



rapport

IVL Svenska Miljöinstitutet AB

Antimon, selen, tellur, indium, gallium
och palladium: mängder, trender och
fördelning i teknosfären

John Sternbeck
B 1285
Stockholm, januari 1998

<p>Organisation/Organization Institutet för Vatten- och Luftvårdsforskning</p> <p>Adress/Address Box 21060 100 31 STOCKHOLM</p> <p>Telefonnr/Telephone 08-729 15 00</p>	<p>RAPPORTSAMMANFATTNING Report Summary</p> <p>Projekttitel/Project title</p> <p>Anslagsgivare för projektet/Project sponsor Naturvårdsverket</p>
<p>Rapportförfattare, author</p> <p>John Sternbeck</p>	
<p>Rapportens titel och undertitel/Title and subtitle of the report</p> <p>Antimon, selen, tellur, indium, gallium och palladium: mängder, trender och fördelning i teknosfären</p>	
<p>Sammanfattning/Summary</p> <p>Den totala svenska konsumtionen av Sb, Se, Te, In, Ga och Pd uppskattas och de huvudsakliga användningsområdena beskrivs. Den ackumulerade mängden av Sb, Se, In och Pd i teknosfären ökar exponentiellt med tiden. Mängden In har fördubblats ungefär vart 7:e år. Elektronikbranschens expansion förklarar den ökade konsumtionen av In och Ga, medan konsumtionen av Pd även ökar pga katalysatoranvändning. Konsumtionen av Sb ökar framförallt pga den ökande användningen av flamskyddsmedel. På grund av förändrade användningsområden minskar andelen Sb som återvinns.</p> <p>De mängder av dessa ämnen som omsätts avsiktligt jämförs med de mängder som sprids genom förbränning av kol och olja. För Se och Ga gäller att ur ett globalt perspektiv så dominerar spridning via kol över de mängder som omsätts avsiktligt.</p>	
<p>Nyckelord samt ev. anknytning till geografiskt område, näringsgren eller vattendrag/Keywords</p> <p>Antimon, selen, tellur, indium, gallium, palladium, materialflöden, produktion, konsumtion, tidstrender, kol</p>	
<p>Bibliografiska uppgifter/Bibliographic data</p> <p>IVL Rapport B 1285</p>	
<p>Beställningsadress för rapporten/Ordering address</p> <p>IVL, Publikationsservice, Box 21060, S-100 31 Stockholm, Sweden</p>	

Innehållsförteckning

Sammanfattning	5
Summary	5
Metod	6
Antimon	8
Produktion och konsumtion.....	8
Användningsområden.....	10
Svensk användning	11
Framtida användning	11
Oavsiktlig spridning	11
Naturlig förekomst.....	12
Selen.....	13
Produktion och konsumtion.....	13
Användningsområden.....	15
Svensk användning	16
Framtida användning	16
Oavsiktlig spridning	16
Naturlig förekomst.....	17
Tellur.....	18
Produktion och konsumtion.....	18
Användningsområden.....	18
Svensk användning	20
Framtida användning	21
Oavsiktlig spridning	21
Naturlig förekomst.....	21
Indium	22
Produktion och konsumtion.....	22
Användningsområden.....	23
Svensk användning	24
Framtida användning	24
Oavsiktlig spridning	25
Naturlig förekomst.....	25

Gallium	26
Produktion och konsumtion.....	26
Användningsområden.....	26
Svensk användning.....	27
Framtida användning.....	27
Oavsiktlig spridning.....	27
Naturlig förekomst.....	27
Palladium	28
Produktion och konsumtion.....	28
Användningsområden.....	30
Svensk användning.....	32
Framtida användning.....	32
Oavsiktlig spridning.....	32
Naturlig förekomst.....	32
Slutsatser.....	33
Referenser.....	34

Sammanfattning

Det är väl känt att den antropogena konsumtionen av metaller, exempelvis bly och kvicksilver, medfört kontaminering av vatten, mark och luft. I bland annat industriella processer och konsumentprodukter används dock ett stort antal metaller för vilka vår kunskap om toxicitet och uppträdande i naturen är mycket bristfällig. Kunskap om vilka mängder av dessa metaller som används, och på vilket sätt de används, är en förutsättning för att kunna uppskatta den nuvarande och framtida antropogena belastningen av dessa metaller på ekosystemen.

Föreliggande projekt syftar till att beskriva och kvantifiera den antropogena konsumtionen av antimon, selen, tellur, indium, gallium och palladium ur såväl ett globalt som ett svenskt perspektiv. För alla dessa metaller (eller halvmetaller) så har den globala nyproduktionen ökat under det senaste årtiondet. De huvudsakliga nuvarande och tidigare användningsområdena för dessa sex metaller beskrivs. I förekommande fall noteras om metallen återvinns från något eller några av dess användningsområden. Framtida konsumtionsmönster diskuteras kortfattat. De mängder av dessa metaller som människan totalt utvunnit i kommersiellt syfte jämförs med de mängder som spridits oavsiktligt vid förbränning av kol och olja.

Summary

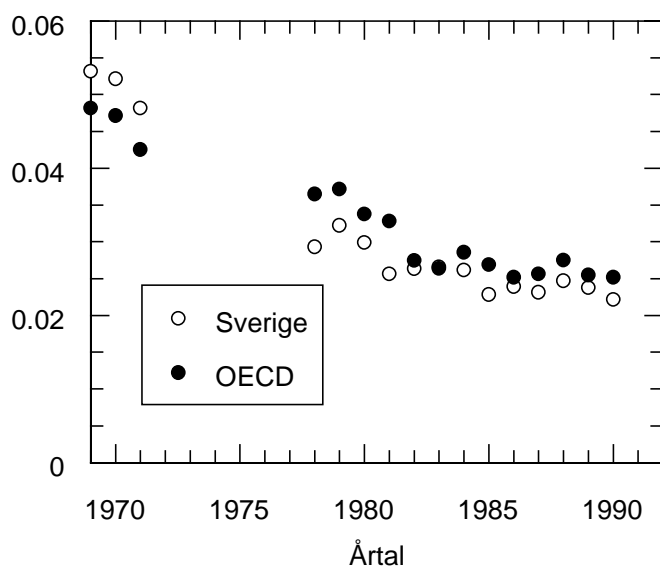
It is well-known that the anthropogenic consumption of metals, e.g., lead and mercury, has caused the contamination of water, soil and air. However, although a large number of metals are used in industrial processes and in private consumption, the existing knowledge on the toxicity and environmental fate of most metals is limited. In order to assess the present and future pressure of these metals on the ecosystems, knowledge on the amounts of these metals that are used, and in which applications, is required.

This study aims at describing and quantifying the anthropogenic consumption of antimony, selenium, tellurium, indium, gallium and palladium, both in a global and a Swedish perspective. Globally, primary production has increased for all these metals (or metalloids) during the last decade. The major present and former uses of these metals are described and the existence of recycling is investigated. Possible future uses are briefly discussed. Finally, the amounts of these metals that is extracted by purpose is compared to those amounts extracted unintentionally through the burning of coal and oil.

Metod

Den svenska konsumtionen av en metall uppskattas här från den globala konsumtionen. Detta resonemang grundas på antagandet att materialkonsumtion är relaterad till BNP. I figur 1 visas konsumtionen av de kvantitativt viktigaste metallerna (Cu, Ni, Zn, Pb, Fe; Mn, Sn, P och Al) normaliserat mot BNP för Sverige och för OECD-länderna. Sveriges del av OECD-ländernas sammanlagda BNP har under perioden 1984-1994 utgjort 0,96-1,4% (SCB, 1989, 1993, 1997) och i denna rapport utgår vi ifrån att den svenska konsumtionen av en metall är 1% av den globala konsumtionen.

En alternativ metod vore att uppskatta årlig import från Kemikalieinspektionens produktregister och SCB:s handelsstatistik. Tidigare studier har dock påvisat begränsningar med dessa register för en studie av dessa ämnen (t.ex. Eriksson, 1991; Palm, 1995). Bland annat saknar många ämnen eget tulltaxeringsnummer vilket gör att de ej registreras i SCB:s handelsstatistik, mängduppgifter är ofta oprecisa och uppgifter om import i varor och halvfabrikat saknas.



Figur 1. Metallkonsumtion (vikten av de kvantitativt dominerande metallerna) normaliserad mot BNP för Sverige och OECD under perioden 1970-1990 (källa: Världsbanken, 1995).

Globalt så kan konsumtionen beräknas utifrån:

$$\text{konsumtion} = \text{nyproduktion} + \text{återcirkulering} \pm \text{lagerförändringar}.$$

Uppgifter om global produktion kan variera ca 10-30% mellan olika källor, vilket delvis beror på en osäkerhet huruvida återcirkulerade metaller och lagerförändringar ingår eller ej. Graden av återcirkulering varierar mellan olika metaller och är ofta betingad av ett ekonomiskt intresse, som t.ex. för ädelmetaller. Metaller som producerats genom återcirkulering benämns också sekundära. Vid uppskattning av konsumtionstrender bör alltså värden på den totala produktionen av en metall användas. Vid beräkning av den totala mängden metall som utvunnits på jorden bör istället värden på nyproduktion användas. Värden på produktion av Te och Ga uppges i samtliga källor vara mycket osäkra.

Den totalt ackumulerade mängden metall i teknosfären har beräknats genom att integrera en funktion som beskriver hur nyproduktionen förändrats över tiden. Denna metod bortser från att en viss del säkerligen lämnat teknosfären som emission till vatten, mark eller luft. Svensk kolförbränning är f.n. ca 0.1% av den globala kolförbränningen emedan den avsiktliga konsumtionen i Sverige, som nämnts ovan, uppskattas till 1% av den globala konsumtionen. Därför är förhållandet mellan avsiktlig och oavsiktlig metallspridning i Sverige annorlunda än vid en global analys.

Antimon

Produktion och konsumtion

Antimon är en av de första metaller som människan nyttjade och har använts under flera tusen år (se Användningsområden). På 1500-talet skrev bl.a. Agricola om metoder för att utvinna Sb ur malm. Antimon framställs framförallt direkt från Sb-rik malm, men även som en biprodukt vid hantering av annan malm (t.ex. Ag-Cu-Pb malm) och vid omsmältning av Pb-Sb legeringar (Gonser och Smith, 1948; Fergusson, 1990). Produktionen av Sb är därför inte beroende av efterfrågan på någon annan metall. Däremot produceras f.n. 70-80% av allt Sb i Kina vilket gör marknaden känslig. Eftersom Sb återcirkuleras från Pb-Sb legeringar överstiger årskonsumtionen nyproduktionen. Denna sekundära Sb produktion har varit av betydelse åtminstone sedan 1930-talet (USGS, 1935) men förefaller nu vara i nedgång eftersom användningen av Pb minskar och eftersom Sb ersätts av Ca i blybatterier.

Schmitz (1979) redovisar inga uppgifter om Sb produktion före 1860 och dessa mängder är svåra att uppskatta men en jämförelse kan göras med bly, som var en än mer viktig metall redan under Romartiden (Fergusson, 1990). För de senaste 3 000 åren har uppskattningar av årlig Pb produktion gjorts vilka motsvarar 0,2-1% av dagens produktion (Fergusson, 1990). Eftersom Sb inte var en lika viktig metall som Pb antar vi att den dåtida produktionen inte översteg 0,2% av dagens produktion ($\approx 100\,000$ ton/år).

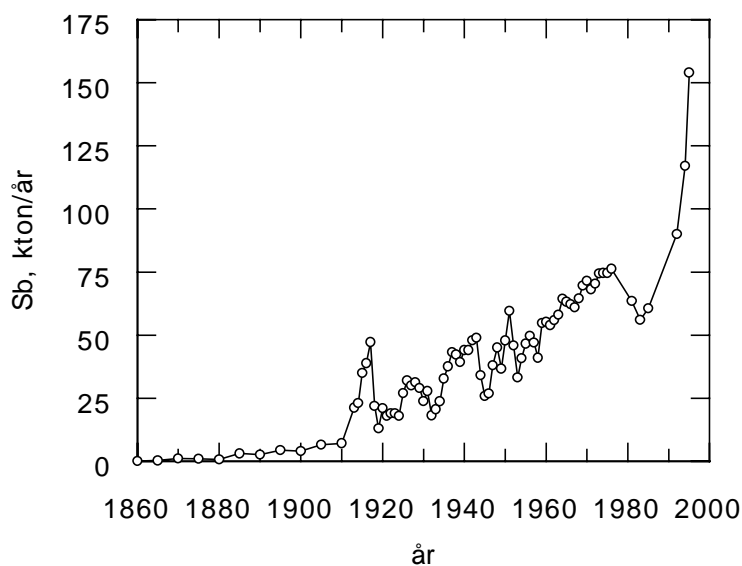
Den globala nyproduktionen av Sb sedan 1860-talet återges i tabell 1 och figur 2. Enligt dessa data kan det beräknas att ca 4,9 miljoner ton Sb framställts under perioden 1860-1997. Den totala förindustriella produktionen (4000 f.Kr till 1850 e.Kr) uppskattas till maximalt 1 miljon ton. Nyproduktionens ökning med tiden kan approximeras med en exponentiell funktion. Denna funktion ger att mängden Sb som ackumulerat i teknosfären fördubblas på i genomsnitt 23 år.

Tabell 1. Global nyproduktion, sekundär produktion och konsumtion av Sb i tusen ton/år. Av författaren beräknade eller uppskattade värden anges kursivt. Den sekundära produktionen uppges ha minskat i betydelse de senaste 5-10 åren pga minskad användning av Pb-batterier innehållande Sb. Tomma rutor innebär att data saknas.

Årtal	Nyprod. kton/år	Sek. prod. kton/år	Konsum. kton/år	Referens
1945 [§]			<i>47</i>	Gonser och Smith 1948
1965	63	<i>60</i>	<i>120</i>	Naturvårdsverket 1976
1970	66,3	<i>60</i>	<i>126</i>	Naturvårdsverket 1976
1973	70	<i>57</i>	<i>125</i>	Eriksson 1991
1985	60,6			USGS 1985
1992 [§]	90			USGS 1994
1994 [§]	117			USGS 1996a
1995 [§]	154			USGS 1996a

[§] Uppskattat utifrån konsumtionen i USA, vilken för perioden angivits till minst 50% av världsproduktionen.

[§] Inkluderar inte USAs produktion som dock inte är dominerande!



Figur 2. Global nyproduktion av antimon (tusent ton/år) sedan 1860. Uppgifter t.o.m. 1976 enligt Schmitz (1979) och därefter enligt tabell 1 och USGS (1985).

Användningsområden

Antimon har använts sedan 4000 f.Kr. bl.a. i smink och keramik (Gonser och Smith, 1948). Egypterna använde Sb för plätering på andra metaller 2400 f.Kr (Wolfe, 1984). Från och med senmedeltid användes Sb bl.a. inom typografin och i vissa medicinska syften (Fergusson, 1990). Under 1900-talet har Sb använts som legeringmetall i bly, framförallt till batterier. Antimon som förekommer i legering med Pb lämpar sig väl för återcirkulering och detta har länge varit en viktig källa till Sb. Antimonoxid används som flamskyddsmedel, vilket är det viktigaste användningsområdet idag (tabell 2). Under 2:a världskriget svarade flamskyddsmedel för ca 33% av Sb konsumtionen i USA eftersom behovet av eldsäkert tyg var stort (Gonser och Smith, 1948). Denna höga andel anses inte representativ för tiden före 1948 i sin helhet.

Tabell 2. De dominerande användningsområdena av Sb i USA mellan 1945 och 1996. Någon global sammanställning har vi inte fått fram.

Användnings- område	USA, 1945	USA, 1970	USA, 1983	USA, 1995	USA, 1996	Japan, 1996
Flamskyddsmedel	30% [#]	5%	60%	58%	62%	96%
Blylegeringar:	50%	75%	15%	21%	15%	
Kemikalier, plast, pigment	15%	6%	12%	8%	10%	
Keramik, glas	5%	5%	12%	7%	8%	
Övrigt		9%	1%	6%	5%	

Källor: Gonser och Smith (1948), SNV (1976), USGS (1985, 1996a, 1997a)

[#] På grund av kriget uppges andelen flamskyddsmedel för 1945 orepresentativt hög.

I det följande beskrivs de aktuella användningsområdena av Sb.

- Flamskyddsmedel: Sb_2O_3 används här tillsammans med organiska Br-föreningar. Viktförhållandet mellan dessa (bromerade föreningar: Sb_2O_3) är vanligen från 2,6:1 till 5:1 (Eriksson, 1991; Hedemalm et al., 1995). Flamskyddsmedel används framförallt i plast och elektronik (t.ex. på kretskort) men även i textilier. I Sverige förbränns plast och Sb hamnar då i askan och i rökgaserna.
- Blylegeringar: Antimon tillsätts Pb för att öka hårdheten och minska korrosionsbenägenheten. Halten av Sb varierar mellan olika applikationer men är vanligen 1-10% (Gonser och Smith, 1948; Fergusson, 1990). Antimonlegerat Pb används framförallt till batterier men även till kabelskydd, lager m.m. Antimonlegerat Pb återcirkuleras effektivt.

- Kemikalier, plast och pigment: Används som katalysator inom kemiindustrin och som stabilisator i plast, t.ex. PVC. Sb_2S_3 används till fyrverkerier och färg. Sb_2S_5 används för vulkanisering av gummi (Fergusson, 1990).
- Keramik, glas: Sb_2O_3 används som vitt pigment till glas
- Övrigt: Inom elektronik används Sb till halvledare för t.ex. dioder och IR detektorer.
- Medicin: Antimonoxider används bl.a. för behandling av s.k. Leishmaniasis (tropisk parasitsjukdom) men biverkningar har konstaterats (t.ex. Oliveira-Neto et al., 1997).

Svensk användning

Om 1% av den sedan 1850 utvunna mängden Sb finns i Sverige motsvarar det alltså 50 000 ton Sb. Den förindustriella konsumtionen av Sb i Sverige antas vara försumbar. Konsumtionen av Sb i Sverige idag är enligt 1%-hypotesen ca 1 500-2 000 ton/år. I Kemikalieinspektionens produktregister är ca 400 ton registrerade men en stor mängd Sb importeras med produkter och registreras därför inte.

Framtida användning

I USA minskade konsumtionen av Sb i blylegeringar under 1996 jämfört med tidigare år. Flamskyddsmedel anses fortsätta vara en stark marknad ett antal år (USGS, 1997a) och i Japan står flamskyddsmedel nu för 96% av konsumtionen till följd av hårdare krav på flamskydd i elektronik, textilier, byggnadsmaterial, fordon m.m. (USGS, 1997b). Dock är Sb som flamskyddsmedel associerat med organiska Br-föreningar vilka man på många håll strävar att ersätta. Flera datortillverkare har tagit bort dessa ämnen från plasthöljet (Technoworld, 1996). Detta är också ett kriterium för nordisk miljömärkning av datorer (SFS, 1995).

Oavsiktlig spridning

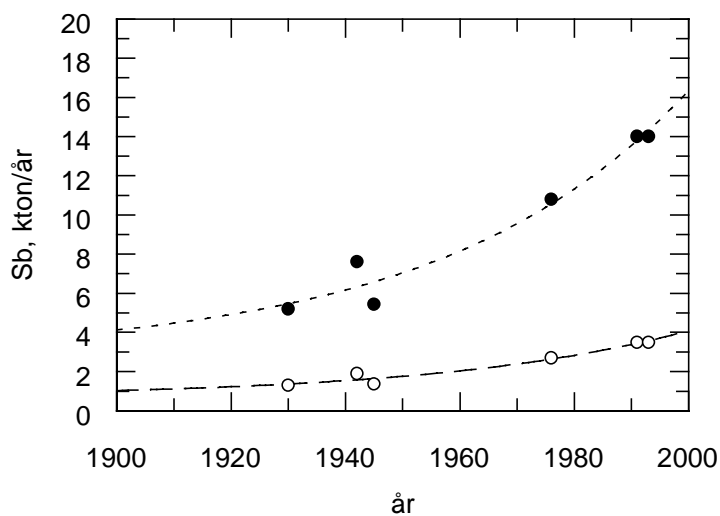
Förutom gruvindustrin så dominerar kolförbränning den antropogena spridningen av Sb (Nriagu och Pacyna, 1988). I kol är Sb-halten vanligen 1-4 mg/kg (Klein et al., 1975; Naturvårdsverket, 1976; IEA, 1987). I USGS stora (2 600 prov) databas över kol är medelhalten 1.07 mg/kg (USGS, 1997c). Den globala kolproduktionen redovisas i tabell 3. Detta innebär innebär att det för närvarande årligen sprids 3 500-14 000 ton Sb genom kolförbränning till atmosfär, mark och vatten (figur 3). Totalt sedan år 1900 kan det uppskattas att 180-750 tusen ton Sb spridits till mark, luft och vatten från

kolanvändningen. Produktionen av olja är i samma storleksordning som av kol men halterna av Sb i olja är betydligt lägre.

Tabell 3. Den globala produktionen av kol under perioden 1930-1993.

Årtal	1930	1942	1945	1976	1991	1993
ton/år	$1,3 \times 10^9$	$1,9 \times 10^9$	$1,36 \times 10^9$	$2,7 \times 10^9$	$3,47 \times 10^9$	$3,47 \times 10^9$

Källor: Rose (1949), Fergusson (1982), SCB (1997)



Figur 3. Uppskattning av årligt uttag av Sb (tusen ton/år) via kol sedan år 1900. De två dataseten motsvarar en undre och övre uppskattning beroende på halten av Sb (1 resp. 4 mg/kg).

Naturlig förekomst

Genomsnittlig halt av Sb i jordskorpan är 0,2 mg/kg (Cox, 1989). I mark är halterna vanligen högre men stora geografiska variationer förekommer (Fergusson, 1990). I svensk mark uppger dock SGU att medianhalten är så låg som 0,02 mg/kg (högsta värde 0,37 mg/kg).

Selen

Produktion och konsumtion

Selen upptäcktes år 1817 och började användas kommersiellt kring 1910-1915 för att avfärga glas. Selen förekommer inte naturligt i sådana anrikningar att enbart Se-innehållet motiverar brytning (Fergusson, 1990). Däremot är många Cu malmer rika på Se och Se utvinns elektrolytiskt som en biprodukt vid Cu-framställning. Produktionen av Se styrs därför indirekt av Cu produktionen.

Den årliga nyproduktionen av Se för ett antal år under perioden 1952-1996 redovisas i tabell 4. Uppgifter om globala produktionsmängder före andra världskriget saknas. Selen har framställts kommersiellt i USA sedan 1910 då 4,5 ton producerades men Se producerades tidigare i Tyskland (Elkin och Margrave, 1954a). Behovet av Se var dock mycket begränsat före första världskriget. Redan under 1870-1880 användes Se i forskning där man upptäckte selens halvledande egenskaper (Elkin och Margrave, 1954a). Den totala globala produktionen av Se har uppskattats genom att anta att produktionen ökat exponentiellt med tiden (figur 4). Denna exponentiella funktion har valts för att den simulerar givna data väl, och är inte avsedd att förutspå framtida produktion. Eventuellt innebär funktionen en överskattning av produktionen före ca 1940 (figur 4). Enligt denna approximation kan det beräknas att 68 000 ton Se framställts sedan 1910 och att mängden Se som ackumulerat i teknosfären fördubblas på 22 år.

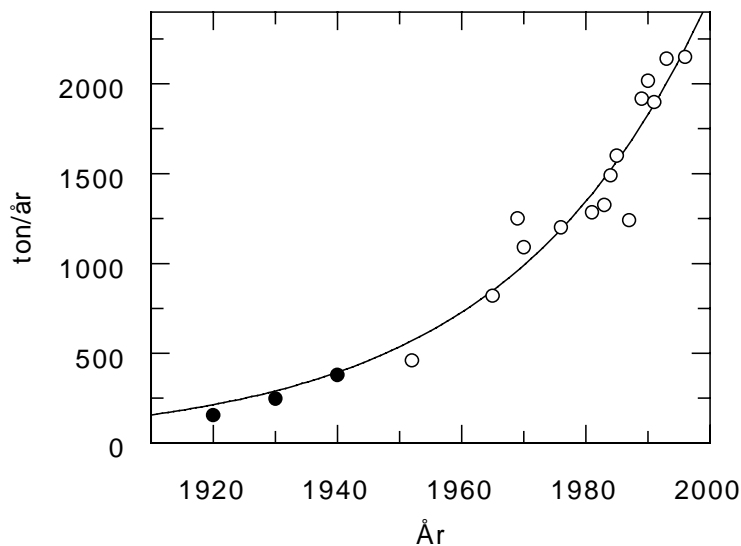
En viss återvinning av Se sker, framförallt ifrån kopieringsmaskiner och uppges motsvara ca 10% av nyproduktionen (STDA, 1992). Den globala produktionen av sekundärt Se var år 1996 ca 250 ton (USGS, 1997a). År 1991 uppgavs det att andelen återcirkulerat Se ökar i förhållande till nyproduktionen (Eriksson, 1991). Insamling av "fototrummor" från kopieringsmaskiner inleddes på 1960-talet av Xerox och i Elkin och Margrave (1954a) nämns ingenting om sekundär produktion av Se. Det finns följaktligen ingen anledning att korrigera äldre uppgifter om produktion för sekundärt Se. Förändringen i produktion över tiden torde alltså återspegla hur konsumtionen av Se varierat.

Tabell 4. Global nyproduktion, sekundär produktion och konsumtion av Se i ton/år. Av författaren beräknade eller uppskattade värden anges kursivt. Tomma rutor innebär att data saknas.

Årtal	Nyprod. ton/år	Sek. prod. ton/år	Konsum. ton/år	Referens
1952	460			Elkin och Margrave 1954a
1965	820			Naturvårdsverket 1976
1970	1 090			Naturvårdsverket 1976
1976	1 200			Eriksson 1991
1985	1 600		1 700	Fergusson, 1990
1987	1 240	\$		Eriksson 1991
1989	1 917		2 173	STDA 1992
1990	2 017		2 119	STDA 1992
1991	1 898		2 283	STDA 1992
1993	2 140 [#]	250	2 170	USGS/SGU 1995
1996	2 150 [#]	250	2 400	USGS 1997a

Det är för USGS uppgifter oklart om produktionsmängderna även inkluderar sekundärt Se.

\$ Det uppges att andelen Se från skrot ökar, dock inga kvantitativa uppgifter.



Figur 4. Global nyproduktion av selen sedan 1952. Linjen är en generalisering av produktionsvolymens tidsutveckling. De svarta punkterna (ej använda vid kurvanpassningen) betecknar den globala produktionen av Se utifrån antagandet att Se producerats i samma förhållande till Cu som under perioden 1952-1976 (Cu produktion enligt Schmitz, 1979).

Användningsområden

I glas har Se använts kommersiellt sedan ungefär 1915 (Elkin och Margrave, 1954a) och detta var fortfarande på 1930-talet det viktigaste användningsområdet för Se (USGS, 1935). År 1924 började Se användas kommersiellt inom elektroniken som likriktare. Detta blev ett mycket viktigt användningsområde för Se. Som legeringsmetall (ferroselen) till vissa former av rostfritt stål har Se använts kommersiellt sedan 1942. Andra områden där Se tidigt fick en användning var vulkanisering av gummi, kemiindustrin och läkemedel. I tabell 5 anges den ungefärliga fördelningen av Se mellan de huvudsakliga användningsområdena.

Tabell 5. Kommersiella applikationer av Se.

Användnings- område	USA 1954 [#]	USA 1969	USA 1985	Globalt 1990	USA 1996	Globalt 1992
Glas	40% inkl. pigment	31%	30%	20%	25%	35%
Elektronik, kopiatorer	30%	38%	35%	33%	16%	30%
Pigment		14%	25%	19%	8%	10%
Stål	20%	i övrigt	i övrigt	12%	16%	10%
Medicin, jordbruk	?	i övrigt	i övrigt	9%	20%	5%
Övrigt	<10%	17%	10%	7%	15%	10%

Källor: Elkin och Margrave (1954a), Naturvårdsverket (1976), USGS (1985; 1997a), Oldfield (1990), STDA (1992)

[#] Ungefärliga proportioner efter uppgifter i Elkin och Margrave (1954a).

I det följande summeras aktuella användningsområden av Se.

- **Elektronik:** Selen kan omvandla ljus till elektricitet vilket utnyttjas i kopieringsmaskiner och laserskrivare; IR detektorer; solceller; röntgenutrustning; likriktare. Selen som används i kopiatorer och liknande återvinns av t.ex. Toshiba och Xerox.
- **Pigment:** Cd(S,Se) används i plast, keramik, glas och färg, Pigmentet är stabilt och används i produkter som exponeras för exempelvis UV-ljus eller korrosiv miljö. I Sverige är dock pigment innehållande Cd förbjudna.

- Glas: Avfärgar grön missfärgning från Fe; ger rött glas; minskar värmeledning i glas.
- Metallurgi: Selen ökar möjligheten att bearbeta kolstål, rostfritt stål och koppar.
- Jordbruk/Medicin: som tillsats i djurfoder och konstgödsel samt som kosttillsägg.

Svensk användning

Om 1% av den mängd som utvunnits globalt sedan 1910 finns i Sverige motsvarar det alltså 700 ton Se och enligt samma princip är Sveriges nuvarande konsumtion av Se ca 24 ton/år. I Sverige produceras Se i samband med primär Cu framställning. Produktionen har under 1990-talet uppgått till 23-50 ton/år (USGS, 1997a) men var 80 ton år 1970 (Naturvårdsverket, 1976).

Framtida användning

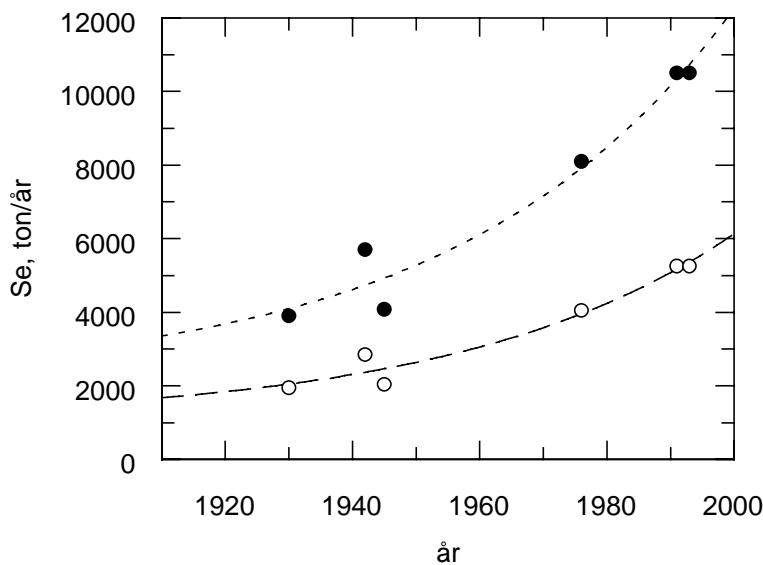
- + Selen ingår i de mest effektiva solceller som hittills konstruerats, med 15% effektivitet: CuInSe_2 och CuInGaSe_2 (Birkmire och Eser, 1997).
- + Nya Pb-fria kopparlegeringar till vattenledningssystem har nyligen utvecklats med Se och Bi som ersättare (STDA, 1995).
- + Preliminära studier tyder på att Se kan vara verksamt mot cancer (STDA, 1997).
- + Nya hybridbatterier, dock tveksamt eftersom de innehåller stora mängder Pb.
- I kopieringsmaskiner och skrivare ersätts Se successivt av organiska ämnen.
- Pigmentkonsumtion minskar troligen i Sverige eftersom pigmenten innehåller Cd.

Produktionen av Se är inte bara beroende av efterfrågan utan även av Cu produktionen. Troligen är dock kapaciteten högre än den nuvarande produktionen. Exempelvis så framställdes selenslam vid kopparproduktion i USA under 1996 men Se raffinerades inte.

Oavsiktlig spridning

Antropogen spridning av Se sker förutom från gruvindustrin framförallt från kolförbränning (Nriagu och Pacyna, 1988). I kol är Se-halten vanligen 1,5-3 mg/kg (Naturvårdsverket, 1976; IEA, 1987). Medelvärdet i USGS databas (USGS, 1997c) över nordamerikansk kol är 1,8 mg/kg. Den globala kolproduktionen redovisas i tabell 3. Detta innebär innebär att det för närvarande årligen sprids 5 000-10 000 ton Se genom

kolförbränning till atmosfär, mark och vatten. Totalt sedan år 1910 kan det uppskattas att 260 000-520 000 ton Se spridits till mark, luft och vatten från förbränning av kol. Dessa mängder är betydligt högre än de avsiktligt framställda mängderna (se ovan)! I olja är Se halterna vanligen lägre eller betydligt lägre än 0,5 mg/kg (t.ex. Filby, 1994; Filby och Olsen, 1994). Globalt så är produktionen av olja i samma storleksordning som av kol och oljeförbränning kommer därför att bidra, men inte vara avgörande, för den antropogena spridningen av Se.



Figur 5. Uppskattning av årligt uttag av Se (ton/år) via kol sedan år 1910. De två dataseten motsvarar en undre och övre uppskattning beroende på halten av Se (1,5 resp. 3 mg/kg).

Naturlig förekomst

Genomsnittlig halt av Se i jordskorpan är 0,05 mg/kg (Cox, 1989). I mark är halterna vanligen högre (0,2-0,7 mg/kg) men stora geografiska variationer förekommer (Fergusson, 1990). Selen förekommer ofta i högre halter i områden med skiffer eller sulfidmalmer. Selen framställs ur kopparmalm och ett ton kopparmalm uppses enligt STDA ge ca 2,2 kg Se.

Tellur

Produktion och konsumtion

Tellur upptäcktes år 1782 och har producerats i kommersiellt syfte åtminstone sedan år 1918 (i USA, i Kanada började Te produceras 1934; Elkin och Margrave, 1954b). Efterfrågan på Te uppges ha ökat under andra världskriget när Te började användas för vulkanisering av gummi (STDA, 1992). Liksom selen, som liknar Te kemiskt, så förekommer inte Te naturligt i sådana anrikningar att enbart Te-innehållet motiverar brytning (Fergusson, 1990). Däremot är många Cu malmer rika på Te och Te utvinns elektrolytiskt vid Cu-framställning. Produktionen av Te styrs därför inte enbart av efterfrågan utan även indirekt av Cu produktionen.

Uppgifter om tellurproduktion i USA och Belgien är ej offentliga varför exakta produktionsvolymen ej kan anges. Ungefärliga värden på den globala nyproduktionen av Te återges i tabell 6. Exakta produktionsmängder före 2:a världskriget saknas men har uppgetts vara mycket blygsamma (SGU, 1995) och uppskattas grovt genom att anta att produktionsvolymen ökat linjärt med tiden (figur 6). Liksom för Se har funktionen valts för att den simulerar givna data väl, och den är inte avsedd att förutspå framtida produktion. Enligt denna approximation kan det beräknas att omkring 11 000 ton Te framställts sedan 1918. USGS (1997a) uppger att viss återvinning av Te sker från elektronik, men att denna sannolikt är blygsam. Gartz och Nylén (1996) uppger dock att Te som används till Cu-legeringar återanvänds. Enligt SGU (1995) skiljer sig global konsumtion och produktion av Te inte nämnvärt. Därför kan man anta att produktionstrenden motsvarar konsumtionstrenden av Te. Den globala konsumtionen av Te ökade under 1996 (USGS, 1997a).

Användningsområden

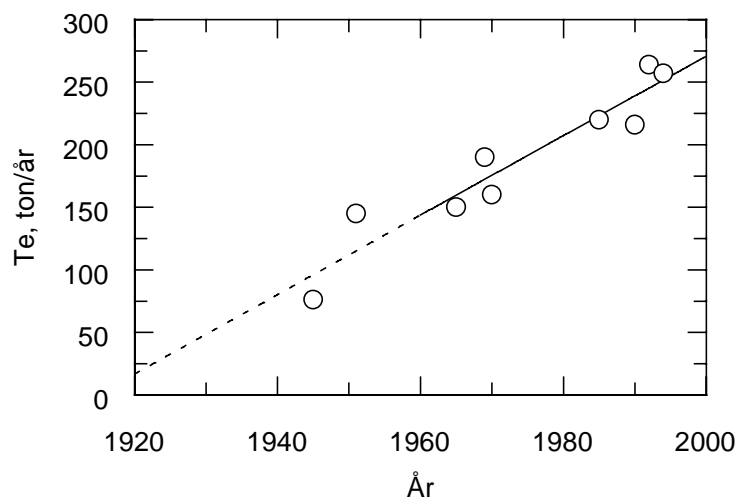
Produktionsmängderna har alltid varit relativt låga och den offentliga statistiken för tellurs användningsområden är knapp. Användningen ökade efter andra världskriget men var mycket blygsam dessförinnan (SGU, 1995). På 1930-talet användes Te framförallt som legeringsmetall till Pb, vilket ledde till ökad styrka och lägre korrosionsbenägenhet hos legeringen (USGS, 1935). Det uppges att Te framförallt användes inom gummiindustrin i USA under 1950-talet, men att även stål- och metallindustrin konsumerade Te (Elkin och Margrave, 1954b). Under 1990-talet är förhållandet det omvända (tabell 7). Under 1970-talet började Te att användas inom elektroniken, framförallt till kopieringsmaskiner och IR-detektorer. Tellur ingår även i en av de mest effektiva solcellerna, CdTe (Birkmire och Eser, 1997).

Tabell 6. Global nyproduktion av Te.

Årtal	Nyprod. ton/år	Referens
1945	76 ^{\$}	Elkin och Margrave 1954b
1951	145 ^{\$}	Elkin och Margrave 1954b
1965	150	Naturvårdsverket 1976
1969	190	Naturvårdsverket 1976
1970	160 [#]	Naturvårdsverket 1976
1981	>100	USGS 1985
1985	220	Fergusson, 1990
1990	216	SGU 1995
1992	264	SGU 1995
1994	257	SGU 1995
1996	>200	USGS 1996a

^{\$} uppskattat som dubbla USAs produktion

[#] ej komplett, utesluter USSR, BRD, Australien och Belgien.



Figur 6. Global nyproduktion av tellur sedan 1945. Den streckade delen av linjen återspeglar stor osäkerhet i data före 1960, men fortfarande offentliggör inte alla producenter värden på nyproduktion av Te.

Tabell 7. Huvudsakliga användningsområden av Te.

Användningsområde	USA 1985 (USGS, 1985)	USA, 1995/1996 (USGS 1996a)	Globalt, 1992 (STDA, 1992)
Järn och stål	60%	50%	75% (inkl. övr. met.)
Övrig metallurgi (Cu, Pb)	25%	10%	
Kemikalier, huvudsakligen till gummi	10%	25%	15%
Elektronik	5%	10%	8%
Övrigt		5%	2%

I det följande summeras aktuella användningsområden av Te baserat på ett flertal källor.

- Metallurgi: Det viktigaste användningsområdet är till automatstål. Tellur ökar skärbarheten hos koppar och bly samt används till gjutjärn och smidesjärn. För Sverige uppges att Te i denna sektor framförallt används till Cu och att denna Te har ett "obrutet kretslopp" (Gartz och Nylén, 1996).
- Kemikalier: Accelererar vulkanisering av gummi; ingår i katalysatorer för halogenering, oxidation av organiskt material samt för tillverkning av syntetfibrer.
- Elektronik: Legerad med Se i fotoreceptorer för kopieringsmaskiner; i IR-detektorer som $Cd_xHg_{1-x}Te$; som CdTe i solceller; som BiTe för elektrisk kylning
- Övrigt: t.ex. i pigment för glas och keramik.

Svensk användning

Om 1% av den Te som producerats sedan år 1918 ackumulerats i Sverige motsvarar det alltså 100 ton Te. Den årliga konsumtionen är enligt samma resonemang ca 2,5 ton/år för närvarande. Ren tellur framställs inte i Sverige men koppartellurit som bildas vid produktion av Cu exporteras.

Framtida användning

Tellur ingår i CdTe vilken är ett av de mest effektiva solcellsmaterialen som utvecklats. Förutom till solceller ser USGS ingen speciell anledning till ökad konsumtion av Te. Tellur har också börjat ersätta Cd som legeringsmetall till vissa kopparkablar samtidigt som Te till gummiproduktion långsamt minskat (STDA, 1992).

Oavsiktlig spridning

För många metaller orsakas antropogen spridning förutom från gruvindustrin framförallt från kolförbränning (Nriagu och Pacyna, 1988). Detta kan dock inte med säkerhet fastställas för Te eftersom bestämningar av Te i kol är fåtaliga och inte anses vara av god kvalitet (USGS, 1997c) Tellurhalten i kol har uppgivits variera från <0,1 till 0,4 mg/kg (Fergusson, 1990) men kvaliteten på dessa analyser är inte redovisade. Med kol omsätts därför sannolikt mindre än 1 400 ton Te per år globalt.

Naturlig förekomst

Tellur förekommer i mycket låga halter i jordskorpan och som genomsnittlig halt anges ofta 1-5 µg/kg (Cox, 1989; Fergusson, 1990). Tellur förekommer anrikat i fyndigheter av Au, Ag, Cu, Pb och Bi. Liksom Se framställs Te elektrolytiskt vid Cu produktion. STDA anger att ett ton kopparmalm ger ca 0,9 kg Te. Avsevärda mängder Te finns i ekonomiskt brytvärda Au och Pb fyndigheter men Te utvinns inte ur dessa (USGS, 1996a).

Indium

Produktion och konsumtion

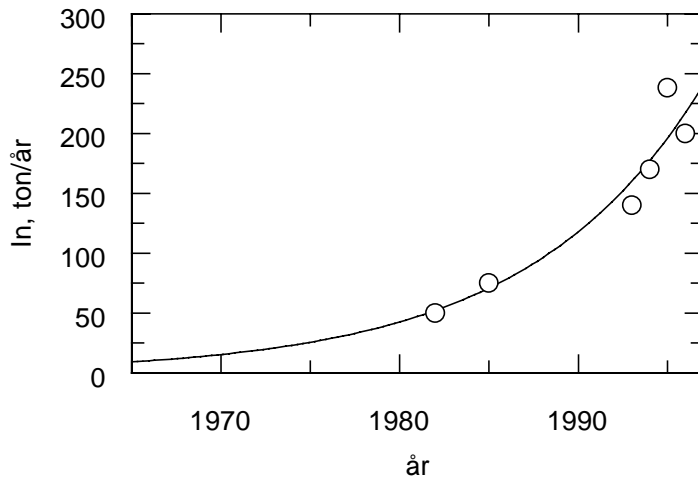
Indium upptäcktes år 1863. Det är dock svårt att finna uppgifter om dess produktion före 1980. I en skrift från 1976 (Naturvårdsverket, 1976) uppges att globalt sammanställda produktionsresultat saknas p.g.a. kraftigt varierande produktion. Indium användes kommersiellt på 1940-talet (Smith, 1951) men kvantiteterna är okända. Indium utvinns som en biprodukt vid Zn framställning men har tidigare även utvunnits vid framställning av Pb (Smith, 1951).

Konsumtionen av In har ökat oerhört snabbt under 1980- och 1990-talet. Mellan 1982 och 1995 ökade konsumtionen/produktionen nästan 500%! Denna ökning kan till stor del tillskrivas applikationer av s.k. ITO (indium-tennoxid). Under 1996 så började In återvinnas, delvis från produkter men framförallt från s.k. produktionsskrot som bildas vid tillverkning av t.ex. ITO-produkter (USGS, 1996b). Eftersom nyproduktionen av In ökat dramatiskt under senare år kan den totalt utvunna mängden In under 1900-talet uppskattas enbart med data från tabell 8 (se figur 7). Den totalt utvunna mängden In under 1900-talet uppskattas till 3 000 ton. Med den exponentiella funktion som beskriver nyproduktionen (figur 7) kan det beräknas att den ackumulerade mängden In i teknosfären fördubblas på 7 år.

Tabell 8. Global nyproduktion och konsumtion av indium. Av författaren beräknade eller uppskattade värden anges kursivt. Eftersom återcirkulering av In blev betydelsefull först 1996 så bör konsumtionen (bortsett från smärre förändringar i lagerstorlek) motsvara nyproduktionen.

Årtal	nyproduktion ton/år	konsumtion ton/år	Referens
1982	50	<i>≈50</i>	Nordberg 1993
1985	75	<i>≈75</i>	Fergusson 1990
1993	140	<i>≈140</i>	USGS 1994
1994	170	<i>≈170</i>	USGS 1996a
1995	238	<i>≈238</i>	USGS 1996a
1996	200	#	USGS 1997a

År 1996 ökade återvinningen av In kraftigt och konsumtionen av In uppges vara högre 1996 än 1995 (USGS, 1996a).



Figur 7. Årlig nyproduktion av In. Minskningen år 1996 beror på produktion av sekundärt In.

Användningsområden

Indium användes i USA på 1940-talet framförallt som korrosionskydd i tunna ytskikt ($\approx 2 \mu\text{m}$) på Cd och Pb legeringar, t.ex. inom flygindustrin (Smith, 1951). Andra applikationer vid denna tid var tandvård (amalgam) och som legeringsmetall till lödning. Indium kan legeras med ett flertal metaller och ger då en hårdare produkt (Naturvårdsverket, 1976) med lägre smältpunkt.

Tabell 9. In konsumtionen fördelad på de primära användningsområdena.

Användningsområde	"västvärlden" 1965	USA 1995/96
ytskikt på glas och LCD displayer	<10%	45%
legeringar och lödmetall	45%	35%
övrig elektronik	45%	15%
övrigt		5%

Källor: Naturvårdsverket (1976); USGS (1997a)

Nedan redovisas användningsområden av In.

- Ytskikt på glas och LCD: Detta är det mest expansiva området och inkluderar In-Sn-oxider (ITO) vilket 1994 stod för 56% (=45 ton!) av Japans totala konsumtion av In och 41% av världskonsumtionen. Det finns två typer av ytskikt (1) elektriskt ledande och (2) IR-reflekterande. Det första används till LCD på t.ex. platta skärmar till TV-apparater, klockor, m.m. De används även till vindrutor på flygplan och tåg för att förhindra immbildning. Den andra typen används på glasrutor i t.ex. byggnader för att minska värmeutbyte med omgivningen. Indium i ytskikt kan sedan år 1996 återvinnas (USGS, 1996b). I Sverige förefaller ingen sekundär produktion av In ske ännu. Det In som kommer från bildrör deponeras hos SAKAB (Stena Technoworld, 1997).
- Legeringar och lödmetall: In tillsätts olika blandningar av Bi, Cd, Pb och Sn för att skapa legeringar med låg smältpunkt. Dessa används i t.ex. elektriska säkringar; Indium kan också ersätta Pb i legeringar med Sn för lödningsändamål.
- Övrig elektronik: In ersätter Hg i alkaliska batterier. InP används som lysdiod.
- Övrigt: Styrstavar till kärnkraftverk. Tandvård. Korrosionsskydd av stål inom exempelvis bilindustrin.

Svensk användning

Om 1% av det In som producerats sedan år 1930 ackumulerats i Sverige motsvarar det alltså 30 ton In. Den årliga konsumtionen är enligt samma resonemang 2-2,5 ton/år för närvarande.

Framtida användning

Indium kan komma att ersätta bly i lödningslegeringar för elektronik. USGS (1996a) spår att konsumtionen av In kommer att öka i nästa decennium, framförallt inom elektronikområdet. Det har nyligen utvecklats en laserdiod med sammansättningen GaInAsP som tål högre temperaturer än de konventionella. Indium ingår även i den mycket effektiva solcellen CuInSe₂ (Birkmire och Eser, 1997). Övriga användningsområden förutspås stabila. Ökad återvinning kan ha en gynnsam effekt på priset och därmed leda till ökad konsumtion.

Oavsiktlig spridning

Det finns endast få studier av In i kol. USGS anser inte att data på In i deras databas (USGS, 1997c) över kol är tillförlitliga. Klein et al. (1975) rapporterar stenkol innehållande 0,07-0,2 mg In per kg, men lägre halter har också uppgivits (0,01-0,03 mg/kg; Naturvårdsverket, 1976). Om dessa bestämningar är korrekta skulle för närvarande 36-700 ton In spridas globalt per år via kolförbränning.

Naturlig förekomst

Indiums naturliga förekomst i jordskorpan är låg, troligen runt 50 µg/kg (Cox, 1989). Anrikningar förekommer framförallt i ZnS malmer.

Gallium

Produktion och konsumtion

Gallium upptäcktes 1875 och innan 1950-1960 användes Ga framförallt för två egenskaper: Ga är flytande i intervallet 30-2 400°C och Ga expanderar vid frysning (Foster, 1951). Gallium förekommer inte i så höga koncentrationer i malm att enbart Ga-innehållet motiverar brytning. Den största mängden Ga utvinns som en biprodukt vid framställning av Al från bauxit och resterande Ga kommer från Zn produktion.

Liksom för In saknas uppgifter om den globala produktionen, bl.a. eftersom dessa uppgifter inte offentliggörs av alla producenter (USGS, 1996a). Under 1930- och 1940-talen förefaller produktionen varit mycket låg, ca 50-100 kg/år (Foster, 1951). Konsumtionen ökade mycket snabbt först i slutet av 1960-talet och sedan i början av 1980-talet (Eriksson, 1991). År 1996 uppskattades produktionen till ca 60 ton/år (USGS, 1996a). Om det antas att produktionen av Ga ökat linjärt från slutet av 1950-talet fram till 1997, och att produktion innan dess är försumbar, torde ca 1200 ton producerats.

Regenerering av Ga från skrot bildat vid produktion av GaAs utgör numera en betydande del av världsmarknaden men åtminstone i USA så har det inte återvunnits Ga från produkter ännu (USGS, 1996a). I Japan byggdes dock en anläggning för återvinning av Ga, Ta och Ge ur kasserade halvledare under 1996 (USGS, 1996a).

Användningsområden

I USA används ca 99% av all Ga inom elektroniken, framförallt som GaAs.

Tabell 10. Konsumtionen av Ga fördelad på de primära användningsområdena. De olika områdena beskrivs mer utförligt nedan.

Användningsområde	USA 1996 [§] (USGS, 1997a)
Optoelektronik	59%
Integrerade kretsar	40%
Övrigt	1%

§ Exklusive forskning vid universitet och myndigheter.

- Optoelektronik: Till 90% laser- och lysdioder och resten solceller, huvudsakligen i form av GaAs. Det är en lika effektiv solcell som CdTe.
- Integrerade kretsar: huvudsakligen i form av GaAs.
- Övrigt: bildar tillsammans med In legeringar som har låg smälttemperatur

Utveckling pågår av GaN till blå lysdioder och laserdioder. Dessa dioder kan bl.a. komma att användas i digitala videospelare och CD spelare och kan öka informationstätheten fyrfaldigt.

Svensk användning

Som framgår ovan är underlaget för att uppskatta den totala mängd Ga som medvetet producerats magert. Om 1% av den mängd som producerats finns i Sverige så är detta drygt 10 ton enligt ovanstående.

Framtida användning

Det har nyligen utvecklats en laserdiod med sammansättningen GaInAsP som tål högre temperaturer än de konventionella (USGS, 1996a). Gallium kan också användas till solceller genom att legeras med CuInSe₂ (Birkmire och Eser, 1997). I USA anses efterfrågan på Ga öka, framförallt inom telekommunikationsbranschen. Ny teknik har sänkt tillverkningskostnaderna för GaAs. Eventuellt ökande efterfrågan på Ga kan mötas av ökad produktion eftersom kapaciteten för primär produktion av Ga är ca 145 ton/år.

Oavsiktlig spridning

I stenkol har Galliumhalter mellan 1 och 35 mg/kg rapporterats (Klein et al., 1975; Naturvårdsverket, 1976; IEA, 1987). Om 5 mg/kg antas som medelvärde (USGS, 1997c) sprids det idag årligen ca 17 000 ton Ga via kolförbränning. Detta är uppenbarligen flera hundra gånger mer än vad som avsiktligt används. Faktum är att utvinning av Ga från flygaska studeras men det är oklart om detta redan nu är en källa till kommersiellt Ga.

Naturlig förekomst

I jordskorpan förekommer Ga med en genomsnittlig halt om 15-20 mg/kg (Cox, 1989; Chester, 1990), dvs ca 300 gånger högre än In. Mediankoncentrationen av Ga i svensk mark är, enligt SGU, 15 mg/kg.

Palladium

Produktion och konsumtion

Palladium upptäcktes 1803 och snart herefter utvanns Pd ur Brasilianska gruvor (Wise, 1953). En av de första viktiga tillämpningarna för Pd var till telefoner. Vanligen så utvinns Pd som en biprodukt vid brytning och framställning av Ni eller Cu (USGS, 1970; Wolfe, 1984; USGS, 1996a). Endast vid två gruvor i världen bryts platinagruppens metaller (PGM) som huvudprodukt. Sekundär produktion genom återvinning av uttjänta produkter är en viktig källa för Pd. I USA motsvarade sekundärt Pd redan på 1940-talet ca 15% av konsumtionen. Under 1996 producerades exempelvis omkring 30 ton sekundärt Pd i USA och 2 ton i Sverige. Såväl nyproduktion som konsumtion av Pd har ökat mångfaldigt de senaste 50 åren (tabell 11). Om det antas att nyproduktionen ökat exponentiellt med tiden (figur 8) kan det beräknas att det totalt har utvunnits ca 3 500 ton Pd under 1900-talet (figur 9). Denna approximation ger också att mängden Pd som ackumulerat i teknosfären fördubblas på 20 år.

Tabell 11. Global nyproduktion och konsumtion av Pd. Av författaren beräknade eller uppskattade värden anges kursivt. Tomma rutor innebär att data saknas.

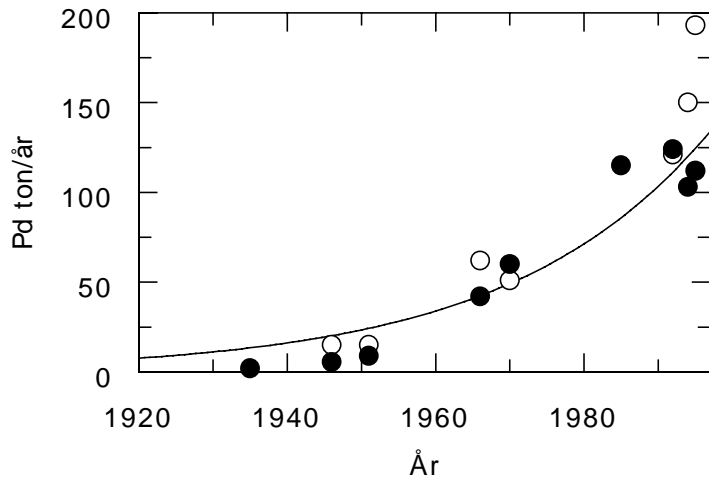
Årtal	nyproduktion ton/år	konsumtion ton/år	Referens
1935	2		USGS, 1935
1946	5,5 [‡]	15 [#]	Wise 1953
1951	9 [‡]	15 [#]	Wise 1953
1966	42 [§]	62 [#]	USGS, 1970
1970	60 [§]	51 [#]	USGS, 1970
1985	115		USGS, 1985
1992	124	121	USGS, 1996a; SGU, 1996
1994	103	150	USGS, 1996a; SGU, 1996
1995	112 [§]	190; 197	USGS, 1996a; SGU, 1996; Johnson Matthey, 1996

[‡]Endast rapporterat som Pt och övriga PGM. Det antas att Pd utgör den helt dominerande delen av övriga PGM.

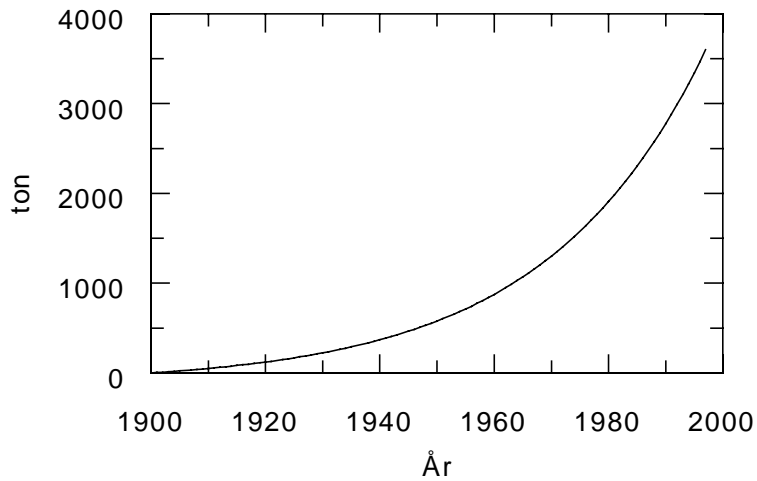
[#] Konsumtion uppskattas från USAs konsumtion, vilken antas utgöra omkring 45% av den globala konsumtionen. Detta förhållande gäller för 1992-1995.

[§] Beräknat utifrån antagandet att Pd utgjorde 45% av den totala produktionen av PGM.

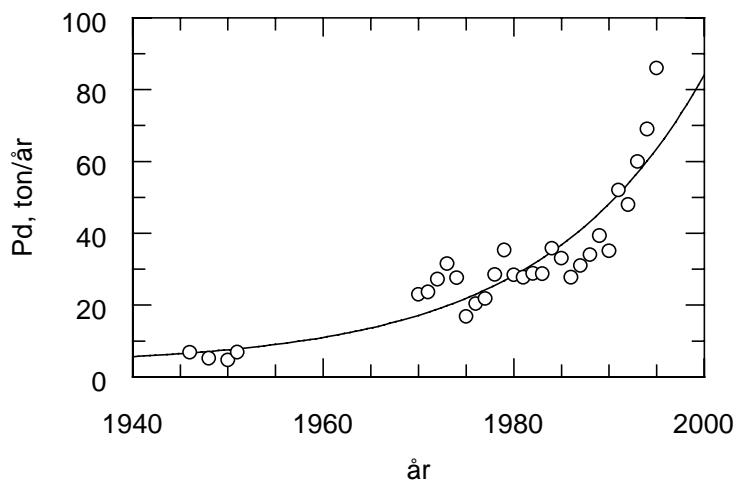
§ USGS (1997a) uppskattar en sekundär prod. i USA om ca 60 ton PGM år 1995, vilket kan motsvara ca 30 ton Pd. Globalt kan återcirkuleringen då vara ca 60-90 ton/år vilket skulle stämma väl med skillnaden mellan nyproduktion och konsumtion.



Figur 8. Global produktion (●) och konsumtion (○) av Pd. Konsumtionsvärdena är relativt osäkra (se tabell 11). Linjen är en generalisering av produktionens tidsutveckling.



Figur 9. Den successiva globala uppbyggnaden av Pd i teknosfären under förutsättning att all metall som nyproducerats har ackumulerat i teknosfären. Mängden Pd fördubblas på 20 år.



Figur 10. Konsumtion av palladium sedan 1946 i USA. USAs konsumtion var ca 45% av den globala konsumtionen under 1992-95. Linjen är en generalisering av konsumtionens tidsutveckling.

Användningsområden

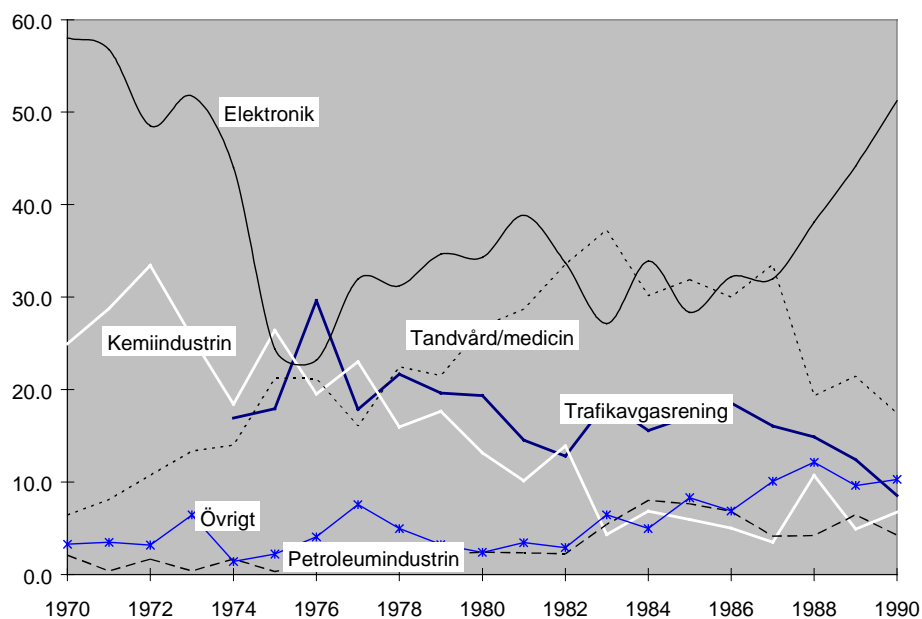
Palladium används till stor del på grund av dess katalytiska och kemiskt inerta egenskaper. I tabell 12 redovisas Pd konsumtionen fördelad på de huvudsakliga användningsområdena och figur 11 illustrerar hur konsumtionsmönstret kan variera från år till år.

Tabell 12. Den relativa fördelningen av de huvudsakliga användningsområdena av Pd i USA, Japan och Västvärlden under 1946-1995.

	Elektronik	Katal. avgasrenare	Tandvård, medicin	Kemi-industrin	Övrigt [#]
USA 1934	15%	----	63%	1%	21%
USA 1946	42%	----	19%	7%	32%
USA 1951	52%	----	14%	17%	17%
USA 1972	49%	----	11%	33%	7%
USA 1985	28%	17%	32%	6%	17%
Japan 1985	37%	8%	16%	31%	8%
USA 1990	51%	8%	18%	7%	16%
Väst 1992	47%	12,5%	31%	#	9,5%
Väst 1995	43,5%	28,5%	21%	#	7%

Källor: Wise (1953), USGS (1935, 1985 och 1997a), SGU (1996)

[#]Övrigt är framförallt smycken; i SGUs uppgifter ingår även kemiindustrin i övrigt.



Figur 11. Den relativa fördelningen av Pd i olika konsumtionsgrupper i USA under perioden 1970-1990 (efter USGS, 1997a). Efter 1991 ökar den globala konsumtionen av Pd markant, framförallt pga ökande användning i katalytiska avgasrenare (tabell 12).

I det följande summeras aktuella användningsområden av Pd baserat på ett flertal källor. Palladium återvinns från samtliga applikationer, åtminstone i USA. I Sverige återvinns Pd från elektronik vid Rönnskärverken. Bilkatalysatormarknaden är ännu för ung i Sverige för att betydande kvantiteter ska kunna återvinnas men återvinningsteknik är redan utvecklad och ett företag är etablerat som påbörjat insamling och återvinning.

- Elektronik: kontakter i t.ex. telefoner. Ökad produktion av mobiltelefoner och persondatorer har nyligen lett till ökad efterfrågan på Pd i denna sektor.
- Katalytiska avgasrenare: Palladium börjar successivt att ersätta Pt i katalysatorer för avgasrening. Palladium används här tillsammans med Rh och Pt.
- Tandvård, medicin: kronor och bryggor till tänder.
- Kemiindustrin: katalysator för organiska reaktioner; rening av H_2 ; framställning av petroleumprodukter.
- Övrigt: framförallt smycken.

Svensk användning

Om 1% av den under 1900-talet utvunna mängden Pd finns i Sverige motsvarar det alltså 30-40 ton. Enligt samma antagande är den årliga konsumtionen i Sverige för närvarande ca 2 ton/år.

Framtida användning

Behovet av Pd-katalysatorer för avgasrening kommer sannolikt att öka i och med att fler länder inför krav på katalytisk avgasrening. Om elektroniksektorn fortsätter att expandera så kommer sannolikt även efterfrågan av Pd till denna sektor att öka.

Oavsiktlig spridning

Tillförlitliga data på Pd i kol eller olja har ej återfunnits.

Naturlig förekomst

I jordskorpan är den genomsnittliga halten av Pd ca 1 µg/kg (Cox, 1989). Medianhalten i svensk mark är 0,4 µg/kg (SGU). Palladium förekommer ofta anrikat tillsammans med Ni.

Slutsatser

Både nyproduktion och konsumtion av samtliga studerade metaller har ökat flerfaldigt under 1900-talet. För Sb, Se och Pd har nyproduktionen under 1900-talet fördubblats ungefär vart 20-25:e år. Nyproduktionen av In har under de senaste 15 åren fördubblats ungefär vart sjunde år. Av de studerade metallerna är det bara Sb och i viss mån Pd som bryts som huvudprodukt. Produktionskapaciteten av Ga är dock 2-3 gånger högre än dess nuvarande nyproduktion. En ökande konsumtion av Se, Te och In kan eventuellt begränsas av nyproduktion och efterfrågan av Cu och Zn.

Elektronikbranschens expansion är den viktigaste orsaken till den ökade konsumtionen av In och Ga. Konsumtionen av Sb förskjuts successivt från Pb-Sb legeringar till flamskyddsmedel, vilket minskar möjligheten till återvinning. Palladiumkonsumtionen påverkas av elektronikbranschens expansion men de senaste åren har Pd även börjat få betydelse för katalytiska avgasrenare. Inom båda dessa områden återvinns Pd. För selen har fördelningen mellan olika användningsområden varit relativt konstant under de senaste 40 åren.

Framtida efterfrågan kommer sannolikt öka för In och Pd, emedan det för de andra ämnena finns faktorer som talar både för ökad och för minskad efterfrågan.

Den oavsiktliga spridningen av dessa metaller är troligen dominerad av kolförbränning. Ur ett globalt perspektiv så överstiger den oavsiktliga spridningen den avsiktliga nyproduktionen för Se och Ga. Eventuellt gäller detta även för Te och In. I Sverige är det bara för Ga som den oavsiktliga spridningen med säkerhet överstiger den avsiktliga.

Den snabba ökningen av nyproduktion som observerats för dessa metaller under de senaste årtiondet behöver inte nödvändigtvis återspegla Sveriges konsumtion av dessa metaller eftersom en industriell expansion samtidigt skett i sydostasien och Kina.

Referenser

- Birkmire, R.W. och Eser E. (1997) Polycrystalline thin film solar cells: present status and future potential. *Annual Rev. Mater. Sci.* **27**, pp. 625-653.
- Chester, R. (1990) *Marine Geochemistry*. Unwin Hyman, London.
- Cox, P.A. (1989) *The Elements*. Oxford Science Publications.
- Elkin, E.M. och Margrave, J.L. (1954a) Selenium and Selenium compounds. *i Encyclopedia of Chemical Technology* (red. Kirk R.E. och Othmer D.F.).
- Elkin, E.M. och Margrave, J.L. (1954b) Tellurium and Tellurium compounds. *i Encyclopedia of Chemical Technology* (red. Kirk R.E. och Othmer D.F.).
- Eriksson, E. (1991) Flödesanalys av metaller. *Kemikalieinspektionen* 8/91.
- Fergusson, J.E. (1982) *Inorganic chemistry and the Earth*. Pergamon Press.
- Fergusson, J.E. (1990) *The heavy elements: chemistry, environmental impact and health effects*. Pergamon Press.
- Filby, R.H. (1994) Origin and nature of trace element species in crude oils, bitumens and kerogens: implications for correlation and other geochemical studies. *i Geofluids: origin, migration and evolution of fluids in sedimentary basins*. (red. Parnell J.) *Geol. Soc. Spec. Publ.* 78, pp. 203-219.
- Filby, R.H. och Olsen, S.D. (1994) A comparison of INAA and ICP-MS for trace element determination in petroleum geochemistry. *J. Radioanal. Nucl. Chem.* **180**, pp. 285-294.
- Foster, L.M. (1951) Gallium. *i Encyclopedia of Chemical Technology* (red. Kirk R.E. och Othmer D.F.).
- Gartz, R. och Nylén, M. (1996) *Miljöaspekter vid produktion, användning och recirkulering av metaller*. Institutet för Metallforskning, för Kretsloppsdelegationen.
- Gonser, B.W. och Smith, E.M. (1948) Antimony and antimony alloys. *i Encyclopedia of Chemical Technology* (red. Kirk R.E. och Othmer D.F.).

- Hedemalm, P., Carlsson, P. och Palm, V. (1995) A survey of the contents of materials and hazardous substances in electric and electronic products. Nordiska Ministerrådet, TemaNord 554.
- IEA (1987) Trace elements from coal combustion: emissions. IEACR01.
- Johnson Matthey (1996) Annual Report.
- Klein, D.H. m.fl. (1975) Pathways of thirty-seven trace elements through coal-fired power plant. *Envir. Sci. Technol.* **9**, pp. 973-979.
- Naturvårdsverket (1976) Om Metaller.
- Nordberg, G. (1993) Gallium, germanium och indium - en toxikologisk genomgång. Kemikalieinspektionen 9/93.
- Nriagu, J.O. och Pacyna, J.M. (1988) Quantitative assessment of worldwide contamination of air, water and soils by trace metals. *Nature* **333**, pp. 134-139.
- Oldfield, J.E. (1990) Selenium- its uses in agriculture, nutrition and health, environment. Selenium-Tellurium Development Association Inc. Belgium.
- Oliveira-Neto, M.P., Schubach, A., Mattos, M., Goncalves-Costa, S.C. och Pirmez, C. (1997) A low-dose antimony treatment in 159 patients with American cutaneous leishmaniasis: extensive follow-up studies. *Am. J. Trop. Med. Hyg.* **57**, pp. 651-655.
- Palm, V. (1995) Metallflöden från teknofär till biosfär, en metodstudie. IVL-rapport B1208.
- Rose, H.J. (1949) Coal. *i Encyclopedia of Chemical Technology* (red. Kirk R.E. och Othmer D.F.).
- SCB (1989) Statistisk årsbok 1989. Statistiska Centralbyrån
- SCB (1993) Statistisk årsbok 1993. Statistiska Centralbyrån
- SCB (1997) Statistisk årsbok 1997. Statistiska Centralbyrån.
- Schmitz, C.J. (1979) World non-ferrous metal production and prices 1700-1976. Frank Cass, London.
- SFS (1995) Miljömärkning av persondatorer. Finlands standardiseringsförbund.
- SGU (1995) Mineralmarknaden: selen och tellur. SGU PM 1995:6.

- SGU (1996) Mineralmarknaden, Diamanter del II. SGU PM 1996:4.
- Smith, A.A. Jr (1951) Indium. *i* Encyclopedia of Chemical Technology (red. Kirk R.E. och Othmer D.F.).
- STDA (1992) The bulletin of STDA. September 1992.
- STDA (1995) The bulletin of STDA. September 1995.
- STDA (1997) The bulletin of STDA. February 1997.
- STDA, Selenium-Tellurium Development Association Inc. Belgium.
- Stena Technoworld AB (1996) The Recycler, augusti 1996.
- Stena Technoworld AB (1997) Teknik för återvinning av glas från bildrör i uttjänt elektronikutrustning.
- USGS (1935, 1970, 1985, 1994, 1996a)ⁱ Minerals Yearbook. U.S. Geological Survey. Washington, D.C.
- USGS (1996b) Recycling - Metals. U.S. Geological Survey, Washington, D.C.
- USGS (1997a) Mineral Commodity Summaries. U.S. Geological Survey. Washington, D.C.
- USGS (1997b) Mineral Industry Surveys: Antimony in the second quarter 1997. U.S. Geological Survey. Washington, D.C.
- USGS (1997c) US Coal Quality Database. U.S. Geological Survey open file report 97-134. Washington, D.C.
- Wise, E.M. (1953) Platinum Group Metals. *i* Encyclopedia of Chemical Technology (red. Kirk R.E. och Othmer D.F.).
- Wolfe, J.A. (1984) Mineral Resources, a world review. Chapman and Hall, NY.
- Världsbanken (1995) Monitoring Environmental Progress. The World Bank, Washington D.C..

ⁱ Minerals Yearbook publicerades tidigare av U.S. Bureau of Mines, Washington D.C.

IVL Svenska Miljöinstitutet AB

IVL är ett oberoende och fristående forskningsinstitut som ägs av staten och näringslivet. Vi erbjuder en helhetssyn, objektivitet och tvärvetenskap för sammansatta miljöfrågor och är en trovärdig partner i miljöarbetet.

IVLs mål är att ta fram vetenskapligt baserade beslutsunderlag åt näringsliv och myndigheter i deras arbete för ett bärkraftigt samhälle.

IVLs affärsidé är att genom forskning och uppdrag snabbt förse samhället med ny kunskap i arbetet för en bättre miljö.

Forsknings- och utvecklingsprojekt publiceras i

IVL Rapport: IVLs publikationsserie (B-serie).

IVL Nyheter: Nyheter om pågående projekt på den nationella och internationella marknaden.

IVL Fakta: Referat av forskningsrapporter och projekt.

IVLs hemsida: www.ivl.se

Forskning och utveckling som publiceras utanför IVLs publikationsserie registreras i IVLs A-serie.

Resultat redovisas även vid seminarier, föreläsningar och konferenser.



IVL Svenska Miljöinstitutet AB

Box 210 60, SE-100 31 Stockholm
Hälsingegatan 43, Stockholm
Tel: +46 8 598 563 00
Fax: +46 8 598 563 90

IVL Swedish Environmental Research Institute Ltd

Box 470 86, SE-402 58 Göteborg
Dagjämningsgatan 1, Göteborg
Tel: +46 31 725 62 00
Fax: +46 31 725 62 90

Aneboda, SE-360 30 Lammhult
Aneboda, Lammhult
Tel: +46 472 26 20 75
Fax: +46 472 26 20 04