

Platingruppe- metaller

										<table><tr><td>1</td><td>H</td><td colspan="16"></td><td>2</td><td>He</td></tr><tr><td>3</td><td>Li</td><td>4</td><td>Be</td><td colspan="16"></td><td>10</td><td>Ne</td></tr><tr><td>5</td><td>B</td><td>6</td><td>C</td><td>7</td><td>N</td><td>8</td><td>O</td><td>9</td><td>F</td><td>11</td><td>Na</td><td>12</td><td>Mg</td><td colspan="8"></td><td>18</td><td>Ar</td></tr><tr><td>13</td><td>Al</td><td>14</td><td>Si</td><td>15</td><td>P</td><td>16</td><td>S</td><td>17</td><td>Cl</td><td>19</td><td>K</td><td>20</td><td>Ca</td><td>21</td><td>Sc</td><td>22</td><td>Ti</td><td>23</td><td>V</td><td>24</td><td>Cr</td><td>25</td><td>Mn</td><td>26</td><td>Fe</td><td>27</td><td>Co</td><td>28</td><td>Ni</td><td>29</td><td>Cu</td><td>30</td><td>Zn</td><td>31</td><td>Ga</td><td>32</td><td>Ge</td><td>33</td><td>As</td><td>34</td><td>Se</td><td>35</td><td>Br</td><td>36</td><td>Kr</td></tr><tr><td>37</td><td>Rb</td><td>38</td><td>Sr</td><td>39</td><td>Y</td><td>40</td><td>Zr</td><td>41</td><td>Nb</td><td>42</td><td>Mo</td><td>43</td><td>Tc</td><td>44</td><td>Ru</td><td>45</td><td>Rh</td><td>46</td><td>Pd</td><td>47</td><td>Ag</td><td>48</td><td>Cd</td><td>49</td><td>In</td><td>50</td><td>Sn</td><td>51</td><td>Sb</td><td>52</td><td>Te</td><td>53</td><td>I</td><td>54</td><td>Xe</td></tr><tr><td>55</td><td>Cs</td><td>56</td><td>Ba</td><td>57</td><td>La</td><td>58</td><td>Ce</td><td>59</td><td>Pr</td><td>60</td><td>Nd</td><td>61</td><td>Pm</td><td>62</td><td>Sm</td><td>63</td><td>Eu</td><td>64</td><td>Gd</td><td>65</td><td>Tb</td><td>66</td><td>Dy</td><td>67</td><td>Ho</td><td>68</td><td>Er</td><td>69</td><td>Tm</td><td>70</td><td>Yb</td><td>71</td><td>Lu</td></tr><tr><td>87</td><td>Fr</td><td>88</td><td>Ra</td><td>89</td><td>Ac</td><td>90</td><td>Th</td><td>91</td><td>Pa</td><td>92</td><td>U</td><td>93</td><td>Np</td><td>94</td><td>Pu</td><td>95</td><td>Am</td><td>96</td><td>Cm</td><td>97</td><td>Bk</td><td>98</td><td>Cf</td><td>99</td><td>Es</td><td>100</td><td>Fm</td><td>101</td><td>Md</td><td>102</td><td>No</td><td>103</td><td>Lr</td></tr></table>																1	H																	2	He	3	Li	4	Be																	10	Ne	5	B	6	C	7	N	8	O	9	F	11	Na	12	Mg									18	Ar	13	Al	14	Si	15	P	16	S	17	Cl	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	57	La	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	87	Fr	88	Ra	89	Ac	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
1	H																	2	He																																																																																																																																																																																																																														
3	Li	4	Be																	10	Ne																																																																																																																																																																																																																												
5	B	6	C	7	N	8	O	9	F	11	Na	12	Mg									18	Ar																																																																																																																																																																																																																										
13	Al	14	Si	15	P	16	S	17	Cl	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	57	La	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																																																																																																																																																																																																																
87	Fr	88	Ra	89	Ac	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																																																																																																																																																																																																																
44	Ru	45	Rh	46	Pd	76	Os	77	Ir	78	Pt																																																																																																																																																																																																																																						
101,07	102,91	106,42	190,23	192,22	195,08																																																																																																																																																																																																																																												

Platingrubbens metaller, også kendt som platinmetaller, eller blot PGE, fra engelsk Platinium Group Elements, omfatter de seks grundstoffer platin (Pt), palladium (Pd), rhodium (Rh), ruthenium (Ru), iridium (Ir) og osmium (Os). Disse metaller ligner hinanden med hensyn til kemiske og fysiske egenskaber, blandt andet højt smeltepunkt, høj massefylde og evnen til katalytisk aktivitet (dvs. de øger en kemisk reaktions hastighed, uden at de selv forbruges), og de anvendes i en vis udstrækning til de samme formål. PGE har været kendt i Mellemaamerika, allerede inden Columbus ankom (1492). Navnet platina er spansk for 'lille sølv', da platin til dels ligner sølv, selvom det dengang var mindre værd. Dette har ændret sig: PGE's unikke egenskaber og geologiske sjældenhed betyder, at de hører til nogle af verdens mest værdifulde metaller med stor industriel betydning. Udover til smykker (platin) anvendes PGE bl.a. til katalysatorer transportindustrien. Da produktionen ligger hos få, store producenter, anser EU disse metaller som kritiske. Udover Sydafrika, er Rusland, Canada og USA væsentlige producentlande.

Nøgletal (2014)

Priser:	145-245 kr./g
Årlig produktion:	422 ton
Opmålte reserver:	66.000 ton (~160 års forbrug)
Estimerede ressourcer:	100.000 ton (~240 års forbrug)
Genbrug:	ca. 25 % (for Pt, Pd og Rh)
Forsyningssikkerhed:	LAV

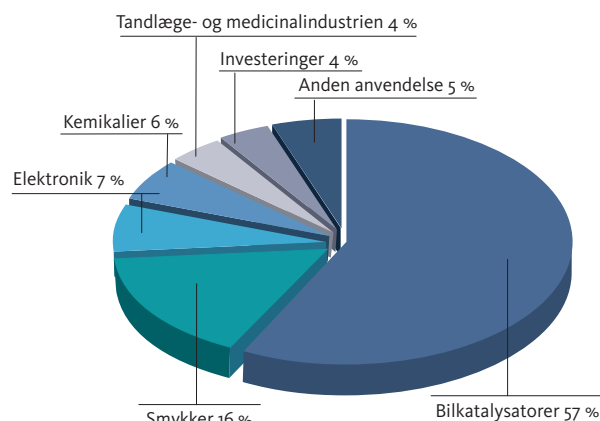


Anvendelse og forbrug

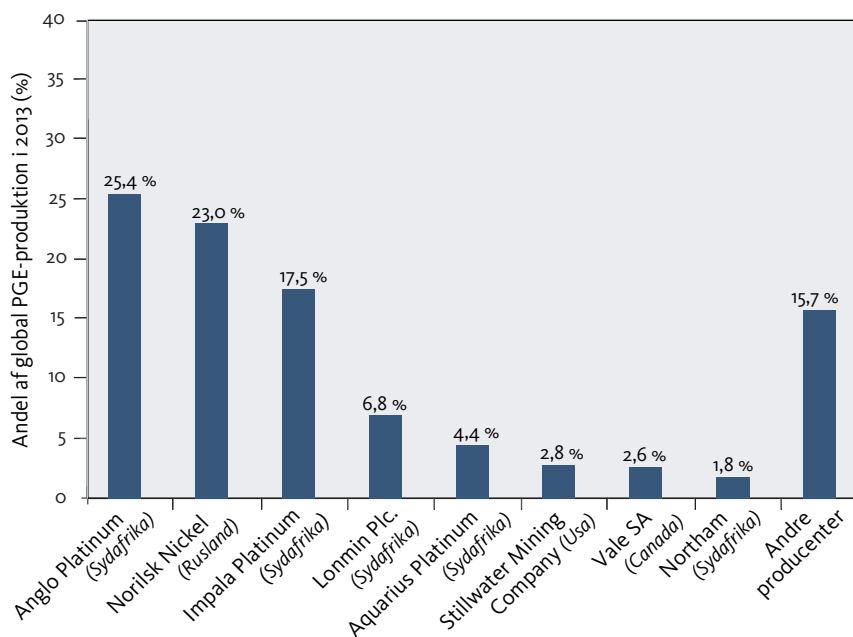
PGE tilhører i lighed med guld og sølv ædelmetallerne og benyttes til industrielle formål, hvor materialerne skal kunne modstå meget høje temperaturer, stort slid og samtidig, skal de være kemisk bestandige. Selv om disse metaller deler de samme egenskaber, varierer deres anvendelse, og overordnet er platin og palladium de vigtigste. PGE'ernes katalytiske evner er helt essentielle for de senere års forbedringer af luftmiljøet, især ifm. reduktion af udledning af giftige udstødningsgasser fra transportsektoren. Platin benyttes, i legeringer med fx rhodium og palladium (op til 25 %), til katalysatorer i dieselmotorer, hvorimod palladium foretrækkes til katalysatorer i benzinmotorer. PGE'er indgår også i andre typer katalysatorer, eksempelvis brændselsceller, som kan konvertere energi ved at anvende ilt og brint, og hvor vand bliver det eneste affaldsprodukt. Næst efter katalysatorer er smykkeindustrien den store forbruger af platin, hvorimod palladium især aftages af den kemiske industri, som bl.a. gør brug af de katalytiske egenskaber. PGE er således en forudsætning for en række højteknologiske produkter (i bl.a. elektronik-, medicinal- og tandlægeindustrierne), men benyttes også i særlige glastyper. Ruthenium, iridium og

Det vigtigste anvendelsesområde for PGE er til kemiske katalysatorer i biler, der spalter giftigt kulbrinte (CH), kulilte (CO) og lattergas (N_2O_2) i biludstødning til ugiftige forbindelser. Der anvendes typisk 2–6 g PGE per udstødningssystem til biler.

osmium benyttes især i kemisk og elektrokemisk industri og til speciallegeringer. Desuden benyttes platin, og i nogen grad palladium, som investeringsobjekter.



Anvendelsesområder for PGF



Andel af den globale PGE-produktion i 2013 for verdens otte største producenter.

Forbruget af PGE er tæt forbundet med strenge miljøkrav til transportindustrien og den globale økonomiske udvikling. Med stigende velstand øges forbruget af biler med katalysatorer og af smykker. De største forbrugere er Kina, USA og Japan, mens Europa i 2012 udgjorde 22 % af det globale marked.

Geologi og ressourcer

PGE hører til blandt de mest sjældne grundstoffer i jordskorpen og har en gennemsnitlig koncentration på kun 37 ppb (dvs. 0,037g PGE per ton bjergart) med den relative forekomst palladium > platin >> iridium ≥ osmium ≥ rhodium ≈ ruthenium. På grund af geologiske processer findes PGE i relativt højere koncentrationer i mafiske intrusioner, dvs. bjergarter rige på magnesium og jern. I mange tilfælde udfældes PGE sammen med mineralerne kromit, pyrrhotit, bornit og chalcopyrit og kan danne centimetertynde, brydeværdige lag; denne type lag omtales ofte som 'reefs'. I sjældne tilfælde findes PGE som gedigne ædelmetalaggregater (eng. 'nuggets') i sedimentære forekomster i lighed med, hvordan guld også kan optræde.

Sådanne forekomster dannes, ved at de oprindelige værtsbjergarter, som indeholdt PGE, er eroderet, hvorved PGE er blevet frigjort og efterfølgende gennem tusinder af år er blevet opkoncentreret i vandløb og floder.

PGE i mafiske intrusioner kan overordnet inddeles i to typer: 1) PGE-dominerede forekomster, hvor PGE er det primære økonomiske produkt og 2) Ni-Cu-PGE-forekomster, hvor PGE udvindes som biprodukt i forbindelse med udnyttelse af nikkel- og kobbersulfidforekomster. Den sidste type er især vigtig for palladium. De geologiske processer, som er relateret til magmatiske PGE-mineraliseringer, er komplekse og ikke fuldt forstået, men ofte ses de i relation til mætning af svovl i magmaet, som 'suger' alt PGE til sig og siden krystalliserer i sulfidminerale.

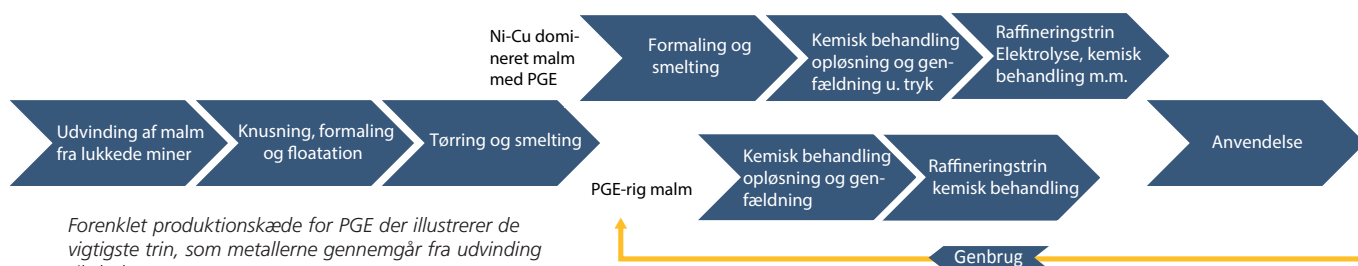
De største forekomster af PGE kendes fra Bushveld (Sydafrika), som alene anslås at indeholde 95 % af verdens kendte reserver. Andre betydelige forekomster er Stillwater (USA), Norilsk (Sibirien, Rusland) og Great Dyke (Zimbabwe). Forekomsterne adskiller

sig fra hinanden ved at have forskellige indbyrdes sammensætninger af PGE; eksempelvis er Bushveld-forekomsten karakteriseret ved at have højere indhold af platin end de øvrige, som til gengæld har højere indhold af palladium.

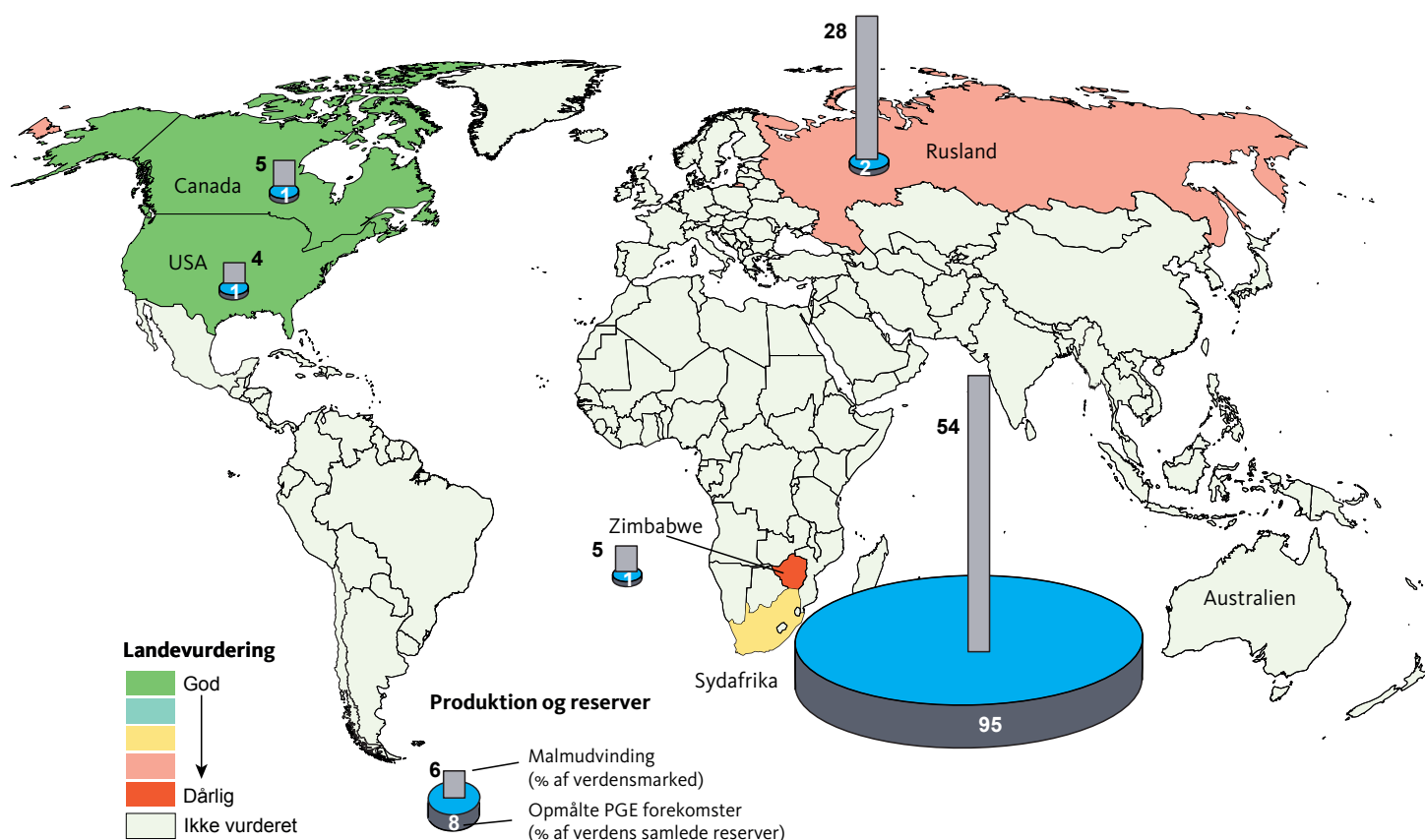
I Grønland er der fundet flere betydelige PGE-mineraliseringer, men endnu har udvinding af PGE ikke fundet sted. Størst efterforskningsinteresse har Skærgård-intrusionen i Østgrønland påkaldt sig. Denne relativt lille intrusion (300 km³) indeholder en horisont kaldet 'Platinova Reef', som er stærkt beriget med PGE, (særligt palladium ca. 5 g PGE per ton bjergart). Det vurderes, at Skærgård-intrusionen indeholder 1000 ton PGE og dermed er en PGE-forekomst i verdensklasse. Derudover indeholder intrusionen et lagsystem med anslået 400 ton guld (op til 10 g per ton). Efterforskningen af Skærgården har stået på siden 1986; fra 1986 til 2000 af selskabet Platinova og i dag af Platina Ltd. Herudover findes der lovende PGE-mineraliseringer mange andre steder i Grønland; eksempelvis i Fiskeræset-intrusionen i det sydlige Vestgrønland, i den vestgrønlandske vulkanprovins i Disko-området, samt i Amikoq-intrusionen lidt nord for Nuuk. Disse har alle været genstand for undersøgelser af mineralefterforskningsfirmaer, men ingen af dem står foran snarlig udnyttelse.

Produktion

Hovedparten af udvindingen af PGE foregår i smalle underjordiske minegange, som kræver indgående kendskab til geologien, da de tynde PGE-holdige horisonter ikke altid kan identificeres med det blotte øje. En typisk PGE-malm-lødhed er 5–15 g PGE per ton bjergart, men der er store variationer afhængig af forekomstens størrelse, og lødheden kan være væsentligt lavere, hvis PGE kun er biprodukt fra anden malmudvinding (Ni, Cu etc.). Mineprocessen omfatter boring af sprænghuller og efterfølgende sprængning; det udsprængte materiale transporteres til knuseværk og



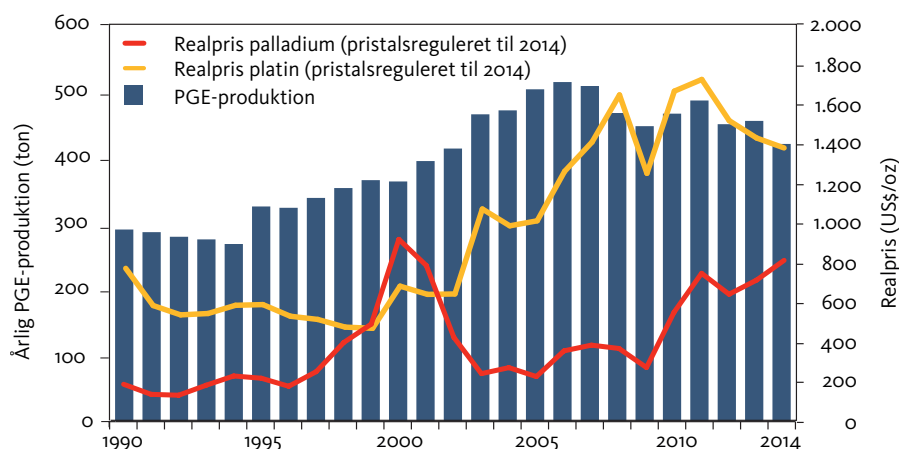
Forenklet produktionskæde for PGE der illustrerer de vigtigste trin, som metallerne gennemgår fra udvinding til slutbrug.



Lande med de største PGE-reserver og produktion i 2013. Lande og produktionsmængder med mindre end 2 % af det globale marked er udeladt. Landevurderingen viser de lande, som efterforsknings- og mineselskaber vurderer som gode henholdsvis dårlige for minedrift; vurderingen er baseret på udvalgte faktorer (retssystemet, handelsbarrierer og politisk stabilitet) fra Fraser Institute (2014).

møller, hvor malmen knuses ned til finknust størrelse. Herefter separeres det finknuste materiale ved en proces, som skiller de PGE-holdige mineraler (koncentrat) fra de ikke-økonomiske mineraler. PGE-mineralkoncentratet tørres; den ikke økonomiske fraktion, som udgør > 95 % deponeres i nærheden af minen. Oparbejdningssproessen finder typisk sted tæt på mineområdet pga. de store mængder materiale, som skal bearbejdes. PGE-mineralkoncentratet gennemgår herefter forskellige smelteprocesser og elektrokemiske separationsprocesser, som skiller PGE fra andre værdifulde følge-metaller, eksempelvis nikkel, kobber, kobolt og guld. Tilbage er et koncentrat af alle PGE'er, som derefter skal raffineres til rene metaller (Pt, Pd, Rh, Ru, Ir, Os). Metoderne afhænger af koncentratets mineralogiske sammensætning, men er teknisk vanskelig, da metallerne indbyrdes ligner hinanden i både kemisk og fysisk henseende. Raffineringsstrinene finder sted på specielle anlæg uden for minen; flere selskaber beliggende i Europa er involveret i denne proces.

I 2014 blev der i alt produceret 177 ton platin, 199 ton palladium, 22 ton rhodium, 19



Pris- og produktionsudvikling for PGE fra 1990 til 2014. På figuren er angivet prisudviklingen for platin og palladium, som er de to vigtigste PGE'er samt den samlede årlige produktion af alle seks PGE'er.

ton ruthenium, 5 ton iridium og 1 ton osmium med Sydafrika som største producent, dog ikke af palladium, der i stor målestok produceres i Rusland og Nordamerika. Sammenlignet med disse lande er produktionen af PGE i resten af verden begrænset. Eksempelvis opkoncentreres der kun fra malm 2 ton PGE i Europa.

Genbrug og substitution

Omkring 25 % af platin, palladium og rhodium bliver indsamlet og genbrugt. Genbrugsraten for PGE'erne bestemmes i bety-

delig grad af, hvor mange biler der skrottes. Da ikke alle biler, der skrottes i dag, har katalysatorer, må det antages, at genbrug af PGE (især Pt, Pd og Rh) vil stige i fremtiden. Der er kun begrænset mulighed for substitution af PGE'er med andre metaller. Til nogle industrielle anvendelsesformål kan man erstatte de enkelte PGE'er med hinanden, men ofte medfører det dog tab i produktets ydeevne.



Bushveld-intrusionen i Sydafrika er verdens største PGE-forekomst med et overfladeareal halvdelen af Danmarks areal og anslås at indeholde 95 % af verdens PGE-reserver. Indvindingen af PGE fra Bushveld-intrusionen sker fra kun tre lagdelte horisonter; Merensky Reef, UG2 Chromitite og Platreef. På billedet ses de vanskelige forhold, der arbejdes under ved klargøring til sprængning af Merensky Reef-malmen. Foto: Nadine Hutton/Bloomberg via Getty Images News.

Marked og priser

Markedet for PGE er ikke transparent, da disse metaller også indgår som spekulative investeringer. Der er således ofte ikke overensstemmelse mellem produktion og forbrug, og markedet balanceres af lagre hos producenter og mellemhandlere, ligesom genbrug også er en vigtig stabiliserende faktor. Langtidsaftaler mellem PGE-producenter og aftagere (fx katalysator- og motorindustrien) bevirker, at markedet i væsentlig grad er bilateralt. Markedet er styret af relativt få og store mineselskaber, hvor de fire største producenter udgør mere end 80 % af det globale marked.

Prisen for PGE opgøres, ligesom guld, normalt i vægtenheden unse (eng. 'troy ounce'; fork. oz), som er ca. 31,1 g. Udover variationer begrundet i den generelle økonomiske udvikling, påvirkes prisen på PGE af den teknologiske udvikling og i lighed med guld opkøbes platin også til værdisik-

ring (investering). Markedspriserne for de to vigtigste PGE'er, platin og palladium, følges som det fremgår af figuren på forrige side ikke nødvendigvis ad. Den økonomiske afmatning efter finanskrisen i 2008 har ramt alle PGE'erne, men har slået hårdtest igennem på priserne for platin (ca. 1.400 US\$/oz i 2014), hvorimod palladium i sammenligning kun blev kortvarigt og svagt ramt af finanskrisen. Palladium har haft generelt stigende værdi efter 2008 og blev i udgangen af 2014 handlet for ca. 800 US\$/oz. Rhodium har traditionelt været det dyreste PGE med priser på op til 7.000 US\$/oz i juni 1990, men har fulgt platin ned i pris og blev ultimo 2014 handlet til ca. 1.100 US\$/oz.

Forsyningssikkerhed

Produktionen af PGE er monopoliseret med Sydafrika som dominerende platinproducent og med Rusland i en stærk position på palladiummarkedet. Forsyningsrisikoen

vurderes derfor som høj, og PGE optræder på EU's liste over kritiske metaller. Andre forhold såsom indenrigspolitiske uoverensstemmelser i Rusland, som medførte meget høje palladiumpriser omkring årtusindskiftet og uroligheder i mineindustrien i Sydafrika i 2013, førte til stærkt stigende PGE-priser. I sådanne situationer opkøber bilindustrien ekstra lagre af PGE, hvilket bidrager til en destabilisering af produktionen. PGE-markedet er risikofyldt, selv for store industrikoncerner.

Kilder og videre læsning

Fraser Institute Annual: Survey of Mining Companies 2014: www.fraserinstitute.org/uploadedFiles/fraser-ca/Content/research-news/research/publications/mining-survey-2014.pdf

The PGE potential in Greenland Geology and Ore GEUS 8, 2007

www.geus.dk/DK/publications/newsletters/minex/Sider/goo8-dk.aspx

Report on Critical Raw Materials for the EU - Report of the Ad hoc Working Group on defining critical raw materials. May 2014: www.ec.europa.eu/enterprise/policies/raw-materials/files/docs/crm-report-on-critical-raw-materials_en.pdf

Report on Critical Raw Materials for the EU - Critical raw material profiles: www.ec.europa.eu/enterprise/policies/raw-materials/files/docs/crm-critical-material-profiles_en.pdf

World Mineral Statistics data - British Geological Survey: <http://bgs.ac.uk/mineralsuk/statistics/worldStatistics.html>

USGS 2014, Platinum-Group Elements—So Many Excellent Properties: U.S. Geological Survey Fact Sheet 2014-3064, 2 p. <http://dx.doi.org/10.3133/fs20143064>



GEUS

Adresse
Videncenter for Mineralske
Råstoffer og Materialer

De Nationale Geologiske Undersøgelser
for Danmark og Grønland
Øster Voldgade 10
1350 København K, Danmark

E-post: info@mima.dk
Internet: mima.geus.dk

Kontakt
Per Kalvig, centerleder
Telefon: 91 33 38 64
E-post: pka@geus.dk

ISSN: 2246-7246

**Mi
Ma**

VIDENCENTER
FOR MINERALSK
RÅSTOFFER OG
MATERIALER