

מאז ועד היום –
הפקת נחושת

עדי אליהו-בהר

רוב היסודות, כשלושה רבעים מכל היסודות הטבעיים, הם מתכות.
 המתכות מרוכזות בעיקר בצידה השמאלי של הטבלה המחזורית.

ירוק – מתכות

תכלת – מתכות למחצה

צהוב – אלמתכות

1 H																	2 He																												
3 Li	4 Be											5 B	6 C	7 N	8 O	9 F	10 Ne																												
11 Na	12 Mg											13 Al	14 Si	15 P	16 S	17 Cl	18 Ar																												
19 K	20 Ca	21 Sc	22 Ti	23 V	24 Cr	25 Mn	26 Fe	27 Co	28 Ni	29 Cu	30 Zn	31 Ga	32 Ge	33 As	34 Se	35 Br	36 Kr																												
37 Rb	38 Sr	39 Y	40 Zr	41 Nb	42 Mo	43 Tc	44 Ru	45 Rh	46 Pd	47 Ag	48 Cd	49 In	50 Sn	51 Sb	52 Te	53 I	54 Xe																												
55 Cs	56 Ba	*La	72 Hf	73 Ta	74 W	75 Re	76 Os	77 Ir	78 Pt	79 Au	80 Hg	81 Tl	82 Pb	83 Bi	84 Po	85 At	86 Rn																												
87 Fr	88 Ra	+Ac	104 Rf	105 Ha	106 Sg	107 Ns	108 Hs	109 Mt	110 110	111 111	112 112	113 113																																	
<table border="1"> <tbody> <tr> <td>58 Ce</td> <td>59 Pr</td> <td>60 Nd</td> <td>61 Pm</td> <td>62 Sm</td> <td>63 Eu</td> <td>64 Gd</td> <td>65 Tb</td> <td>66 Dy</td> <td>67 Ho</td> <td>68 Er</td> <td>69 Tm</td> <td>70 Yb</td> <td>71 Lu</td> </tr> <tr> <td>90 Th</td> <td>91 Pa</td> <td>92 U</td> <td>93 Np</td> <td>94 Pu</td> <td>95 Am</td> <td>96 Cm</td> <td>97 Bk</td> <td>98 Cf</td> <td>99 Es</td> <td>100 Fm</td> <td>101 Md</td> <td>102 No</td> <td>103 Lr</td> </tr> </tbody> </table>																		58 Ce	59 Pr	60 Nd	61 Pm	62 Sm	63 Eu	64 Gd	65 Tb	66 Dy	67 Ho	68 Er	69 Tm	70 Yb	71 Lu	90 Th	91 Pa	92 U	93 Np	94 Pu	95 Am	96 Cm	97 Bk	98 Cf	99 Es	100 Fm	101 Md	102 No	103 Lr
58 Ce	59 Pr	60 Nd	61 Pm	62 Sm	63 Eu	64 Gd	65 Tb	66 Dy	67 Ho	68 Er	69 Tm	70 Yb	71 Lu																																
90 Th	91 Pa	92 U	93 Np	94 Pu	95 Am	96 Cm	97 Bk	98 Cf	99 Es	100 Fm	101 Md	102 No	103 Lr																																

Table 3.14. List of metal elements and alloys used in the past, with the approximate time of widespread use (modified from Killick 2001)

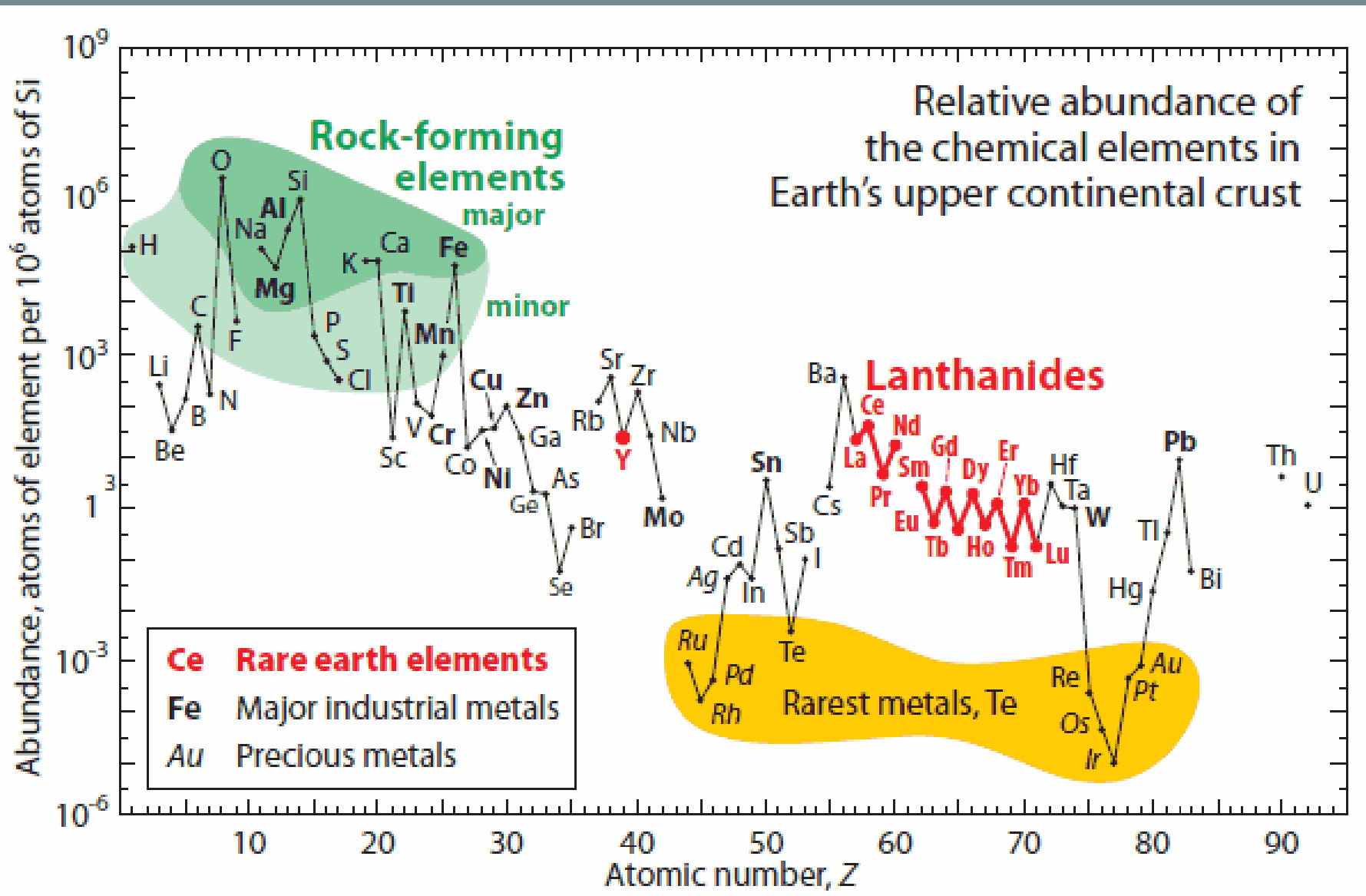
Compound	Elemental composition	Earliest reported widespread use	Place
Copper	Cu	7000 BC (native) 5000 BC (smelted)	Near East
Lead	Pb	6th millennium BC	Balkans, Near East
Gold	Au	5th millennium BC	Balkans
Antimony/copper alloy (Sb-bronze)	Sb/Cu	5th millennium BC	Near East
Arsenic/copper alloy (As-bronze)	As/Cu	5th millennium BC	Balkans, Near East
Silver	Ag	4th millennium BC	Balkans, Near East
Tin	Sn	4th millennium BC	Near East
Tin/copper alloy (Sn-bronze)	Sn/Cu	4th millennium BC	Near East, Iran
Zinc/copper alloy (brass)	Zn/Cu	3rd millennium BC	Lesbos
Zinc/tin/copper alloy (gunmetal)	Cu/Sn/Zn	3rd millennium BC	Iraq
Nickel/copper alloy	Ni/Cu	2nd millennium BC	Near East
Iron	Fe	2nd millennium BC	Near East
Tin-lead (pewter)	Sn/Pb	ca 1500 BC	Egypt
Low carbon-bloom	C/Fe	ca 1300–1500 BC	Near East
Mercury	Hg	1st millennium BC	China
Zinc/tin/copper alloy (gunmetal)	Cu/Sn/Zn	ca 500 BC	India
Wootz steel	C/Fe	ca 300 BC	India
Sulphur/copper (niello)	S/Cu	1st century BC	Roman world
Zinc/copper alloy (brass)	Zn/Cu	1st century BC	Roman world
Noric steel	C/Fe	ca 50 BC	Austria
Platinum	Pt	ca AD 100	South America
Sulphur/silver (niello)	S/Ag	4th century AD	Roman world
Gold/copper alloy (tumbaga)	Au/Cu	ca 500 AD	Central America
Damascus steel	C/Fe	900–1100 AD	Near East
Zinc	Zn	10th century AD	India
Sulphur/silver/copper/ lead (niello)	S/Ag/Cu/Pb	11th century AD	Byzantine/Islamic
Gold/copper (shakudo)	Au/Cu	12th century AD	Japan
Bismuth/copper alloy	Bi/Cu	ca AD 1500	Peru

• מרבית המתכות הידועות לנו היום הן פיתוחים מודרניים של המאה ה-20 (חלקן זהו כבר במאה ה-18)

• למעט ברזל, כל המתכות שהיו בשימוש נמצאות בריכוזים נמוכים ביותר עפ"נ כדוה"א.

• הפרדוקס – נחושת, כסף, זהב ועופרת - נדירות ביותר במסלע עפ"נ כדוה"א בעוד שהנפוצות יותר, אלומיניום, טיטניום, מנגן וכרום – נכנסו לשימוש רק בזמנים מודרניים

שכיחות המתכות במעטפת כדור הארץ



שכיחות המתכות במעטפת כדור הארץ:

Element	Crustal abundance	Annual Production (2010)
Silicon	27.72 %	3,880,000 tons
Iron	6.3 %	1,200,000,000 tons
Copper	50 ppm (0.0050 %)	15,000,000 tons
Lead	10 ppm	2,800,000 tons
Silver	0.080 ppm	23,000 tons
Gold	0.031 ppm	2,800 tons

- בימי קדם: זהב, כסף, נחושת, עופרת, בדיל וברזל
- מרבית המתכות שידועות לנו היום הן פיתוחים מודרניים של המאה ה-20 (חלקן זהו כבר במאה ה-18 אולם לא הגיעו לידי ניצול משמעותי).
- הפרדוקס – **נחושת, כסף, זהב ועופרת** - נדירות ביותר במסלע עפ"נ כדוה"א בעוד שהנפוצות יותר, **אלומיניום, טיטניום, מנגן וכרום** – נכנסו לשימוש רק בזמנים מודרניים

המתכות האצילות מופיעות בריכוזים נמוכים גם בצורתן הטבעית – Native Metals



נחושת



כסף



זהב



עורק של זהב בתצורה גיאולוגית בזמביה

מטילי זהב מנחל קנה התקופה הכלקוליתית



במערה נמצאו פריטים דמויי-טבעת עשויים זהב ואלקטרום.
שתי טבעות עשויות זהב כמעט טהור, 98%
ושש טבעות האלקטרום עשויות 69% זהב ו 31% כסף.
חפצים אלה הם הממצא הקדום מסוגו בלבאנט, הן מבחינת
החומר הן מבחינת הצורה. עד כה לא נמצאו בכל הלבאנט פריטי
זהב מן
התקופה הכלקוליתית, וגם לצורת הטבעות אין מקבילה ממשית
פרט, לצירי-קיר מתקופת הממלכה החדשה במצרים, במחצית
השנייה של האלף השני.

אוצרות ממצרת נחל קנה שבמערב שומרון

מחקרי יהודה ושומרון קובץ א – תשנ"א * 1991
דעת – אתר לימודי יהדות ורוח

אבי גופר וצבי צוק

המכון לארכיאולוגיה, אוניברסיטת תל-אביב



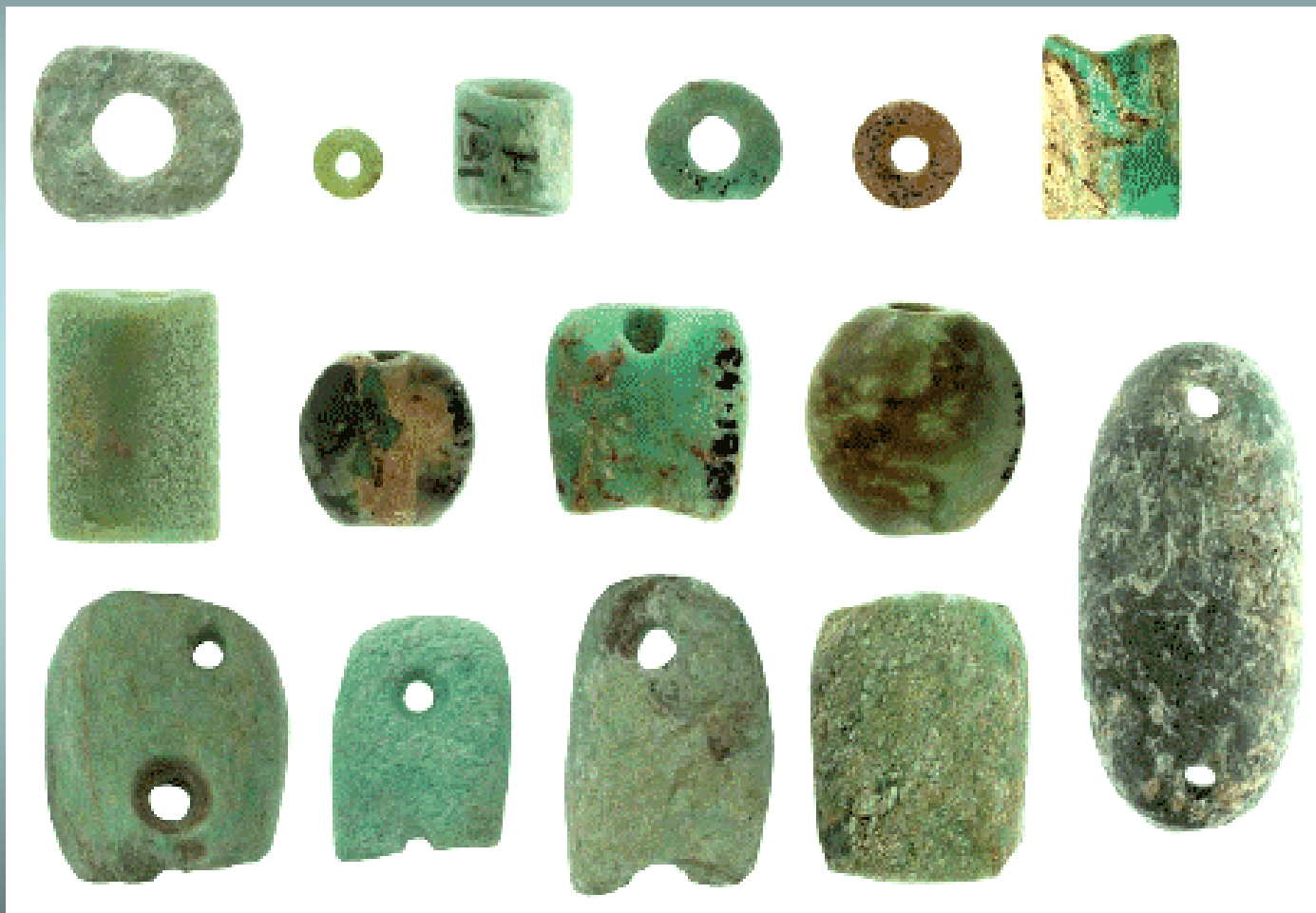
עורק של עפרת
נחושת בתמונע



The copper ore itself is easily seen as green-blue veins in the nearly white sandstone



חפצי אבן (מינרלי נחושת) מן התקופה הנאטופית



מערת נחל משמר



נתגלתה ונחפרה בשנת 1961 ע"י בר-אדון

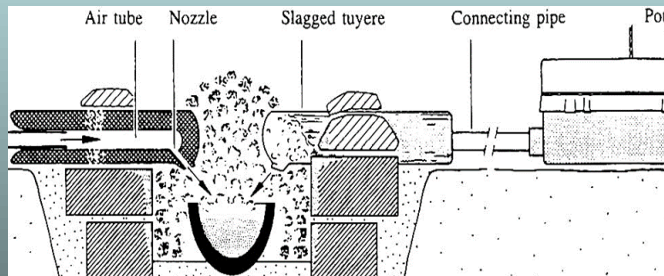
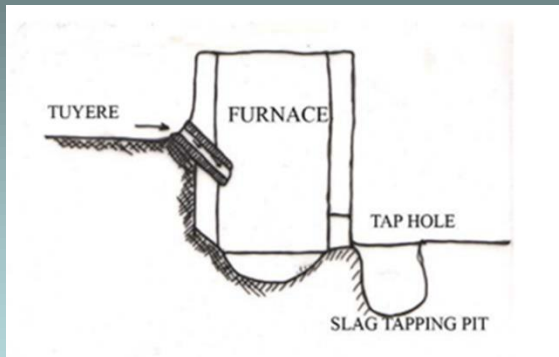
מערת המטמון, נחל משמר. פסח בר אדון 1962







שרשרת הייצור



Copper extraction

Smelting

Copper trade (ingots)

Refining, alloying

casting

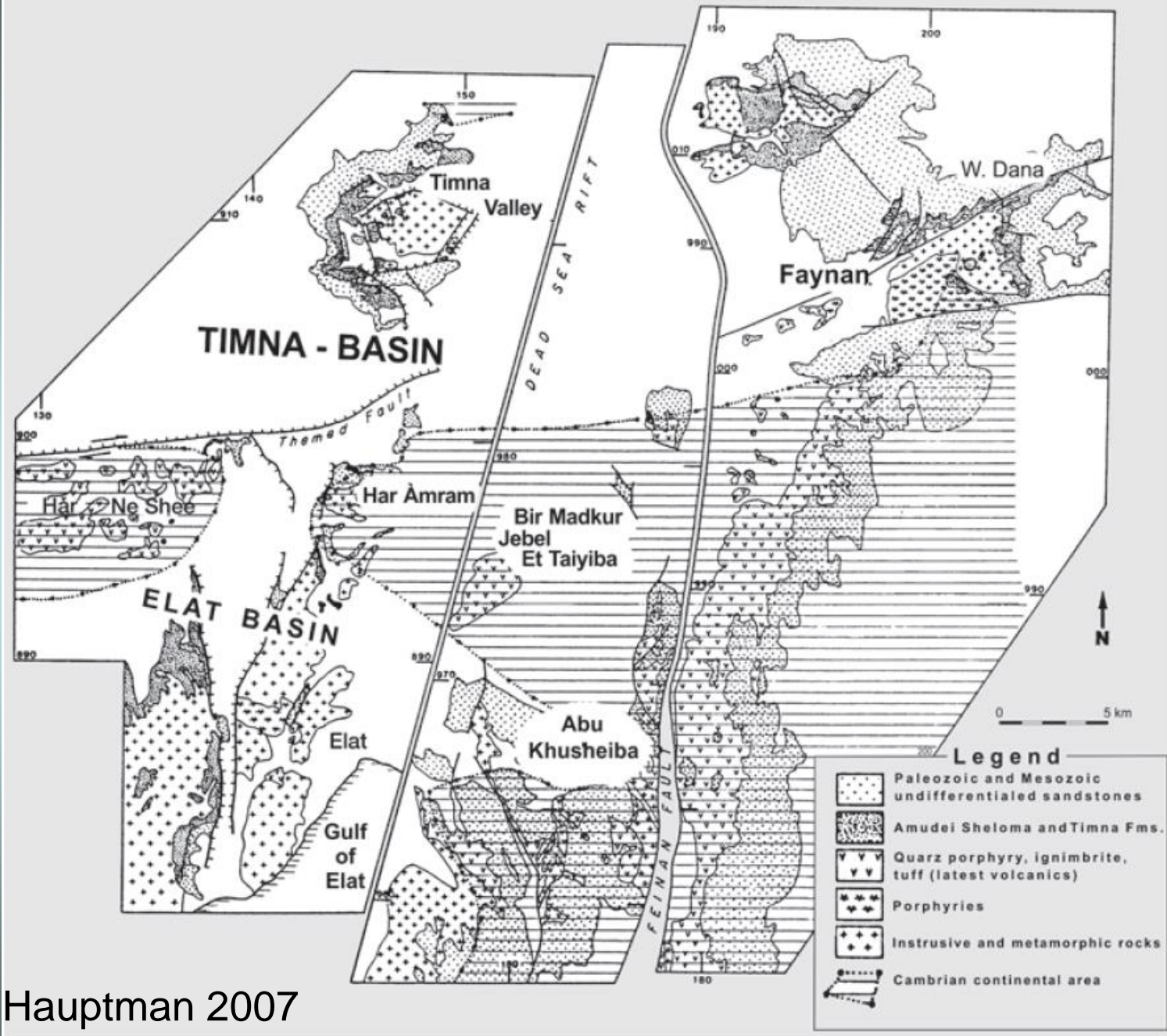
Cold working

use

recycling







Hauptman 2007

Copper Production at Kihrbat en-Nahas, Wadi Fainan



Unprecedented scale mining & smelting: early Iron Age (early 10th-9th centuries BCE).

Smaller scale during the Bronze Age & Roman time

Khirbat en-Nahas



Timna site 30



**Started under Egyptian control & intensified after their retreat.
Major activity in the 11-9th C. BCE**

Timna – “Slave hill”



מינרלים נפוצים של נחושת



Azurite $\text{Cu}_3(\text{CO}_3)_2(\text{OH})_2$



Malachite $\text{Cu}_2(\text{CO}_3)(\text{OH})_2$



Cuprite Cu_2O



$(\text{Cu},\text{Al})_2\text{H}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4 \cdot n(\text{H}_2\text{O})$ Chrysocolla



Chalcocite CuFeS_2



CuFeS_2 Chalcopyrite

Mineral Name	Formula	Type	% Metal
Copper ores			
Cuprite	Cu_2O	Oxide	88.82%Cu
Chalcocite	Cu_2S	Sulfide	79.85%Cu
Chalcoanite	CuSO_4	Sulfide	39.81%Cu
Chalcopyrite	CuFeS_2	Sulfide	34.63%Cu
Chrysocola	$(\text{Cu,Al})_2\text{H}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4 \cdot n(\text{H}_2\text{O})$	Silicate	33.86%Cu
Azurite	$\text{Cu}_3(\text{CO}_3)_2(\text{OH})_2$	Carbonate	55.31%Cu
Malachite	$\text{Cu}_2(\text{CO}_3)(\text{OH})_2$	Carbonate	57.48%Cu

הפקת מתכת

כרית העופרה



הכנה – שברור, הפרדה (Refining), Roasting



התכה (Smelting)



עפרה



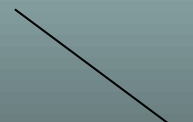
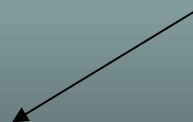
חימום



פחם



תנור/כורית



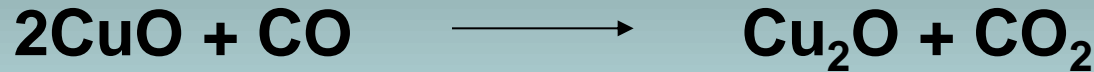
מתכת

סיג

תהליך התכת בצר קרבוני (Malachite)



פירוק העופרה –
יצירת תחמוצת



חיזור (Reduction)

1100-1200°C



תגובה נטו



יצירת הסיג (Slag formation)



Figure 1. A copper anode consists of approximately 95% pure copper



Figure 2. A copper cathode consists of 99.9% pure copper