

COUNTDOWN

TO

MASS



EXTINCTION?

DEU

Bearbeitet und geschrieben von Herwig Prinoth
© 2024 Museum Ladin

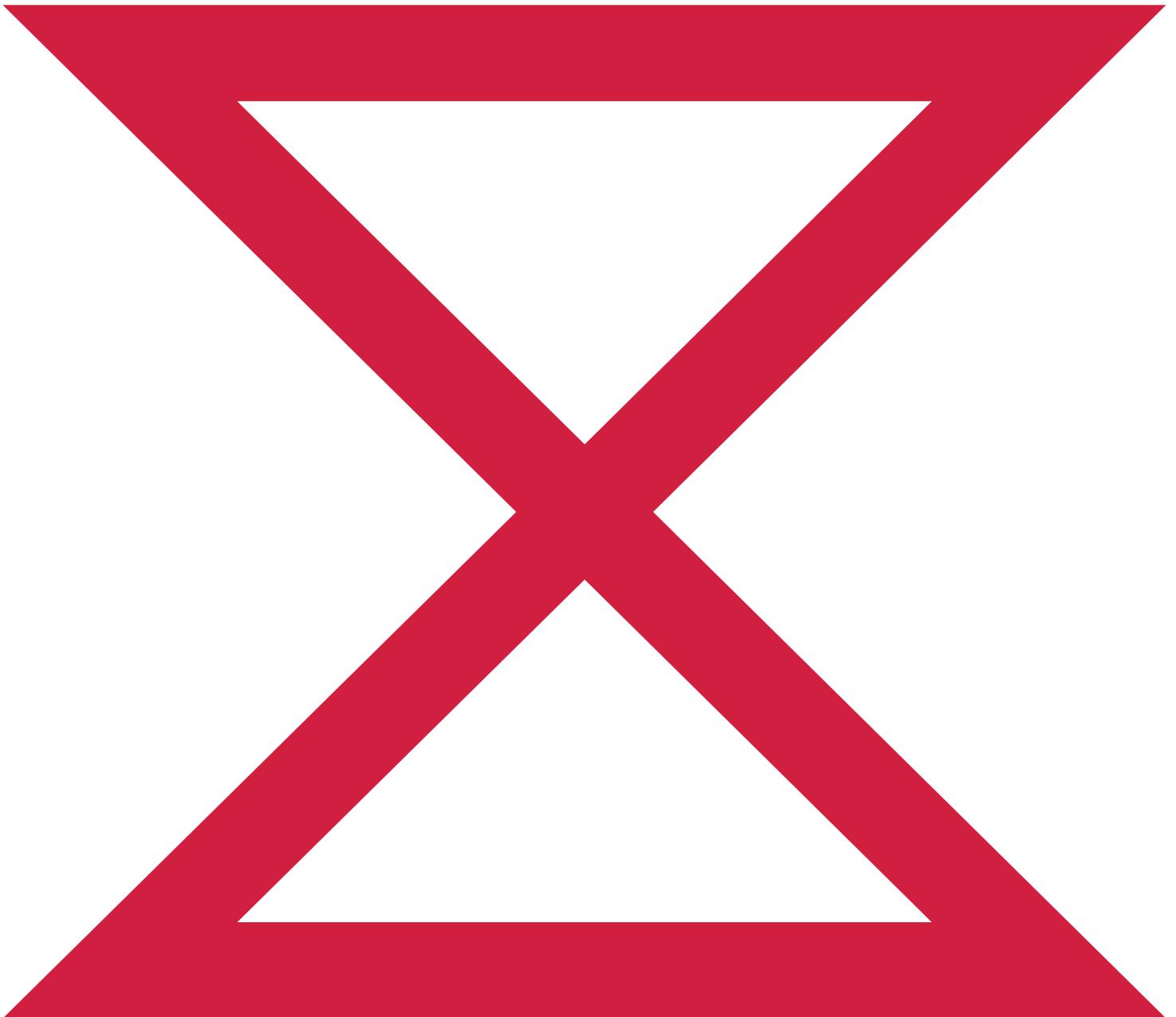
museumladin.it

MUS Museum
Ladin **LA**

COUNTDOWN TO EXTINCTION?

MASS

Das Museum Ladin präsentiert diese Ausstellung über das größte Massenaussterben der Erdgeschichte und die heutige Klimakrise.



INDEX

0	EINFÜHRUNG	6
	WAS IST MASSENAUSSTERBEN?	8
1	DIE WELT VOR DEM MASSENAUSSTERBEN	10
	DIE PERMZEIT	12
2	DAS MARINE ÖKOSYSTEM DER OBEREN PERMZEIT	16
	DAS LEBEN VOR DER KATASTROPHE	18
	GLEICHGEWICHT	24
3	DAS MASSENAUSSTERBEN AN ENDE DER PERMZEIT	26
	DAS MASSENAUSSTERBEN	28
	DIE ERSTE AUSSTERBEPHASE	32
	AUSSTERBEN	36
4	NACH DEM MASSENAUSSTERBEN	38
	DIE TRIASZEIT	40
5	DAS LEBEN ERHOLT SICH EXTREM LANGSAM	42
	UND DANN KAM <i>CLARAIA</i>	44
	WANN ERHOLTE SICH DAS LEBEN WIEDER?	46
6	EINFÜHRUNG IN WETTER UND KLIMA	48
	DIE ZUSAMMENSETZUNG DER ERDATMOSPHÄRE	50

7 DIE ROLLE VON CO₂ IN UNSEREM KLIMASYSTEM

52

WAS IST DER TREIBHAUSEFFEKT?

54

8 DIE ENTWICKLUNG DES KLIMAWANDELS

56

GESCHICHTE DES HEUTIGEN KLIMAWANDELS

58

DIE AUSWIRKUNGEN DES KLIMAWANDELS

60

SOZIALE UND WIRTSCHAFTLICHE AUSWIRKUNGEN

62

MASSNAHMEN GEGEN DEN KLIMAWANDEL

64

DATEN FÜR SÜDTIROL

66

ZERSTÖRUNG

68

9 COUNTDOWN TO MASS EXTINCTION?

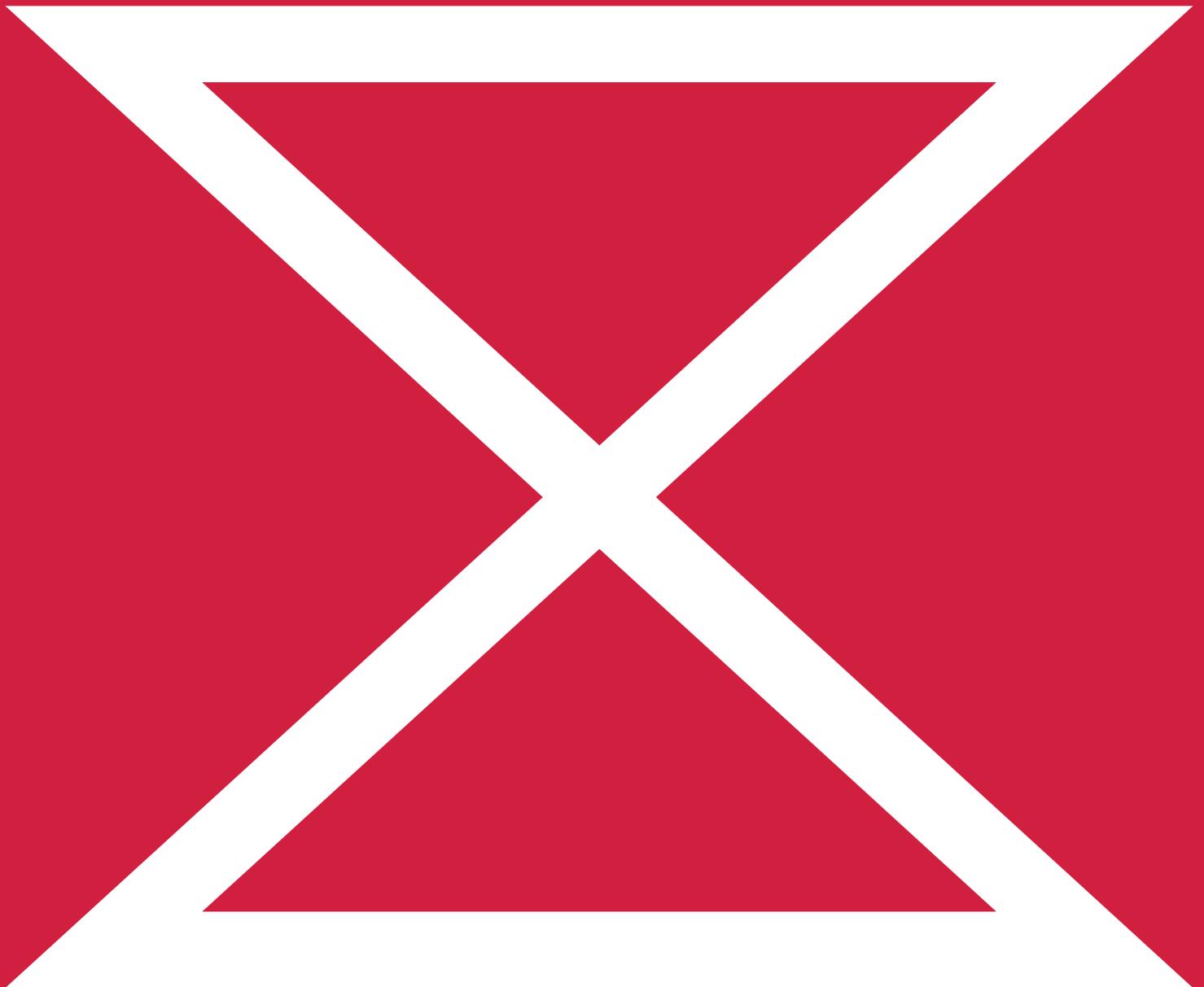
70

PROJEKTIONEN FÜR DIE ZUKUNFT

72

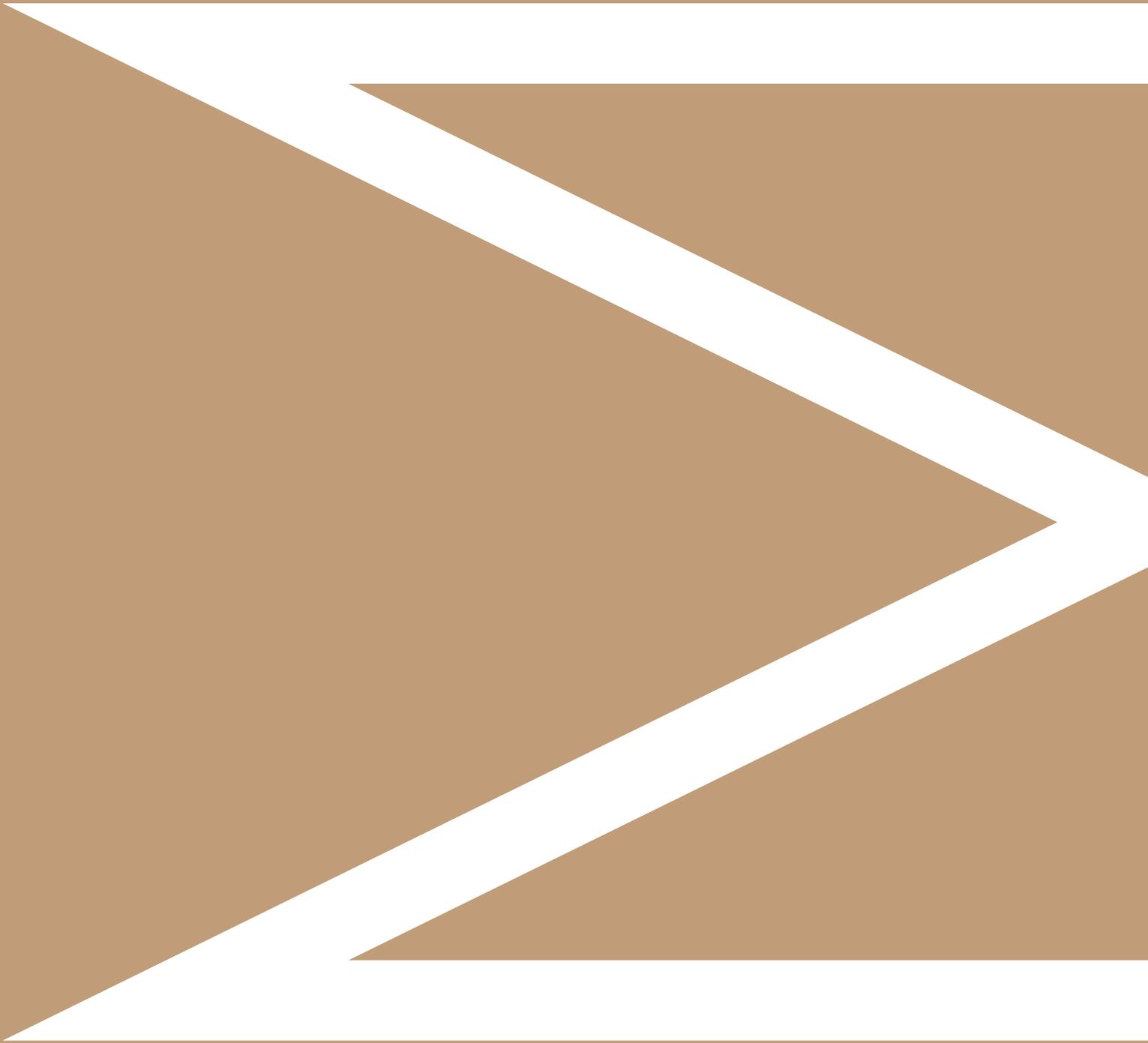
BILDNACHWEIS

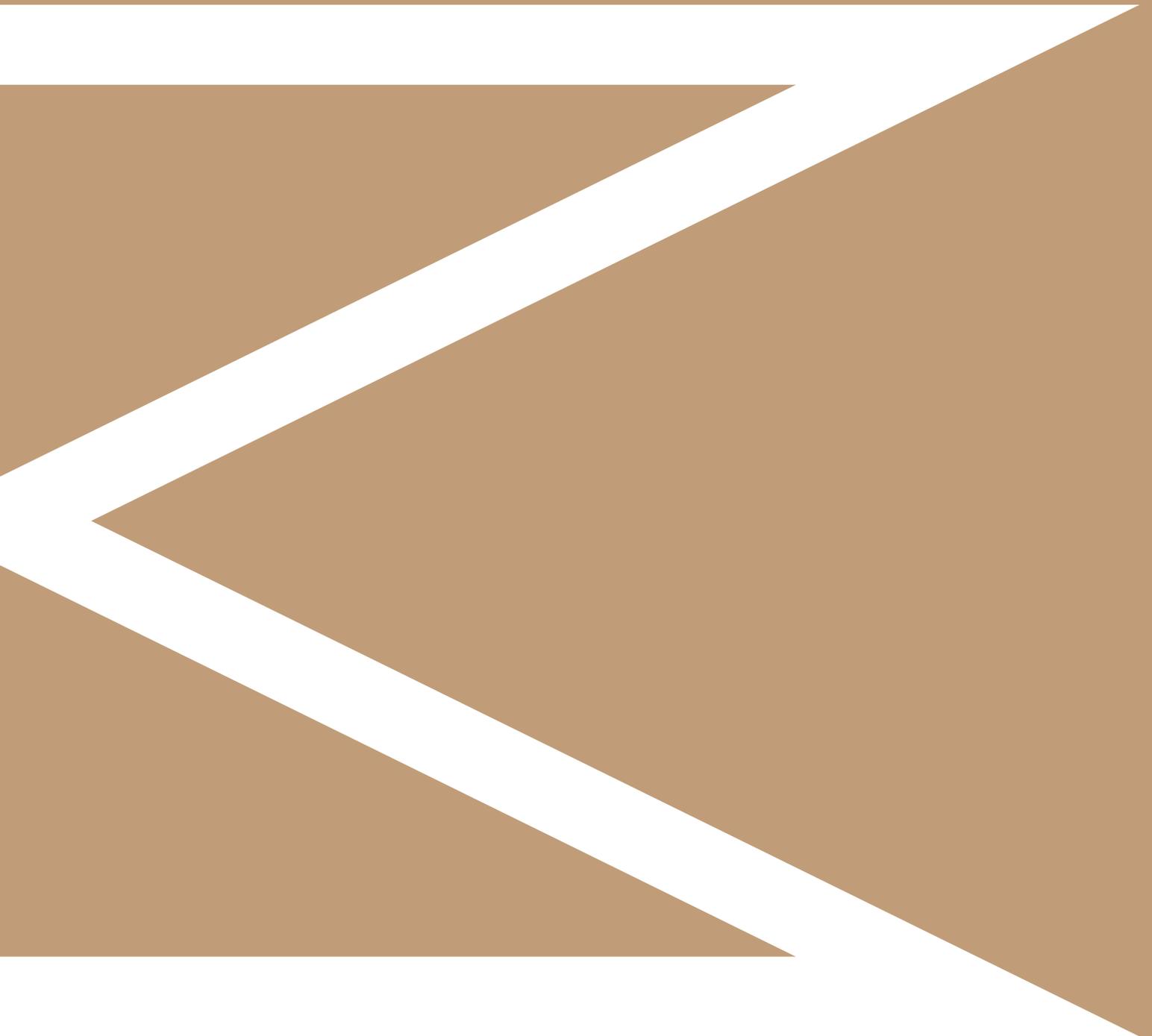
74



0

EINFÜHRUNG





Das Museum Ladin präsentiert diese Ausstellung über das größte Massenaussterben der Erdgeschichte und die heutige Klimakrise. Sie zeigt eindrücklich die Parallelen zwischen der damaligen Klimakatastrophe, ausgelöst durch massive Vulkanausbrüche in Sibirien vor rund 252 Millionen Jahren, und dem heutigen Klimawandel, der durch menschliche Aktivitäten verursacht wird. Heutzutage setzen wir jährlich mehr CO₂ frei als die sibirischen Vulkane damals. Anhand von Fossilien aus der Bellerophon- und Werfen Formation verdeutlicht die Ausstellung, wie das damalige Massenaussterben ablief und zieht direkte Vergleiche zur aktuellen Klimakrise.

WAS IST EIN MASSENAUSSTERBEN?



Jack Sepkoski (links) und sein Kollege David Raup (rechts)

Jack Sepkoski (1948-1999), ein renommierter Paläontologe an der Universität Chicago in Illinois definierte 1986 als erster das Massenaussterben.

EIN MASSENAUSSTERBEN MUSS FOLGENDE BEDINGUNGEN ERFÜLLEN ¹

1. Es muss zu einer wesentlichen Zunahme des Aussterbens kommen
2. Mehr als ein weit verbreitetes höheres Taxon muss betroffen sein, also mindestens Gattungen, Familien oder Klassen von Organismen (z.B. Ammoniten, Dinosaurier).
3. Es Ammoniten zu evolutionären Linienbeendigungen kommen.
4. Es muss vorübergehend zu einem Rückgang der bestehenden Vielfalt kommen.
5. Dies alles während eines relativ kurzen geologischen Zeitraums.

JACK SEPKOSKI ² und sein Kollege David Raup haben fünf wesentliche Massenaussterben erkannt, die sie als die *Big five* klassifizierten. Zusätzlich hat Sepkoski umfangreiche weltweite Datensätze von marinen Tierfamilien und -Gattungen zusammengetragen. Durch die Auswertung dieser Informationen konnte er drei aufeinanderfolgende Evolutionäre Faunen bestimmen, die jeweils die vorherrschenden Gruppen evolutionäre darstellten. ³

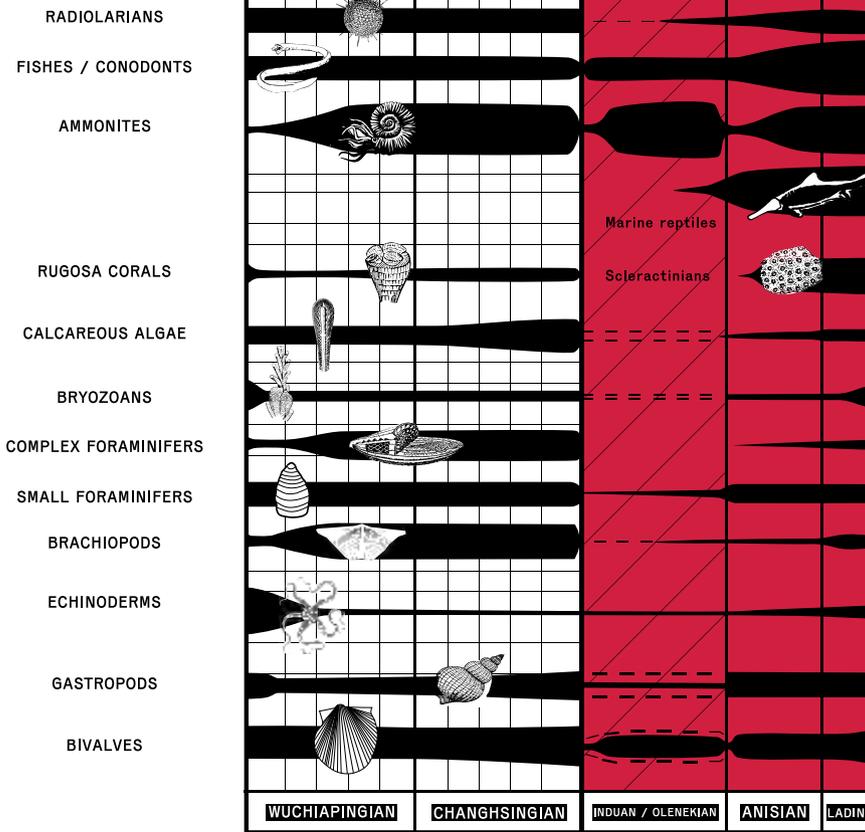
DIE NATÜRLICHE AUSSTERBERATE

Schätzungen zufolge sterben etwa 10 % der Arten alle Millionen Jahre, 30% alle zehn Millionen Jahre und 65 % alle hundert Millionen Jahre aus. Das Aussterben ist also ein natürlicher Teil der Evolution, der ein Gleichgewicht zwischen dem Verlust und der Entstehung neuer Arten erfordert. Bei einem Massenaussterben verschwinden hingegen mindestens 75 % der Arten in weniger als einer Million Jahren, was nach geologischen Standards ein kurzer Zeitraum ist.

251,9 MILLION YEARS

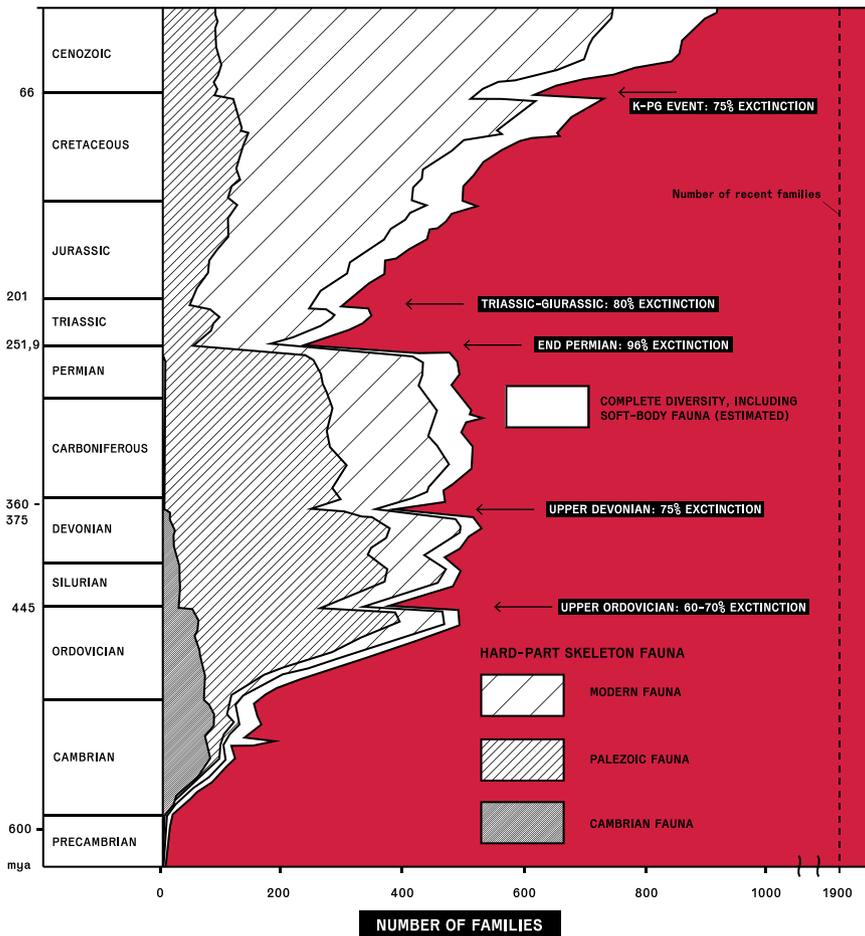
PERMIAN

TRIASSIC



1

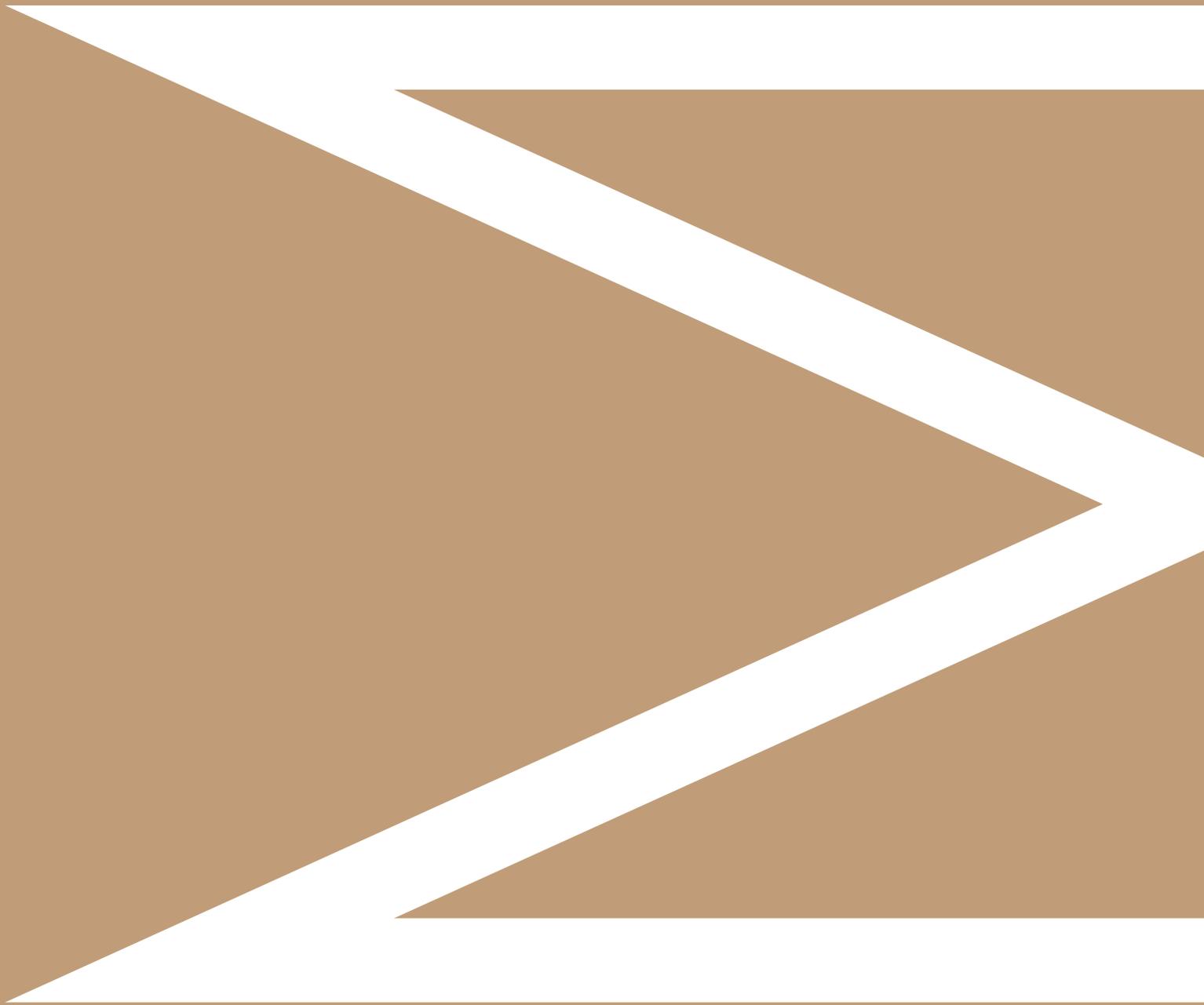
Mit einer Aussterberate von 96 % bei den Meeresorganismen und etwa 70% bei den Landwirbeltieren war das Massenaussterben am Ende der Permzeit die größte Katastrophe der Erdgeschichte.

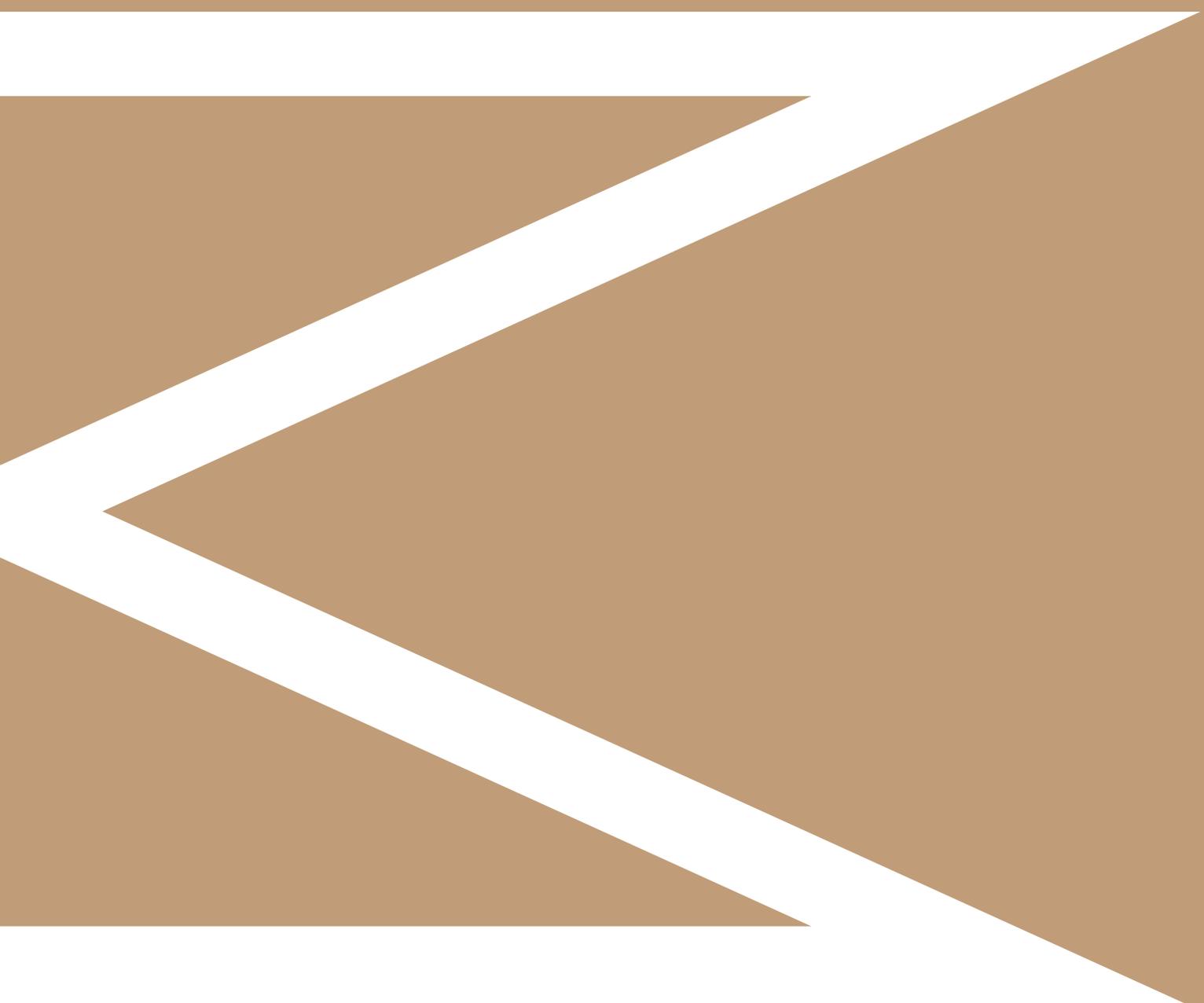


3

Diversity chart, Sepkoski, 1984

1 DIE WELT VOR DEM MASSENAUS- STERBEN





Haben Sie sich jemals gefragt, wie die Erde aussah, als alle Kontinente in einem einzigen Superkontinent verbunden waren? Entdecken Sie die obere Permzeit vor rund 254-252 Millionen Jahren, als das Dolomitengebiet nahe am Äquator lag und vom Tethysozean bedeckt war.

DIE PERMZEIT. ¹



Roderick Murchison

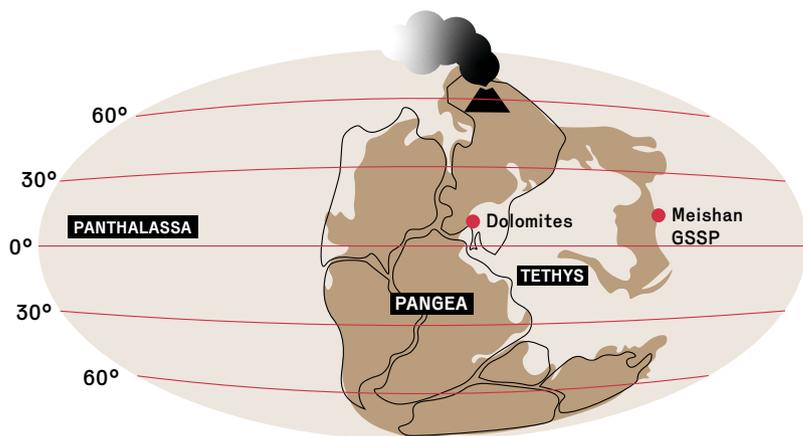


Die Permzeit ist ein Abschnitt der Erdgeschichte, der vor etwa 298,9 Millionen Jahren begann und vor etwa 251,9 Millionen Jahren endete.

² **Sir Roderick Murchison**, ein schottischer Geologe, benannte 1841 die Permzeit nach der Stadt Perm am Fuße des Uralgebirges.

DIE WELT AM ENDE DER PERMZEIT

³ ⁴ Im Oberperm, als alle Kontinente im Superkontinent Pangäa vereint waren, lag das Dolomitengebiet viel näher am Äquator, etwa am 15- 20 ten Breitengrad, vergleichbar mit der heutigen Position von Ländern wie Oman und Niger. Dieses Gebiet war Teil eines flachen, warmen Meeres, bekannt als Tethys, in dem sich die Sedimentschichten der Bellerophon Formation bildeten. Seitdem hat sich das Gebiet um etwa 3500 km nach Norden verlagert.



³

Rekonstruktion der Pangäa und Tethys am Ende der Permzeit vor 252 Millionen Jahren



4

Terrestrischer Lebensraum im Bletterbach während der oberen Permzeit

ERA	DATE	PERIOD
CENOZOIC	2,6	QUATERNARY
	23,3	NEOGENE
	66	PALAEOGENE
MESOZOIC	145	CRETACEOUS
	201,4	JURASSIC
	251,9	TRIASSIC
PALAEOZOIC	298,9	PERMIAN
	358,9	CARBONIFEROUS
	419,2	DEVONIAN
	443,8	SILURIAN
	485,4	ORDOVICIAN
	538,8	CAMBRIAN
		PRECAMBRIAN

1

Die Permzeit



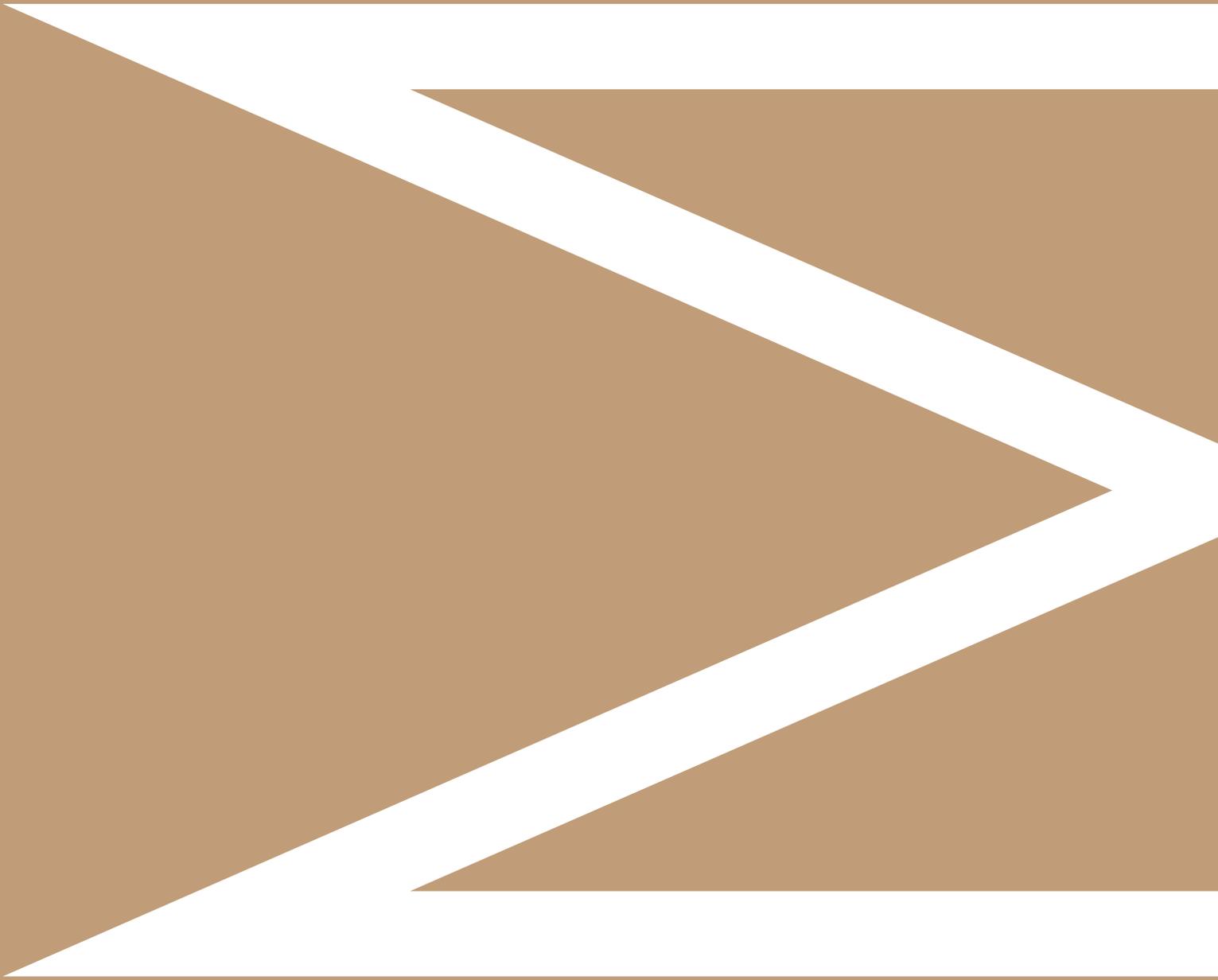
5

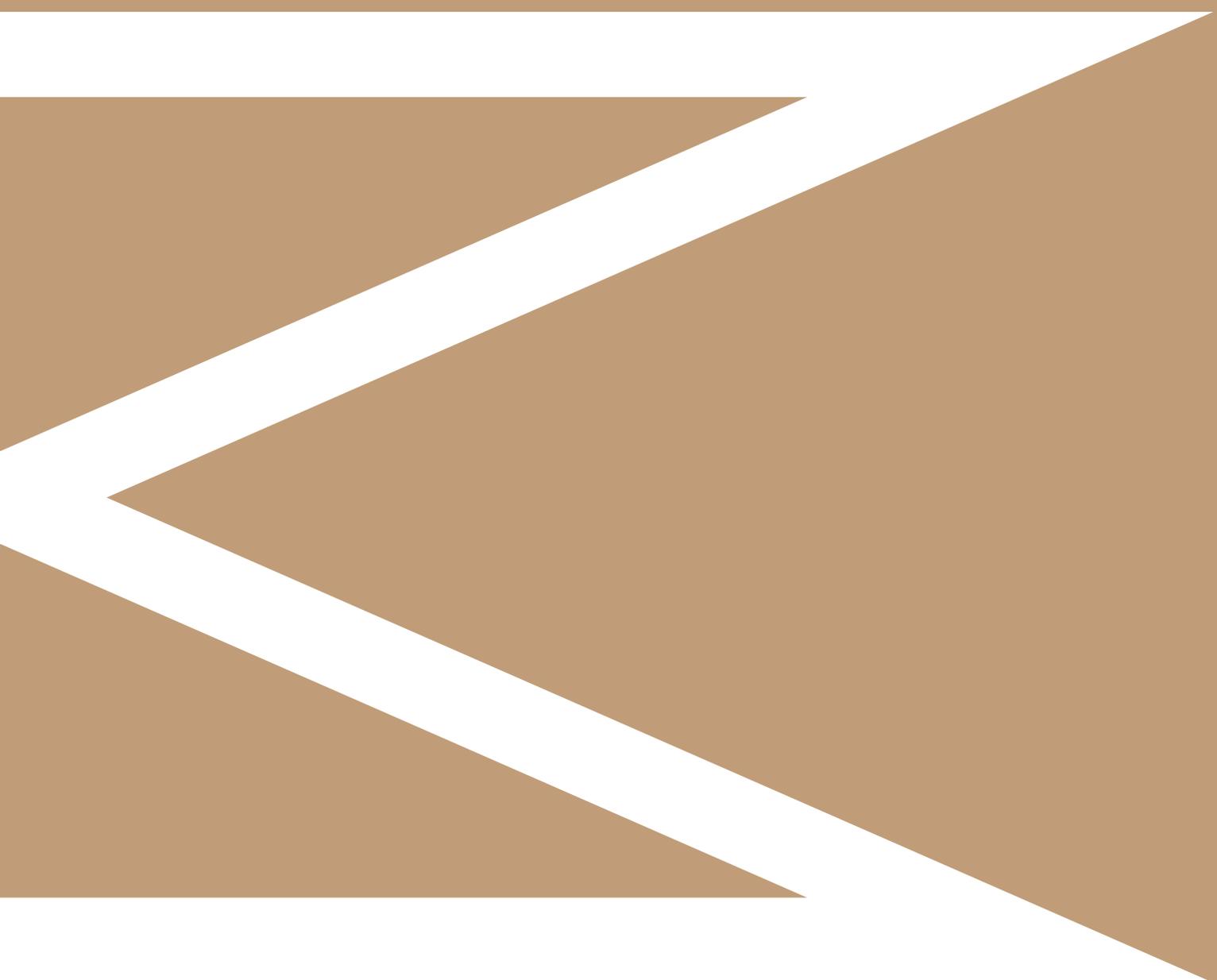
Die Bellerophon Formation, Seceda, St. Ulrich

DIE BELLEROPHON FORMATION

5 Die Bellerophon Formation umfasst Gesteinsschichten aus dem späten Perm (ca. 255-252 Millionen Jahre), abgelagert in flachen Meeresgebieten. Ihre Fossilien zeigen die vielfältigen marinen Lebensgemeinschaften kurz vor dem Massenaussterben am Ende des Perms.

2 DAS MARINE ÖKOSYSTEM DER OBEREN PERMZEIT





VIELFALT UND ANPASSUNG

Die Bellerophon Formation zeugt von einer bemerkenswerten Vielfalt mariner Organismen kurz vor dem größten Massenaussterben der Erdgeschichte.

Erforschen Sie die unterschiedlichen marinen Lebensräume, von stressgeplagten Küstenbereichen bis zu stabileren Flachwasserbereichen, die reich an Nautiloiden, Muscheln und anderen Meeresorganismen waren.

DAS LEBEN VOR DER KATASTROPHE

DIE GROSSE BIODIVERSITÄT

Die Biodiversität, also die Vielfalt des Lebens, ist entscheidend für die Widerstandsfähigkeit von Ökosystemen. In Krisenzeiten, wenn Ökosysteme mit Herausforderungen wie Klimaveränderungen oder anderen Störungen konfrontiert sind, kann eine hohe Artenvielfalt zur Aufrechterhaltung der Stabilität beitragen. Geht eine Art verloren, können andere den Verlust kompensieren. Ein Mangel an Biodiversität birgt jedoch das Risiko eines schnellen Ökosystemzusammenbruchs.

DAS MEER DER BELLEROPHON FORMATION WAR AM ENDE DER PERMZEIT IN ZWEI LEBENSRAÜME AUFGETEILT

- Ein gestresster seichter, küstennaher Bereich der schnellen Veränderungen, wie schwankendem Meeresspiegel, wechselndem Salzgehalt, hohen Temperaturen, niedrigem Sauerstoffgehalt und hoher Sedimenteinschwemmung durch Flüsse unterlag. Hier überlebten nur einige widerstandsfähige Arten.
- Ein stabilerer mariner Lebensraum mit einer artenreichen Fauna, darunter Nautiloiden, Muscheln, einzelnen Brachiopoden, Kalkalgen, Foraminiferen, Muschelkrebse und massenhaft *Bellerophon*.

DAS MARINE ÖKOSYSTEM WÄHREND DER OBEREN PERMZEIT WAR IN DREI ERNÄHRUNGSEBENEN GEGLIEDERT

- **Primärproduzenten und Detritus:** Kalkalgen produzierten Biomasse aus anorganischen Substanzen durch Photosynthese. Detritus umfasst abgestorbene organische Materie oder Abfälle, produziert von lebenden Organismen.
- **Primärkonsumenten:** Verschiedene Arten von Muscheln, Schnecken, Brachiopoden usw., die sich von den Primärproduzenten oder Detritus ernährten.
- **Secundärkonsumenten:** Nautiloiden und größere Raubtiere wie Haie, die sich von den Primärkonsumenten ernährten.

WER WAREN DIE PIONIER*INNEN DER ERFORSCHUNG DER FOSSILIEN DER BELLEROPHON FORMATION?



1

Guido Stache



2

Maria Matilda Ogilvie Gordon

1 Guido Stache (1833-1921) ein österreichischer Geologe und Paläontologe, war bekannt für seine bedeutenden Forschungen zur Bellerophon Formation in den Dolomiten, die er in seinen Werken *Beiträge zur Fauna der Bellerophonkalke Südtirols* 1877 und 1878 veröffentlichte.

2 Maria Matilda Ogilvie Gordon (1864-1939), eine schottische Geologin, war bekannt für ihre Forschungen in den Dolomiten, insbesondere zur Fauna der Bellerophon Formation. Ihr bemerkenswertes Werk *Das Grödener-, Fassa- und Enneberggebiet in den Südtiroler Dolomiten* wurde 1927 veröffentlicht.

3 Giovanni Merla (1906-1984) war ein italienischer Geologe, Paläontologe und Schriftsteller. Er studierte die Fossiliensammlung von Giorgio Caneva und publizierte sie in seinem Werk von 1930, *La fauna del Calcarea a Bellerophon della Regione Dolomitica*.

4 Michele Gortani (1883-1966) ein italienischer Geologe, Entomologe und Politiker, der sich vor allem für die Karnischen Alpen interessierte, publizierte 1906 seine Forschung über die Fauna der Bellerophon Formation in seinem Werk: *La fauna degli Strati a Bellerophon della Carnia*.



3

Giovanni Merla



4

Michele Gortani

DIE KALKALGEN

1 Kalkalgen, marine Pflanzen, produzierten ein Kalkskelett (Kalziumkarbonat) und waren im oberen Perm wichtige Primärproduzenten. Ihre Kalkproduktion trug wesentlich zur Sedimentbildung bei.

BELLEROPHON

2 *Bellerophon*, eine marine Schnecke mit flacher Spiralschale, unterscheidet sich von den meisten anderen Schnecken (Gastropoden), die turmartige Spiralschalen besitzen. An der Mündung befindet sich eine Kerbe und ein Kiel erstreckt sich entlang der Oberfläche. Da sich ihre Schale aufgelöst hat wird sie oft als Steinkern gefunden. Als Pflanzenfresser ernährte sie sich wahrscheinlich von Algenteppichen und gab der Bellerophon Formation ihren Namen.

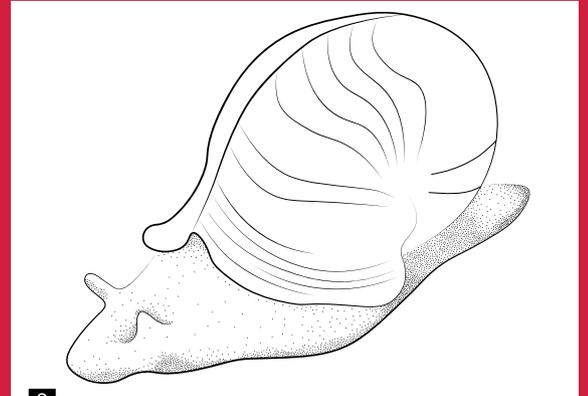
DIE BIVALVEN

3 4 Bivalven, bekannt als Muscheln, atmen durch Kiemen, mit denen sie auch Plankton oder organische Reste aus dem Wasser zur Ernährung filtern. Während einige fest am Meeresgrund haften, liegen oder bewegen sich andere frei und können sogar kurzstreckig aktiv schwimmen. 2023 veröffentlichten Herwig Prinoth und Renato Posenato eine umfangreiche Studie über die Bivalven der Bellerophon Formation, in der 26 Arten beschrieben wurden. 10 Arten, 3 Gattungen und eine Familie waren neu für die Wissenschaft und konnten erstmalig benannt werden. Die neuen Arten werden mit sp. nov. (species nova) angegeben.



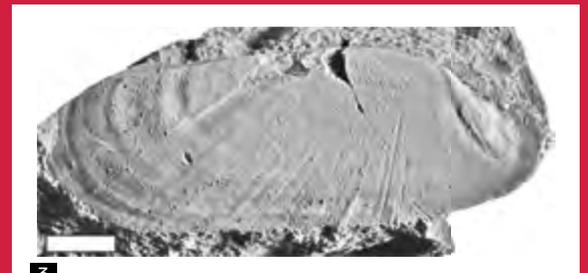
1

Kalkalgen (rezent)



2

Bellerophon



3

Acharax frenademezi sp. nov., Bellerophon Formation, 252.000.000 Jahre



4

Acharax clarificata, Neuseeland (rezent)

DIE BRACHIOPODEN

5 Brachiopoden, ausschließlich marin, haben eine dorsale und eine ventrale Klappe. Sie sind nicht mit den Bivalven (Muscheln) verwandt, mit denen sie leicht verwechselt werden. Oft mit einem Stiel am Meeresboden verankert, besitzen sie einen borstenbesetzten Lophophor als Fütterungs- und Atmungsorgan. Bis zum Ende des Perms waren sie die dominante Gruppe im marinen Ökosystem. Sie teilen sich in Articulata und Inarticulata.

DIE ARTICULATA

Sie haben eine Schale mit einem Scharnier und mehreren Muskeln, um sie zu öffnen und zu schließen. Im Inneren des Lophophor befindet sich das Brachidium, ein Stützorgan aus Calciumcarbonat, das eine doppelte Spirale bildet oder nur eine Schleifenform hat.

DIE INARTICULATA: DIE LINGULIDEN

6 Ihre Schale besteht aus Chitin, Proteinen und Kalziumphosphat. Die Klappen sind fast gleich groß, nicht aneinandergeheftet und haben im Inneren kein Brachidium. Linguliden leben auch heute noch in flachen Meeresumgebungen und graben sich in den Meeresboden ein. Sie bevorzugen weichen Schlamm oder Sand und können niedrigen Sauerstoff und Schwankungen im Salzgehalt tolerieren.

UNTERSCHIED ZWISCHEN BIVALVEN UND BRACHIOPODEN

- Haben eine rechte und eine linke Klappe / Haben eine ventrale und eine dorsale Klappe
- Muskel schließen die Schale / Muskel schließen und öffnen die Schale
- Kiemen für Ernährung und Atmung / Lophophor für Ernährung und Atmung



Lophophor eines rezenten Brachiopoden



Lingula anatina, Stradbroke Island, Australien

DIE NAUTILOIDEN

7 Sie gehören zu den Kopffüßern, zu denen auch Tintenfische, Kalmare und Oktopusse zählen. Alle Nautiloiden, mit Ausnahme der Gattungen *Nautilus* und *Allonautilus*, sind ausgestorben. Ihre Schalen sind in Kammern unterteilt, die durch einen Siphon verbunden sind. Sie bewegen sich durch das Ausstoßen von Wasser aus einem Trichter fort. Der heutige *Nautilus* ernährt sich hauptsächlich von toten Krebstieren, Fischen und anderen Meeresorganismen, ein Verhalten, das vermutlich auch für die Nautiloiden der Bellerophon Formation zutrif.



7

Nautilus pompilus

SEEIGEL (ECHINOIDEA)

8 In der Permzeit waren Seeigel weit verbreitet und zeigten eine hohe Artenvielfalt. Diese Echinodermen hatten ein kugelförmiges inneres Skelett mit radialer Symmetrie, organisiert in fünf Sektoren. Mit ihrem komplexen Kauwerkzeug, der *Laterne des Aristoteles*, zermalmten sie ihre Nahrung, die aus Algen und organischen Resten bestand. Ihre Stacheln boten effektiven Schutz gegen Fressfeinde.



8

Seeigel (Echinoidea)

DIE SCHLANGENSTERNE (OPHIUROIDEN)

9 Charakterisiert durch ihre sternförmige Morphologie mit fünf Armen, leben Schlangensterne auf dem Meeresgrund und ernähren sich von Algen, Bivalven, Gastropoden und anderen kleinen Meeresorganismen.



9

Schlangenstern (Ophiuroidea)

ARCHAEOLEPIDOTUS LEONARDII

10 Der einzige vollständig erhaltene Fisch der Bellerophon Formation, besaß nur winzig kleine Zähne und war wahrscheinlich ein Allesfresser, der sich von kleinen Insektenlarven, Algen und Detritus ernährte. Er wird als einer der ältesten Vertreter der Gruppe der Parasemionotiden betrachtet. Die Präsenz dieser Fischgruppe sowohl im späten Perm als auch in der frühen Trias deutet auf evolutionäre Anpassungen hin, die ihr Überleben während des Massenaussterbens begünstigt haben könnten.

SPURENFOSSILIEN

Versteinerte Lebensspuren geben Einblick in das Verhalten und die Umweltbedingungen vergangener Lebensformen, einschließlich Bewegungs-, Ruhe-, Fress- und Brutspuren sowie Kotabdrücke.

DIE FORAMINIFEREN

Benthische Foraminiferen, am Meeresboden lebende Einzeller mit einem Gehäuse aus Calciumcarbonat, ernährten sich von Detritus, Algen und kleinen Tieren. Sie dienten auch als Nahrungsquelle für diverse Meeresorganismen und existieren noch heute.

DIE MICROCONCHIDEN

Microconchiden, fossile Röhrenwürmer, lebten im Meer und bildeten wenige Millimeter große, spiralig aufgerollte Röhren aus Calcit. Die Gattung *Microconchus*, ehemals als *Spirorbis* bekannt, ernährte sich filtrierend und haftete an der Oberfläche anderer Organismen.

DIE OSTRACODEN

11 Muschelkrebse, bekannt als Ostrakoden, waren mikroskopisch kleine Krebstiere mit einer zweiklappigen Schale. Die Schalen umhüllten das Tier vollständig und bei Gefahr konnten die Ruderbeinchen eingezogen werden. Ihre Größe variierte zwischen 0,5 und 2 mm. Sie kommen auch heute noch vor.



10

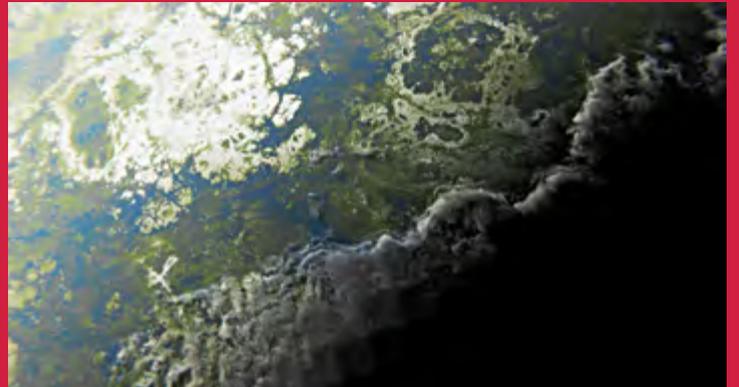
Archaeolepidotus leonardii
(Kopie, Original im Museum Gherdëina)



11

Rezenter Ostracode

GLEICHGEWICHT

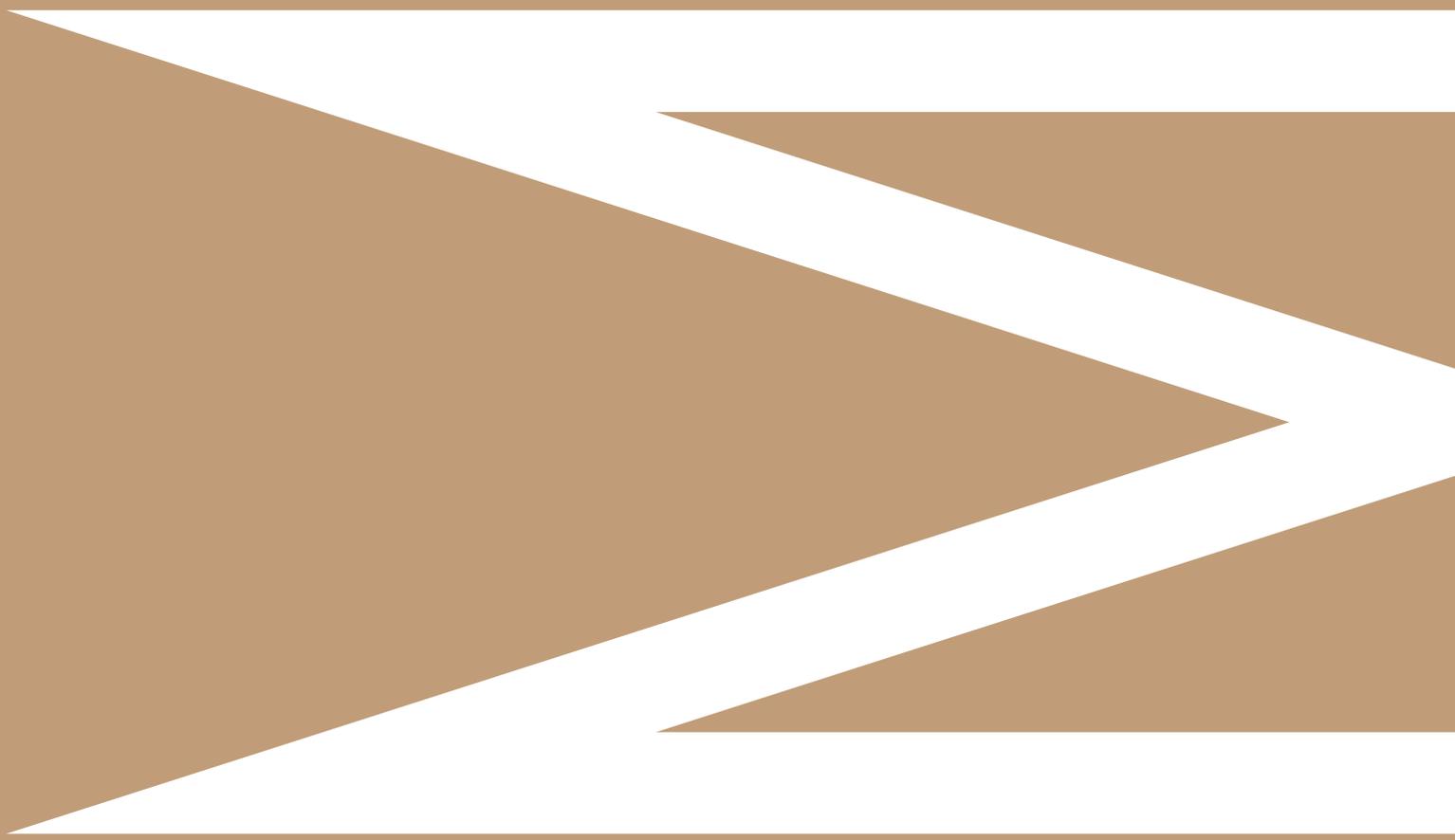


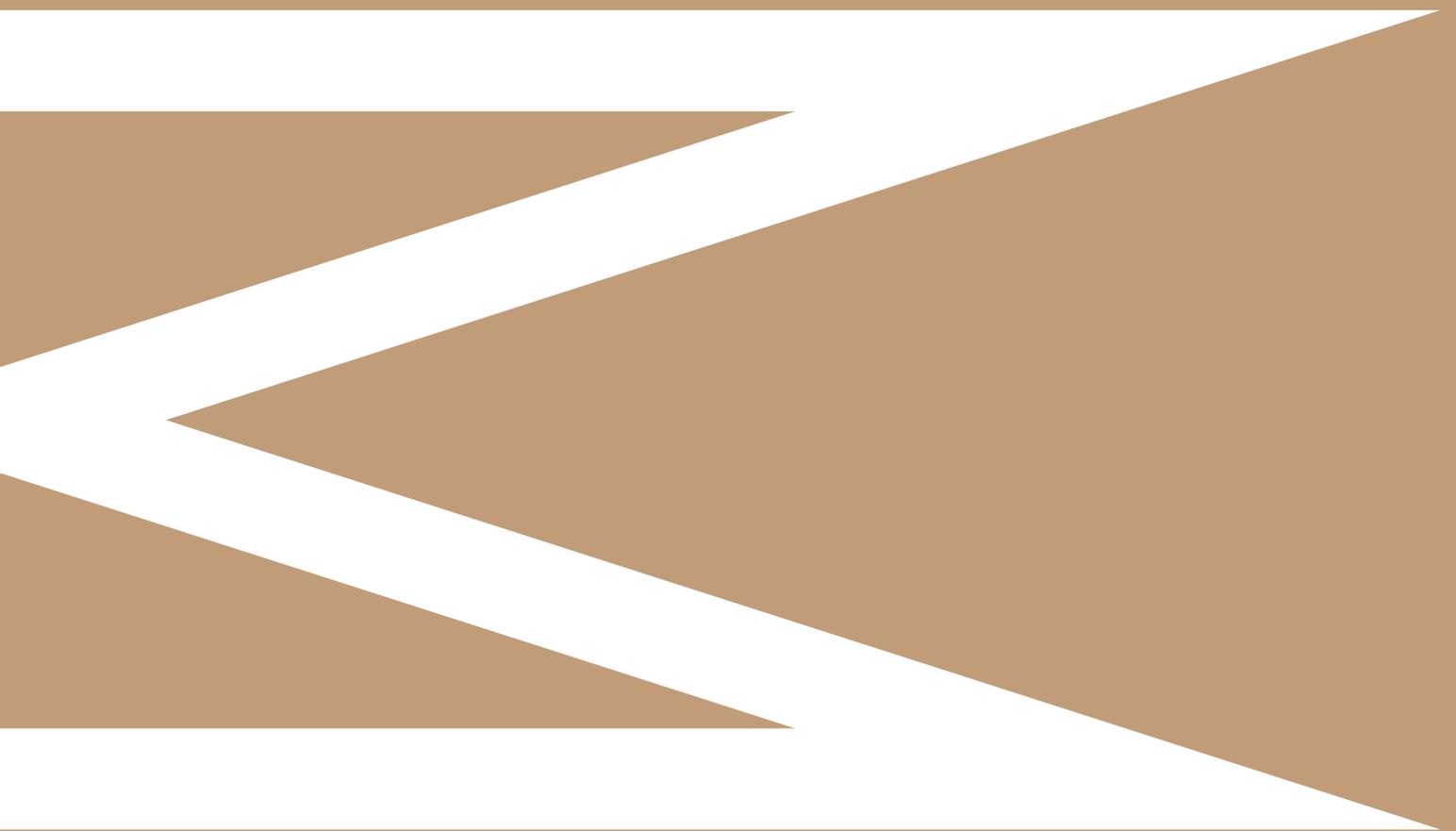


Dieses Video gibt einen faszinierenden Einblick in das Leben auf der Erde vor dem Massenaussterben am Ende der Permzeit. Mit Künstlicher Intelligenz erstellt, vermittelt es die Atmosphäre eines intakten Ökosystems vor der Katastrophe. Es ist keine exakte wissenschaftliche Rekonstruktion, sondern fängt die Stimmung und die große Vielfalt des Lebens jener Zeit ein.



3 DAS MASSEN- AUSSTERBEN AM ENDE DER PERMZEIT

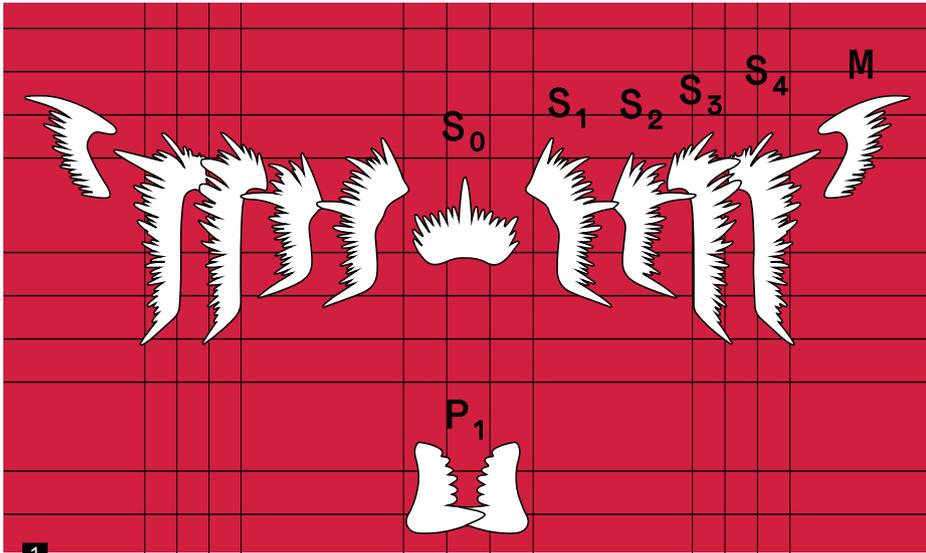




URSACHEN, VERLAUF UND FOLGEN

Der Vulkanausbruch des Sibirischen Trapps markierte den Beginn eines dramatischen globalen Wandels. Wussten Sie, dass die dadurch verursachte Freisetzung von Kohlendioxid einen Supertreibhauseffekt auslöste, der die globale Temperatur um etwa 8-10 Grad erhöhte? Diese extreme Erwärmung gilt als einer der Hauptgründe für das Massenaussterben am Ende der Permzeit. Doch welche weiteren Folgen hatte diese katastrophale Erwärmung? Erforschen Sie, wie der resultierende Sauerstoffmangel, die Ozeanversauerung und die Veränderungen der Meereschemie das marine Leben beeinflussten.

DAS MASSENAUSSTERBEN



1
Hindeodus parvus, Conodontenappart

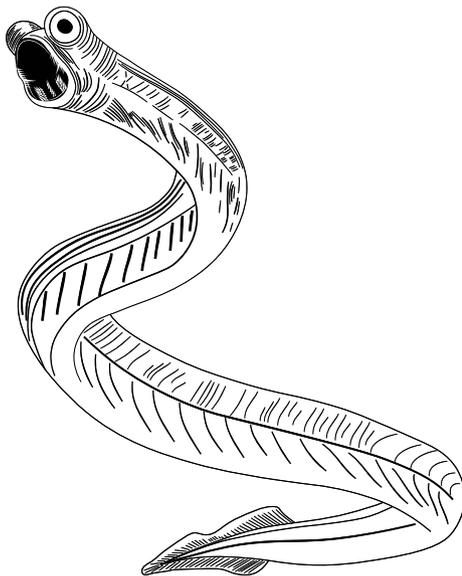
Die Dauer der einzelnen Phasen des Massenaussterbens ist immer noch nicht definitiv geklärt. Es begann vor etwa 251.939 ± 0.031 Millionen Jahren und dauerte laut verschiedener Studien insgesamt zwischen 60.000 und 30.000 Jahre. Wahrscheinlich dauerte die erste und verheerendste Aussterbephase aber nur wenige hundert oder tausend Jahre.

DIE CONODONTEN

1 2 3 Sie werden zu den primitiven Wirbeltieren gerechnet und besitzen zahnähnliche Hartteile an der Kopfregion, die zusammen den sogenannten Conodonten-Apparat bilden. Diese zahnartigen Strukturen, die Conodontenelemente, sind meist 0,1 bis 2 mm groß, bestehen aus hartem Fluorapatit und können mittels Essigsäure aus dem Gestein extrahiert werden. Die Conodonten-Art *Hindeodus parvus* ist besonders wichtig, da das erstmalige Auftreten ihrer Conodontenelemente in den Schichten den Beginn der Trias markiert.

DER STRATOTYP FÜR DIE PERM-TRIASGRENZE IN MEISHAN

Der Stratotyp der Perm-Trias-Grenze, gelegen in Meishan, Zhejiang, China 4 5, wurde 2001 als der globale Referenzpunkt (GSSP) bestimmt, der die exakte Grenze zwischen den geologischen Perioden Perm und Trias markiert. Die Kennzeichnung dieses Punktes erfolgte durch das erste Auftreten der Conodonten-Art *Hindeodus parvus* in der Schicht 27c 6. Dieser Punkt dient als weltweiter Standard, um geologische Schichten aus dieser Zeitperiode miteinander zu vergleichen und ihre relative zeitliche Abfolge zu bestimmen. Der Parastratotyp für die Perm-Triasgrenze 7 in der westlichen Tethys ist hingegen die Pufels-Sektion, der Aufschluss beim Geotrail von Pufels (Gröden). Hier kommt *Hindeodus parvus* ca. 130 cm oberhalb der Grenze zwischen der Bellerophon Formation (Bulla Member) und der Werfen Formation (Tesero Member) vor und markiert den Beginn der Trias.



2
Hindeodus parvus



3

Monument in Meishan von *Hindeodus parvus*



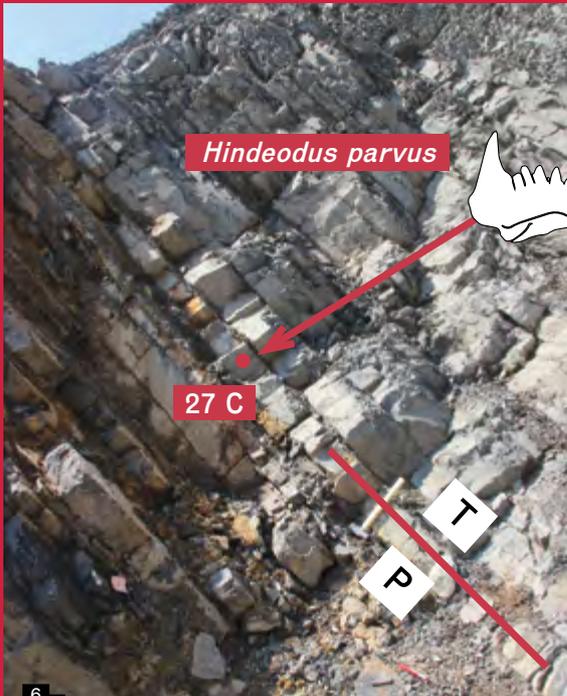
4

Meishan, Zhejiang, China



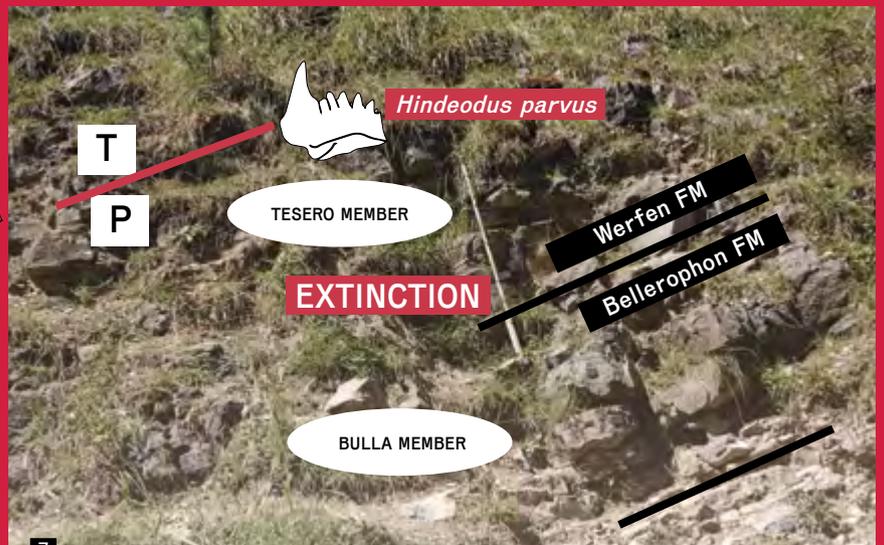
5

Meishan Geopark, Zhejiang, China



6

Der Stratotyp der Perm-Trias-Grenze, Meishan, Zhejiang, China



7

Parastratotyp der Perm (P) - Trias (T) Grenze von Pufels



1

Karte mit der Position des Sibirischen Traps im Vergleich zur Audehnung der USA



Sibirischer Trapp

DER SIBIRISCHE VULKANISMUS

Der Sibirische Trapp, ein ausgedehnter Flutbasalt in Sibirien **1**, entstand vor etwa 252 Millionen Jahren an der Perm-Trias Grenze. Dieser Vulkanausbruch, einer der größten in der Erdgeschichte, dauerte etwa 1 Million Jahre und schuf ein heutiges Areal von etwa 2 Millionen Quadratkilometern, während die ursprüngliche Fläche rund 5 Millionen Quadratkilometer betrug. Die Mächtigkeit des Sibirischen Trapps erreicht in einigen Regionen mehr als 3000 Meter, und die insgesamt ausgeflossene Basaltlava umfasst etwa 4 Millionen Kubikkilometer.



2

Vulkan

DER SIBIRISCHE TRAPP-VULKANISMUS

3 Ausgelöst wurde der Sibirische Trapp-Vulkanismus durch einen Mantel-Plume, eine Säule aus sehr heißem Gestein, das aus dem Erdmantel aufstieg. An der Erdoberfläche bildete dieser Plume einen *Hotspot*, wo das Magma durch die Kruste gedrückt wurde, um Vulkane zu formen, die typischerweise basaltische Lava ausspuckten, ähnlich wie bei der Inselkette von Hawaii.

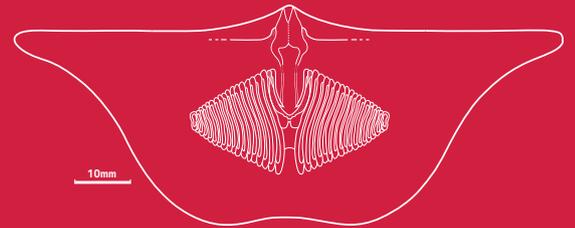
DIE LETZTEN BRACHIOPODEN: DIE *OMBONIA* UND *ORTHOTHETINA* BEDS

Nach der ersten Aussterbephase kam es noch zu einer letzten Blüte der Brachiopoden. In einer nur maximal 20 cm dicken Schicht im Tesero Member kommen die Brachiopoden wie *Ombonia* und *Orthoethina* massenhaft vor. In den darauffolgenden Schichten des Tesero Members werden die Fossilien immer seltener und kleiner, bis sie nur noch winzig klein sind. In diesen Schichten ist die zweite Aussterbephase dokumentiert, während der auch noch die letzten artikulierten Brachiopoden, Kalkalgen und Foraminiferen dahingerafft wurden.

DIE SCHALEN DER BRACHIOPODEN GEBEN AUFSCHLUSS ÜBER DIE KLIMABEDINGUNGEN IHRER ZEIT

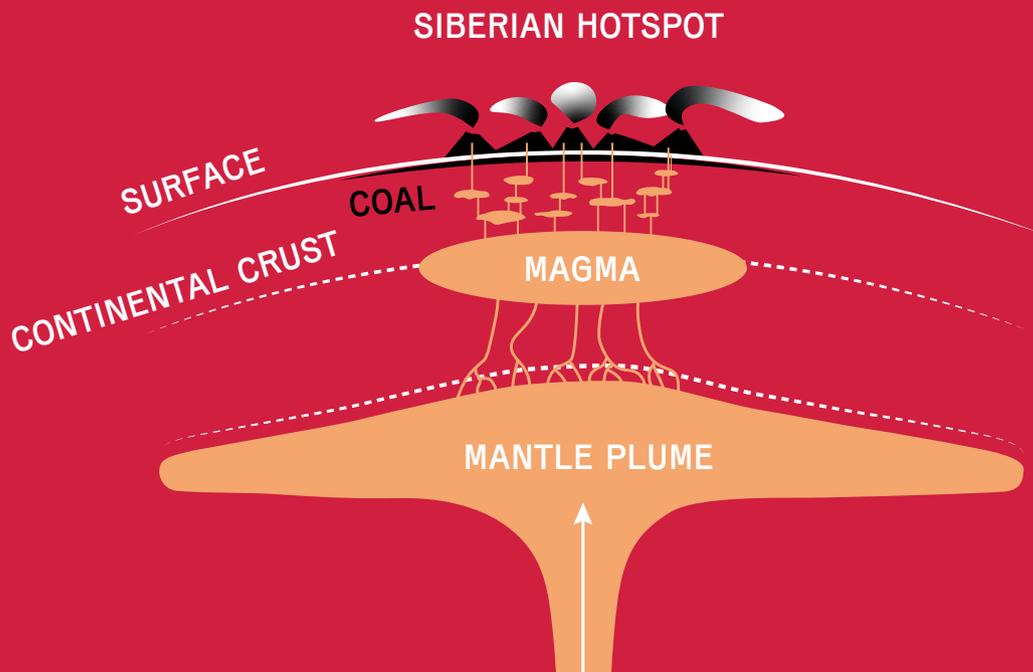
4 Das Paläoklima wird durch die geochemische Analyse stabiler Isotope rekonstruiert, welche die folgenden Informationen liefern:

- **Menge an Treibhausgasen in den Gewässern und in der Atmosphäre:** die Kohlenstoffisotope ^{12}C und ^{13}C weisen auf einen raschen Anstieg der Treibhausgase (z. B. CO_2 und CH_4) infolge der sibirischen Vulkanausbrüche hin.
- **Paläotemperaturen:** die Sauerstoffisotope ^{16}O und ^{18}O belegen einen abrupten Anstieg der Meerestemperaturen, die 40°C überschreiten.
- **Ausmaß der Versauerung:** die Bor-Isotope ^{11}B und ^{10}B zeigen eine Reduktion des pH-Wertes des Meerwassers von 8,1 auf 7,4.
- **Alter der Fossilien:** die Strontiumisotope ^{86}Sr und ^{87}Sr ermöglichen die Datierung der ältesten Comelicanien des Bulla Members auf 252,311 Millionen Jahre.



4

Comelicania sp., Bellerophon Formation



3

DIE ERSTE AUSSTERBEPHASE



Perm (P) - Trias (T) Grenze von Seres

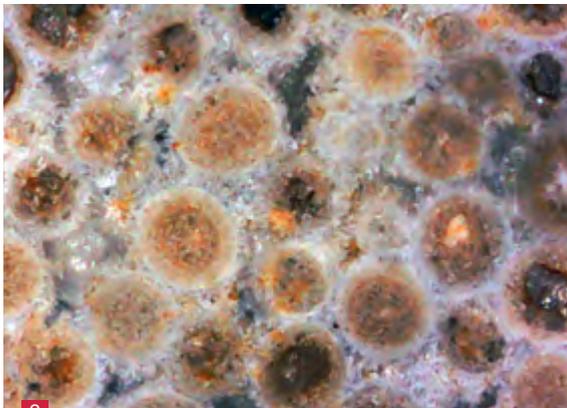
DAS AUSSTERBEN BEI DER DISKONTINUITÄT U2 IN PUFELS

Die obersten 1,5 Meter der Bellerophon Formation bestehen aus schwarzem Kalkstein und werden als Bulla Member bezeichnet. Am Übergang zwischen dem Bulla Member und dem Tesero Member kam es zu einem sehr kurzen Meeresspiegelrückgang, während dem keine Schichten abgelagert wurden. Während dieser kurzen stratigraphischen Lücke, (*Unconformity 2*), die höchstens einige Jahrtausende dauerte und in den gesamten Dolomiten zu beobachten ist, ereignete sich die erste und katastrophalste Phase des Massenaussterbens. In Pufels sieht man eine Schicht voller Leben vor dem Massenaussterben und in der darauffolgenden Schicht sind fast alle Lebewesen gestorben.

DAS TESERO MEMBER (TESERO OOLITH)

WIE BILDEN SICH OOLITHE?

1 2 Im warmen, kalkübersättigten Meerwasser fangen die Sandkörner am Meeresboden an, eine Schicht aus Kalkstein um sich herum zu bilden, ähnlich wie eine Auster eine Perle bildet. Nach und nach, während die Wellen das Korn hin und her rollen, wächst die Kalkschicht immer weiter, bis das Korn zu schwer wird und auf den Meeresboden sinkt. Dort sammeln sich viele dieser "Perlen" an und bilden eine Schicht, die sich mit der Zeit zu einem Gestein verfestigt, dem Oolith. Die Oolithe, die sich während des Massenaussterbens abgelagert haben, wurden erstmals in Tesero im Fleimstal untersucht und daher als Tesero Member bezeichnet, welches die Basis der Werfen Formation bildet. Während des Massenaussterbens waren die Oolithe entlang fast aller Küsten der Tethys verbreitet und werden deshalb als "Desaster Oolith" bezeichnet.



Tesero Oolith

DIE PHASEN DES MASSENAUSSTERBENS

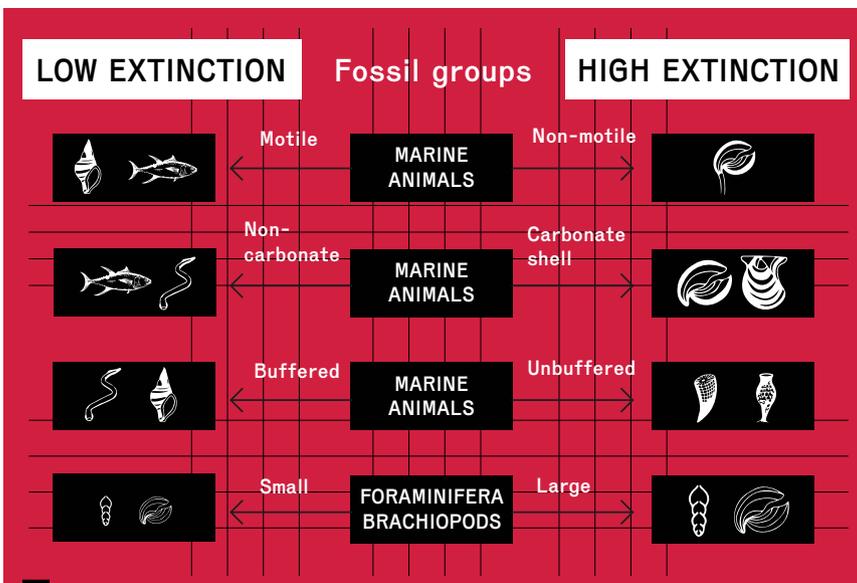
Es gibt zwei Hauptphasen des Aussterbens am Ende der Permzeit, die durch verschiedene Faktoren bestimmt werden:

- **Primäre Phase:** In dieser Phase ist die Physiologie, also die körperlichen Eigenschaften und Funktionen der Arten, ausschlaggebend für ihr Überleben. Wenn eine Art nicht gut an die sich schnell verändernden Umwelteinflüsse angepasst war, ist sie in dieser Phase ausgestorben.
- **Sekundäre Phase:** In dieser Phase sind die Beziehungen zwischen den Arten und ihrer Umwelt, also die ökologischen Interaktionen, entscheidend. Wenn eine Art beispielsweise von einer anderen Art abhängig war, die in der primären Phase ausgestorben ist, dann ist sie in der sekundären Phase ausgestorben.

WELCHE ORGANISMEN STARBEN AUS UND WELCHE ÜBERLEBTEN?

3 4 SELEKTIVITÄT DES MASSENAUSSTERBENS AM ENDE DER PERMZEIT

- Am Meeresboden verankerte Organismen, die sich kaum fortbewegen konnten, waren vom Massenaussterben viel stärker betroffen als jene, die beweglich waren.
- Arten mit phosphatischen Schalen wie linguliforme Brachiopoden waren viel besser in der Lage, das Massenaussterben zu überleben als jene mit kalkhaltigen Schalen (Aragonit oder Kalzit).
- Es überlebten jene Meeresorganismen, die den Säuregehalt im Körper stabil halten konnten, auch wenn das Wasser um sie herum aufgrund von mehr Kohlendioxid (CO₂) immer saurer wurde.
- Die Mikrofauna (Ostracoden, Foraminiferen, Larven von Invertebraten) wurde stark dezimiert. Von den restlichen Lebewesen waren große Arten viel stärker betroffen als kleine (z.B. Schnecken).
- Brachiopoden waren an das offene Meer mit stabilen Lebensbedingungen angepasst, während Bivalven hauptsächlich in gestressten Küstengebieten lebten. Die Bivalven waren bereits vor dem Massenaussterben an jene extremen Bedingungen angepasst, die während des Massenaussterbens die weniger widerstandsfähigen Brachiopoden nahezu vollständig ausgelöscht haben. Ganz nach dem Motto, was mich nicht umbringt, macht mich stark.



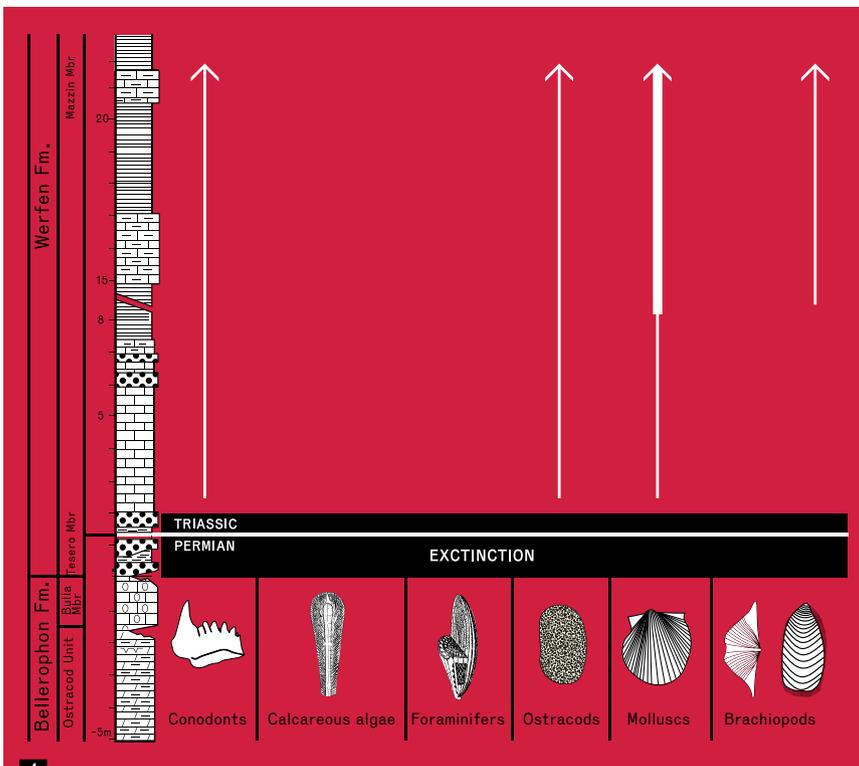
Selektivität des Massenaussterbens am Ende der Permzeit

VULKANISMUS UND KLIMAKATASTROPHE

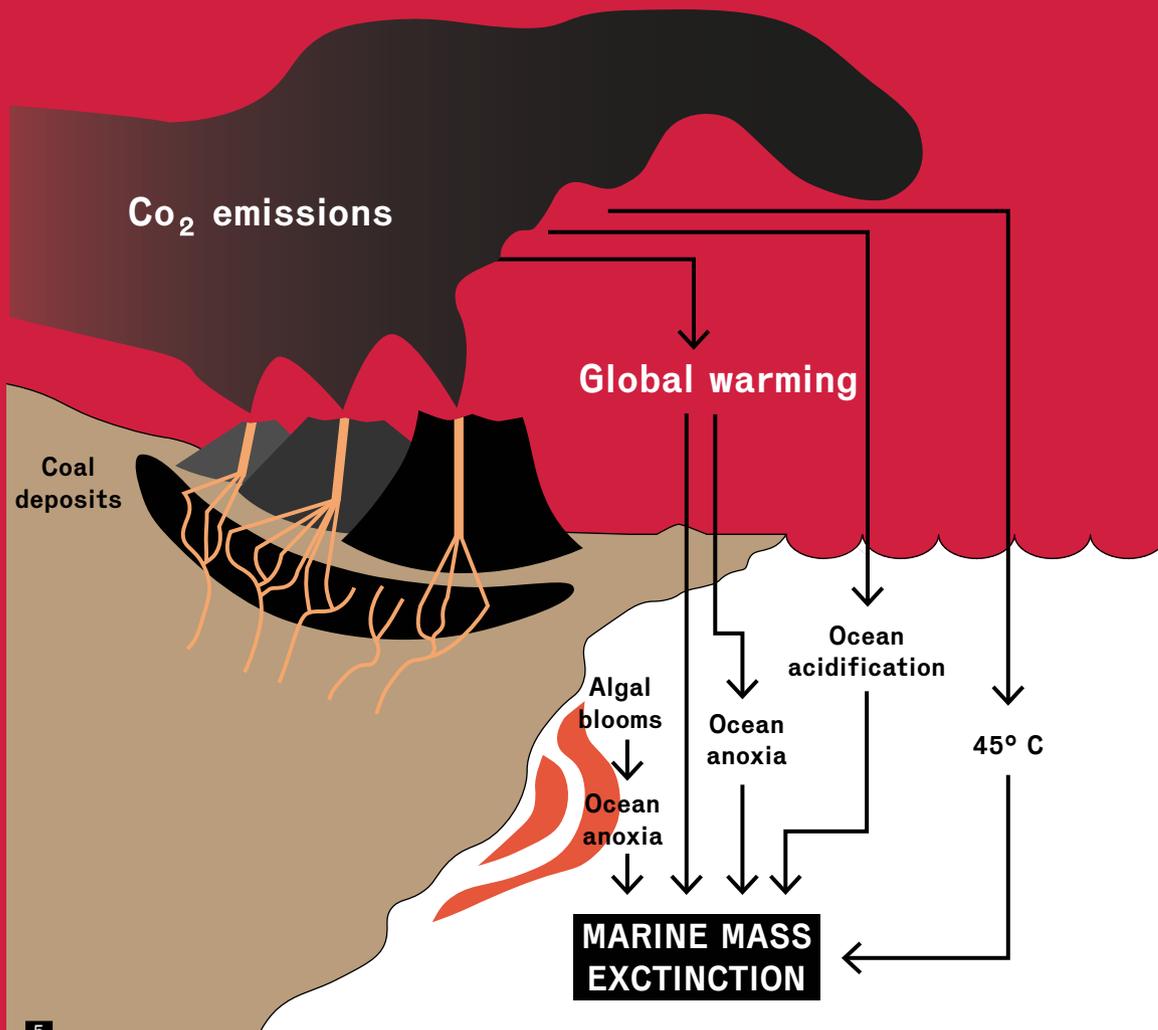
5 Man schätzt, dass während des Massenaussterbens am Ende der Permzeit durch die gewaltigen Vulkanausbrüche in Sibirien über einen Zeitraum von etwa 1 Million Jahren mindestens 3000 GT CO₂ freigesetzt wurden. 1 Gigatonne = 1.000.000.000 Tonnen. Ganz sicher kam es dadurch zu einem extremen Treibhauseffekt, der wie eine warme Decke um die Erde wirkte und die Temperaturen im Meer auf über 40°C ansteigen ließ. Der Auslöser des Massenaussterbens war der Vulkanismus in Sibirien. Aber das war nur der Auslöser, denn die Lebewesen im Tethysozean wurden ja nicht durch den Kontakt mit der Lava getötet. Der Vulkanismus und der dadurch verursachte dramatische CO₂ Ausstoß haben eine ganze Kaskade von Tötungsmechanismen in Gang gesetzt, die dann das Leben auf der Erde fast vollständig ausgelöscht haben.

WELCHE WAREN DIE TÖTUNGSMECHANISMEN?

- Das bis zu 45°C warme Meerwasser hat wahrscheinlich die meisten Organismen getötet.
- In einigen Meereszonen kam es zu Sauerstoffmangel. Warmes Wasser kann viel weniger Sauerstoff aufnehmen als kaltes Wasser. Außerdem verlangsamte sich die Meereszirkulation und das Meerwasser wurde nicht mehr vermischt, so gelangte kaum mehr Sauerstoff in tiefere Meeresschichten.
- In einigen Meereszonen konnte es zu CO₂ Vergiftung (Hypercapnie) kommen. Die Folgen für Meeresorganismen sind Atmungsprobleme, eine veränderte Blutchemie und Verhaltensänderungen.
- In einigen Regionen kam es zur Ozeanversauerung. Wenn mehr CO₂ in der Luft ist, nehmen die Ozeane es auf, was zu Veränderungen im Wasser führt, die das Meeresleben schädigen können. Dieser Prozess macht das Wasser nicht sauer wie Zitronensaft, aber es wird weniger lebensfreundlich für Lebewesen, die ihre Schalen oder Skelette aufbauen müssen, wie Muscheln und Korallen. Es wird für sie schwieriger, die Materialien zu beschaffen, die sie zum Aufbau ihrer Schalen benötigen, was das Gleichgewicht des marinen Lebens stören kann.



Massenaussterben beim Aufschluss von Pufels



5

Sibirischer Vulkanismus und Klimakatastrophe

Als das Magma in die gigantischen sibirischen Kohlelagerstätten und andere organische Ablagerungen eindrang und diese in Brand setzte, wurden Unmengen an CO₂ und Methan freigesetzt. Das führte zu einem Super-Treibhauseffekt, der das Massenaussterben in Gang setzte.

AUSSTERBEN

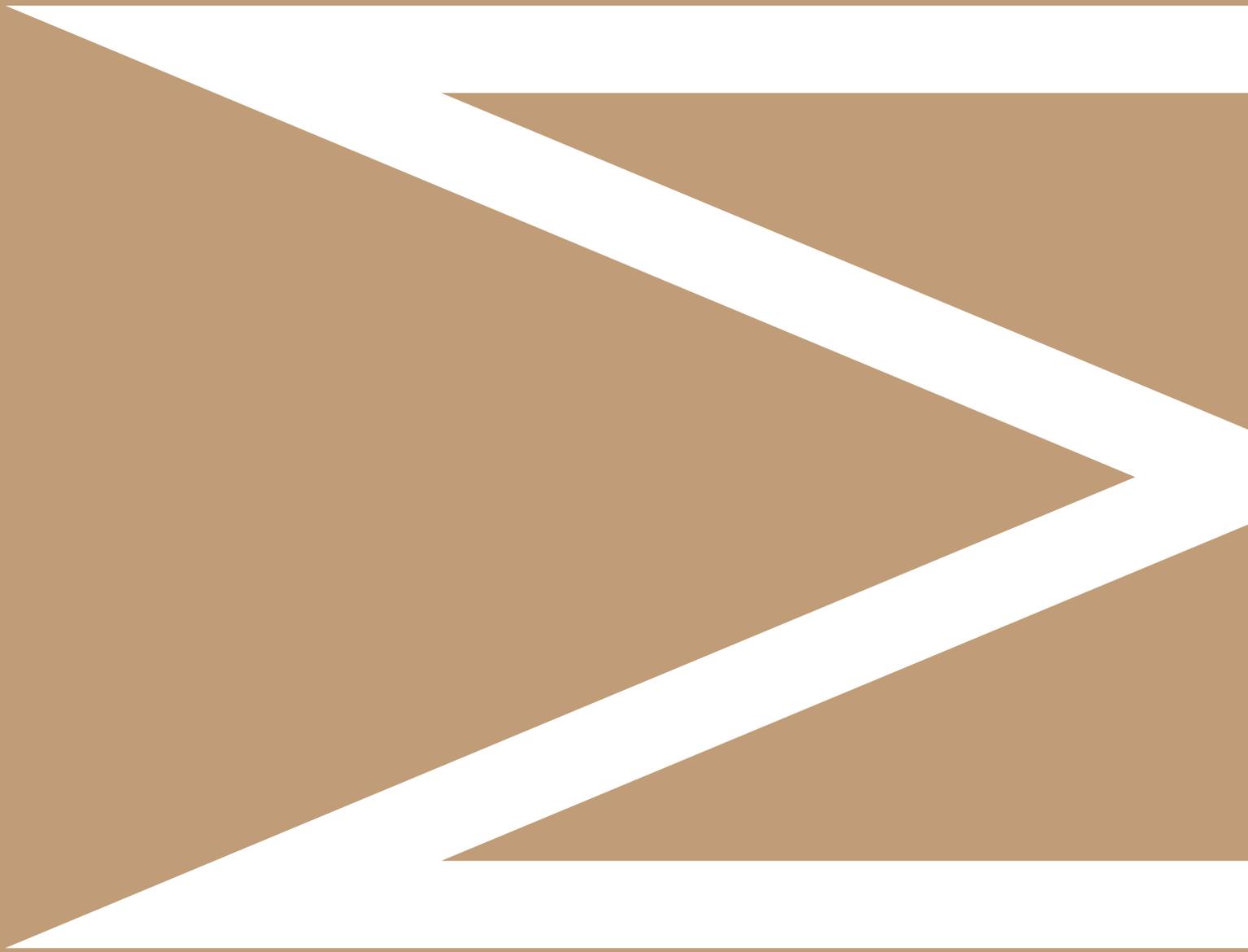


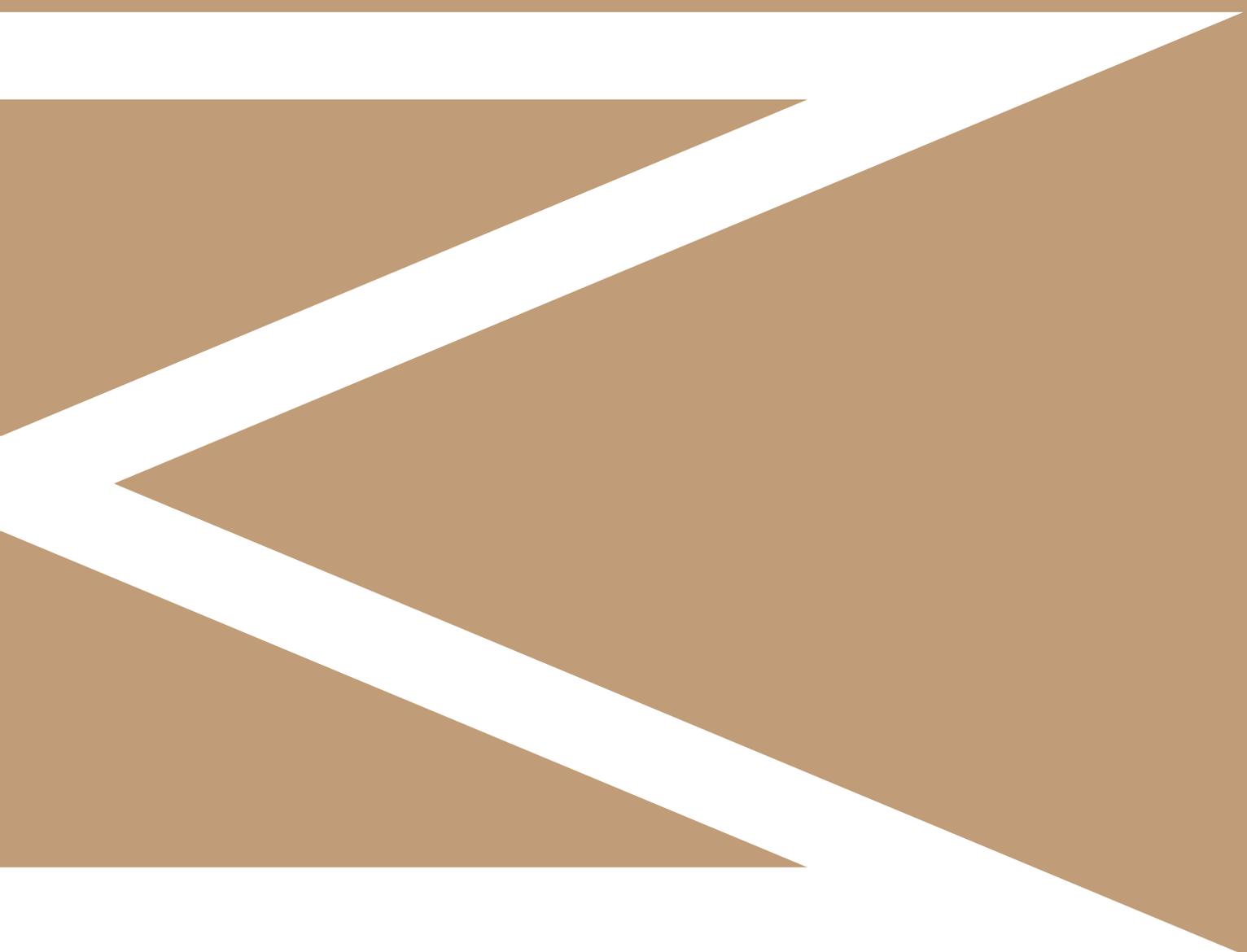


Dieses Video zeigt die beeindruckenden vulkanischen Aktivitäten der Sibirischen Trapps. Mithilfe von Künstlicher Intelligenz erstellt, fängt es die Kraft und Dynamik dieser Ereignisse ein. Das Video ist keine exakte wissenschaftliche Darstellung, sondern illustriert die imposante Stimmung des damaligen Vulkanismus.



4 NACH DEM MASSENAUS- STERBEN





Nach dem Massenaussterben am Ende der Permzeit dominierten Cyanobakterien vorübergehend die Ozeane. Was ermöglichte es diesen Mikroorganismen, sich so effektiv auszubreiten? In der Werfen Formation zeigt die Präsenz der Muschel *Claraia*, eine bemerkenswerte Anpassung an die extremen Bedingungen der frühen Trias. Wie passten sich *Claraia* und andere marine Organismen an die Herausforderungen sauerstoffarmer und überdurchschnittlich warmer Meere an?

DIE TRIASZEIT



1

Friedrich August von Alberti

Die Triaszeit ist eine geologische Periode die von 251,9 bis 201,3 Millionen Jahren reicht. Sie wurde 1834 von **Friedrich August von Alberti** ¹, eingeführt und ist nach den drei Gesteinsarten - Keuper, Muschelkalk und Buntsandstein - benannt, die in dieser Epoche in Europa vertreten waren.

DIE WERFEN FORMATION

Nach dem Massenaussterben bildete sich die bis zu 400 Meter mächtige Werfen Formation ² (etwa 251,9-247 Millionen Jahre), bestehend aus Mergeln und Tongesteinen. Sie wird in neun Schichtglieder unterteilt, die durch Erosion teilweise fehlen können:

~247

MILLION YEARS

TRIASSIC	WERFEN FORMATION	San Lucano Member
		Cencenighe Member
		Val Badia Member
		Campil Member
		Gastropod Oolite Member
		Seis/Siusi Member
		Andraz Member
		Mazzin Member
		Tesero Member
PERMIAN	BELLEROPHON FORMATION	

251,9

2

Werfen Formation

- **Tesero Member:** besteht aus dünnbankigen Oolithen und erreicht bis zu 6 Meter Mächtigkeit.
- **Mazzin Member:** ³ 50 Meter mächtige Mergel mit Kalkbänken und Muschelschichten
- **Andraz Member:** bis zu 15 Meter mächtige und bunt gefärbten Tongesteine.
- **Seis Member:** ⁴ 40 Meter graue und gelblichgraue Kalke, Mergelkalke oder Kalkmergel.
- **Gastropoden Oolith Member:** rötliche Schichten, die bis zu 50 Meter mächtig sein können und aus winzig kleinen Schneckengehäusen bestehen.
- **Campil Member:** bis zu 80 Meter mächtig, meist rötlich gefärbte Mergel und Tongesteine. Sie umfassen zahlreiche Sedimentstrukturen.
- **Val Badia Member:** Diese kalkigen bis mergeligen Sedimente werden bis zu 50 Meter mächtig.
- **Cencenighe Member:** ist teilweise siltig entwickelt teilweise finden sich Dolomite, dolomitische Kalke und Kalkarenite.
- **San Lucano Member:** ist teilweise evaporitisch.

DIE TEMPERATUREN BLEIBEN HOCH

Fast 5 Millionen Jahre lang blieben die Temperaturen nach der Katastrophe hoch, verursacht durch wiederkehrenden Vulkanismus in Sibirien oder andere noch nicht vollständig verstandene Prozesse. Die Verwitterung der Gesteine auf dem Festland, die CO₂ bindet, war nicht effektiv genug, weil es so trocken geworden war, dass zu wenig Gestein erodieren konnte. Es gab keine Kalkalgen mehr, die genügend Kalk im Meer produzieren konnten und so bildeten sich vorwiegend Tonablagerungen und Mergel. Viel Schlamm wurde ins Meer geschwemmt oder er bildete sich dort direkt am Meeresgrund durch einen Vorgang, der *inverse weathering* (inverse Verwitterung) genannt wird und bei dem sogar CO₂ freigesetzt wird.



3

Mazzin Member, Geotrail Pufels, Gröden



4

Seis-Siusi Member, Seiser Klamm, Seis

DIE CYANOBAKTERIEN ÜBERNAHMEN FÜR KURZE ZEIT DIE WELT

5 6 Mit dem fast vollständigen Aussterben der Kalkalgen wurden Cyanobakterien zu den dominierenden Primärproduzenten im Meer, da sie auf nährstoffarmen Böden leben, Photosynthese betreiben, Stickstoff fixieren und für andere Organismen nutzbar machen konnten. Sie bildeten weltweit Mikrobenmatten und Stromatolithen (hauchdünn übereinandergestapelte Kalkschichten), auch im Tesero Member. Jedoch limitierte die Toxizität einiger Cyanobakterien-Arten ihre Nutzung als Nahrungsquelle, was wahrscheinlich die Erholung des marinen Lebens verzögerte.

?UNIONITES, EIN ÜBERLEBENDER

Zwei Muschelarten kommen in der Werfen Formation überall und sehr häufig vor: ?*Unionites canalensis* und ?*Unionites fassaensis*. Das Fragezeichen vor dem Namen gibt an, dass die Zugehörigkeit zur Gattung *Unionites* fraglich ist.



5

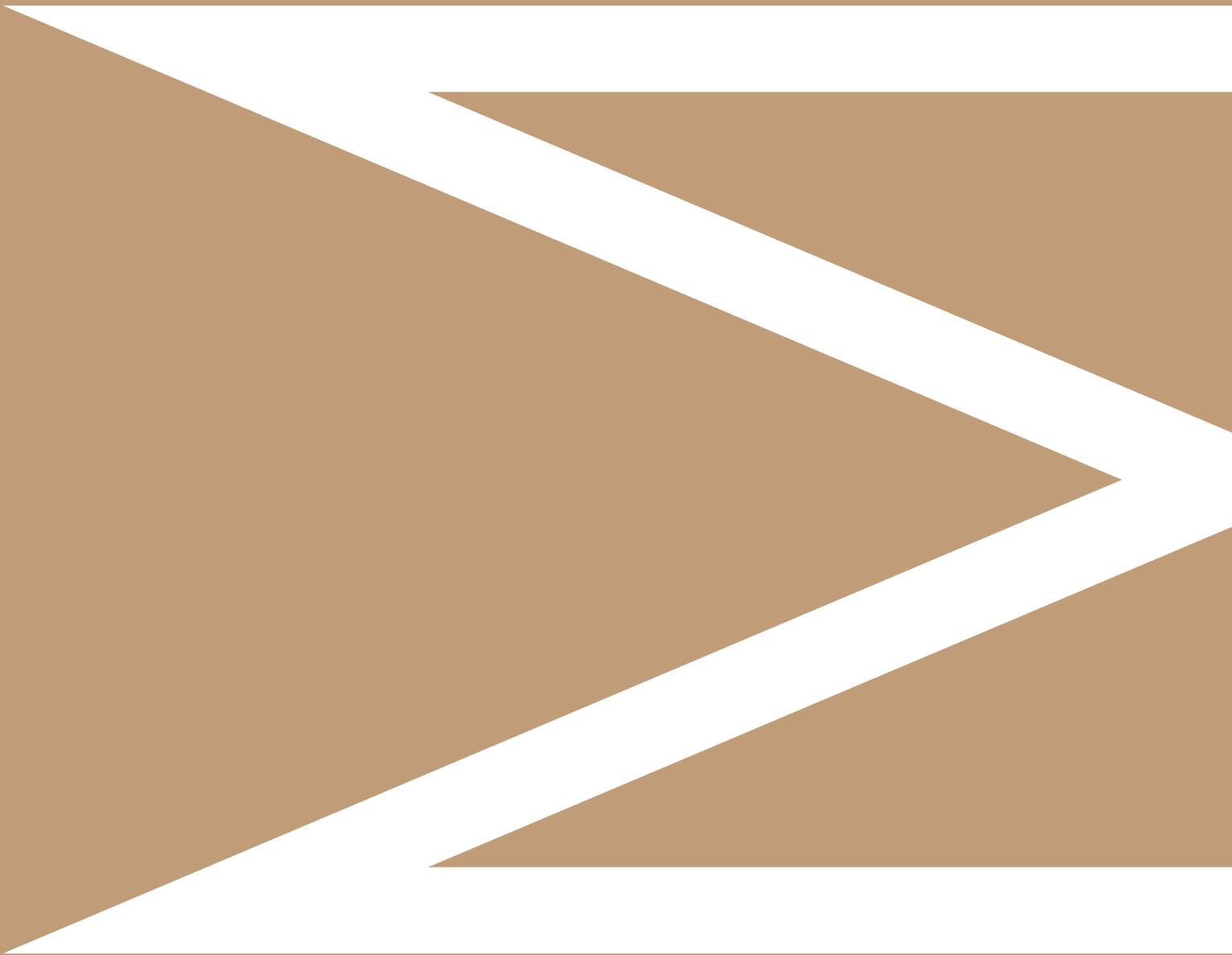
Stromatolithen, Tesero Member, Tesero

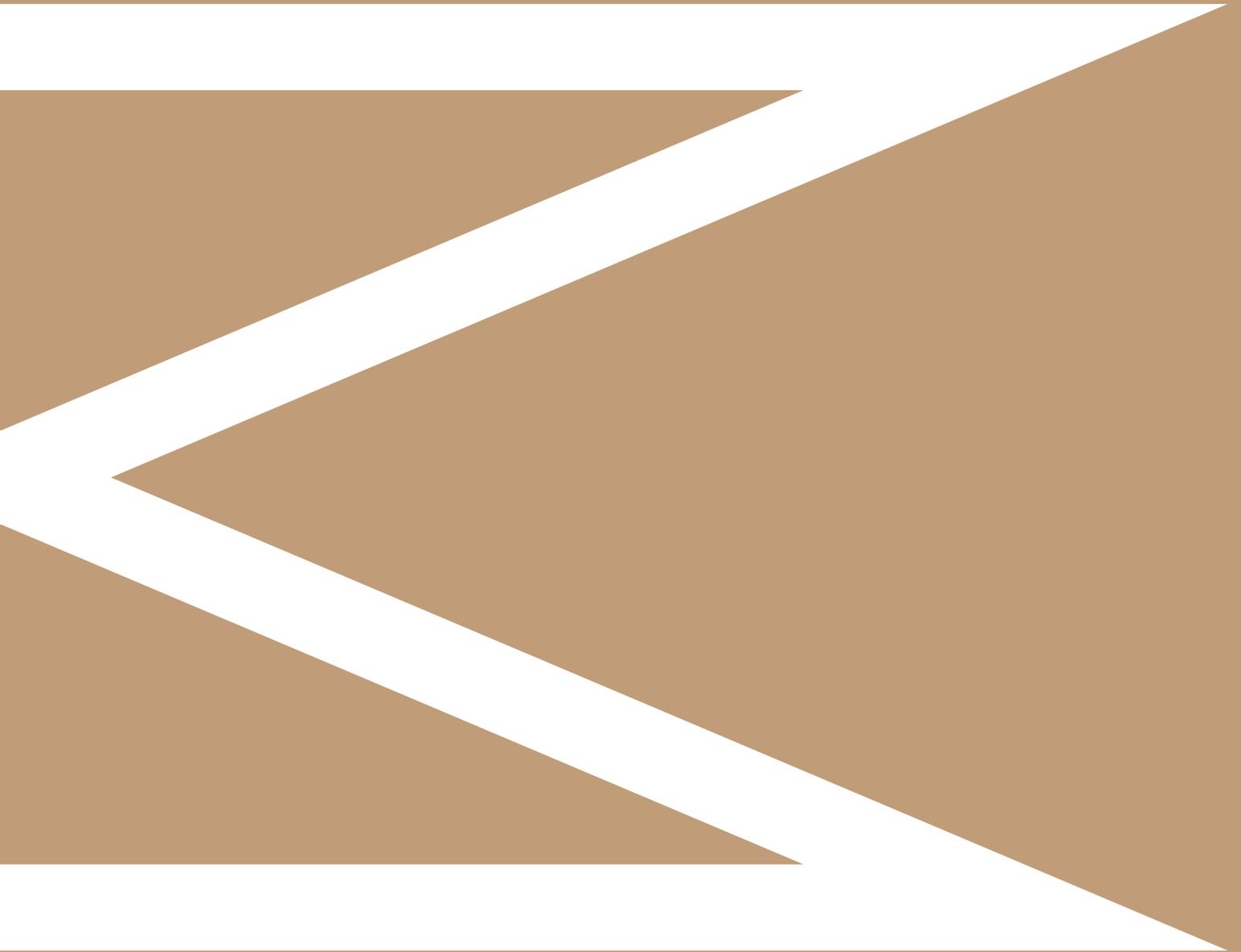


6

Rezente Stromatolithen, Shark Bay, Australien

5 DAS LEBEN
ERHOLT SICH
EXTREM LANGSAM





Nach dem Massenaussterben füllten die wenigen überlebenden Arten die leeren ökologischen Nischen, was zu einer langsamen Zunahme der Artenvielfalt führte. Doch welche weiteren Schritte waren nötig, um von dieser anfänglichen Expansion zu einer differenzierten und angepassten Lebensvielfalt überzugehen? Erst 15 Millionen Jahre später, in der St. Kassian Formation sind Anzeichen einer fortschreitenden, aber noch unvollständigen Erholung zu sehen.

UND DANN KAM *CLARAIA*



1

Alexander Bittner

WIESO *CLARAIA*?

Franz Clara, ein Priester aus Abtei im Gadertal, war ein begeisterter Fossiliensammler. 1843 begegneten sich der deutsche Geologe Hermann Friedrich Emmrich und Franz Clara auf der Seiser Alm. Clara stellte Emmrich seine hervorragende Fossiliensammlung zur Verfügung. Als Zeichen tiefer Dankbarkeit benannte Emmrich eine neu entdeckte Bivalven-Art aus Pufels nach Clara - *Posidomya clarae*. Schließlich beschrieb Bittner im Jahr 1901 die neue Gattung *Claraia*, die er auch zu Ehren des Entdeckers benannte, woraufhin die Muschel den Namen *Claraia clarae* erhielt.

CLARAIA WAR SEHR WIDERSTANDSFÄHIG

Nach dem Massenaussterben am Ende der Permzeit breitete sich *Claraia* weltweit aus und diversifizierte sich. Sie hatte eine hohe Reproduktionsrate und konnte in sauerstoffarmen Bedingungen leben, was auf eine außergewöhnliche Anpassungsfähigkeit an gestresste Lebensräume hinweist. Ihre planktonische Larvalphase könnte die Ausbreitung über weite Distanzen erleichtert haben, ähnlich den modernen invasiven Arten, die sich schnell an neue Umgebungen anpassen.

ALEXANDER BITTNER ¹ (1850-1902), war für seine Forschungen über Bivalven der alpinen Trias-Periode bekannt und beschrieb erstmals die Muschelgattungen *Eumorphotis* und *Claraia*.

“PAPER PECTEN”

² *Claraia* und *Eumorphotis* gehören zur Gruppe der “Paper Pecten” (Papiermuscheln). Die “Paper Pecten” sind eine Gruppe von flachen, dünnen Muscheln mit großer Oberfläche und geringem Volumen, die auf weichen und sauerstoffarmen Meeresböden lebten. Auch *Dunbarella*, *Posidonia* und *Mytilus* gehören zu dieser Gruppe. *Claraia* vereint alle Eigenschaften dieser Muschelschalen und bildet somit den perfekten “Paper Pecten”.



2

Perfekter “Paper Pecten”, *Claraia clarae*

TIROLITES CASSIANUS

3 Ammonoiden, marine Kopffüßer und Verwandte des heutigen *Nautilus*, sind für ihre spiralförmigen Schalen bekannt. Ihre Wiederkehr im Val Badia Member der Werfen Formation nach dem nahezu vollständigen Aussterben am Ende des Perms signalisiert eine allmähliche Erholung der marinen Ökosysteme. Der deutsche Paläontologe Friedrich August von Quenstedt beschrieb diese Art erstmals 1845 als *Ceratodus cassianus*, obwohl er wusste, dass sie aus der Werfen Formation stammt und in St. Kassian nicht vorkommt. Die endgültige Zuordnung zur Gattung *Tirolites* erfolgte 1882 durch Edmund von Mojsisovics.



3

Tirolites cassianus

DIE SCHLANGENSTERNE (OPHIUROIDEN)

4 5 Im Campil Member der Werfen Formation tauchten nach dem Massenaussterben erneut Schlangensterne auf. Die Spuren, die sie im feinen Sediment hinterließen, sind bekannt als *Asteriacites lumbricalis* und zeigen, wie sich diese Organismen bewegten und mit der marinen Umgebung interagierten.



4

Campil Member der Werfen Formation

DIE LINGULIDEN

6 Linguliden sind die einzigen Brachiopoden der Bellerophon Formation, die das Massenaussterben überlebt haben.



5

Ophiura albida (rezent)



6

Lingula anatina, Philippinen (rezent)

WANN ERHOLTE SICH DAS LEBEN WIEDER?



St. Kassian Formation, Störes (Gadertal)

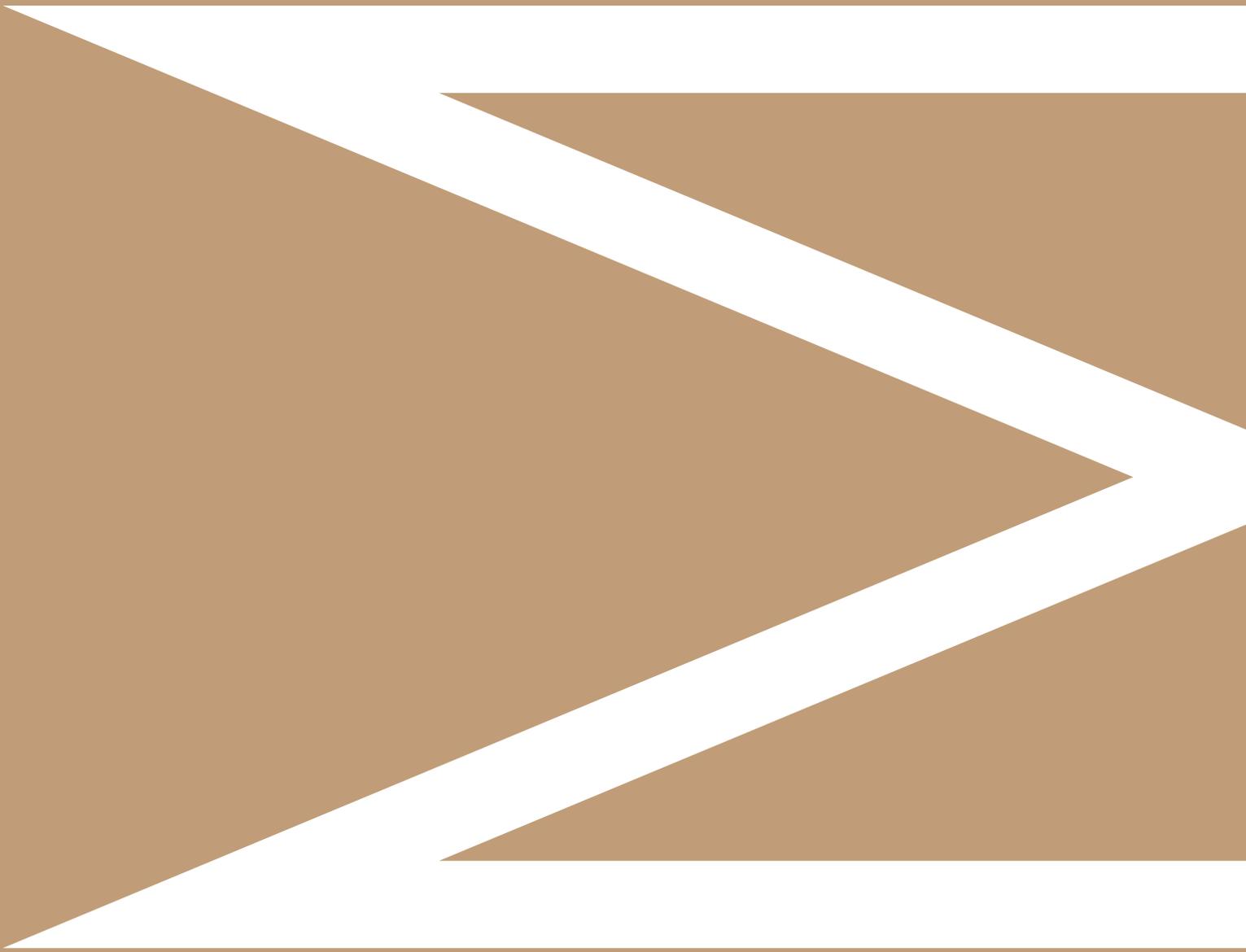
Der Paläontologe Michael Hautmann untersuchte 2014, wie sich das Leben nach Massenaussterbeereignissen entwickelt und identifizierte drei Hauptphasen der Erholung:

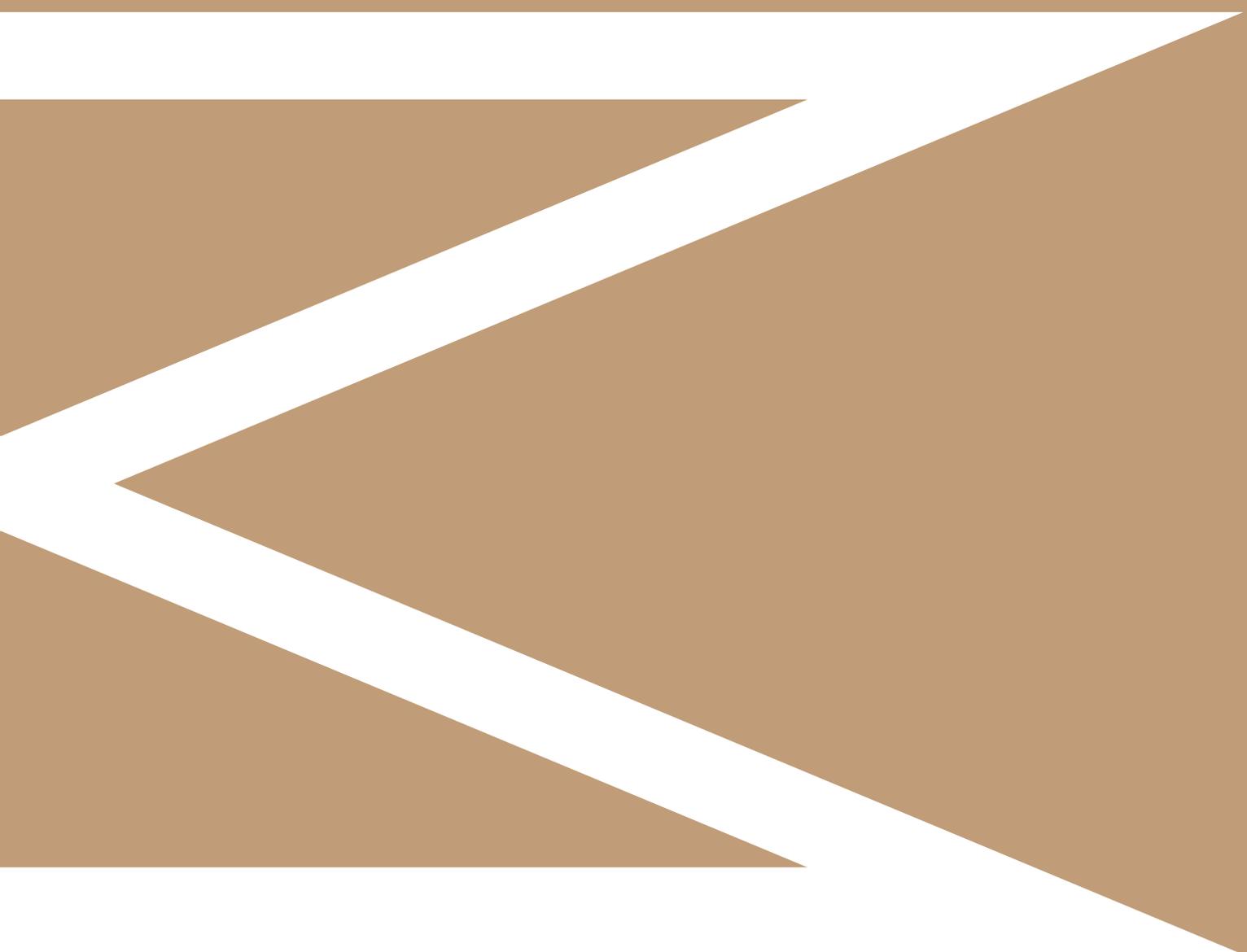
- **Unmittelbar nach dem Aussterben:** Aufgrund der geringen Konkurrenz unter den wenigen überlebenden Arten nahm die Biodiversität zu. Die überlebenden Arten besiedelten viele verschiedene Lebensräume, was zu ähnlichen Ökosystemen führte, beispielsweise geprägt durch Arten wie *Claraia* und *Unionites*.
- **Wettbewerbsphase:** Mit zunehmender Konkurrenz zwischen den Arten spezialisierten diese sich auf bestimmte Lebensräume. Dies führte zu einer Differenzierung der Lebensgemeinschaften in verschiedenen Ökosystemen, während die Vielfalt innerhalb eines Lebensraums nicht weiter zunahm.
- **Anpassungsphase:** Die Arten entwickelten spezifische Merkmale, um sich besser an ihre Umgebungen anzupassen, was erneut zu einem Anstieg der Vielfalt führte.

UNVOLLSTÄNDIGE GENESUNG: ÖKOLOGISCHER NACHHALL IN DER ST. KASSIAN FORMATION

1 Die St. Kassian Formation (ca. 237-232 Millionen Jahre), die sich etwa 15-20 Millionen Jahre nach dem Massenaussterben am Ende der Permzeit abgelagert hat, zeigt, dass das marine Leben zu diesem Zeitpunkt gerade den Übergang zur zweiten Erholungsphase durchlief und sich immer noch nicht vollständig erholt hatte. Trotz einer großen Vielfalt von über 1000 dokumentierten wirbellosen Arten, hauptsächlich Mollusken, deutet der Zwergwuchs dieser Arten auf anhaltende ökologische Stressbedingungen hin.

6 EINFÜHRUNG IN WETTER UND KLIMA

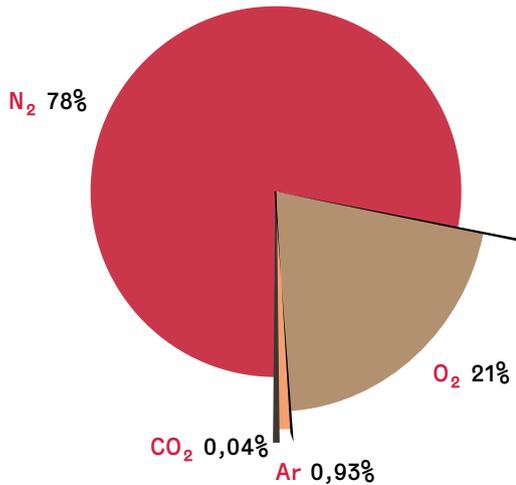




Wie kann das unscheinbare Kohlendioxid so große Auswirkungen auf unser globales Klima haben? Erfahren Sie, wie dieses Gas das Wetter und das Klima auf der Erde beeinflusst. Was ist der Unterschied zwischen dem Wetter, das wir täglich erleben, und dem Klima, das sich über Jahrzehnte erstreckt? Warum ist der aktuelle Klimawandel eine besondere Herausforderung, und wie unterscheidet er sich von natürlichen Klimaschwankungen der Vergangenheit?

DIE ZUSAMMENSETZUNG DER ERDATMOSPHERE

UND DIE ROLLE VON CO₂



1

Die Zusammensetzung der Erdatmosphäre

DIE ZUSAMMENSETZUNG DER ERDATMOSPHERE UND DIE ROLLE VON CO₂ 1

Stickstoff (N₂): 78,08%
Sauerstoff (O₂): 20,95%
Argon (Ar): 0,93%
Kohlenstoffdioxid (CO₂): 0,04%

WAS IST CO₂?

Kohlenstoffdioxid (CO₂) ist eine chemische Verbindung aus Kohlenstoff und Sauerstoff. Es ist ein farbloses, geruchloses und nicht brennbares Gas. Das Sprudelgas aus der Mineralwasserflasche ist Kohlenstoffdioxid (CO₂).

WAS IST WETTER?

Die Zustände in der Atmosphäre, die wir aktiv fühlen und miterleben können, sind Wettererscheinungen (zum Beispiel Temperatur, Niederschlag, Luftfeuchtigkeit, Windgeschwindigkeit und -richtung etc.). Diese beziehen sich immer auf einen kurzen Zeitraum von einigen Stunden, Tagen oder wenigen Wochen und werden für einen bestimmten Ort bzw. eine bestimmte Region angegeben.

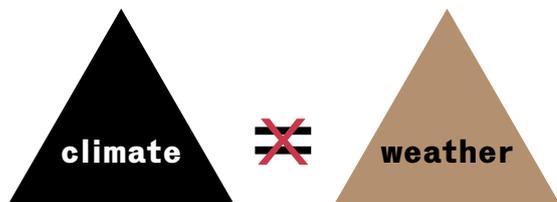
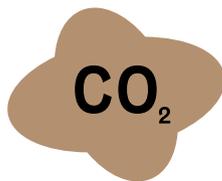
WAS IST KLIMA?

Klima bezeichnet den Durchschnittswert von Wetterbedingungen an einem Ort oder einer Region über mindestens 30 Jahre, bekannt als Klimanormalperiode. Es handelt sich um ein stabiles System, das langsam auf Veränderungen reagiert und geringere Schwankungen aufweist.

Klimaskeptiker behaupten oft: *Es hat doch immer schon einen Klimawandel gegeben, warum sollte der jetzige also ein Problem sein?*

WAS UNTERSCHIEDET DEN HEUTIGEN GLOBALEN KLIMAWANDEL VON VORHERIGEN KLIMASCHWANKUNGEN?

Beim heutigen Klimawandel handelt es sich um ein weltweites Phänomen, das im Gegensatz zu früheren Klimaschwankungen nicht auf lokale oder regionale Bereiche beschränkt ist. Während die Kleine Eiszeit (1350-1830 n. Chr.), die mittelalterliche Warmzeit (1050-1150 n. Chr.) sowie die römische Warmzeit (50-250 n. Chr.) hauptsächlich bestimmte Regionen der Erde betrafen und durch eine Vielzahl natürlicher Faktoren ausgelöst wurden, ist der aktuelle Klimawandel durch menschliche Aktivitäten verursacht und wirkt sich auf das gesamte globale Klimasystem aus.





2

Höhlenforscherin mit Bohrkern



3

Lage der Conturineshöhle, (2750 m)

BOHRKERN AUS CONTURINESHÖHLE

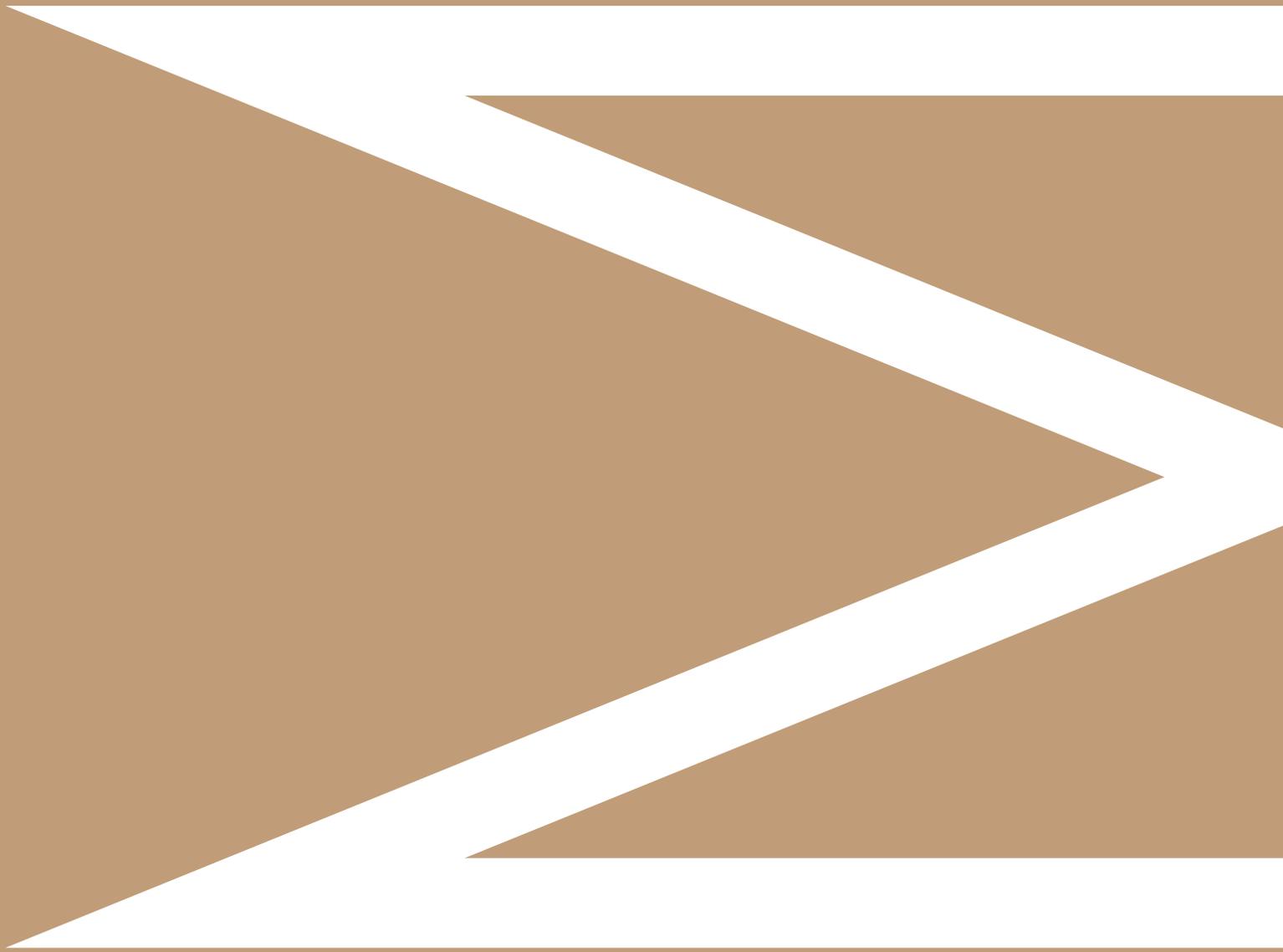
Ein 2,5 Meter langer Bohrkern **2**, der mit einem Diamanthohlbohrer aus dem Höhlenboden gewonnen wurde, zeigt die Struktur des Höhlensinters. Die oberen Schichten sind etwa 400.000 Jahre alt, während die tieferen Schichten über eine Million Jahre alt sein könnten. Dieser Bohrkern dokumentiert Kalkablagerungen aus einer Zeit, als die Conturineshöhle **3** auf einer viel niedrigeren Höhe lag. Das Klima war damals wärmer und feuchter, und durch das Niederschlagswasser wurden Kalzitschichten in der Höhle abgelagert. **4**

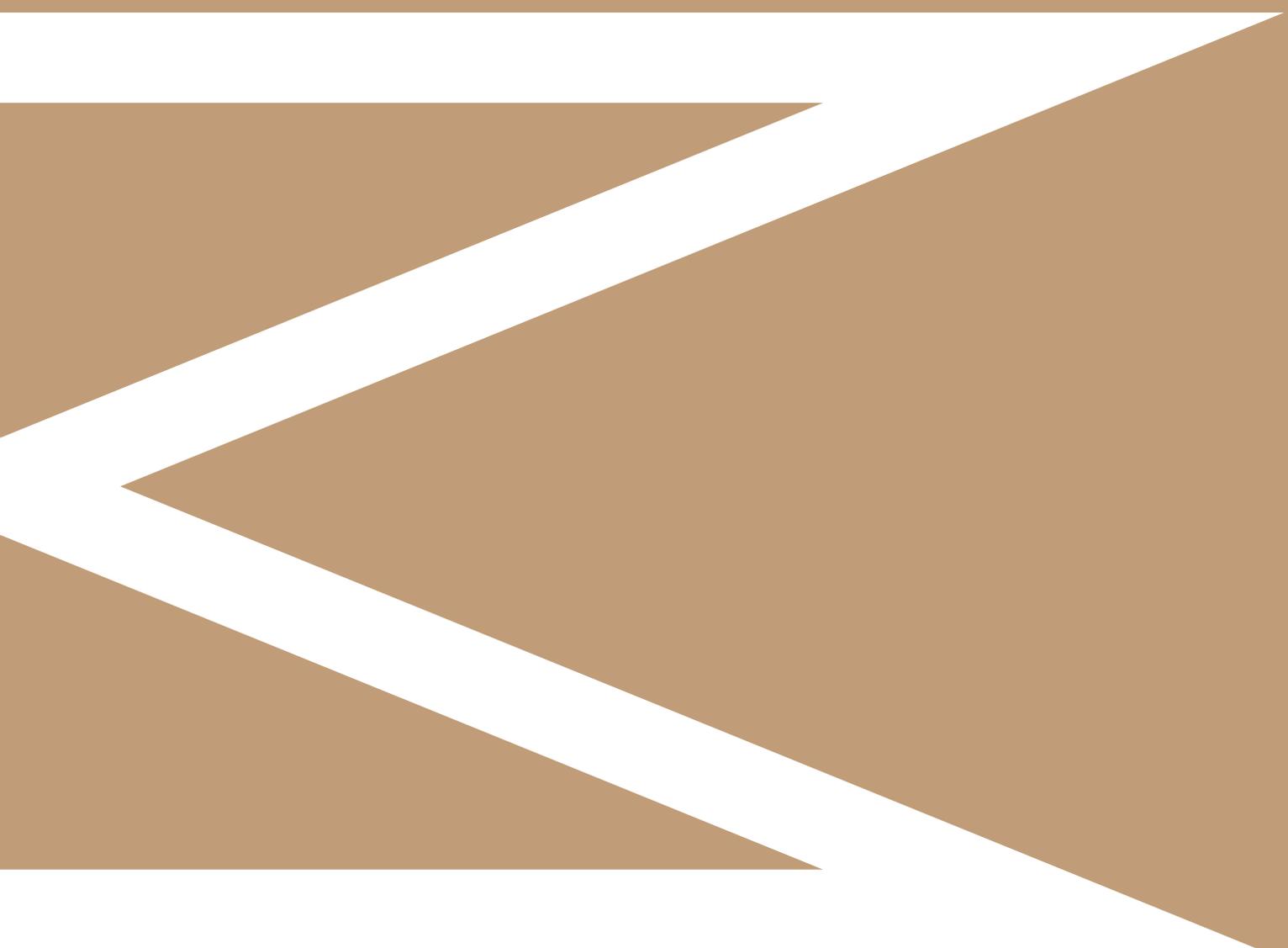


4

Stalagmit *Raiëta* in Conturineshöhle

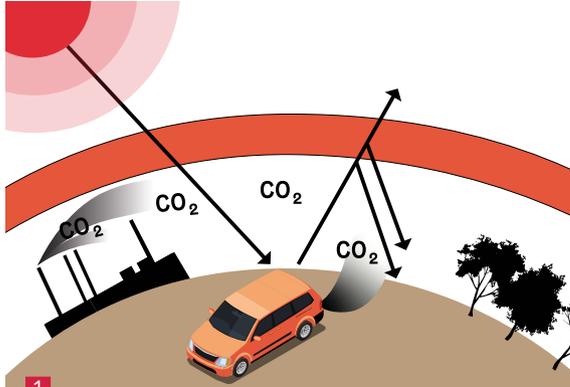
7 DIE ROLLE VON CO₂ IN UNSEREM KLIMASYSTEM





Wie beeinflusst der Treibhauseffekt, vor allem durch CO_2 verursacht, unsere Erdatmosphäre, und was sind die Grenzen, ab denen er schädlich wird? Im Mauna-Loa-Observatorium wird eine CO_2 -Konzentration von 426 ppm gemessen. Diese Konzentration ist nicht nur ein Zahlenwert; sie spiegelt die Einflüsse menschlicher Aktivitäten wider, die weit über natürliche CO_2 -Kreisläufe hinausgehen. Ist dieser Anteil wirklich so unbedeutend, wie einige Klimaskeptiker behaupten, oder verstärkt er den natürlichen Treibhauseffekt zu unserem Nachteil?

WAS IST DER TREIBHAUSEFFEKT?



Der Treibhauseffekt

1 Der Treibhauseffekt ist die Wirkung von Treibhausgasen, wie CO₂, die in der Atmosphäre die Wärmestrahlung zurückhalten und so die Temperatur der Planetenoberfläche erhöhen.

DER TREIBHAUSEFFEKT IST LEBENSWICHTIG, NUR ZU VIEL IST SCHÄDLICH

Der natürliche Treibhauseffekt hält die Erde warm (ca. 15°C im Durchschnitt), ohne ihn wäre es mit etwa -18°C zu kalt für die meisten Lebensformen. Zu starke Emissionen verstärken diesen Effekt jedoch, was zu höheren Temperaturen, extremen Wetterereignissen und Klimawandel führt. Der CO₂ Gehalt der Atmosphäre wird in ppm = parts per million gemessen.

WO WIRD DER CO₂ GEHALT GEMESSEN UND WIE HOCH IST ER?

Am Mauna-Loa-Observatorium auf Hawaii **2**: Hier wird die CO₂-Konzentration in 3400 Metern Höhe gemessen. **3** **4** Aktueller Wert von CO₂, Juli 2024: 426 ppm (co2.earth/daily-co2).

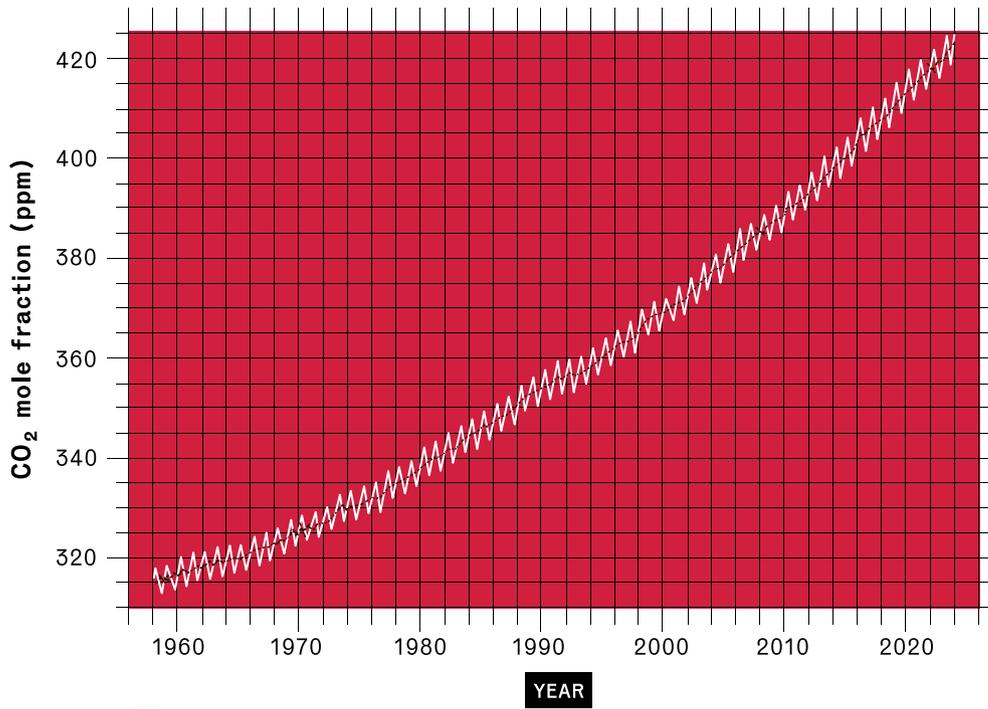
DER IRRTUM DER KLIMASKEPTIKER

Obwohl geschätzt wird, dass nur 3% der weltweiten CO₂-Emissionen direkt auf menschliche Aktivitäten wie die Verbrennung fossiler Brennstoffe und Entwaldung zurückzuführen sind, vertreten Klimaskeptiker oft die Meinung, dass dieser scheinbar geringe Anteil keinen signifikanten Einfluss auf das Klima haben kann. Diese Sichtweise ignoriert jedoch, dass selbst diese 3% die natürlichen CO₂-Kreisläufe stören, die durch einen Gleichgewichtsprozess gekennzeichnet sind, in dem CO₂ normalerweise durch Photosynthese absorbiert wird. Der zusätzliche, von Menschen verursachte CO₂-Ausstoß führt daher zu einem Ungleichgewicht, das die atmosphärische CO₂-Konzentration erhöht und somit tiefgreifende Auswirkungen auf das Klima hat.



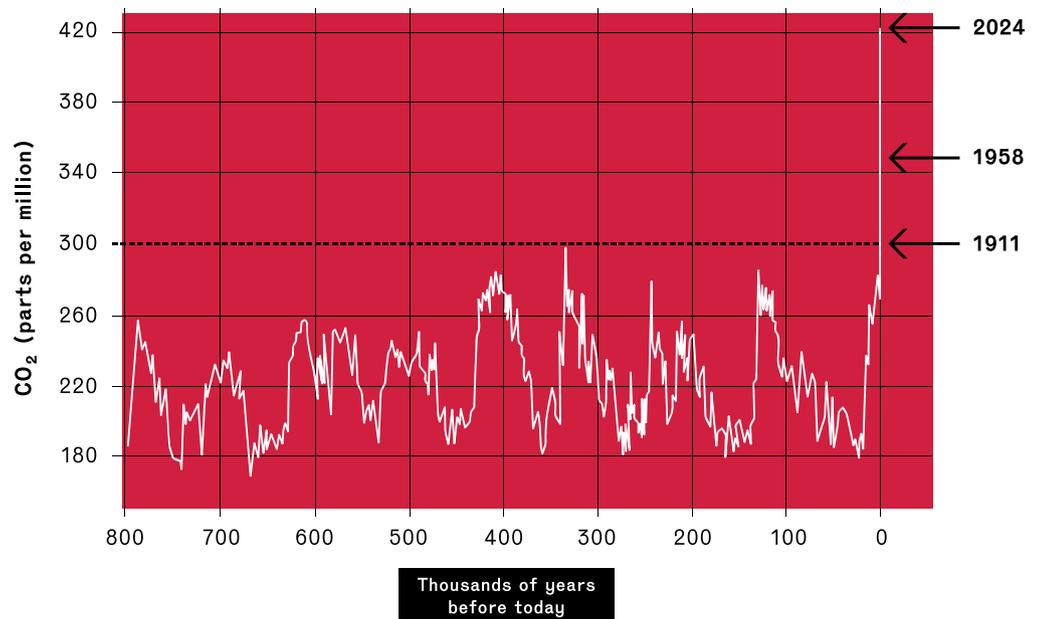
2

Mauna Loa Observatory, Hawaii



3

Anstieg des CO₂ Gehaltes in der Atmosphäre von 1960 bis heute

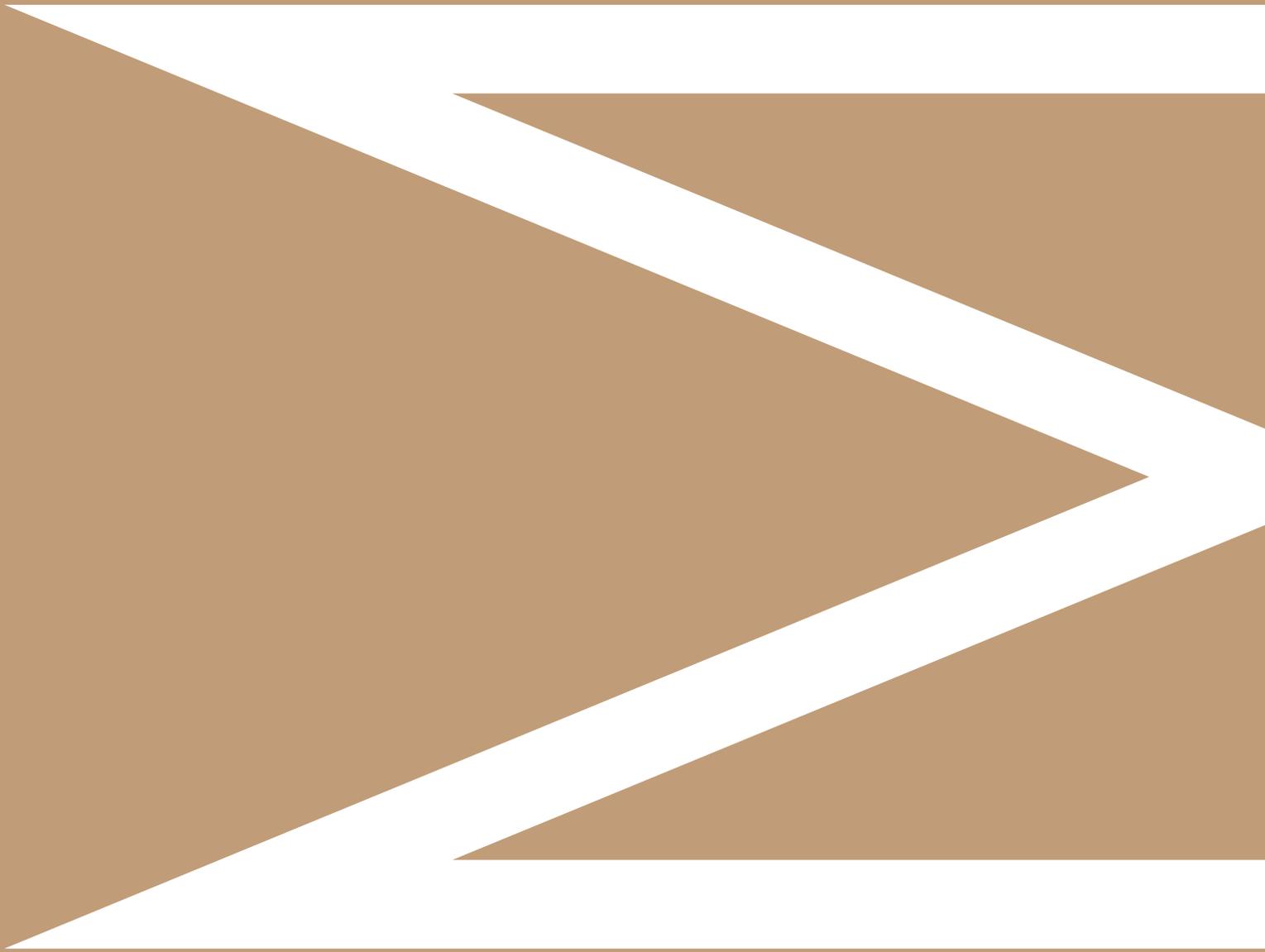


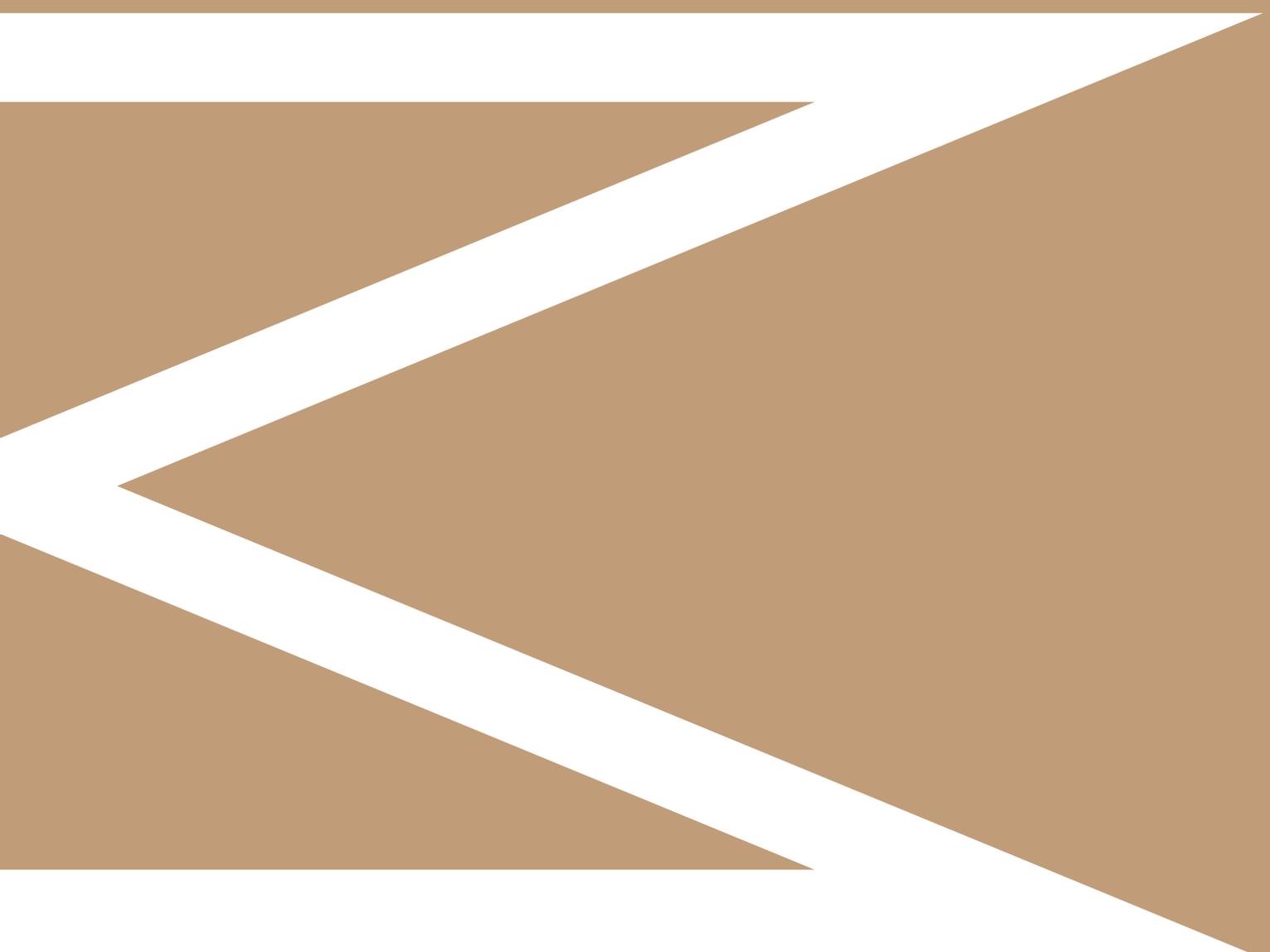
4

Der CO₂ Gehalt der Atmosphäre war in den letzten 800.000 Jahren noch nie so hoch wie heute (Daten aus Eisbohrkernen)

8

DIE ENTWICKLUNG DES KLIMAWANDELS

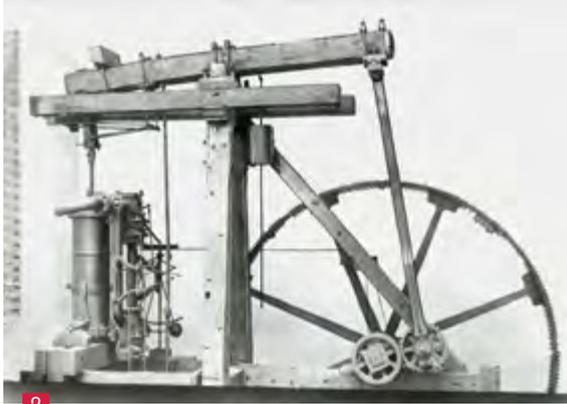




VON DER ERSTEN INDUSTRIALISIERUNG BIS HEUTE

Wie hat die industrielle Revolution die Umwelt verändert und unsere Atmosphäre beeinflusst? Erfahren Sie, wie die Nutzung fossiler Brennstoffe und neue Technologien eine fast unberührte Welt in eine von Menschen geprägte Landschaft verwandelten. Welche Anpassungen mussten Tiere vornehmen, um in einer sich rapide verändernden Umgebung zu überleben? Wie haben sich diese Entwicklungen langfristig auf unser Klima ausgewirkt?

GESCHICHTE DES HEUTIGEN KLIMAWANDELS

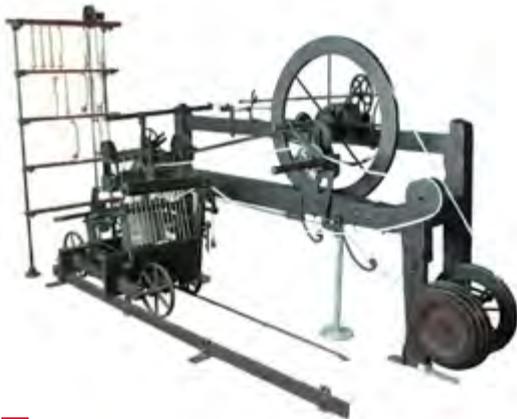


2

Watt & Boulton Dampfmaschine, 1788

DIE ZEIT VOR DER INDUSTRIELLEN REVOLUTION (VOR 1760)

Die Umwelt war relativ unberührt von industriellen Aktivitäten, und die CO₂-Emissionen waren im Vergleich zu späteren Zeiten gering. Die globale Durchschnittstemperatur lag wahrscheinlich bei etwa 13,7°C. Die atmosphärische CO₂-Konzentration lag bei etwa 280 ppm. Die Weltbevölkerung wuchs in dieser Zeit nur langsam.



3

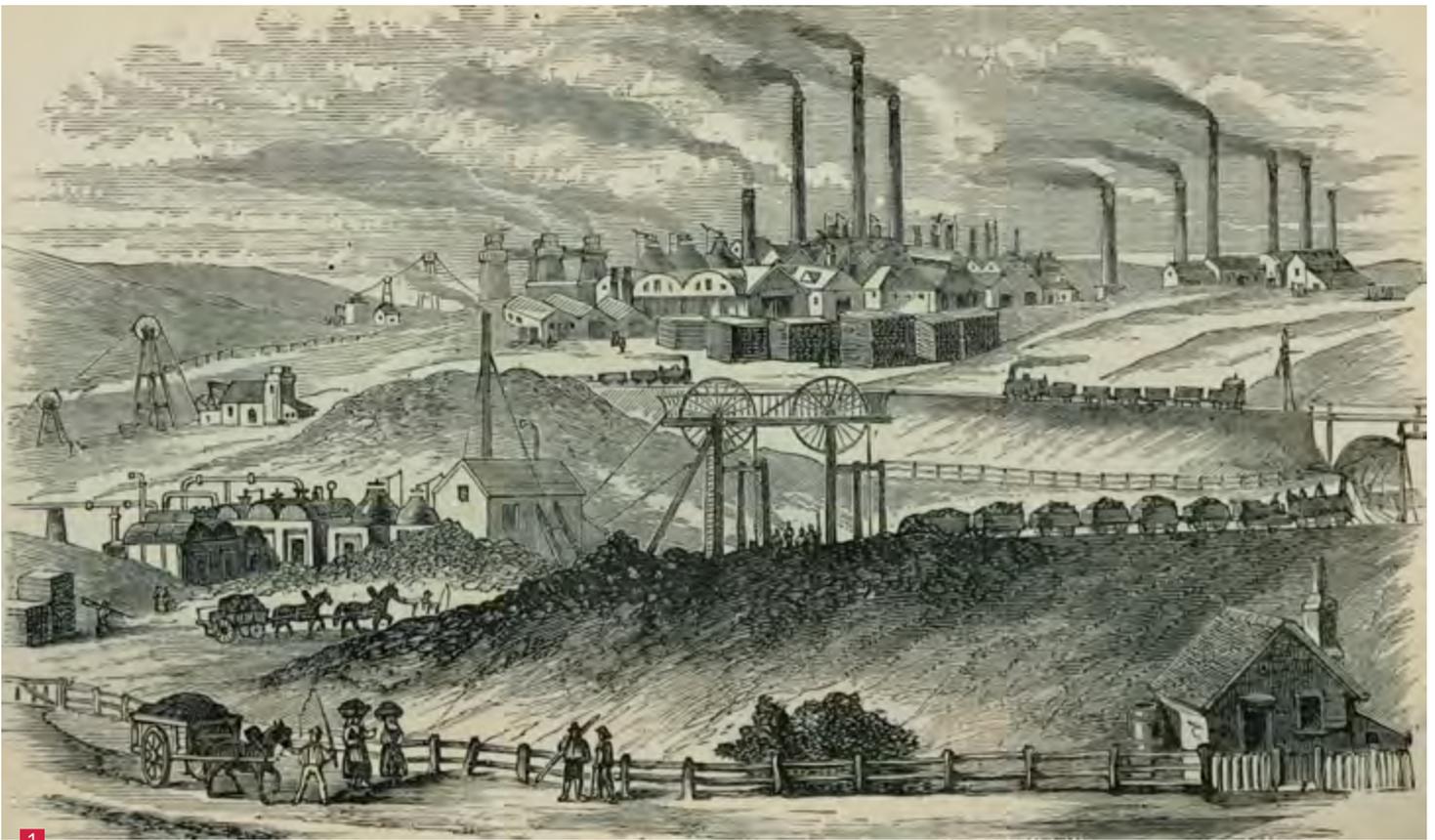
Crompton's Spinning Mule, 1779

DIE INDUSTRIELLE REVOLUTION (1760-1840)

1 Die Industrielle Revolution wurde durch die Erfindung zahlreicher Maschinen ausgelöst, wie zum Beispiel James Watts Dampfmaschine **2** (Schottland, 1769), die Spinnmaschine **3** (England, 1764) und den mechanischen Webstuhl (England, 1785). Um diese Maschinen zum Laufen zu bringen, benötigte man Unmengen an fossilen Brennstoffen. Zuerst war es Kohle, dann kam Erdöl und Erdgas dazu. Die Industrielle Revolution begann in England und breitete sich im 19. Jahrhundert auf ganz Westeuropa und die USA aus. Während der industriellen Revolution stieg der Verbrauch fossiler Brennstoffe stark an, was zu einer Zunahme der atmosphärischen CO₂ Konzentration auf etwa 290 ppm führte. Forscher/-innen haben herausgefunden, dass der Klimawandel schon um 1830 einsetzte - mit Beginn der industriellen Revolution. Die Bevölkerungszahl hatte sich bis zum Jahr 1900 mit 1,6 Milliarden bereits mehr als verdreifacht. Damals nahm sie jährlich um 0,7 bis 0,8 % zu, was einer Verdopplungszeit von etwa 100 Jahren entspricht.

NACH DER INDUSTRIELLEN REVOLUTION (1840-HEUTE)

Seit der industriellen Revolution sind die CO₂-Emissionen kontinuierlich gestiegen, besonders im 20. und 21. Jahrhundert. Die atmosphärische CO₂ Konzentration erreichte bis Juli 2024 einen Wert von 426 ppm. Die globale Durchschnittstemperatur stieg seit Beginn der industriellen Revolution um etwa 1°C auf rund 14,8°C. Laut Weltbevölkerungsur der Deutschen Stiftung Weltbevölkerung leben aktuell (Stand Juli 2024) rund 8,1 Milliarden Menschen auf der Welt. Die Zahl der Erdbewohner/-innen wird sich laut einer UN-Prognose zur Entwicklung der Weltbevölkerung bis 2050 auf 9,71 Milliarden und bis 2100 auf 10,35 Milliarden Menschen erhöhen.



1

Die Industrielle Revolution

AUSWIRKUNGEN AUF DIE BIRKENSPELLER

4 Aufgrund der Luftverschmutzung während der Industriellen Revolution mutierten die ursprünglich weißen Birkenspanner, die auf der weißen Rinde der Birken nur schwer zu erkennen waren, zu einer dunkleren Form. Diese Veränderung diente dazu, sich besser vor Vögeln auf den nun rußbedeckten Baumrinden zu tarnen.

WIE WERDEN KLIMADATEN ERHOSEN?

Moderne Klimadaten werden durch Satelliten und Wetterstationen erfasst, die genaue Messungen von Wetter und Atmosphäre ermöglichen. Historische Klimainformationen hingegen stammen aus natürlichen Quellen wie Eisbohrkernen und Baumringen, die Aufschluss über vergangene Klimabedingungen geben. Die Altersbestimmung dieser Proben erfolgt durch Methoden wie die Radiokarbon-Datierung.



4

Birkenspanner

DIE AUSWIRKUNGEN DES KLIMAWANDELS



CO₂, DIE UNSICHTBARE GEFAHR

Weil wir CO₂ weder sehen noch riechen können, merken wir oft nicht, wie viel wir davon in die Luft abgeben. Im Gegensatz zu Müll, den man sieht und beseitigen kann, verteilt sich CO₂ still und heimlich in der Atmosphäre. Das macht es schwer, die Schuldigen für die Verschmutzung zu finden. Gesamter CO₂ Ausstoß weltweit für 2023 = 40 Gt (1 Gt = 1.000.000.000 Tonnen), davon etwa 37 Gt durch die Verbrennung fossiler Brennstoffe. Die Menge an Kohle, die wir in einem Jahr verbrauchen (8,5 Milliarden Tonnen für 2022), würde ausreichen, um einen Güterzug zu füllen, der etwa ein Mal von der Erde zum Mond reicht und wieder zurück.



Auswirkungen des Klimawandels auf extreme Wetterereignisse

FOLGEN DES KLIMAWANDELS

- 1. Auswirkungen des Klimawandels auf Wetterextreme 1:** Dürren, Überflutungen und Stürme treten häufiger und intensiver auf. Beispielsweise haben Dürren direkte Auswirkungen auf die Ernährungssicherheit von Millionen Menschen, da sie die Zerstörung von Ernten und landwirtschaftlichen Strukturen verursachen.
- 2. Meeresspiegelanstieg:** Im 20. Jahrhundert ist der Meeresspiegel bereits um 15 cm gestiegen, also etwa 1,5 mm pro Jahr. Inzwischen steigt der Pegel mehr als doppelt so schnell, um etwa 3,7 mm pro Jahr. Dies hat erhebliche Auswirkungen auf Küstenregionen und kann zu Überschwemmungen und Landverlust führen.
- 3. Die Ozeanversauerung** entsteht, wenn CO₂ aus der Atmosphäre vom Meer aufgenommen wird und sich mit dem Wasser zu Kohlensäure verbindet, wodurch das Wasser saurer wird. Diese Veränderung schadet Meereslebewesen wie Korallen und Schalentieren, da sie deren Fähigkeit beeinträchtigt, Kalkschalen und -skelette zu bilden, was zu einem Rückgang der Artenvielfalt und Störungen in den marinen Ökosystemen führt.
- 4. Auswirkungen auf die Artenvielfalt:** Wenn sich Tiere und Pflanzen nicht an die neuen Bedingungen anpassen können, werden sie verschwinden und die Artenvielfalt wird sich drastisch reduzieren. Der Klimawandel beeinflusst sowohl einzelne Arten als auch deren Lebensgemeinschaften und Lebensräume und hat direkte Auswirkungen auf die Entwicklung und das Verhalten von Arten.

SCHÄDLINGE VERBREITEN SICH MIT DEM KLIMAWANDEL

Durch immer mildere Winter und höhere Sommertemperaturen können die Überwinterung und Vermehrung folgender Schädlinge gefördert werden:

- **Der Borkenkäfer** **2**: Haben sie sich schon gefragt, weshalb in Gröden, im Gadertal und in vielen anderen Alpentälern unzählige Bäume innerhalb kürzester Zeit abgestorben sind? Schuld daran sind der Klimawandel und der Borkenkäfer. Dieses kleine Insekt frisst sich in die Rinde von Nadelbäumen, um sich zu ernähren und zu vermehren. Da die Winter durch den Klimawandel milder werden, überleben nun mehr Borkenkäfer die kalte Jahreszeit.
- **Die Tigermücke** **3**: ist bekannt dafür, dass sie verschiedene Krankheiten wie Dengue-Fieber, Chikungunya-Fieber und das Zika-Virus übertragen kann.
- **Die Zecken** **4**, sind dafür bekannt, dass sie Krankheiten wie Borreliose und Frühsommer-Meningoenzephalitis (FSME) übertragen können.
- **Die Hirschlausfliege** **5** (*Lipoptena cervi*) ist ein Parasit, der vor allem Hirsche und andere Waldtiere befällt, aber auch Menschen und Haustiere befallen kann. Sie kann Krankheiten wie die Bartonellose übertragen.



2

Der Borkenkäfer



3

Die Tigermücke



4

Die Zecke



5

Die Hirschlausfliege

SOZIALE UND WIRTSCHAFTLICHE AUSWIRKUNGEN

DES KLIMAWANDELS



1

Haunold, Sextner Dolomiten

WAS SIND DIE SOZIALEN UND WIRTSCHAFTLICHEN AUSWIRKUNGEN DES KLIMAWANDELS?

- 1. Migration:** Der Klimawandel kann zu Migration führen, wenn Menschen gezwungen sind, ihre Heimat aufgrund von Umweltveränderungen zu verlassen.
- 2. Konflikte:** Der Klimawandel kann auch zu sozialen und politischen Konflikten führen. Wenn Ressourcen wie Wasser und Nahrung knapp werden, kann dies zu Konflikten und Instabilität führen.
- 3. Wirtschaftliche Auswirkungen:** Die Kosten für die Bewältigung von Umweltkatastrophen, die durch den Klimawandel verursacht werden, können enorm sein. Darüber hinaus können die Auswirkungen des Klimawandels auf die Landwirtschaft und andere Wirtschaftssektoren erhebliche wirtschaftliche Verluste verursachen.

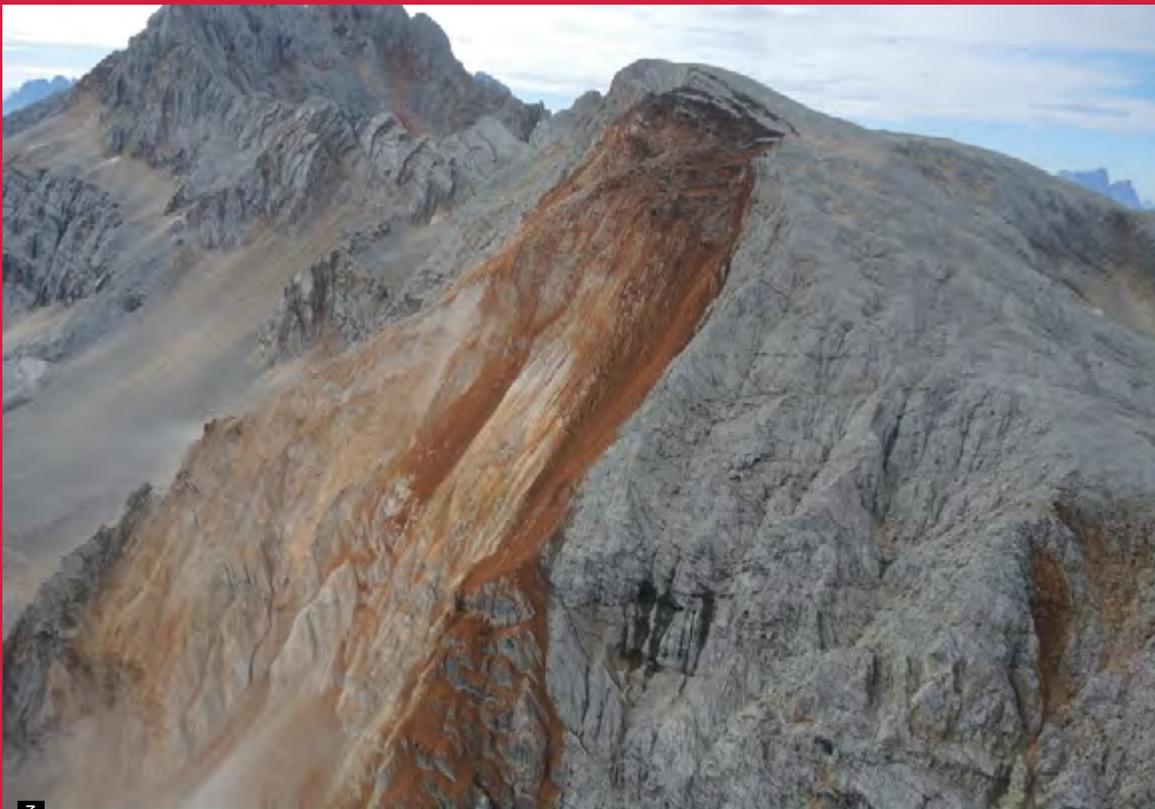
FELSSTÜRZE DURCH KLIMAWANDEL

Permafrost, dauerhaft gefrorener Boden unter 0°C, findet sich in den Dolomiten meist oberhalb von 2.500 Metern. Durch den Klimawandel taut er schneller auf. Entgegen der landläufigen Meinung dient das Eis nicht als "Klebstoff" für Boden und Felsen. Das eigentliche Problem ist der Temperaturanstieg, der häufige Frost-Tau-Zyklen verursacht, die besonders bei starken Regenfällen zu Spannungen im Gestein führen und das Risiko von Felsstürzen und Erdbeben erhöhen.

- 1 Haunold, Sextner Dolomiten:** Ein großer Felssturz ereignete sich an der Nordseite des Berges.
- 2 Latemar, Torre di Pisa, Dolomiten:** An der Torre di Pisa stürzten etwa 5000 Kubikmeter Dolomitengestein ins Tal.
- 3 Kleine Gaisl, Dolomiten:** An der Kleinen Gaisl gab es einen großen Felssturz, der auf das Auftauen des Permafrosts zurückzuführen ist.



Latemar, Torre di Pisa, Dolomiten



Kleine Gaisl, Dolomiten

MASSNAHMEN GEGEN DEN KLIMAWANDEL ¹



Leiter der Delegationen bei der Klimakonferenz der Vereinten Nationen 2015 (COP21)

DIE UN-KLIMAKONFERENZ 2015 UND DAS KLIMAABKOMMEN VON PARIS

- **Unterzeichner:** Das Abkommen wurde von fast allen Ländern der Welt unterzeichnet, darunter auch Italien.
- **Ziele:** Das Hauptziel des Abkommens ist, die globale Erwärmung auf deutlich unter 2°C, vorzugsweise auf 1,5°C über dem vorindustriellen Niveau, zu begrenzen. Es zielt auch darauf ab, die weltweiten Finanzflüsse für eine kohlenstoffarme und klimawandelresiliente Entwicklung umzuschichten.
- **Finanzierung:** Die Industrieländer haben sich verpflichtet, bis 2025 jährlich 100 Milliarden US-Dollar zur internationalen Finanzierung von Klimamaßnahmen beizutragen. Öffentliche Gelder reichen jedoch nicht aus, um diese grundlegende Transformation umzusetzen. Dafür müssen alle globalen Finanzflüsse, einschließlich privater Investitionen und ausländischer Direktinvestitionen, in allen Wirtschaftsfeldern und Finanzmärkten an diesen beiden Zielen ausgerichtet werden.

WAS KANN JEDER VON UNS TUN?

- 1 Autoverkehr reduzieren:** Die Wahl öffentlicher Verkehrsmittel, Fahrradfahren oder Zu-Fuß-Gehen, immer wenn möglich, kann die Emission von Treibhausgasen deutlich senken.
- 2 Energie sparen:** Die Nutzung von Haushaltsgeräten mit hoher Energieeffizienz, das Ausschalten von Lichtern, wenn sie nicht benötigt werden, und die Begrenzung der Nutzung von Klimaanlage können helfen, den Energieverbrauch zu reduzieren.
- 3 Sparen, wiederverwenden, recyceln:** Abfallreduzierung kann einen signifikanten Einfluss auf die Emission von Treibhausgasen haben. Dies kann die Reduzierung der Nutzung von Einwegplastik, die Wiederverwendung von Gegenständen, immer wenn möglich, und das Recycling von Materialien wie Papier, Glas und Plastik umfassen.
- 4 Nachhaltige Ernährung:** Die Reduzierung des Konsums von Fleisch und Milchprodukten sowie die Auswahl von lokalen und saisonalen Produkten können helfen, die mit der Landwirtschaft verbundenen Treibhausgasemissionen zu reduzieren.
- 5 Unterstützung erneuerbarer Energien:** Wenn möglich, die Wahl von Energieanbietern, die erneuerbare Quellen nutzen, kann zur Reduzierung der Kohlenstoffemissionen beitragen.



1

Autoverkehr reduzieren



2

Energie sparen



3

Sparen, wiederverwenden, recyceln



4

Nachhaltige Ernährung



5

Unterstützung erneuerbarer Energien

DATEN FÜR SÜDTIROL

Seit den 1960er Jahren ist die Jahresdurchschnittstemperatur in Südtirol um etwa 1,5 °C gestiegen. Die Anzahl der Tropennächte, d.h. der Nächte, in denen die Temperatur nicht unter 20°C fällt, hat zugenommen. Dieser Anstieg der Durchschnittstemperatur führt zum Abschmelzen der Gletscher, deren Fläche zwischen 1983 und 2006 um etwa ein Drittel geschrumpft ist. Siehe Fotos der Marmolata [1](#) [2](#).

Der Anstieg der Temperaturen beeinflusst auch die Schneedecke, die die Gletscher während des Sommers schützt. Höhere Wintertemperaturen führen zu einer Anhebung der Schneefallgrenze. Weniger Schnee und seine kürzere Verweildauer am Boden schränken seine Rolle als natürliches Wasserreservoir ein. Außerdem verschieben sich die Verbreitungsgebiete zahlreicher Pflanzen- und Tierarten nach oben und in den untersten Lagen breiten sich neue Arten aus. Es gibt zwei Klimaszenarien bis zum Jahr 2100: Ein moderates Szenario RCP 4.5 erwartet einen geringeren Anstieg der durchschnittlichen Sommertemperatur von weniger als 2°C, wenn die Treibhausgasemissionen ab 2040 abnehmen. Im Worst-Case-Szenario RCP 8.5, wenn die Treibhausgasemissionen nicht sinken, kommt es zu einem weiteren Anstieg der durchschnittlichen Sommertemperatur um etwa 5°C.

KLIMAPLAN SÜDTIROL 2040

Wichtige Punkte zum Klimaplan 2040:

- **Reduktion der CO₂-Emissionen:** Bis 2030 sollen die CO₂-Emissionen im Vergleich zu 2019 um 55 % und bis 2037 um 70 % reduziert werden.
- **Anteil erneuerbarer Energie:** Der Anteil erneuerbarer Energie soll bis 2030 auf 75 % und bis 2037 auf 85 % steigen.
- **Ganzheitlicher Ansatz:** Der Klimaplan umfasst alle relevanten Bereiche der Gesellschaft, einschließlich Energie, Mobilität und Landwirtschaft.
- **Dynamische Anpassung:** Der Plan wird evolutiv angepasst, um auf neue Entwicklungen und Herausforderungen zu reagieren.



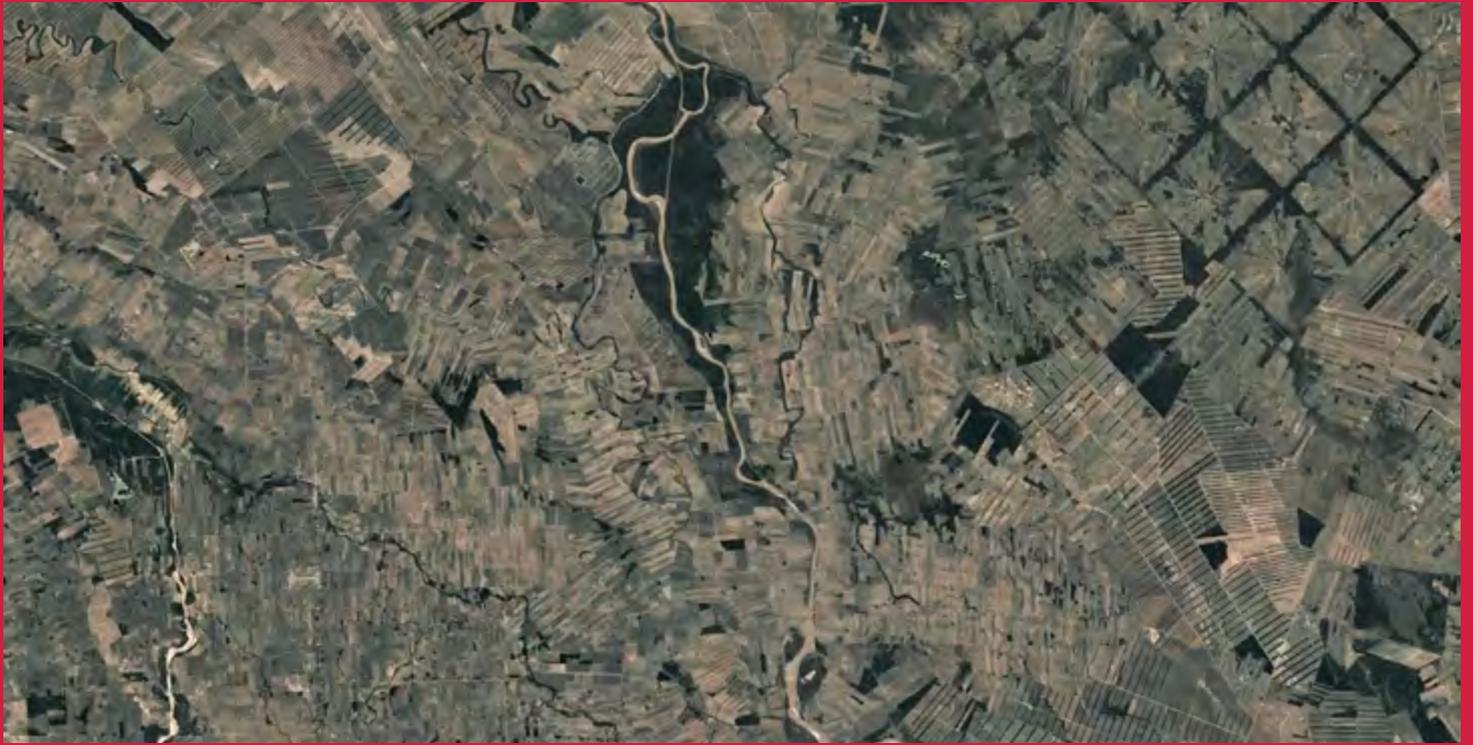
Gletscherschwund auf der Marmolata, 1910 - 2021



Gletscherschwund auf der Marmolata, 1984-2012



ZERSTÖRUNG

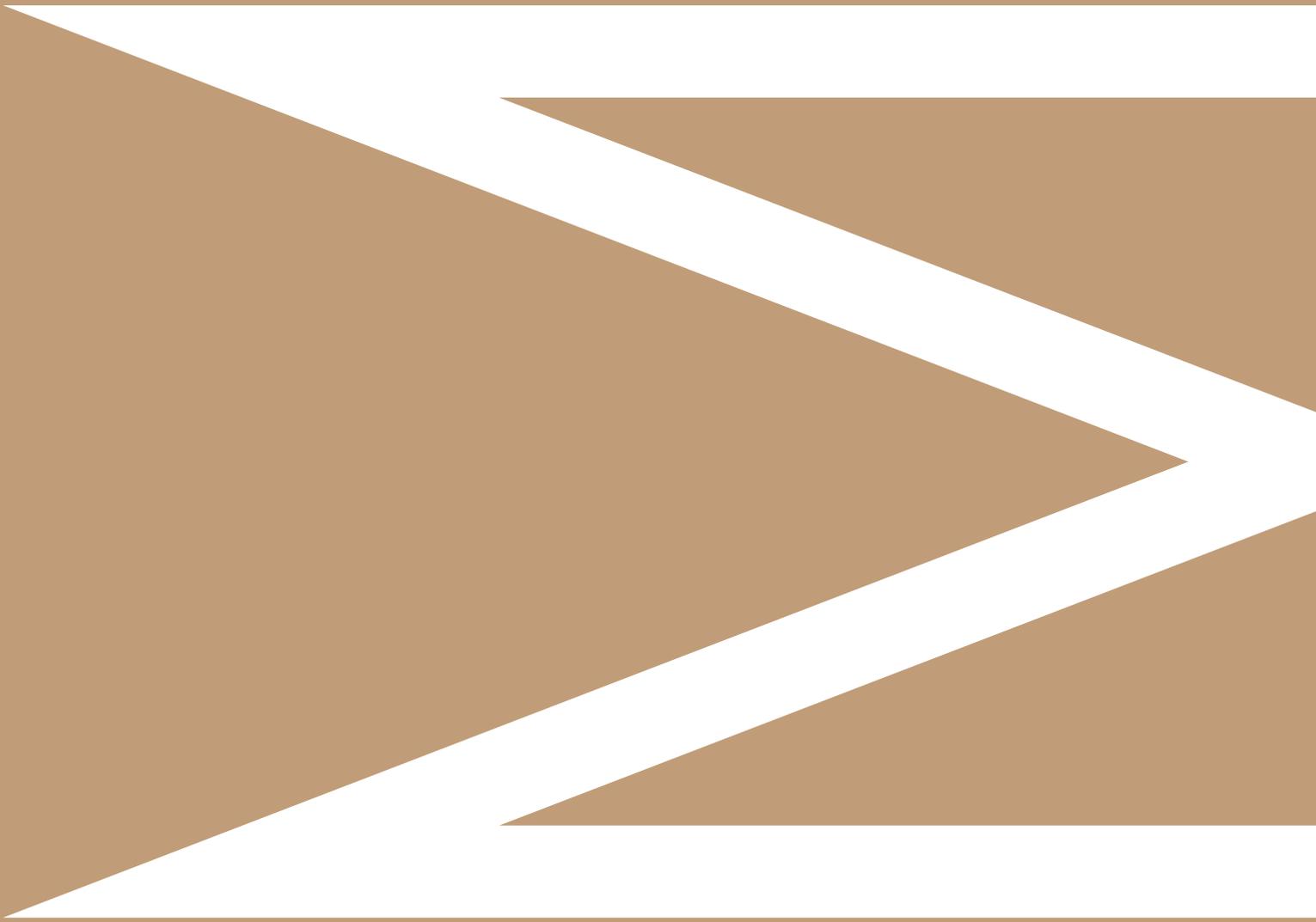


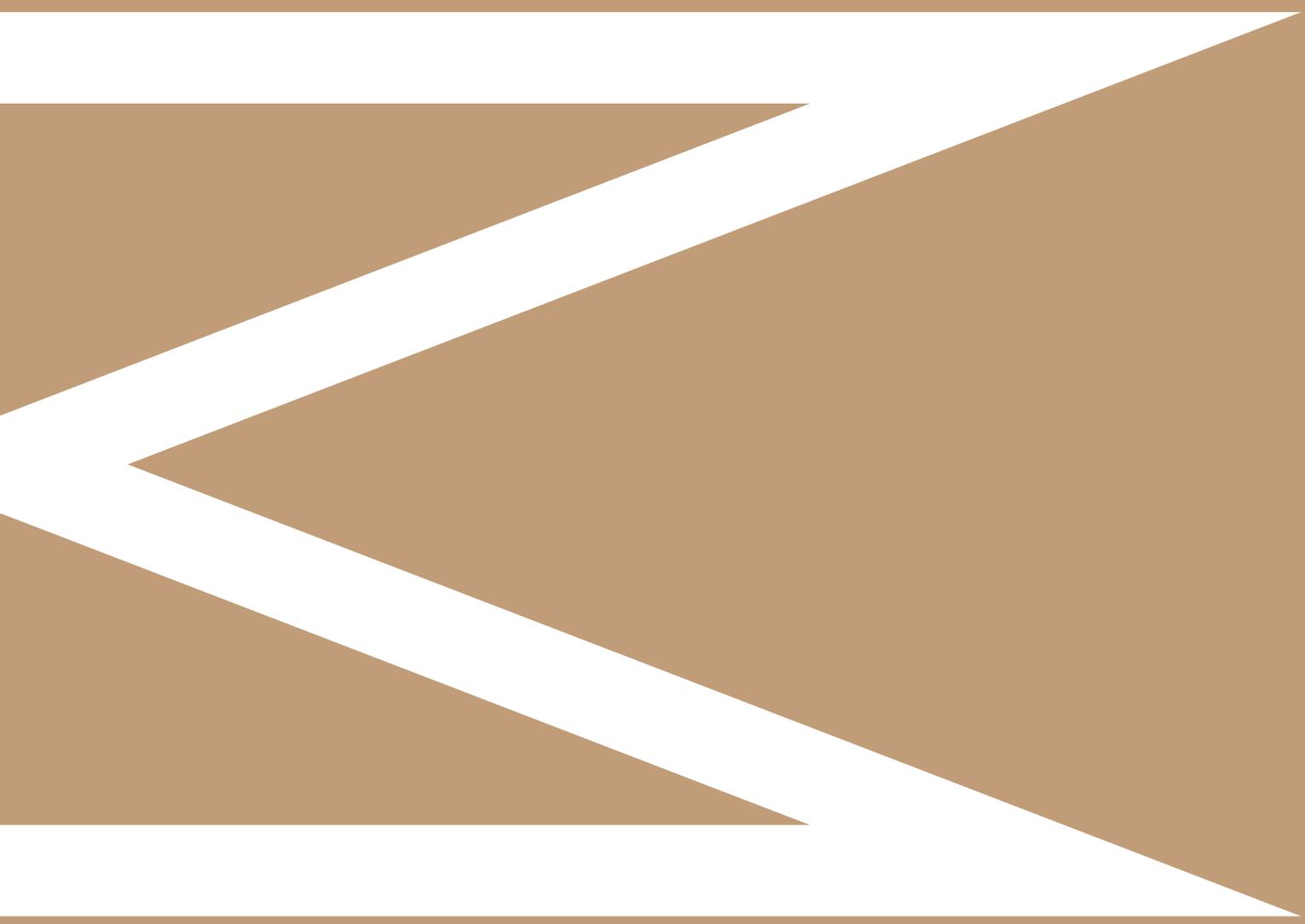


Dieses Video zeigt eindrucksvoll die dramatischen Folgen der menschlichen Umweltzerstörung in verschiedenen Regionen der Erde im Zeitraffer. Die realen Aufnahmen verdeutlichen die rasanten Veränderungen und die dringende Notwendigkeit von Umweltschutzmaßnahmen.



9 COUNTDOWN TO MASS EXTINCTION?





Aktuelle Forschungen weisen darauf hin, dass die Menschheit jährlich etwa 37 Gigatonnen CO₂ freisetzt – ein Wert, der die Emissionen von 9,53 Gigatonnen durch den sibirischen Vulkanismus am Ende des Perms weit übersteigt. Diese massive Zunahme an CO₂ bedroht unsere Ökosysteme durch globale Erwärmung und Versauerung der Ozeane. Ein Bericht der Vereinten Nationen alarmiert, dass etwa eine Million Tier- und Pflanzenarten vom Aussterben bedroht sind. Viele könnten bereits in den kommenden Jahrzehnten verschwinden. Der Vergleich der aktuellen Klimakrise mit dem Massenaussterben am Ende des Perms dient als mahnender Weckruf: Es ist an der Zeit zu handeln, um das sechste Massenaussterben abzuwenden. Wir haben noch eine Wahl, doch wie lange noch, bleibt ungewiss – die Zeit tickt schon längst zum *Countdown to Mass Extinction*.

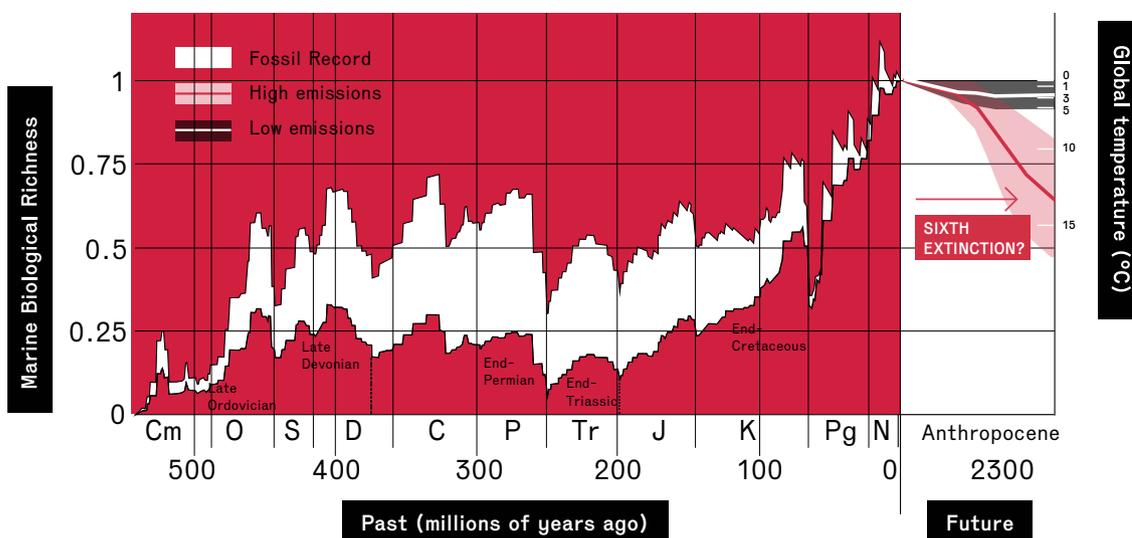
PROJEKTIONEN FÜR DIE ZUKUNFT

PROGNOSEN FÜR DIE ZUKUNFT UNSERER OZEANE

- Die Ozeane werden sich voraussichtlich bis zum Ende des 21. Jahrhunderts um 4-5°C erwärmen.
- Der pH-Wert der Ozeane wird im Durchschnitt um 0,44 Einheiten sinken.
- Hohe Temperaturen werden den Sauerstoffgehalt der Ozeane reduzieren und die Nährstoffkreisläufe verändern.
- Wenn die menschlichen Emissionen ungebremst weitergehen, könnten die Ozeane im Laufe des 21. Jahrhunderts und darüber hinaus weit verbreitetem Sauerstoffmangel ausgesetzt sein.

GRAPHIK VON PENN & DEUTSCH, 2022 ¹

Die Wissenschaftler Justin L. Penn und Curtis Deutsch präsentierten in ihrem 2022 in *Science* veröffentlichten Artikel "Vermeidung des Massenaussterbens im Ozean durch Klimaerwärmung" eine Grafik, die zwei Szenarien zeigt, je nachdem, ob die Menschheit ihre CO₂ Emissionen senken wird oder nicht: Eines, das eine kleinere biologische Krise vorhersagt, und ein anderes, das ein potenzielles katastrophales Massenaussterben skizziert. Diese Szenarien unterstreichen die Dringlichkeit, den Klimawandel ernst zu nehmen und durch global koordinierte Anstrengungen die schlimmsten Auswirkungen zu verhindern.



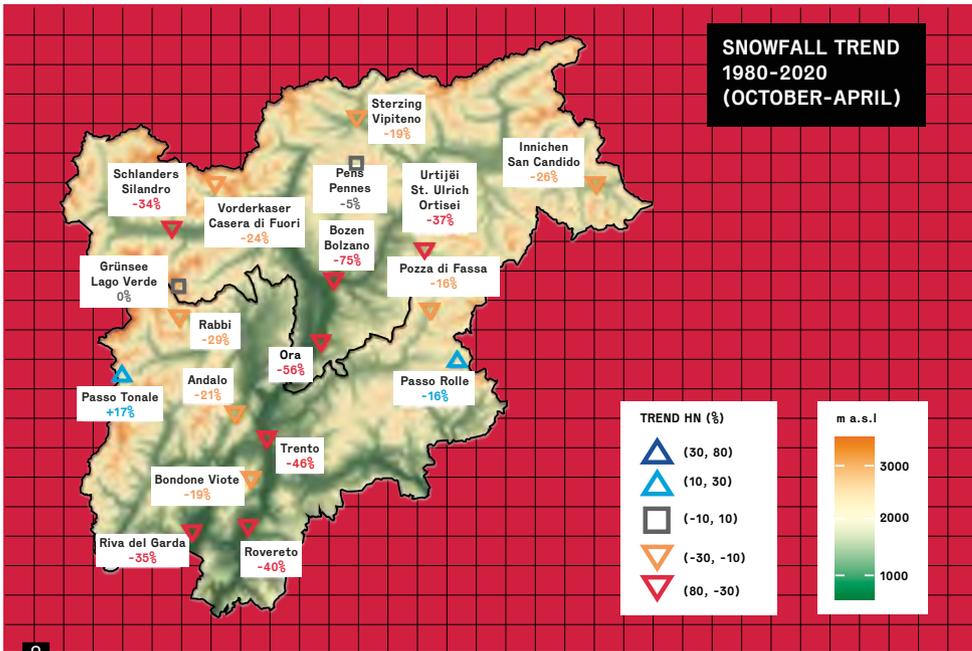
¹

Grafik von Penn & Deutsch, 2022

KLIMAWANDEL UND TOURISMUS

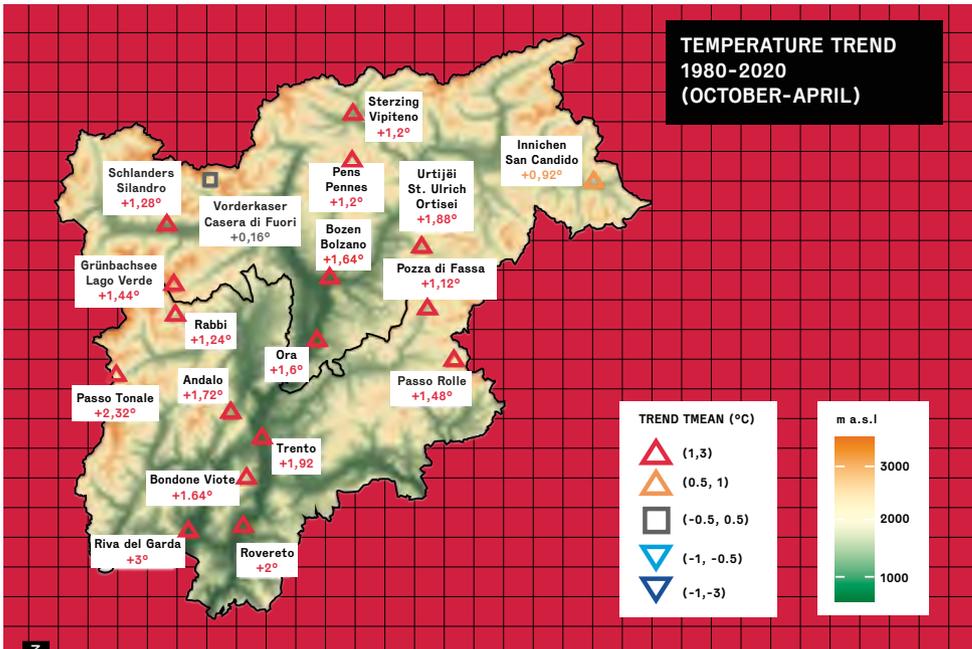
Ende des Wintertourismus? Wie geht es mit dem Schneefall im Winter weiter?

2 3



2

Entwicklung der Schneefälle in Trentino-Südtirol, 1980-2020 (Oktober-April)



3

Temperatrentwicklung in Trentino-Südtirol, 1980-2020 (Oktober-April)

MIKROPLASTIK

Mikroplastik im Ozean entsteht durch den Zerfall größerer Plastikabfälle und das Einbringen kleiner Plastikpartikel. Diese winzigen Partikel gelangen in die Nahrungskette, werden von Meerestieren aufgenommen und können toxische Auswirkungen haben. Mikroplastik verschmutzt die Meere weltweit und stellt eine ernsthafte Bedrohung für marine Ökosysteme und die menschliche Gesundheit dar.

BILDNACHWEIS

- p. 08 - University of Chicago Photographic Archive, Hanna Holborn Gray Special Collections Research Center, APF1-11026, photoarchive.lib.uchicago.edu/db.xqy?keywords=david+raup
- p. 09 - Umgezeichnet nach Hallam & Wignall's original graphic, 1997
- p. 09 - Umgezeichnet nach Sepkoski's *diversity chart*, commons.wikimedia.org/wiki/File:Sepkoski_diversity_chart_DE.svg
- p. 13 - Umgezeichnet nach *geological timechart*, bgs.ac.uk/discovering-geology/fossils-and-geological-time/geological-timechart/
Roderick Murchison, en.wikipedia.org/wiki/Image:Roderick_Murchison.jpg
- p. 13 - *GEOPARC Bletterbach / David Belladonna*
- p. 19 - Maria Matilda Ogilvie Gordon, Library of Congress, Wikimedia Commons
- p. 19 - Giovanni merla, (Prof. Ernesto Abbate), dst.unifi.it/upload/sub/ernesto_abbate_amerla-30-9.pdf
- p. 19 - Michele Gortani, senato.it
- p. 20 - D. Santana, *Cymopolia barbata*, © 2009, CC BY-NC-SA 2.0 DEED, flickr.com/photos/danybotica/3601042757
- p. 20 - J. Turnbull, *Calcareous red algae in sponge Amphiroa anceps*, 2017, CC BY-NC-SA 2.0 DEED, flickr.com/photos/johnwturbull/37635654952
- p. 20 - *Bellerophon* Umgezeichnet nach Kansas Geological survey, 1997
- p. 20 - J. Löwy, Creative Commons, Phaidra Digital Collection, digitalisierer: Stefano Castelli, CC BY-NC-SA 4.0, phaidra.cab.unipd.it/detail/o:58799
- p. 20 - Bivalve, *Acharax clarificata Dell*, 1995, collected: 14th of January 1979, off Clarence River mouth, New Zealand, CC BY 4.0, Te Papa, collections.tepapa.govt.nz/object/160680
- p. 20 - Bivalve, *Acharax clarificata Dell*, 1995, collected: 23rd of February 2007, SE of Cape Kidnappers, New Zealand, CC BY 4.0, Te Papa
- p. 20 - Umgezeichnet nach Renato Posenato's illustration, 1997, doi.org/10.13130/2039-4942/6110
- p. 21 - Alex Heyman, © 2021, CC0 1.0 DEED, de.wikipedia.org/wiki/Arm%C3%BC%C3%9Fer#/media/Datei:Terebratalia_transversa_115544350.jpg
- p. 21 - *Lingula anatina*, Wilson44691, public domain
- p. 22 - Echinoidea, pexels.com/de-de/foto/meeresfruchte-stachelig-seeigel-nahansicht-8826312/
- p. 22 - *Asterioidea*, E. A. Lazo-Wasem Gall L, 2019, gbif.org/occurrence/1039245595, CC0, via Wikimedia Commons
- p. 22 - *Nautilus Pompilus*, Massimo Mopurgo, Naturmuseum Südtirol
- p. 22 - *Nautilus*, pexels.com
- p. 23 - *Ostracod*, Anna Syme, © 2007, Creative Commons Attribution-Share Alike 3.0, commons.wikimedia.org/wiki/File:Ostracod.JPG
- p. 29 - Monument in Meishan of *Hindeodus parvus*, public domain
- p. 29 - Umgezeichnet nach Muhui Zhang's graphic, Haishui Jiang, Mark A. Purnell, Xulong Lai, creativecommons.org/licenses/by/4.0, via Wikimedia Commons, CC BY 4.0
- p. 29 - GSSP square of Meishan Geopark, William Foster
- p. 29 - Permian-Triassic boundary in Meishan, William Foster
- p. 29 - Umgezeichnet nach prof. Renato Posenato's graphic of the Permian-Triassic boundary of Bulla/Pufels
- p. 29 - Vitaly Repin © 2013, Creative Commons Attribution-Share Alike 2.0, flickr.com/photos/vitalyrepin
- p. 31 - Siberian traps, de.wikipedia.org/wiki/Sibirischer_Trapp#/media/Datei:Extent_of_Siberian_traps_german.png
- p. 31 - Siberian hotspot, Umgezeichnet nach Richards et al., 2015, Mittal and Richards, 2021
- p. 33 - Umgezeichnet nach *Environmental crises* at the Permian-Triassic mass extinction, Jacopo dal Corso, 2022
- p. 40 - Friedrich Brandseph, public domain, via Wikimedia Commons, commons.wikimedia.org/wiki/File:Friedrich_von_Alberti.jpg
- p. 40 - Werfen formation, Umgezeichnet nach Andrea Baucon and Carlos Neto De Carvalho, 2016
- p. 41 - Moderne stromatolites Shark Bay, Bryn Pinzgauer © 2014, Creative Commons Attribution 2.0 Generic, commons.wikimedia.org/wiki/File:Stromatolites_at_Hamelin_Pool_in_Shark_Bay_-_Western_Australia_-_27_Aug._2014.jpg
- p. 44 - Alexander Bittner, public domain, commons.wikimedia.org/wiki/File:Alexander_Bittner.jpeg
- p. 44 - The *Paper Pecten* Umgezeichnet nach Wignall, 1994
- p. 45 - *Ophiura albida*, Genet, creativecommons.org/licenses/by-sa/3.0, via Wikimedia Commons, CC BY-SA 3.0
- p. 45 - *Lingula anatina*, commons.wikimedia.org/wiki/File:Lingula_anatina_7.JPG
- p. 51 - Conturines Cave, Museum Ladin
- p. 51 - Raiëta stalagmite in the Conturines Cave and speleologist, Robbie Shone and Christoph Spötl
- p. 54 - Large Igneous Province Impacts, Umgezeichnet nach skepticalscience.com
- p. 54 - Observatory, Mauna Loa, Hawaii, NOAA Global Monitoring Laboratory, Boulder, Colorado, USA, <https://gml.noaa.gov>
- p. 54 - Position of Mauna Loa Observatory, Hawaii, earth.google.com
- p. 55 - CO₂ measured at the Mauna Loa Observatory, NOAA, gml.noaa.gov/ccgg/trends/
- p. 55 - Reconstruction from ice cores, NOAA, climate.nasa.gov/vital-signs/carbon-dioxide
- p. 58 - Watt & Boulton steam engine, image uploaded by Mark Cartwright, Science Museum, London, 2023, Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike
- p. 58 - Crompton's Spinning Mule, original image by Pezzab, uploaded by Mark Cartwright, 2023, Creative Commons Attribution-ShareAlike
- p. 59 - The Industrial Revolution, public domain
- p. 59 - Birch moth, image uploaded by Bennyboymothman, flickr.com/photos/33398884@N03/14308485779, CC BY-2.0
- p. 59 - Birch moth, image uploaded by Nick Goodrum Photography, flickr.com/photos/50834253@N06/42702615314 (archive), CC-BY-2.0
- p. 60 - Tornado, NASA Goddard Space Flight Center from Greenbelt, MD, USA, creativecommons.org/licenses/by/2.0, via Wikimedia Commons, CC BY 2.0
- p. 61 - Bark beetle, Gilles San Martin © 2015, inaturalist.org/photos/45181150, CC BY-SA 4.0 DEED
- p. 61 - Tiger mosquito, pickpik.com/red-brown-mosquito-biting-female-parasite-60118
- p. 61 - Tick, André Karwath aka Aka © 2005, [de.m.wikipedia.org/wiki/Datei:Tick_\(aka\).jpg](https://de.m.wikipedia.org/wiki/Datei:Tick_(aka).jpg), CC BY-SA 2.5DEED
- p. 61 - Deer fly, *Oecophylla* © 2023, CC 2.0 Generic, inaturalist.org/observations/identify?quality_grade=research%2Cneeds_id&taxon_id=130393&photo_license=CC0
- p. 63 - Landslides in the dolomites, Volkmar Mair, Amt für Geologie und Baustoffprüfung, Ufficio Geologia e prove materiali
- p. 64 - COP21, Presidencia de la República Mexicana, creativecommons.org/licenses/by/2.0, via Wikimedia Commons, CC BY 2.0
- p. 67 - *Marmolada*, 1910-2021, courtesy of Giovanni Baccolo, 2021
- p. 67 - *Marmolada*, 1984, G. Perini, 1984, su gentile concessione di Giovanni Mortara e Stefano Perona del Comitato Glaciologico Italiano
- p. 67 - *Marmolada*, 2012, courtesy of Christian Casarotto, 2012 © Muse
- p. 72 - Avoiding ocean mass extinction from climate warming, Umgezeichnet nach Penn & Deutsch's graphic, Science, 2022
- p. 73 - Snowfall trends in Trentino Alto-Adige, 1980-2020, Umgezeichnet nach Eurac Research, 2023
- p. 73 - Temperature trends in Trentino Alto-Adige, 1980-2020, Umgezeichnet nach Eurac Research, 2023

MUSLA

Museum Ladin Ciastel de Tor, San Martin de Tor (BZ)

Direktorin Katharina Moling

Kurator Herwig Prinoth

EXHIBITION DESIGN

Concept und design Studio Puls, Studio Nine

Technick und Beleuchtung Elektro Eros

Tischlerei Tistlaria Mamp

Druck Rdk Visual Print

Übersetzungen ins Ladinische Werner Pescosta, Istitut Ladin Micurá de Rü

WIR DANKEN

Galleria Doris Ghetta & Judith Neunhäuserer, Renato Posenato (Univ. Ferrara),

William Foster (Univ. Hamburg), Christoph Spötl (Univ. Innsbruck),

Robbie Shone, Marc Zebisch (Eurac Research),

Volkmar Mair (Amt für Geologie und Baustoffprüfung), Museum Gherdëina,

Istitut Ladin Micurá de Rü, Peter Daldos (Geoparc Bletterbach),

Davide Bonadonna, Sara Welponer,

Giovanni Baccolo, Christian Casarotto (Muse),

Giovanni Mortara e Stefano Perona del Comitato Glaciologico Italiano



MUS Museum
Ladin **LA**