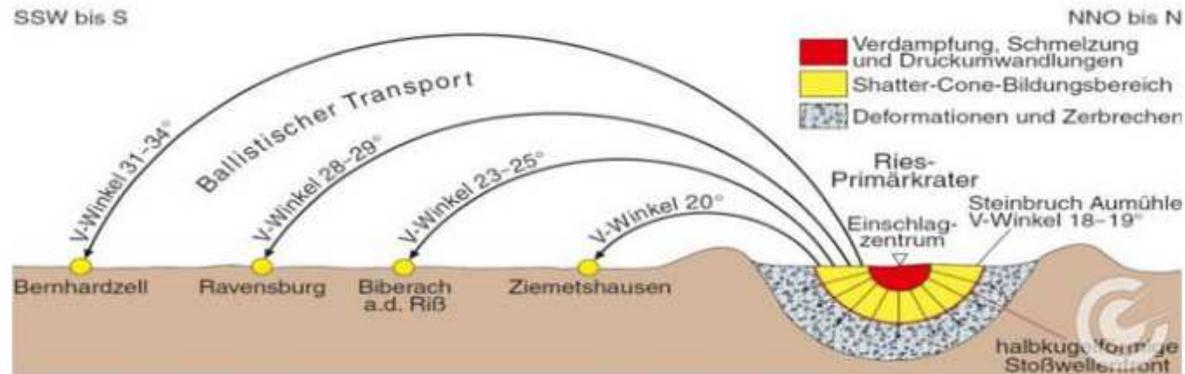


Bei den bislang gefundenen Shatter-Cones scheint es so zu sein, dass mit zunehmender Entfernung vom Einschlagpunkt das Winkelmaß des spitz zulaufenden Strahlenmusters variiert. So zeigt ein Shatter-Cone aus dem Molassebecken ein etwas anderes Oberflächenmuster als einer aus dem Impaktrater selbst oder einem aus der Ostschweiz. Um diese These weiter zu festigen, müssen allerdings noch mehr Shatter-Cones gefunden und vermessen werden.

Es wäre tatsächlich neu, wenn es morphologische Unterschiede zwischen Strahlenkegeln aus den beiden Kratern bzw. zwischen den unterschiedlich weit ausgeworfenen Strahlenkegeln existieren sollten. Bei Neufunden muss zukünftig u. a. besonderes Augenmerk auf die Oberflächenstruktur gelegt werden.

Foto: Oberjura-Kalkbrocken mit Shatter-Cones, die eine typische Oberflächenstruktur aufweisen  
Fundort: Lesefund im Bereich der Flur "Hohe Beet" bei Sontheim. Bild: Volker J. Sach, Sigmaringen

Schematisches Bild zum Ries-Impakt (frühes Stadium während der Aussprengung des Ries-Primärkraters): Bildungsbereich, ballistischer Transport, Auswurfweiten und mittlere V-Winkel der Strahlenkalk-Oberfläche.  
Abbildung: Volker J. Sach, Sigmaringen



An dem Abend waren neben Originalfundstücken auch das mit ca. 25 cm Länge sehr große Rostrum eines Belemniten aus dem Steinbruch Aumühle zu sehen, welches durch das Impaktereignis in einzelne Scheiben zerbrochen wurde. Diese Art von zerbrochenen Fossilien erreichten als sog. „Riesfossilien“ Berühmtheit. Dr. Volker Sach spendete nach dem Vortrag dieses außergewöhnliche Fossil der Sammlung des RiesKraterMuseums.

Der Referent veranschaulichte seine Ausführungen mit klaren grafischen Darstellungen und Fotografien aus Steinbrüchen und Fundstücken. Diese Abbildungen waren auch Teil der 2017 erschienenen Publikation mit dem Thema [Neue Untersuchungen an Strahlenkalken und Shatter-Cones in Sediment- und Kristallingesteinen \(Ries-Impakt und Steinheim-Impakt, Deutschland\)](#) und können dort nachgelesen und weiter vertieft werden. Die 36 seitige Arbeit wurde von Volker J. Sach und Johannes Bayer geschrieben.

Gruppenfoto: Mitte: Dr. Volker Sach, Links: Leiter des RKM Prof. Dr. Stefan Hölzl, Rechts: Vorsitzender Freunde des RKM e.V. Dr. Oliver Sachs, Bild: Friedrich Woerlen, Rieser Nachrichten

# Internet-Recherche „Kleintobel Meteorit“

[https://www.lfu.bayern.de/geologie/geologie\\_bayerns/ueberblick/doc/24\\_obere\\_suesswassermolasse.pdf](https://www.lfu.bayern.de/geologie/geologie_bayerns/ueberblick/doc/24_obere_suesswassermolasse.pdf)

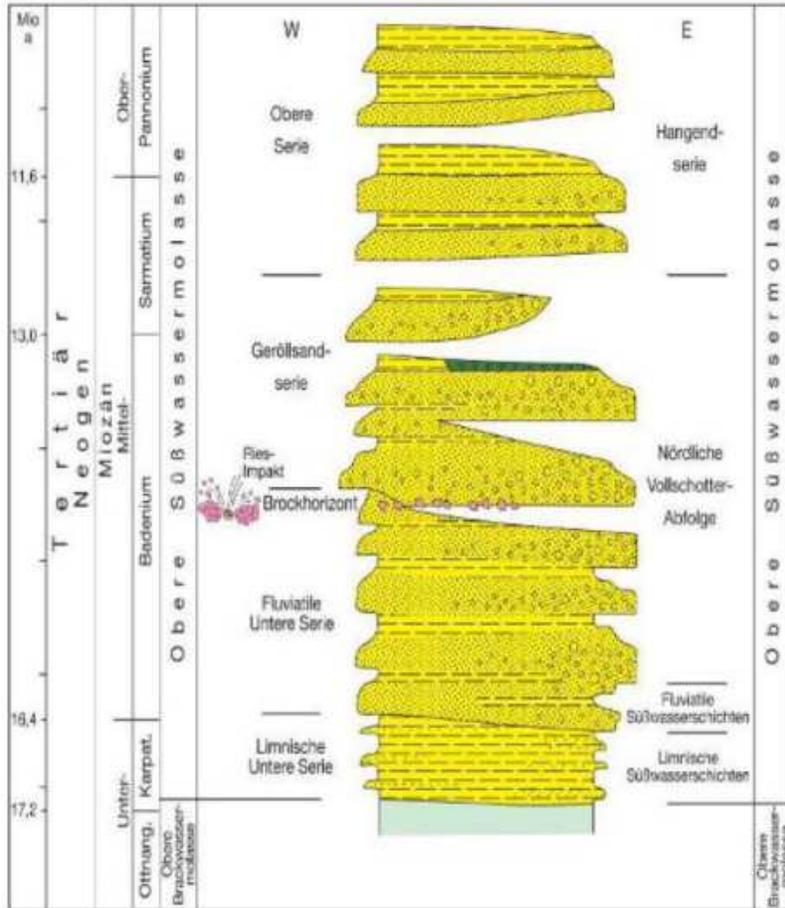


Abb.1: Schemaprofil der oberen Süßwassermolasse

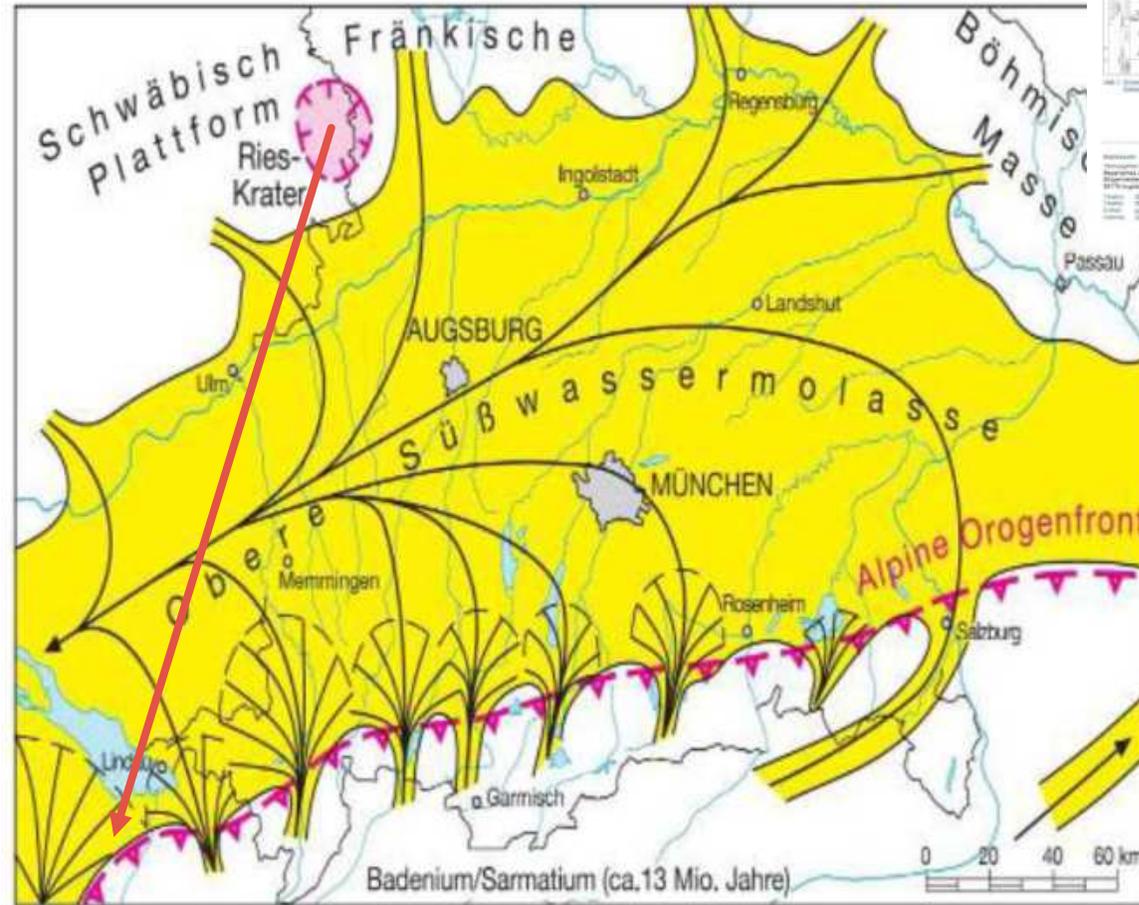
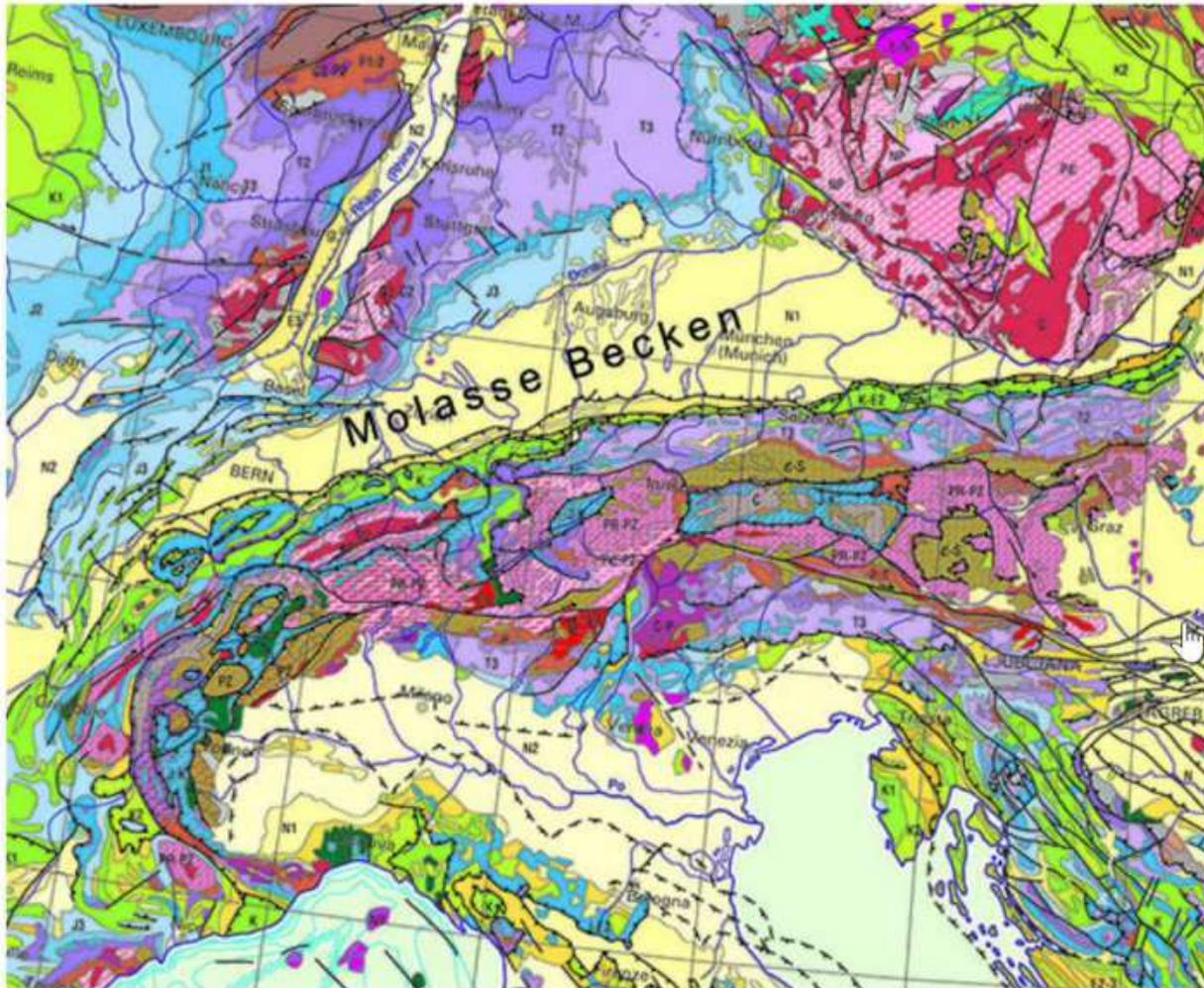


Abb.2: Ablagerungsgebiet der oberen Süßwassermolasse



## Internet-Recherche „Kleintobel Meteorit“

<https://molasse-haie-rochen.de/allgemeines/geologischer-ueberblick/>



Das Wort Molasse leitet sich aus dem französischen ab: mollasse = weich. Der Name bezieht sich auf die größtenteils unverfestigten („weichen“) Sedimente im Molassebecken. Wenig verfestigte Sande, Silte, Mergel sind weit verbreitet, Konglomerate, Kiese und Kalksteine können ebenfalls vorkommen.

Abb. 1: Geologische Übersicht des Molassebeckens (Detail aus Asch 2005: *The 1:5.000.000 International Geological Map of Europe and Adjacent areas, IGME 5000*).

# Internet-Recherche „Kleintobel Meteorit“

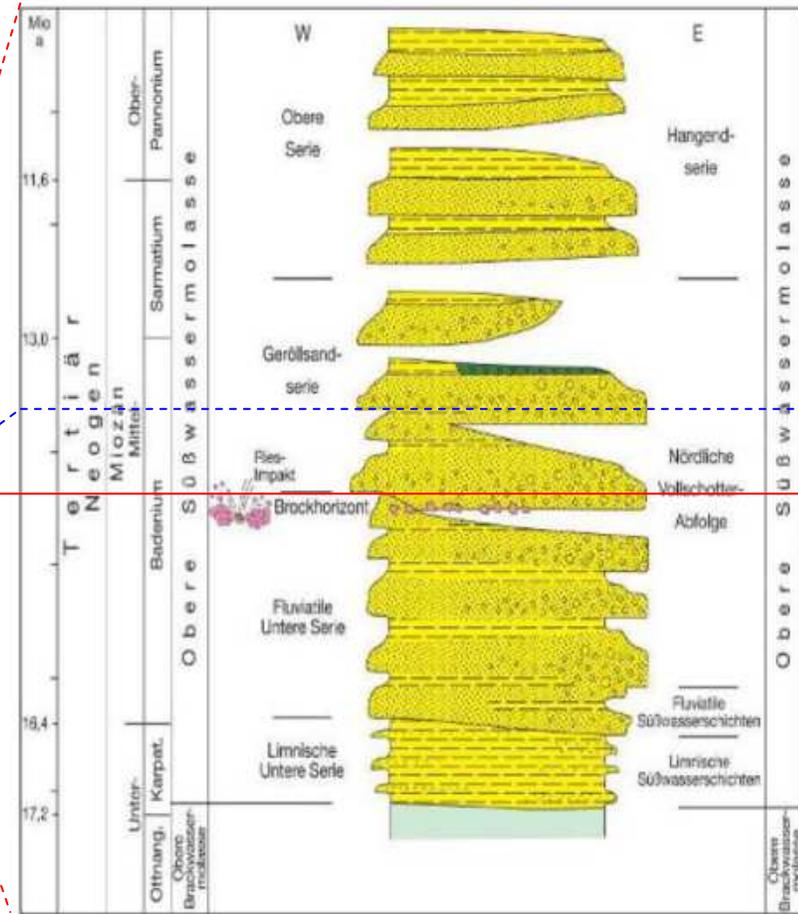
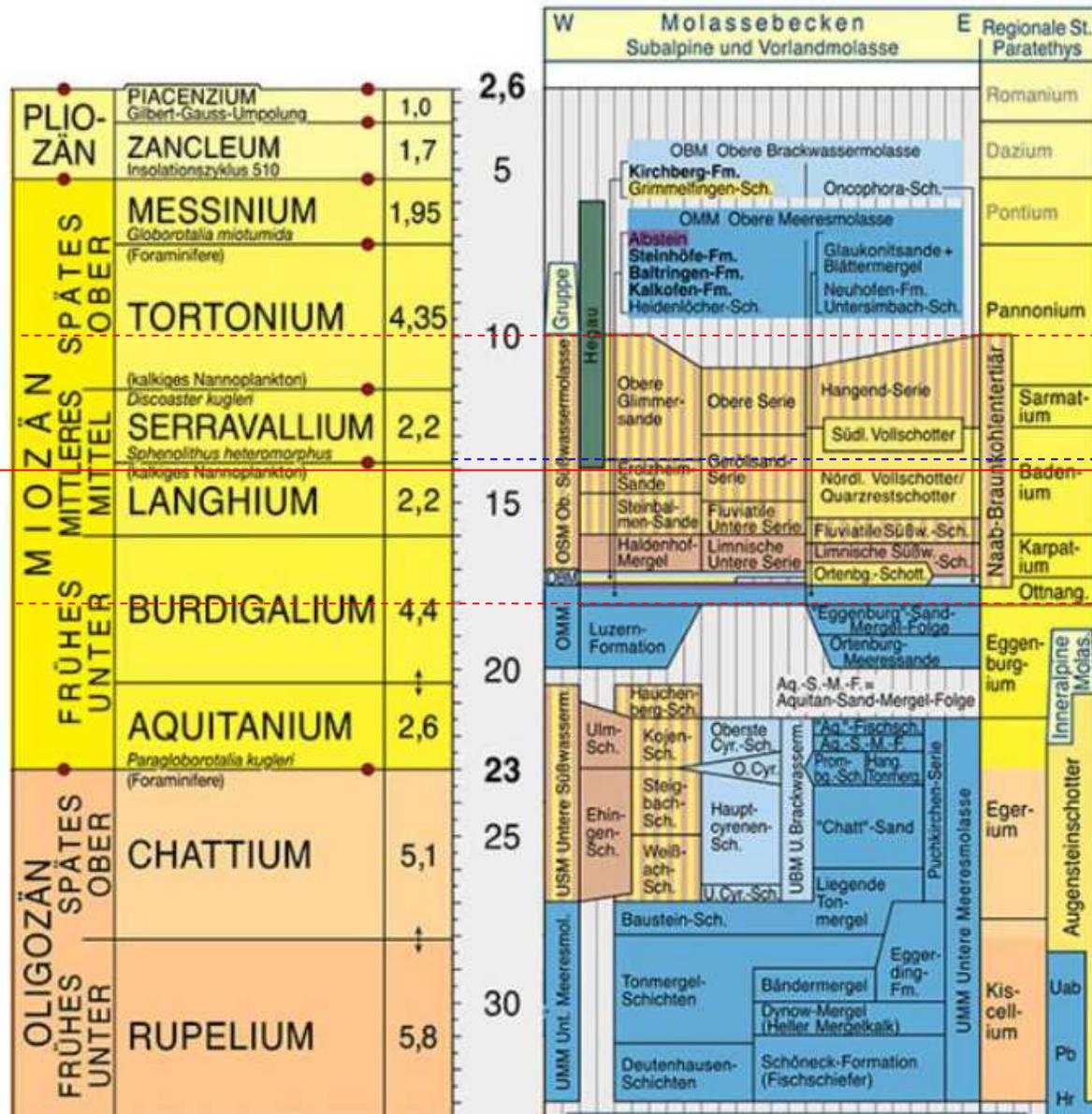


Abb. 1: Schemaprofil der oberen Süßwassermolasse

Abb. 2: Stratigraphie im Molassebecken. Detail aus der Stratigraphischen Tabelle Deutschland 2016.

## Internet-Recherche „Kleintobel Meteorit“

<https://www.suedkurier.de/baden-wuerttemberg/Der-grosse-Knall-und-die-Folgen-Forschung-zum-Meteoriten-Einschlag-im-Noerdlinger-Ries;art417930,9046572?>

SIGMARINGEN 14. Dezember 2016, 16:03 Uhr

# Der große Knall und die Folgen: Forschung zum Meteoriten-Einschlag im Nördlinger Ries

Der Sigmaringer Geologe und Paläontologe Volker Sach forscht zum Meteoriten-Einschlag im Nördlinger Ries vor etwa 15 Millionen Jahren. Die Folge des Einschlags war ein gigantischer Steinregen.



Ein dichter Steinhagel, zu dem dieser Brocken gehört, den Volker Sach identifizieren konnte, ging als Folge des Ries-Impakts kurz nach dem Einschlag bis in die Gegend von Biberach und Ravensburg nieder. | Bild: Hermann-Peter Steinmüller

### ***Der Nordlinger Asteorid***

*Der Nördlinger Asteroid mit einem Durchmesser von rund einem Kilometer wurde von einem 150 Meter großen Trabanten begleitet. Deshalb entstanden zwei Krater – das Nördlinger Ries mit 25 Kilometern Durchmesser und das vier Kilometer große Steinheimer Becken. Die beiden Himmelskörper schlugen mit einer Geschwindigkeit von 70 000 Kilometern auf der Albhochfläche ein. Es entstand Druck von mehreren Millionen Bar und am Einschlagsort entwickelte sich in Sekundenschnelle eine Hitze von mehr als 20 000 Grad. Die Krater bilden heute den Geopark „Ries“, der 53 Städte und Dörfer in Baden-Württemberg und Bayern umfasst. In Baden-Württemberg gehören der Landkreis Heidenheim und der Ostalbkreis in Aalen zum Geopark. Der Forscher Volker Sach ist 50 Jahre alt und hat an der Universität Tübingen Geologie und Paläontologie promoviert. (hps)*

Anschrift des Autors:

Dr. Volker J. Sach, In der Talwiese 2, D-72488 Sigmaringen; E-Mail: [vsach@gmx.de](mailto:vsach@gmx.de) Jahrgang 1966

# Internet-Recherche „Kleintobel Meteorit“

<https://www.suedkurier.de/baden-wuerttemberg/Der-grosse-Knall-und-die-Folgen-Forschung-zum-Meteoriten-Einschlag-im-Noerdlinger-Ries;art417930,9046572?>

VON HERMANN-PETER STEINMÜLLER

Nur dem geschulten Auge des Fachmanns hat der Sigmaringer Geologe und Paläontologe Volker Sach eine Entdeckung zu verdanken, die ihn in der wissenschaftlichen Fachwelt bekannt gemacht hat. Dem Sigmaringer ist es als erstem Wissenschaftler gelungen nachzuweisen, dass Gesteinsmaterial durch den Aufprall von zwei Meteoriten im Nördlinger Ries und im Steinheimer Becken vor etwa 14 bis 15 Millionen Jahren über 110 Kilometer ins heutige Biberach und über 140 Kilometer bis in die Gegend von Ravensburg geschleudert worden sind. Zeugnisse einer Naturkatastrophe, deren Ausmaße heute nur noch mit den Folgen der Explosion einer Atom- oder Wasserstoffbombe zu vergleichen sind. Auch der massenhafte Steinschlag war eine der Folgen. Sach kommentiert: „Das muss ein gigantischer Steinregen aus kopfgroßen Brocken gewesen sein, der alles Leben an der Erdoberfläche erschlug.“ Die Todeszone rund um den Einschlagsort erstreckte sich, wissenschaftlich abgesichert, auf rund 200 Kilometer.

Für die Geologen und Paläontologen ist es ziemlich klar, wie die Erdoberfläche damals aussah. Die Schwäbische Alb gab es schon und auch die Alpen hatten sich bereits aufgetürmt. Dazwischen existierte unter subtropischem Klima eine weitflächige und waldreiche Flusslandschaft. Sach: „Die Entwässerung dieses Flusssystemes war von Ost nach West gerichtet. Die Flüsse mündeten ins Ur-Mittelmeer.“ Die Saurier waren längst ausgestorben und die Säugetiere hatten die Herrschaft übernommen. Menschen gab es damals noch nicht. Die beiden Einschlagsstellen im Nördlinger Ries bei Aalen und im Steinheimer Becken bei Heidenheim zählen heute zu den weltweit eindrucksvollsten Zeugnissen für ein Impaktereignis.

Wenn Brocken dieser Größe auf die Erde auftreffen, werden physikalische Kräfte frei, die, so Sach, denen zahlreicher, gleichzeitig gezündeter Atombomben entsprechen. Es gibt unter anderem eine Druckwelle, im Einschlagskrater verdampft Gestein, im weiteren Umkreis wird Gestein angeschmolzen und in die Luft geschleudert. Das alles passiert in wenigen Sekunden. Das wusste die Wissenschaft natürlich schon lange vor Sach. Die Schwierigkeit bestand nur darin, das Ausmaß der Flugstrecke des tödlichen Steinregens zu ermitteln. Volker Sach: „Das Problem ist, dass sich das Gelände in den letzten Jahrmillionen natürlich gründlich verändert hat.“ Die geologischen Schichten, in denen sich die bis zu kopfgroßen Wurfgeschosse des Einschlags befinden, liegen heute bis zu 40 Meter unter der Erdoberfläche. Deshalb sind Geländeeinschnitte wie der Biberacher Wannentobel nahezu die einzige Möglichkeit, um an die Geschosse von damals heranzukommen.

Hier genau wurde der heute 50 Jahre alte Wissenschaftler 1996 fündig. Er entdeckte einen rund 25 Zentimeter großen Oberjura-Kalkbrocken, der in der geologischen Schicht bei Biberach eigentlich überhaupt nicht vorkommen dürfte. Durch Zufall fand Volker Sach wenige Wochen später beim Besuch des Meteorkrater-Museums in Steinheim bei Heidenheim in einer Vitrine einen nahezu identischen Stein, der als „Auswürfling“ des Nördlinger-Ries-Impakts gekennzeichnet war. Sach: „Da fiel bei mir der Groschen.“

Der Sigmaringer Wissenschaftler opferte in den folgenden Jahren immer wieder Freizeit für seine Forschungen nach den Spuren des Steinschlags. Ab 2011 stieß er im Raum Ravensburg auf weitere „Fernauswürflinge“. Erkennbar seien diese stummen Zeugen einer gigantischen Katastrophe an den Spuren, die von der Druck- und Hitzewirkung des Einschlags verursacht wurden. In einem weiteren Arbeitsschritt verglich Sach seine Fundstücke mit bereits wissenschaftlich als „Auswürflinge“ anerkannten Steinen in der Bayerischen Staatssammlung für Geologie und Paläontologie in München. Erst dann war für die Fachwelt hieb- und stichfest bewiesen, dass die Steine aus Biberach und Ravensburg von dem Einschlag stammten. Entsprechende Publikationen in wissenschaftlichen Fachmagazinen sicherten 2015 die Arbeit von Volker Sach ab.

Geowissen

## Nördlinger Ries: Doch kein Doppel-Einschlag?

Erdbebenspuren sprechen für eine spätere Entstehung des Steinheimer Beckens

22. Dezember 2020, Lesezeit: 4 Min.



Bisher ging man davon aus, dass das Nördlinger Ries und das Steinheimer Becken zeitgleich durch einen Doppeleinschlag entstanden sind. © Razvan25/ iStock.com

**Zweifel am Zwillingskrater-Szenario: Das Nördlinger Ries und das benachbarte Steinheimer Becken sind möglicherweise doch nicht gemeinsam entstanden. Stattdessen könnte es zwei getrennte Einschläge mit rund einer halben Million Jahren Abstand gegeben haben. Indizien dafür haben Forscher im Alpenvorland entdeckt. Dort zeugen Bruchspuren im Untergrund von zwei zeitlich getrennten Beben im Gebiet der heutigen Krater.**

Das rund 24 Kilometer große [Nördlinger Ries](#) und das knapp vier Kilometer große Steinheimer Becken gehören zu den am besten erhaltenen Einschlagskratern der Welt. Gängiger Theorie nach entstanden beide, als vor 14,8 Millionen Jahren ein gut ein Kilometer großer Asteroid mit kleinerem Begleiter im Gebiet der schwäbisch-fränkischen Alb einschlug. Der Doppeleinschlag schleuderte geschockte Trümmer und Gesteinsglas hunderte Kilometer weit, schuf [neue Minerale](#) und hinterließ zwei verschieden große Krater.

### Ein Einschlag oder zwei?

Das Problem jedoch: Während sich der Ries-Krater eindeutig auf ein Alter von 14,8 Millionen Jahren datieren lässt, haben Isotopenanalysen für das Steinheimer Becken bislang keine eindeutigen Ergebnisse geliefert. [Meteoritenreste](#) im Steinheimer Becken legen zudem nahe, dass dieser Krater von einem eisenreichen Impaktor geschaffen wurde. Für das Nördlinger Ries ist dagegen ein Stein-Asteroid verantwortlich. Damit können diese beiden Krater nicht von Bruchstücken desselben Objekts erzeugt worden sein.



Bisher ging man davon aus, dass das Nördlinger Ries und das Steinheimer Becken zeitgleich durch einen Doppeleinschlag entstanden sind. © Razvan25/ iStock.com

Auch einige paläontologische Daten passen nicht zur Theorie eines Doppeleinschlags. Aus Fossilfunden im Krater-Sediment weiß man, dass sich direkt nach dem Einschlag in beiden Senken ein See bildete. Allerdings sind die ältesten Ablagerungen des damaligen Ries-Sees einige hunderttausend Jahre älter als jene des Steinheimer Beckens, wie Studien belegen. Das könnte darauf hindeuten, dass beide Krater doch nicht zeitgleich entstanden.

### Spuren bis ins Voralpenland

Neue Zweifel an dem Doppeleinschlags-Szenario wecken nun Funde, die Elmar Buchner von der Hochschule Neu-Ulm und seine Kollegen im Voralpenland gemacht haben. Für ihre Studie hatten sie unter anderem bei Biberach, bei Ravensburg und bei St. Gallen südlich des Bodensees Gesteinsschichten untersucht, die durch den Auswurf der Einschläge gebildet wurden. Diese Impaktrümmer regneten noch bis zu 180 Kilometer von der Einschlagsstelle entfernt auf die Landschaft nieder.

Parallel dazu verursachten die Einschläge aber auch schwere Erdbeben, deren Erschütterungen ebenfalls Spuren bis ins Voralpenland hinterließen. „Das Ries-Erdbeben hatte wohl eine Magnitude von 8,5 und kommt in seinen Auswirkungen den zerstörerischsten Beben in der Menschheitsgeschichte nahe“, erklärt Buchner. Er und sein Team haben nun die von diesem Beben verursachten Deformationen – sogenannte Seismite – an allen drei Probenstellen nachgewiesen.

### Bebenspuren verraten zeitliche Differenz

Das aber ist nicht alles: In den Probenstellen gibt es auch einige bebenbedingte Gesteinsbrüche, die die Ries-Seismite und das überlagernde Gestein nachträglich aufgebrochen haben. „Dies sagt uns, dass diese Gesteinsgänge, die ebenfalls eine Form von Seismiten darstellen, eindeutig jünger sind als die Ries-Seismite“, sagt Koautor Volker Sach vom Meteorkrater-Museum Steinheim. Den Datierungen zufolge entstanden diese Risse erst rund 500.000 Jahre nach dem Ries-Einschlag.

Aus der Art der Deformationen und ihrer nach Süden hin schwächer werdenden Ausprägung schließen die Forscher, dass dieses zweite Beben weder auf bekannte Vulkanregionen noch auf tektonische Beben zurückgehen kann. „Wir gehen davon aus, dass die Gänge im Zuge des Steinheim-Bebens entstanden“, sagt Sach.

### Zwei getrennte Einschläge

Nach Ansicht der Wissenschaftler liefern ihre Ergebnisse damit weitere Indizien dafür, dass das Nördlinger Ries und das Steinheimer Becken nicht auf dieselbe Ursache zurückgehen. „Aus den Funden schließen wir, dass das Steinheimer Becken einige hunderttausend Jahre nach dem Nördlinger Ries gebildet wurde und dass der Steinheim-Einschlag damit ein völlig eigenständiges Impakt-Ereignis darstellt“, schreibt das Team.

Ihrem Szenario nach kam es vor 14,8 Millionen Jahren zuerst zum Einschlag des großen Stein-Asteroiden, der das Nördlinger Ries schuf. Rund eine halbe Million Jahre später folgte dann ein zweiter Einschlag. Dabei stürzte nur 40 Kilometer südwestlich des Ries-Kraters ein zweiter, etwa 150 Meter großer Asteroid auf die Ostalb. Dieser Impakt hinterließ das Steinheimer Becken, aber auch Auswurfstrümmen und Erdbebenspuren, die bis ins Alpenvorland reichten.

### Kein Einzelfall?

Sollte sich dieses Szenario bestätigen, könnten das Nördlinger Ries und das Steinheimer Becken ein weiteres Beispiel für Doppelkrater sein, die nur auf den ersten Blick eine gemeinsame Ursache haben. Dazu gehören unter anderem die beiden überlappenden [Clearwater-Krater](#) in Kanada, die lange als typischer Zwillingsskrater galten – bis eine neue Datierung einen Altersunterschied von 180 Millionen Jahren aufdeckte.

„Studien an vielen verschiedenen Impaktstrukturen weltweit haben gezeigt, dass auch die meisten anderen vermeintlichen Doppel-Einschlagskrater oder vermuteten Kraterketten einer genaueren Inspektion nicht standhielten“, sagt Buchners Kollege Martin Schmieder. Der bislang einzige Doppel-Einschlag, der als solcher bestätigt wurde, ist ein Krater-Duo in Mittelschweden, das vor rund 450 Millionen Jahren entstand. (Scientific Reports, 2020; [doi: 10.1038/s41598-020-79032-4](https://doi.org/10.1038/s41598-020-79032-4))

Quelle: Hochschule Neu-Ulm

22. Dezember 2020 - Nadja Podbregar



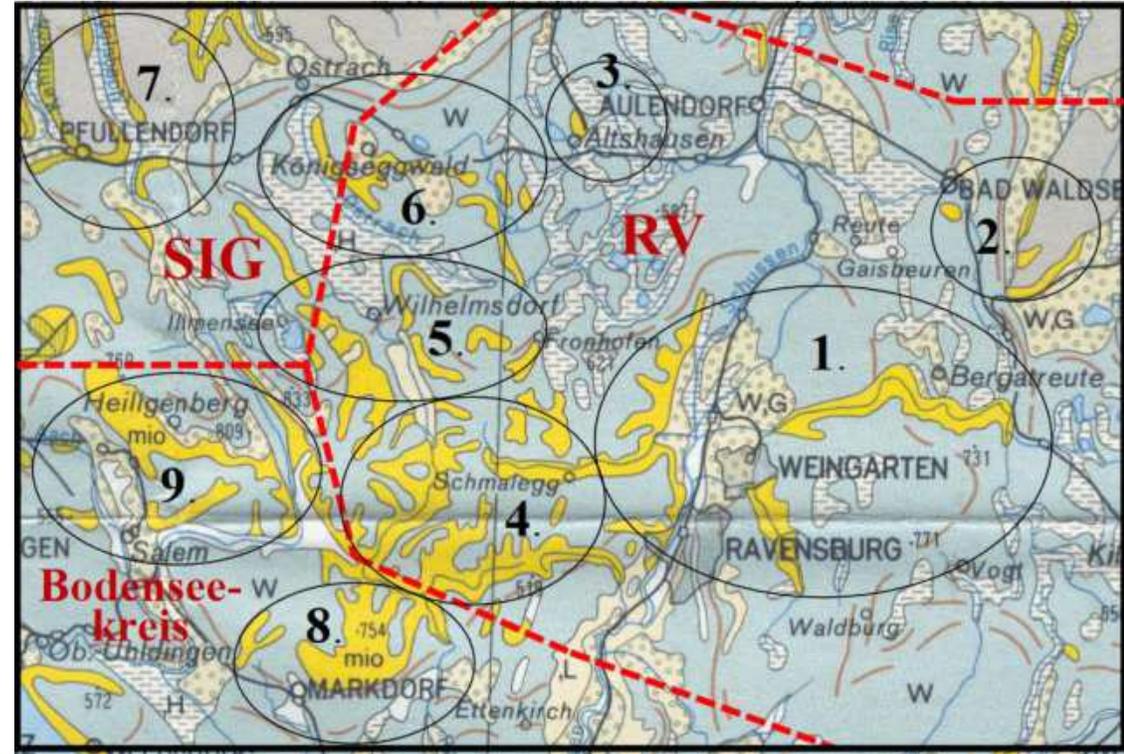
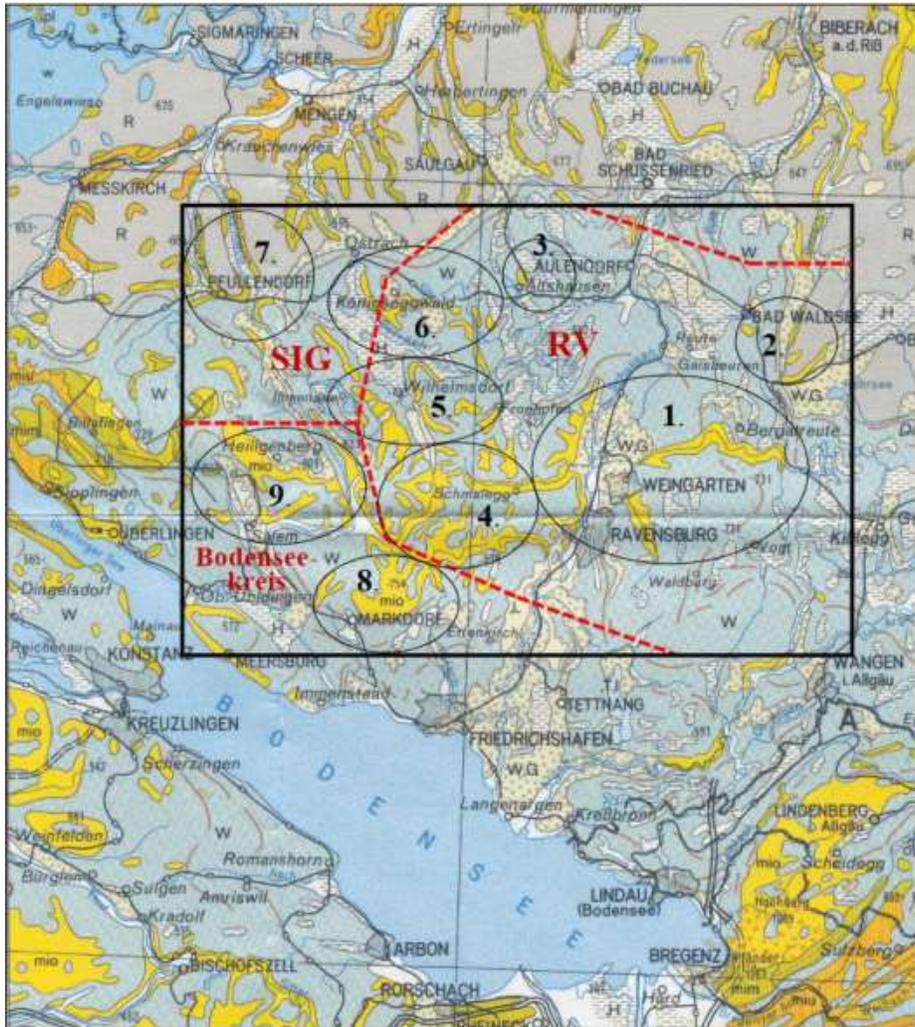
Diese Fundstelle „F3“ wurde am 04.04.2021 nicht gesucht/gefunden.

Figure 3. Bedding conditions in the Kleintobel close to Ravensburg, approximately 130 km SSW of the Ries crater rim. Channel-fills with reworked distal Ries ejecta are incised into slumped deposits of Upper Freshwater Molasse with soft-sediment deformation structures of pre-Ries age and show distinct imbrication (asterisk). Arrows show flow direction of slumps which generally tend towards the SW. Reworked distal Ries ejecta is overlain by undisturbed post-Ries deposits. Photograph taken in Kleintobel south of Biberach by V.J.S.

*Alle Abbildungen  
Dr. Volker Sach*

# Internet-Recherche „Kleintobel Meteorit“

[http://www.oberschwaben-portal.de/files/tl\\_filesOPO/Autoren/Sach/Sach\\_MolasseFossilienkatalog\\_2016\\_hi.pdf](http://www.oberschwaben-portal.de/files/tl_filesOPO/Autoren/Sach/Sach_MolasseFossilienkatalog_2016_hi.pdf)



**Abb. 37:** Übersichtskarte zur Lage von OSM-Aufschlüssen im südlichen Oberschwaben. Die Vorkommen der Oberen Süßwassermolasse sind mit dem Symbol „mio“ gekennzeichnet.

#### Aufschluss-Gebiete:

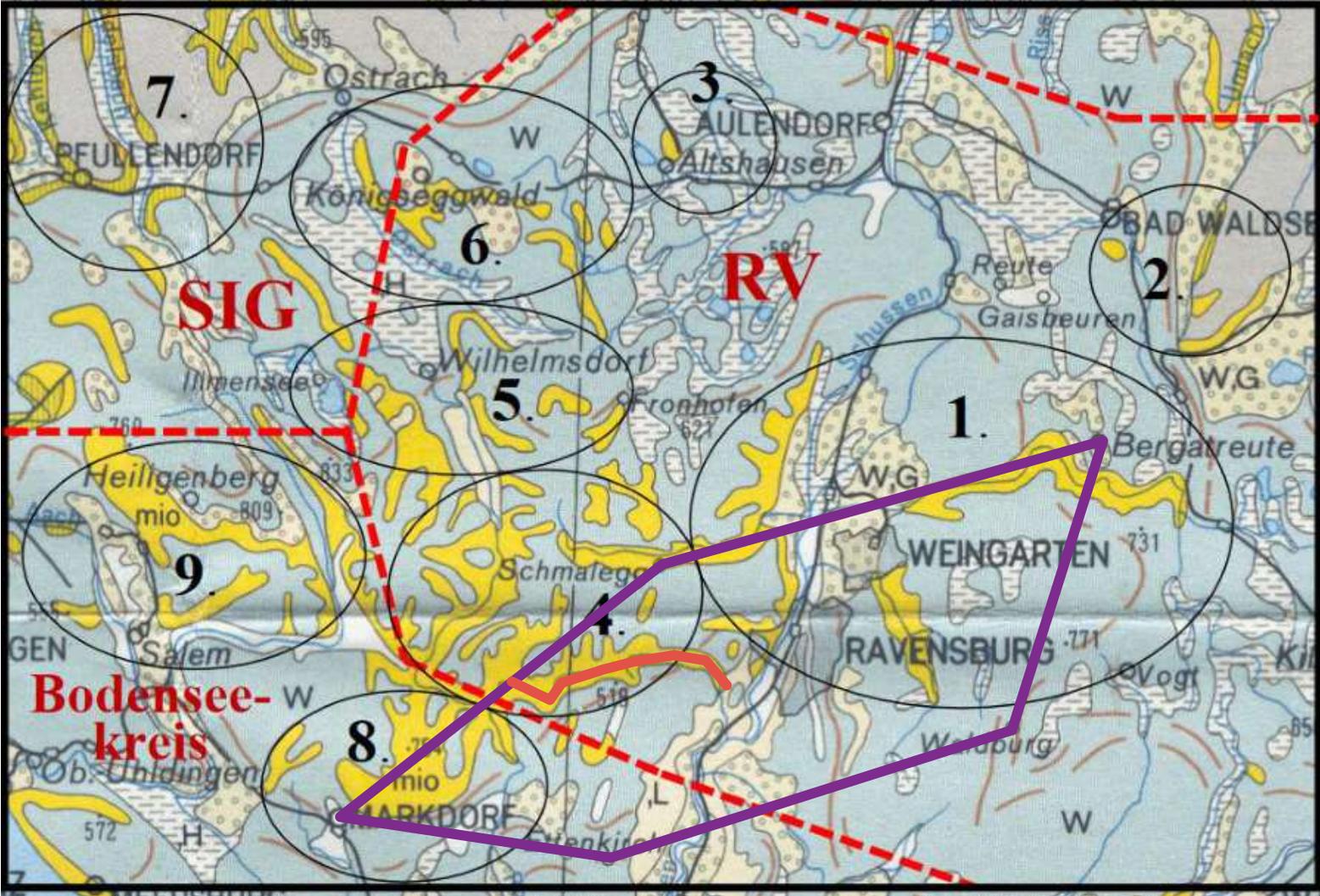
1. Umgebung von Ravensburg / Weingarten; RV
2. Umgebung von Bad Waldsee; RV
3. Umgebung von Aulendorf; RV
4. Umgebung von Schmalegg / Horgenzell; RV
5. Umgebung von Wilhelmsdorf / Ilmensee; RV u. SIG
6. Umgebung von Königseggenwald; RV u. SIG
7. Umgebung von Pfullendorf; SIG
8. Gegend NO' von Markt Dorf (u.a. Gehrenberg); FN
9. Umgebung von Heiligenberg / Salem; FN

#### Landkreise:

- Landkreis Ravensburg (RV)
- Landkreis Sigmaringen (SIG)
- Bodenseekreis (FN)

Internet-Recherche „Kleintobel Meteorit“

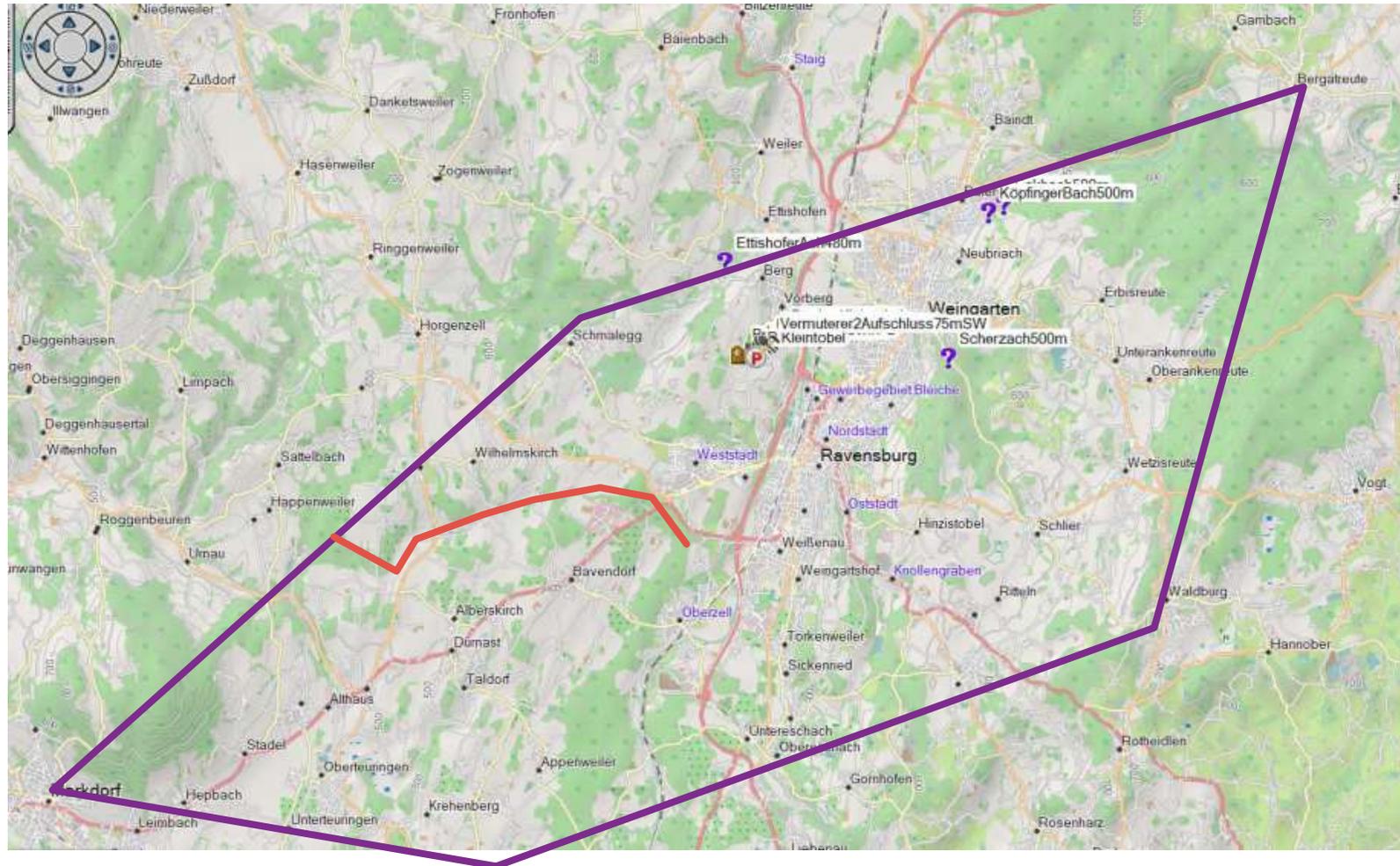
[http://www.oberschwaben-portal.de/files/tl\\_filesOPO/Autoren/Sach/Sach\\_MolasseFossilienkatalog\\_2016\\_hi.pdf](http://www.oberschwaben-portal.de/files/tl_filesOPO/Autoren/Sach/Sach_MolasseFossilienkatalog_2016_hi.pdf)



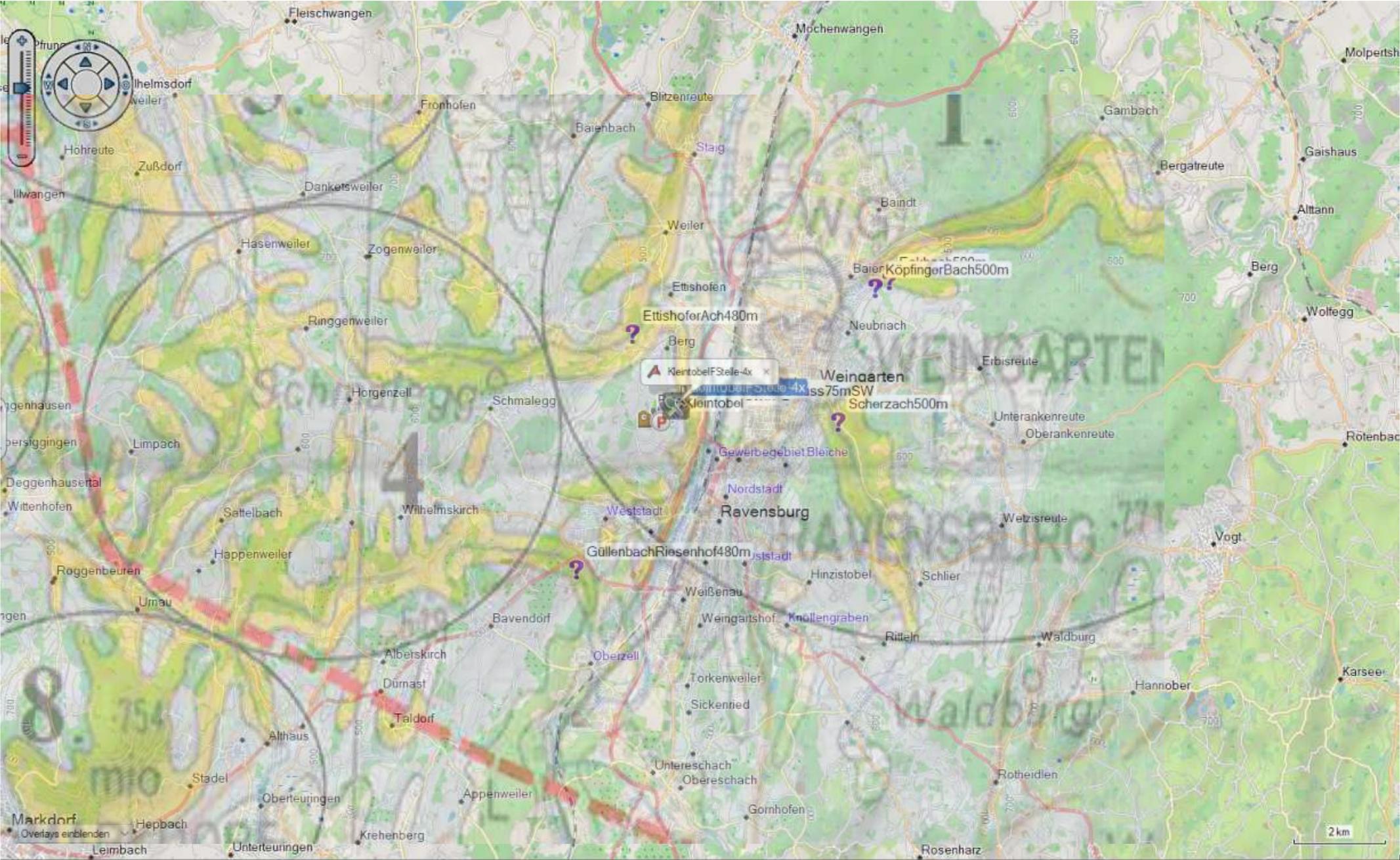
# Kartenüberlagerung, Bestimmung von Orientierungspunkten

Internet-Recherche „Kleintobel Meteorit“

[http://www.oberschwaben-portal.de/files/tl\\_filesOPO/Autoren/Sach/Sach\\_MolasseFossilienkatalog\\_2016\\_hi.pdf](http://www.oberschwaben-portal.de/files/tl_filesOPO/Autoren/Sach/Sach_MolasseFossilienkatalog_2016_hi.pdf)



# Kartenüberlagerung



# EXKURS FUNDSTELLE BROCKHORIZONZ BIBERACH

EXKURSION ZUR HYPOTHESE KEIN DOPPELEINSCHLAG  
RIES UND STEINHEIM

22.03.2025

Thomas Kühfuß  
Fliederweg 3  
88281 Schlier  
thomas.kuehefuss@web.de  
+49 151 1250 7144



**Fundstelle im Tobel Oelhalde-Süd (Hochgeländ bei Biberach an der Riß)**

Aufschluss des „Biberacher Brockhorizontes“ im Bachtobel (nordwestliche Tobelwand) südlich der Straße von Fischbach nach Wettenberg, etwa 400 Meter südöstlich der Ortschaft Wettenberg. TK 25 Blatt 7924 Biberach an der Riß. – GAUSS-KRÜGER-Koordinaten:  $R^{35}61950$ ,  $H^{53}22525$ ; Topographische Höhe: 605,3 Meter ü. NN. Literatur: SACH (1997, 1999, 2004).

**Fundstelle im Wannenwaldtobel (Hochgeländ bei Biberach an der Riß)**

Aufschluss des „Biberacher Brockhorizontes“ im Bachtobel (nördliche Tobelwand) am westlichen Talabhang der Umlach, etwa 2 Kilometer südwestlich der Ortschaft Fischbach, östlich des Wasenmooses. TK 25 Blatt 7925 Ochsenhausen. – GAUSS-KRÜGER-Koordinaten:  $R^{35}62250$ ,  $H^{53}21750$ ; Topographische Höhe: 603,5 Meter ü. NN. Literatur: SACH (1997, 1999, 2004).

Shatter-ConesOberschwaben\_VJ-Sach-2012-06.pdf