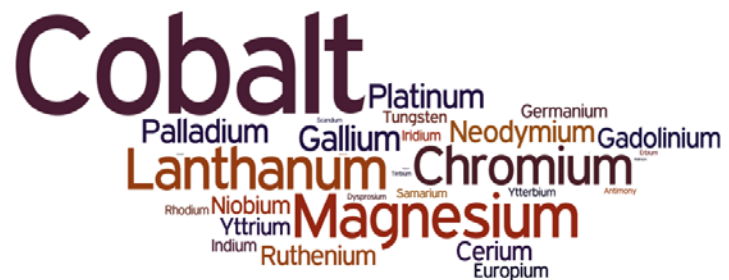


# Critical raw material replacement Research landscape 2010-2014



17.11.2014

Anssi Neuvonen

VTT Technical Research Centre of Finland

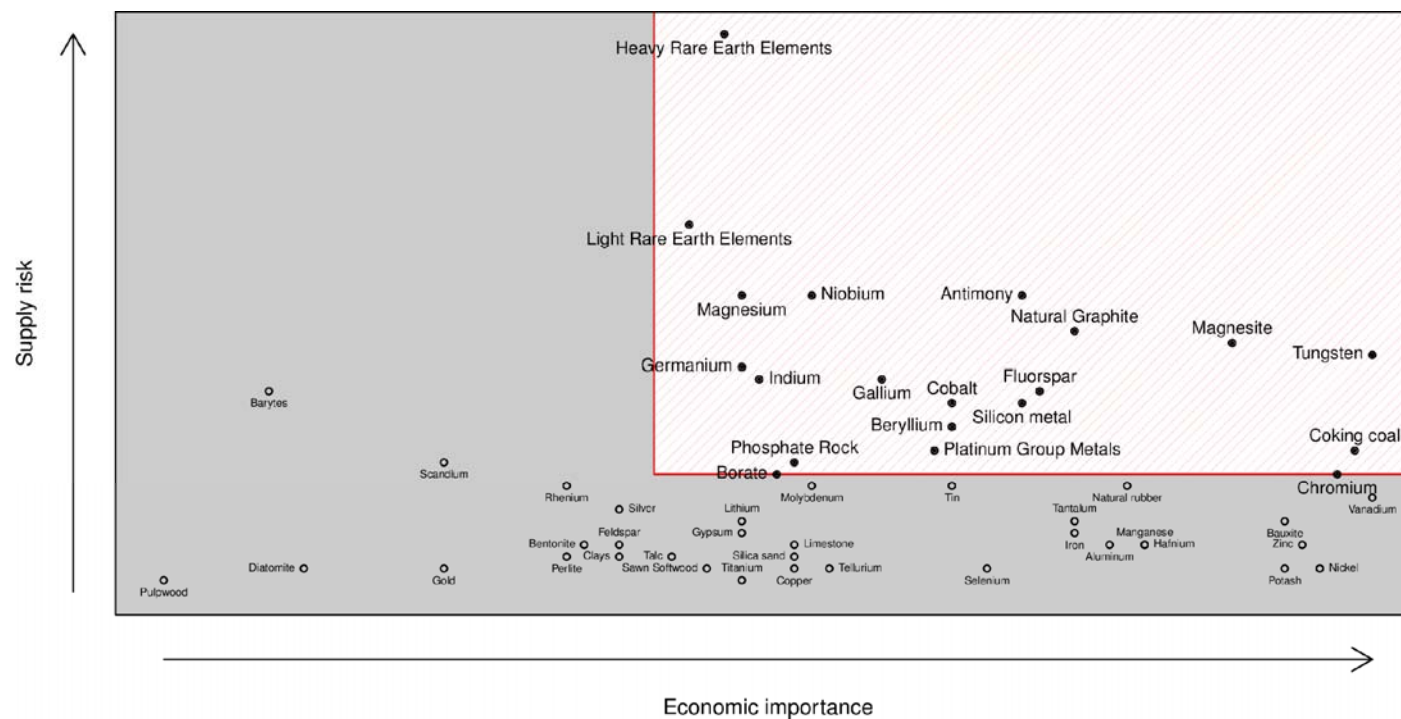
# Content

- General issues & data
- RTOs and universities
- Countries
- Companies
- Appendix

# General issues & data

# Critical raw materials

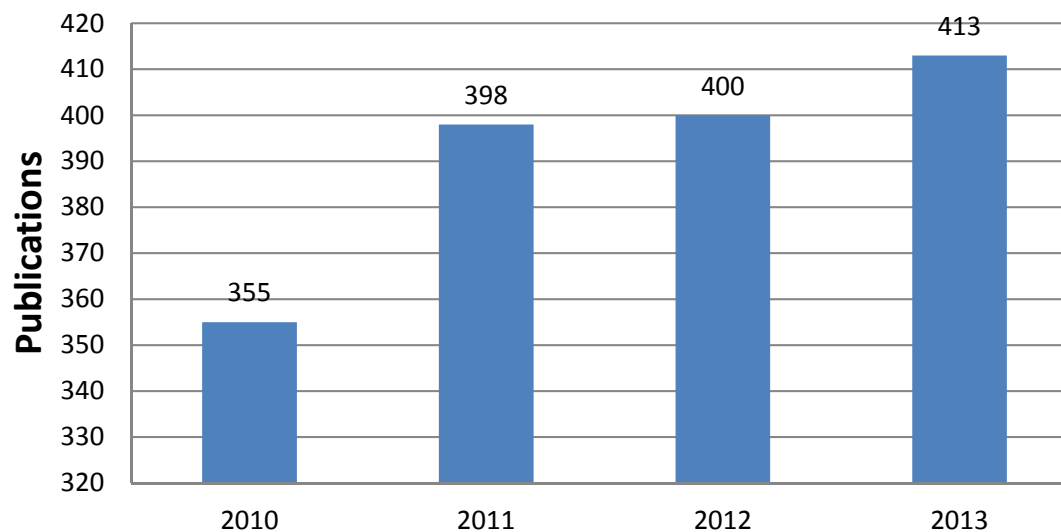
- Raw materials are fundamental to economy, growth and jobs and they are essential for maintaining and improving quality of life
- Recent years have seen a growth in the number of materials used across products
- Securing reliable, sustainable and undistorted access of certain raw materials is of growing concern across the globe
- Critical raw materials have an even higher economic importance globally
  - Their economic importance is combined with a high risk associated with supply



# Data

- Source: Elsevier Scopus
- Period covered: 2010-2014
- Publications: 1932
  - Average annual publication growth 2010-2014: 5,2 %
- Data used for analysis
  - Abstracts and keywords (Elsevier's index & authors'): covering 100% of publications
    - Total: 51 998 different terms & phrases

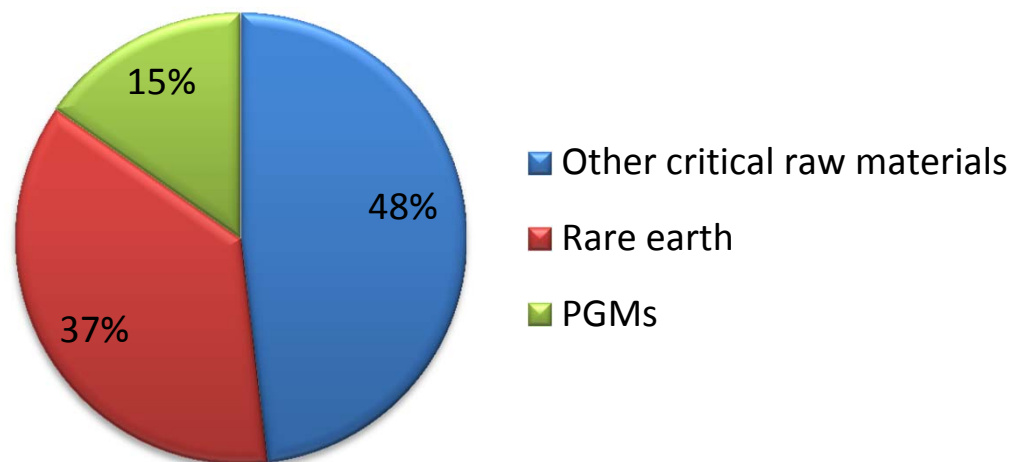
**Publications 2010-2013**



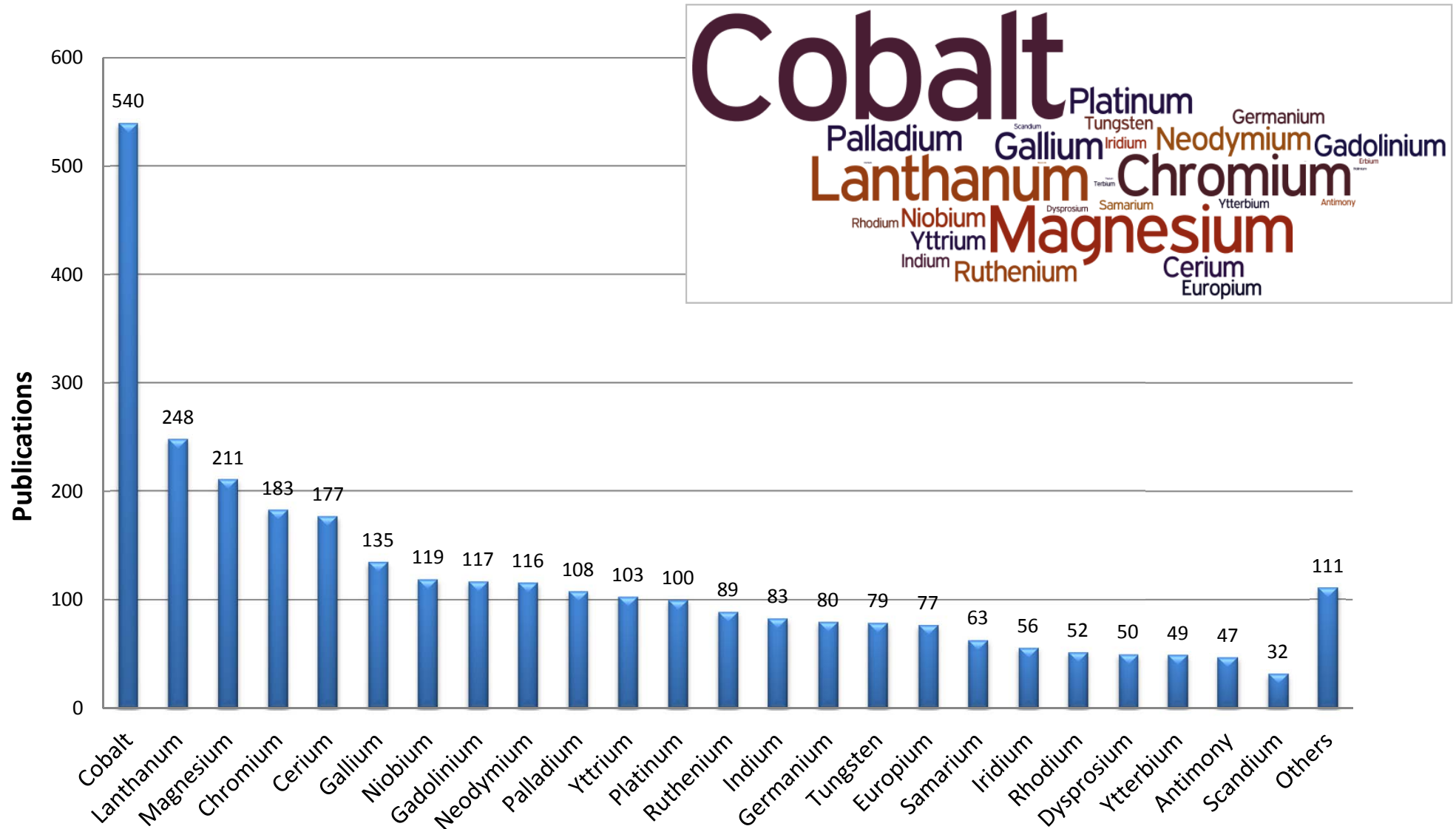
# Term / topic groupings

- Rare earth elements (REEs)
  - Scandium; Lanthanum; Cerium; Praseodymium; Neodymium; Promethium; Samarium; Europium; Gadolinium; Terbium; Dysprosium; Erbium; Yttrium; Holmium; Thulium; Ytterbium; Lutetium
- Platinum Group Metals (PGMs)
  - Iridium; Osmium; Palladium; Platinum; Rhodium; Ruthenium
- Other critical raw materials (CRMs)
  - Antimony; Beryllium; Borate; Chromium; Cobalt; Coking coal; Fluorspar; Gallium; Germanium; Indium; Magnesite; Magnesium; Natural Graphite; Niobium; Silicon Metal; Tungsten

Percentages of publications



# Distribution of publications by raw materials, 2010-2014





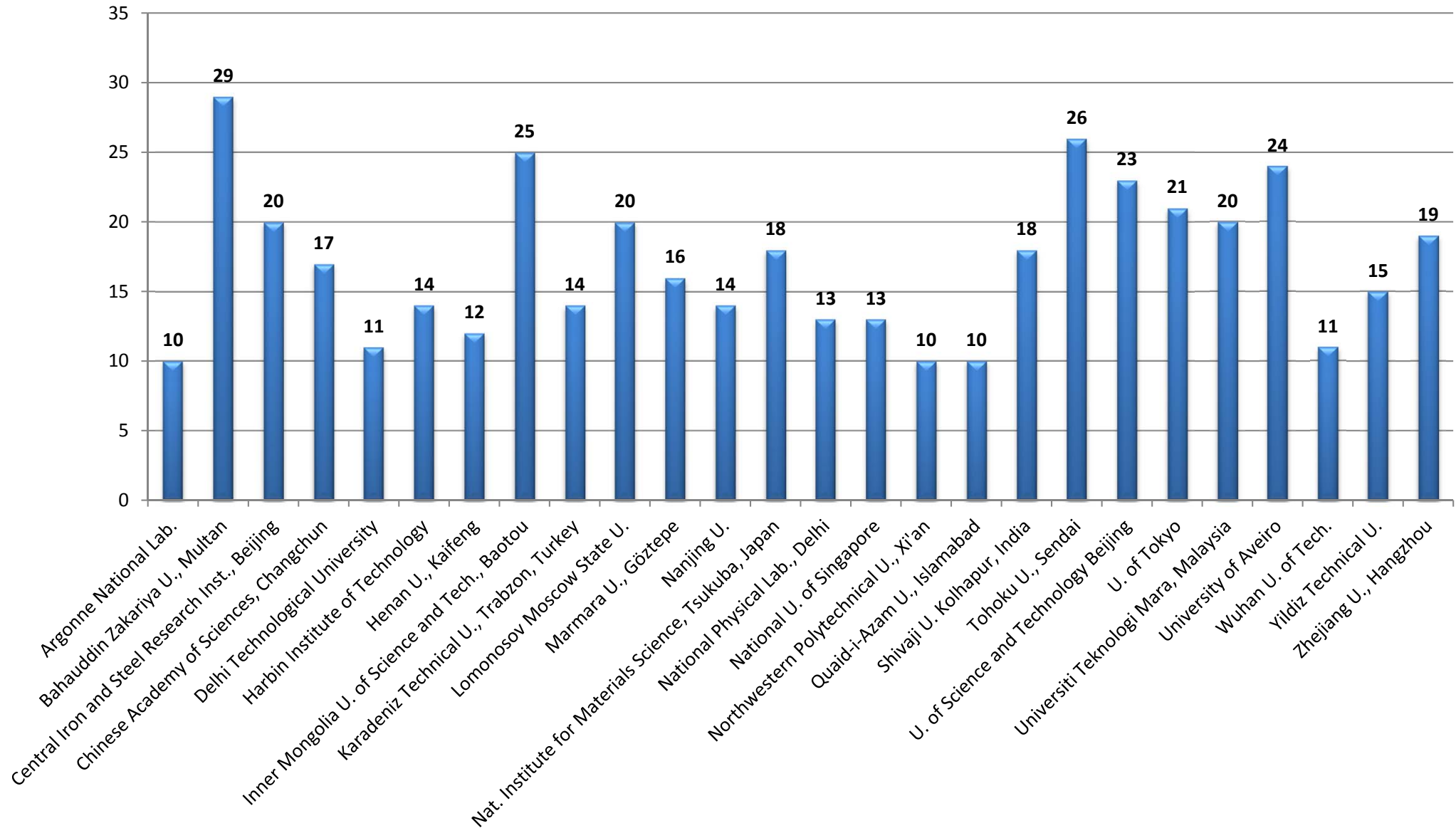




# RTOs and universities

# Top universities and RTOs

## Publications 2010-2014



# Top universities and RTOs: profiles

Percentages\* of publications on REEs, PGMs and other critical raw materials

Total	ORGANISATION →	Publications																									
		25	21	20	19	18	18	18	17	16	16	16	14	13	13	13	13	12	12	11	11	10	10	10	10	10	10
	Inner Mongolia U. of Science and Tech., Baotou																										
	Bahauddin Zakariya U., Multan																										
	Central Iron and Steel Research Inst., Beijing																										
	University of Aveiro																										
	Lomonosov Moscow State U.																										
	U. of Science and Technology Beijing																										
	U. of Tokyo																										
	Chinese Academy of Sciences, Changchun																										
	Marmara U., Göztepe																										
	Shivaji U. Kolhapur, India																										
	Tohoku U., Sendai																										
	Zhejiang U., Hangzhou																										
	Harbin Institute of Technology																										
	Nat. Institute for Materials Science, Tsukuba, Japan																										
	National Physical Lab., Delhi																										
	Yildiz Technical U.																										
	National U. of Singapore																										
	Universiti Teknologi Mara, Malaysia																										
	Delhi Technological University																										
	Nanjing U.																										
	Argonne National Lab.																										
	Henan U., Kaifeng																										
	Karadeniz Technical U., Trabzon, Turkey																										
	Northwestern Polytechnical U., Xi'an																										
	Quaid-i-Azam U., Islamabad																										
	Wuhan U. of Tech.																										
<b>1020</b>	<b>Critical raw materials</b>	4 %	62 %	5 %	47 %	39 %	22 %	44 %	12 %	94 %	69 %	69 %	36 %	54 %	54 %	62 %	77 %	50 %	42 %	55 %	45 %	70 %	30 %	100 %	40 %	80 %	80 %
<b>776</b>	<b>Rare earth</b>	96 %	57 %	95 %	58 %	67 %	72 %	33 %	47 %	6 %	31 %	38 %	50 %	62 %	31 %	54 %	15 %	42 %	75 %	45 %	64 %	30 %	60 %	0 %	60 %	10 %	30 %
<b>324</b>	<b>PGMs</b>	0 %	0 %	0 %	5 %	17 %	17 %	39 %	47 %	0 %	0 %	31 %	14 %	15 %	31 %	8 %	8 %	17 %	0 %	0 %	9 %	0 %	20 %	0 %	0 %	10 %	0 %

\* Percentage of organisation's total publications

# European universities and RTOs: profiles

Percentages\* of publications on REEs, PGMs and other critical raw materials

ORGANISATION →	Cuza U., Iasi, Romania	Forschungszentrum Jülich	Gebze Inst. of Technology, Turkey	Imec, Leuven	Institut NEEL, Grenoble	ISIS Facility, RAL, UK	Istanbul Technical U.	Karadeniz Technical U., Trabzon, Turkey	Lomonosov Moscow State U.	Marmara U., Göztepe	Nicolaus Copernicus U.	Queen Mary U. of London	Technical U. Vienna	U. of Bordeaux	U. of Coimbra	U. of Padova	U. of Silesia, Katowice	University of Aveiro	Yildiz Technical U.
Critical raw materials ↓	83 %	0 %	70 %	75 %	20 %	20 %	83 %	100 %	39 %	94 %	40 %	38 %	33 %	80 %	20 %	60 %	33 %	47 %	77 %
Rare earth	17 %	100 %	10 %	13 %	80 %	60 %	0 %	0 %	67 %	6 %	0 %	63 %	83 %	40 %	80 %	40 %	67 %	58 %	15 %
PGMs	0 %	11 %	20 %	0 %	0 %	0 %	17 %	0 %	17 %	0 %	60 %	0 %	17 %	0 %	0 %	20 %	0 %	5 %	8 %

\* Percentage of organisation's total publications

# Top universities and RTOs: profiles

## Percentages\* of publications on REEs

Organisation ↓	REE →														
	Cerium	Dysprosium	Erbium	Europium	Gadolinium	Holmium	Lanthanum	Lute- tium	Neo- dymium	Samar- ium	Scand- ium	Terbium	Thulium	Ytterb- ium	Yttrium
Argonne National Lab.	10 %				10 %				10 %						
Bahauddin Zakariya U., Multan	5 %			14 %		5 %	14 %					14 %			14 %
Central Iron and Steel Res. Inst., Beijing	75 %				5 %		40 %		5 %						
Chinese Academy of Sciences, Changchun	12 %		6 %				18 %	6 %	18 %	6 %	6 %	6 %			6 %
Delhi Technological University						18 %									27 %
Harbin Institute of Technology	8 %		8 %	8 %	15 %		31 %							8 %	
Henan U., Kaifeng				40 %						10 %	10 %	10 %			
Inner Mongolia U. of Sci. and Tech., Baotou	60 %		4 %		4 %		48 %		4 %	4 %				4 %	
Lomonosov Moscow State U.		6 %		17 %	11 %		6 %	6 %	6 %	6 %				6 %	17 %
Nanjing U.	27 %			9 %			9 %		18 %						
Nat. Institute for Materials Science, Tsukuba	15 %			15 %	23 %										
National Physical Lab., Delhi	15 %	8 %		8 %	23 %		15 %		8 %	23 %					
National U. of Singapore	17 %			8 %			25 %		8 %					8 %	
Northwestern Polytechnical U., Xi'an	10 %						50 %		20 %						
Quaid-i-Azam U., Islamabad														10 %	
Shivaji U. Kolhapur, India		6 %							25 %						
Tohoku U., Sendai	6 %	6 %	6 %	6 %			13 %								13 %
U. of Science and Technology Beijing	39 %	11 %					44 %		22 %						6 %
U. of Tokyo				11 %			28 %						6 %		
Universiti Teknologi Mara, Malaysia		8 %	8 %	8 %		8 %								42 %	25 %
University of Aveiro		11 %			11 %		21 %			16 %				5 %	11 %
Wuhan U. of Tech.	20 %													10 %	
Yildiz Technical U.								8 %							
Zhejiang U., Hangzhou							21 %		7 %	7 %					21 %

\* Percentage of organisation's total publications

# Top universities and RTOs: profiles

Percentages\* of publications on PGMs & other critical raw materials

Organisation ↓	PGM / CRM →													
	Antimony	Chromium	Cobalt	Gallium	Germanium	Indium	Iridium	Magnesium	Niobium	Palladium	Platinum	Rhodium	Ruthenium	Tungsten
Argonne National Lab.		20 %	20 %		10 %									
Bahauddin Zakariya U., Multan		19 %	29 %	14 %	5 %			29 %						
Central Iron and Steel Res. Inst., Beijing			45 %					85 %						
Chinese Academy of Sciences, Changchun			18 %			6 %	24 %	6 %		24 %	12 %			6 %
Delhi Technological University														55 %
Harbin Institute of Technology		15 %	15 %	8 %		8 %			15 %				15 %	
Henan U., Kaifeng			30 %										20 %	10 %
Inner Mongolia U. of Sci. and Tech., Baotou			44 %					80 %	4 %					
Karadeniz Technical U., Trabzon, Turkey			100 %											
Lomonosov Moscow State U.			28 %	6 %				6 %	6 %	6 %	6 %		6 %	11 %
Marmara U., Göztepe			81 %			6 %			6 %					
Nanjing U.			27 %		18 %	9 %	9 %	9 %			9 %			9 %
Nat. Institute for Materials Science, Tsukuba			31 %	8 %	23 %	8 %							38 %	
National Physical Lab., Delhi		8 %	38 %		8 %		8 %		8 %				15 %	8 %
National U. of Singapore			25 %		8 %	17 %			8 %	8 %	17 %	8 %	8 %	
Northwestern Polytechnical U., Xi'an		10 %	20 %					10 %	20 %	10 %				20 %
Quaid-i-Azam U., Islamabad		40 %	50 %		10 %			40 %		10 %				10 %
Shivaji U. Kolhapur, India		25 %	38 %					6 %	6 %					6 %
Tohoku U., Sendai		6 %	63 %	6 %					6 %	19 %	19 %	19 %		13 %
U. of Science and Technology Beijing	11 %	6 %	22 %				6 %	22 %	11 %		6 %	11 %	6 %	
U. of Tokyo			22 %	28 %	6 %		6 %	11 %		11 %		17 %	17 %	
Universiti Teknologi Mara, Malaysia	8 %	8 %			8 %			8 %	17 %					8 %
University of Aveiro			21 %	5 %	5 %	5 %		11 %	16 %				5 %	5 %
Wuhan U. of Tech.	70 %		60 %	10 %	20 %			10 %			10 %			
Yildiz Technical U.			54 %			8 %		15 %		8 %				
Zhejiang U., Hangzhou		7 %	29 %	7 %				14 %	14 %		14 %			7 %

\* Percentage of organisation's total publications





# European universities and RTOs: profiles

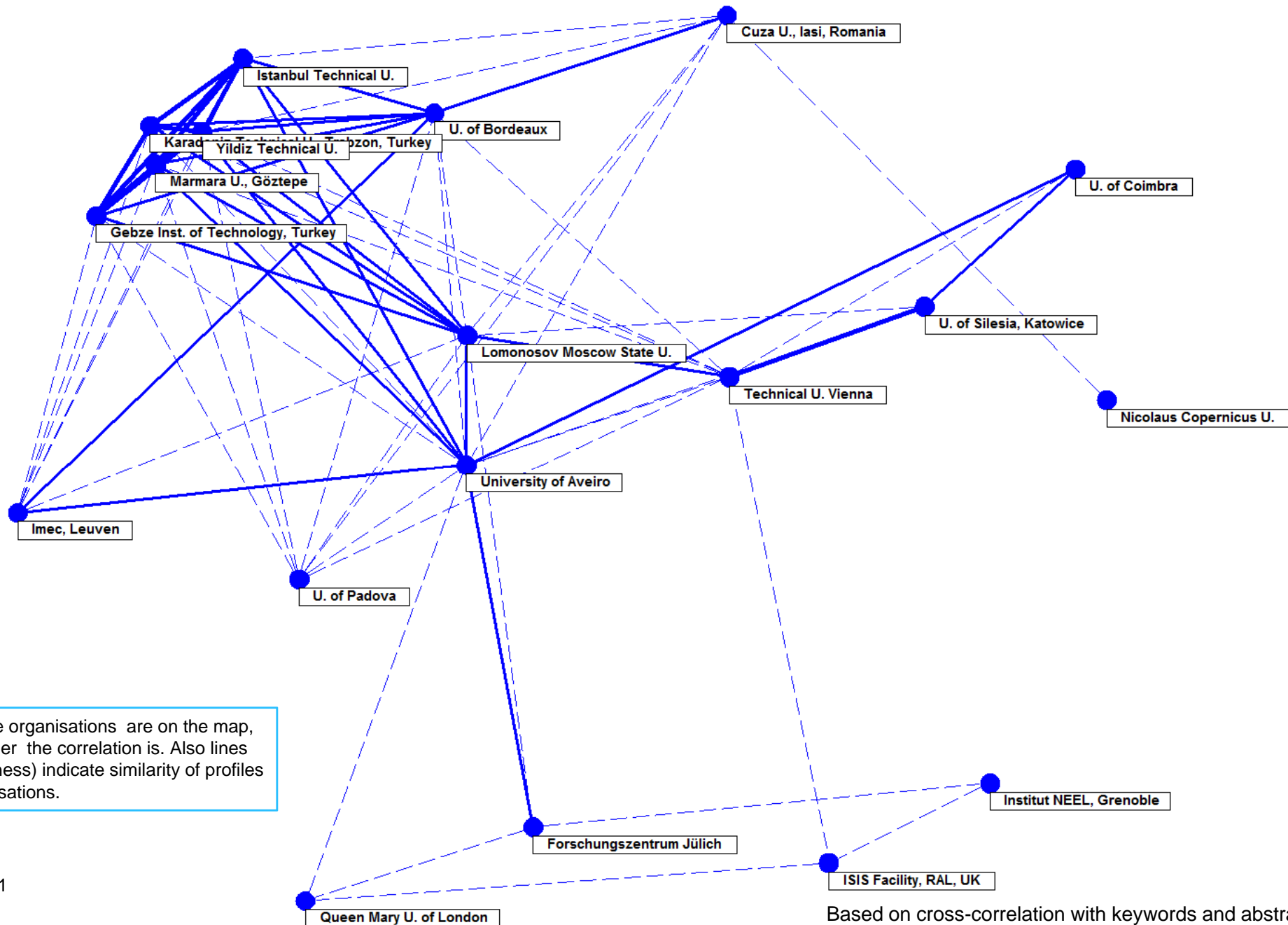
## Percentages\* of publications on selected keywords

Organisation ↓	Keyword →																													
	Aluminum	Calcium	Ceramic	Crystalline	Dielectric	Electric property	Electron microscopy	Ferrite	Fourier	Grain	High temperature	Iron	Lattice	Low temperature	Magnetic	Nickel	Perovskite	Powder	Room temperature	Scanning electron microscopy	Silicon	Sintering	Sol-gel	Solid state	Spectroscopy	Thermoelectric	Transmission electron microscopy	X-ray	X-ray diffraction	Zinc
University of Aveiro	16 %	11 %	42 %	26 %	5 %	53 %	11 %	16 %		5 %	11 %	47 %	37 %	16 %	37 %		32 %		16 %	11 %	21 %	21 %	5 %	5 %	32 %	5 %		5 %	47 %	
Lomonosov Moscow State U.	6 %	6 %	6 %			17 %	11 %	6 %	6 %		6 %	22 %	17 %	6 %	28 %			11 %		6 %				6 %	22 %		6 %	11 %	28 %	
Marmara U., Göztepe			6 %		6 %	13 %	6 %		25 %		6 %	6 %			6 %	25 %				6 %					63 %		6 %		75 %	
Yildiz Technical U.	15 %				8 %				54 %		15 %	8 %		15 %		8 %					15 %				62 %				31 %	
Gebze Inst. of Technology							10 %	10 %	20 %			10 %	10 %		40 %	40 %			10 %					10 %	40 %	10 %	20 %	20 %	40 %	
Karadeniz Tech. U., Trabzon						10 %					10 %				20 %	60 %									50 %				60 %	
Forschungszentrum Jülich			44 %		44 %	22 %		22 %				11 %	22 %	22 %	44 %	11 %	22 %					22 %	22 %					22 %	11 %	
Imec, Leuven	13 %		13 %		13 %										13 %	13 %					50 %			13 %						
Queen Mary U. of London	13 %		38 %	13 %	25 %	38 %	13 %	13 %			25 %		25 %	13 %	13 %		13 %	25 %	13 %	13 %			25 %	13 %	13 %	13 %		25 %	38 %	
Cuza U., Iasi, Romania	17 %			33 %	50 %	67 %	100 %	100 %				33 %	17 %		83 %		17 %	83 %		100 %			67 %	17 %	50 %				100 %	17 %
Istanbul Technical U.	17 %		17 %			17 %	33 %		67 %		17 %			17 %		17 %	17 %		17 %	33 %	17 %	17 %			50 %			17 %	17 %	33 %
Technical U. Vienna		17 %	33 %			33 %		50 %				67 %	83 %	33 %	83 %	17 %	17 %	33 %	17 %			17 %			17 %	17 %		17 %	33 %	
U. of Silesia, Katowice				83 %		17 %		33 %				50 %			100 %	33 %		17 %	33 %					17 %	17 %			33 %		
Institut NEEL, Grenoble		40 %	20 %	40 %			20 %				40 %	20 %	20 %	40 %	100 %		60 %	40 %	40 %	20 %			20 %		20 %			20 %	100 %	
ISIS Facility, RAL, UK		20 %				40 %		20 %			40 %	40 %	40 %	20 %	40 %		40 %	60 %	60 %					20 %	40 %		40 %	40 %	40 %	
Nicolaus Copernicus U.											20 %														20 %				20 %	
U. of Bordeaux	20 %		20 %			20 %					40 %					20 %		20 %				40 %			20 %	20 %		20 %		
U. of Coimbra			60 %	60 %		20 %	20 %	20 %				80 %	40 %		60 %		40 %		20 %	20 %	20 %			20 %	20 %				60 %	
U. of Padova						20 %	60 %	20 %			40 %	20 %								40 %	20 %			20 %		20 %	20 %	60 %	20 %	

\* Percentage of organisation's total publications

# European universities and RTOs compared

## Organisations cross-correlated with REE, PGM and other CRM topics



**Note:** closer the organisations are on the map, relatively stronger the correlation is. Also lines (and their thickness) indicate similarity of profiles between organisations.

# Top global universities and RTOs compared

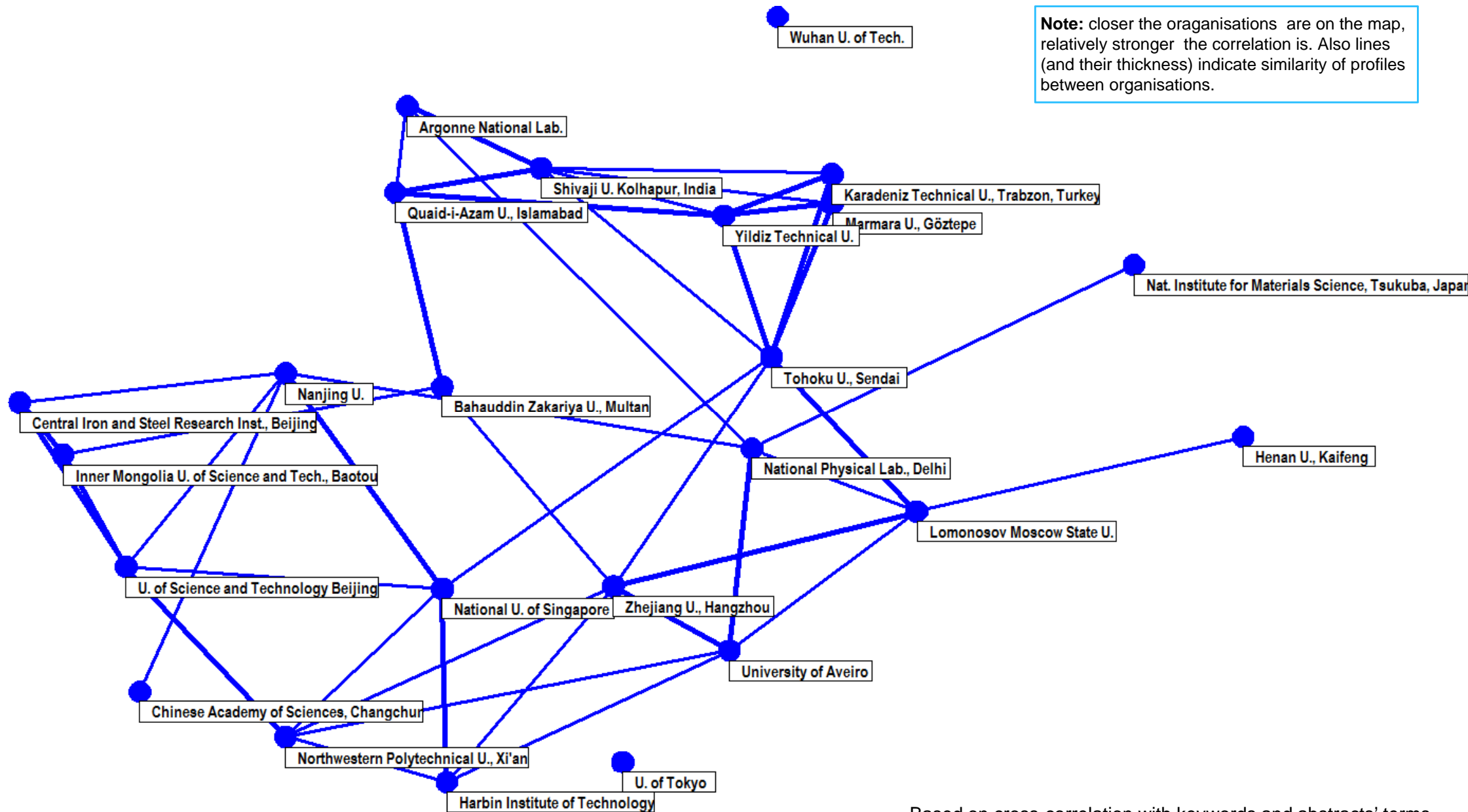
## Organisations cross-correlated with REE, PGM and other CRM topics



ORGANISATION	Argonne National Lab.	Bahauddin Zakariya U., Multan	Central Iron and Steel Research Inst., Beijing	Chinese Academy of Sciences, Changchun	Harbin Institute of Technology	Henan U., Kaifeng	Inner Mongolia U. of Sci. and Tech., Baotou	Karadeniz Technical U., Trabzon, Turkey	Lomonosov Moscow State U.	Marmara U., Göztepe	Nanjing U.	Nat. Institute for Materials Science, Tsukuba	National Physical Lab., Delhi	National U. of Singapore	Northwestern Polytechnical U., Xi'an	Quaid-i-Azam U., Islamabad	Shivaji U. Kolhapur, India	Tohoku U., Sendai	U. of Science and Technology Beijing	U. of Tokyo	University of Aveiro	Wuhan U. of Tech.	Yildiz Technical U.	Zhejiang U., Hangzhou
Argonne National Lab.		0,42						0,56		0,55	0,56	0,45	0,61			0,65	0,78	0,44				0,37	0,48	
Bahauddin Zakariya U., Multan	0,42		0,58			0,36	0,61	0,50	0,49	0,48						0,73	0,49	0,45	0,37	0,49	0,40		0,57	0,63
Central Iron and Steel Res. Inst., Beijing		0,58									0,61			0,41	0,45	0,49			0,77		0,35		0,45	0,42
Chinese Academy of Sciences, Changchun											0,50			0,46	0,48			0,41	0,44				0,35	0,35
Harbin Institute of Technology													0,42	0,63	0,62			0,37	0,47	0,36	0,51			0,53
Henan U., Kaifeng		0,36					0,50	0,63	0,49			0,36						0,51						0,43
Inner Mongolia U. of Sci. and Tech., Baotou		0,61									0,57		0,36	0,44	0,52	0,51			0,79	0,36	0,44		0,47	0,48
Karadeniz Technical U., Trabzon, Turkey	0,56	0,50			0,50			0,67			0,51	0,46	0,65	0,48		0,63	0,70	0,86		0,37	0,46	0,60	0,94	0,56
Lomonosov Moscow State U.		0,49			0,63		0,67		0,66			0,42	0,59			0,40	0,47	0,69			0,57		0,63	0,65
Marmara U., Göztepe	0,55	0,48			0,49			0,66		0,51	0,45	0,64	0,50			0,62	0,70	0,85		0,35	0,49	0,58	0,94	0,57
Nanjing U.	0,56		0,61	0,50			0,57	0,51		0,51		0,43	0,51	0,66	0,40	0,36	0,48	0,45	0,60			0,42	0,50	0,36
Nat. Inst. for Materials Science, Tsukuba	0,45						0,46	0,42	0,45	0,43		0,64	0,39							0,37				0,39
National Physical Lab., Delhi	0,61				0,42	0,36	0,36	0,65	0,59	0,64	0,51	0,64		0,45	0,39	0,37	0,52	0,52	0,40		0,66		0,54	0,43
National U. of Singapore			0,41	0,46	0,63		0,44	0,48		0,50	0,66	0,39	0,45		0,57			0,59	0,62	0,45	0,41		0,45	0,48
Northwestern Polytechnical U., Xi'an			0,45	0,48	0,62		0,52				0,40		0,39	0,57			0,41	0,37	0,73	0,42	0,56			0,62
Quaid-i-Azam U., Islamabad	0,65	0,73	0,49				0,51	0,63	0,40	0,62	0,36		0,37				0,73	0,54				0,39	0,73	0,49
Shivaji U. Kolhapur, India	0,78	0,49					0,70	0,47	0,70	0,48		0,52		0,41	0,73		0,59						0,66	0,52
Tohoku U., Sendai	0,44	0,45		0,41	0,37	0,51		0,86	0,69	0,85	0,45		0,52	0,59	0,37	0,54	0,59			0,47	0,43	0,46	0,80	0,66
U. of Science and Technology Beijing		0,37	0,77	0,44	0,47		0,79				0,60		0,40	0,62	0,73					0,38	0,42			0,50
U. of Tokyo		0,49			0,36		0,36	0,37		0,35		0,37		0,45	0,42			0,47	0,38		0,39		0,38	0,40
University of Aveiro		0,40	0,35		0,51		0,44	0,46	0,57	0,49			0,66	0,41	0,56			0,43	0,42	0,39			0,45	0,73
Wuhan U. of Tech.	0,37							0,60		0,58	0,42					0,39		0,46						0,55
Yildiz Technical U.	0,48	0,57	0,45	0,35		0,43	0,47	0,94	0,63	0,94	0,50	0,39	0,54	0,45		0,73	0,66	0,80		0,38	0,45	0,55		0,55
Zhejiang U., Hangzhou		0,63	0,42	0,35	0,53		0,48	0,56	0,65	0,57	0,36		0,43	0,48	0,62	0,49	0,52	0,66	0,50	0,40	0,73		0,55	

# Global top universities and RTOs compared

## Organisations cross-correlated with REE, PGM and other CRM topics



# Top universities and RTOs compared

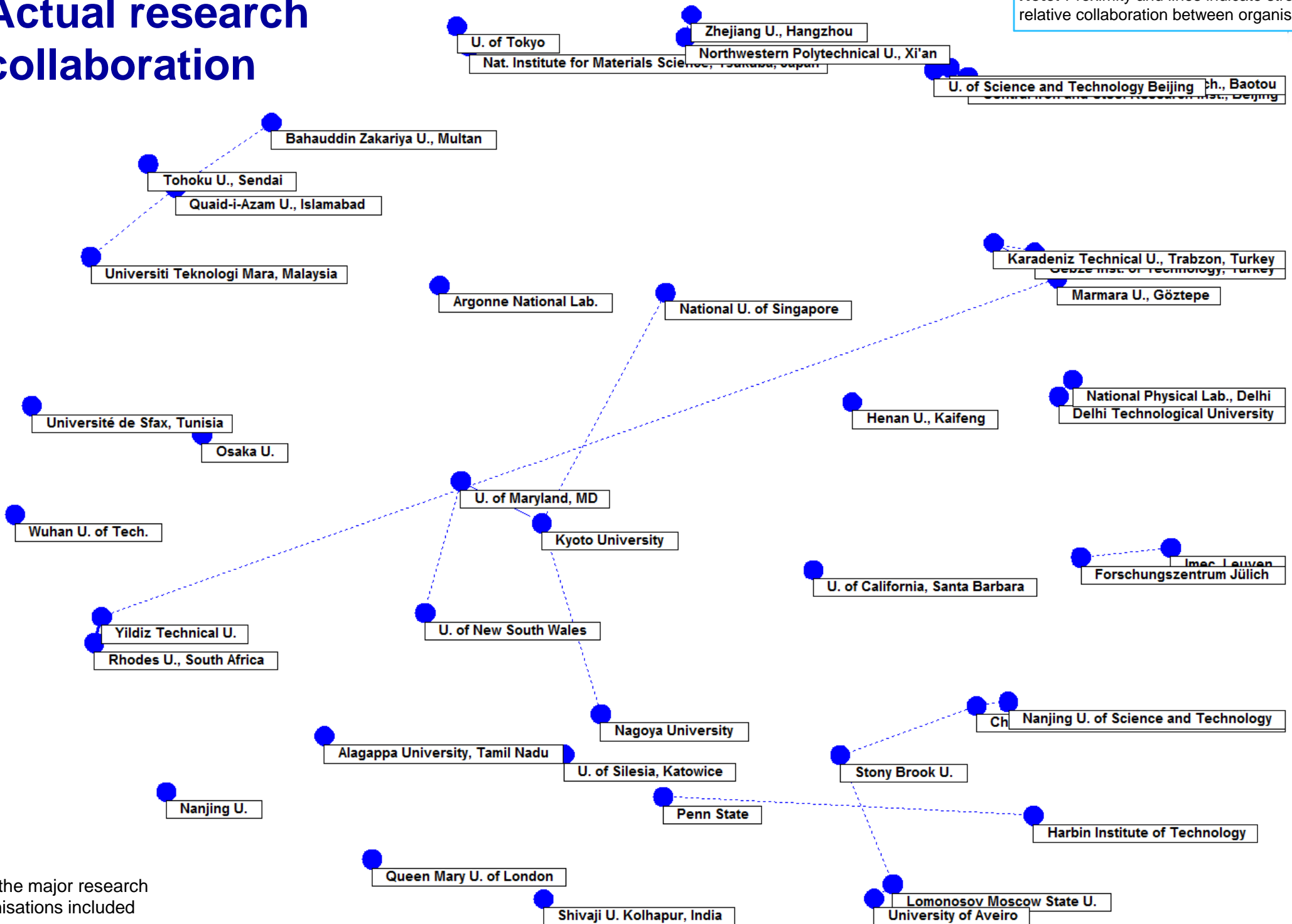
## Organisations cross-correlated with selected other terms\*

ORGANISATION	Argonne National Lab.	Bahauddin Zakariya U., Multan	Central Iron and Steel Research Inst., Beijing	Chinese Academy of Sciences, Changchun	Delhi Technological University	Harbin Institute of Technology	Henan U., Kaifeng	Inner Mongolia U. of Sci. and Tech. Baotou	Karadeniz Technical U., Trabzon, Turkey	Lomonosov Moscow State U.	Marmara U., Göztepe	Nanjing U.	Nat. Institute for Materials Science, Tsukuba	National Physical Lab., Delhi	National U. of Singapore	Northwestern Polytechnical U., Xi'an	Quaid-i-Azam U., Islamabad	Shivaji U. Kolhapur, India	Tohoku U., Sendai	U. of Science and Technology Beijing	U. of Tokyo	Universiti Teknologi Mara, Malaysia	University of Aveiro	Wuhan U. of Tech.	Yildiz Technical U.	Zhejiang U., Hangzhou	
Argonne National Lab.		-0,15					0,45			0,45		0,49	0,42	0,23	0,52		0,37		0,31	0,44	0,26		0,35				0,16
Bahauddin Zakariya U., Multan			0,32	0,54	0,19	0,48	0,37	0,31		0,53		0,37	0,28	0,85	0,54	0,48	0,79	0,72	0,53	0,49		0,24	0,41	0,19	-0,21	0,16	
Central Iron and Steel Research Inst., Beijing	-0,15	0,32		0,53		0,64				0,26				0,34	0,19	0,38	0,45	0,29	0,45		0,50					-0,22	
Chinese Academy of Sciences, Changchun		0,54	0,53		0,22	0,61		0,51		0,50		0,25	0,33	0,43	0,38	0,33	0,58	0,66	0,29	0,43		0,44	0,21	0,16	-0,21		
Delhi Technological University		0,19		0,22		0,27			-0,25		-0,17	-0,20		0,39		0,51		0,19	-0,23	-0,17		0,29		0,19	-0,31	0,52	
Harbin Institute of Technology		0,48	0,64	0,61	0,27		0,50	0,64	0,19	0,61	0,22	0,20	0,54	0,16	0,50	0,56	0,64	0,34	0,54		0,68	0,39			0,23		
Henan U., Kaifeng	0,45	0,37				0,50			0,28	0,73	0,27	0,29	0,51	0,42	0,34	0,36	0,51	0,27	0,38	0,44	0,40	0,21	0,48				
Inner Mongolia U. of Sci. and Tech. Baotou		0,31		0,51		0,64				0,26				0,36		0,21	0,40	0,44	0,30	0,47		0,51			-0,22		
Karadeniz Technical U., Trabzon, Turkey					-0,25	0,19	0,28				0,85									0,27	0,26	0,18			-0,17	0,50	
Lomonosov Moscow State U.	0,45	0,53	0,26	0,50		0,61	0,73	0,26				0,44	0,52	0,56	0,42	0,40	0,74	0,50	0,54	0,69	0,32	0,36	0,63	0,15	0,29		
Marmara U., Göztepe					-0,17	0,22	0,27		0,85			-0,25		-0,15					0,16						0,75		
Nanjing U.	0,49	0,37		0,25	-0,20		0,29			0,44	-0,25		0,59	0,32	0,50		0,44		0,49	0,39	0,32	-0,16	0,44		-0,18	0,15	
Nat. Institute for Materials Science, Tsukuba	0,42	0,28		0,33		0,20	0,51			0,52		0,59		0,31	0,41	0,39	0,38	0,20	0,26	0,25	0,22		0,39				
National Physical Lab., Delhi	0,23	0,85	0,34	0,43	0,39	0,54	0,42	0,36		0,56	-0,15	0,32	0,31		0,59	0,62	0,70	0,60	0,63	0,54	0,19	0,28	0,59	0,29	-0,27	0,42	
National U. of Singapore	0,52	0,54		0,38		0,16	0,34			0,42		0,50	0,41	0,59		0,26	0,59	0,40	0,55	0,47	0,33		0,48	0,23	-0,21	0,17	
Northwestern Polytechnical U., Xi'an		0,48	0,19	0,33	0,51	0,50	0,36	0,21		0,40			0,39	0,62	0,26		0,53	0,30			0,25	0,38	0,53	0,29	-0,20	0,49	
Quaid-i-Azam U., Islamabad	0,37	0,79	0,38	0,58		0,56	0,51	0,40		0,74		0,44	0,38	0,70	0,59	0,53		0,65	0,57	0,62	0,28	0,38	0,54	0,18	0,22		
Shivaji U. Kolhapur, India		0,72	0,45	0,66	0,19	0,64	0,27	0,44		0,50	0,16		0,20	0,60	0,40	0,30	0,65		0,31	0,46		0,39	0,29				
Tohoku U., Sendai	0,31	0,53	0,29	0,29	-0,23	0,34	0,38	0,30	0,27	0,54		0,49	0,26	0,63	0,55		0,57	0,31		0,75	0,23		0,45				
U. of Science and Technology Beijing	0,44	0,49	0,45	0,43	-0,17	0,54	0,44	0,47	0,26	0,69		0,39	0,25	0,54	0,47		0,62	0,46	0,75			0,22	0,44				
U. of Tokyo	0,26						0,40		0,18	0,32		0,32	0,22	0,19	0,33	0,25	0,28		0,23			-0,17	0,46	0,50	0,25		
Universiti Teknologi Mara, Malaysia		0,24	0,50	0,44	0,29	0,68	0,21	0,51		0,36		-0,16		0,28		0,38	0,38	0,39		0,22	-0,17						
University of Aveiro	0,35	0,41		0,21		0,39	0,48			0,63		0,44	0,39	0,59	0,48	0,53	0,54	0,29	0,45	0,44	0,46			0,30	0,52		
Wuhan U. of Tech.		0,19		0,16	0,19				-0,17	0,15				0,29	0,23	0,29	0,18				0,50		0,30		-0,24		
Yildiz Technical U.		-0,21	-0,22	-0,21	-0,31		0,26	-0,22	0,50		0,75	-0,18		-0,27	-0,21	-0,20									-0,24		
Zhejiang U., Hangzhou	0,16	0,16			0,52	0,23				0,29		0,15		0,42	0,17	0,49	0,22				0,25		0,52				

\* Terms used in order of publication volume: X-ray diffraction; Magnetic; Electric property; Spectroscopy; Electron microscopy; Iron; Lattice; Scanning electron microscopy; Ferrite; Powder; Ceramic; X-ray; Nickel; Dielectric; Room temperature; Solid state; Crystalline; Grain; Aluminum; Silicon; Zinc; Perovskite; Sol-gel; High temperature; Fourier; Transmission electron microscopy; Sintering; Low temperature; Calcium; Thermolectric

# Actual research collaboration

**Note:** Proximity and lines indicate strong relative collaboration between organisations.

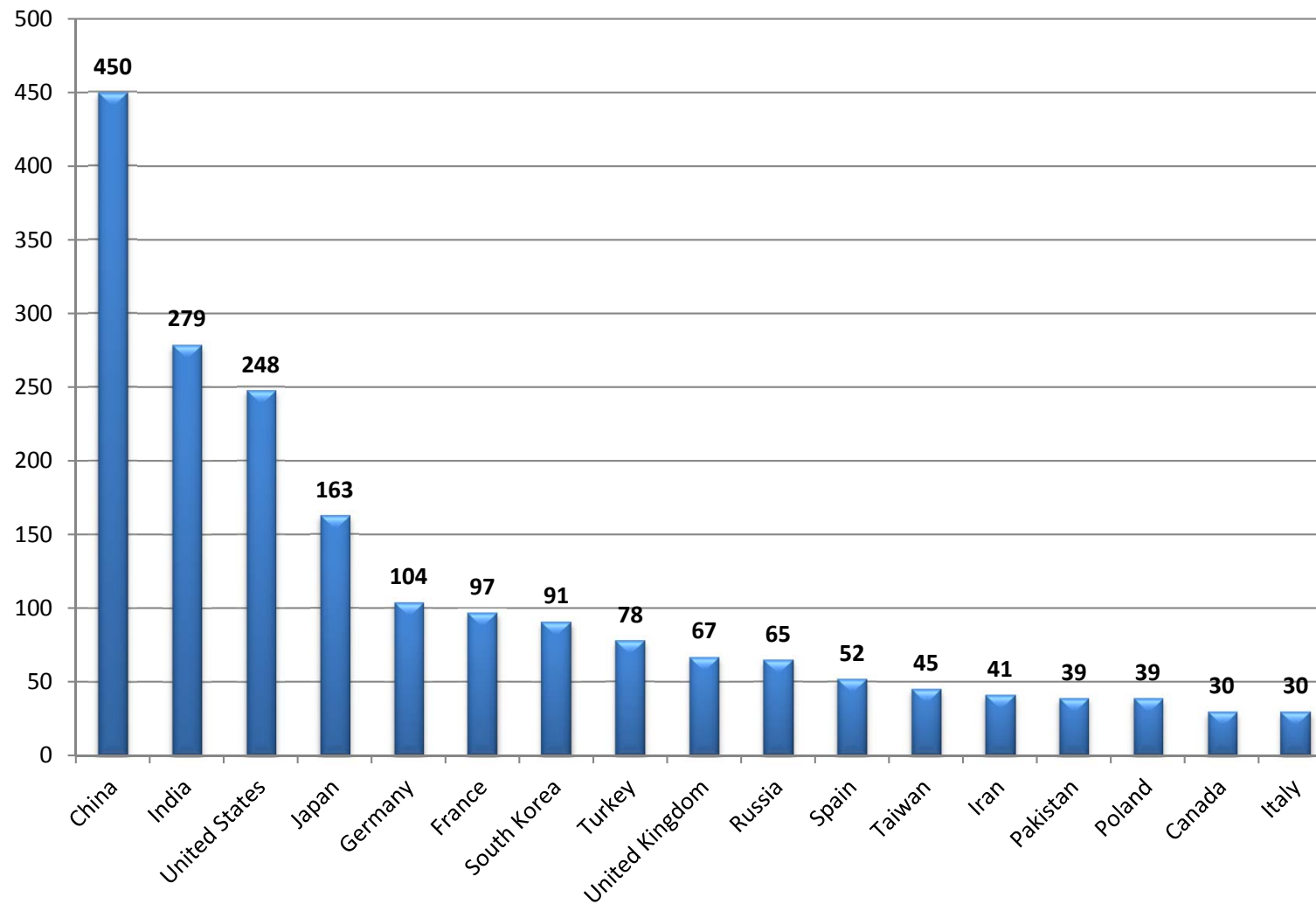


Only the major research organisations included

# Countries

# Top countries

## Publications 2010-2014





# Country profiles

Percentages\* of publications on REEs, PGMs and other critical raw materials

TOTAL	TOPIC ↓	Publications COUNTRY →	Canada	China	France	Germany	India	Iran	Italy	Japan	Pakistan	Poland	Russia	South Korea	Spain	Taiwan	Turkey	United Kingdom	United States
			30	450	97	104	279	41	30	163	39	39	65	91	52	45	78	67	248
1020	Critical raw materials		63 %	43 %	57 %	46 %	54 %	68 %	50 %	51 %	67 %	49 %	40 %	54 %	50 %	49 %	72 %	61 %	59 %
776	Rare earth		37 %	52 %	42 %	38 %	45 %	37 %	30 %	42 %	36 %	46 %	51 %	30 %	33 %	38 %	23 %	27 %	35 %
324	PGMs		20 %	14 %	14 %	27 %	10 %	12 %	20 %	30 %	3 %	15 %	15 %	24 %	23 %	24 %	8 %	16 %	18 %

\* Percentage of country's total publications

# Country profiles

## Percentages\* of publications on REEs

COUNTRY ↓	REE →														
	Cerium	Dysprosium	Erbium	Europium	Gadolinium	Holmium	Lanthanum	Lutetium	Neodymium	Samarium	Scandium	Terbium	Thulium	Ytterbium	Yttrium
Canada	13 %	3 %		7 %	10 %		13 %	3 %	17 %	7 %				7 %	3 %
China	17 %	3 %	2 %	6 %	6 %	1 %	19 %	0 %	8 %	3 %	2 %	2 %	1 %	2 %	4 %
France	5 %	2 %	1 %	4 %	5 %		18 %		11 %	7 %	2 %	2 %	2 %	2 %	8 %
Germany	6 %	7 %	3 %	3 %	4 %	2 %	13 %	1 %	5 %	5 %	4 %	2 %	2 %	1 %	9 %
India	8 %	4 %	1 %	2 %	7 %	3 %	13 %		8 %	6 %			1 %	1 %	8 %
Iran	5 %		5 %		12 %		15 %		7 %				2 %		
Italy	7 %	7 %	3 %	3 %	7 %				7 %	3 %	3 %			3 %	3 %
Japan	9 %	4 %	3 %	9 %	7 %	2 %	12 %		4 %	4 %	2 %		2 %	4 %	6 %
Pakistan	3 %			8 %		5 %	8 %					8 %		3 %	8 %
Poland	10 %	8 %	5 %		18 %	5 %	5 %		10 %	8 %			3 %	3 %	10 %
Russia	3 %	6 %	2 %	8 %	9 %	3 %	8 %	2 %	5 %	3 %			3 %	2 %	12 %
South Korea	7 %	5 %		3 %	3 %		11 %		3 %	1 %	1 %	1 %	2 %		4 %
Spain	8 %		2 %	2 %	10 %		12 %		2 %	6 %			2 %		4 %
Taiwan	2 %			4 %	4 %	2 %	9 %		13 %	2 %				4 %	2 %
Turkey	8 %				1 %		3 %	3 %		1 %			1 %	6 %	4 %
United Kingdom	1 %	3 %			3 %		3 %	3 %	4 %		4 %		1 %	3 %	4 %
United States	11 %	0 %	2 %	0 %	6 %	1 %	8 %	1 %	6 %	2 %	2 %		2 %	4 %	4 %

\* Percentage of country's total publications

# Country profiles

## Percentages\* of publications on PGMs & other critical raw materials

COUNTRY	TOPIC															
	Antimony	Chromium	Cobalt	Gallium	Germanium	Indium	Iridium	Magnesite	Magnesium	Niobium	Osmium	Palladium	Platinum	Rhodium	Ruthenium	Tungsten
Canada	3 %	7 %	17 %	10 %	10 %	7 %	3 %		17 %	3 %	3 %	7 %	3 %	3 %	10 %	3 %
China	3 %	8 %	26 %	4 %	4 %	4 %	4 %		14 %	6 %	0 %	5 %	5 %	2 %	1 %	3 %
France	3 %	11 %	25 %	14 %	8 %	2 %	4 %	1 %	7 %	6 %	1 %	6 %	4 %	2 %	5 %	1 %
Germany	6 %	11 %	27 %	10 %	2 %	7 %	5 %	2 %	7 %	4 %	1 %	12 %	5 %	5 %	9 %	6 %
India	0 %	11 %	30 %	4 %	2 %	2 %	2 %	0 %	10 %	6 %		4 %	1 %	1 %	5 %	4 %
Iran	2 %	10 %	34 %	7 %	7 %	2 %			20 %	2 %		5 %	7 %		5 %	5 %
Italy		10 %	27 %	3 %		10 %	3 %		20 %	3 %		3 %			20 %	3 %
Japan	2 %	7 %	27 %	10 %	5 %	4 %	4 %		5 %	6 %		9 %	7 %	10 %	10 %	5 %
Pakistan	5 %	26 %	41 %	10 %	5 %				26 %			3 %				3 %
Poland		10 %	21 %	5 %	5 %				10 %	5 %		3 %	10 %		5 %	8 %
Russia	2 %	5 %	20 %	8 %	3 %		3 %		8 %	6 %		8 %	3 %	3 %	6 %	6 %
South Korea	1 %	3 %	29 %	9 %	3 %	7 %	7 %		10 %	11 %		8 %	12 %		3 %	3 %
Spain		12 %	31 %	6 %	2 %	10 %	10 %		6 %	6 %		8 %	4 %	2 %	2 %	4 %
Taiwan		2 %	29 %	11 %	4 %	18 %	2 %		18 %	2 %		9 %	2 %	7 %	4 %	
Turkey	4 %	4 %	50 %	3 %	1 %	5 %			6 %	4 %		6 %			3 %	3 %
United Kingdom	1 %	12 %	24 %	6 %	3 %	6 %	1 %	1 %	21 %	3 %	1 %	3 %	9 %	3 %	6 %	7 %
United States	4 %	10 %	27 %	11 %	9 %	10 %	2 %		7 %	4 %	1 %	7 %	7 %	2 %	3 %	3 %

\* Percentage of country's total publications

# Country profiles

Percentages\* of publications on selected other terms

KEYWORD →																															
	Alumi num	Calciu m	Cerami c	Crystal line	Dielect ric	Electri c	Electro n	proper copy	Ferrite	Fourier	High tempe	Grain rature	Iron	Low tempe	Magne tic	Nickel kite	Perovs kite r	Powde rature	Room tempe	SEM	Silicon ng	Sinteri	Sol-gel state	Solid	Spectr oscopic	Therm oelectr	TEM	X-ray diffrac	Zinc		
Canada	3%		3%	3%		17%	10%				17%	10%	20%	7%	13%	13%	3%	7%	13%	3%	7%	17%		13%	7%	17%	3%	7%	13%	20%	3%
China	10%	5%	14%	7%	9%	21%	23%	10%	4%	9%	5%	19%	15%	5%	22%	15%	5%	10%	8%	18%	9%	7%	8%	10%	12%	4%	9%	8%	38%	6%	
France	9%	6%	11%	10%	4%	16%	12%	8%	1%	8%	10%	18%	20%	8%	30%	9%	15%	22%	10%	9%	11%	5%	2%	8%	19%	4%	2%	13%	26%	7%	
Germany	13%	4%	8%	13%	7%	13%	6%	7%	4%	3%	5%	11%	13%	7%	15%	13%	5%	13%	8%	2%	8%	6%	1%	7%	20%	3%	3%	15%	20%	7%	
India	5%	4%	17%	15%	26%	32%	38%	33%	14%	17%	6%	19%	26%	8%	39%	11%	9%	23%	16%	29%	5%	10%	14%	18%	30%	2%	14%	21%	58%	12%	
Iran	5%	5%	5%	17%		7%	51%	37%	20%	7%	2%	17%	32%		56%	17%	2%	12%	12%	32%	17%		27%		29%		27%	10%	51%	17%	
Italy	10%	17%	3%	10%	3%	7%	20%	7%	7%			30%	7%	3%	3%	10%		10%		17%	13%			27%			3%	27%	23%	3%	
Japan	15%	5%	12%	10%	4%	24%	9%	7%	2%	6%	9%	17%	19%	7%	21%	9%	3%	10%	11%	4%	10%	5%	4%	4%	17%	12%	6%	9%	24%	4%	
Pakistan	8%	5%	13%	15%	36%	54%	38%	74%	26%	28%	5%	31%	36%	3%	67%	18%	3%	18%	38%	38%		10%	26%	13%	31%			15%	74%	5%	
Poland	3%	3%	3%	26%		18%	5%	13%			10%	10%	28%	8%	51%	8%	5%	13%	21%	5%	8%	3%		8%	15%	3%		8%	28%	3%	
Russia	9%	6%	3%	5%	2%	8%	6%	8%	3%	2%	6%	28%	14%	8%	35%	6%	6%	6%	6%	3%	8%		3%	6%	23%		2%	12%	29%	6%	
South Korea	12%	9%	13%	7%	13%	24%	14%	10%	10%	14%	5%	18%	13%	5%	15%	11%	12%	11%	13%	10%	10%	4%	7%	14%	19%	2%	7%	14%	34%	11%	
Spain	4%	15%	15%	6%		19%	17%	10%	4%	4%	4%	12%	4%	6%	29%	8%	15%	15%	10%	12%	10%	10%	2%	19%	27%	2%	6%	6%	27%	4%	
Taiwan	7%	4%	24%	7%	20%	29%	13%	9%		11%	2%	9%	9%	4%	29%	7%	7%	7%	7%	9%	11%	18%		20%	20%	4%	2%	9%	42%	16%	
Turkey	8%	4%	4%	1%	4%	14%	14%	4%	21%	4%	8%	14%	5%	4%	23%	21%	1%	3%	6%	13%	6%	6%	1%	9%	40%	4%	1%	8%	18%	29%	
UK	4%	6%	10%	4%	4%	12%	12%	10%	3%	1%	4%	7%	10%	12%	25%	4%	4%	12%	7%	10%	9%	6%	1%	12%	21%	1%	1%	12%	30%	7%	
United States	11%	6%	8%	5%	6%	16%	7%	6%	2%	4%	12%	18%	14%	6%	19%	9%	4%	12%	10%	5%	10%	3%	1%	7%	16%	6%	1%	10%	19%	7%	

\* Percentage of country's total publications

# Countries compared

## Countries cross-correlated with REE, PGM and other CRM topics

COUNTRY	Canada	China	France	Germany	India	Iran	Italy	Japan	Pakistan	Poland	Russia	South Korea	Spain	Taiwan	Turkey	United Kingdom	United States
Canada		0,76	0,73	0,55	0,68	0,73	0,64	0,62	0,51	0,59	0,56	0,56	0,58	0,74	0,48	0,57	0,68
China	0,76		0,80	0,75	0,88	0,84	0,58	0,77	0,71	0,63	0,67	0,81	0,80	0,69	0,72	0,64	0,80
France	0,73	0,80		0,83	0,87	0,80	0,51	0,81	0,71	0,60	0,75	0,77	0,76	0,70	0,67	0,59	0,81
Germany	0,55	0,75	0,83		0,88	0,78	0,68	0,88	0,73	0,57	0,80	0,83	0,83	0,72	0,82	0,70	0,83
India	0,68	0,88	0,87	0,88		0,87	0,71	0,83	0,80	0,77	0,84	0,82	0,86	0,72	0,83	0,73	0,82
Iran	0,73	0,84	0,80	0,78	0,87		0,71	0,76	0,81	0,74	0,72	0,81	0,81	0,77	0,77	0,83	0,83
Italy	0,64	0,58	0,51	0,68	0,71	0,71		0,63	0,67	0,58	0,60	0,61	0,63	0,71	0,68	0,80	0,63
Japan	0,62	0,77	0,81	0,88	0,83	0,76	0,63		0,64	0,59	0,82	0,82	0,81	0,71	0,79	0,61	0,81
Pakistan	0,51	0,71	0,71	0,73	0,80	0,81	0,67	0,64		0,54	0,67	0,66	0,70	0,65	0,76	0,83	0,73
Poland	0,59	0,63	0,60	0,57	0,77	0,74	0,58	0,59	0,54		0,73	0,59	0,60	0,45	0,55	0,60	0,64
Russia	0,56	0,67	0,75	0,80	0,84	0,72	0,60	0,82	0,67	0,73		0,75	0,67	0,60	0,70	0,60	0,64
South Korea	0,56	0,81	0,77	0,83	0,82	0,81	0,61	0,82	0,66	0,59	0,75		0,83	0,74	0,80	0,73	0,83
Spain	0,58	0,80	0,76	0,83	0,86	0,81	0,63	0,81	0,70	0,60	0,67	0,83		0,73	0,84	0,65	0,87
Taiwan	0,74	0,69	0,70	0,72	0,72	0,77	0,71	0,71	0,65	0,45	0,60	0,74	0,73		0,72	0,73	0,78
Turkey	0,48	0,72	0,67	0,82	0,83	0,77	0,68	0,79	0,76	0,55	0,70	0,80	0,84	0,72		0,71	0,84
United Kingdom	0,57	0,64	0,59	0,70	0,73	0,83	0,80	0,61	0,83	0,60	0,60	0,73	0,65	0,73	0,71		0,72
United States	0,68	0,80	0,81	0,83	0,82	0,83	0,63	0,81	0,73	0,64	0,64	0,83	0,87	0,78	0,84	0,72	

Based on cross-correlation with keywords and abstracts' terms, max corr. 1, correlation level indicated by colour

# Countries compared

## Countries cross-correlated with selected other terms\*

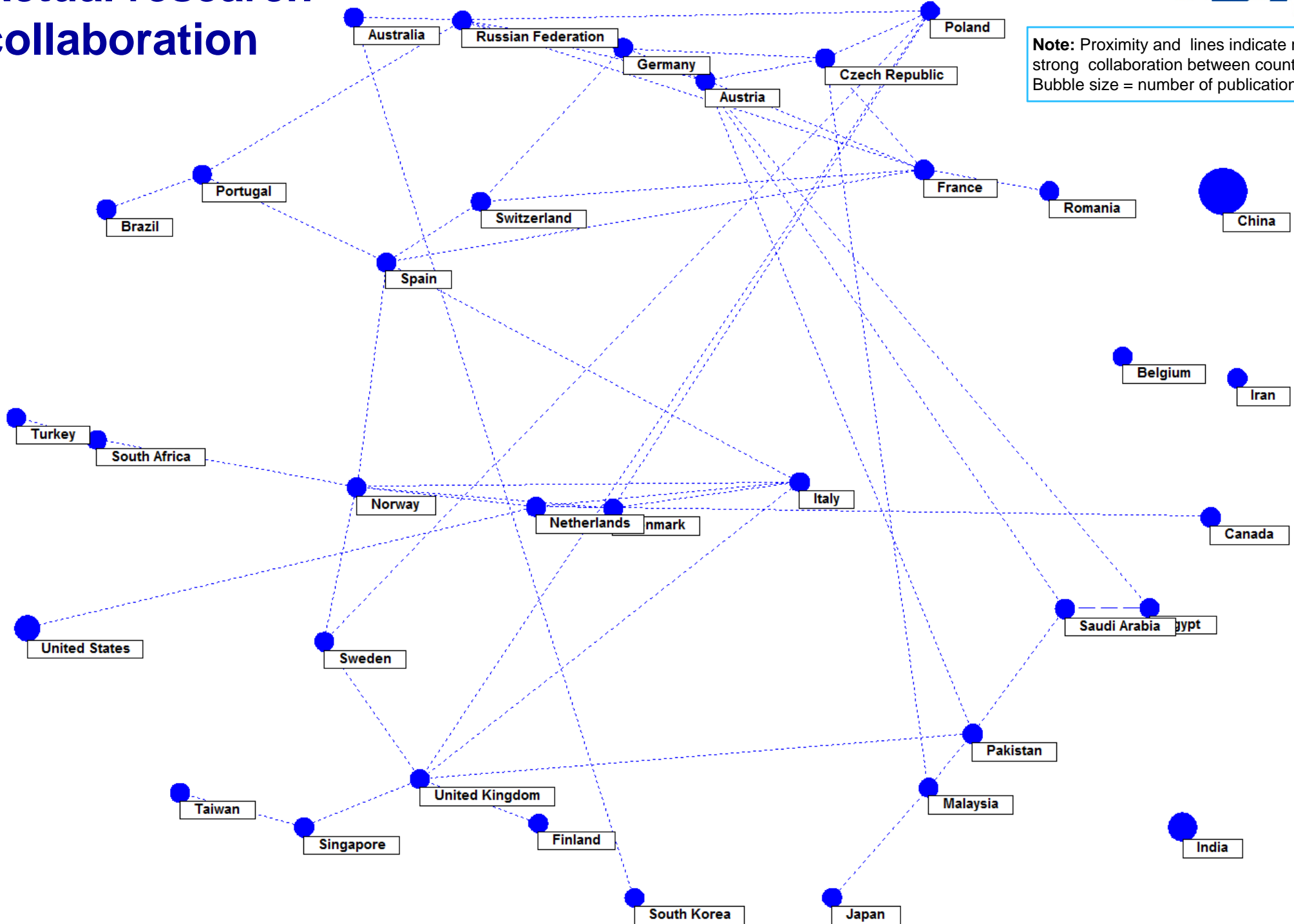
COUNTRY	Canada	China	France	Germany	India	Iran	Italy	Japan	Pakistan	Poland	Russia	South Korea	Spain	Taiwan	Turkey	United Kingdom	United States
Canada		0,50	0,59	0,41	0,39	0,29	0,44	0,54	0,24	0,31	0,58	0,55	0,42	0,33	0,23	0,49	0,58
China	0,50		0,67	0,54	0,85	0,68	0,49	0,70	0,71	0,51	0,64	0,81	0,64	0,73	0,37	0,73	0,65
France	0,59	0,67		0,76	0,63	0,49	0,40	0,78	0,51	0,80	0,82	0,66	0,72	0,58	0,34	0,80	0,85
Germany	0,41	0,54	0,76		0,52	0,33	0,54	0,77	0,40	0,65	0,73	0,66	0,53	0,56	0,49	0,72	0,81
India	0,39	0,85	0,63	0,52		0,75	0,40	0,54	0,88	0,56	0,58	0,76	0,62	0,70	0,37	0,78	0,52
Iran	0,29	0,68	0,49	0,33	0,75		0,39	0,39	0,69	0,56	0,58	0,41	0,46	0,32	0,42	0,60	0,34
Italy	0,44	0,49	0,40	0,54	0,40	0,39		0,37	0,24	0,13	0,54	0,49	0,37	0,19	0,41	0,45	0,48
Japan	0,54	0,70	0,78	0,77	0,54	0,39	0,37		0,52	0,71	0,72	0,67	0,53	0,60	0,33	0,65	0,89
Pakistan	0,24	0,71	0,51	0,40	0,88	0,69	0,24	0,52		0,60	0,54	0,65	0,47	0,56	0,29	0,62	0,48
Poland	0,31	0,51	0,80	0,65	0,56	0,56	0,13	0,71	0,60		0,73	0,43	0,55	0,47	0,27	0,70	0,70
Russia	0,58	0,64	0,82	0,73	0,58	0,58	0,54	0,72	0,54	0,73		0,64	0,65	0,52	0,53	0,79	0,84
South Korea	0,55	0,81	0,66	0,66	0,76	0,41	0,49	0,67	0,65	0,43	0,64		0,64	0,78	0,44	0,71	0,70
Spain	0,42	0,64	0,72	0,53	0,62	0,46	0,37	0,53	0,47	0,55	0,65	0,64		0,69	0,47	0,82	0,58
Taiwan	0,33	0,73	0,58	0,56	0,70	0,32	0,19	0,60	0,56	0,47	0,52	0,78	0,69		0,40	0,76	0,58
Turkey	0,23	0,37	0,34	0,49	0,37	0,42	0,41	0,33	0,29	0,27	0,53	0,44	0,47	0,40		0,51	0,48
United Kingdom	0,49	0,73	0,80	0,72	0,78	0,60	0,45	0,65	0,62	0,70	0,79	0,71	0,82	0,76	0,51		0,71
United States	0,58	0,65	0,85	0,81	0,52	0,34	0,48	0,89	0,48	0,70	0,84	0,70	0,58	0,58	0,48	0,71	

\* Terms used in order of publication volume: X-ray diffraction; Magnetic; Electric property; Spectroscopy; Electron microscopy; Iron; Lattice; Scanning electron microscopy; Ferrite; Powder; Ceramic; X-ray; Nickel; Dielectric; Room temperature; Solid state; Crystalline; Grain; Aluminum; Silicon; Zinc; Perovskite; Sol-gel; High temperature; Fourier; Transmission electron microscopy; Sintering; Low temperature; Calcium; Thermoelectric

# Actual research collaboration



**Note:** Proximity and lines indicate relatively strong collaboration between countries. Bubble size = number of publications



# Companies



# Companies: profiles

Percentages\* of publications on REEs, PGMs and other critical raw materials

TOPIC ↓	PUBLICATIONS	COMPANY →										
		Aisin Cosmos R&D Co, India	Alloy Powder Co, China	Concurrent Technologies Company	Dowa Electronics Materials Co	Element Six Hard Materials, Germany	Hardide Plc, UK	Kawazoe Frontier Technologies, Japan	MesoCoat Inc, US	Nanoforce Technology Ltd	Nissan Motor Co	Toyota
Critical raw materials	3		50 %	100 %	50 %	100 %	100 %	67 %	100 %	40 %	100 %	60 %
Rare earth	2		50 %					33 %		60 %		20 %
PGMs	3	100 %			50 %			100 %				40 %

\* Percentage of company's total publications

# Companies: profiles

## Number of publications on critical raw materials

Company	Raw material																		
	Cerium	Chromium	Cobalt	Dysprosium	Gadolinium	Gallium	Germanium	Indium	Lanthanum	Magnesium	Neodymium	Niobium	Palladium	Platinum	Rhodium	Ruthenium	Tungsten	Ytterbium	
Alloy Powder Co, China	1	1	2		1				1	1	1								
Concurrent Technologies Co		1	1					2											
Dowa Electronics Materials Co						1									1				
Element Six Hard Materials, Germany			2															2	
Hardide Plc, UK																		2	
Kawazoe Frontier Technologies, Japan	1		1				1						1			2	1		
MesoCoat Inc, US		2																2	
Nanoforce Technology Ltd	1			1								2							1
Toyota	1											2	1	1					

# Company profiles

## Percentages\* of publications on selected other topics

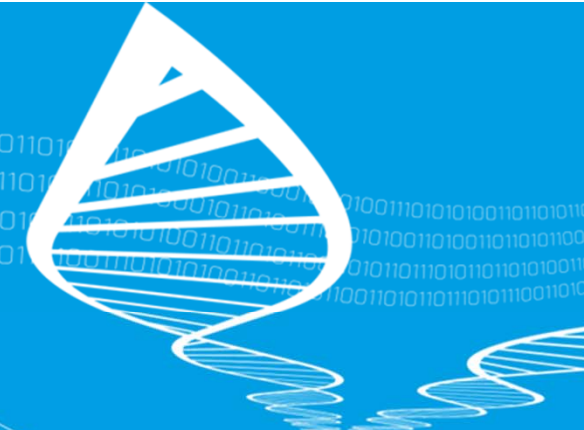


\* Percentage of company's total publications

# Appendix

## ■ Elsevier Scopus search

- ((TITLE(replac\* OR substitut\*) AND TITLE("critical mineral\*" OR "critical metal\*" OR "critical material\*" OR (metals W/2 scarc\*) OR (scarc\* W/2 mineral\*)) OR (scarc\* W/2 element\*) OR (supply W/2 metal\*) OR (supply W/2 mineral\*)) OR ((TITLE(replac\* OR substitut\*) OR KEY(replacement)) AND (KEY("critical metal\*" OR "critical material\*" OR "critical minerals" OR (metals W/2 scarc\*) OR (scarc\* W/2 mineral\*)) OR (scarc\* W/2 element\*) OR (supply W/2 metal\*) OR (supply W/2 mineral\*)) OR TITLE-ABS-KEY("rare earth\*" OR REEs OR LREEs OR HREEs OR scandium OR Lanthanum OR Cerium OR Praseodymium OR Neodymium OR Promethium OR Samarium OR Europium OR Gadolinium OR Terbium OR Dysprosium OR Erbium OR Yttrium OR holmium OR thulium OR ytterbium OR lutetium OR antimony OR stibium OR beryllium OR borates OR chromium OR cobalt OR cobaltum OR "Coking coal" OR Fluorspar OR Fluorite OR Gallium OR Germanium OR indium OR magnesite OR magnesium OR "Natural graphite" OR Niobium OR "Phosphate rock" OR "Platinum Group Metal\*" OR PGMs OR platinoids OR platinides OR "platinum group" OR "platinum metals" OR ruthenium OR rhodium OR palladium OR osmium OR iridium OR platinum OR "Silicon metal" OR Silicium OR Tungsten OR Wolfram\*)) AND NOT TITLE-ABS-KEY("ion substitution" OR "anion substitution" OR "cation substitution" OR "Pr-substitution" OR bone OR bones OR knee OR tissue\* OR hip OR "substitution reaction" OR "replacement reaction" OR "displacement reaction" OR "nucleophilic substitution" OR "electrophilic substitution" OR "radical substitution reaction" OR "Organometallic substitution" OR "Arene substitution patterns" OR "Electrophilic aromatic substitution" OR "Ipso-substitution" OR "Meso-substitution" OR "Peri-substitution" OR "cine-substitution" OR "Tele-substitution" OR "N-substitution" OR halogenation OR "allylic substitution" OR "Isovalent substitution" OR "aliovalent substitution" OR "aza-substitution") AND NOT TITLE(joint) AND NOT KEY(joint)
- Results refined by subject areas (Scopus): Energy, Engineering, Materials Science



# TECHNOLOGY FOR BUSINESS

