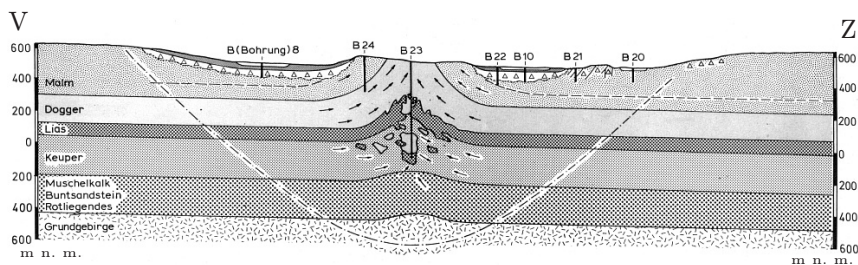


# POVĚTROŇ

Královéhradecký astronomický časopis

číslo S1/2003  
ročník 11

## Kráter Steinheim



□ kvartér  
■ terciérní jezerní sedimenty  
△△△ fall-back breccie a překocené kry  
▭ pravděpodobný dosah rázové vlny

2 krát převýšeno  
0 500 1000 m

SLOVO ÚVODEM. Toto speciální, monotematické číslo časopisu Povětroň je věnováno *impaktnímu kráteru Steinheim*. Může vám sloužit jako průvodce, který vás stručně seznámí s touto pozoruhodnou památkou na dávnou kosmickou katastrofu.

Miroslav Brož

## Obsah

strana

Miroslav Brož: <i>Impaktní kráter Steinheim</i> . . . . .	3
Paul Groschopf, Winfried Reiff: <i>Geologická naučná stezka</i> . . . . .	10

Přední strana obálky: (a) Pohled na centrální vrcholek kráteru Steinheim z okrajového valu (lokalita Burgstall); na dně pánve jsou vystavěny obce Sontheim im Stubental a Steinheim am Albuch. Foto Miroslav Brož. (b) — Geologický řez Ostalbem v okolí kráteru Steinheim. i) Malm = Ober Weiss Jura = svrchní jura = bílá jura – vápence a slínovce; ii) Dogger = střední, neboli hnědá jura – prachovce; iii) Lias = spodní, neboli černá jura – prachovce; iv) Keuper = svrchní trias – pískovec a slínovec; v) Muschelkalk = střední trias (zde tvořený lasturovým vápencem s četnými stránkami brachiopod vápencem), Buntsandstein = spodní trias (zde tvořený polymiktním pískovcem), Rotliegendes = rotes totes Liegendes = červená jalovina = spodní perm – červené jílovce, prachovce a pískovce; vi) krystalinické podloží. 2 krát převýšeno. Převzato z [4].

Elektronická (plnobarevná) verze časopisu Povětroň ve formátech PDF, PostScript a HTML je k dispozici na adrese:

<http://www.astrohk.cz/ashk/povetron/>

---

Povětroň S1/2003; Hradec Králové, 2003.

Vydala: **Astronomická společnost v Hradci Králové** (1. 3. 2003 na 144. setkání ASHK) ve spolupráci s **Hvězdárnou a planetáriem v Hradci Králové**  
vydání 1., 20 stran, náklad 100 ks; dvouměsíčník, MK ČR E 13366, ISSN 1213-659X  
Redakce: Miroslav Brož, Martin Lehký, Martin Navrátil a Miroslav Ouhrabka  
Předplatné tištěné verze: vyřizuje redakce, cena 35,- Kč za číslo (včetně poštovného)  
Adresa: ASHK, Národních mučedníků 256, Hradec Králové 8, 500 08; IČO: 64810828  
e-mail: [ashk@email.cz](mailto:ashk@email.cz), web: <http://www.astrohk.cz/ashk/>

**ABSTRAKT:** Impaktní kráter Steinheim (Steinheimer Becken) se nachází v jižním Německu, v oblasti Alb. Pánev má průměr 3,5 km, centrální vrcholek vysoký 50 m. Kráter vznikl před asi 15 miliony roků; zřejmě úzce souvisí s nedalekým velkým (25 km) kráterem Ries. Navštívíme geologické muzeum, seznámíme se s historií Steinheimu, pak s důležitými procesy při impaktu a nakonec se projdeme po naučné stezce.

Steinheim impact crater is located in the Southern Germany, in the Alb plateau. The basin is 3.5 km in diameter, the central uplift has a height of 50 m above the floor. The formation of the crater is dated approximately to 15 million years ago; probably it is closely connected with neighbour large (25 km) Ries crater. We will visit the geological museum, we apprise of Steinheims history, important impact processes and we will also go over the instructional path.

Steinheimer Meteorkrater liegt in dem Südlichen Deutschland, in der Swäbischen Alb. Das Becken hat einen Durchmesser 3,5 km, der Zentralhügel ist 50 m hoch. Der Krater ist vor 15 Millionen Jahren entstanden; wahrscheinlich ist es mit dem unweiten großen (25 km) Ries Krater im Zusammenhang. Wir werden das Meteorkrater-Museum besuchen, wir werden uns mit der Historie des Steinheims und mit den wichtigen Impaktprozessen vertraut machen. Zuletzt werden wir einen geologischen Wanderweg machen.

**Zeměpisná poloha.** Steinheimer Becken leží v jižním Německu (spolkové zemi Badensko–Württembersko), v Albské plošině, asi 30 km severně od Ulmu, 7 km západně od městečka Heidenheim am der Brentz (obr. 1). Přímo uvnitř pánve jsou



Obr. 1 — Poloha kráterů Steinheim a Ries.

vystavěny obce Steinheim am Albuch a Sontheim im Stubental. Zeměpisné souřadnice středu kráteru jsou  $10^{\circ} 4' \text{ v. d.}$ ,  $48^{\circ} 41' \text{ s. š.}$ , 541 m n. m.

Asi 40 kilometrů severovýchodně od Steinheimu se nachází kráter Nördlinger Ries.

**Doprava.** Do oblasti Steinheimu se můžeme z České republiky dopravit automobilem (např. směr Plzeň, Domažlice, Česká Kubice, Furth i Wald, Regensburg, Ingolstadt, Donauwörth, Nördlingen, Heidenheim); od hranic je to přibližně 250 km.

Vlakem obvykle jedeme z Prahy do Plzně, Chebu, Marktredwitz, Nürnberg, Donauwörth, Nördlingen, Aalen, Heidenheim.

**Morfologie.** Základní data shrnuje tab. 1. Tento *komplexní kráter* má průměr 3,4 km, současnou hloubku 100 až 200 m; centrální vrcholek (zvaný Klosterberg) převyšuje dno kráteru o 50 až 55 m.

střední průměr	3400 m
průměr centrální vyvýšeniny	1000 m
výška okraje kráteru	640 m n. m.
dno pánve	~ 525 m n. m.
centrální vrcholek	578 m n. m.

Tab. 1 — Zeměpisné údaje o Steinheimské pánvi.

**Geologická situace.** Přehledná geologická mapa je na obr. 14; geologický řez Steinheimem je zobrazen na titulní straně.

Steinheimský kráter se nachází při jižním okraji sedimentárního pokryvu epivariské platformy. Hluboké podloží zde tvoří zvrásněné horniny podobné např. šumavským, a toto podloží je překryto nezvrásněnými a víceméně vodorovně uloženými sedimenty nejmladších prvohor a druhohor, viz popis k obrázku na obálce.

V oblasti Steinheimu pozorujeme: i) *přemístění bloků* malmským vápenců a vytvoření kruhového valu; ii) *centrální vrchol*, kde vystupují (starší) horniny doggeru, vyvýšenina je však zřetelná i v podložních vrstvách až do hloubky 400 m; iii) vznik vápencových *brekcií*, případně jejich vyvržení a dopad zpět do pánve — fall-back brekcie o mocnosti až 50 m, často v nich nalézáme *nárazové kužele*; iv) v horninách s křemenem jeho *vysokotlaké modifikace* (minerály coesit a stišovit).

Na svazích kráteru a centrálního vrcholku se nacházejí třetihorní jezerní sedimenty, o mocnosti 20 až 30 m, často s hojnou fosilní faunou a flórou.

V nejnižší části pánve jsou uloženy čtvrtohorní jíly a šterky.

### Vznik a vývoj impaktního kráteru

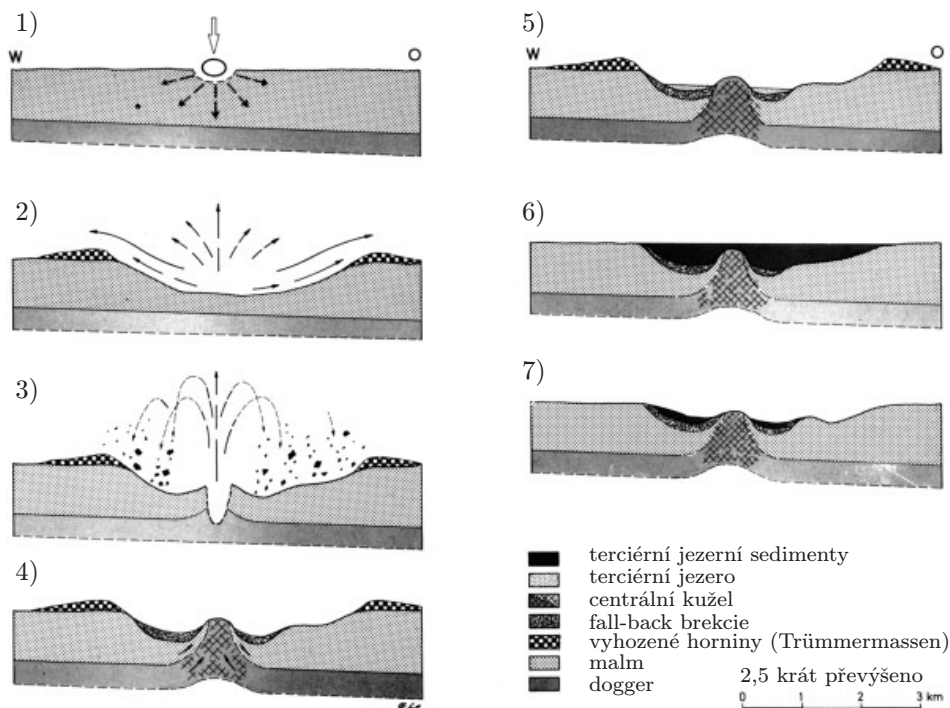
Výše uvedená pozorování dobře vysvětluje následující scénář (sledujte též schéma na obr. 2):

- 1) Před 15 miliony roky (tj. v třetihorách) dopadl do oblasti Schwaben Al-  
buch *meteorit* o průměru asi 80 m, rychlostí 20 až 25 km/s. Meteorit byl  
pravděpodobně kamenný (s hustotou okolo 3 g/cm<sup>3</sup>). Kinetická energie  
( $E_k = \frac{1}{2}mv^2 = \frac{2}{3}\pi R^3\rho v^2$ ) je řádu 10<sup>17</sup> J (tj. ekvivalent asi 10 megatun trinit-  
rotoluenu neboli tisíce Hirošimských atomových bomb). Atmosférou proletěl  
za pouhé 2 s (vůbec se v ní nestačil zabrzdit) a zabořil se několik set metrů  
do malmských vápenců.

Rázové vlny se začaly šířit jak podložními horninami, tak samotným me-  
teoritem (v opačném směru) — ty způsobí stlačení horniny (tlak ~ 100 GPa  
v centru vede ke zmenšení objemu až na ~ 1/4 původního objemu) a její  
zahřátí (na 10<sup>4</sup> °C). Fyzikální podmínky v místě velkého impaktu shrnuje  
obr. 3.

V horninách probíhají vysokotlaké přeměny některých minerálů, napří-  
klad z SiO<sub>2</sub> vzniká coesit a stišovit (jsou pro impaktní struktury typické).

- 2) Vypařený meteorit exploduje. Rozpínající se plyny způsobí přemístění nebo  
*výhoz* (ejekci) velkého objemu hornin (zmiňovaných malmských vápenců) a  
vytvoření kruhového valu. Vytvoří se tak kráter, jehož průměr je řádově  
20 krát větší než průměr původního meteoritu.
- 3) Následuje výhoz materiálu z centra kráteru a opětovné uložení vyhozených  
hornin na dno kráteru a okolí. Při průchodu šokové vlny byly horniny podr-  
ceny a vznikly z nich brekcie; typicky se v nich vyskytují nárazové kužele  
(angl. shatter-cones, obr. 4). (Jsou pokládány za jeden z důležitých důkazů  
impaktní hypotézy.)
- 4) V pozdní části impaktu nastává opětovné *rozeznutí* (relaxace) stlačeného  
podloží. Tím se ustaví centrální vrchol a na povrch se dostanou doggerské  
vápence (maximální výzdvih činí několik set metrů). Pohyby hornin skončí  
po několika minutách.
- 5) Do vzniklé sníženiny pronikne podzemní voda a během krátké doby vznikne  
*jezero*. Začíná snos vyhozených hornin valu kráteru a jeho postupné zaplňo-  
vání sedimenty. Do oblasti kráteru se rychle vrací život; tehdejší prostředí  
mělo charakter savany s napajedly. Během existence jezera, tj. asi 1 milion  
let, se ve vodním prostředí vyvíjejí nové druhy plžů.
- 6) Ještě v terciéru dojde k *vyplnění* kráteru jezerními sedimenty a zániku jezera.
- 7) Formování Steinheimu do současné podoby je podmíněno činností řek a le-  
dovce v kvartéru. Tehdy došlo k částečnému odnosu terciérních jezerních  
usazenin a kráter s centrálním vrcholkem je opět zřetelně viditelný na zem-  
ském povrchu.



Obr. 2 — Schéma formování Steinheimské pánve: 1) dopad meteoritu před (15,1 ± 0,1) My, šíření rázové vlny; 2) vznik kráteru při explozi meteoritu, výhoz hornin a vytvoření valů; 3) výhoz z centra a opětovné ukládání brekcií na dno kráteru; 4) výstup centrálního kužele při relaxaci; 5) průnik podzemní vody a vznik jezera, začátek eroze valů a sedimentace na dně jezera; 6) vrchol vyplňování kráteru v terciálu; 7) ustavení dnešní podoby Steinheimu při kvartérní říční erozi.

**Datování a souvislost s Riesem.** Čas dopadu Steinheimského meteoritu lze odhadnout z nejstarších třetihorních fosilií, které vznikly při jezerní sedimentaci — vychází přibližně 15 milionů roků (svrchní torton, tj. stratigrafický stupeň miocénu, mladších třetihor).

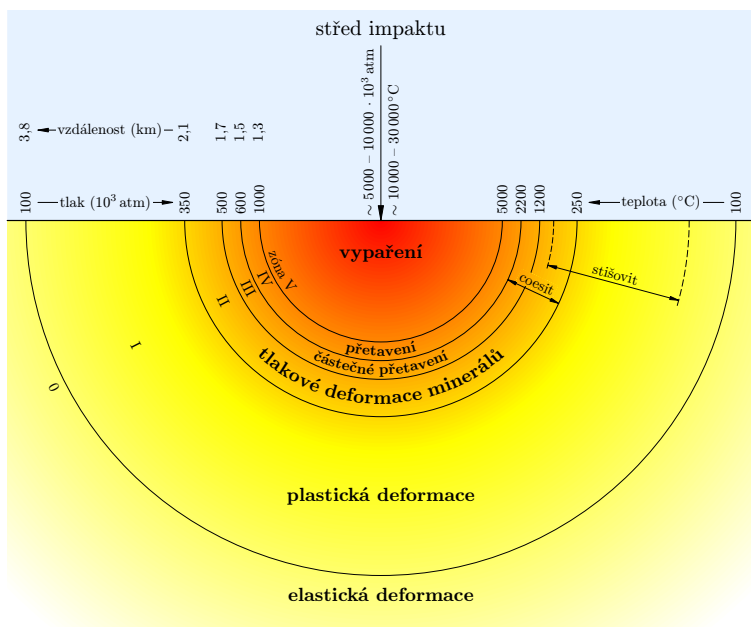
Mocnost platformního pokryvu je zde větší než v Riesu, impaktující těleso bylo naopak menší, což dohromady vedlo k tomu, že při impaktu zde nebyly, na rozdíl od Riesu, přeměněny nebo vyvrženy horniny krystalinického podloží. Ve vápencích nevznikají skla (jako v rieském suevitu) a není tedy možné užít přesnější radiometrická datování vzácných plynů, které v nich bývají uzavřeny.

V každém případě vychází věk kráteru ve Steinheimu zhruba týž jako v případě většího „souseda“ Nördlinger Ries (o průměru 25 km). Pravděpodobnost nezávislého dopadu dvou takto velkých meteoritů (průměry 80 m a 1 km) v krátkém časovém období (daném chybou datování Steinheimu) a tak blízko sebe (40 km)

je velmi malá. Proto tvrdíme, že krátery vznikly prakticky současně. Buď se mateřské těleso rozpadlo slapových působením Země, nebo se Země srazila s dvojplanetkou.<sup>1</sup> V tom případě lze vznik datovat podle Riesu na  $(15,1 \pm 0,1)$  My [11].

**Vltavíny.** S Riesem jsou spojené vltavíny (moldavity) — lahvově zelená křemičitá skla, jejichž naleziště jsou především v jižních Čechách, jižní Moravě, menší plochy i v Německu (okolí Drážďan) a v Rakousku (Horn). Obsahují až 85 %  $\text{SiO}_2$ , 10 %  $\text{Al}_2\text{O}_3$  a oxidy prvků Fe, Mg, Ca, Na, Mn a K; svým složením se liší od všech známých druhů meteoritů a vulkanických skel.

Pravděpodobně vznikly v první fázi rieského impaktu přetavením povrchových (terciérních) písků (svrchní sladkovodní molassy); ještě tekuté byly transportovány vzduchem, utuhly a dopadly na stovky kilometrů vzdálená primární naleziště (obr. 13). Souhrnně se tento druh impaktních skel nazývá *tektity*. Později byly vltavíny korodovány, čímž vznikla jejich typická skulptace, a případně přemístěny řekami na naleziště sekundární.



Obr. 3 — Šoková metamorfóza při impaktu; tlaky, teploty a některé minerální transformace. Rozdělení na 6 zón podle klesajícího tlaku a vlivu na horniny: V) vypaření, IV) přetavení, III) částečné přetavení, II) tlakové transformace minerálů, I) plastická deformace, 0) elastická deformace. Podle [7].

<sup>1</sup> Podíl dvojplanetek mezi blízkozemními tělesy se odhaduje na 10 až 20 % [8].

## Muzeum v Sontheimu

Prohlídku geologického muzea v Sontheim im Stubental můžete uskutečnit každý den mimo pondělí od 9 do 12 h a od 14 do 17 h. Přestože má muzeum jen 2 místnosti, počítejte s 1 až 2 hodinami na jeho důkladnou prohlídku. Můžete zde zakoupit i některé publikace a mapy uvedené v referencích. Adresa: Meteorkrater Museum, Hochfeldweg 4, 89 555 Steinheim am Albuch, Ortsteil Sontheim, tel. +49 7329 960656.

Již ve vstupní chodbě narazíte na působivý třírozměrný obraz Steinheimského kráteru, ukazující, jak místo vypadalo v období existence jezera (tj. v třetihorách), včetně tehdejší flóry a fauny.

První část expozice je věnována vzniku samotného kráteru, historii jeho geologického výzkumu, souvislostem meteoritů s meziplanetární hmotou, porovnání s jinými impaktními krátery na Zemi (zvláště s Barringerovým kráterem v Arizoně v USA a kráterem Nördlinger Ries). Vystaveny jsou ukázky různých druhů meteoritů (3 chondrity, 1 pallasit a 2 oktaedrity) a malá sbírka nárazových kuželů z Evropy, Severní Ameriky a Austrálie (obr. 4).



Obr. 4 — 30 cm velký nárazový kužel ze Steinheimu, vystavený v muzeu meteorického kráteru.

Druhá místnost nabízí podrobnou exkurzi jezerním obdobím: desítky fosilií třetihorních rostlin, plžů, ryb, želv, žab, ptáků, malých hlodavců i vyšších savců jsou důkazem bohatého života ve vodách jezera i v okolí jeho břehů. Celkem bylo v oblasti nalezeno 230 druhů živočichů a 90 druhů rostlin. Zkameněliny nám dovolují blíže poznat i hydrologické poměry v jezeře — např. opakované



hromadné úhyny ryb by mohly nasvědčovat o dlouhodobém kolísání hladiny jezera (a následném nedostatku O<sub>2</sub> v hloubce).

Doslova světoznámými fosiliemi ze Steinheimu jsou plži (převážně rodu *Gyraulus*; obr. 5). Poprvé se o „záhadných“ schránkách zmiňuje už Rosinus Lentilius v roce 1709, ale první zprávy o tom, že se skutečně jedná o zkameněliny plžů byly publikovány až roku 1824, o více než 100 let později. V roce 1867 *Frantz Hilgendorf* publikoval jejich vývojový diagram a podpořil tak na základě paleontologických nálezů Darwinovu teorii o vývoji druhů přírodním výběrem. (V jeho době byl však objev odmítán.)



Obr. 5 — Schránky plžů rodu *Gyraulus* nalezené na Phaornische Sandgrube (v lese nad oploce-  
nou částí naleziště); 2 krát zvětšeno.

## Literatura

- [1] Artemieva, N., Pierazzo, E., Stöeffler, D.: *Numerical modeling of tektite origin in oblique impacts: Implications to Ries-Moldavites strewn field*. Bull. of the Czech Geological Survey, **77**, 4, 2002, s. 303–311.
- [2] Brož, M.: *Impaktní krátery (2) — Ries*. Povětroň 5/2001, s. 6–13.
- [3] *Geologischer Wanderweg im Steinheimer Becken*.  
<http://www.pg.aa.bw.schule.de/aktiv/geoproj/sbecken/wanderfr.htm>
- [4] Groschopf, P.; Reiff, W.: *Der geologische Wanderweg im Steinheimer Becken*. Steinheim am Albuch, 1993.
- [5] Chlupáč, I. aj.: *Geologická minulost České republiky*. Academia, Praha, 2002.
- [6] Kavasch, J.: *The Ries Meteorite Crater. A geological guide*. Ludwig Auer GmbH, Donauwörth, 1985.
- [7] Pösges, G., Schieber, M.: *The Ries Crater – Museum Nördlingen*. Verlag Dr. Friedrich Pfeil, München, 1997.

- [8] Pravec, P. aj.: *Two-Period Lightcurves of 1996 FG3, 1998 PG, and (5407) 1992 AX: One Probable and Two Possible Binary Asteroids*. *Icarus*, **146**, 1, 2000, s. 190–203.
- [9] *Rieskrater–Museum Nördlingen*.  
<http://www.iaag.geo.uni-muenchen.de/sammlung/Rieskrater/RieskraterMuseum.html>
- [10] Skála, R.: *Impact process: An important geological phenomenon*. *Acta Mus. Nat- Pragrae, Ser. B., Hist. Nat.*, **52**, 1996, s. 111–156.
- [11] Staudacher, T. aj.:  *$^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$  ages of rocks and glasses from the Noerdlinger Ries crater and the temperature history of impact breccias*. *J. of Geophysics*, **51**, 1, 1982, s. 1–11.
- [12] *The Ries / Steinheim impact crater field trip*.  
<http://www.earthsciences.ucl.ac.uk/research/planetaryweb/field/knodle.htm>

U muzea začíná naučná stezka — jejích 23 zastávek popisujeme v následujícím článku. Steinheimský kráter je bezpochyby jednou z nejkrásnějších přírodních památek; pojedete-li okolo, byla by neodpustitelná chyba se tu nezastavit!

## Geologická naučná stezka

Paul Groschopf, Winfried Reiff

Geologická naučná stezka začíná a končí u Muzea meteorického kráteru v Sontheimu (schematická geologická mapa s jednotlivými zastávkami je na obr. 14). Její délka je 6, popř. 9 km. V terénu je vyznačena červenobílými pruhy.

### 1 Muzeum meteorického kráteru

Viz poslední kapitolu v předchozím článku.

### 2 Bývalý lom Burgstall — vnitřní stavba okrajové zóny kráteru

V místě dopadu meteoritu se původně nacházely vodorovně uložené lavicovité vápence svrchní (bílé) jury, tedy malmského stáří, obsahující četné pazourkové hlízy. Při impaktu byly rozdrčeny na jednotlivé bloky hornin a ty byly buď vyhozeny, nebo vytlačeny z vnitřku kráteru k jeho okraji. Přitom došlo k tak silnému stlačení hornin, že byly místy změněny k nepoznání. Z dálky se nám jeví, jakoby Burgstall sestával jen ze samého vápence. Teprve při pozorném pohledu lze rozeznat podrcenou původní horninu ve formě nepravidelných poloh hrubě úlomkovité vápencové brekcie, obklopených drobně úlomkovitou brekcií, kterou zde přirovnávají k „vápencové krupici“. Mezi tím se nacházejí zbytky šikmo uložených deskovitých vápenců; většinou jsou podrcené, ale někdy také zvrásněné (obr. 6 a 7).



Obr. 6 — Bývalý kamenolom na Burgstallu. Odkryty jsou bloky zvrstvených deskovitě odlučných vápenců, v nichž jsou vrstvy různě zvrásněny nebo nadrobno rozdrceny. Foto Miroslav Brož.



Obr. 7 — Detailní snímek vápencové brekcie z Burgstallu; 2 krát zmenšeno. Foto Miroslav Brož.

### **3** Burgstall — pohled na Steinheimskou pánev

Z místa středověkého hradu, ze kterého se do dnešních dob dochovaly jen zbytky základů, má návštěvník téměř celou Steinheimskou pánev před sebou. Zalesněné výšiny na obzoru přibližně vyznačují bývalý okraj kráteru. Uprostřed

pánve se zvedá centrální pahorek Klosterberg, v jehož okolí byly vyzdviženy a následně obnaženy vápence a slínovce spodních partií svrchní jury i níže ležící hnědavé prachovce střední jury. Na polích západně od Sontheimu se nacházejí silně zvětřalé brekcie, vzniklé z materiálu, který po impaktu napadal zpět do kráteru. Jedná se o vápencové brekcie s nárazovými kužely. Na těchto horninách jsou vidět vějířovité nárazové trhliny — části tzv. kuželů tříštění (angl. shattercones). Úzká průrva podél okraje pánve mezi Sontheimem a údolím Stubental vznikla později, v pleistocénu (starších čtvrtohorách), a je samozřejmě mladší než meteorický kráter. Řeka v údolí Stubental se zařízla podél hranice nakupené sutě do neporušených vápencových vrstev. Údolí proto probíhá obloukem kolem Steinheimské pánve.

#### **4 Vysoký záhon — staré údolní dno**

Sníženinu vyhloubila řeka, tekoucí v minulosti v údolí Wental. Ta koncem terciéru nebo ve starším pleistocénu na tomto místě prořízla okraj pánve, tvořený nakupenou sutí a stala se přítokem tehdy ještě existující řeky v údolí Stubental. Svědky toho starého říčního toku jsou oblázky svrchnojurských pazourků, ležící na terciérních nánosech.

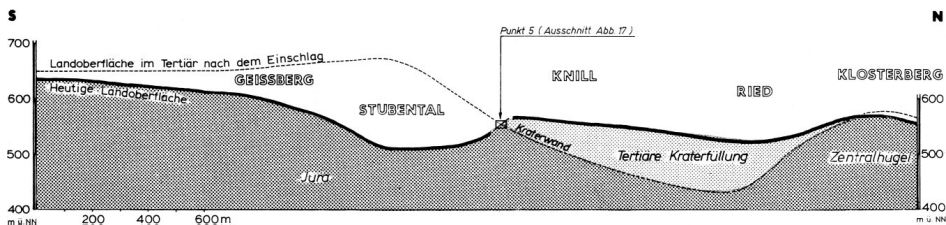
#### **5 Jižní svah Knillu — stěna kráteru**



Obr. 8 — Lokalita Knill; rozhraní mezi lavicovitými vápenci a fall-out brekcií. Foto Miroslav Brož.

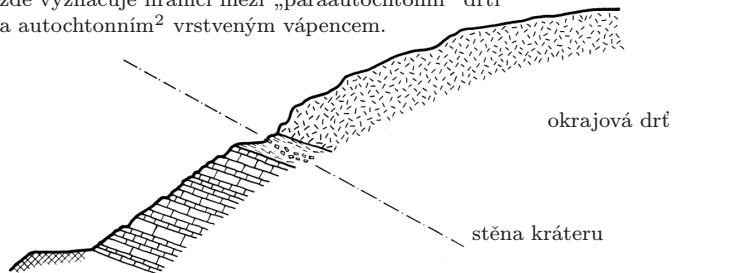
Tento odkryv se zařezává do někdejšího kráterového svahu. Pro laického pozorovatele není situace bez bližšího vysvětlení příliš srozumitelná, neboť někdejší

svah kráteru se do severního svahu údolí Stubental, tedy na jižní úbočí pahorku Knill, promítá pouze jako linie. Obr. 9 ukazuje, jak je třeba si představit polohu bývalého kráterového svahu v dnešním svahu údolí Stubental. Tam, kde původní svah kráteru (vyznačen tečkovanou čarou) dosahuje třetihorního povrchu země (před dopadem meteoritu), se nacházel okraj kráteru. Řeka v údolí Stubental se později zařizla přibližně podél okraje kráteru. Tím se vysvětluje oblouk údolí Stubental na jihu Steinheimské pánve.



Obr. 9 — Řez jižní polovinou původního kráteru a dnešní Steinheimské pánve a dále k ní se připojujícím Stubentalem. Převzato z [4].

Silně narušený slínovec (vhodný k výrobě cementu) zde vyznačuje hranici mezi „paraautochtonní“ drtí a autochtonním<sup>2</sup> vrstveným vápencem.



Zvrstvené vápence, skloněné tak, že zapadají do svahu. Azimut úklonu je 15 až 20 stupňů a sklon zdánlivě odpovídá původnímu svahu kráteru. Ve skutečnosti jsou azimut úklonu i sklon odlišné (viz text). Vápence nejsou rozdrčené, narozdíl od výše ležících brekcií.

Obr. 10 — Jižní svah Knillu, okraj kráteru. Převzato z [4].

V odkryvu jsou obnaženy vrstvy deskovitých vápenců, tvořící polohy ve slínovcích. Tyto vrstvy byly při impaktu nakloněny. Azimut jejich úklonu je 150° až 200°. Sklon deskovitých vápenců ale neodpovídá sklonu ani azimutu kráterového

<sup>2</sup> v původním uložení

svahu. Azimut bývalého svahu kráteru je v těchto místech 250° až 300° a sklon je poněkud strmější (obr. 10). Deskovité vápence nejsou příliš zvětralé, což svědčí o tom, že nejsou součástí kráterové výplně. Uprostřed odkryvu je nažloutlý slín se slabě zvětralými lavicemi vápence. V jejich nadloží, až do úrovně hřbetu Knillu, se nacházejí brekcie ze silně drčeného zvětralého svrchnojurského vápence. Tyto vápence byly při impaktu vytlačeny nebo vyvrženy z vnitřku kráteru k okraji. Jsou součástí kráterové výplně.

## **6** Lesík na Knillu

Strana k údolí Stubental (jižní): Balvany vyvětrávající ze svahu jsou brekcie svrchnojurských vápenců. Tyto vápence byly při nárazu vyvrženy či vysunuty směrem k okraji kráteru (viz bod 2 a 5).

Strana ve směru ke kráteru (severní): Toto místo je obrazem okraje kráterového jezera. Tvoří jej třetihorní sedimenty, zčásti slepence sladkovodního vápence s plži.

## **7** Východní svah Knillu — Brenztal–Trümmeroolith

Naleziště brenztalských sutí oolitických vápenců se nachází už mimo kráter. Je tvořeno mocnou polohou pleistocénní (svahové) sutí, kterou přetíná násep cesty. Úlomky jsou tvořeny oolitickým vápencem, tedy vápencem tvořeným drobnými vápencovými konkracemi o průměru 0,2 až 0,8 mm — oolity. Vápenec obsahuje též úlomky zkamenělin, převážně mořských lilijic a ježovek. Zdejší horniny vznikly v protáhlé sníženině, zalité mořem v titónu (nejmladším věku svrchní jury, před přibližně 150 miliony lety).

## **8** Lerztäle

Zde byl v pleistocénu kráterový val proražen řekou, tekoucí Wentalem. Směr jejího toku byl předurčen přítomností málo soudržných hornin (slínovců a horninových drtí), do kterých řeka mohla snadno zahloubit svoje koryto.

Mezi Finkenbuschem na východní straně kráteru a Galgenbergem byly pod kvartérní výplní údolí navrtány slínovce (tiZ), které se zde nacházejí o 60 až 70 m hlouběji než v okolí. (Možná se jedná o sníženinu vzniklou při nárazu meteoritu.)

## **9** Finkenbusch

Nad náspem cesty se nacházejí výchozy svrchnojurských vápenců, zde tvořených příbojovou facií řasového útesu. Obsahují velké množství úlomků ježovek, lilijic a dalších zkamenělin.

Velké bloky na svahu nad tímto výchozem jsou tvořeny zvětralými, částečně prokřemenělými svrchnojurskými vápenci. Pocházejí z kráterového valu a v době ledové byly opakovaným promrzáním a táním půdy přemístěny po svahu dolů. K prokřemenění těchto brekcií došlo teprve v průběhu jejich zvětrávání ve třetihorách (viz bod 20).

## **10 Galgenberg**

Galgenberský výchoz je tvořen chaoticky nakupenými bloky vápenců středně a svrchněmalmského stáří, které byly značně tlakově postiženy při impaktu. Jde tedy o horniny odlišné od sutí kráterového valu, které se nacházejí v údolí Burgtall. Svisle vztyčené i šikmé vápencové desky s vyvětralými rohovcovými hlízami, které vidíme v galgenberském lesíku, poskytují působivý obraz enormních sil, které zde při impaktu působily. Vztyčené vápence galgenberského výchozu jsou možná projevem nedokonale vytvořené kruhové tektonické struktury, která je typická pro tzv. komplexní impaktní krátery.

## **11 Zářez cesty na severním Galgenbergu**

Východní strana: Šikmo vztyčené a ke středu pánve ukloněné slabě zvětralé lavicovité vápence (tiL).

Západní strana: Značně zvětralé až písčité rozvětralé podložní lavicovité vápence, jejichž zvrstvení již není rozeznatelné.

## **12 Jižní Galgenberg**

V území mezi galgenberským výchozem a Knillem je jedno z mála míst, kde bylo možné prokázat na povrchu země drť, vyvrženou z kráteru. Leží zde jako tenký pokryv zvětralých svrchnojurských vápenců.

## **13 V bažině**

Název pláň upozorňuje na kyselé bažinaté půdy, které vznikly na vododržných nánosech bývalého kráterového jezera.

Vrt 22 poskytl následující profil: 4 m kvartérní hlíny; 20 m terciérních sedimentů: vápnitý organogenní jíl a vápenec; 68 m brekcie, vytvořené z hornin napadaných zpět do kráteru: svrchní a střední jura. V hloubce 92 m bylo dosaženo dna impaktního kráteru. To je tvořeno rozdrčeným lavicovitým vápencem z bílé jury.

## **14 Klosterberg**

Klosterberg tvoří centrální vyvýšeninu Steinheimské pánve. Stavební výkopy a vrty ukázaly, že vrstvy báze svrchní a střední jury (malmu a doggeru) byly rozdrčeny na bloky a tyto byly při relaxaci v pozdní fázi impaktu vytlačeny až k povrchu. Maximální výzdvih nejhlubších vrstev střední (hnědé) jury činí asi 380 m. Ta tvoří jádro centrálního vrcholku, kolem něhož je místy vyvinut plášť z hornin spodního malmu. Klosterberg je tvořen vrstvy vyvýšených a roztržštěných hornin. Vrstvy jsou ukloněny ven, ve směru od centrálního pahorku. V samotném jádru se nachází bloková brekcie, ve které jsou jednotlivé úlomky vztyčeny převážně svisle, což je patrné podle jejich původního zvrstvení. Teprve v hloubce několika set metrů vrstvy přecházejí do šikmého uložení (obr. na titulní

straně). Při stavebních pracích byly v centrálním pahorku nalezeny nárazové kužele (obr. 4), místy ve velkém počtu, a vyhojená rostra belemnitů. V okrajových partiích centrálního pahorku leží nad brekcii (tedy zpět do kráteru spadlými vyvrženinami) vápencové písky s četnými schránkami mlžů a vápnitý organogenní jíl až jílovitý písek. Obě tyto usazeniny jsou dokladem někdejšího třetihorního jezera.

### **15** Steinhirt — nejvyšší vyvýšenina Klosterbergu

V mělké vodě okolo centrálního pahorku našly řasy vylučující uhličitán vápenatý tak příznivé životní podmínky, že zde vytvořily až 10 m vysoké útesy (nyní vystupující jako suky).

Biochemickými procesy byl v útesech vytvořen radiálně paprscitý hedvábně lesklý aragonit, kosočtverečná modifikace uhličitánu vápenatého. Řasový vápenec a aragonit byly dříve mylně považovány za usazeniny termálních pramenů, které měly poukazovat na předpokládaný vulkanismus. Většina vápencových útesů byla v minulém století vytěžena a rozdrčena na šterk pro železnici v Brenztalu. Posledním svědkem bývalé přírodní krásy je Wäldlesfels na Steinhirtu (obr. 11).



Obr. 11 — Steinhirt, vápencová skála na centrálním vrcholu kráteru. Foto Miroslav Brož.

### **16** Lettenhülbe — jíloviště

Uměle vytvořená tůň v nepropustných opalinových vrstvách (regionální označení pro určité slinité břidlice) spodního doggeru. Je napájena podzemní vodou



z okolních prachovců. V této sníženině, jedné z mála vodních ploch v suchém Ostalbu, se vytvořilo specifické rostlinné společenství se vzácnou Vachtou trojlistou (*Menyanthes trifoliata*). Sníženinu také vyhledávají ropuchy i jiné žáby a mloci jako místo k rozmnožování.

### **17** Pharionská pískovna

Pharionská pískovna je světoznámé naleziště fosilií. Dnes je vyhrazeno pouze pro povolené vědecké sběry, které jsou zde prováděny od roku 1969. Systematická ochrana naleziště umožnila podstatně rozšířit naše znalosti o více než 13 či 14 milionů let starém živočišném a rostlinném světě svrchního miocénu. Nálezy jsou vystaveny v Muzeu meteorického kráteru.

„Šnekové písky“, které se nacházejí v pískovně, dostaly své jméno podle hojně se vyskytujících ulit fosilních plžů. Jedná se nejčastěji o malé ploché ulity rodu *Gyraulus* (obr. 5). V písku se nacházejí malé „tácky“ řas (*Stotzen*) s hnědavým aragonitem a vápencovými deskami s bělavým až namodralým „prokřemeněním“; ve skutečnosti se však jedná o inkrustaci chalcedonem, dříve označovaným jako opál. Na cestě ze Steinhirtu kolem válečného památníku k pískovně se v půli svahu nachází informační tabule pro sběratele.

### **18** Pohled na Steinhirt

Skupina skal na výšině Steinhirtu je žalostným zbytkem kdysi působivého věnce řasového vápence (viz zastávka č. 15), který kdysi obklopoval centrální pahorek. V roce 1860 byl totiž odtěžen na šterk pro stavbu železnice v Brenztalu. Část výchozu tohoto sladkovodního vápence spočívá na nepropustných doggerských prachovcích. Ty tvoří místní izolátor, takže prosakující dešťová voda se shromažďuje na rozhraní vápence a prachovce a poté vyvěrá malým pramenem.

### **19** Sontheim — v bažině

Vrt provedený v tomto místě dosáhl dna kráteru v hloubce 70,5 m. Výše se nachází 36,5 m mocná poloha brekcie, vytvořené horninami napadanými zpět do kráteru. V jejím nadloží se nacházejí třetihorní vápnité organogenní jíly a vápence o mocnosti 25,5 m — usazené v kráterovém jezěře. Nejmladším členem profilu jsou kvartérní šterky, přinesené řekou tekoucí v údolí Wental, o mocnosti 8,5 m.

### **20** Schäfhalde

Suť malmského vápence nad okrajem kráterové sníženiny je místy silně prokřemenělá. Od neprokřemenělé suti ji rozeznáme většinou už zdálky podle silnějšího mechového porostu. Dalším příznakem jsou porézní, často hnědavě zbarvené kůry z kysličníku křemičitého. Vznikly usazením  $\text{SiO}_2$  v trhlinkách vápence. Ve čtvrtohorách byl při zvětrávání vápenec rozpuštěn, a zůstala křemičitá kostra. K prokřemenění suti došlo během zvětrávacích procesů v terciéru, kdy bylo tepleji

než dnes a kysličník křemičitý lépe migroval v horninovém prostředí. V průběhu kvartéru byly i velké bloky této horniny přemístěny po svahu dolů vlivem *soliflukce*, tedy střídavého promrzání a tání svahových usazenin do velké hloubky (zastávka č. 9).

## **21** Schäfhalde

V lese leží bloky brekcie, vytvořené z vyhozeného materiálu, který byl spláchnut z okraje kráteru do jezera na dně, kde spolu s terciárními usazeninami opět sedimentoval.



Obr. 12 — Bloky malmského vápence vyhozené při impaktu.  
Foto Miroslav Brož.

## **22** Zanger Berg

Ve spodní a střední části zářezu do svahu se nacházejí polohy třetihorních brekcií, které vznikly stejným způsobem jako brekcie na zastávce č. 21.

## **23** Hirschtal — západně od hostince

Tak jako téměř všude na okraji kráteru jsou i zde silně narušené vápence malmského stáří. Místy lze rozeznat i svisle vztyčené vrstvy vápenců, viz zastávky č. 2, 10 a 11.

Překlad části publikace „Der geologische Wanderweg im Steinheimer Becken“, autoři Paul Groschopf a Winfried Reiff, Steinheim am Albuch, 1993, s. 22–30. Přeložil Jiří Kult, odborná spolupráce Jiří Šura, Východočeské muzeum v Pardubicích.

Obr. 13 — Simulace tvorby tektitů při rieském impaktu (situace 2 s po dopadu; měřítka na osách jsou v km). Byl předpokládán meteorit letící rychlostí 20 km/s, z výšky 30° nad horizontem. Červená barva znázorňuje roztavený povrchový křemičitý materiál (tj. možné tektity), žlutá roztavený a černá pevný materiál z hlubších vrstev. Převzato z [1].

**kvartér = čtvrtohory**

holocén (0,01 Ma)  
pleistocén (1,8)

**terciér = třetihory**

neogén (24)  
paleogén (65)

**mezozoikum = druhohory**

křída (140)  
*jura* (200)  
*trias* (250)

**paleozoikum = prvohory**

perm (298)  
karbon (354)  
devon (410–17)  
silur (440)  
ordovik (490)  
kambrium (545)

**proterozoikum = starohory**

(2500)

**archaikum = prahory**

(4600)

*jura*

svrchní = malm  
tithon (~ 135–144 Ma)  
kimmeridž  
oxford

střední = dogger

callov  
bathon  
bajok  
aalen

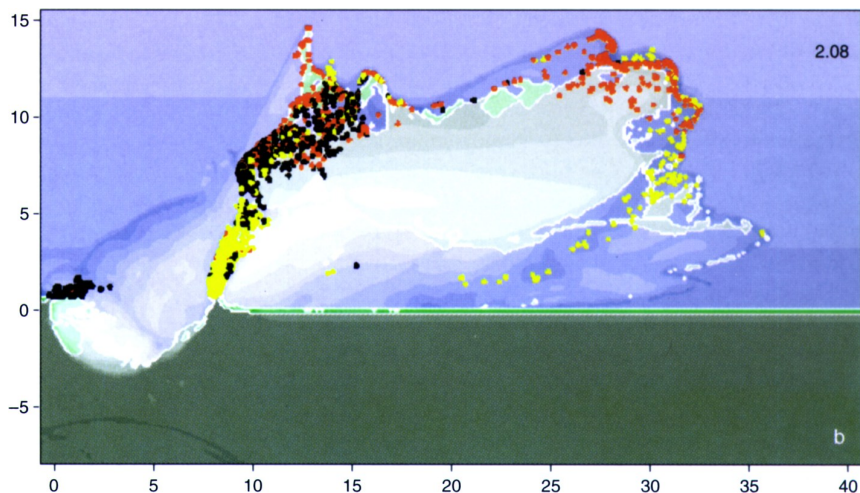
spodní = lias

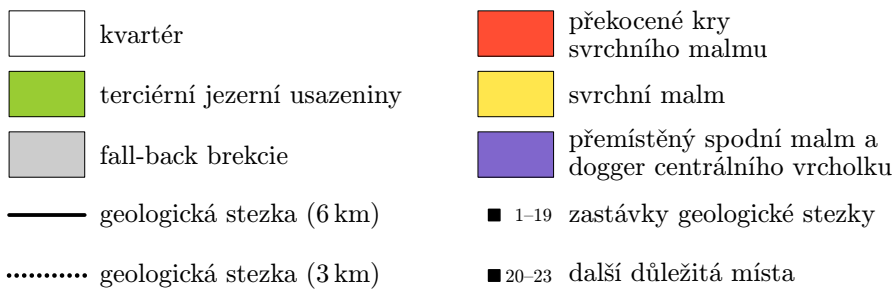
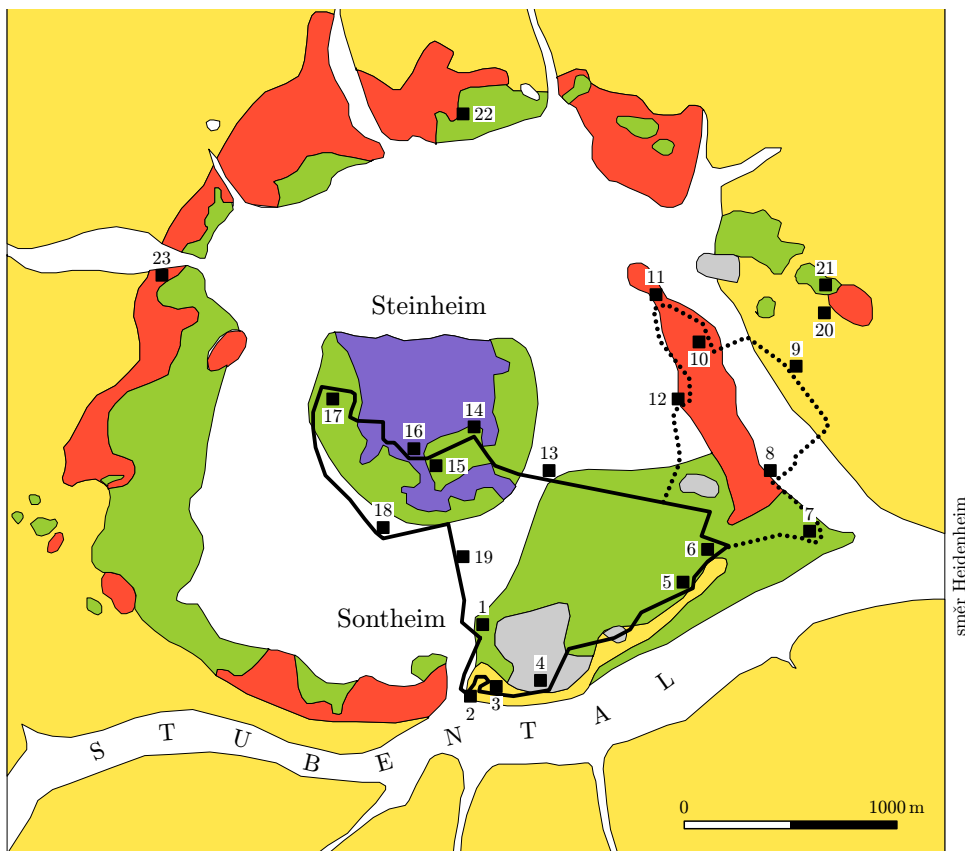
toark  
pliensbach  
sinemur  
hettang (~ 206)

*trias*

svrchní  
sřední  
spodní = scyth

Tab. 2 — (a) Geologické éry a útvary (v závorce je uváděn začátek útvaru v Ma). (b) — Základní stratigrafické dělení jurského a triasového útvaru (na oddělení a stupně). Zjednodušeno podle [5].





Obr. 14 — Přehledná geologická mapa Steinheimu s vyznačenou naučnou stezkou. Podle [4].