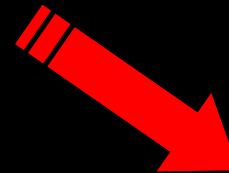
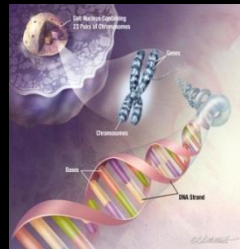
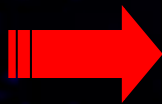
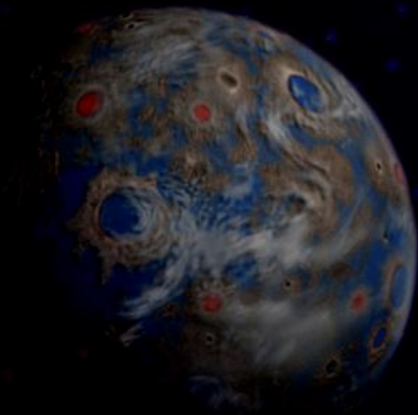


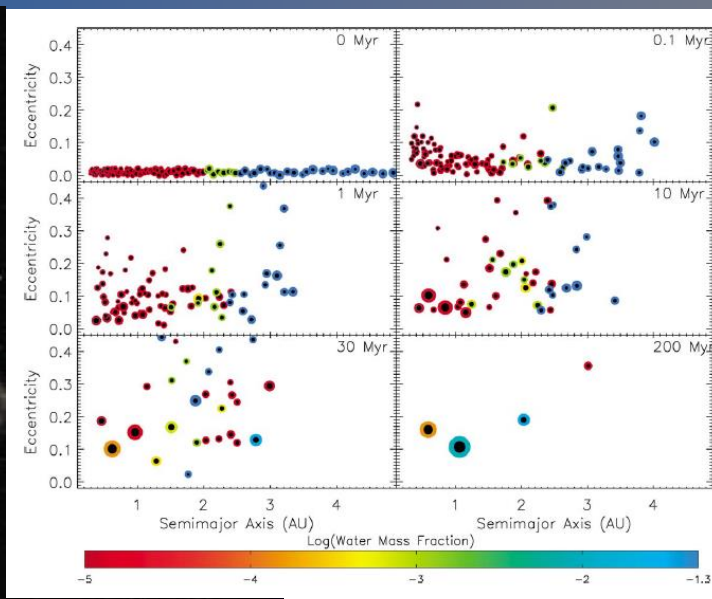
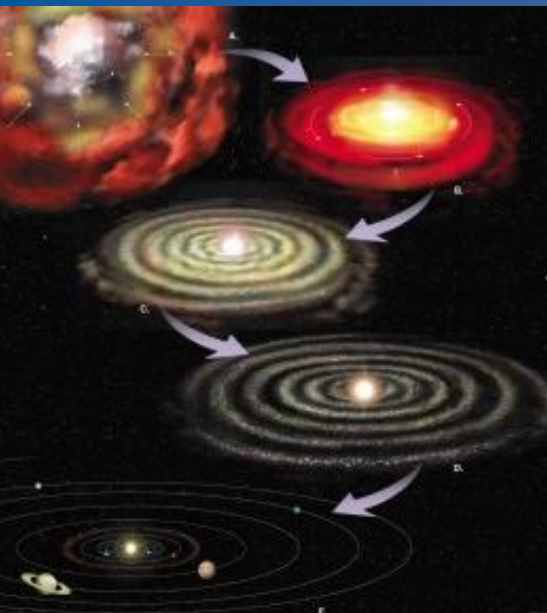
Helmut Lammer

[helmut.lammer@oeaw.ac.at]

Österreichische Akademie der Wissenschaften, Institut für
Weltraumforschung, Graz

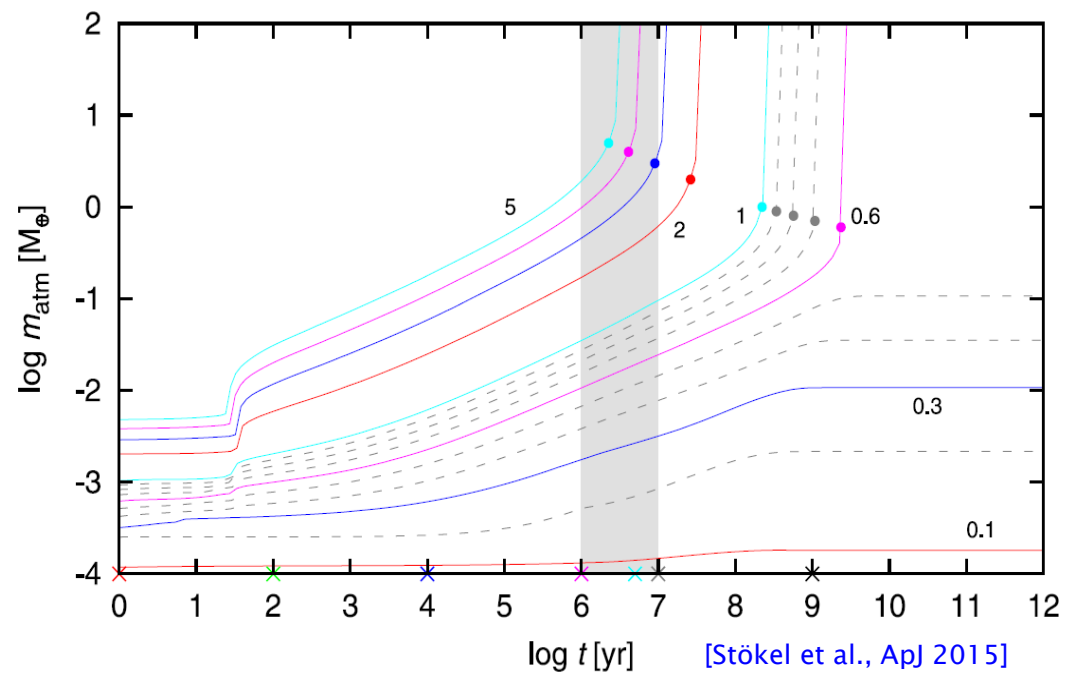


- Entstehung von Protoatmosphären
- Effekte und Stabilität der frühen Atmosphären gegen hoch-energetische Strahlung (X-ray, SXR, EUV, UV) sowie dichten- und energiereichen Teilchenflüssen
 - zeitliche Variationen der stellaren Aktivität
 - stellare Aktivität ist unterschiedlich je nach Spektraltyp des Sterns
 - stellare Aktivität kann sich über Milliarden Jahre bis auf 3 Größenordnungen ändern
- Wie konnte sich die Erdatmosphäre durch diese aktive Phase der frühen Sonne entwickeln?
- Welche Rolle spielen planetare Magnetfelder und Magnetosphären?
- Wie wichtig ist die Zusammensetzung von frühen Planetenatmosphären?
 - Waren die frühen Atmosphären reich an Wasserstoff?
 - Wie wichtig ist CO₂?
 - Prozesse welche die hohe Atmosphäre kühlen
- Wie stabil sind Stickstoffatmosphären gegen extreme UV Strahlung

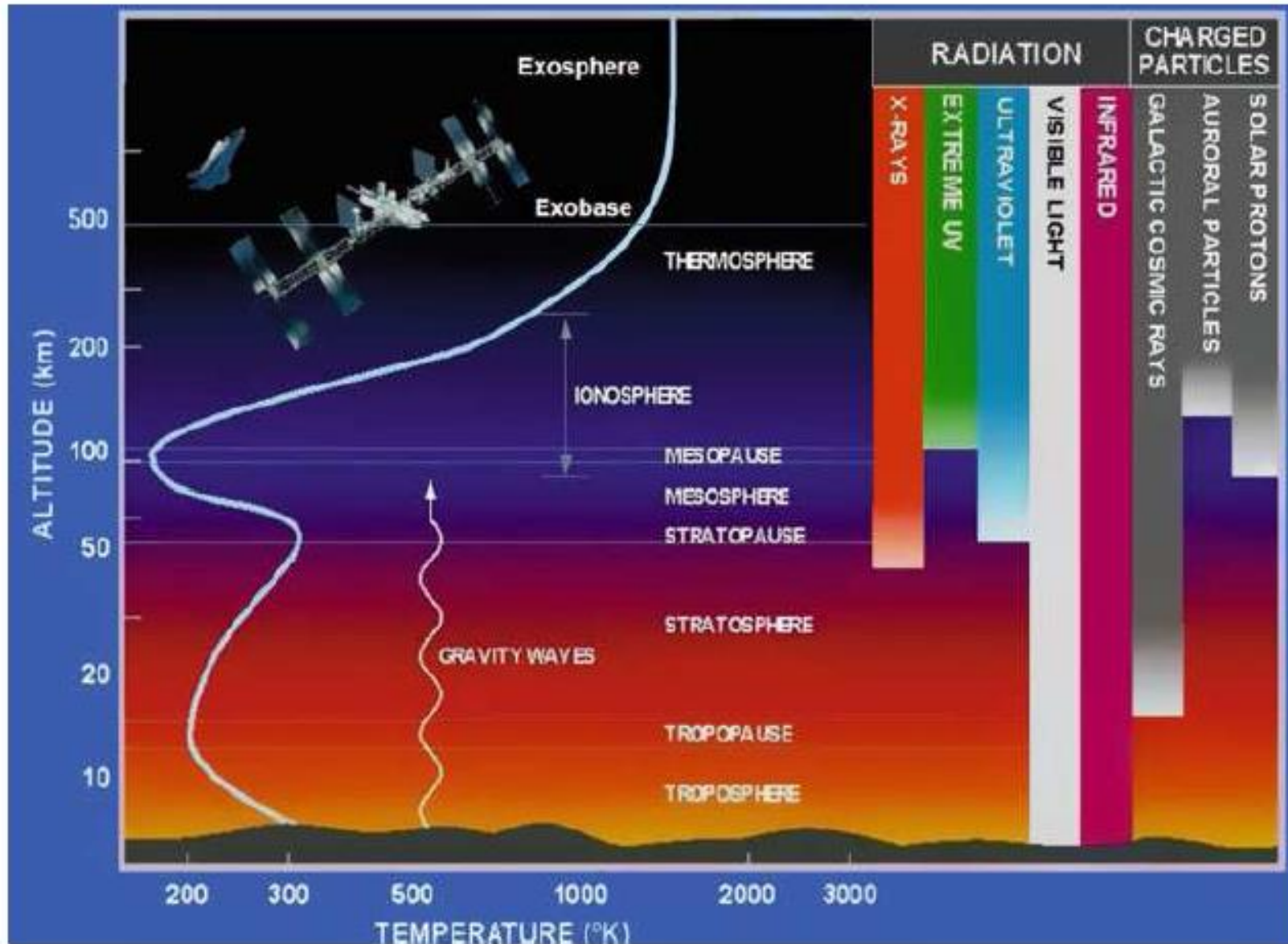


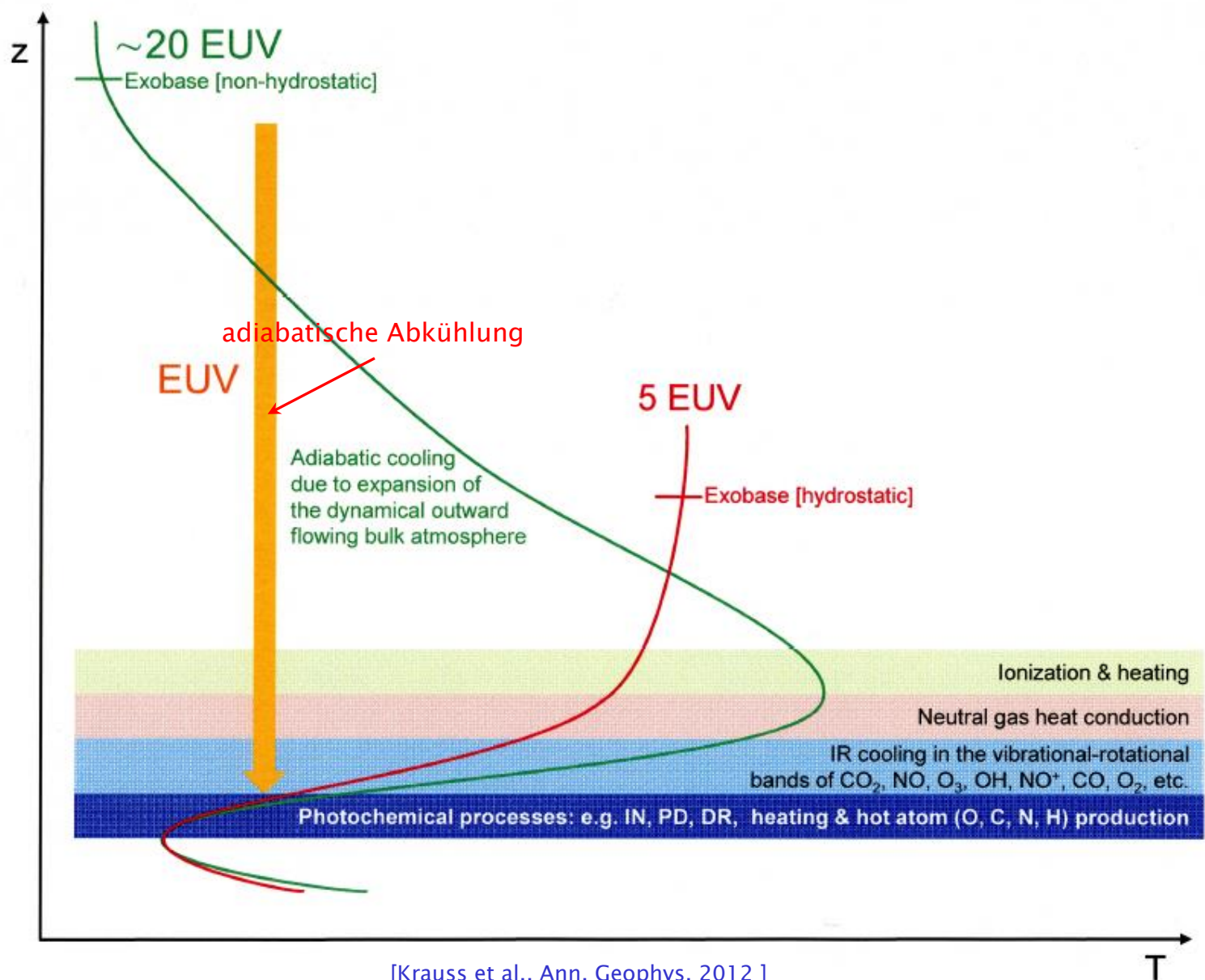
- Planeten entstehen durch Kollisionen von Planetesimalen und planetaren Embryos
- Planetare Nebel verschwinden nach ca. 3 bis 10 Millionen Jahren

[Raymond et al., Icarus 2005]

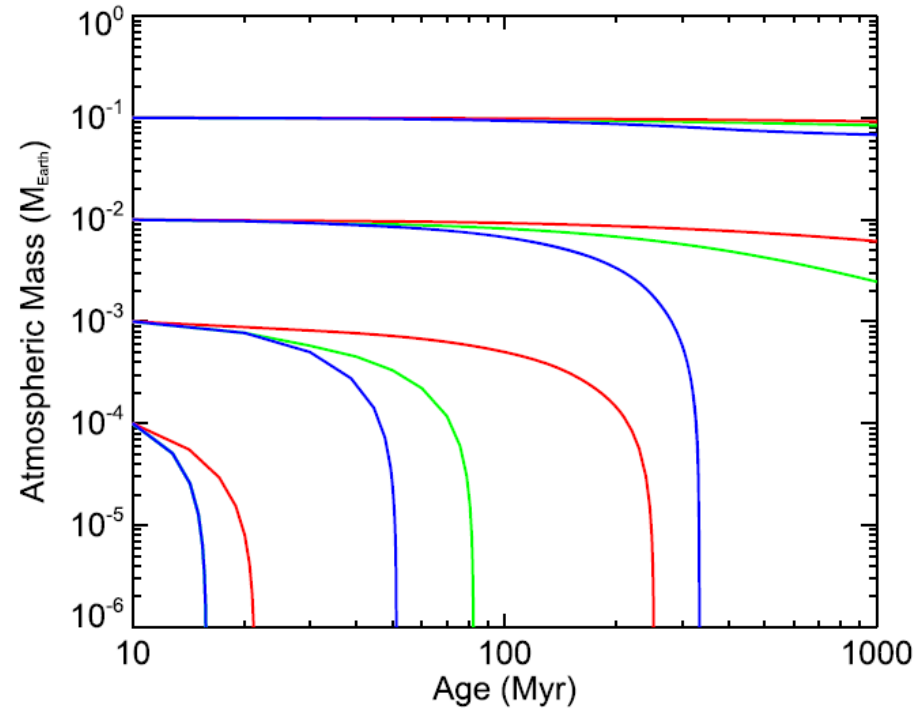
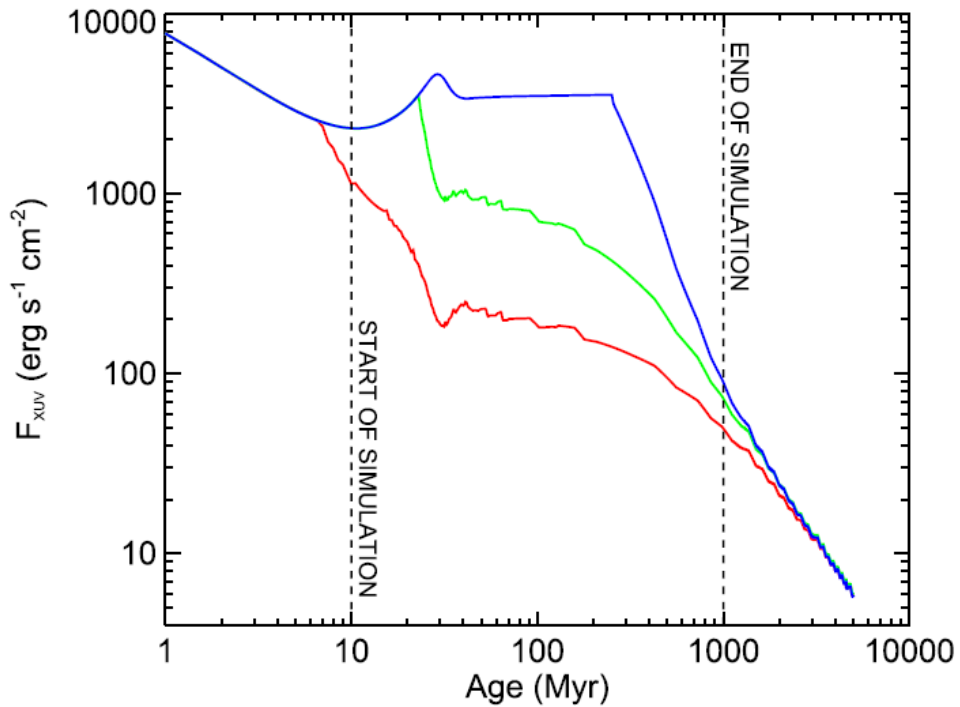


[Stökel et al., ApJ 2015]

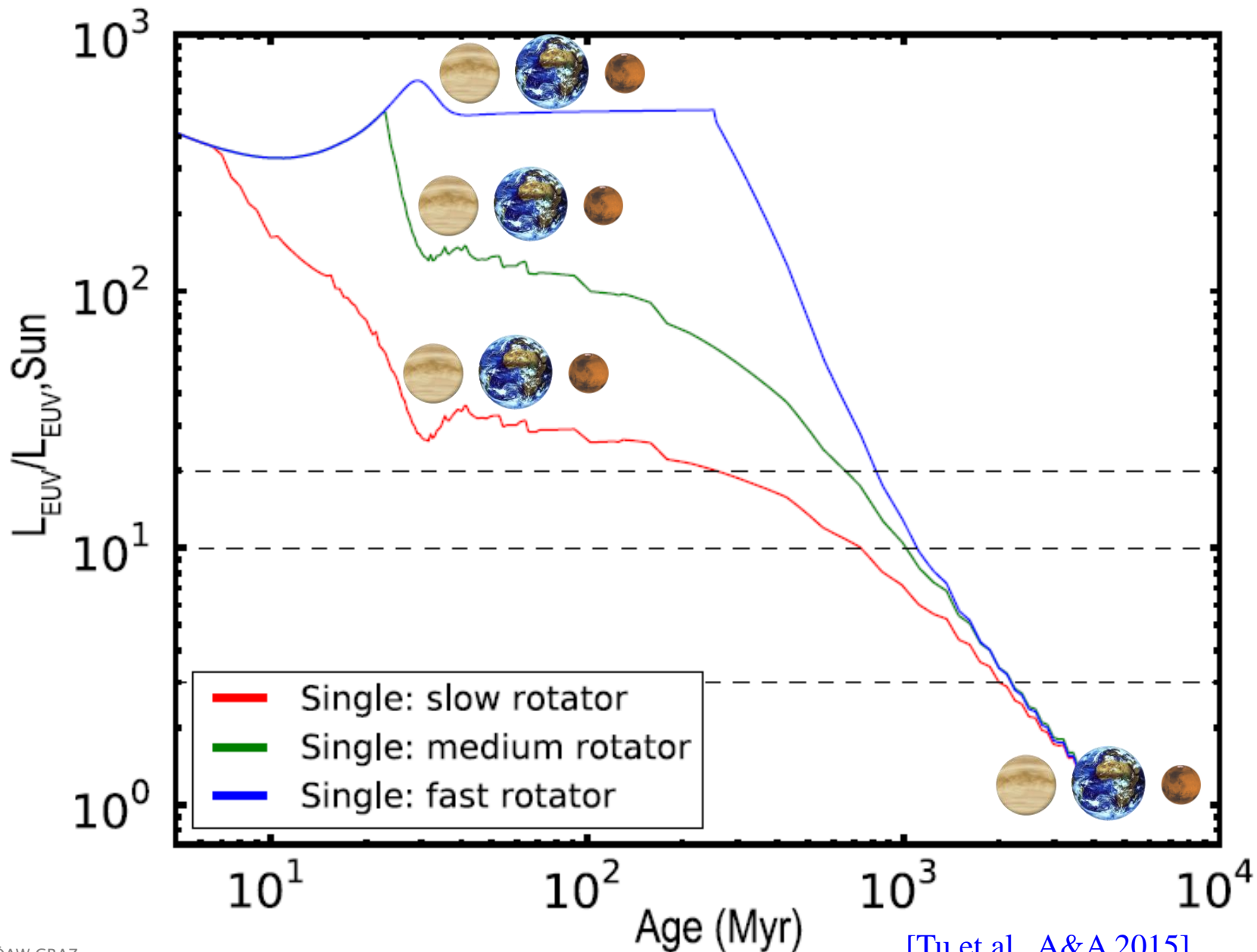


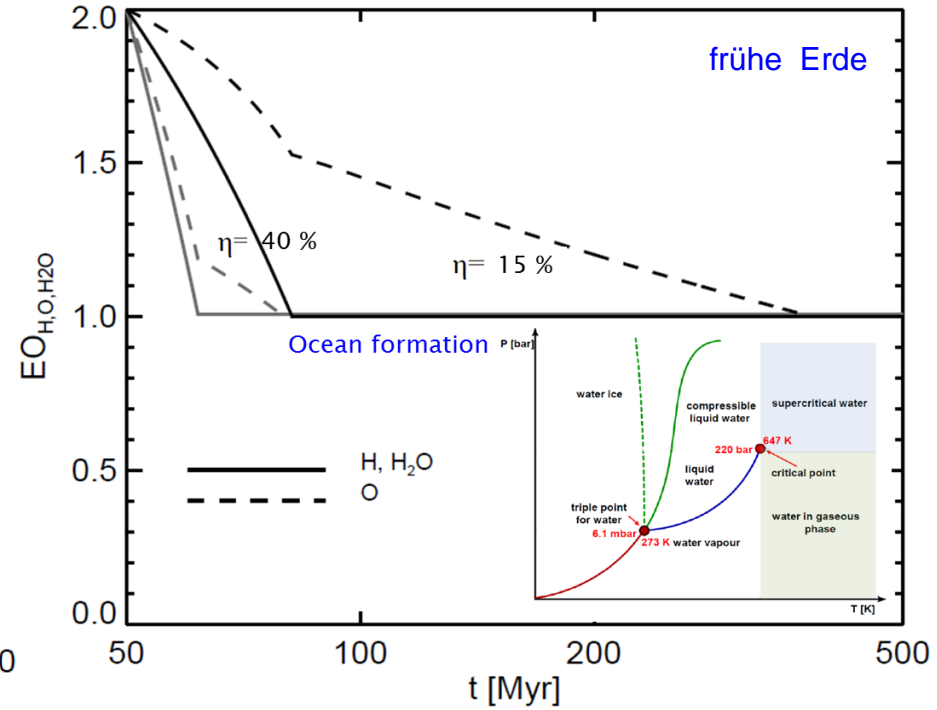
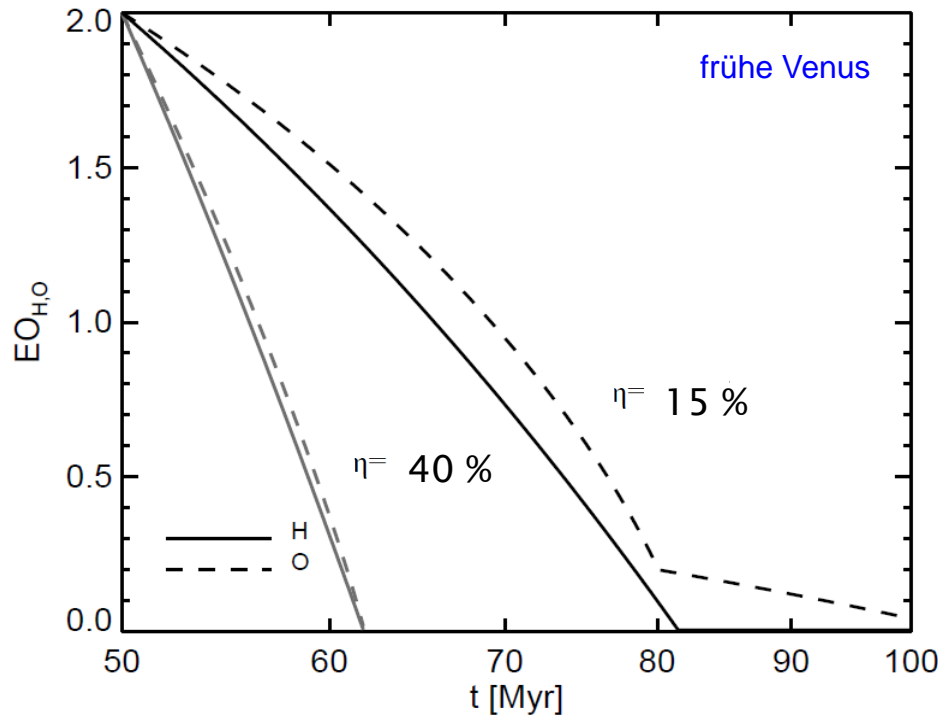


[Krauss et al., Ann. Geophys. 2012]



[Johnstone et al., A&A 815, L12, 2016]





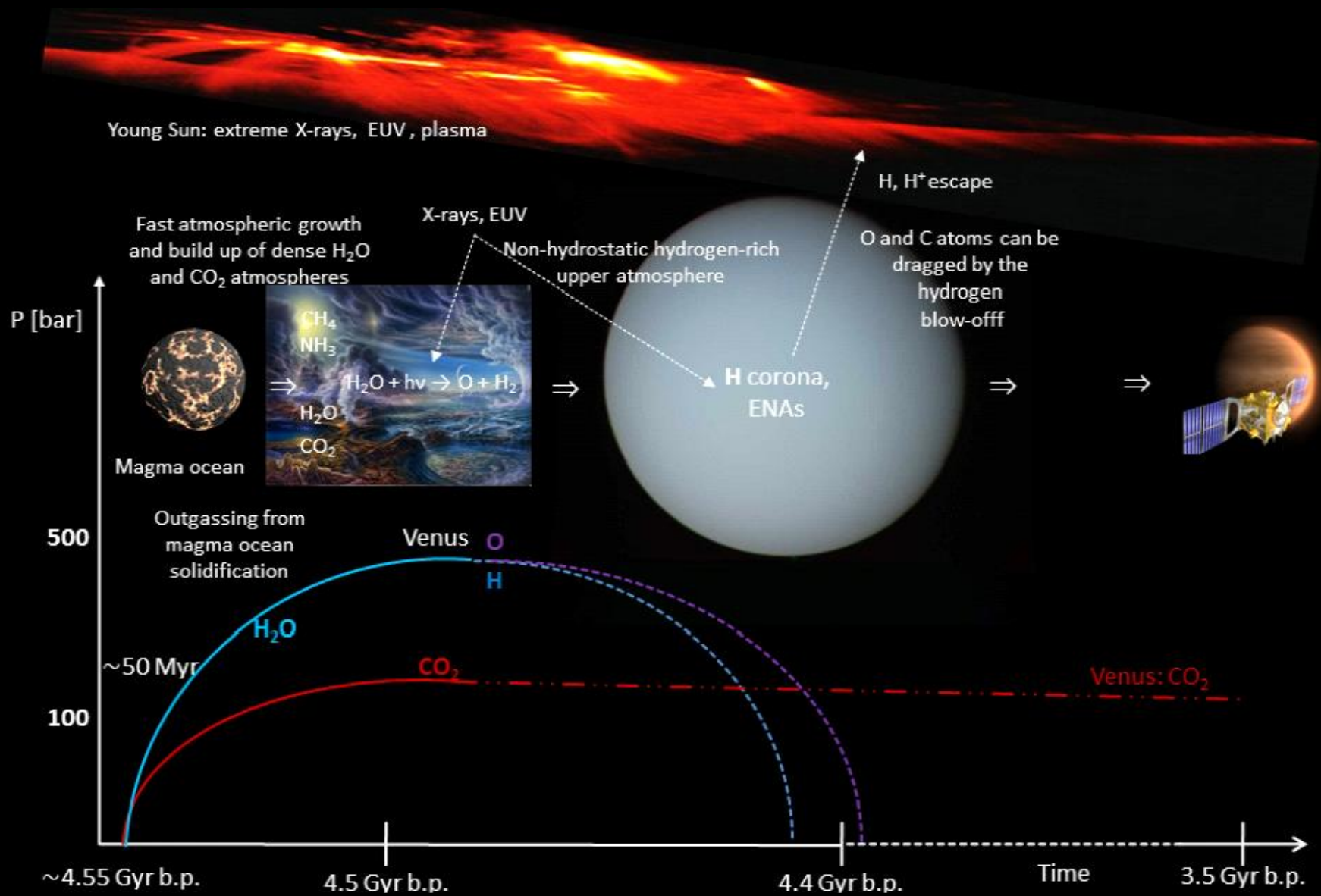
$$F_{O,C,N} = \frac{3\eta S_{EUV} F_{EUV} X_{O,C,N}}{8\pi r_{sv} G \rho_{pl} m_H X_H} \left[\frac{\left(m_H + \frac{kT \frac{3\eta S_{EUV} F_{EUV}}{8\pi r_{sv} G \rho_{pl} m_H}}{bg X_H} \right) - m_{O,C,N}}{\left(m_H + \frac{kT \frac{3\eta S_{EUV} F_{EUV}}{8\pi r_{sv} G \rho_{pl} m_H}}{bg X_H} \right) - m_H} \right]$$

Species	H ₂ O	CO ₂	Cl	N ₂	S	Ar, etc.
---------	------------------	-----------------	----	----------------	---	----------

P [bar]	~250–550	~50–70	~7	≥1	≥0.5	0.03
---------	----------	--------	----	----	------	------

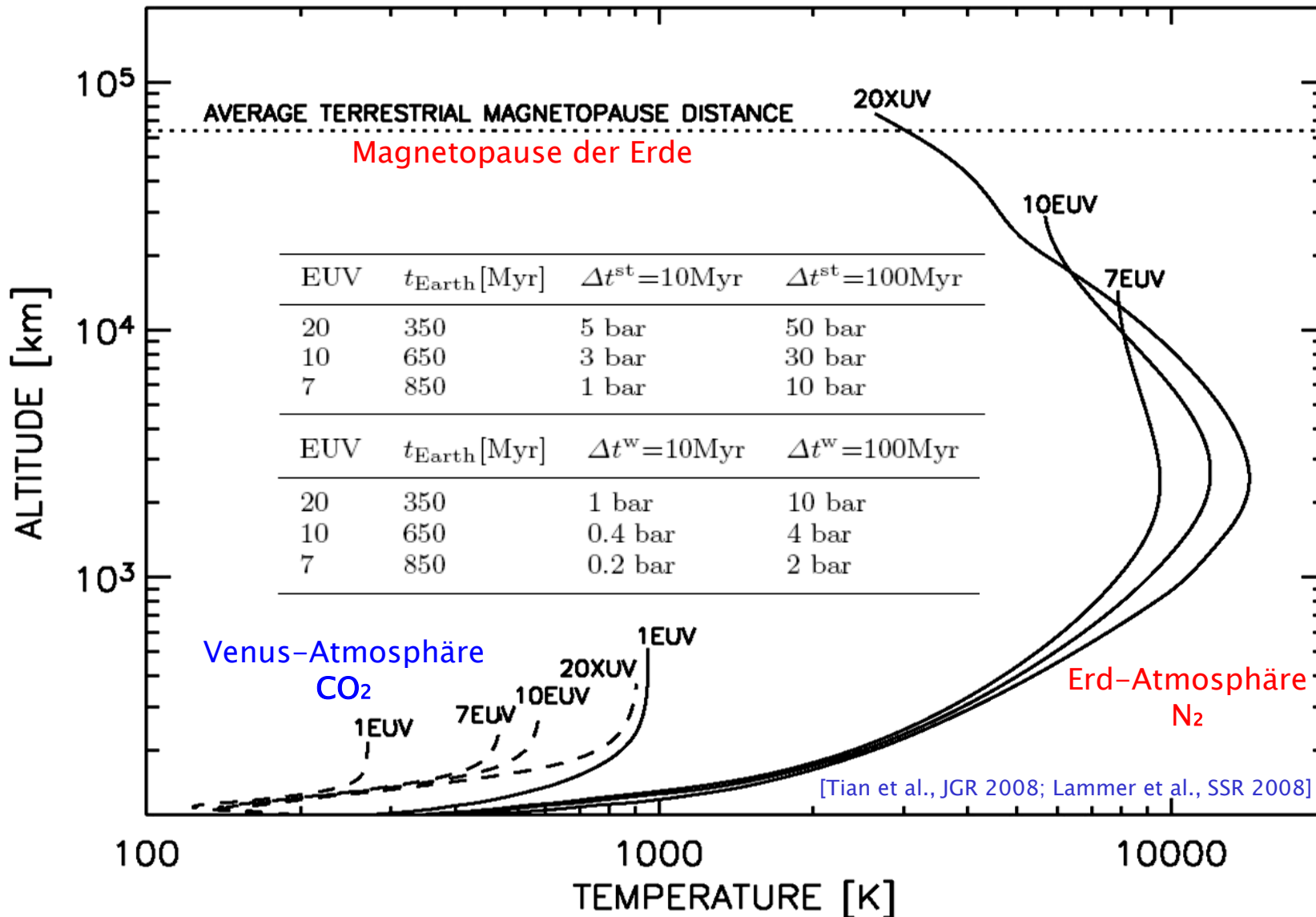
[e.g., Rubey, Bull. Geo. Soc. Am. 1952;
Elkins-Tanton, Planet. Sci. Lett. 2008]

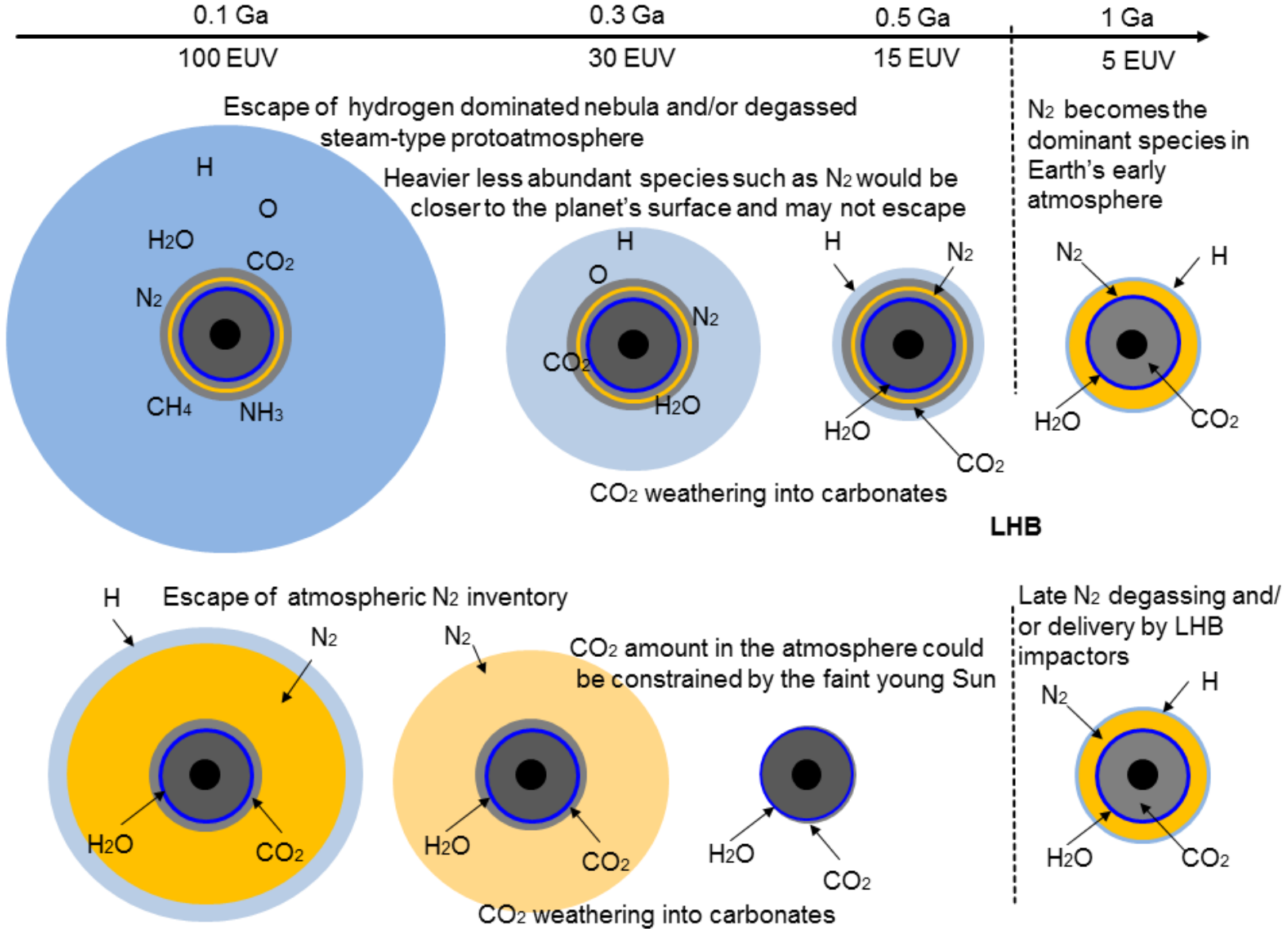
[Lammer, Springer Briefs in Astronomy 2012]



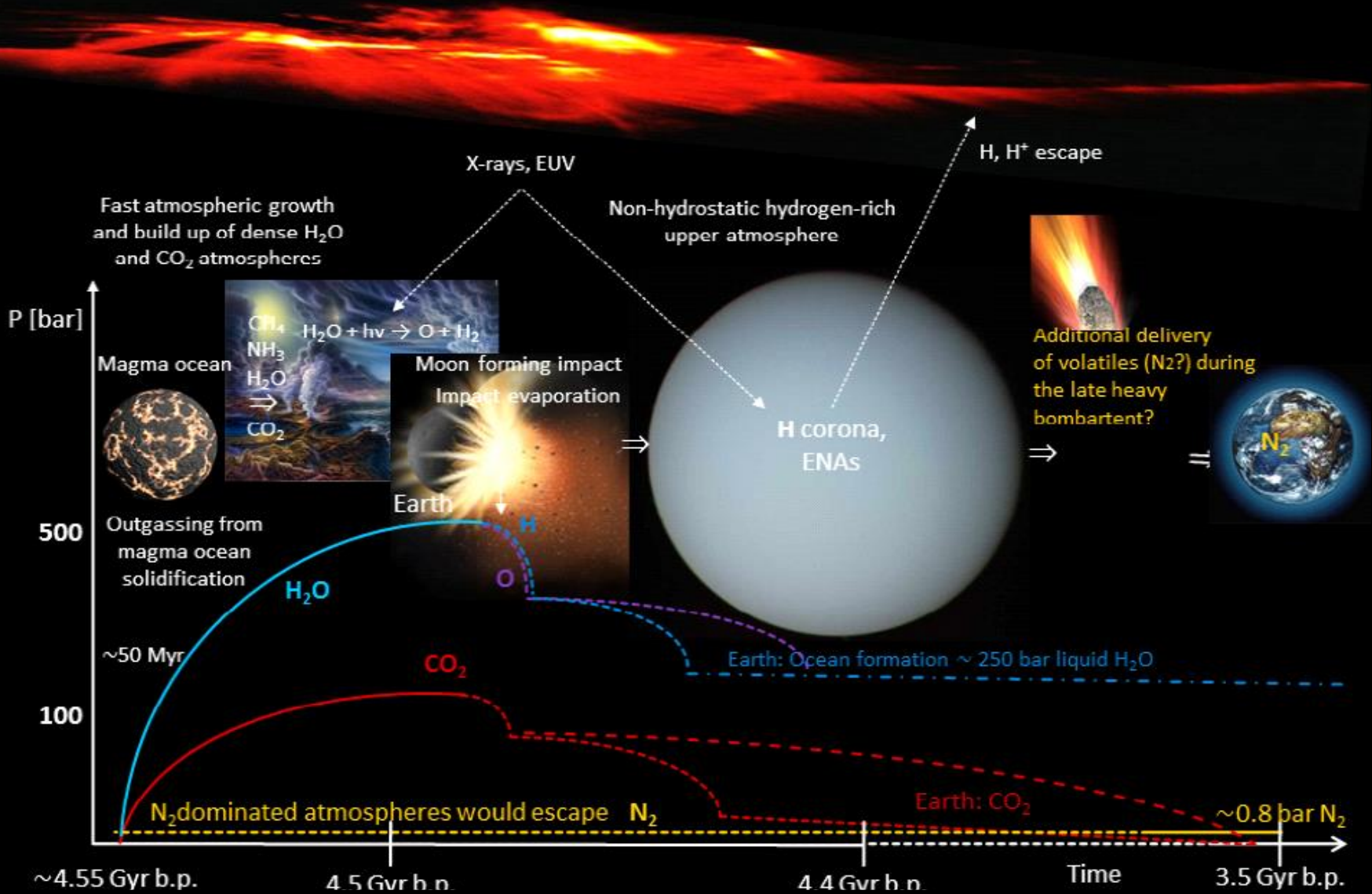
[Lammer, Springer Briefs in Astronomy 2012]

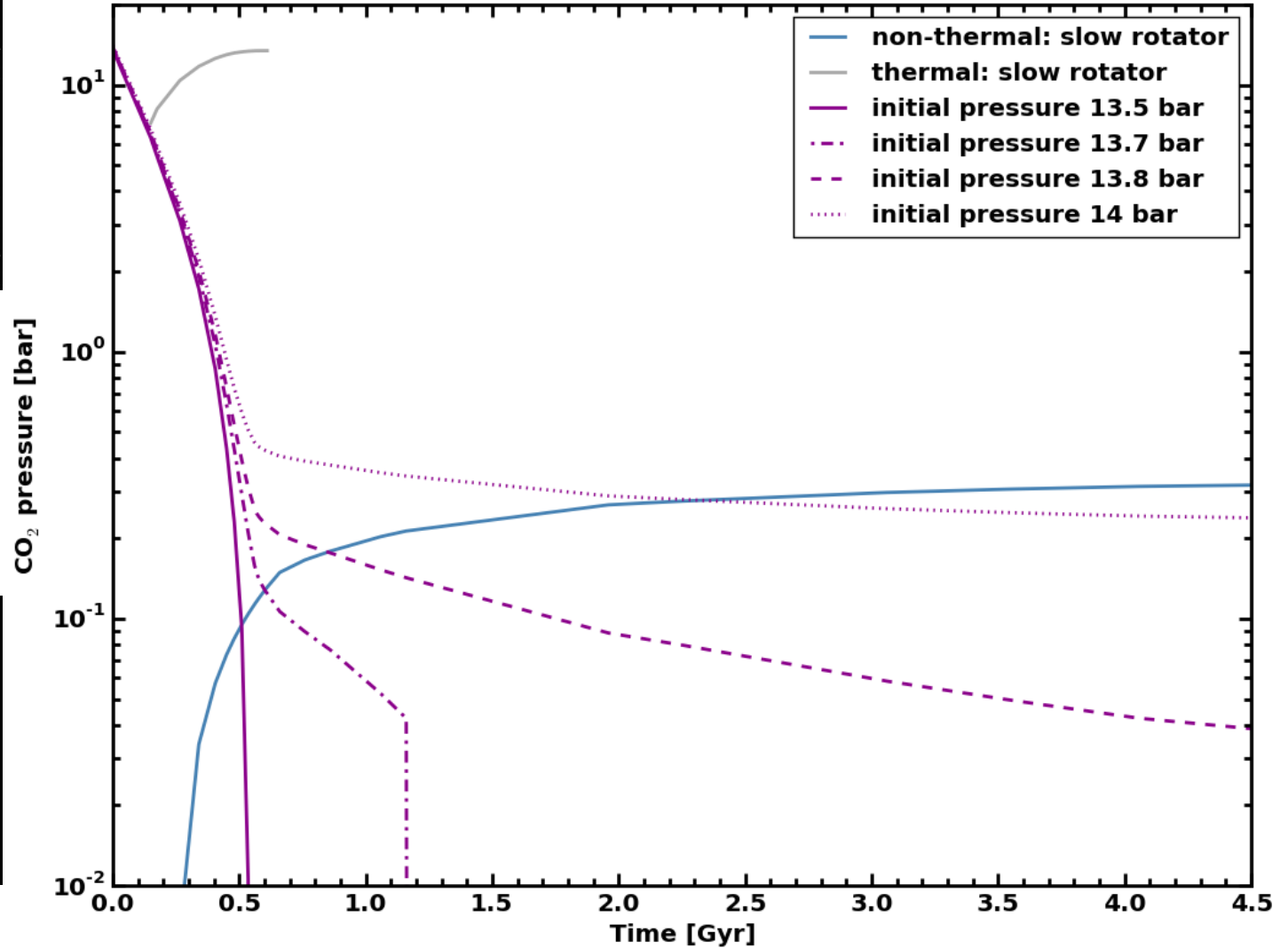
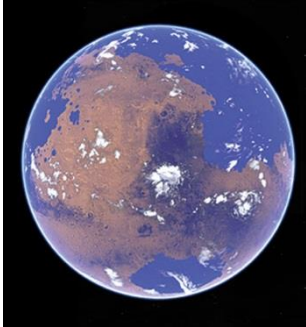
[Lichtenegger et al., Icarus 2010; Lammer et al., OLEB 2012]

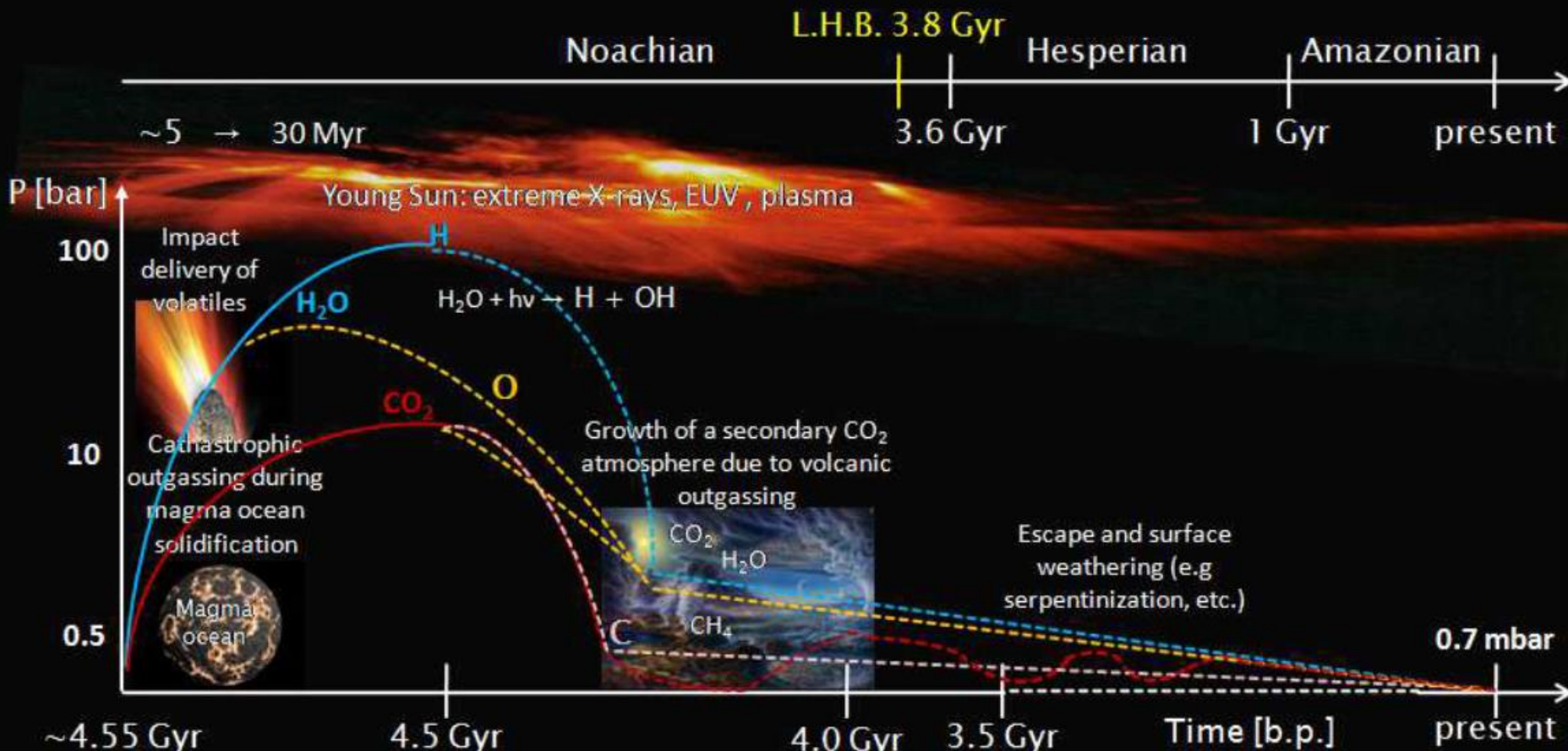




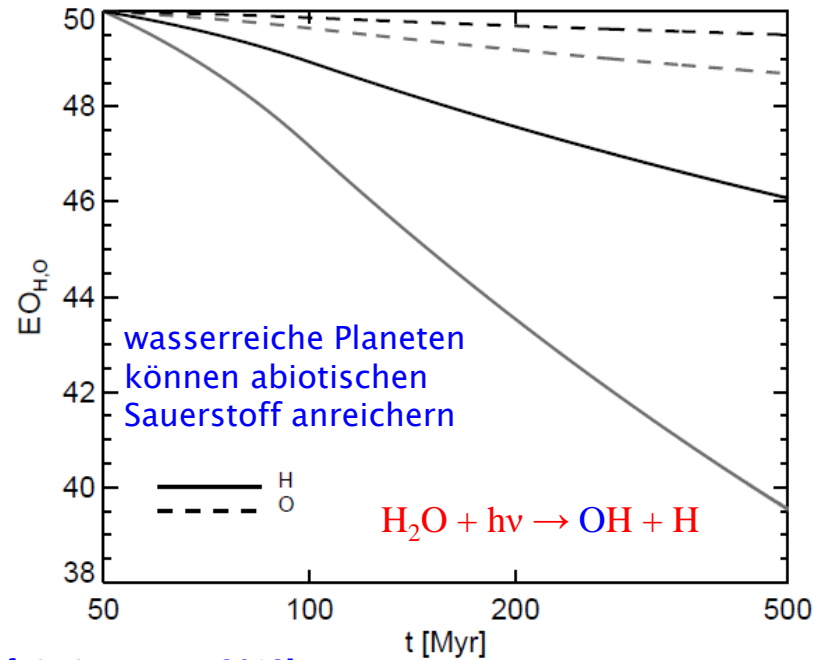
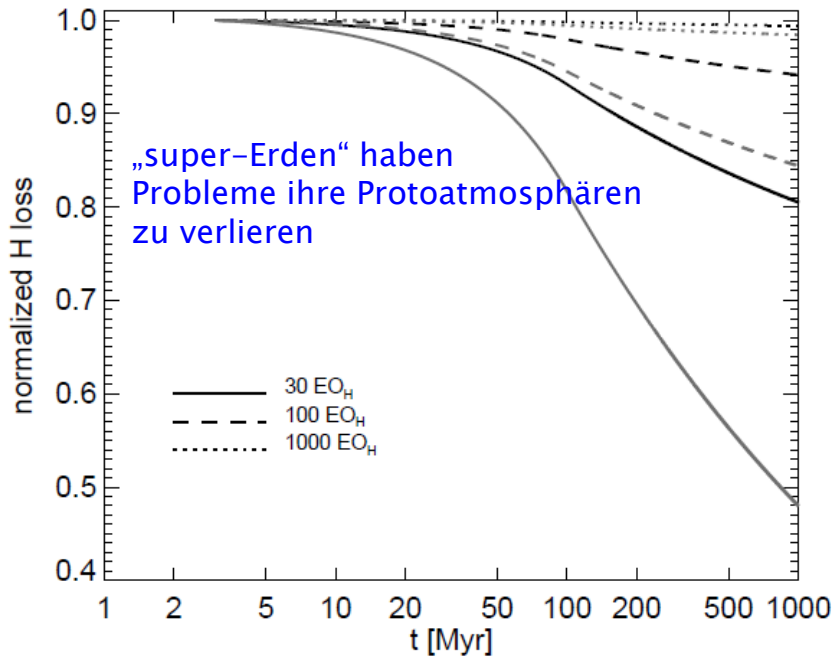
Young Sun/stars: extreme X-rays, EUV, plasma





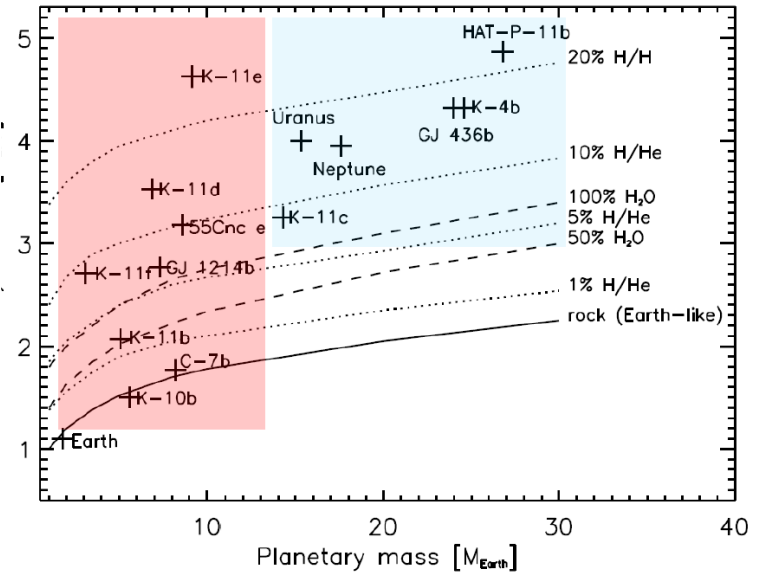


[Lammer et al., Space Sci. Rev., accepted 2012]

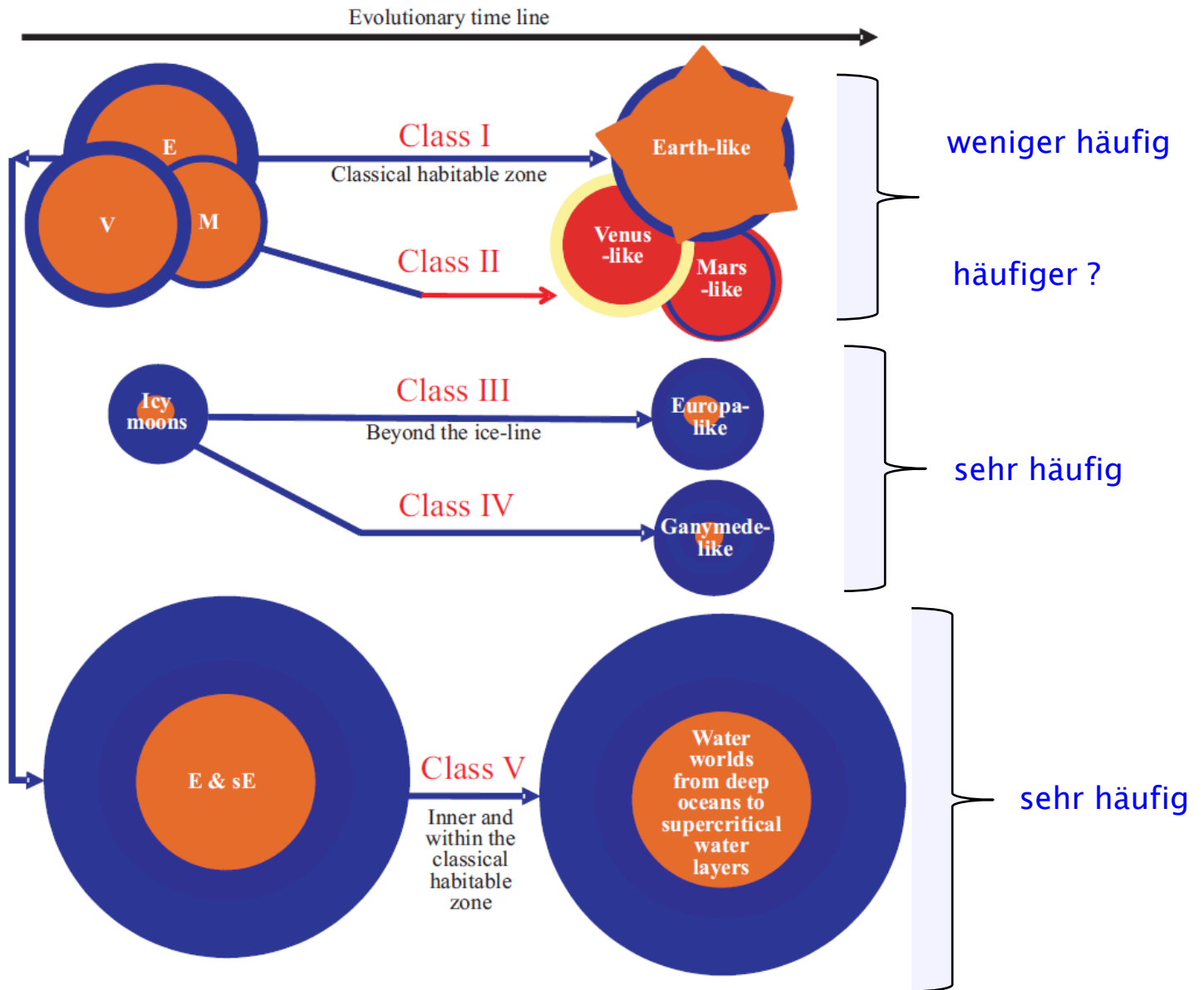


[Lammer, Springer Briefs in Astronomy 2012]

Planet	R_{pl} [R_{Earth}]	M_{pl} [M_{Earth}]	Star-type	Star mass [M_{Sun}]	T [K]	d [AU]
GJ 1214b	~2.678	~6.55	M	0.153	2949	0.014
GJ 436b	~4.3	~22.2	M2.5	0.452	3684	0.02887
55 Cnc e	~2.0	~8.63	K01V-V	0.905	5196	0.0156
CoRoT-7b	~1.58	~7.42	K0V	0.93	5275	0.0172
HAT-P-11b	~4.58	~26.0	K4	0.81	4780	0.053
Kepler-10b	~1.4	~4.56	G	0.895	5672	0.01684
Kepler-4b	~3.87	~24.47	G0	1.223	5857	0.0456
Kepler-11b	~1.97	~4.3	G	0.95	5680	0.091
Kepler-11c	~3.15	~13.5	G	0.95	5680	0.106
Kepler-11d	~3.43	~6.1	G	0.95	5680	0.159
Kepler-11e	~4.52	~8.4	G	0.95	5680	0.194
Kepler-11f	~2.61	~2.3	G	0.95	5680	0.25



„super-Erden“ mit bekannten Radien und Massen



[Lammer, Springer Briefs in Astronomy 2012]

- Die habitable Zone ist ein wichtiger Bestandteil für die Evolution von erdähnlichen Planeten – gibt aber keine Garantie dafür ab, dass sich ein Planet sich zu einer zweiten Erde entwickeln muss
- Wann und von wo bekam die Erde ihren Stickstoff?
 - Vulkane?
 - Asteroiden (spätes schweres Bombardement)?
 - Problem bezüglich der Stabilität von Stickstoffatmosphären
- Viele erdähnliche Planeten und „super-Erden“ können sehr wahrscheinlich ihre wasserstoffreichen Protoatmosphären nicht verlieren → ineffiziente Atmosphärenflucht
- „Erd-analoge Planeten“ scheinen weniger häufig zu entstehen als „exotische Habitate“
- Diese Hypothesen können durch Beobachtungen und Modellrechnungen in der nahen Zukunft verifiziert werden

