



Urbane Mikrometeoriten (MM) Sternenstaub in Perfektion

*Vortrag Astronomische Vereinigung Aarau
Fachgruppe Meteorite
28. August 2024, Daniel Thommen*

Inhalt

Einleitung

1. Pioniere
2. Entstehung MM
3. Wo man sie findet
4. Wie man sie findet
5. Dokumentation
6. Was wir nicht suchen
7. Typisierung MM
8. MM im Detail

Einleitung

Zu Mir:

- Daniel Thommen, Ramlinsburg BL, Feinmechaniker und Ingenieur in Pension
- Interesse an Fossilien, Mineralien, Musik, Motorradfahren, Sterne und Weltall
- Seit 2020 Suche Mikrometeorite
- Sammlung knapp 1000 Stück



1. Pioniere

Abkürzung MM = Mikrometeorite

- 1872-76 Meeresboden-Sammlung: Erste MM durch John Murray «Challenger-Expedition», Bestimmung durch chemische Analysen.
- Seit ca. 1980 technische Analysen für **Mikroteile**
- Ab 1988 Antarctica-Sammlung: Basis für die MM Typisierung durch Grange.
- Ab 2000 Gletscher Sammlungen (Eisschmelze)
- Mehr dazu: «**Micrometeorite collections: a review and their current status**» 13 May 2024

1. Pioniere (urbane MM)

Jon Larsen, Oslo (rechts)

- Maler, Musiker und Wissenschaftler
- 2015 Nachweis urbane MM

Jan Kihle, Oslo (links)

- Geologe und Entwicklungs-Wissenschaftler
- Fototechnik: hochauflösende Fotografie bis 10'000x.



***Gute Freunde, denen ich
diesen Abend widme!***

© alle Bilder sind von Jon Larsen und Jan Kihle, falls nicht anders vermerkt.

1. Pioniere (urbane MM)

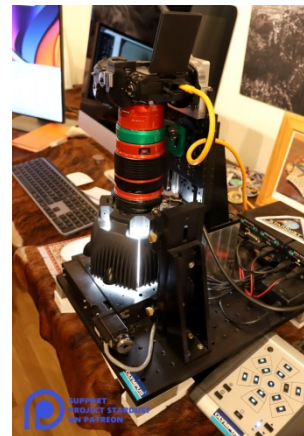
Ausgangslage schwierig:

- Die Wissenschaft: es ist unmöglich
- Grösse? Aussehen? Oberflächen? Farbe?
- Bisherige MM ohne optische Merkmale
- **Durchbruch 2015:** Nachweis urbaner MM's durch Jon Larsen / Analysen Matthew J. Gange London.
- Methoden Suche und Bestimmung
- Freie Publikationen aller Erkenntnisse
- «Mikrometeorite für Alle»



1. Pioniere urbaner MM

- 10'000 fache Vergrößerung der MM durch Kiehle / Larsen
- Erkennen optischer Merkmale
- Eindeutige Identifikations-Merkmale und Typisierung



© Jon Larsen, Jan Kiehle, Oslo

2. Entstehung MM

- Grossteil Masse interplanetaren Staubs sind MM
- Älteste Materie im All
- 20-40'000 to / Jahr kosmischer Staub erreicht Erdatmosphäre mit ca. 11-72 km/Sekunde!
- ca. 10% erreicht Erdoberfläche also ca. 2-4000 to/Jahr mit ca. 7 km/Stunde
- 1 MM mit $D=0.1\text{mm}$ / m^2 / Jahr
- Auffindbar: nur ein Bruchteil davon

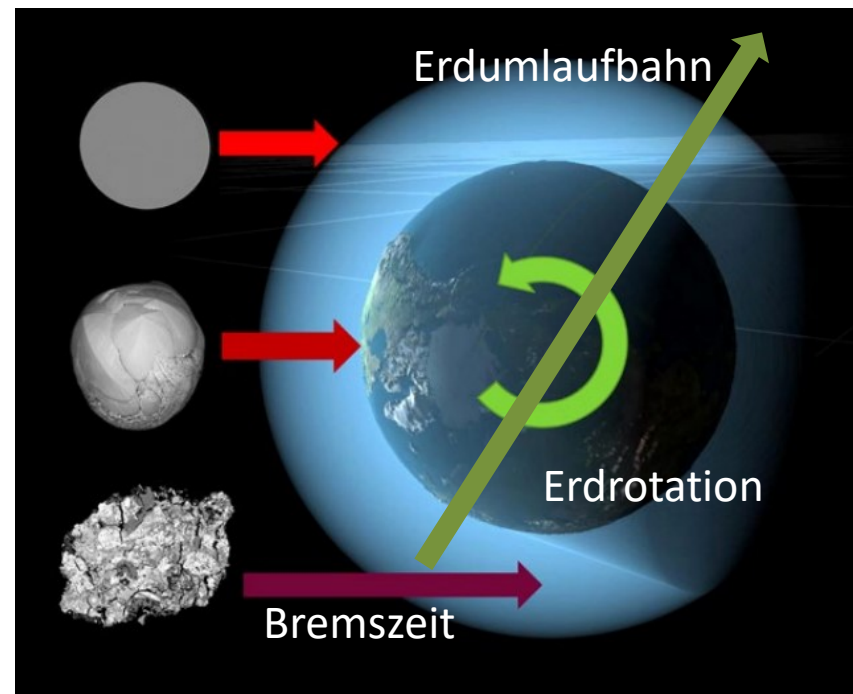


© Jon Larsen, Jan Kihle, Oslo

2. Entstehung MM

Faktoren Form, Typ:

- Zusammensetzung
- Eintrittswinkel / Geschwindigkeiten
- Eigenrotation
- Temperatur, Materialverlust, Fall-Dauer



© Jon Larsen, Jan Kihle, Oslo – Modifiziert D.Thommen

2. Entstehung MM

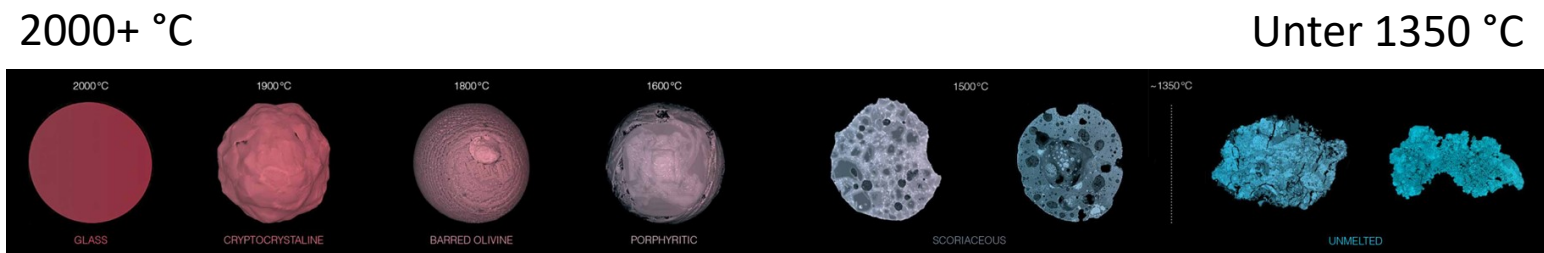
Eintritt in die Atmosphäre der Erde:

komplettes Aufschmelzen – inkl. Kernbereich

nur Oberfläche geschmolzen,

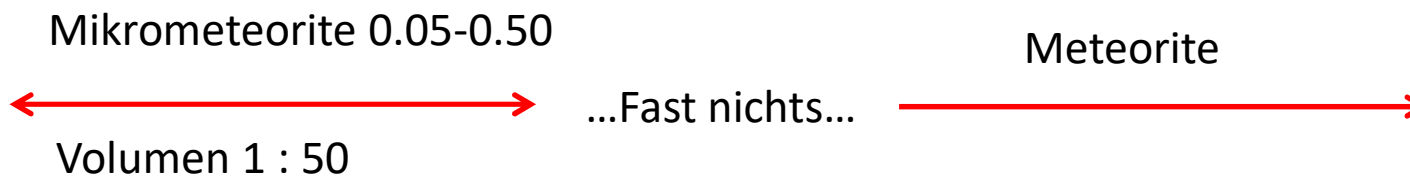
der Kern bleibt Ursprünglich

Dazwischen gibt es alle Varianten!



© Jon Larsen, Jan Kihle, Oslo

2. Entstehung MM



2. Entstehung MM

Herkunft:

- Erst wenige Analysen über die Herkunft von MM publiziert.
- Anzahl Spezialisten = Anzahl Meinungen!
- Noch wenig erforscht
- Am Wahrscheinlichsten wohl Kuipergürtel / Astroidengürtel Mars und Jupiter

3. Wo man sie findet

- Gletscherzungen – Schmelzzonen



© D.Thommen

3. Wo man sie findet

Strassen / Plätze:

- Verlauf
Entwässerung
- Feine Ablagerungen
- + Ungefährlich
- Sehr viel Material
- Sehr viel
Störmaterial
- Ungeziefer...
- Wenige MM



© D.Thommen

3. Wo man sie findet

Schulhaus Ramlinsburg

- Gerüst, Ziegeldach
- Sehr Steil
- 5-10 Jahre unberührt
- Wetterseite 1 MM
- Gegenseite 30 MM



© D.Thommen

3. Wo man sie findet

Simmental Alp

- Gefälle moderat
- Bodeneben, gross!
- Rinne mit Dellen
- Wetterseite zu hoch
- Diese Rinne 45 MM,



© D.Thommen



3. Wo man sie findet

Reiterhof / Rest. Eigenhof

- Gefälle Mittel
 - Höhe 3m!
 - Rinne mit Dellen/Rissen
 - Ca. 5-10 Jahre unberührt
 - Wetterseite 20 MM
 - Gegenseite 65 MM,
- > Material als Beispiel



3. Wo man sie findet

Eptinger Mineralwasser

- Kuppeldach
- Zugang ohne Leiter
- Viel nicht magnetischer Abrieb
- Erdalter MM max 6 Mt.
- Oberes Dach 30% MM
- Unteres Dach 70% MM
- Pro ½ Jahr ca. 70-80 MM



© D.Thommen

3. Wo man sie findet

Ungeeignete Dächer

- Eternit vor 1995 Asbest
- Viel magnetischer Abrieb!
- Sehr flache Neigung > Wind, Wetter
- Schwer zugänglich, hohe Dachrinnen

Beste Dächer

- Geringe Höhe (Sicherheit)
- Grossflächige Flachdächer
- Hochgezogene Fassade > Windschutz
- Alte verbogene Dachrinnen,
- Laubschutz



© D.Thommen

Beispiel:

Elternhaus meiner Frau:

5-10 Jahre letzte Reinigung

-0- MM gefunden

Mit Wind / Wasser verloren

4. Wie man sie findet

Entnahme schnelle Variante (Trocken)

- Dachrinne / Strasse: mit Magnet
- Flachdach: Wischen + Magnet
- Waschen - Trocknen - Fertig
- Mikroskop Suche MM
- + Wenig Aufwand, wenig Material
- Keine nicht magnetische MM
- nicht alle MM erfasst
- Nur bei nicht magnetischem Untergrund möglich



© Jon Larsen, Jan Kihle, Oslo

4. Wie man sie findet

Entnahme FEUCHT / NASS

- Dachrinne komplett reinigen
 - Flachdach wischen
 - Alles in Kessel / Glas mit H₂O
 - Nachreinigen Magnet / Papier
- + wesentlich höhere Ausbeute
+ bei allen Suchorten möglich
– Mehr Aufwand + Dreck



4. Wie man sie findet

Grobreinigung

- Kessel $\frac{1}{2}$ mit Wasser $\frac{1}{2}$ mit Dreck füllen
- Grobmaterial zerkleinern mit Sieb entfernen
- Vorgang wiederholen bis grosse Teile entfernt sind
- Ganze Masse via Grobsieb in neuen Kessel

Hinweis: Erstbefüllung mit heissem Wasser / Abwasschmittel



© D.Thommen

Abfall nach Grobreinigung

4. Wie man sie findet

Feinreinigung

- Wasser 1-2 Min. setzen lassen
- Ausleeren inkl. Biomasse oberster Teil > vorsichtig!
- Durchkneten dann Wasser
- Vorgang wiederholen bis Wasser sauber ist bis 12x

Hinweis: Entnahme von magnetischem Material vor der Feinreinigung Chance MM auch mit geringer Dichte zu erfassen > schwimmen oben auf



© D.Thommen

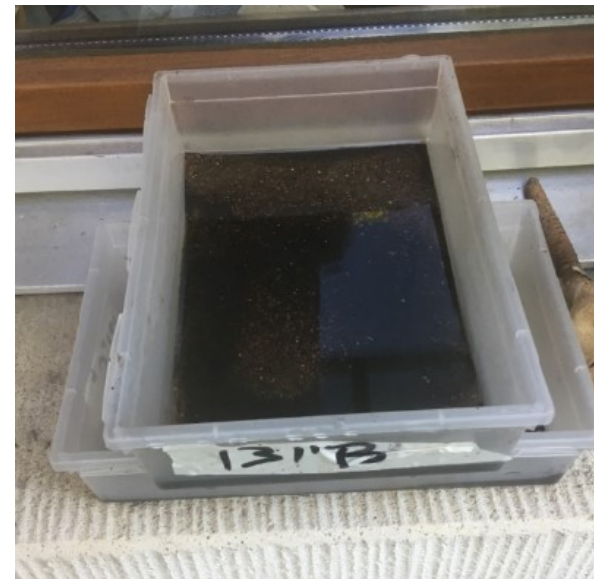
4. Wie man sie findet

Trennen magnetische Partikel

- Material in Kunststoffbehälter
- Dabei mit Feinsieb in 2 Fraktionen
- Mit Wasser füllen, ev. Nachreinigen
- Entnahme magnetischen Partikel > in Petrischale oder ähnlich
- Alles trocknen lassen
- Entnahme restliche magn. Partikel

Hinweis:

Bei der ersten Entnahme wird +60% der Partikel erfasst und vor Verlust gesichert



© D.Thommen

4. Wie man sie findet

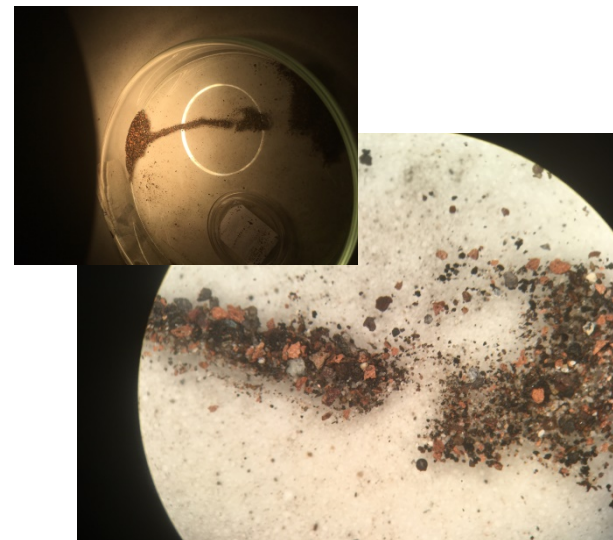
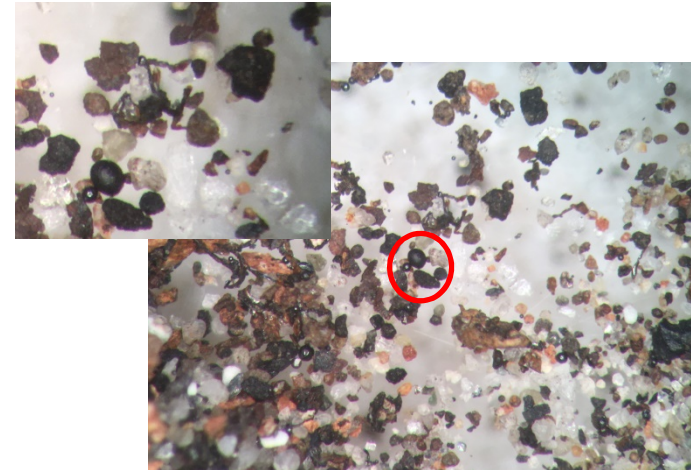
Suche nach MM

Feinsuche nach Larson:

- Fraktionieren mit sieben
- Flächig durchsuchen

Feinsuche durch Methode DT (ohne feine Fraktioniersiebe):

- Suchlinie bilden
- Begrenzte Anzahl Teile im Blickfeld
- Sichere Suche und Ablage



4. Wie man sie findet

Mikroskop, Grenzen der Suche:

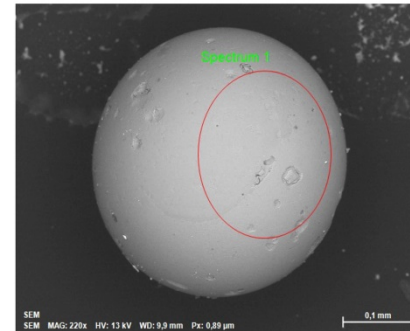
- 0.05mm ist untere Grenze optischer Erkennung
- Stereomikroskop mit Zoom zur raschen Identifikation
- Planlinse für randscharfes Sichtfeld (Ermüdung)
- Vergrößerung min. 60 fach, besser 100 fach (kleine MM)
- Digitale Mikroskope für Suche nicht so gut (Schärfentiefe)
- Gute Beleuchtung essenziell

z.B gebrauchtes Wild Heerbrugg M8, ca. 1000 CHF,
viele in USA auf Ebay.com, zwischendurch auf Ricardo.

5. Verifizierung - Dokumentation

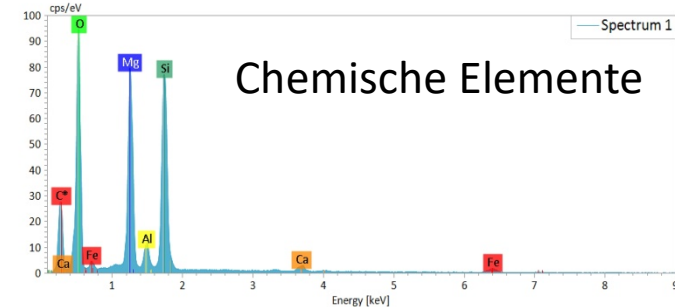
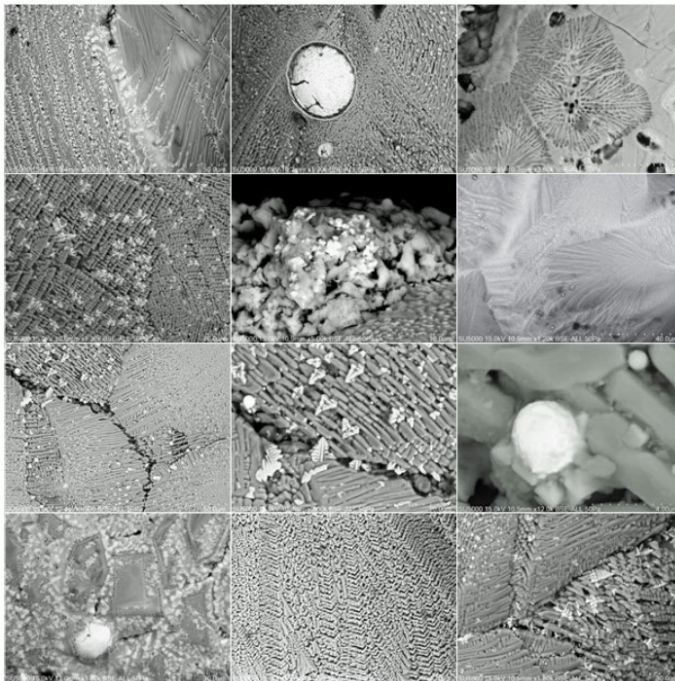


Optische
Merkmale



4599

SEM



Element	Mass [%]	Mass Norm. [%]	Atom rel. error [%] (2 σ)
Oxygen	46,06	44,97	48,66
Carbon	22,17	21,64	31,19
Silicon	16,52	16,13	9,94
Magnesium	10,77	10,52	7,49
Iron	4,00	3,90	1,21
Calcium	1,54	1,51	0,65
Aluminium	1,36	1,33	0,85
	102,41	100,00	100,00

5. Verifizierung - Dokumentation

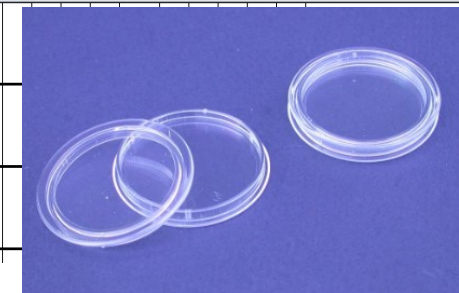
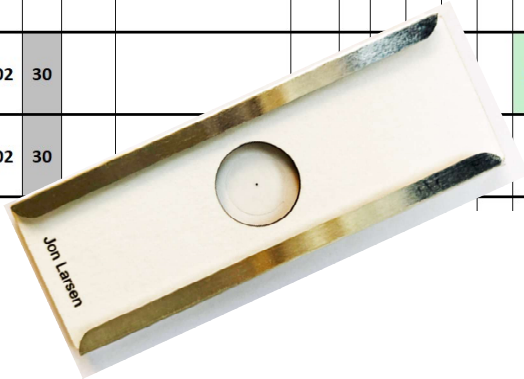
Fundorte (periodische, einmalige)

Batch Numbers "search of Stardust" Daniel Thommen																									
Nummer NEU	Fund-Nr alt, Nr. 1-67, bis z	Bild	Datum	Individuelle Fundorte	Wiederkehrende Fundorte										Probe	m2 Einzugsfläche	g ungefähres Gewicht	g nicht Magn. M.	g magn. Mat.	ca. Anzahl Meteoriten	Jahre Erd-Alter max	Meteoriten / g magnet.	Meteoriten	andere Leitpartikel	Bemerkungen
					Haus/Scheune, Eingang	Haus / Scheune, Linde	Schleppdach, Garage	Dach, Strasse DT	Dach, Schopf DT	Dach, Gartenseite DT	Dach, Garage DT	Meteoritenfalle DT	Strassenrand, Eggstrasse 4	Dach, Strasse George											
4.04			24.04.2024	Lüthi separater Schopf alt und neu ohne niedrige Garage																					
5: Soricelli, Höhenstrasse																									
5.00	53		25.08.2023	Soricellis Höhenstrasse 4433 Ramllinsburg Dachrinnen													3	#####			Haus (vorne kaum Material!) und Jägerhaus komplett > keine MM?!!!! Grund nicht bekannt				
5.01	14		10.02.2022	Soricellis Höhenstrasse 4433 Ramllinsburg Dachrinnen ink. B+B														#####	Sehr wenig Material, wohl das meiste via Kanalisation weggespült. Brauchwassertank mit Filter, aber kaum Material vorhanden in Filter und Tank						
Einmalige Suchorte																									
100	1		11.06.1905	Alaska, Umgebung von Dawson City, Klondike													500g schwarzer Sand aus grösseren Bach und vom	-		-	einige unsichere Kandidaten	grosse Mengen Schleif- und Schweissperulen (Reparaturen an Goldwaschequipment). Häufig: Mineralien, Magnetit, Pyrit, Seltener gold-Flakes, kleine Klumpen mit	Beim Goldwaschen, Restmaterial schwarzer Sand		

5. Verifizierung - Dokumentation

Registrierung / Lagerung MM

Inventory Micrometeorites										seems high!																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																									
Average Size/Type in 1/100mm3										5187	8600	6570	2550	5487	should be smaller than CC? to be checked! Mistake? Blow up by bouldies? Extra large one?																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																				
Average Size/Type to Reference in %										124%	205%	157%	61%	131%																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																					
Total registered										709	SC	PO	BO	CC	V																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																				
Total Assined Type										558	Reference average Size																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																								
Storage		%		of all:		%		of all:		%		of all:		100%	0%	4%	1%	20%	0%	29%	5%	28%	2%	10%	20	4189	100.0%	50%	Cracks, Wholes Triangles Sq																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																						
Inventory NR.	Coin Box NR	X	Y	Fundort neu	Fundort neu	Fundort alt (1-67)	Sketch / Pictures										100% optical Identification (rest = potential MM's)	UN Unmeltet 1350°C	SC Scoriaceous 1500°C	SC-PO Transition	PO Porphyritic 1600°C	PO-BO Transition	BO Barred Olivine 1800°C	BO-CC Transition	CC Cryptocrystalline 1900°C	CC-V Transition	V = Glass 2000°C	Diameter 1/100mm	Cylindrical Length (Ø=Diameter) 1/100mm	Calculated approx. Volume 1/100mm3	% compared to Standard size (100% = D30 = 14137 1/100mm3)	MP...Metal Points (Number)	Lost Metal, Cave, Degazing	micro Tails (Number)	Glass Drops	Non-Magnetic	Bouldies	Color	Transparence	Structure	Surface	Remarks																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																									
Total														3	1	23	5	114	1	163	27	157	9	58	18	22	2557	18.1%	281	43	9	5	4																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																		
335	14	2	E	X	X	X																						0	0.0%																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																						
336	14	3	A	1.02	1.02	30														1					19		3591	85.7%	0																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																						
337	14	3	B	1.02	1.02	30																		1	15		1767	42.2%																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																							



© D.Thommen

6. Was wir nicht suchen

Keine Mikrometeorite:

Schweissenperlen

Schleifen-Flexen

Mineralwolle

Feuerwerk

Asphalt

Ziegelmaterial

Mikrotektite

Organisches

Magnetite.....



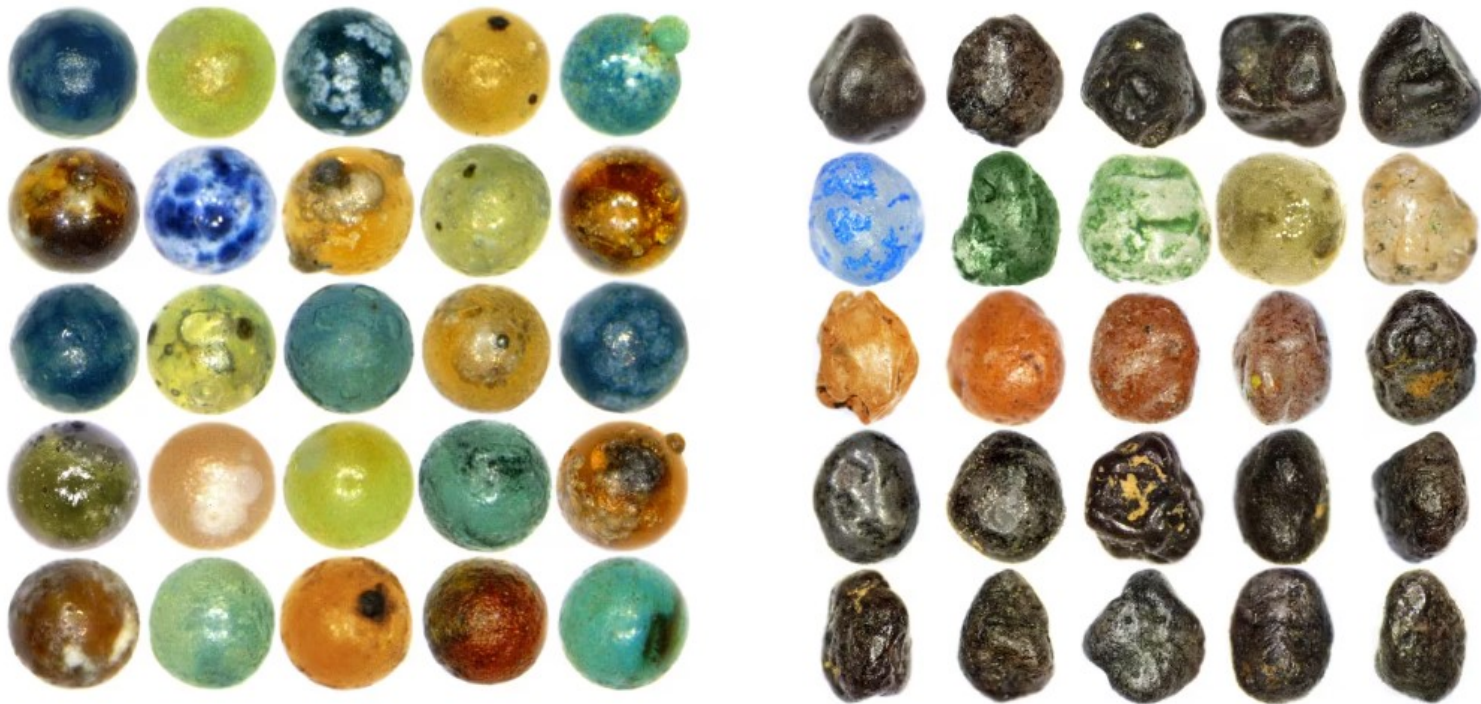
© Jon Larsen, Jan Kihle, Oslo

6. Was wir nicht suchen



© Jon Larsen, Jan Kihle, Oslo

6. Was wir nicht suchen



© Jon Larsen, Jan Kihle, Oslo

7. Typisierung MM

Standardwerk Typisierung
2008, antarktische Sammlung:
*The Classification of
Micrometeorites by Matthew
Genge, Cécile Engrand,
Matthieu Gounelle, Susan
Taylor, London*

500

M. J. Genge et al.

Table 1. An outline of the classification of micrometeorites.

Groups	Class	Type	Subtype	Description
Melted MMs	Cosmic spherules (CSs)	S	CAT	Spherules with Mg/Si > 1.7 that are enriched in Ca, Ti, and Al. They have barred olivine textures.
		S	Glass	Spherules consisting almost entirely of glass.
		S	Cryptocrystalline	Spherules dominated by submicron crystallites and magnetite. Some include multiple domains.
		S	Barred olivine (BO)	Spherules dominated by parallel growth olivine within glass.
		S	Porphyritic olivine (Po)	Spherules dominated by equant and skeletal olivine within glass. Relict-bearing varieties contain unmelted minerals.
		S	Coarse-grained	These spherules contain >50% volume relict minerals.
		G		Spherules are dominated by magnetite dendrites within silicate glass.
Partially melted MMs	Scoriaceous MMs (ScMMs)	I		Spherules dominated by magnetite, wüstite.
		–	–	Vesicular particles dominated by a mesostasis of fayalitic olivine microphenocrysts within glass. ScMMs often contain relict minerals and relict matrix areas.
Unmelted MMs	Fine-grained MMs (FgMMs)	C1		Compact, chemically homogeneous FgMMs. Often contain framboidal magnetite.
		C2		Compact, chemically heterogeneous fine-grained MMs. Often contain isolated silicates and/or tochilinite.
		C3		Highly porous FgMMs. Often contain isolated silicates and framboidal magnetite.
	Coarse-grained MMs (CgMMs)	Chondritic CgMMs	Porphyritic olivine and/or pyroxene	Igneous MMs dominated by pyroxene and/or pyroxene phenocrysts within glass.
			Granular olivine and/or pyroxene	Igneous MMs dominated by pyroxene and/or olivine without significant glass.
			Barred olivine	Igneous MMs dominated by parallel growth olivine within glass.
			Radiate pyroxene	Igneous MMs dominated by radiating pyroxene dendrites within glass.
			Type I/type II	Type I CgMMs are reduced particles containing Fs and/or Fa < 10 mol%. Type II CgMMs are oxidized particles with Fs and/or Fa > 10 mol%.
	Refractory MMs	Achondritic CgMMs	–	Differentiated igneous CgMMs.
		Porous	–	Porous particles dominated by refractory minerals.
		Compact	–	Compact particles dominated by refractory minerals.
		Hydrated	–	Particles dominated by refractory minerals surrounded by Fe-rich phyllosilicates or their dehydroxylates.
	Ultracarbonaceous		–	Particles dominated by carbonaceous materials with

7. Typisierung MM

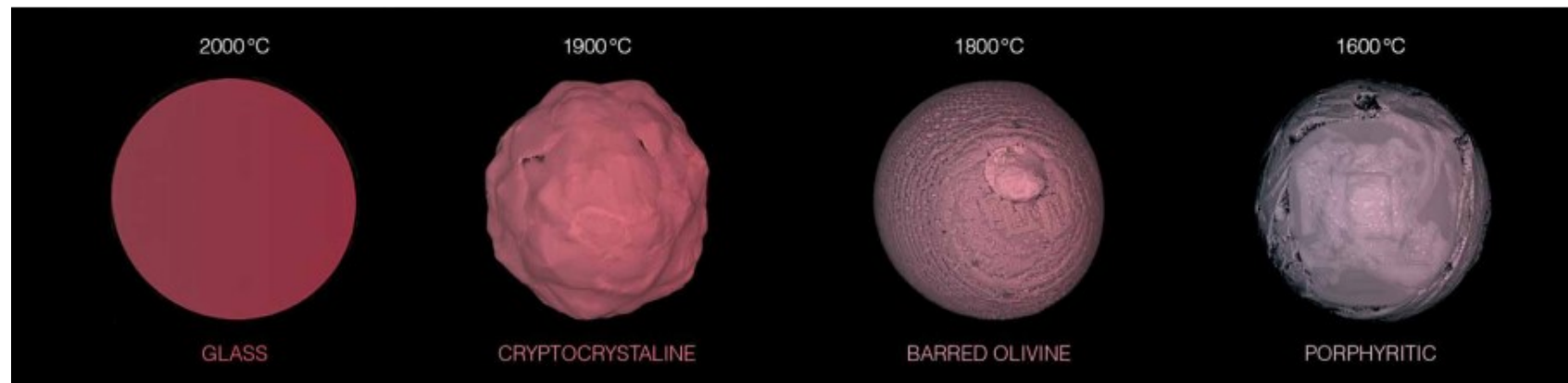
*Geschmolzen, Hauptgruppe
Silicate (S-Typ) häufig*

V-Typ

CC-Typ

BO-Typ

PO-Typ

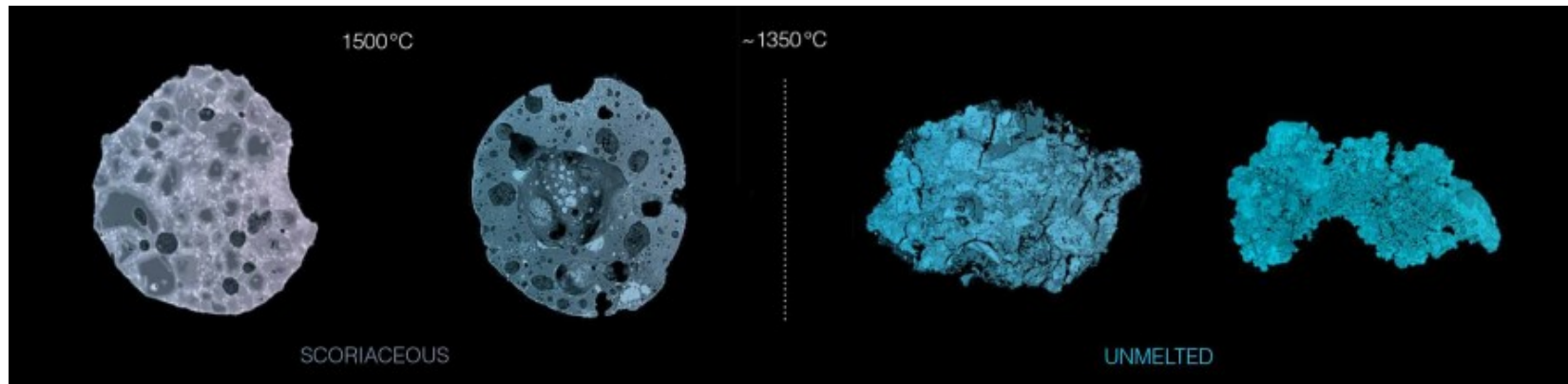


© Jon Larsen, Jan Kihle, Oslo

7. Typisierung MM

Teilgeschmolzen
SC-Typ

Ungeschmolzen
U-Typ

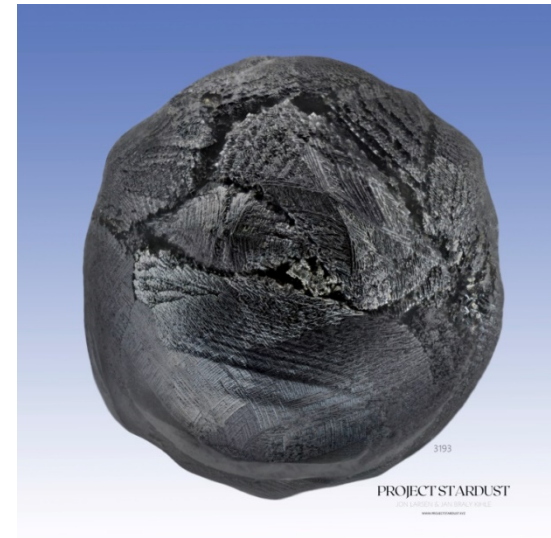


© Jon Larsen, Jan Kihle, Oslo

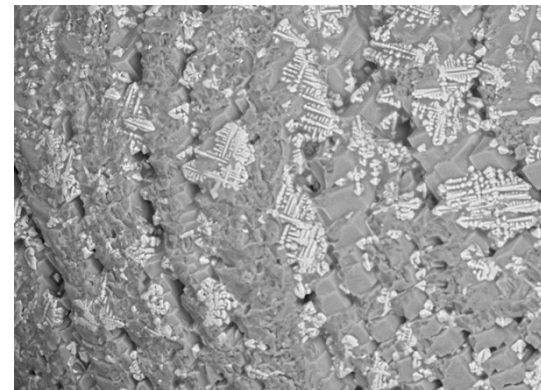
Sondertypen I-Typ, G-Typ und CAT-Typ

8. BO - Barred Olivine

- Häufigster MM
- Grosse Olivine, magnesium (forsterite)
- Ketten von Kristallen
- Spuren von Magnetit in Glas
- Weihnachtsbäume (Eisen)



© Jon Larsen, Jan Kihle, Oslo

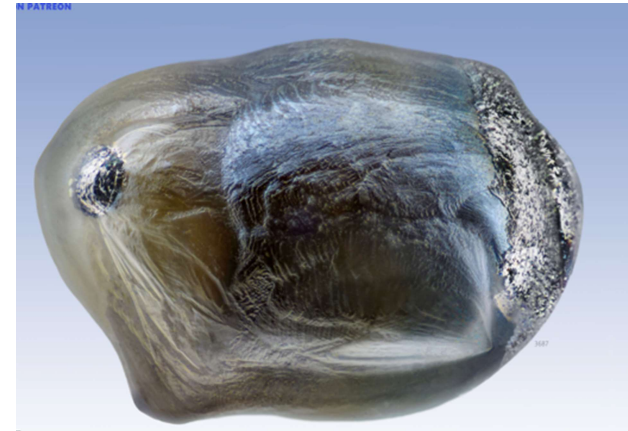


8. BO - Barred Olivine



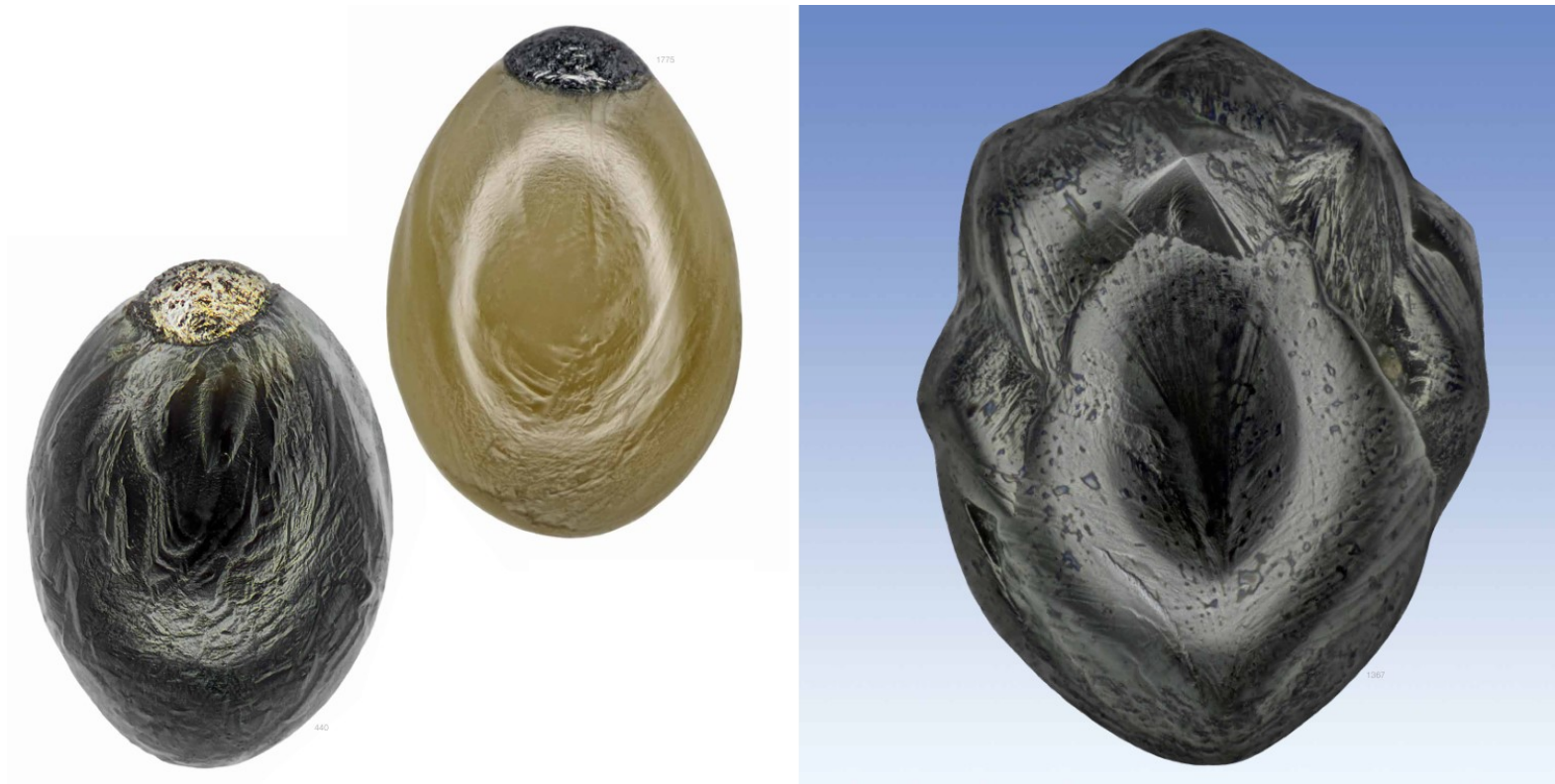
8. CC - Cryptocrystalline

- Zweithäufigster MM
- Fein-kristalline glasige Partikel.
- Im Mikroskop nicht sichtbare Kristalle
- Oft mit Metallkonzentration
- Dynamische Formen
- Längliche Ausprägung durch Rotation
- Sonderform „Turtleback“



© Jon Larsen, Jan Kihle, Oslo

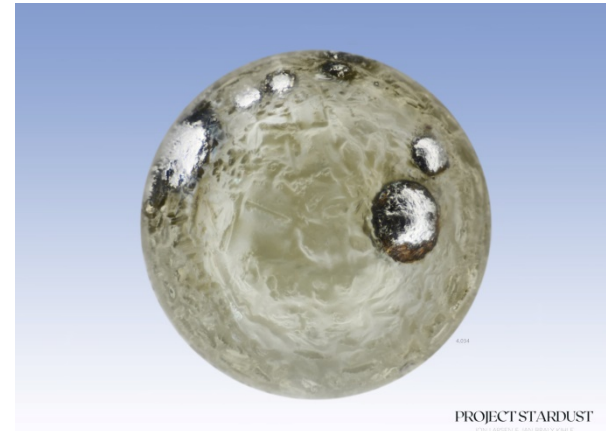
8. CC – Cryptocrystalline



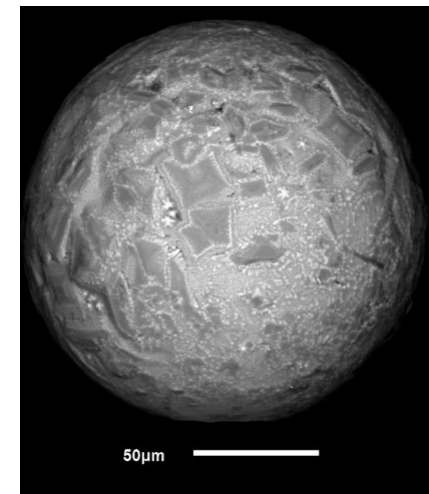
© Jon Larsen, Jan Kihle, Oslo

8. PO – Porphyric

- Grosse Olivin-Kristalle (Forsterite) in Glas
- oft braun, grün oder farblos, auch schwarz, mit mehreren Nickel-Eisen-Ansammlungen

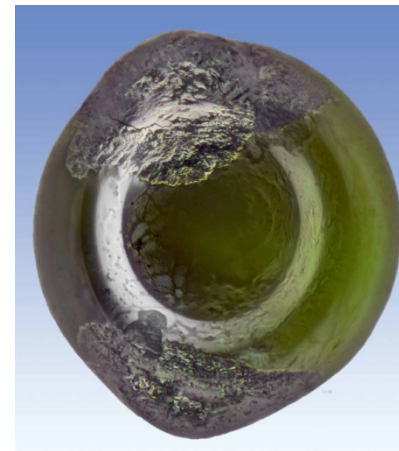


© Jon Larsen, Jan Kihle, Oslo

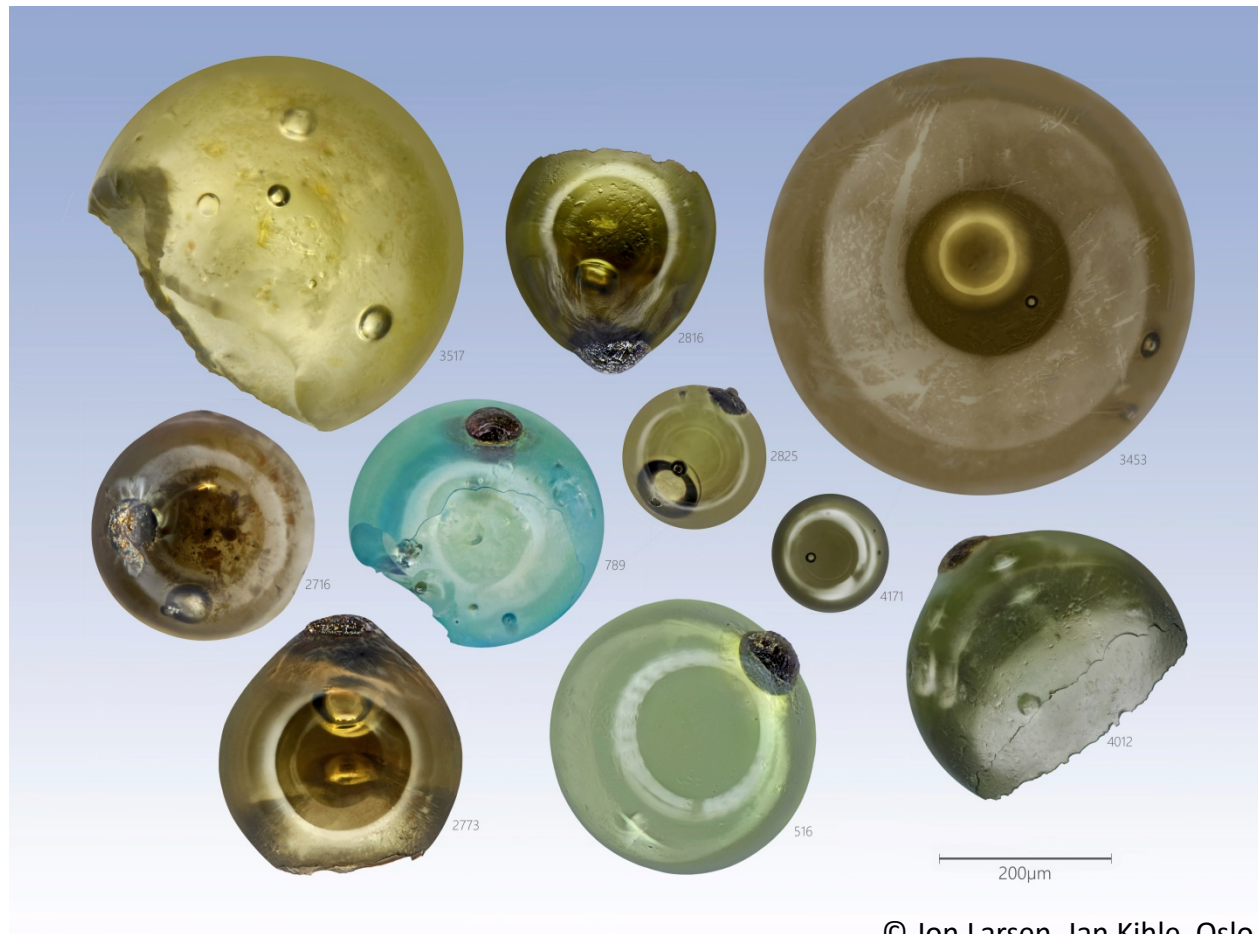


8. V – Glas

- Dritthäufigste Variante, höchste Temperatur
- Schwer auffindbar > magnetischer Metallkörper oft verdampft
- Luftblasen, amorphes Glas
- Bräunlich, grünlich, farblos, selten bläulich

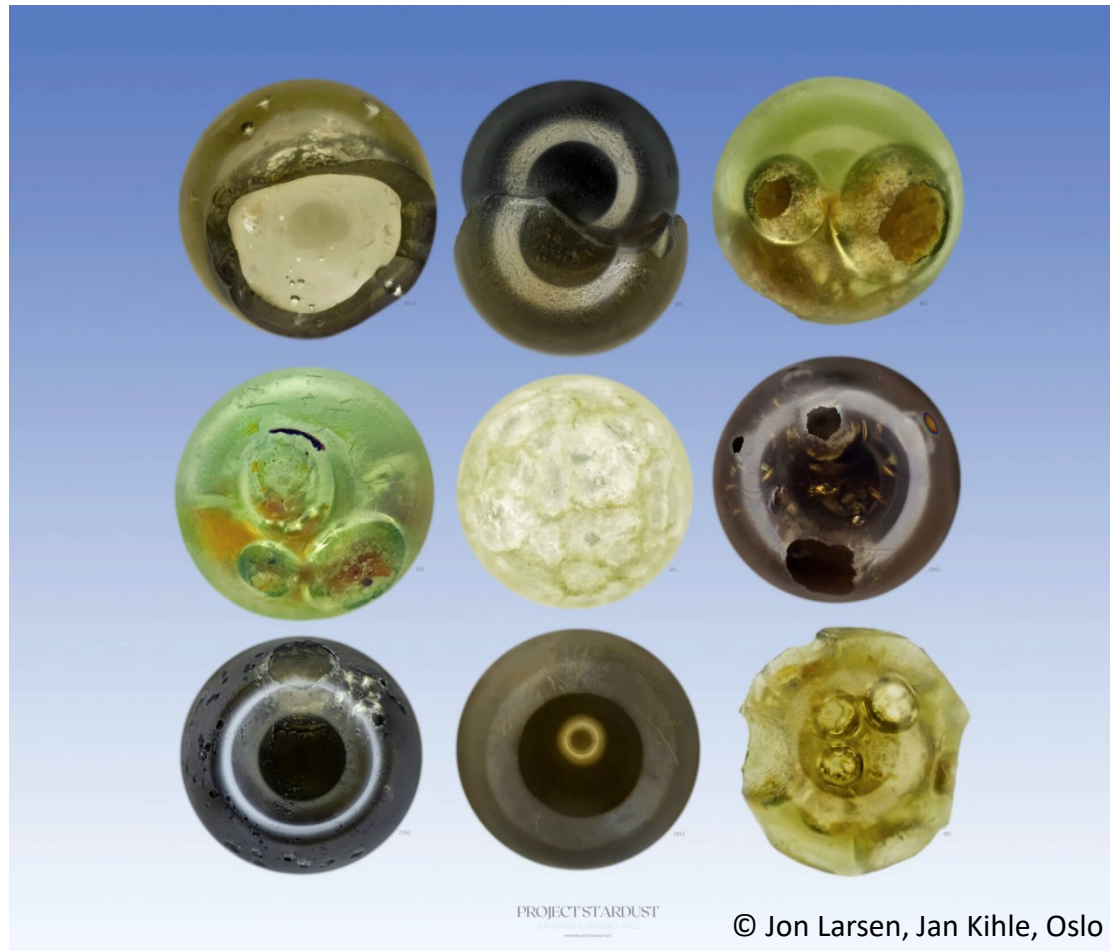


8. V – Glas



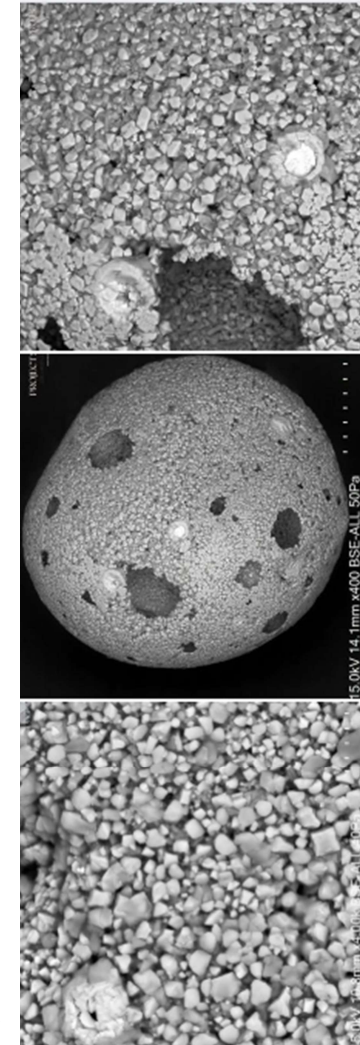
© Jon Larsen, Jan Kihle, Oslo

8. Non magnetic



8. SC – Scoriasceous

- Nicht vollständig aufgeschmolzen
 - Charakteristische Gasblasen / Entgasung
 - Mikrokristalline Olivine
 - Tiefe Dichte, keine sichtbare Aerodynamik
- > Beim Waschen mit Magnet vor Spülen aus der Probe nehmen!



8. SC – Scoriasceous



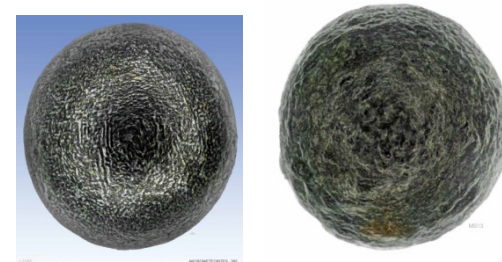
8. Ungeschmolzen



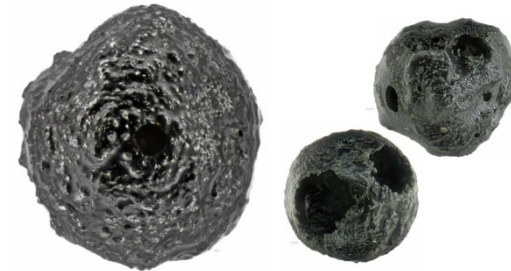
© Jon Larsen, Jan Kihle, Oslo

8. Seltene Sonderformen

- I-Typ: viel Eisen, weltweit bisher 4 Stk, optisch schwer zu identifizieren



- G-Typ: Silicat / Glas mit Eutheral und X-Form Magnetit, Mischung aus S-Typen und I-Typen, selten



- CAT-Typ: hoher Calcium, Aluminium und Titan Anteil. Weisse BO und CC Typen. Höchsten Temperaturen ausgesetzt. (Antarktik Sammlung) noch nicht gefunden in urbanen Gebieten





© Jon Larsen, Jan Kihle, Oslo

Danke für Ihre Aufmerksamkeit