

Udfordringer for bæredygtig genanvendelse af dansk jern- og metalkrot

Juan Tan, Mathias V. Wehde, Frederik Brønd og Per Kalvig (edit.)

MiMa rapport 2020/2



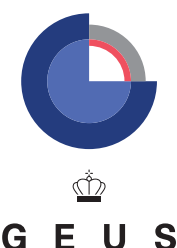
Udfordringer for bæredygtig genanvendelse af dansk jern- og metalkrot

Juan Tan, Mathias V. Wehde, Frederik Brønd og Per Kalvig (edit.)

MiMa rapport 2020/2



VIDENCENTER FOR MINERALSKE RÅSTOFFER OG MATERIALER
DE NATIONALE GEOLOGISKE UNDERSØGELSER FOR DANMARK OG GRØNLAND



Udfordringer for bæredygtig genanvendelse for dansk jern- og metalskrot

MiMa rapport 2020/2

Forfattere: Juan Tan, Mathias V. Wehde, Fredrik Brønd og Per Kalvig (edit.)

Illustrationer: Jette Halskov

Teknisk redaktion: Kisser Thorsøe

Repro: GEUS

Tryk: GEUS

December 2020

ISBN: 978-87-7871-542-5

© Videncenter for Mineralske Råstoffer og Materialer (MiMa) under
De Nationale Geologiske Undersøgelser for Danmark og Grønland (GEUS)
Energi-, Forsynings- og Klimaministeriet
Øster Voldgade 10
1350 København K

Indhold

Forord	6
Forkortelser	7
Tabeloversigt	9
Figuroversigt	12
Anvendte begreber og definitioner	14
Sammendrag	18
Extended summary	22
1. Formål	27
2. Afgrænsning af undersøgelsen	28
3. Baggrund	29
3.1 Politiske bæredygtighedsinitiativer.....	29
3.2 Begreber for og grader af genanvendelse	30
3.3 Hvor i materialekredsløbet tabes metaller?	32
4. Data og metode	35
4.1 Data	35
4.1.1 Danmarks Statistik (DST).....	35
4.1.2 Affaldsdatasystemet (ADS)	36
4.1.3 Interviews.....	38
4.2 Metoder	38
4.2.1 Kortlægning af den danske genvindingsbranche.....	38
4.2.2 Metode til volumenestimering af metaller i dansk skroteksport.....	40
5. Kategorisering af skrot i Danmark	41
5.1 Typer af skrot	41
5.2 Indberetning af skrotkategorier til danske myndigheder.....	42
5.2.1 Indberetning af skrot til Affaldsdatasystemet (ADS)	45
5.2.2 Kategorisering af skrot indberettes af virksomheder	45
5.2.3 Regler og affaldskoder ved import og eksport	50
5.2.4 Udfordringer ved indberetning til Danmarks Statistik og ADS	51

6.	Genanvendelse af jern- og metalkrot i Danmark	64
6.1	Genvindingsbranchen i Danmark	64
6.2	Støberibranchen i Danmark	66
6.3	Oparbejdning af jern- og metalkrot i Danmark.....	68
6.3.1	Værdisætning og kategorisering	68
6.3.2	Oparbejdning af skrot.....	69
6.3.3	Skrotmarkedet og afsætning	74
7.	Hoved- og legeringsmetaller i jern- og metalkrot	75
7.1	Ståltyper og legeringsmetaller	75
7.1.1	Kulstofstål	77
7.1.2	Legeret stål.....	77
7.1.3	Rustfrit stål.....	78
7.1.4	Værktøjsstål.....	80
7.2	Legeringsmetaller i aluminium	81
7.2.1	Aluminiumstype Serie 1xxx – ren aluminium	84
7.2.2	Aluminiumstype Serie 2xxx – legering med kobber.....	84
7.2.3	Aluminiumstype Serie 3xxx – legering med mangan.....	84
7.2.4	Aluminiumstype Serie 4xxx – legering med primært silicium	84
7.2.5	Aluminiumstype Serie 5xxx – legering med magnesium	84
7.2.6	Aluminiumstype Serie 6xxx – legering med magnesium-silicium.....	85
7.2.7	Aluminiumstype Serie 7xxx – legering med zink	85
7.2.8	Aluminiumstype Serie 8xxx – legering med andre metaller.....	85
7.3	Legeringsmetaller i kobber.....	85
7.3.1	Rent og fortyndet kobber.....	87
7.3.2	Messing	88
7.3.3	Bronze	88
7.3.4	Kobber-nikkellegeringer	88
7.3.5	Nysølvlegeringer	89
8.	Metallurgiske forhold af betydning for genanvendelsen	90
8.1	Metoder til genanvendelse af jern- og stålskrot.....	93
8.1.1	Rustfrit og legeret stålskrot	95
8.2	Metoder til genanvendelse af aluminium	97
8.2.1	Smedet aluminium.....	100
8.2.2	Støbt aluminium	100
8.3	Metoder til genanvendelse af kobber.....	101
9.	International handel med jern- og metalkrot	104
9.1	Dansk eksport af jern- og metalkrot	104
9.1.1	Jern- og stålskrot.....	104
9.1.2	Aluminiumskrot.....	106
9.1.3	Kobberskrot	107
9.2	International skrothandel og tendenser	107
9.2.1	Jern- og stålskrot.....	109

9.2.2	Aluminiumskrot	111
9.2.3	Kobberskrot	113
9.2.4	Jern- og stålskrot fra skibsofhugning	114
10.	Dansk eksport af legeringsmetaller i skrot	116
10.1	Eksport af legeringsmetaller baseret på data fra Danmarks Statistik.....	116
10.1.1	Eksport af legeringsmetaller i jern- og stålskrot – DST-data	116
10.1.2	Eksport af legeringsmetaller i aluminiumskrot – DST-data.....	124
10.1.3	Eksport af legeringsmetaller i kobberskrot – DST-data	127
10.2	Eksport af legeringsmetaller baseret på data fra Affaldsdatasystemet	128
10.2.1	Eksport af legeringsmetaller i jern- og stålskrot – ADS-data	130
10.2.2	Eksport af legeringsmetaller i aluminiumskrot – ADS-data.....	146
10.2.3	Eksport af legeringsmetaller i kobberskrot – ADS-data	154
10.3	Sammenligning af resultater fra DST- og ADS-data.....	155
10.3.1	Vurderinger af usikkerhed for estimater af eksporterede metalstrømme	161
11.	Diskussion: Muligheder for bedre genvinding af legeringsmetaller fra jern- og metalskrot	164
11.1	Vurdering af materialetab af udvalgte eksporterede legeringsmetaller	165
11.2	Vurdering af muligheder for reduktion af lækager i den cirkulære økonomi....	168
11.3	Detaljerede affaldsdatasystemer er vigtige	170
11.4	Teknologiudvikling i genvindingsbranchen og metalindustrien er vigtig.....	170
12.	Konklusioner om bæredygtighed for dansk skroteksport	172
	Referencer	173
	Bilag A	182
	Bilag B	186
	Bilag C	189
	Bilag D	190
	Bilag E	192
	Bilag F	194

Forord

Der er meget lidt viden om de cirkulære kredsløb for legeringsmetaller. Videncenter for Mineralske Råstoffer og Materialer (MiMa) igangsatte derfor nærværende projekt, Scrap-Track-projektet, for med Danmark som eksempel, at belyse omfanget af legeringsmetaller, der indgår i eksport af jern- og metalkrot, som handles og eksporteres af den danske genvindingsbranche. Samtidig vurderes omfanget af tab af legeringsmetaller under genvindingsprocesserne.

I forbindelse med undersøgelsen har aktører inden for genvindingsvirksomheder, støberier, smelteværker og brancheforeninger bidraget med værdifuld viden og sparring. Vi er derfor stor tak skyldig til virksomheder, brancheforeninger og enkeltpersoner, som har afsat tid og ressourcer til interviews og møder, og som har formidlet indsigt i branchens forretningskoncepter og tanker om bedre genanvendelse. Eventuelle fejl og misforståelse bærer vi alene ansvaret for.

Forkortelser

Forkortelse	Forklaring
ADS	Affaldsdatasystemet
AOD	Argon Oxygen Decarburization
ASTM	International standardiseringsorganisation, der udvikler og offentliggør konsensustekniske standarder for materialer
CN	Combined Nomenclature
BOF	Basic Oxygen Furnace
DSBF	Danske Støberiers Brancheforening
DST	Danmarks Statistik
EAF	Electric Arc Furnace
EAK	Det Europæiske Affaldskatalog
EoL	End of Life
ESSS	European Steel Scrap Specification
FN	Forenede Stater
GI	Genvindingsindustrien
HMS	Heavy Melting Steel (HMS 1 – Gammelt svært jern, HMS 2 – gammelt let jern)
HSLA steel	High-Strength-Low-Alloy steel
IMF	Den Internationale Valutafond
ISRI	Institute of Scrap Recycling Industries
KN	Kombinerede Nomenklaturer
LDT	Light Displacement Tonnage: Vægt af skib uden last, brændstof og vand
LME	London Metal Exchange
LoW	List of Waste = EAK-kode
OECD	Organization for Economic Co-operation and Development
RR	Recovery Rate
VOD	Vacuum Oxygen Decarburization
WEEE	Waste from Electrical and Electronic Equipment

Forkortelse – grundstoffer	Forklaring
Al	Aluminium
Bi	Bismut
Cd	Cadmium
Co	Kobolt
Cr	Krom
Cu	Kobber
Mg	Magnesium

Mn	Mangan
Mo	Molybdæn
Nb	Niobium
Ni	Nikkel
Sn	Tin
Ti	Titan
V	Vanadium
W	Wolfram
Zn	Zink
Zr	Zirkonium

Tabeloversigt

Tabel I-1	Fordeling af skrottyper og legeringsmetaller i de industrier, som producerer skrot.....	19
Tabel I-2	Estimater for indholdet af udvalgte legeringsmetaller i forskellige typer af eksporteret skrot fra Danmark i 2017.....	20
Tabel I-3	Relative vurderinger af tab af skrotlegeringsmetaller i det cirkulære kredsløb.....	20
Table II-1	Distribution of types of scrap, main sector of origin, and embodied alloy metal.....	24
Table II-2	Estimates for the content of selected alloy metals in different types of exported scrap from Denmark in 2017.....	24
Table II-3	Relative potential scale of Recycling Ratio of embodied alloy metals in different types of scrap.....	25
Tabel 1	Oversigt over EU-Kommissionens 29 kritiske mineralske råstoffer.....	30
Tabel 2	Kapitelopdeling af varekoder i den Kombinerede Nomenklatur under Afsnit XV.....	36
Tabel 3	EAK-kodesystemets 20 kapitler som beskrevet i Affaldsbekendtgørelsen.....	37
Tabel 4	Oversigt over virksomheder, brancheforeninger, institutter og myndigheder, som har været besøgt i forbindelse med Scrap-Track-projektet.....	39
Tabel 5	Definition af kode 01 i det danske system om behandlingsaktiviteter og kode R4 og R12 i den europæiske nyttiggørelseskode.....	46
Tabel 6	Korrekte og ukorrekte kombinationer af de danske behandlingsaktiviteter og de europæiske nyttiggørelseskoder (R1-R13).....	47
Tabel 7	Muligt scenarie vedrørende kategorisering af skrot af støbt aluminium og syrefast rustfrit stål.....	50
Tabel 8	Eksempel på læsning af Tabel 9 til Tabel 14 på baggrund af Tabel 9.....	55
Tabel 9	Affald og skrot af ulegeret jern og stål.....	57
Tabel 10	Affald og skrot af legeret stål.....	59
Tabel 11	Affald og skrot af forfinnet jern og stål.....	59
Tabel 12	Affald og skrot af rustfrit stål.....	60
Tabel 13	Affald og skrot af rødmetaller.....	61
Tabel 14	Affald og skrot af aluminium.....	62
Tabel 15	Oversigt over antal fuldtidsbeskæftigede for de fire undergrupper af støberier i perioden 2008-2017.....	67
Tabel 16	Oversigt over antal produktionssteder for de fire undergrupper af støberier i perioden 2008-2017.....	67
Tabel 17	De mest almindelige legeringsmetaller og deres egenskaber i stållegeringer, rustfrit stål og legeret stål.....	76
Tabel 18	Oversigt over de fem overordnede grupper af rustfrit stål med typiske legeringsmetaller, indhold, fordele, begrænsninger og typiske anvendelser.....	80
Tabel 19	De mest almindelige legeringsmetaller og deres egenskaber i aluminiumlegeringer.....	82
Tabel 20	Typiske aluminiumprodukter, anvendelsesmuligheder, aluminiumindhold og legeringsmetaller for støbte og smedede aluminiumprodukter.....	83
Tabel 21	De mest almindelige legeringsmetaller og deres egenskaber i kobberlegeringer.....	86
Tabel 22	Ved smeltning af stålskrot ses et skøn over opdelingen af legeringsmetaller mellem stål og slagge i EAF'er.....	94
Tabel 23	Import og eksport af jern- og stålskrot i 2017 fordelt på KN-koder i Danmarks Statistiks opgørelse af international varehandel.....	117
Tabel 24	Sammenstilling af KN-koder og ESSS for hvordan almindeligt jern- og stålskrot kategoriseres efter ESSS.....	118
Tabel 25	Estimeret maksimalt indhold af udvalgte legeringsmetaller i almindeligt stålskrot 7204 4990 eksporteret fra Danmark i 2017.....	119
Tabel 26	Estimeret maksimalt indhold af udvalgte legeringsmetaller i fire forskellige slags almindeligt stålskrot eksporteret fra Danmark i 2017.....	119
Tabel 27	Typisk legeringsindhold af mangan i støbejern samt estimerede lave og høje tonnage af mangan i skrot af støbejern 7204 1000 eksporteret fra Danmark i 2017.....	120

Tabel 28	Estimeret indhold af tin i skrot af fortrinnet jern- og stålskrot 7204 3000 eksporteret fra Danmark i 2017.....	120
Tabel 29	Typisk indhold af legeringsmetallerne mangan, krom, nikkel, molybdæn, niobium, kobber og tin i rustfrit stål og estimerede indhold af de nævnte legeringsmetaller i rustfrit stålskrot fra kategori 7204 2110 og 7204 2190 eksporteret fra Danmark i 2017.....	123
Tabel 30	Typisk indhold af legeringsmetallerne mangan, krom, nikkel, molybdæn, niobium, vanadium og aluminium i legeret stålskrot og estimerede indhold af de nævnte legeringsmetaller i legeret stålskrot kategori 7204 2900 eksporteret fra Danmark i 2017...	123
Tabel 31	Legeringsindholdet i dansk eksporteret shredderjern og indholdet af 12 forskellige legeringsmetaller analyseret på to prøver af 'typiske' shredderjern-partier.....	123
Tabel 32	Indholdet af udvalgte legeringsmetaller i dansk eksporteret jern- og stålskrot i 2017...	124
Tabel 33	Import og eksport af aluminiumskrot fordelt på KN-koder i Danmarks Statistiks opgørelse af international varehandel.....	124
Tabel 34	Typisk indhold af legeringsmetallerne jern, kobber, mangan, zink, magnesium, krom, nikkel, bly, tin, bismut og titan i amerikansk aluminiumskrot og estimerede indhold af de nævnte legeringsmetaller i aluminiumskrot kategori 7602 0011, 7602 0019 og 7602 0090 eksporteret fra Danmark i 2017.....	126
Tabel 35	Import og eksport af kobberskrot i 2017 fordelt på KN-koder i Danmarks Statistiks opgørelse af international varehandel	127
Tabel 36	Typisk indhold af legeringsmetallerne bismut, bly, zink, aluminium, jern, nikkel, tin, mangan og kobolt og estimerede indhold af de nævnte legeringsmetaller i kobberskrot i kategori 7404 0010, 7404 0091 og 7404 0099 eksporteret fra Danmark i 2017	129
Tabel 37	Eksporterede skrotmængder i 2017 ifølge Danmarks Statistik og beregninger på baggrund af data fra Affaldsdatasystemet.....	130
Tabel 38	Med udgangspunkt i jern- og stålskrot eksporteret fra Danmark i 2017 indenfor byggeindustrien ses et eksempel på læsning af Tabel 39, Tabel 47 og Tabel 49.....	130
Tabel 39	Estimerede skrotmængder fra de seks største jern- og stålskrotkilder eksporteret fra Danmark i 2017.....	131
Tabel 40	Indholdet af legeringsmetaller i typiske ståltyper, som blev brugt i køretøjer fremstillet i 1993-2002, samt estimerede mængder legeringsmetaller der i 2017 blev eksporteret i dansk skrot fra udtjente køretøjer.....	136
Tabel 41	Indholdet af legeringsmetaller i forskellige typer stål som bruges i konstruktioner, samt estimerede mængder legeringsmetaller der i 2017 blev eksporteret i dansk jern- og stålskrot fra byggeindustrien.....	138
Tabel 42	Indholdet af legeringsmetaller i forskellige ståltyper som bruges i maskiner, samt estimerede mængder legeringsmetaller der i 2017 blev eksporteret i dansk jern- og stålskrot i maskinindustrien.....	140
Tabel 43	Indholdet af legeringsmetaller i forskellige ståltyper som bruges i elektrisk og elektronisk udstyr, samt estimerede mængder legeringsmetaller der i 2017 blev eksporteret i dansk jern- og stålskrot fra elektronikindustrien.....	142
Tabel 44	Indholdet af legeringsmetaller i rustfrit stål og kulstofstål i emballage, samt estimerede mængder legeringsmetaller der i 2017 blev eksporteret i dansk jern- og stålskrot fra emballageindustrien.....	144
Tabel 45	Indholdet af legeringsmetaller i forskellige ståltyper som findes i kategorien 'øvrige'. Derudover ses estimerede mængder af udvalgte legeringsmetaller der i 2017 blev eksporteret i dansk jern- og stålskrot fra kategorien 'øvrige'.....	145
Tabel 46	Total mængde af udvalgte legeringsmetaller i jern- og stålskrot fra de seks største skrotkilder (ton) eksporteret i 2017.....	147
Tabel 47	Estimerede skrotmængder fra de seks største aluminiumskrotkilder eksporteret fra Danmark i 2017.....	149
Tabel 48	Indholdet af de vigtigste legeringsmetaller i aluminiumlegeringer, samt estimerede mængder legeringsmetaller der i 2018 blev eksporteret i dansk aluminiumskrot fra de seks hovedkilder.....	152
Tabel 49	Estimerede skrotmængder fra de fem største kobberskrotkilder eksporteret fra Danmark i 2017.....	156
Tabel 50	Indholdet af de vigtigste legeringsmetaller i kobberlegeringer fra de fem største hovedkilder, samt estimerede mængder af legeringsmetaller der i 2017 blev eksporteret i dansk kobberskrot fra de fem hovedkilder.....	159

Tabel 51	Estimeret samlet mængde legeringsmetaller i eksporteret skrot baseret på data fra DST og ADS.....	162
Tabel 52	Estimerede mængder legeringsmetaller eksporteret fra Danmark i jern- og stålskrot, aluminiumskrot og kobberskrot i 2017 ved brug af data fra Danmarks Statistik og Af-faldsdatasystemet.....	164
Tabel 53	Estimerede mængder (ton) eksporterede legeringsmetaller fordelt efter skrotkilde.....	165
Tabel A1	De syv danske behandlingsaktiviteter 01, 02, 03, 04, 07, 08 og 10 samt 11, som er en opsamlingsbetegnelse.....	182
Tabel A2	Oversigt over de europæiske nyttiggørelseskoder (R1-R13)	184
Tabel B1	Uddrag fra European Steel Scrap Specification.....	186
Tabel B2	Aimed analytical contents. Uddrag fra European Steel Scrap Specification.....	188
Tabel C1	Den europæiske standard for klassifikation af aluminiumskrot inddelt i klassifikati- onskoderne 13920-2 til 13920-16.....	189
Tabel D1	Udvalgte EAK-koder som omfatter affald af jern og metal.....	190
Tabel E1	Dansk Branchekode (DB07) med beskrivelse af branchen 38.32 – Genbrug af sorte- rede materialer.....	192
Tabel F1	Dansk Branchekode (DB07) med beskrivelse af støberibranchens underopdeling...	194

Figuroversigt

Figur 1	Flowdiagram for den lineære økonomi, og hvordan økonomien gøres cirkulær.....	31
Figur 2	Estimerede globale genanvendelsesrater for 60 udvalgte metaller opdelt i fem klasser efter genanvendelsesraten.....	32
Figur 3	Typificering af den cirkulære økonomi med angivelse af materialelækager.....	33
Figur 4	Flowdiagram over den danske affaldssektor.....	43
Figur 5	Flowdiagram for den danske affaldssektor med udgangspunkt i jern- og metalskrot...	44
Figur 6	Overblik over virksomhedernes kategorisering af skrot.....	46
Figur 7	Flowdiagram for hvilke(n) procedure(r) der træder i kraft ved eksport af affald.....	52
Figur 8	Kort over genvindingsvirksomheder i Danmark.....	65
Figur 9	Eksempler på kobberskrot.....	69
Figur 10	Eksempler på jernskrot.....	69
Figur 11	Oversigt over oparbejdningsforløbet for jern- og stålskrot inddelt i seks grundlæggende trin.....	70
Figur 12	Shredderformateriale bestående af sammenblandet jern- og metalskrot.....	71
Figur 13	Forskellige former for aluminiumskrot.....	72
Figur 14	Nyskrot af let jern i form af afklip.....	73
Figur 15	Flowdiagram for de typiske oparbejdningsforløb for legeret stål, ulegeret stål, blandet skrot bestående af primært jern og stål og rustfrit stål.....	74
Figur 16	Et typisk eksempel på anvendelse af kulstofstål i form af stålbjælker.....	77
Figur 17	Inddeling af rustfrit stål på baggrund af indholdet af krom og nikkel.....	79
Figur 18	Blandet gammelt skrot af syrefast rustfrit stål.....	81
Figur 19	Aluminiumskrot.....	83
Figur 20	Rent kobberskrot af kabler og rør.....	87
Figur 21	Messingskrot.....	88
Figur 22	'The Metal Wheel'.....	91
Figur 23	Flowdiagram for fremstilling af (primært) kulstofstål ved brug af jern- og stålskrot.....	92
Figur 24	Flowdiagram for teknologien til rustfri stålproduktion ved brug af jern- og metalskrot...	95
Figur 25	Største modtagerlande af eksport af dansk legeret og rustfrit stålskrot i 2017.....	96
Figur 26	Flowdiagram over metoder, processer og skrottyper i genanvendelse af aluminium...	97
Figur 27	Muligheder og begrænsninger for genanvendelse af typiske aluminiumlegering som indgår i biler.....	98
Figur 28	Fordeling af grundstoffer blandt gas, slagge og metalfaser ved simuleret modellering af aluminiumsmeltning.....	99
Figur 29	Gammelskrot af smedet aluminium såsom profiler, stænder samt en stige.....	100
Figur 30	Støbte aluminiumfælg der bl.a. kan have indhold af silicium og magnesium.....	101
Figur 31	Flowdiagram over processer ved genanvendelse af kobberskrot.....	102
Figur 32	Største modtagerlande af eksport af dansk jern- og stålskrot i 2017.....	105
Figur 33	Største modtagerlande af eksport af dansk aluminiumskrot i 2017.....	106
Figur 34	Største modtagerlande af eksport af dansk kobberskrot i 2017.....	108
Figur 35	Prisudviklingen for metalråvarer.....	109
Figur 36	Udviklingen i import af stålskrot inklusiv shredderjern i de største modtagerlande.....	110
Figur 37	Udviklingen i import af rustfrit stålskrot i de største modtagerlande og for hele verden	111
Figur 38	Udviklingen i import af aluminiumskrot i de største modtagerlande og hele verden....	112
Figur 39	Udviklingen i import af kobberskrot i de største modtagerlande og hele verden.....	113
Figur 40	Miljøbehandlede biler klar til sortering inden behandling i en shredder.....	134
Figur 41	Antallet af skrottede biler i Danmark i 2017, fordelt på bilernes alder.....	135
Figur 42	Typisk fordeling af jern- og ståltyper i biler produceret i perioden 1993-2002.....	135
Figur 43	Fordelingen af jern- og ståltyper i byggeindustrien.....	137
Figur 44	Sammensætningen af typiske jern- og ståltyper anvendt i maskinindustrien.....	139
Figur 45	Fordelingen af stål anvendt i elektronikindustrien.....	141
Figur 46	Fordelingen af stål anvendt i emballageindustrien.....	143
Figur 47	Fordelingen af jern- og ståltyper i kategorien 'øvrige'.....	144

Figur 48	Materialebalance for krom under genvinding af rustfrit stål i Japan i 2005.....	166
Figur 49	Materialebalance for nikkel ved genvinding af rustfrit stål i Japan i 2005.....	167

Anvendte begreber og definitioner

Affald og restmaterialer

Ikke-metallholdigt affald som glas, plast, gummi, træ, papir m.m.

Bæredygtig genanvendelse af skrot

Ingen metaller tabes i genvindingsprocessen som følge af utilstrækkelig viden om skrottets sammensætning, uhensigtsmæssig proces eller økonomiske forhold.

Cirkulær økonomi

Materialer og produkter bevares i det økonomiske kredsløb med den højest mulige værdi og i længst mulig tid.

Downcycling

Materialet/metallet har under genvindingen ikke genvundet den oprindelige kvalitet og kan derfor kun genanvendes i produkter med reducerede krav til materialespecifikationer.

Eksempel: Nogle legeringsmetaller oxiderer under omsmeltingen og flytter fra smelten til slaggen. I visse tilfælde kan slaggen anvendes til sekundære formål, fx til vejfyld, og legeringsmetallet mister værdi.

End-of-Life (EoL)

Engelsk betegnelse for produkter som ikke længere er i brug, og derfor skal kasseres, hvilket kan skyldes at produktet er gået i stykker, dets funktionalitet er ophørt eller hvis det vurderes, at produktet er utidssvarende og skal udfases.

Eksempel: Begrebet bruges typisk til at beskrive udtjente biler, der skal skrottes (End-of-Life Vehicles), og elektronik (WEEE).

Funktionel genanvendelse (*Functional recycling*)

Såfremt et EoL-produkt eller -materiale indsamles, sorteres og oparbejdes for at blive genanvendt på en måde, hvor metallets egenskaber bibeholdes og kan udnyttes til samme eller lignende produkter.

Eksempel: Omsmelting af syrefast rustfrit stål, hvor legeringsmetallerne bibeholdes i det nye materiale og bidrager til at den oprindelige legeringsammensætning.

Funktionelt tab

Opstår hvor et eller flere legeringsmetaller følger med i smelten af hovedmetallet og dermed findes i nye produkter uden at bidrage til produktegenskaberne.

Eksempel: Nogle legeringsmetaller i smedet aluminium føres med over i nye støbte aluminiumlegeringer uden at deres materialeegenskaber udnyttes funktionelt. Legeringsmetallet forsvinder ud af det funktionelle kredsløb og er tabt.

Gammelskrot (*Old scrap*)

Gammelskrot omfatter kasserede produkter og materialer som fx skrottede biler, udtjente husholdningsprodukter, nedrivningsmaterialer fra bygningskonstruktioner, samt 'småt metal' fra genbrugspladser mv. (eng. *post-consumer scrap*).

Gammelskrot andel (*Old Scrap Ratio*)

Angiver den andel af den totale genanvendelsesmængde, der udgøres af gammelskrot i forhold til nyskrot.

Genanvendelse

Genanvendelse anvendes synonymt med omsmelting og henviser til, at metaller i skrot under omsmelting kan frigøres og dermed er tilgængeligt for ny produktion.

Genanvendelsesrate (*EoL-Recycling Rate*)

Når metaller omsmeltes, sker der tab i forskelligt omfang som afhænger af de enkelte metaller, legeringer og processer. Genanvendelsesraten udtrykker den andel, som er frigjort til fremstilling af nye produkter. Selvom der foregår en konstant optimering og effektivisering af genanvendelsesprocesserne, vil termodynamikkens love og andre begrænsninger betyde, at et globalt genanvendt materiale på 100 % aldrig vil kunne opnås.

Genanvendt materiale (*Recycled Content*)

Genanvendt materiale refererer til den andel af et produkt, der består af sekundært materiale, herunder både gammel- og nyskrot fra hhv. overskudsproduktion og EoL-produkter.

Genbrug

Den samme genstand/det samme materiale bruges igen til samme formål uden forudgående nedbrydning og omdannelse. Dermed kan et produkt eller materiale helt eller delvist bevare sin form og funktionalitet i en ny sammenhæng.

Eksempel: Genbrug af konstruktionsstål som stålbjælker og stålbeklædning; eller en magnet genbruges som en magnet.

Genvinding

Aktiviteter og processer som har til formål at genanvende materialer eller nogle af materialets bestanddele. Metallerne kan blive genvundet (recycled) i forskellige grader af funktionalitet. Eksempel: Ved genvinding af stål forbliver nogle legeringsmetaller i smelten og indgår funktionelt i nyt stål, mens andre legeringsmetaller ikke genvindes funktionelt, eller tabes til slaggen. Genvinding har grundlæggende samme betydning som begrebet genanvendelse og bruges oftest til at beskrive oparbejdning og genanvendelse af skrot.

Ikke-funktionel genanvendelse (*Non-functional recycling*)

Den andel af et EoL-produkt eller -materiale, der indsamles til genanvendelse, og som udsorteres i en skrotfraktion, der ikke muliggør en egentlig funktionel genanvendelse af metallet. Dermed ender metallet som et forurenende element eller urenhed i den nye produktion, da dets egenskaber ikke udnyttes.

Eksempel: Omsmelting af skrot af kulstofstål hvori der utilsigtet er fraktioner af kobberskrot. Kobberet vil i dette tilfælde blive fysisk genanvendt, da det på ny indgår i et produkt, men dets egenskaber vil gå tabt. Ved for høje koncentrationer vil kobberet have en negativ effekt for kvaliteten af kulstofstålet. Ved ikke-funktionel genanvendelse bliver metallet *downcycled* og udgør derfor et ressourcestab.

Jern- og metalskrot

Branchebetegnelse hvor jern omfatter både jern og stål, mens metal omfatter alle øvrige metaller.

Legeringer

Materialer bestående af flere metaller.

Eksempel: Stål består af hovedmetallet jern, som er tilsat andre metaller, der giver stålet de ønskede egenskaber, fx at det er rustfrit, hårdt, smidigt, let at bearbejde o.l.

Legeringsmetal

Metal som, for at give materialet bestemte fysiske egenskaber, tilsættes smelten af hovedmetaller.

Lækage

Begrebet anvendes om de 'utætheder', der er i de cirkulære kredsløb, og som skal erstattes med primære råstoffer.

Metaller

Omfatter de grundstoffer som i det periodiske system er klassificeret som metaller, letmetaller og overgangsmetaller. I denne rapport behandles 18 metaller: jern, aluminium, kobber, bismut, bly, gallium, kobolt, krom, magnesium, mangan, molybdæn, nikkel, niobium, tin, titan, vanadium, wolfram og zink.

Mineralske råstoffer

Naturligt dannede mineraler hvoraf hele eller dele af mineralet kan nyttiggøres. Mineralske råstoffer opdeles typisk i industrimineraler (sand, grus, kvartsit, kalk m.m.) og metaller som fx jernmalm. Mineralske råstoffer udvindes ved minedrift og efterfølgende forarbejdning og raffinering.

Nyskrot (*New scrap*)

Skrot som opstår i virksomheder som led i fremstilling af produkter, fx fra afklipninger, udstansninger, huller, skæringer og anden bearbejdning af jern og metal. Nyskrot er karakteriseret ved at være velbestemt med hensyn til indhold af legeringsmetaller og er desuden homogent med hensyn til materialetype og udformning og har derfor en relativt højere værdi end gammelskrot.

Omsmelting

Alle former for smelteprocesser af metalskrot, som sker med henblik på genvinding.

Primært materiale

Jomfrueligt inputmateriale i produktionen som fx mineralske råstoffer, der ikke har indgået i nogen form for produktion.

Sekundært materiale

Genanvendt inputmateriale i produktionen der tidligere har været i brug og først efter oparbejdning og forarbejdning igen bruges i industrien.

Shredder

Mekanisk proces/maskine til neddeling af større stykker skrot. Det neddelte skrotmateriale udsorteres efterfølgende i skrotfraktioner med henblik på omsmelting og genvinding.

Skrot og skrotprodukter

Brancheudtryk om kasserede metalprodukter, som indsamles med henblik på genvinding. Branchen opdeler skrot i hovedgrupperne jern- og metalskrot. Skrot er handelsvarer, som prissættes i forhold til metalspecifikationer.

Stål

Fællesbetegnelse for forskellige legeringer, der primært består af jern med et lavt kulstofindhold (<2,1 %).

Tab (Losses)

Den mængde metal som helt eller delvist mistes under genanvendelsesprocessen, og som derfor skal erstattes af nye råstoffer. Tabene kan både være som følge af utilstrækkelig indsamling og som følge af tab under genvindingsprocessen – som er begrænset af både fysiske og økonomiske vilkår.

Sammendrag

Metaller har til alle tider været forudsætningen for menneskers dagligdag, og i det moderne samfund bruges store mængder af forskellige metaller til fremstilling af stort set alt, hvad vi omgiver os med. Det stærkt stigende globale forbrug af metaller har sat øget fokus på nødvendigheden af bæredygtighed. Den globale genvindingsindustri indsamler, behandler og eksporterer millioner af ton jern- og metalkrot årligt og bidrager til øget bæredygtighed og indfrielse af flere af FN's bæredygtighedsmål. Metaller har den egenskab, at de – teoretisk – kan genanvendes igen og igen. Men i praksis sker der betydelige tab, hver gang metaller genanvendes. Identifikation og reduktion af disse materialetab er en forudsætning for øget bæredygtighed og mere cirkulære materialekredsløb.

De fleste metalliske materialer består af blandinger af forskellige metaller – legeringer – som giver materialet specifikke tekniske egenskaber. Der findes et utal af legeringer, og derfor indeholder skrot også mange legeringer. Ved genvinding af skrot mistes en del af legeringsmetallerne helt eller bliver ikke genvundet som funktionelle metaller. Der er meget lidt kvalitativ og kvantitativ viden om tabet af legeringsmetaller fra skrot. Med udgangspunkt i eksport af dansk skrot i 2017 er der i Scrap-Track-projektet udført estimater for eksportvolumen af legeringsmetaller og foretaget kvalitative skøn over, hvilke af disse der enten ikke genvindes funktionelt eller helt mistes. Resultaterne af projektet fremlægges i nærværende rapport.

I Danmark er omkring 100 virksomheder beskæftiget med indsamling, bearbejdning og eksport af skrot. Hovedparten af disse er mindre virksomheder, som arbejder ud fra et par indsamlings-/forarbejdningspladser; typisk med færre end 20 beskæftigede. Sektoren omfatter desuden et par store virksomheder med flere pladser og egne større forarbejdningsanlæg; disse store virksomheder står for hovedparten af skrotekporten fra Danmark.

Der er ikke længere smelteværker i Danmark, og støberierne er derfor de eneste danske aftagere af skrot. I 2017 var der i branchen 45 støberier, hvoraf 13 producerede rustfri stålprodukter, mens de resterende producerede forskellige typer ikke-jernholdige metalprodukter, men kun et par af støberierne anvender stålskrot som råstof i produktionen.

Analyserne i rapporten er baseret på: (i) virksomhedsbesøg til udvalgte aktører i Danmark, Sverige og Tyskland i skrot-værdikæderne, og (ii) statistiske data fra 2017 fra Danmarks Statistik (DST), Affaldsdatasystemet (ADS) og Eurostat.

På basis af nationale og internationale standarder, virksomhedsdata og litteraturdata er det fundet, at følgende 18 metaller er de mest almindelige legeringsmetaller i jern- og stålskrot, aluminiumskrot og kobberskrot: aluminium, bismut, bly, gallium, jern, kobber, kobolt, krom, magnesium, mangan, molybdæn, nikkel, niobium, tin, titan, vanadium, wolfram og zink; af disse anvendes 14 typisk i jern- og stålskrot, 12 i aluminiumskrot og ni i kobberskrot.

Ifølge DST eksporterede Danmark i 2017 omkring 1,6 mio. ton jern- og stålskrot, 91.000 ton aluminiumskrot og 34.000 ton kobberskrot; ved brug af ADS-data androg eksporten for de tre skrottyper henholdsvis 1,1 mio., 66.000 og 26.000 ton i 2017.

Ca. 60 % af den danske skroteksport eksporteres til EU-medlemslande, især Tyskland og Sverige; men der er voksende eksport til Kina, Indien og Tyrkiet. Det antages, at eksportfordelingen også afspejler eksporten af de indeholdte legeringsmetaller.

Data fra DST og ADS peger samstemmende på, at stålskrot indeholder de største mængder legeringsmetaller, hvilket især er krom, mangan, kobber, nikkel og molybdæn. Ifølge DST-data er aluminiumskrot den næststørste skrottype med hensyn til legeringsmetaller, hvor især zink, mangan og kobber udgør betydelige mængder. Derimod viser ADS-data, at kobberskrot er den næststørste skrottype med store mængder af legeringsmetallerne zink, nikkel, bly, tin og aluminium. Desuden er skrottypernes tilknytning til industrisektorer analysere-ret. Tabel I-1 viser disse sammenhænge.

Tabel I-1 Fordeling af skrottyper og legeringsmetaller i de industrier, som producerer skrottet. Eksportdata er behæftet med en betydelig usikkerhed.

Skrottyper	Industri	Samlet eksport ton*	Eksport af leg.metaller ton**	Vigtigste legeringsmetaller
Jern og stål	Byggeindustri (31 %)	341.000	9.800	Mangan, kobber, krom, nikkel, molybdæn
	Transportindustri (10 %)	105.000	4.300	Mangan, krom, aluminium, kobber, nikkel, molybdæn
	Maskinindustri (9 %)	100.000	3.700	Mangan, krom, kobber, nikkel, molybdæn, kobber, wolfram
Aluminium	Byggeindustri (31 %)	20.000	700	Magnesium, mangan, jern, kobber, zink
	Emballageindustri (11 %)	7.000	700	Magnesium, jern, mangan, kobber
	Maskinindustri (10 %)	6.000	800	Kobber, magnesium, nikkel, mangan, jern
Kobber	Byggeindustri (25 %)	6.000	4.600	Zink, tin, aluminium, mangan
	Elektronikindustri (23 %)	6.000	1.400	Zink, tin, bly, nikkel
	Maskinindustri (9 %)	2.000	2.100	Zink, bly, tin, aluminium

* afrundet til hele 1.000, ** afrundet til hele 100

Mængderne af de vigtigste legeringsmetaller, som eksporteres fra jern- og stålskrot, aluminiumskrot og kobberskrot er estimeret på basis af data fra både DST og ADS; som det fremgår af Tabel I-2, er der store afvigelser for legeringsmetallerne krom, mangan, zink, aluminium og magnesium.

Forskellen i resultaterne baseret på DST og ADS skyldes primært: (i) at ADS-data giver 20-30 % mindre eksportvolumen målt i forhold til DST-data; (ii) at de anvendte data fra DST er kategoriseret i forhold til skrottyper og kun indeholder information om vigtige legeringsmetaller; og (iii) at estimaterne for ADS er baseret på, at legeringsindholdet i nye produkter er anvendt som proxy for indholdet af legeringsmetaller i skrottet. Der er således ikke taget hensyn til forurening med andre skrottyper eller særlige oparbejdningsmetoder.

Flere legeringsmetaller, fx bismut, kobolt, niobium og vanadium, er alle klassificeret som kritiske råstoffer af EU-Kommissionen i 2020 (European Commission 2020b), og særlige forholdsregler bør derfor tages for disse råstoffer.

Tabel I-2 Estimer for indholdet af udvalgte legeringsmetaller i forskellige typer af eksporteret skrot fra Danmark i 2017. Estimerne er baseret på DST- og ADS-data.

Legeringsmetal	Primære skrottype	DST ton*	ADS ton*
Krom	Jern- og stålskrot	14.000	8.000
Mangan	Jern- og stålskrot	6.000	19.000
Zink	Aluminium- og kobberskrot	13.000	7.000
Kobber	Jern- og stålskrot	7.000	6.000
Nikkel	Jern- og stålskrot	7.000	6.000
Tin	Kobberskrot	2.000	2.000
Bly	Kobberskrot	2.000	2.000
Aluminium	Kobberskrot	1.000	2.000
Magnesium	Aluminiumskrot	5.000	1.000
Molybdæn	Jern- og stålskrot	1.000	600
Jern	Aluminium- og kobberskrot	1.000	600

* afrundet til hele 1.000

Som følge af tekniske og økonomiske udfordringer er det i praksis kun meget få legeringsmetaller, som genvindes til et funktionelt niveau. Omfanget af sådanne materialetab i den cirkulære økonomi kendes ikke, da der ikke foreligger specifikationer for det skrot, der eksporteres, ligesom der ikke er information om skrottets slutdestination og dermed heller ikke viden om de tekniske forhold for selve genvindingen. Men på basis af generel viden om de termodynamiske forhold, som gælder for de almindeligste genvindingsmetoder, er der foretaget en relativ vurdering af omfanget af lækagerne i det cirkulære kredsløb (Tabel I-3).

Tabel I-3 Relative vurderinger af tab af skrotlegeringsmetaller i det cirkulære kredsløb (RR: Recovery Rate).

Skrottype	Høj RR	Medium RR	Lav RR
Stål	Krom Wolfram Molybdæn Kobolt Nikkel	Zink Bly Mangan Titan Niobium Vanadium	Kobber Tin Bismut
Aluminium		Titan Mangan Kobber Krom Nikkel Jern	Zink Magnesium Tin Bly Bismut
Kobber	Zink Tin Bly Nikkel	Bismut Kobolt	Aluminium Jern Mangan Magnesium

Undersøgelsen har vist, at der i 2017 blev eksporteret betydelige mængder legeringsmetaller i dansk skrot, hvoraf en del enten ikke genvindes eller ikke genvindes som funktionelle metaller; der er intet der tyder på, at det samme ikke skulle være gældende for andre år. Tab af materialer kan især tilskrives manglende viden om skrottets sammensætning og manglende

teknologi. Derudover kan økonomi være en yderligere udfordring, da det ofte ikke er økonomisk rentabelt at genvinde materialet. Undersøgelsen konkluderer, at genvinding af skrotmetaller ikke er cirkulær, og at der er behov for en flerstrengt indsats for at reducere materialetab.

Den anvendte metode til vurdering af legeringsindholdet i jern- og metalskrot, som i princippet kan udbredes til andre lande, er publiceret i Tan *et al.* (2020).

Extended summary

Metals are among the most fundamental materials for human civilization, since our modern life is largely enabled by the use of metals in technologies, products, and infrastructure. However, the fast-growing demand for raw materials has caused global concern, to the extent that it is mentioned in the UN Sustainable Development Goals 2030, and national sustainability policies and action plans are being implemented. Recycling and circular economy are some of the answers.

An intrinsic property of metals is that they are – theoretically – infinitely recyclable. But in reality, this is not correct, and substantial amounts of alloy metals are lost in the course of the various recycling steps. The metal recycling sector collects, treats, and trades millions of tons of scrap annually, and it is a key player when it comes to sustainable resource management and circular economy globally, regionally, and nationally. Denmark is a typical industrialised country with a large amount of metal scrap being exported.

Since metals are often used in alloyed forms, the countries involved in international trade with metal scrap relocate their embodied alloying metals to other countries or regions than where the scrap is generated. Consequently, the loss of alloying metals or functionality caused by the recycling process is a potential concern when it comes to metal recycling and circular economy. However, the volume of such leakages remains poorly understood. The Scrap-Track Project mapped the Danish metal recycling sector and estimated the volume of the Danish metal scrap trade flows and the quantity and quality of their embodied alloying metals. The latter estimates were made by compiling an alloying metal composition database for three types of bulk metal scrap (iron and steel, aluminum, and copper), using the 2017 export volume data from Denmark as an example. Based on this, the report points to potential areas of improving sustainability in the metal scrap sector.

The analysis is based on: (i) a total of 12 company visits to pre-selected companies in Denmark, Sweden and Germany representing scrap dealers, remelters and foundries representing the steel, aluminum and copper industries; (ii) Danish and international (EU) statistical data covering the year 2017.

The volume of the export scrap metals in Denmark and other countries has been assessed by using two available main sources of data on the export of scrap metals: (i) custom data from Statistics Denmark (Danmarks Statistik (DST)) encompassing trade by scrap type/properties and destination countries, and (ii) waste data from the Danish Waste Data System (Affaldsdatasystemet (ADS)) encompassing trade by scrap type, sourcing sector, import and export value, and treatment option. DST uses the trade commodity codes adhering to the Combined Nomenclature (CN), and the development of ADS is based on the common European Waste Catalogue code system using the European List of Waste (LoW) codes (EAK-kode in Danish).

About 100 companies in Denmark are involved in collecting and sorting metal scrap, including a few large recycling companies, although the majority are small and medium-sized recycling companies and scrap dealers with fewer than 20 employees. Usually, the latter group has one or a couple of sites and operates locally, as opposed to the large recycling companies operating on a national scale out of several production units.

No smelter operators are active in Denmark anymore, and today the foundry industry is the only industrial sector in Denmark using scrap as a raw material for its production, although only a very limited amount. In 2017, the Danish foundry industry encompasses about 13 iron foundries, 6 steel foundries, 16 light metal foundries and 10 foundries described as foundries of non-ferrous metal products, with 45 workplaces or production sites, and employing c. 1.400 people.

Many alloying metals are added into the three bulk metals to achieve specific properties. In all, 18 dominant alloying metals are included in this study: aluminum, bismuth, chromium, cobalt, copper, gallium, iron, lead, magnesium, manganese, molybdenum, nickel, niobium, tin, titanium, tungsten, vanadium and zinc; of these 14 typically occur in iron and steel scrap, 12 in aluminum scrap, and 9 in copper scrap. The database for the composition of alloying metals consisting of three types of bulk metal scrap is derived from national/EU/international standards, company specifications, literature, and sector experts. Since DST data are already reported by scrap type, the corresponding composition of alloying metals is defined based on scrap quality for trading purposes of grade classification or value estimation, and thus include only key threshold alloying metals for quality. The composition of alloying metals of the ADS database is determined using new products and their feeding metal alloys as a proxy, and thus may result in an overestimate.

This study shows that the Danish 2017 export accounts for c. 1.6 mill. ton iron and steel scrap, 91,000 ton aluminum scrap, and 34,000 ton copper scrap according to DST; by using data from ADS the export was 1.1 mill., 66,000 and 26,000 ton respectively. Germany and Sweden are the major buyers for these export goods, and despite a growing export to countries like China, India, and Turkey, more than 60% of the Danish metal scrap export remains within the EU. Therefore, we assume that this is also the export pattern for the alloying metals leakage embodied in Danish scrap metal.

Regarding the total scrap export, both the DST and ADS data point to steel scrap as the main contributor to embodied exported alloy metals, particularly chromium, manganese, copper, nickel, and molybdenum account for high volumes. However, estimates based on the DST data suggest that aluminum scrap ranks second as a contributor to alloy metals, such as zinc, manganese, and copper; although when ADS data are used, the copper scrap alloy exports rank second, encompassing the embodied alloy metals of zinc, nickel, lead, tin, and aluminum.

The source of origin of most of the export scrap remains unknown. Among the identified sources, however, the construction sector is the top alloy export contributor. Further, the ensuing relationship between the sourcing end-use sector and the three main metals iron/steel, aluminum, and copper is shown in Table II-1.

Table II-1 *Distribution of types of scrap, main sector of origin, and embodied alloy metals. Export data is subject to uncertainty. Distribution of types of scrap, main sector of origin, and embodied alloy metals. Export data is subject to uncertainty.*

Type of export scrap	Sector of origin	Export ton*	Export alloy metals ton**	Main embodied alloy metals
Steel	Construction (31%)	341,000	9,800	Manganese, copper, chromium, nickel, molybdenum
	Transportation (10%)	105,000	4,300	Manganese, chromium, aluminum, copper, nickel, molybdenum,
	Machinery (9%)	100,000	3,700	Manganese, chromium, copper, nickel, molybdenum, tungsten
Aluminum	Construction (31%)	20,000	700	Magnesium, manganese, iron, copper, zinc
	Packaging (11%)	7,000	70	Magnesium, iron, manganese, copper
	Machinery (10%)	6,000	800	Copper, magnesium, nickel, manganese, iron
Copper	Construction (25%)	6,000	4,600	Zinc, tin, aluminum, manganese
	Electronic (23%)	6,000	1,400	Zinc, tin, lead, nickel
	Machinery (9%)	2,000	2,100	Zinc, lead, tin, aluminum

* rounded to whole 1,000, rounded to whole 100

These patterns reflect not only the use and end-of-life collection rates of scrap metals in different end-use sectors, but also the characteristics of different alloys used in different end-use applications.

Regarding the metals, estimates based on both DST and ADS databases show that chromium, manganese, and zinc are the three alloy metals with potentially highest volume embodied in exported scrap metal (Table II-2).

Table II-2 *Estimates for the content of selected alloy metals in different types of exported scrap from Denmark in 2017. The estimates are based on data from DST and ADS.*

Alloy metals	Main source	DST ton*	ADS ton*
Chromium	Steel scrap	14,000	8,000
Manganese	Steel scrap	6,000	19,000
Zinc	Aluminum scrap and copper scrap	13,000	7,000
Copper	Steel scrap	7,000	6,000
Nickel	Steel scrap	7,000	6,000
Tin	Copper scrap	2,000	2,000
Lead	Copper scrap	2,000	2,000
Aluminum	Copper scrap	1,000	2,000
Magnesium	Aluminum scrap	5,000	1,000
Molybdenum	Steel scrap	1,000	600
Iron	Aluminum scrap and copper scrap	1,000	600

* rounded to whole 1,000

The two database sources generate different absolute export results for the alloying metals due to: (i) the trade volume of scrap metals reported in ADS is 20-30% lower than volumes reported in DST, and (ii) the DST trade is categorized by varying types of scrap, where only

the concentrations of key threshold alloying metals are included, such as tramp metals copper and tin for quality, chromium and nickel for economy value; other alloy metals, such as vanadium and tungsten, are not covered; and (iii) as the estimates based on ADS trade is categorized as sourcing end-use sectors, for which the composition of alloying metals is derived using new products as a proxy. Polluted metals during products usage and sorting process are not taken into consideration.

Despite a lower export volume, a few metals such as cobalt, bismuth, vanadium, and niobium are regarded as critical materials by the European Commission, and consequently, special attention should be paid to the recycling rate of these metals.

In reality, only very few alloying metals used in small concentrations will be functionally recycled due to both metallurgical challenges and economic costs. The volume of such losses of alloy metals – or leakages in the circular economy – remains unrecorded, due to the lack of: (i) specifications for the scrap export; (ii) information on the actual scrap pathways after the scrap is exported from Denmark; and also as the applied technology and processes by the recycler is unknown. This study estimates the potential scale of leakage or loss of different alloying metals in metal scrap recycling, based on thermodynamic principles as follows in Table II-3.

Table II-3 *Relative potential scale of Recycling Ratio (RR) of embodied alloy metals in different types of scrap.*

Skrottype	High RR	Medium RR	Low RR
Steel	Chromium Tungsten Molybdenum Cobalt Nickel	Zink Lead Manganese Titanium Niobium Vanadium	Copper Tin Bismuth
Aluminum		Titanium Manganese Copper Chromium Nickel Iron	Zink Magnesium Tin Lead Bismuth
Copper	Zink Tin Lead Nickel	Bismuth Cobalt	Aluminum Iron Manganese Magnesium

These results support the observation that most impurities contained in aluminum scrap are not removed to any appreciable degree under actual operating conditions. Therefore, sorting of aluminum scrap is extremely important if we want to have functional recycling for alloying metals.

In conclusion, our results clearly show that the quantities of alloying metals embodied in Danish exported scrap can be considerable, and a significant amount of these alloying metals

might not be functionally recycled and may thus lead to leakage of alloying metals (further reading in Tan *et al.* (2020)).

There is an untapped potential for improving the recycling rate for alloying metals in metal scrap with the development of ongoing recycling technologies. Given the level of maturity of the Danish economy, it is very likely that Denmark continues to be a major net exporter of scrap metals in the future. Therefore, Denmark could contribute more when it comes to improving the metal scrap sorting process. A higher recycling rate of alloying metals in metal scrap also requires life cycle thinking and a global perspective that takes material recovery into account when scrap reprocessing moves across borders. Considering this, further investigation into how the trade of scrap metals affects the recycling pathways and efficiency (including for alloying metals) is important for global and regional resource and circular economy strategies.

1. Formål

Danmark har kvantitative eksport- og miljødata for jern- og metalskrot, men der er meget lidt viden om indholdet af metaller i disse materialestrømme og om genanvendelsesraten af metallerne.

Formålet med Scrap-Track-projektet er derfor at:

- Forstå værdikæderne for handel og eksport af jern- og metalskrot for at kunne estimere væsentlige ikke-registrerede metalstrømme,
- Vurdere i hvilken grad disse metalstrømme er cirkulære, og
- Identificere mulige potentialer til minimering af materialetab og dermed muligheder for at forbedre bæredygtigheden.

2. Afgrænsning af undersøgelsen

Undersøgelsens og analysens hovedfokus er de dominerende skrottypers indhold af legeringsmetaller.

Brancheinterviews danner baggrund for en beskrivelse af den danske genvindingsbranche for jern- og metalkrot, branchestrukturer, overordnede forretningskoncepter og de vigtigste skrottyper samt genvindingsmetoder.

Statistiske data for dansk eksport og data fra affaldsdatasystemet af de dominerende fraktioner af jern- og stålskrot, aluminiumskrot og kobberskrot, samt litteraturbaseret information om legeringssammensætninger er anvendt til estimater for volumener af hoved- og legeringsmetallerne, som eksporteres med henblik på omsmeltning.

Andre typer af skrot, såsom elektriske- og elektroniske produkter (WEEE - Waste from Electrical and Electronic Equipment), katalysatorer, batterier, akkumulatorer og affaldsslagger er kun omtalt, hvor det er vigtigt for sammenhængen. Af denne grund kan der forekomme mindre overlap mellem forskellige skrottyper,

Forhold knyttet til økonomi og afledte klima- og miljømæssige faktorer er ikke inddraget.

3. Baggrund

3.1 Politiske bæredygtighedsinitiativer

Forbruget af Jordens mineralske ressourcer er, som følge af både global befolkningstilvækst og økonomisk vækst, stadigt stigende og er i dag mere omfattende end på noget andet tidspunkt i historien. Hertil kommer, at nye teknologier på en lang række områder har øget behovet for forskellige grundstoffer til nye materialer og har diversificeret råstofefterspørgslen.

Den voksende efterspørgsel på mineralske råstoffer – som indeholder de industrielle grundstoffer – har resulteret i en voksende politisk fokus på nødvendigheden af bæredygtighed, hvilket bl.a. giver sig udtryk i både globale målsætninger (fx FN's *17 Verdensmål* fra 2015, Forenede Nationer 2019) og nationale strategier (i Danmark fx strategien *Danmark uden affald* fra 2013 (Regeringen 2013)).

Blandt de 17 verdensmål adresserer Verdensmål 12 *Ansvarligt forbrug og produktion*, samt spørgsmålet omkring ressource- og energieffektivitet bæredygtighed ved at fremhæve behovet for en mere bæredygtig tilgang til forbrug og produktion i hele forsyningskæden fra udvinding, forarbejdning og produktion til forbrug og genanvendelse. For metallernes vedkommende kan disse, teoretisk set, genanvendes igen og igen til nye råmaterialer uden en forringelse af egenskaberne, men som beskrevet i kapitel 8 og 11 er praksis ganske anderledes.

Størstedelen af de essentielle mineraler og metaller som anvendes i de europæiske industrier, udvindes og produceres udenfor EU og råstofforsyningerne til EU sker i konkurrence med andre lande og regioner, hvilket har gjort en sikker og bæredygtig råstofforsyning til et højt prioriteret politisk emne i EU. Dette ses bl.a. i EU's *Råstofinitiativ* fra 2008, der er et strategisk arbejde igangsat for at sikre en bæredygtig og økonomisk sikker råstofforsyning til de europæiske industrier (European Commission 2017). Særligt politisk fokus er der på den gruppe af råstoffer, som er karakteriseret ved at være industrielt vigtige og for hvilke forsyningerne er usikre, og som betegnes *de kritiske råstoffer*. EU-kommissionen har siden 2010 udarbejdet lister over disse råstoffer og senest i september 2020 blev 29 mineralske råstoffer klassificeret som kritiske (Tabel 1) (European Commission 2020b).

De kritiske råstoffer udvindes og produceres især i Kina, Brasilien, Rusland og Sydafrika (European Commission 2020b). I tillæg til de geopolitiske udfordringer for råstofforsyningerne ses også en tendens til monopoliseringer af hele eller væsentlige dele af værdikæderne, hvilket reducerer forsyningssikkerheden. Blandt andet derfor har genvinding af skrot fået stor politisk bevågenhed, da det på kort sigt giver mulighed for at afhjælpe manglen på kritiske råstoffer i EU og på langt sigt bidrager til at opfylde FN's verdensmål.

I Danmark fremlagde regeringen i 2013 strategien *Danmark uden affald* med målsætningen om, at 50 % af al dansk husholdningsaffald i 2022 skal genanvendes (Regeringen 2013). Danmark var i 2013 blandt Europas mest affaldsproducerende lande målt pr. indbygger, og initiativet skulle derfor tilskynde til en højere udnyttelsesgrad af affaldets værdifulde ressourcer ved genbrug eller genanvendelse frem for forbrænding eller deponering. Ligeledes blev

der sat fokus på at reducere miljøpåvirkninger fra affaldet samt at styrke og understøtte selve infrastrukturen på affaldsområdet ved bl.a. at fremme det offentlige-private samarbejde, støtte de kommunale indsamlingsordninger og give tilskud til bedre sorterings- og behandlingsanlæg (Regeringen 2013). Allerede i 2016 udgjorde genanvendelsesraten 36 %, i forhold til 28 % i 2013 (Miljøstyrelsen 2018), hvilket illustrerer at der kan opnås store effekter på kort tid.

Tabel 1 Oversigt over EU-kommissionens 29 kritiske mineralske råstoffer (European Commission 2020b). Nogle af disse anvendes som legeringsmetaller; de som indgår i nærværende analyse, er markeret med **fed**.

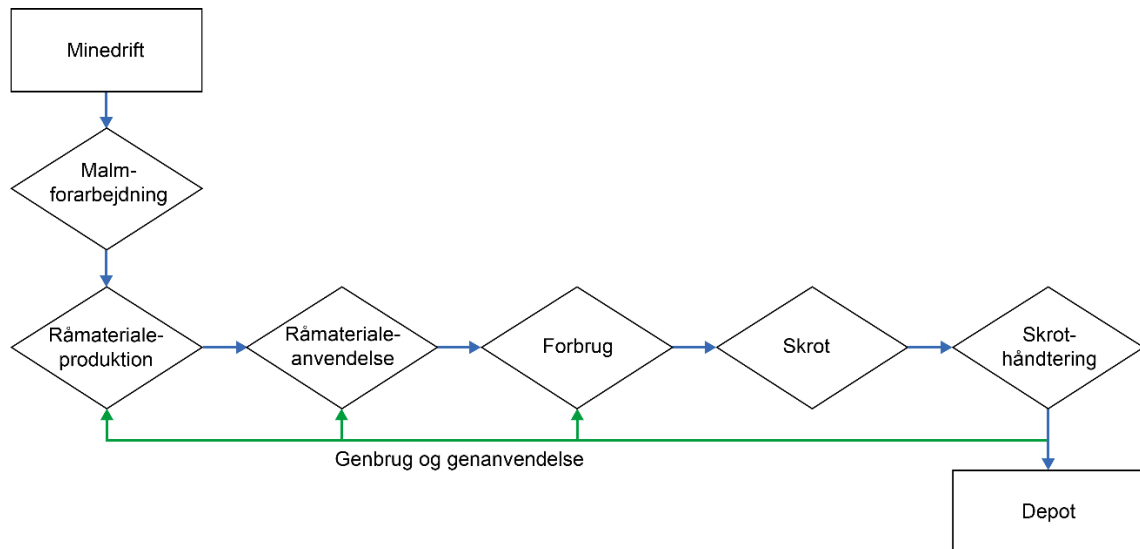
Kritiske mineralske råstoffer i EU i 2020		
Antimon	Germanium	Sjældne jordartsmetaller (REE), lette (L)
Baryt	Grafit	Sjældne jordartsmetaller (REE), tunge (H)
Bauxit	Hafnium	Scandium
Beryllium	Indium	Siliciummetal
Bismut	Industrikel	Strontium
Bor	Kobolt	Tantal
Flusspat	Litium	Titan
Fosfatbjergarter	Magnesium	Vanadium
Fosfor	Niobium	Wolfram
Gallium	Platingruppemetaller (PGM)	

I 2016 nedsatte regeringen *Advisory Board for cirkulær økonomi*, som skulle komme med anbefalinger til at styrke og fremme den cirkulære økonomi i dansk erhvervsliv (Miljø- og Fødevarerministeriet 2017a). I juni 2017 udkom rapporten *Advisory Board for cirkulær økonomi: Anbefalinger til regeringen* med 27 konkrete anbefalinger til, hvordan Danmark på sigt kan blive en førende aktør inden for den grønne omstilling. I rapporten peges der bl.a. på nødvendigheden af og mulighederne for, at produkter og materialer skal bibeholdes i det samfundsmæssige kredsløb efter endt levetid i det omfang, det er teknisk og økonomisk muligt. Men skrotsektorens udfordringer og potentialer er kun behandlet perifert.

3.2 Begreber for og grader af genanvendelse

Cirkulær økonomi er den ultimative form for genanvendelse, fordi ingen materialer som udgangspunkt tabes. Den cirkulære økonomi ses derfor som kontrasten til den lineære økonomi, hvor råstoffer forarbejdes til produkter og materialer, som, når de kasseres, enten ender som affald i deponi eller sendes til forbrænding med forurening og pres på klodens naturressourcer til følge (Figur 1).

I den pragmatiske tilgang til cirkulær økonomi fungerer genbrug og genanvendelse som metoder til at begrænse det samfundsmæssige træk på jordens primære ressourcer, da produkter der kasseres, ofte benævnt affald, stadig har en værdi i kraft af dets funktionalitet eller på grund af materialet. Ved den rette indsamling og håndtering kan affaldet få en ny nytteværdi; men tab af materialer opstår i alle værdikædernes led. Disse principper for affaldshåndtering er beskrevet i EU's rammedirektiv for affald fra 2008 (Europa-Parlamentet og Rådets Direktiv 2008).



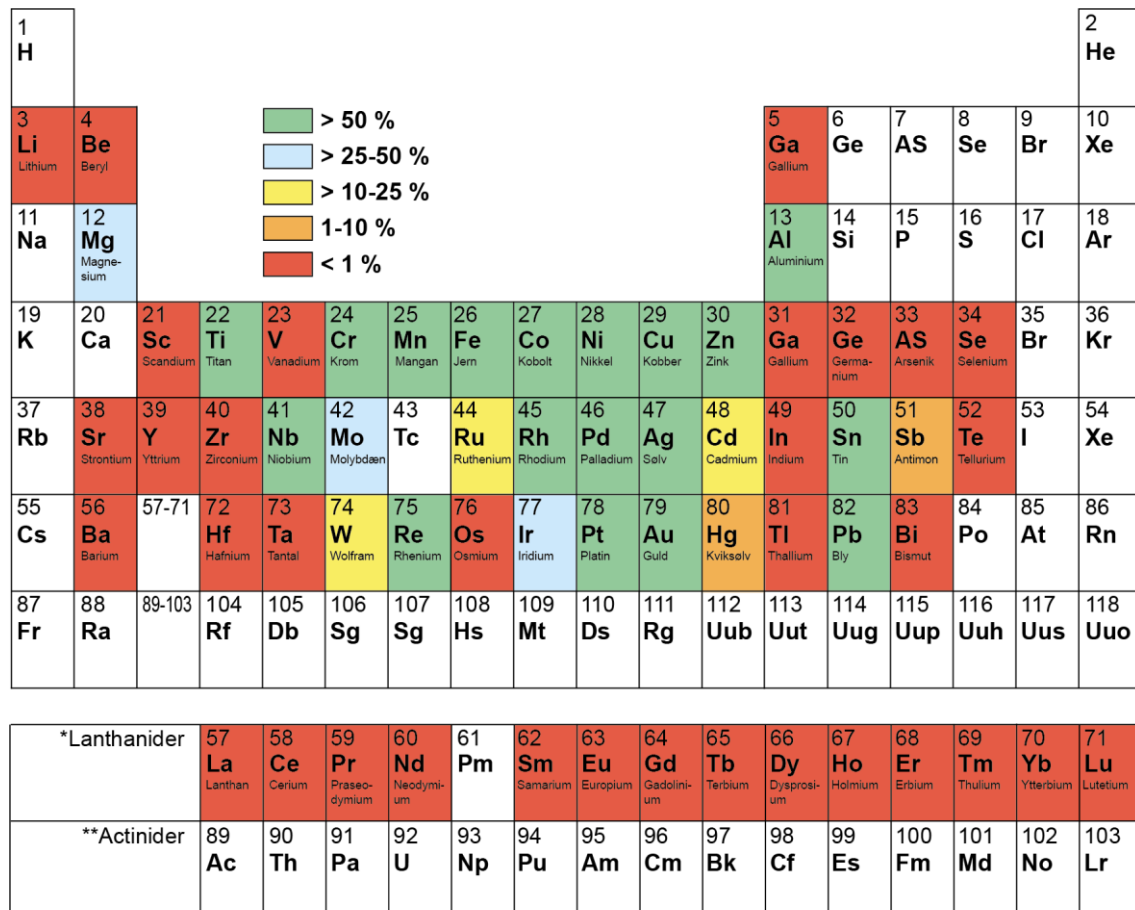
Figur 1 Flowdiagram for den lineære økonomi, og hvordan økonomien gøres cirkulær. Den lineære økonomi (blå pile) begynder ved ressourceudvinding til produktion (minedrift), forarbejdning, forbrug, affaldshåndtering og slutter ved dannelse af affald (depot). Med de grønne pile gøres økonomien cirkulær ved, at den rette affaldshåndtering sikrer, at produkter og materialer gennem genbrug og genanvendelse igen føres ind i økonomien frem for at ende som affald i deponi eller sendes til forbrænding. Figuren er baseret på Worrell & Reuter (2014a).

Hvad der kan betragtes som affald afhænger af en række forskellige forhold. Ifølge Worrell & Reuter (2014b) er affald først affald, når det *ikke kan* blive genbrugt eller genanvendt, eller hvis produktets økonomiske værdi gør, at det *ikke kan* betale sig at genbruge eller genanvende det, hvilket afhænger af teknologiske begrænsninger, markedspriser, transportomkostninger og arbejdskraft. For at reducere strømmen af egentligt affald kræves en effektiv håndtering og forvaltning ved et standardiseret affaldshåndteringsforløb. Forløbet begynder ved en reduktion i forbrug, efterfulgt af genbrug, dernæst dannelse af affald, der enten kan genbruges eller genanvendes til nyt materiale. Ikke alt kan genbruges eller genanvendes, og der opstår derfor uønsket restaffald, der skal deponeres eller sendes til forbrænding.

Metallerne kan teoretisk set genanvendes uendeligt mange gange uden at materialeegenskaberne forringes eller ændres, men i praksis bevirker en række forhold, at dette teoretiske potentiale ikke kan udnyttes (Graedel *et al.* 2011, Salminen & Olausson 2018). Dette skyldes især, at metallerne almindeligvis optræder i blandinger med andre metaller, og at genvindingen af de enkelte metaller under omsmeltingen er begrænset af termodynamiske love (Reck & Graedel 2012). Desuden har følgende forhold indflydelse på en effektiv genanvendelse: (i) u hensigtsmæssig produkt-design gør det vanskeligt at adskille delkomponenter og sortere disse ud i specifikke legeringsfraktioner, (ii) manglende data om skrotets reelle sammensætning, og (iii) utilstrækkelig indsamling af kasserede produkter.

Blandt de mest anvendte metaller, som fx jern, aluminium, kobber, krom, nikkel, tin og zink, er de globale estimerede genanvendelsesrater over 50 % (Reck & Graedel 2012), og som for mange andre metaller er der et stort uudnyttet forbedringspotentiale (Figur 2).

Den brede forståelse af begrebet genanvendelse, som benyttes af myndigheder og virksomheder bevirker, at de årlige officielle statistikker på affaldsområdet, som bruges til at evaluere de nationale målsætninger inden for genanvendelse af affald, er upræcise, hvilket fremgår af denne rapport. Ved indberetninger og administration af dansk skrot, medfører nogle af u hensigtsmæssighederne, at der ikke er viden om, i hvilket omfang skrottets indhold af legeringsmetaller omsmeltes og genvindes (se mere om denne problematik i kapitel 5).



(Reck & Graedel, 2012)

Figur 2 Estimerede globale genanvendelsesrater for 60 udvalgte metaller opdelt i fem klasser efter genanvendelsesraten. Datamaterialet er fra 2008 og kan have undergået ændringer (Reck & Graedel 2012).

3.3 Hvor i materialekredsløbet tabes metaller?

Der mistes metaller i alle de forskellige materialestrømme fra et metal udvindes i en mine til det på et tidspunkt genanvendes (Figur 3). Nogle af disse tab er uundgåelige, mens andre kan forhindres eller reduceres med introduktion af ændrede indsamlings-, forarbejdnings- og omsmeltningsmetoder. I de første led af værdikæderne, minerne, tabes der metaller, fordi minerne kun bryder de mineraler, som har højst lødighed (dvs. der efterlades metaller i jorden, som er en ikke-økonomisk reserve), og fordi ikke alle metaller kan ekstraheres ved den proces, der adskiller de metalholdige mineraler fra de ikke-metalholdige mineraler. Nogle af

komponenter og legeringssammensætninger kan betyde, at det hverken er fysisk muligt eller økonomisk rentabelt at genanvende metallerne; der er stigende forståelse af behovet for produktdesign, som øger bæredygtig produktion.

- *Skrotsortering og -forarbejdning*: Både genanvendelsesrate og skrotværdi er en funktion af skrottes homogenitet, renhed og kvalitet. Indholdet af urenheder som plast, glas, gummi, gips, beton, maling og uønskede metaller forringer skrottets kvalitet og dermed også pris.

Genvindingsbranchen er baseret på at oparbejde skrotfraktioner med lav værdi til skrotfraktioner med en højere værdi og sælge disse fraktioner videre til omsmelting. De materialestrømme som har størst betydning for genvindingsindustrien er den funktionelle genvinding, men branchen har også stor fokus på ikke-funktionel genanvendelse, samt på de strømme som med den kendte teknologi på nuværende tidspunkt ikke er økonomiske at genvinde (Figur 3). Da ensartet skrot har en højere værdi end ikke-ensartet skrot, er der almindeligvis et økonomisk incitament til at foretage sortering af skrottet. Men omkostninger til skrotbehandling samt utilstrækkelig viden om legeringsindholdet i et parti skrot kan bevirke, at skrottet ikke optimeres hensigtsmæssigt i forhold til en genanvendelse, og at metaller dermed tabes.

4. Data og metode

I undersøgelsen er der anvendt data fra Danmarks Statistik (DST), Affaldsdatasystemet (ADS) og i et mindre omfang data fra rapporter og studier. Derudover er der også anvendt internationale handelsdata fra Comtrade under FN og IMF (Den Internationale Valutafond). For nogle nøgleparametre har det ikke været muligt at finde empiriske data; for disse er der anvendt estimater fra litteraturen. Desuden er der indhentet oplysninger gennem interviews med eksperter fra industrien.

I Danmark er virksomheder, der håndterer og handler med affald, underlagt krav om at indberette volumen og arten af handlen til de danske myndigheder. Ved handel med skrot mellem to virksomheder i Danmark skal der indberettes til ADS under Miljøstyrelsen, mens der ved udenrigshandel skal indberettes til både ADS og til Danmarks Statistik eller Toldstyrelsen, hvis der er tale om handel med ikke EU-lande. For begge indberetningstyper skal virksomhederne angive oplysninger om den pågældende skrottype.

4.1 Data

4.1.1 Danmarks Statistik (DST)

Fra Danmarks Statistik er der brugt data fra registret *Udenrigshandel med varer* for 2017. Registret indeholder oplysninger om den danske import og eksport af varer og baserer sig på varekoderne i den *Kombinerede Nomenklatur (KN)*, som er et europæisk vareklassifikationssystem for toldtariffer og handelsstatistik.

I den danske udenrigshandelsstatistik sker offentliggørelse af de mest detaljerede vareoplysninger på grundlag af KN, som består af ca. 9.300 forskellige 8-cifrede varekoder kaldet *KN-koder*. Vareoplysningerne er opgjort i værdi og nettovægt (kg), eventuelt med en supplerende enhed. Udenrigshandlen kan opdeles i handel med EU-landene (Intrastat) og handel med lande uden for EU (Extrastat). Handel med varer inden for EU indberettes månedligt til Danmarks Statistik af alle virksomheder, der har en samhandel med andre EU-lande, hvor den årlige import- og eksportværdi overstiger hhv. 6,0 mio. kr. (2017) og 4,5 mio. kr. (2017). Al varehandel med lande uden for EU skal virksomhederne løbende indberette til Toldstyrelsen, som videregiver oplysningerne til Danmarks Statistik til brug for statistikken. Transithandel er ikke inkluderet i registret.

For handel med skrot deklarerer disse varer under et af kapitlerne i Afsnit XV *Uædle metaller og varer deraf*, som det fremgår af Tabel 2. I hver af disse kapitler optræder 8-cifrede KN-koder, hvorunder dansk import og eksport af skrot løbende indberettes. Opdelingen foregår på syv forskellige hovedmetaller samt en række ikke-ædle metaller (Tabel 2).

Detaljeringsgrundlaget for data i registret *Udenrigshandel med varer* fra Danmarks Statistik sætter begrænsningerne for kvaliteten af denne analyses resultater. Herudover kan bagatelgrænser for værdien af vareimport og -eksport bevirke, at en del varer ikke er registreret.

Grænseværdien for indberetning af import og eksport fastsættes årligt og tilstræbes at sikre en dækning på hhv. 93 % og 97 % af den samlede import og eksport. Denne statistiske nøjagtighed er tilstrækkelig, men viden om de enkelte skrottypers kemiske sammensætning er sporadiske og medfører, at der er meget store usikkerheder på estimaterne af legeringsmetallerne i forskellige typer af skrot.

Tabel 2 Kapitelopdeling af varekoder i den Kombinerede Nomenklatur under Afsnit XV (Den Europæiske Unions Tidende 2018).

Afsnit XV Uædle metaller og varer deraf	
Kapitel	Beskrivelse
72	Jern og stål
73	Varer af jern og stål
74	Kobber og varer deraf
75	Nikkel og varer deraf
76	Aluminium og varer deraf
77	(Reserveret til eventuel senere brug i det harmoniserede system)
78	Bly og varer deraf
79	Zink og varer deraf
80	Tin og varer deraf
81	Andre uædle metaller; sintrede keramiske metaller (cermets); varer af disse materialer
82	Værktøj, redskaber, knive, skeer og gaffler samt dele dertil, af uædle metaller
83	Diverse varer af uædle metaller

Statistikken bruges bl.a. til at estimere mængderne af Danmarks årlige import og eksport af dominerende jern- og metalskrottyper, men varekoderne for skrot er defineret bredt for hele EU og ikke ud fra danske skrottyper, og den manglende detaljegrad i registersystemets data sætter begrænsninger i mulighederne for detaljerede analyser.

4.1.2 Affaldsdatasystemet (ADS)

Affaldsdatasystemet (ADS) har været administreret af Miljøstyrelsen siden 2010 og fungerer som et redskab til at indsamle og organisere data for den danske affaldssektor (Miljøstyrelsen 2020a).

Affaldsdatasystemet er en webbaseret database med information om mængder, typer, kilder og behandlingsformer til affald håndteret i Danmark under import og eksport. Systemet er udviklet til administrative formål, dvs. til tilladelse og overvågning inden for affaldsproduktion og -håndtering. ADS blev specifikt udviklet til at identificere farligt affald og bestemme passende styringskontrol, men på trods af at affaldet kan forårsage miljøforurening eller skade menneskers sundhed, understøttes materialesammensætningen ikke i dette system. I stedet kan affaldsstrømme følges fra deres kilde til nyttiggørelse, genanvendelse eller bortskaffelse.

Opbygningen af ADS bunder i et fælles europæisk kodesystem, *Det Europæiske Affaldskatalog*, bestående af *EAK-koder*, der er konstrueret til at repræsentere det affald, der genereres i de forskellige europæiske lande og angiver simplificerede affaldskoder, som forskellige

affaldsfraktioner skal kunne henføres under. For hver enkelt skrotfraktion skal der derfor foretages en 'oversættelse' til den EAK-kode, der bedst repræsenterer det pågældende skrot. EAK-kodesystemet skal sikre at medlemslandene anvender samme standard til deres registrering af affald og muliggør et koordineret europæisk samarbejde på affaldsområdet. Dette er især vigtigt i de tilfælde, hvor affald føres fra et land til et andet for at blive slutbehandlet i et tredje land.

De enkelte EAK-koder er opbygget i tre niveauer; kapitler, grupper og undergrupper, hvor hver af disse består af to cifre med formen xx yy zz. De fire første cifre (xx yy) beskriver affaldskilden (den økonomiske sektor) og processen, hvormed affaldet er opstået, mens det sidste niveau (zz) beskriver affaldsfraktionen på baggrund af materialet. I alt består EAK-kodesystemet af 20 forskellige hovedgrupper med over 800 forskellige EAK-koder (affaldstyper). EAK-kodesystemet skelner ikke mellem husholdningsaffald og erhvervsaffald. I Tabel 3 er de 20 kapitler listet med beskrivelse af affaldsområdet og den industri eller sektor, som affaldet produceres fra.

Tabel 3 EAK-kodesystemets 20 kapitler som beskrevet i Affaldsbekendtgørelsen (Affaldsbekendtgørelsen 2019).

Nr.	Kapitelnavn	Nr.	Kapitelnavn
1	Affald fra efterforskning, minedrift, brydning og fysisk og kemisk behandling af mineraler	11	Affald fra kemisk overfladebehandling og belægning af jern, metal og andre materialer samt affald fra ikke-jernholdige hydro-metallurgiske processer
2	Affald fra landbrug, gartneri, akvakultur, skovbrug, jagt og fiskeri samt fremstilling og forarbejdning af levnedsmidler	12	Affald fra formning, tildannelse samt fysisk og mekanisk overfladebearbejdning af metal og plast
3	Affald fra træforarbejdning og fremstilling af pladematerialer, møbler, papir, pap og papirmasse	13	Olieaffald og affald fra flydende brændstoffer (med undtagelse af spiseolier samt kapitel 05, 12 og 19)
4	Affald fra læder-, pels- og tekstilindustrien	14	Kasserede organiske opløsningsmidler, kølemidler og drivmidler (undtagen 07 og 08)
5	Affald fra olieraffinering, rensning af naturgas og pyrolyse af kul	15	Emballageaffald, absorptionsmidler, aftørningsklude, filtermaterialer og beskyttelsesdragter, ikke andetsteds specificeret
6	Affald fra uorganisk-kemiske processer	16	Affald ikke specificeret andetsteds i listen
7	Affald fra organisk-kemiske processer	17	Bygnings- og nedrivningsaffald (herunder opgravet jord fra forurenede grunde)
8	Affald fra fremstilling, formulering, distribution og brug af maling, lak og keramisk emalje samt klæbestoffer, fugemasser og trykfarver	18	Affald fra læge- eller dyrlægepraksis og/eller hermed forbundne forskningsaktiviteter (undtagen storkøkken- og kantineaffald, som ikke har direkte tilknytning til patientbehandling)
9	Affald fra den fotografiske industri	19	Affald fra affaldsbehandlingsanlæg, spildevandsrensningsanlæg uden for produktionsstedet samt fra fremstilling af drikkevand eller vand til industrielt brug
10	Affald fra termiske processer	20	Husholdningsaffald og lignende handels-, industri- og institutionsaffald, herunder separat indsamlede fraktioner

Data fra ADS kan bruges til at spore skrotkilder og til at estimere skrottets sammensætning. Udfordringen er, at forskellige typer metalskrot kan produceres fra samme kilde og blandes med hinanden, hvilket skaber problemer, når der efterfølgende ønskes en vurdering af skrottets sammensætning. Desuden er informationerne i ADS upræcise, så for visse grupper affald, fx WEEE, kan information fra Dansk Producentansvars system bidrage med detaljeret information.

Den største begrænsning i brugen af ADS er manglende data. Hvis affaldet ikke er farligt, er det ikke obligatorisk for virksomheder at registrere affald i indberetningssystemet, hvilket medfører, at den registrerede indsamlede skrotmængde er meget lav. For de mest anvendte jern- og stålprodukter bliver der indberettet under 70 % til ADS sammenlignet med indberetninger til DST.

4.1.3 Interviews

Der er i perioden fra oktober 2018 til maj 2019 foretaget otte virksomhedsbesøg hos danske genvindingsvirksomheder med tilhørende interviews (Tabel 4). Formålet med interviewene var at få viden om genvindingsvirksomhedernes forretningskoncepter, deres eventuelle skrotbearbejdning og aktivitet, samt at forstå de nomenklaturer, som benyttes til indberetning af aktiviteter til offentlige myndigheder. Virksomhederne er udvalgt, så de bedst muligt dækker branchens diversitet i forhold til geografi, størrelse og aktivitetstyper.

Udover besøg hos de danske genvindingsvirksomheder er der foretaget virksomhedsbesøg og interviews hos det danske jernstøberi Vald. Birn A/S, samt specialstålværket BGH Edelstahl GmbH i Tyskland, kobberproducenten Aurubis i Tyskland og Stena Aluminium i Sverige. Disse interviews er foretaget for at forstå tekniske og økonomiske udfordringer for omsmelting og genanvendelse af de forskellige skrottyper og deres legeringsmetaller.

Der har desuden været afholdt orienteringsmøder med de to brancheforeninger Genvindings-Industrien og Danske Støberiers Brancheforening, samt det Danske Stålinstitut og Miljøstyrelsen.

Liste over virksomheder, brancheforeninger, institutter og myndigheder som der har været besøgt, interviewet eller afholdt møder med i forbindelse med udarbejdelsen af rapporten ses i Tabel 4. Alle besøg, interviews og møder har været meget værdifulde i forhold til rapportens tilblivelse og resultater.

4.2 Metoder

4.2.1 Kortlægning af den danske genvindingsbranche

For at kortlægge den danske genvindingsbranche er de primære processer og aktiviteter, der kendetegner oparbejdning af skrot i Danmark fra det indsamles til det afslutningsvis omsmeltes til sekundært materiale eller deponeres, undersøgt. Kortlægningen bygger på en beskrivelse af hvilke aktørtyper, der er aktive i den danske genvindingsbranche, de typiske

oparbejdningstrin og de primære skrotstrømme og -mængder. Derudover er typiske skrottyper i Danmark i forhold til produkt- og materialetype, indhold af legeringsmetaller, form, kvalitet mv. undersøgt, samt hvordan skrot kategoriseres i branchen såvel som i officielle statistikker på myndighedsniveau.

Tabel 4 Oversigt over virksomheder, brancheforeninger, institutter og myndigheder, som har været besøgt, interviewet eller som der har været afholdt møder med i forbindelse med Scrap-Track-projektet.

Virksomhed, Danmark	Virksomhedstype
Aa. Espersen & Søn A/S	Genvindingsvirksomhed
Børge Kristiansen & Søn A/S	Genvindingsvirksomhed
Hals Metal A/S	Genvindingsvirksomhed
H.J. Hansen Genvindingsindustri A/S	Genvindingsvirksomhed
Jernpladsen A/S	Genvindingsvirksomhed
Rossen Recycling Company A/S	Genvindingsvirksomhed
Scanmetals A/S	Genvindingsvirksomhed
Uniscrap A/S	Genvindingsvirksomhed
Vald. Birn A/S	Støberi
Virksomhed, internationalt	Virksomhedstype
Aurubis, Hamburg, Tyskland	Kobberværk
BGH Edelstahl GmbH, Siegen, Tyskland	Stålværk
Stena Recycling AB, Älmhult, Sverige	Aluminiumværk
Øvrige, Danmark	Type
Dansk Stålinstitut	Institut
Danske Støberiers Brancheforening	Brancheforening
Genvindingsindustrien	Brancheforening
Miljøstyrelsen	Myndighed

Viden om aktørtyper, oparbejdningsaktiviteter, skrottyper og primære skrotstrømme har været en forudsætning for at kunne identificere de trin og processer i værdikæderne, hvor der især er risiko for tab af legeringsmetaller og dermed, hvor der kan udpeges potentialer for øget genanvendelse. Mogens Bach Christensen, H.J. Hansen, har undervejs i projektet bidraget med ekspertvurderinger om legeringsindhold i forskellige skrotfraktioner.

Den danske genvindingsbranche er kun i begrænset omfang beskrevet og karakteriseret. Seneste større beskrivelse er *Branchebeskrivelse for produkthandel, autoophug og jern- og metalgenindvindingsvirksomheder* udarbejdet af Carl Bro A/S i 1997 for Amternes Depotenhed i forbindelse med projektet *Erfaringsopsamling på amternes registreringsundersøgelser* (Teknik & Administration Nr. 9 1997).

Da genvindingsbranchen er sammensat af forskellige virksomhedstyper, der udfører forskellige aktiviteter, oparbejder forskellige former for skrot og importerer fra og eksporterer til forskellige lande, har det været nødvendigt at indhente primær information på disse områder fra branchens egne aktører gennem de omtalte interviews og virksomhedsbesøg (afsnit 4.1.3).

Interviewformen var semistruktureret og tog udgangspunkt i en interviewguide med spørgsmål inden for følgende seks tematiske områder: (i) virksomheden og ansatte; (ii) kategorisering af skrot og metalindhold; (iii) kilder og indkøb af skrot; (iv) håndtering og bearbejdning; (v) årlige mængder og indberetning/salg; og (vi) branchen generelt. Til interviewet med støberiet blev der yderligere spurgt ind til selve produktionssiden.

De tre større smelteværker i metalindustrien i Tyskland og Sverige, som blev besøgt, udnytter skrot af henholdsvis jern- og stål, aluminium og kobber i produktionen. Det har været en høj prioritet at udvide perspektivet til de danske skrotvirksomheders internationale partnere for dermed at kunne afdække hvilke aktiviteter og metallurgiske processer, der er involveret i det afsluttende forløb frem mod og under omsmeltningsfasen. Også under disse besøg var interviewformen semistruktureret med spørgsmål om virksomheden og produktionen; brugen af skrot og kvalitetskrav; kategorisering af skrotmetal og legeringer; skrotkilder (nationalt/internationalt); og generelle perspektiver.

4.2.2 Metode til volumenestimering af metaller i dansk skroteksport

For at kunne estimere hvilke metaller der eksporteres i dansk skrot, og dermed i hvilket omfang metallerne tabes eller bliver downcycled i forbindelse med genanvendelse, skal de årlige volumener kvantificeres.

I nærværende undersøgelse benyttes data for Danmarks import og eksport af skrot for 2017 opgjort for de enkelte lande. Dette er gjort ved, at der for de enkelte varekoder i DST er lavet en kvalificering af, hvilke skrottyper de typisk repræsenterer. Da det er virksomhederne, der indberetter oplysninger om de importerede og eksporterede skrotmængder, er det også virksomhederne, der har det bedste kendskab til, hvad varekoderne i praksis repræsenterer i forhold til skrottype og dermed indhold af legeringsmetaller.

Oplysningerne om legering i KN-koderne er imidlertid upræcise. Derfor er data om skrottets sammensætning fra andre kilder også brugt. De vigtigste datakilder inkluderer nationale, internationale og EU-standarder, virksomhedsspecifikation, litteratur og vores bedste skøn i samråd med eksperter og på baggrund af interviews, når litteratur og standarddata ikke er tilgængelige. Specielt er informationer om skrottets kemiske sammensætning baseret på faglitterære kilder og på information om legeringssammensætningen i bestemte produkttyper.

Data fra ADS er brugt til detaljeret information om danske skrotkilder.

Ved at kombinere ovenstående informationer med viden om de fysiske og metallurgiske begrænsninger for omsmeltnings af metaller er der etableret et vidensgrundlag, som gør det muligt at estimere størrelsesordener for de legeringsmetaller, som via eksport fra Danmarks sendes til genanvendelse.

5. Kategorisering af skrot i Danmark

5.1 Typer af skrot

Generelt opdeles metalskrot i henholdsvis nyskrot og gammelskrot. Nyskrot udgøres af overskuds- og restmaterialer fra produktion- og fremstillingsprocesser i form af fx afklip, stansninger og spåner (eng. *pre-consumer scrap*). Gammelskrot omfatter kasserede produkter og materialer som fx skrottede biler, udtjente husholdningsprodukter, nedrivningsmaterialer fra bygningskonstruktioner, maskindele, samt det vi som forbrugere afleverer på genbrugspladser i gruppen 'småt metal' mv. (eng. *post-consumer scrap*). I praksis er denne opdeling utilstrækkelig for genvindingsbranchen, som almindeligvis benytter European List of Waste (2014), som angiver typerne af skrotkilder.

Historisk set har genvindingsbranchen udviklet sig parallelt med den industrielle udvikling og de produkter og materialer, der er blevet produceret. Denne kontinuerlige fremstilling af nye materialetyper og komplekse legeringssammensætninger har bevirket, at genvindingsbranchen, smelteværkerne og støberierne tilpasses til strømmen af nye skrottyper. Derfor er der med tiden opstået en fælles terminologi på tværs af aktørerne, som bidrager til at klassificere og navngive de enkelte typer af skrot. Denne kategorisering er fundamental for handlen med skrot.

Skrotterminologien er en slags varedeklaration for de enkelte skrotstrømme, og angiver de overordnede kemiske sammensætninger og kvaliteter, som udover at garantere de oparbejdende og skrothandlende aktører den rette pris på skrottet også sikrer, at de involverede aktører har et kendskab til, hvad de køber og at skrottet dermed kan omsmeltes hensigtsmæssigt i forhold til indholdet af legeringsmetaller. Netop viden om skrottetets beskaffenhed er afgørende for, hvordan det bliver håndteret gennem hele oparbejdningsforløbet; om det fx skal gennemgå diverse mekaniske neddelings- og separationsprocesser, eller om det allerede er på en form og kvalitet, der overflødiggør yderligere forberedelse inden omsmelting, og derfor kan eksporteres direkte til omsmelting.

Branchen opdeler skrot i to hovedtyper: (i) jern- og stålskrot (eng. *ferrous scrap*) og (ii) metalskrot (eng. *non-ferrous scrap*). Metalskrot omfatter skrot af alle andre metaller end jern og stål, herunder letmetallerne aluminium, magnesium og titan; rødmetaller som kobber og legeringerne bronze og messing; bly, zink, tin samt andre komplekse metallegeringer. I denne rapport fokuseres der på tre dominerende skrottyper, som udgør ca. 99 % af metalskrot produceret i Danmark:

- Jern- og stålskrot
- Aluminiumskrot
- Kobberskrot

Formålet med forarbejdningen af skrottet er at gøre det klart til omsmelting. Denne forarbejdning omfatter ofte flere arbejdsstrin som skal sikre, at skrottet bliver kategoriseret og opdelt i veldefinerede og homogene fraktioner med kendt metalsammensætning uden 'urenhe-

der' af metaller, som vil kunne skade kvaliteten af det genanvendte metal. Nogle skrotfraktioner kan indeholde legeringsmetaller, som hverken er skadelige eller gavnlige; denne gruppe metaller bliver genanvendt som *ikke-funktionelle* metaller, og er reelt et materialetab, som skal erstattes med primære råstoffer.

5.2 Indberetning af skrotkategorier til danske myndigheder

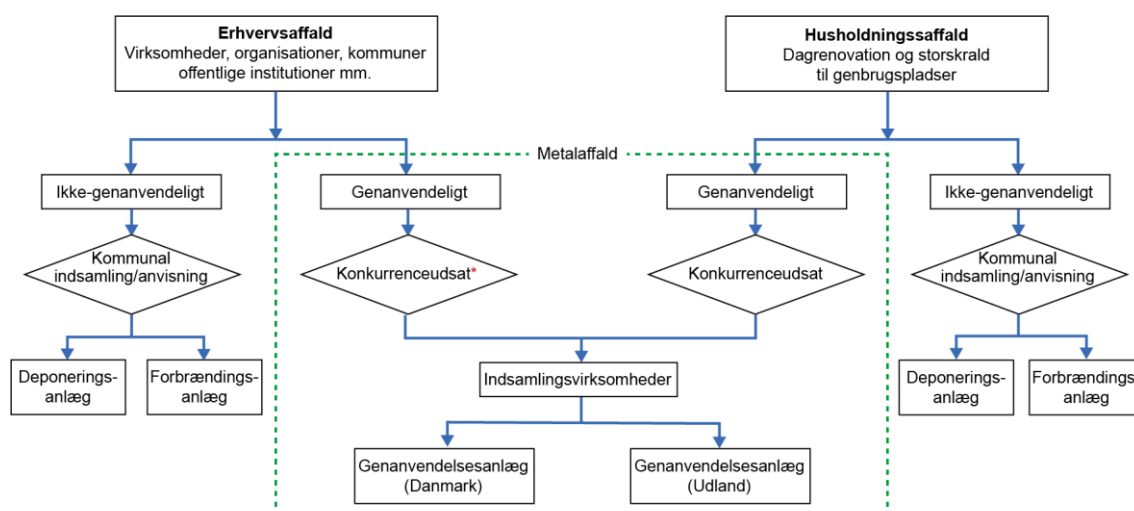
I Danmark betragtes skrot på myndighedsniveau som affald og er derfor underlagt de samme grundlæggende regler og krav som andre former for affald som plast, glas, papir og pap mv. I det følgende beskrives strukturerne i den danske affaldssektor, samt de rammer som danske genvindingsvirksomheder handler og opererer inden for.

I Danmark er forvaltningen af affald på myndighedsniveau opdelt mellem Energistyrelsen, under Klima-, Energi- og Forsyningsministeriet, og Miljøstyrelsen, som ligger under Miljøministeriet. De to styrelser administrerer forskellige afdelinger af affaldsforvaltningen.

Energistyrelsen administrerer de strukturelle, økonomiske og juridiske dele af affaldshåndteringen, herunder affaldsgebyrer, regler om aktørerne i det private og kommunale, forsyningskapaciteten for behandling af farligt affald og databaserne *Affaldsregistret* og *Nationale Standard Affalds Regulatorer (NSTAR)* (oversigt over de kommunale affaldsregulatorer). Miljøstyrelsen har ansvaret for miljøregulering af affaldsområdet og administrerer reglerne for håndtering af affald, klassificering, forebyggelse, producentansvar, import og eksport samt Affaldsdatasystemet (ADS), der samler oplysninger om de danske affaldsstrømme (Energistyrelsen 2020).

I Figur 4 er den danske affaldssektor illustreret ved et flowdiagram, der viser hovedprincipperne i affaldets vej fra det opstår til det sendes til genanvendelse eller til anden nyttiggørelse ved forbrænding eller deponi. Inden for den danske affaldssektor opdeles affald mellem erhvervsaffald og husholdningsaffald, og dernæst mellem om det er genanvendeligt, herunder metalaffald, eller ikke-genanvendeligt affald, som blød PVC, kontamineret pap, farligt og forurenede affald mv. I henhold til Affaldsbekendtgørelsen skal al affald behandles i overensstemmelse med *affaldshierarkiet* (Figur 4), som skal sikre, at affald så vidt muligt bliver genbrugt eller genanvendt, og så lidt som muligt sendes til forbrænding eller deponi.

Karakteren af affaldet afgør, hvad der skal ske med affaldet. Det ikke-genanvendelige erhvervs- og husholdningsaffald sendes primært til forbrænding eller deponi, mens det genanvendelige erhvervsaffald, der omfatter jern- og metalskrot, som hovedregel skal konkurrenceudsættes på markedsvilkår, hvor godkendte indsamlingsvirksomheder, inkl. genvindingsvirksomheder, sørger for den korrekte indsamling, håndtering og behandling af skrottet. En stor del af dansk jern- og metalskrot eksporteres til omsmeltningsanlæg hos udenlandske smelteværker eller til andre udenlandske genvindingsvirksomheder, som oparbejder skrottet frem mod omsmeltningsanlæg, men der importeres også skrot til oparbejdning og genanvendelse i Danmark. En mindre mængde jern- og stålskrot forbliver i Danmark, hvor det anvendes som inputmateriale hos danske støberier (Figur 4).



*Med visse undtagelser må kommunerne hverken indsamle, anvisne eller håndtere det genanvendelige erhvervsaffald bortset fra det affald, som kommunens egne institutioner producerer.

Figur 4 Flowdiagram over den danske affaldssektor, der illustrerer klassificeringen af affald ud fra kilde og type i forhold til, hvordan det skal håndteres. Særlige regler træder i kraft afhængig af karakteren af affaldet. Det ikke-genanvendelige erhvervs- og husholdningsaffald sendes primært til forbrænding eller deponi, mens det genanvendelige metalaffald fra erhvervslivet konkurrenceudsættes på markedet, hvor private virksomheder overtager skrottet frem mod omsmelting.

For at sikre at det ikke-genanvendelige affald håndteres korrekt er kommunerne forpligtet til at indsamle eller anvisne denne form for affald til forbrænding, deponi eller anden form for behandling. Ligeledes skal kommunerne sikre, at der foregår en korrekt håndtering af affaldet ved tilsyn med virksomhedernes håndtering og behandling af både det genanvendelige og ikke-genanvendelige erhvervsaffald. Som nævnt skal det genanvendelige erhvervsaffald konkurrenceudsættes i forhold til behandling og transport, og kommunerne må derfor hverken modtage eller indsamle denne type affald, som inkluderer skrot. Dog er de kommunale genbrugspladser fritaget denne ordning, og de kommunale genbrugspladser modtager da også årligt store mængder jern- og metalskrot fra de danske husholdninger.

Hvor det genanvendelige erhvervsaffald har karakter af husholdningsaffald og mængden er begrænset, kan virksomheder under særlige omstændigheder og mod gebyrbetaling få lov til at benytte kommunernes genbrugspladser. For det konkurrenceudsatte genanvendelige affald er det virksomhedernes pligt at udføre den nødvendige sortering og oparbejdning. Har virksomheden, der producerer affaldet, ikke selv mulighed for at genanvende det, kan de vælge at overdrage ansvaret til godkendte indsamlingsvirksomheder og genanvendelsesanlæg, der er registreret og organiseret i Affaldsregistret.

Affaldsregistret er et nationalt registersystem med oplysninger om hvilke aktører i Danmark, der er godkendt til at transportere, håndtere og genanvende affald samt de kommunale genbrugsanlæg, som nyttiggør kildesorteret erhvervsaffald. I Danmark er udstedelse af disse godkendelser lovkrav som skal sikre, at kun virksomheder med den tilstrækkelige kapacitet og ekspertise agerer på affaldsmarkedet. Formålet er at sikre en organiseret og miljømæssig forsvarlig affaldshåndtering i Danmark, hvor overtrædelser straffes med bøde eller erstatning

5.2.1 Indberetning af skrot til Affaldsdatasystemet (ADS)

Ved indberetning af affaldsdata til ADS skal virksomhederne oplyse affaldstypen (EAK-kode), mængde affald i ton, kilde til affald, modtageanlægget for affald, behandlingsmetoden, og om der er tale om slutbehandling eller ej. Derudover skal virksomhederne indberette, hvorvidt der er tale om erhvervsaffald eller husholdningsaffald. Ved import og eksport af affald skal der foretages endnu en indberetning til ADS, men dette foregår særskilt og skal også beskrives med en *Baselkode* eller en *OECD-kode* (se afsnit 5.2.3).

Ved oplysning om behandlingsmetoden af affaldet skal virksomhederne indberette i to forskellige kategoriseringssystemer, et dansk og et europæisk. I det danske system beskrives behandlingsformen helt overordnet ved angivelse af, om der er tale om genanvendelse, forbrænding, deponering osv. Det danske system består af syv behandlingsaktiviteter; 01, 02, 03, 04, 07, 08 og 10, samt 11 som er en opsamlingsbetegnelse (Miljøstyrelsen 2020b). Det europæiske system baserer sig på bortskaffelseskoder (D1-D15) og nyttiggørelseskoder (R1-R13). For genanvendelse af jern- og metalskrot, som denne rapport omhandler, er det kun behandlingsaktiviteten *01 Genanvendelse* og nyttiggørelseskoderne *R4* og *R12*, der er relevante; definitionen af disse kan ses i Tabel 5. I Tabel 6 ses korrekte og ukorrekte kombinationer af de danske behandlingsaktiviteter og de europæiske nyttiggørelseskoder.

For skrot gælder, at begrebet genanvendelse som behandlingsaktivitet dækker over både slutbehandling som fx omsmelting, men også over forbehandling til genanvendelse (Tabel 5). Som det fremgår af Tabel 5, refererer R4 til både genanvendelse samt genvinding af metaller og metalforbindelser, mens R12 refererer til de indledende behandlingsformer frem mod genanvendelse. Samtlige danske affaldsbehandlingsaktiviteter og europæiske nyttiggørelseskoder ses i Bilag A.

Virksomhederne er påbudt at indberette til ADS mindst én gang om året, hvor data for det foregående års handel indberettes. Affaldsdata bliver indberettet i mængde ton pr. affaldsproducent i indberetningsperioden på P-nummerniveau (produktionsenhedsnummer), der refererer til virksomhedens fysiske beliggenhed. Har virksomheden aktiviteter flere steder i landet, vil den have flere P-numre og flere indberetninger skal foretages.

5.2.2 Kategorisering af skrot indberettes af virksomheder

Virksomheder der genererer, håndterer eller transporterer skrot, beskæftiger sig groft sagt med affaldsdata i to sammenhænge; en intern registrering og en ekstern indberetning. Den interne registrering er virksomhedernes egne systemer til registrering, fakturering, kategorisering, vejning mv., mens den eksterne indberetning henviser til de lovpligtige indberetnings-systemer til Danmarks Statistik og ADS. Denne opdeling har vi valgt at karakterisere som en praktisk kategorisering og en systemisk kategorisering, der er skitseret i Figur 6.

Tabel 5 Definition af kode 01 i det danske system om behandlingsaktiviteter og kode R4 og R12 i den europæiske nyttiggørelseskode (Miljøstyrelsen 2020b).

Kode	Definition
01	Genanvendelse (herunder forbehandling) Behandlingsaktiviteten genanvendelse dækker over forskellige former for slutbehandling, hvor affald bliver oparbejdet til materialer, produkter og stoffer. Det gælder f.eks. affald af glas, papir, pap, plastik og metal, der via en industriel proces, f.eks. omsmeltnng, omdannes til enten nye produkter eller til materialer eller stoffer, der kan anvendes til samme formål eller nye formål. Organisk affald, der omdannes til kompost, hører også under kategorien genanvendelse. Det samme gør bioaffald til forgasning, hvor det afgassede materiale - om nødvendigt efter yderligere behandling - bliver udspredd på jorden med positive virkninger for landbrug eller miljø. I Tabel 6 ses det, at genanvendelse kan kombineres med R2-R13. I og med behandlingsaktiviteten genanvendelse også dækker over diverse forbehandling, så kan genanvendelse også kombineres med forbehandling til genanvendelse (R12-R13) (se Tabel 6). Det betyder, at genanvendelse i ADS-sammenhæng forstås bredere, end det er defineret i affaldsbekendtgørelsen. Genanvendelse kan ikke kombineres med bortskaffelseskoder (D1-D15) eller forbrænding med energiudnyttelse (R1).
R4	Nyttiggørelse/genanvendelse af metal Slutbehandling af metalaffald, især ved omsmeltnng af metaller. Sortering af metalaffald kan være en slutbehandling, hvis metalaffaldet opnår affaldsfasens ophør på baggrund af forordningen om affaldsfasens ophør for metalskrot. Hvis affaldsfasen ikke ophører, anvendes i stedet kode R12.
R12	Forbehandling af affald forud for nyttiggørelse (medmindre anden kode er relevant) Indledende behandling inden gennemførelse af en af operationerne med koder R1–R11. Det omfatter bl.a. demontering, sortering, knusning, sammenpresning, pelletering, tørring, neddeling, konditionering, ompakning, adskillelse eller blanding. Det kan evt. være pyrolyse forud for anden nyttiggørelse. Det kan f.eks. være komprimering og omlastning af blandet husholdningsaffald inden det sendes til f.eks. forbrænding. Andre eksempler er sortering af genanvendeligt affald i form af papir-, pap-, plast- eller metalaffald, eller neddeling af træaffald, inden det sendes til genanvendelse.



Figur 6 Overblik over virksomhedernes kategorisering af skrot, der fordeler sig mellem den praktiske kategorisering og den systemiske kategorisering, hvor den systemiske kategorisering fordeles mellem den lovpligtige indberetning til Affaldsdatasystemet og Danmarks Statistik.

Tabel 6 Korrekte og ukorrekte kombinationer af de danske behandlingsaktiviteter og de europæiske nyttiggørelseskoder (R1-R13). For jern- og metalkrot er kun 01 Genanvendelse og koderne R4 og R12 relevante (se Tabel 5) (Miljøstyrelsen 2020b).

		01 Genanvendelse	02 Forbrænding	03 Deponering	04 Særlig behandling	07 Afgiftsfritaget forbrænding	08 Afgiftsfritaget deponering	10 Forberedelse med henblik på genbrug	11 Anden endelig materialenyttiggørelse	
Nyttiggørelseskoder (R1-R13)	Anvendelse som brændsel (fx forbrænding af affald til produktion af varme og el)	R 1	÷	✓	÷	✓	✓	÷	÷	÷
	Nyttiggørelse/regenerering af opløsningsmidler	R 2	✓	÷	÷	✓	÷	÷	÷	÷
	Nyttiggørelse/genanvendelse af organiske stoffer (herunder kompostering)	R 3	✓	÷	÷	✓	÷	÷	✓	÷
	Nyttiggørelse/genanvendelse af metal	R 4	✓	÷	÷	✓	÷	÷	✓	÷
	Nyttiggørelse/genanvendelse af uorganiske stoffer (ikke-metal)	R 5	✓	÷	÷	✓	÷	✓	✓	✓
	Regenerering af syrer og baser	R 6	✓	÷	÷	✓	÷	÷	÷	÷
	Nyttiggørelse af komponenter, der har været benyttet til forureningsbekæmpelse	R 7	✓	÷	÷	✓	÷	÷	÷	÷
	Nyttiggørelse af komponenter fra katalysatorer	R 8	✓	÷	÷	✓	÷	÷	✓	÷
	Regenerering af olie	R 9	✓	÷	÷	✓	÷	÷	÷	÷
	Spredning på jorden med positiv effekt for landbrug eller miljø	R 10	✓	÷	÷	÷	÷	÷	÷	✓
	Anvendelse af restaffald fra en R1 til R10 behandling	R 11	✓	÷	÷	÷	÷	÷	÷	✓
	Forbehandling af affald forud for nyttiggørelse (medmindre anden kode er relevant)	R 12	✓	✓	÷	✓	✓	÷	✓	✓
	Oplagring forud for nyttiggørelse	R 13	✓	✓	÷	✓	✓	÷	✓	✓

I den danske genvindingsbranche opererer genvindingsvirksomhederne i overvejende grad med nationale terminologier for de forskellige typer af skrot. Det fælles sprogbrug muliggør en ensartet kategorisering af skrot på tværs af aktører. Aktørerne i branchen kategoriserer skrot i overensstemmelse med branchemæssige standarder og begreber, som benyttes ved køb og salg; disse fremgår ofte på virksomhedernes hjemmesider. I virksomhederne arbejdes der imidlertid ud fra et mere detaljeret varekatalog, hvor de overordnede skrotterminologier er udspecificeret i underliggende varekoder på baggrund af parametre som bl.a. form, størrelse, produkt- og materialetype. Varekoderne inddeles typisk under de forskellige metaller eller metallegeringer, der falder under de overordnede grupper for jern- og stålskrot, metalskrot og produkttyper (som der ikke går nærmere i dybden med i denne undersøgelse). Det er ikke unormalt, at skrothandlerne opererer med flere hundrede forskellige varekoder, hvor forskellene på de enkelte varekoder fx består af tykkelsen, længden eller skrotmaterialets oparbejdningsstadiet. Detaljegraden i kategoriseringen er typisk betinget af virksomhedens kapacitet til oparbejdning og afsætningsmuligheder.

I den internationale skrothandel, hvor mange af de danske genvindingsvirksomheder opererer i kraft af deres eksport, benyttes internationale terminologier for skrot. Nogle af disse er enslydende med de benævnelser, der anvendes i Danmark, hvilket typisk gælder skrot, som refereres til med industrielle materialestandarder. Det gælder bl.a. for forskellige typer af rustfrit stål, hvor materialestandarden 304 bruges om almindeligt rustfrit stål og 316 bruges om syrefast rustfrit stål i den industrielle materialestandard (ASMT). Der findes deciderede skrotvejledninger med detaljerede beskrivelser og definitioner af de forskellige gængse skrottyper.

En af de mest omfattende vejledninger er *Scrap Specifications Circular* udarbejdet af *Institute of Scrap Recycling Industries* (ISRI) (Institute of Scrap Recycling Industries 2018a), der består af internationalt anvendte kategorier og specifikationer på skrot og affald. Kategorierne er defineret i forhold til materialetype, legeringsindhold, kilde til skrottet, oparbejdningstrin, renhed, form og dimensioner (tykkelse og størrelse). Derved kan stort set alle fysiske former for skrot henføres under en af disse kategorier. Formålet med vejledningen er at hjælpe branchens aktører i forbindelse med handel. Da vejledningen har sit udgangspunkt i USA, anvendes den primært af de amerikanske aktører og på deres skrottyper, men flere af kategorierne finder ligeledes anvendelse i Europa og Danmark, hvilket især gælder for skrot af jern og stål og i nogen grad også for rødmetallerne.

Inden for den europæiske stålindustri anvendes vejledningen *European Steel Scrap Specifications* (ESSS) (European Steel Scrap Specification 2007), der består af definitioner og beskrivelser af de forskellige former for stålskrot, som efterspørges af stålværker i bl.a. Europa og Tyrkiet. Denne form for specificering af skrot har til formål at oplyse skrotleverandører om krav til standarder og kvaliteter for skrot, som skal sælges til genanvendelse. Vejledningen bidrager derfor til en optimering af hele genanvendelsesprocessen. Her er de enkelte skrotkategorier defineret ved specifikke grænseværdier for indhold af legeringsmetaller, form og dimensioner (tykkelse og størrelse), densitet, renhed og om det er nyskrot eller gammelskrot. Uddrag af vejledningen ses i Bilag B.

Skrot af aluminium kan kategoriseres efter den europæiske standard *EN 13920*, som er opbygget af 15 koder, der beskriver forskellige skrottyper af aluminium som smedet, støbt, kabler, spåner, emballage, aluminium-kobber-radiatorer m.fl. Uddrag af koderne ses i Bilag C.

Når danske genvindingsvirksomheder opkøber eller sælger skrot, afhænger kategoriseringen af skrottet af hvilket land den handlende virksomhed ligger i, og af hvilken industrigruppe den tilhører. Det vil sige, at der kategoriseres forskelligt afhængig af, om der er tale om opkøb af overskudsmateriale fra fremstilling af plader i syrefast rustfrit stål fra en dansk produktionsvirksomhed, eksport af smedede aluminiumprofiler til en større tysk genvindingsvirksomhed til videre oparbejdning, eksport af oparbejdet stålskrot til et tyrkisk smelteværk eller salg af oparbejdet nyskrot til et dansk støberi.

Er der tale om genvindingsvirksomheder, som eksporterer direkte til et smelteværk, er der krav til skrottets kvalitet, renhed og legeringsindhold, og der er derfor behov for flere varekoder end hvis der er tale om mindre skrothandlere, der opererer på et lokalt eller nationalt marked og måske ikke oparbejder skrottet i mange eksportfraktioner. Som hovedregel vil der kunne opnås en højere pris for skrot, der er oparbejdet i en ren og homogen fraktion, hvis der er præcist kendskab til materialetypen, legeringsindholdet, kvaliteten, formen mv. end for en sammenblandet og endnu ikke oparbejdet fraktion, der kræver den nødvendige sortering inden omsmelting.

Foruden den praktiske kategorisering, der er kernen i genvindingsvirksomhedernes aktiviteter, skal virksomhederne vurdere, hvilke EAK-koder og KN-koder de fysiske skrotfraktioner skal indberettes under. Derfor må virksomhederne ofte jonglere mellem flere forskellige skrotterminologier og koder for den samme fysiske skrotfraktion. Som understreget er indberetning af data for skrot i høj grad forbundet med en simplificering med betydeligt tab af information.

Til illustration af den forsimpelse der er forbundet med indberetning, skitseres i Tabel 7 to mulige scenarier vedrørende kategorisering af skrot af støbt aluminium og syrefast rustfrit stål.

Sammenlignet med den europæiske skrotstandard er de indberettede skrotmængder i ADS og i DST's handelsdata mindre detaljerede med hensyn til kategoriseringen af skrottypen, hvilket betyder, at der mistes information. I Danmarks Statistik er metallet dog specificeret, altså aluminium i Tabel 7, men der er ikke viden om, hvorvidt det er støbt eller smedet aluminium, og der er således heller ikke kendskab til det sandsynlige legeringsindhold. Hos genvindingsvirksomheden er denne skelnen mellem støbt og smedet vigtig i forhold til den videre afsætning. Selvom varekoden ikke giver information om det nøjagtige legeringsindhold, giver denne skelnen alligevel vigtig information om, hvorvidt det er aluminiumskrot med et lavt eller højt legeringsindhold.

Tabel 7 Muligt scenarie vedrørende kategorisering af skrot af støbt aluminium (eksempel 1) og syrefast rustfrit stål (eksempel 2).

Eksempel 1, skrot af støbt aluminium

En af de mest anvendte legeringer af støbt aluminium er typen A380 med et typisk legeringsindhold på ca. 12 %, hvoraf silicium udgør ca. 8,5 % og kobber ca. 3,5 %, men hvor der også kan forekomme indhold af andre legeringsmetaller som jern, mangan, magnesium, nikkel, zink og tin. Materialet bruges bl.a. i fremstilling af husholdningsredskaber. Ved indberetning til ADS, hvor fokus er på kilden til skrottet, vil skrot af denne type formentlig blive indberettet under EAK-koden *20 01 40 Metaller fra husholdningsaffald og lignende handels-, industri- og institutionsaffald, herunder separat indsamlede fraktioner*. I Danmarks Statistik, hvor fokus er på selve materialet og metallet, vil indberetningen blive henført under *76020090 Skrot af aluminium ...*, som indbefatter gammelt aluminiumskrot.

Hos genvindingsvirksomhederne vil skrotmaterialet imidlertid kategoriseres som støbt aluminium, eventuelt med en specificering af om det er fri for jern. På trods af at der ikke indgår oplysninger om legeringsindholdet i varekoden, er der i branchen veldefinerede 'skrotruter' for henholdsvis støbt og smedet aluminium, hvilket skyldes markante forskelle i legeringsindholdet. Derfor oparbejdes støbt og smedet aluminium hver for sig og sælges til forskellige specialiserede værker, der kan udnytte indholdet af legeringsmetaller i produktion af nye råmaterialer. Ved eksport anvendes den europæiske standard, EN 13920; for støbt aluminium vil koden være EN 13920-7 (scrap consisting of castings).

Eksempel 2, skrot af syrefast rustfrit stål

Eksempel 2 vedrører gamle kar og tanke af syrefast rustfrit stål (austenitisk) brugt i fødevarerindustrien, som fx bliver indsamlet i forbindelse med nedrivningsarbejde. I ADS vil denne type skrot formentlig blive henført under EAK-koden *17 04 07 Blandet metal fra bygnings- og nedrivningsaffald*, da der ikke eksisterer en særskilt kategori for rustfrit stål. Rustfrit stål bliver i genvindingsbranchen ikke karakteriseret som klassisk jern- og stålskrot, hvorfor indberetning under EAK-koden *17 04 05 Jern og stål fra bygnings- og nedrivningsaffald* derfor vil være usandsynlig. I Danmarks Statistik skal indberetningen henføres under *72042110 Affald og skrot, af rustfrit stål, med indhold af nikkel på >= 8 vægtprocent ...*, der bl.a. inkluderer syrefast rustfrit stål. I genvindingsbranchen vil denne type skrot altid registreres som syrefast rustfrit stål eller ved et af de branchemæssige navne såsom 316 (se afsnit 7.1.3) eller som 18/10/2, der refererer til procentfordelingen af legeringsmetallerne krom, nikkel og molybdæn.

5.2.3 Regler og affaldskoder ved import og eksport

Import og eksport af affald, inklusiv jern- og metalkrot, er underlagt to internationale lovgivningssæt; *Basel-konventionen* og *Transportforordningen*. *Basel-konventionen* (European Commission 2020a) under FN's Miljøorganisation, UNEP, dikterer reglerne for overførsel af farligt affald mellem lande og giver de enkelte lande hjemmel til at forbyde import af farligt affald, hvormed det bliver afsenderen og afsenderlandets ansvar at overholde modtagerlandets beslutning. *Transportforordningen* (Miljøstyrelsen 2011) fastsætter regler om at affald, der overføres mellem landene i OECD, følger bestemte procedurer og krav om forudgående anmeldelse. *Basel-konventionen* og *Transportforordningen* er begge med til at kontrollere og sikre, at farligt affald, der er forbundet med en sundheds- og miljømæssig risiko og som kræver en forsvarlig håndtering, kun overføres i overensstemmelse med de involverede myndigheders godkendelse og accept.

Genvindingsvirksomheder, som foretager overførsel af skrot mellem lande, skal derfor, ud over brug af EAK-koder, også klassificere skrottet med en Basel- eller OECD-kode. Igen er det ud fra samme princip om, at virksomhederne skal forsøge at beskrive skrotfraktionen bedst muligt ved at finde den kode, som bedst repræsenterer affaldet. Begge kodesystemer er oprettet med et miljømæssigt formål der skal sikre, at farligt affald bliver notificeret og registreret forsvarligt. Baselkoderne er opdelt mellem en *Liste A*, der omhandler al farligt affald, og en *Liste B* der omhandler al ikke-farligt affald. Hovedparten af jern- og metalskrot karakteriseres imidlertid som ikke-farligt affald, og Baselkoden skal derfor oftest findes i Liste B.

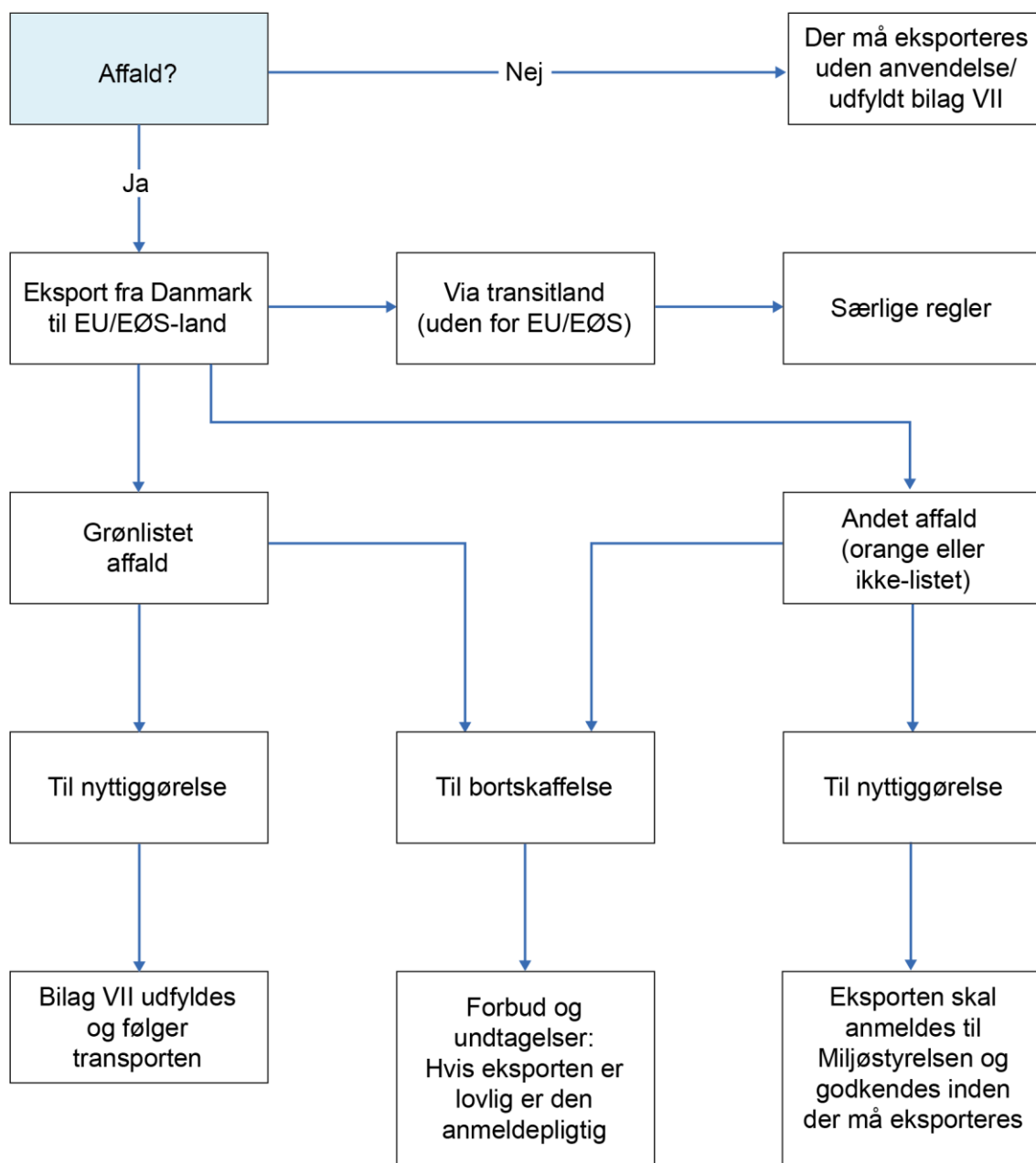
I transportforordningen opereres der med tre affaldslistor; en grøn liste, en orange liste og en liste til ikke-defineret affald. Indplaceringen på listen afgør, om en affaldsfraktion skal anmeldes til myndighederne i afsender- og modtagerlandet før overførsel til nyttiggørelse. Som udgangspunkt er hovedparten af al jern- og metalaffald grønlistet, hvis det er sorteret i rene fraktioner, der passer præcist med kun én kode, er uden nævneværdige urenheder, og hvis det ikke forekommer i spredbar form som fx støv.

For danske genvindingsvirksomheder betyder reglerne i praksis, at grønlistet affald kan importeres og eksporteres mellem OECD-lande til nyttiggørelse uden krav om særlig tilladelse, forudgående anmeldelse eller samtykke fra Miljøstyrelsen. Dette er gældende for hovedparten af al skrot til og fra Danmark. Grønlistet affald skal altid ledsages af et såkaldt udfyldt *Bilag VII*, hvis formål er at affaldet kan spores. Grønlistet affald vurderes nemlig som uproblematisk at håndtere og uden større miljømæssige risici, men må dog under ingen omstændigheder være blandet med andet affald. Eksport af grønlistet affald til nyttiggørelse i et ikke-OECD-land er underlagt det pågældende lands lovgivning, hvormed de fælles regler i OECD træder ud af kraft. Her skal der således opnås samtykke og accept fra modtagerlandet før overførslen kan gennemføres.

Klassificering af affald som grønlistet betyder, at det ikke udgør en sundheds- og miljømæssig risiko, og affaldet kan derfor godt være genanvendeligt. Ikke-grønlistet affald klassificeres som enten orangelistet eller ikke-listet affald og skal inden eksport anmeldes til både afsenderlandets myndighed, som i Danmark er Miljøstyrelsen, og til det pågældende modtager- eller transitland. Orangelistet affald er problematisk affald, der er opført i Transportforordningens Bilag IV, mens ikke-listet affald er alt andet affald. I Figur 7 ses proceduren for eksport af affald, samt hvilke regler der træder i kraft afhængig af affaldstypen.

5.2.4 Udfordringer ved indberetning til Danmarks Statistik og ADS

Selvom både den Kombinerede Nomenklatur og EAK-kodesystemet består af omfattende kodesystemer med henholdsvis ca. 9.300 KN-koder og ca. 800 EAK-koder, er de forskellige indberetningskoder udtryk for en simplificering. Genvindingsvirksomhederne opererer med helt andre varekoder til kategorisering og registrering af skrot i forbindelse med handel, som er mere specifikke og defineret på baggrund af de individuelle skrotfraktioner og deres beskaffenhed. I Bilag D ses de mest anvendte EAK-koder, som genvindingsvirksomhederne indberetter deres skrot under.



Figur 7 Flowdiagram for hvilke(n) procedure(r) der træder i kraft ved eksport af affald (Miljøstyrelsen 2019a).

Genvindingsvirksomhedernes interne varekodesystem inddeler skrottet i specifikke varekoder (den praktiske kategorisering i Figur 6), som bruges i forbindelse med handel, mens de interne systemer fungerer særskilt og uafhængigt af de eksterne indberetningssystemer. Virksomhedernes interne varekoder med detaljeret information om hver enkelt skrotfraktion kan derfor ikke umiddelbart overføres eller indberettes til Danmarks Statistik og ADS. Genvindingsvirksomhederne må først oversætte deres egne varekoder til de forskellige KN- og EAK-koder, inden de kan foretage den lovpligtige indberetning. Denne oversættelse er ikke uproblematisk og kan medføre, at virksomhedernes indberetninger med stor sandsynlighed ikke er indbyrdes konsistente.

Den styrke der ligger i at anvende standardiserede og universelle indberetningskoder, som alle virksomheder i Europa kan knytte deres overførsler af skrot til, indebærer en forsimpning af de fysiske skrotfraktioner til standardiserede koder. Skrot, der ikke umiddelbart passer til en KN- eller EAK-kode, må derfor registreres under den kode, der ud fra en individuel vurdering hos virksomheden bedst repræsenterer den konkrete skrotfraktion og udfordrer dermed pålideligheden af de data, der anvendes i Danmarks Statistik og ADS. Tilmed kan der være forskellige forståelser og opfattelser af, hvilken KN- og EAK-kode en skrotfraktion skal knyttes til. Således kan to forskellige virksomheder indberette den samme type skrot under to forskellige koder eller to forskellige typer af skrot under samme kode. Uensartet indberetning på tværs af virksomheder indebærer, at affaldsdata bliver mindre valide, hvilket påvirker de statistikker der udarbejdes på baggrund af affaldsdata.

Ved indberetning til ADS er det kilden til en given affaldsfraktion, der bestemmer hvilken EAK-kode der skal anvendes til affaldet, mens indberetning af affaldsfraktionen til Danmarks Statistik er baseret på selve materialet og metaltypen. Ingen af de to registreringssystemer lægger vægt på at beskrive indholdet af legeringsmetallerne i den pågældende skrotfraktion. Der foreligger derfor reelt kun meget begrænset viden om de konkrete skrotfraktioner og deres beskaffenhed, og der er dermed heller ingen beskrivelse af legeringsindholdet.

De manglende informationer om legeringsmetallerne skyldes de underliggende formål med databaserne. EAK-kodesystemet er først og fremmest udarbejdet til at klassificere og identificere farligt affald, men da skrot hovedsageligt grønlistes, og dermed klassificeres som ikke-farligt, er behovet for detaljeret viden om legeringsindholdet begrænset. Så længe skrottet er velsorteret, rent og ikke fremgår i spredbar form, udgør det ikke en sundheds- og miljømæssig risiko i henhold til reglerne. Indsamling af data til Danmarks Statistik sker med henblik på udarbejdelse af handelsstatistik samt til varedeklaration for at kunne påføre varer de korrekte toldsats. Trods de udfordringer og uhensigtsmæssigheder, der er knyttet til de to systemer, anvendes data fra DST og ADS i nærværende analyse, da de er de eneste officielle datakilder for dansk skrot.

Virksomhederne i den danske genvindingsbranche klassificerer skrot på et relativt detaljeret (højt) niveau, mens detaljegraden i indberetningssystemerne modsat er særdeles lav. I EAK-kodesystemet baseres koderne ofte på binære opdelinger mellem jernholdigt metal og ikke-jernholdigt metal/ikke-jernmetal, hvor der i flere tilfælde ikke er mulighed for at indberette under de forskellige metaller som kobber, aluminium, bly, tin, zink m.fl. Derudover er det heller ikke muligt at indberette oplysninger om legeringsindholdet i de pågældende skrotfraktioner. Den manglende detaljegrad for indberetning af de forskellige typer af skrot betyder, at affaldsdata kun i begrænset omfang afspejler, hvilken type skrot der er tale om.

Den samme udfordring gælder i et vist omfang også for data for dansk udenrigshandel, hvor der ligeledes anvendes standardiserede KN-koder til indberetning af skrot. Dog er detaljehøjden betydeligt større for KN-koderne end for ADS, hvor der i højere grad indrapporteres på materiale- og metalniveau, som derved afspejler virksomhedernes måde at kategorisere skrottet på.

Til illustration af forskellen i KN-koderne i DST er det for skrot af rødmetaller muligt at indberette import og eksport under en af tre nedenstående KN-koder, der alle er defineret på selve metalniveauet:

- *74040010 Affald og skrot, af raffineret kobber* (undtagen ingots og lignende ubearbejdede former, der er støbt af omsmeltet affald og skrot af raffineret kobber, og undtagen aske og restprodukter, indeholdende raffineret kobber, samt affald ...)
- *74040091 Affald og skrot, af kobber-zinklegeringer messing* (undtagen ingots og lignende ubearbejdede former, der er støbt af omsmeltet affald og skrot af kobber-zinklegeringer, og undtagen aske og restprodukter, indeholdende ...)
- *74040099 Affald og skrot, af kobberlegeringer* (undtagen af kobber-zinklegeringer og undtagen ingots og lignende ubearbejdede former, der er støbt af omsmeltet affald og skrot af kobberlegeringer, aske og restprodukter, indeholdende ...)

I ADS er det derimod kun under kapitel *17 Bygnings- og nedrivningsaffald (herunder opgravet jord fra forurenede grunde)*, at der foretages en skelnen mellem de forskellige rødmetaller, der er slået sammen under én samlet EAK-kode *17 04 01 Kobber, bronze, messing*. Er der fx tale om udtjente kobbermaterialer i form af rør eller plader indleveret på genbrugspladser, er det i ADS ikke muligt at indberette disse materialer som kobberskrot. I stedet vil disse formentlig blot indberettes under EAK-koden *20 01 40 Metaller fra husholdningsaffald og lignende handels-, industri- og institutionsaffald, herunder separat indsamlede fraktioner*. Ved indberetning til Danmarks Statistik skelnes der overordnet set mellem skrot af rent kobber, skrot af messing og skrot af andre kobberlegeringer, der ikke er messing. Dog skelnes der fx ikke mellem de forskellige typer af bronzelegeringer, der bl.a. inkluderer aluminium-bronze og blybronze.

5.2.4.1 Sammenfletning af kategorier

Den kompleksitet der er forbundet med kategorisering af skrot i form af diverse skrotterminologier, navne og officielle indberetningskoder ses i Tabel 9, Tabel 10, Tabel 11, Tabel 12, Tabel 13 og

Tabel **14** med eksempler på de konkrete skrotprodukter og -materialer. Eksemplerne er for skrottyperne *ulegeret jern og stål, legeret jern, fortinnet jern og stål, rustfrit stål, rødmetaller* og *aluminium*, som udgør størstedelen af den danske skroteksport.

Tabellerne er opbygget i tre hovedkolonner, der inkluderer den europæiske varenomenklatur (KN-koder) indberettet til Danmarks Statistik, de europæiske affaldskoder (EAK-koder) indberettet til ADS og terminologier for skrot, som er opdelt mellem eventuelle internationale standarder for skrot, danske skrotterminologier i branchen, typiske varekoder og konkrete eksempler på skrotprodukter og -materialer. Tabellernes opbygning er baseret på sammenfletning af KN-koderne med de mest sandsynlige EAK-koder og de typiske skrottyper. Tabellerne læses fra venstre mod højre og viser hvad KN-koderne i Danmarks Statistik og EAK-koderne i ADS i praksis består af i form af konkrete skrottyper.

Tabellerne er udarbejdet ud fra kvalificerede vurderinger af, hvilke indberetningskoder virksomhederne med overvejende sandsynlighed indberetter de forskellige skrottyper under; denne viden er baseret på oplysninger fra interviews og samtaler med branchens aktører,

deres hjemmesider, diverse rapporter o.l.; tabellerne kan derfor ikke betragtes som komplette. I praksis kan der være yderligere eksempler på skrottyper under de forskellige indberetningskoder ligesom virksomhederne kan anvende flere EAK-koder end dem, der ses i tabellerne.

Helt grundlæggende har vi foretaget den samme øvelse, som virksomhederne gør til hverdag, blot har vi valgt at organisere alle oplysninger i én tabel for at tydeliggøre den forskellighed og kompleksitet, der er forbundet med kategorisering af skrot.

5.2.4.2 Eksempel på kategorisering af skrot af jern og stål

I 2017 udgjorde ulegeret jern- og stålskrot vægtmæssigt hovedparten af den samlede danske eksport af skrot på tværs af alle skrotmetaltyper og blev hovedsageligt eksporteret direkte til smelteværker rundt om i verden. I Tabel 9 ses den ovenfor nævnte sammenstilling mellem KN-koder og EAK-koder for affald og skrot af ulegeret jern og stål, og informationerne repræsenterer derfor størstedelen af den eksporterede danske skrot, og beskrivelser af de internationale standarder for ESSS og ISRI er derfor medtaget i Tabel 9 (men ikke i Tabel 10 til Tabel 14), da disse anvendes ved al eksport af jern- og stålskrot.

Da princippet i opbygningen er ens for Tabel 9 til

Tabel 14, illustreres læsningen af tabellens informationer med udgangspunkt i Tabel 9 for ulegeret jern- og stålskrot og ses i Tabel 8.

Tabel 8 Eksempel på læsning af Tabel 9 til

Tabel 14 på baggrund af Tabel 9.

KN-koden 7204 4990 Affald og skrot, af jern og stål, ikke fragmenteret, ikke i pakker (undtagen affald og skrot af primærelementer, primærbatterier og elektriske akkumulatorer; slagge, metalskum, hammerskæl og andet affald fra fremstilling af jern ...) udgjorde med godt 1 mio. ton ifølge Danmarks Statistik den største eksportkategori for skrot i Danmark i 2017. KN-kode 7204 4990 er en særdeles bredt omfavnende kategori med kun få kriterier til, hvilke skrottyper af jern og stål der må indberettes herunder. Som kategorien antyder, er de eneste krav at materialerne ikke må være fragmenteret eller i pakker og ej heller bestå af skrottyper som primærelementer, primærbatterier og elektriske akkumulatorer mv.

De andre KN-koder for skrot af jern og stål er mere specifikke og henviser til skrot, der klassificeres som enten støbejern, nyskrot fra fremstillingsprocesser eller shredderskrot. Heraf følger, at den nævnte KN-kode 7204 4990 inkluderer alt andet skrot af jern og stål, som ikke kan henføres under de fem andre KN-koder, hvilket i praksis er det, der i branchen kategoriseres som *gammelt jernskrot*. Mere præcist kategoriseres gammelt jernskrot (inkl. stålskrot) af genvindingsvirksomhederne som enten *Gammelt Svært Jern (HMS 1)* eller *Gammelt Let Jern (HMS 2)*, hvor tykkelsen på skrotmaterialet afgør om det er *svært* eller *let*. Benævnelser *HMS 1* og *HMS 2* stammer fra engelsk, *Heavy Melting Steel*. HSM 1 og HSM 2 er knyttet til de amerikanske kategorier i *Scrap Specification Circular 200, 201, 202, 203, 204, 205 og 206* i ISRI, hvor de tre første karakteriseres som *HMS 1 (200, 201 og 202)* og de resterende fire som *HMS 2 (203, 204, 205 og 206)* (Institute of Scrap Recycling Industries 2018a). Hver af disse numre er defineret i ISRI. *HMS 1* og *HMS 2* sælges typisk i forholdet 80:20 og derfor bruges denne procentfordeling også som handelsterminologi.

fortsættes næste side ...

... fortsat fra forrige side

Når der eksporteres til europæiske stålværker i fx Tyskland anvendes imidlertid de europæiske stålstandarder *E1, E3, EHRB* og *EHRM*. Disse er beskrevet nærmere i vejledningen til ESSS i Bilag B. I kolonnen *Eksempler på varekoder* ses eksempler på typiske virksomheds-varekoder, som anvendes under de overordnede skrotterminologier såsom klip, jern, skærejern, armeringsjern mv., mens der i kolonnen *Eksempler på produkter* ses eksempler på konkrete skrotfraktioner som master, tanke, cykler, rør mv.

På baggrund af de forskellige EAK-koder, kombineret med oplysninger fra en række af branchens aktører, er det vores vurdering, at jern- og stålskrot hovedsageligt indberettes under EAK-koderne *17 04 05 Jern og stål, 19 12 02 Jernholdigt metal* og *20 01 40 Metaller*.

Dette kan opsummeres ved følgende eksempel: Skrot i form af en gammel cykel vil typisk blive varedeklareret som klip jern/jern til saks under Gammelt Let Jern | HMS 2, hørende til en af de fire numre 203, 204, 205 og 206 i ISRI samt E1 - Old scrap. Cykler til skrot afleveres hovedsageligt på de kommunale genbrugspladser og indberettes derfor under EAK-koden *20 01 40 Metaller* og under den brede KN-kode *72044 990* for gammelt skrot af jern og stål.

Tabel 9 Affald og skrot af ulegeret jern og stål.

Affald og skrot af ulegeret jern og stål	Systemisk kategorisering		Praktisk kategorisering			
	Danmarks Statistik	Affaldsdatasystemet	Skrottype			
	Kombineret Nomenklatur	EAK-Kode	European Steel Scrap Specification	Scrap Specifications Circular	Terminologi i genvindingsbranchen	Eksempler på varekoder
7204 1000 Affald og skrot, af støbejern (undtagen radioaktivt)	17 04 05 Jern og stål 19 12 02 Jernholdigt metal 20 01 40 Metaller +C7:I30	X	252-257	Støbejern	Støbejern	Faldstammer, dæksler, maskin- og motorelementer mv.
7204 4110 Dreje- og fræseaffald, spåner, slibe-, save- og høvleaffald, af jern og stål, også i pakker (undtagen af støbejern, af legeret stål eller af fortinnet jern og stål)	12 01 01 Filspåner og drejespåner af jern 12 01 02 Metalstøv og -partikler af jern	E5H - Steel Turnings E5M - Steel Turnings	245-247	Drejespåner	Drejespåner (Jernspåner)	Jernspåner
7204 4191 Stansnings- og klipningsaffald, af jern og stål, i pakker (undtagen af støbejern, af legeret stål eller af fortinnet jern og stål)	19 12 02 Jernholdigt metal 20 01 40 Metaller	E6 - New Scrap	208	Nyt Let Jern	Udstansninger, nyt klip jern/nyt let jern til saks. <3 mm tykt og ikke i pakker	Afklip af rørprofiler, plader, stænger mv.
7204 4199 Stansnings- og klipningsaffald, af jern og stål, ikke i pakker (undtagen af støbejern, af legeret stål eller af fortinnet jern og stål)	19 12 02 Jernholdigt metal 20 01 40 Metaller	E2 - New Scrap E8 - New Scrap	207, 207A	Nyt Svært Jern Nyt Let Jern	Udstansninger, nyt klip jern/nyt svært jern til saks. ≥3 mm tykt Udstansninger, nyt klip jern/nyt let jern til saks. <3 mm tykt og i pakker	Afklip af rørprofiler, plader, stænger mv. Afklip af rørprofiler, plader, stænger mv.

fortsættes næste side ...

... fortsat fra forrige side							
7204 4910 Affald og skrot, af jern og stål, fragmenteret "Shredderskrot" (undtagen affald og skrot af primærelementer, primærbatterier og elektriske akkumulatører; slagger, metalskum, hammerskæl og andet affald fra fremstilling af jern og stål; affald og skrot, radioaktivt; brudstykker af blokke, klumper eller andre ubearbejdede former, af råjern eller spejljern; affald og skrot af støbejern, af legeret stål eller af fortinnet jern og stål; dreje- og fræseaffald, spåner, slibe-, save- og høvleaffald; stansnings- og klipningsaffald)	19 10 01 Jern og stålaf-fald	E40 - Shredded	210	Shredderskrot	Shredderskrot	Miljøbehandlede biler, cykler, industrimaskiner, komfur, vaskemaskiner, stænger, rør, plader, kommunejern mv.	
			211				
			212				
7204 4990 Affald og skrot, af jern og stål, ikke fragmenteret, ikke i pakker (undtagen affald og skrot af primærelementer, primærbatterier og elektriske akkumulatører; slagger, metalskum, hammerskæl og andet affald fra fremstilling af jern og stål; affald og skrot, radioaktivt; brudstykker af blokke, klumper eller andre ubearbejdede former, af råjern eller spejljern; affald og skrot af støbejern, af legeret stål eller af fortinnet jern og stål; dreje- og fræseaffald, spåner, slibe-, save- og høvleaffald; stansnings- og klipningsaffald)	17 04 05 Jern og stål 19 12 02 Jernholdigt metal 20 01 40 Metaller	E3 - Old Scrap	200	Gammelt Svært Jern HMS 1	Klip jern/jern til saks, skærejern, stænger, plader, rør, armeringsjern, skinner. Over ≥6 mm tykt.	Master, tanke, beholdere, konstruktions-elementer (bjælker, plader, stænger) mv.	
			201				
			202				
			E1 - Old Scrap	203	Gammelt Let Jern HMS 2	Klip jern/jern til saks, stænger, plader, rør, skinner. <6 mm tykt.	Cykler, komfur, vaskemaskine, stænger, rør, rammer mv.
				204			
				205			
				206			
			EHRB - High Residual Scrap	230	Armeringsjern	Armeringsjern	Armeringsjern
					Stålrør	Stålrør	Stålrør
					Stangstål	Stangstål	Stangstål
		Stålprofiler			Stålprofiler	Stålprofiler	
		EHRM - High Residual Scrap	X	Mekaniske komponenter	Mekaniske komponenter	Mekaniske komponenter	
				Motorkomponenter	Motorkomponenter	Motorkomponenter	

Tabel 10 Affald og skrot af legeret stål.

Affald og skrot af legeret stål	Systemisk kategorisering		Praktisk kategorisering		
	Danmarks Statistik	Affaldsdatasystemet	Skrottype		
	Kombineret Nomenklatur	EAK-Kode	Terminologi i genvindingsbranchen	Eksempler på varekoder	Eksempler på produkter
	7204 2900 Affald og skrot, af legeret stål (undtagen af rustfrit stål og undtagen radioaktivt samt affald og skrot af primærelementer, primærbatterier og elektriske akkumulatorer)	17 04 05 Jern og stål 20 01 40 Metaller	Værktøjsstål	Værktøjsstål	Bor, klinger, sakse, hamre, mejsler, dyser, maskin- og motordele mv.
Støbejern			Støbejern	Faldstammer, dæksler, maskin- og motordele, køkkenredskaber (pander, gryder) mv.	

Tabel 11 Affald og skrot af fortinnet jern og stål.

Affald og skrot af fortinnet jern og stål	Systemisk kategorisering		Praktisk kategorisering		
	Danmarks Statistik	Affaldsdatasystemet	Skrottype		
	Kombineret Nomenklatur	EAK-Kode	Terminologi i genvindingsbranchen	Eksempler på varekoder	Eksempler på produkter
	7204 3000 Affald og skrot, af fortinnet jern og stål (undtagen radioaktivt og undtagen affald og skrot af primærelementer, primærbatterier og elektriske akkumulatorer)	17 04 05 Jern og stål 20 01 40 Metaller	Hvidblik	Hvidblik	Fortinnet jern- og stålprodukter
Fe-dåser			Fe-dåser	Emballage, konservesdåser	

Tabel 12 Affald og skrot af rustfrit stål.

	Systemisk kategorisering		Praktisk kategorisering							
	Danmarks Statistik	Affaldsdatasystemet	Skrottype							
	Kombineret Nomenklatur	EAK-Kode	Gruppe	ASTM Standard	EN Standard	Terminologi i genvindingsbranchen	Eksempler på varekoder	Eksempler på produkter		
Affald og skrot af rustfrit stål	7204 2190 Affald og skrot, af rustfrit stål (undtagen med et indhold af nikkel på ≥ 8 vægtprocent og undtagen radioaktivt samt affald og skrot af primærelementer, primærbatterier og elektriske akkumulatører)	17 04 07 Blandet metal 20 01 40 Metaller	Martensitisk	410	1.4006	Martensitisk rustfrit stål	Martensitisk	Bestik, køkkenredskaber mv.		
			Ferritisk	409	1.4512	Kromstål 11 % Cr	Kromstål 11 %	Husholdningsprodukter, køkkenredskaber, maskiner mv.		
				430	1.4016	Kromstål 17 % Cr	Kromstål 17 %			
	Ferritisk-austenitisk (dupleks)		2205	1.4462	Dupleks	Rustfrit stål dupleks	Trykbeholdere, varmevekslere, tanke mv.			
	7204 2110 Affald og skrot, af rustfrit stål, med indhold af nikkel på ≥ 8 vægtprocent (undtagen radioaktivt og undtagen affald og skrot af primærelementer, primærbatterier og elektriske akkumulatører)		Austenitisk	304	1.4301	Alm. rustfrit stål 18-8	Rustfrit stål 18/8 til saks	Industrielle produkter og materialer som plader, rør, stænger mv.		
							Rustfrit stål 18/8 spåner	Spåner fra produktion		
							Rustfrit stål 18/8 lockpropper	Lockpropper fra produktion		
			310	1.4841	Rustfrit stål 310	310	Industrielle produkter og materialer			
						316	1.4401 1.4436	Syrefast rustfrit stål 18-10-2	Rustfrit stål 18/10/2 til saks	Industrielle syrefaste produkter og materialer som plader, rør, stænger mv.
									Rustfrit stål 18/10/2 spåner	Spåner fra produktion
Rustfrit stål 18/10/2 lockpropper	Lockpropper fra produktion									

Tabel 13 Affald og skrot af rødmetaller.

	Systemisk kategorisering		Praktisk kategorisering		
	Danmarks Statistik	Affaldsdatasystemet	Skrottyper		
	Kombineret Nomenklatur	EAK-Kode	Terminologi i genvindingsbranchen	Eksempler på varekoder	Eksempler på produkter
Affald og skrot af rødmetaller	7404 0010 Affald og skrot, af raffineret kobber (undtagen ingots og lignende ubearbejdede former, der er støbt af omsmeltet affald og skrot af raffineret kobber, og undtagen aske og restprodukter, indeholdende raffineret kobber, samt affald ...)	17 04 01 Kobber, bronze, messing 17 04 11 Kabler, (bortset fra affald henhørende under 17 04 10) 20 01 36 Kasseret elektrisk og elektronisk udstyr 20 01 40 Metaller	Kobberkabler	Kobberkabel 38%	Kabler med isoleringsmateriale og stik
				Kobberkabel 50%	Kabler med isoleringsmateriale og stik
				El-kobber	Afisolerede kobberkabler
				Luftledning	Luftledninger
				Jordkabel	Jordkabler
				Alu-kabler	Alu-kabler
			Kobbertråd	Millberry	Afisolerede kabler af blank kobbertråd
				Kobber laktråd	Lakeret kobbertråd fra elektriske motorer
			Nyt kobber	Nyt kobber	Produktionsrester (fra plader, rør), spåner, granulat mv.
			Raffineringskobber	Gammelt kobber	Plader, rør, tagrender, køkkenredskaber mv.
	Kobber trafo	Kobber trafo 13 %	Kobber fra transformator		
		Kobber trafo 25 %	Kobber fra transformator		
	7404 0091 Affald og skrot, af kobber-zinklegeringer messing (undtagen ingots og lignende ubearbejdede former, der er støbt af omsmeltet affald og skrot af kobber-zinklegeringer, og undtagen aske og restprodukter, indeholdende kobber-zinklegeringer ...)	17 04 01 Kobber, bronze, messing 20 01 40 Metaller	Gammelt messing	Gammelt messing	Lysestager, fittings, vandhaner, vandinstallationer, fade mv.
				Messing vandmåler	Vandmålere
			Nyt messing	Messing 63 klip	Messing kliprester
				Messing 58 spåner	Spåner
				Messing 58 stykker	Messing stykker
			Messingkøler	Messingkøler	Messingkølere
			Yellow	Yellow	Fittings, rør, haner, skruer, bolte mv.
				Yellow spåner	Spåner
Patronhylstre			Patronhylstre	Messingpatroner	

fortsættes næste side ...

... fortsat fra forrige side					
7404 0099 Affald og skrot, af kobberlegeringer (undtagen af kobber-zinklegeringer og undtagen ingots og lignende ubearbejdede former, der er støbt af omsmeltet affald og skrot af kobberlegeringer, aske og restprodukter, indeholdende kobber ...)	17 04 01 Kobber, bronze, messing 20 01 40 Metaller	Bronze	Bronze klip	Produktionsrester	
			Bronze spåner	Spåner	
			Alu-bronze	Lejer, skinner, maritime komponenter mv.	
			Bly-bronze	Glidelejer, armaturer mv.	
		Rødgods		Tin-bronze	Glidelejer og -skinner, møtrikker, cylindre mv.
				Nyt rødgods	Produktionsrester (fra plader, rør), afklip, udløb mv.
				Rødgods raffinering	Ventiler, pumper, glidelejer, fittings, skibsskruer, lejepander mv.
				Rødgods spåner	Spåner

Tabel 14 Affald og skrot af aluminium.

Affald og skrot af aluminium	Systemisk kategorisering		Praktisk kategorisering			
	Danmarks Statistik	Affaldsdatasystemet	Skrottyper			
	Kombineret Nomenklatur	EAK-Kode	EN 13920 Standard	Terminologi i genvindingsbranchen	Eksempler på varekoder	Eksempler på produkter
7602 0011 Drejespåner, fræsespåner, høvlspåner, savspåner og filspåner, af aluminium; affald af farvet, overtrukket eller sammenklæbet folie af tykkelse, uden underlag, <= 0,2 mm, af aluminium	20 01 40 Metaller	DIN EN 13920-12	Alu.-spåner	Alu.-spåner, rene	Spåner	
		DIN EN 13920-13		Alu.-spåner, urene		
		DIN EN 13920-14	Alu.-emballage/folie	Alu.-folie	Emballage	
		DIN EN 13920-15		Folie		
DIN EN 13920-16	Alu.-granulat	Alu.-granulat	Granulat			
7602 0019 Affald af aluminium, herunder kasserede emner fra fabrikation (undtagen slagge mv. hidrørende fra fremstilling af jern eller stål, indeholdende genindvindeligt aluminium i form af silikater samt ingots og lignende ubearbejdede ...	17 04 02 Aluminium 20 01 40 Metaller	DIN EN 13920-4	Nyt aluminium blankt	Alu.-plader	Produktionsrester og afklip fra plader	
		DIN EN 13920-5		Alu.-tråd		Afisolerede kabler
		DIN EN 13920-6			Alu.-profil	ISO-profiler
		DIN EN 13920-3	Alu.-profiler			
		DIN EN 13920-4				
		DIN EN 13920-5				
		DIN EN 13920-6				

fortsættes næste side ...

... fortsat fra forrige side					
7602 0090 Skrot af aluminium (undtagen slagge mv. hidrørende fra fremstilling af jern eller stål, indeholdende genindvindeligt aluminium i form af silikater samt ingots og lignende ubearbejdede former, støbt af omsmeltet aluminiumaffald ...	15 01 04 Metalembalage 17 04 02 Aluminium 20 01 40 Metaller	DIN EN 13920-4	Gammelt aluminium	Alu., valset	Skilte, persiener, plader, cykelstel mv.
		DIN EN 13920-5		Alu.-klip	
		DIN EN 13920-6		Alu., støbt	Maskin- og motordele, gearkasse, sideskjolde, pander mv.
		DIN EN 13920-7	Alu.-dåser	Alu.-dåser løse	Aluminiumdåser
		DIN EN 13920-10		Alu.-dåser i baller	
		DIN EN 13920-10		Alu.-dåser i pakker	
		DIN EN 13920-7	Alu.-fælge	Alu.-fælge støbt, rent	Aluminiumfælge
		DIN EN 13920-7		Alu.-fælge støbt, urent	
		DIN EN 13920-3	Alu.-kabel	Alu.-kabel	Alu.-kabler
		DIN EN 13920-3		Alu.-jordkabel	Alu.-jordkabler
		DIN EN 13920-3		Alu.-tråd	Alu.-tråd
		DIN EN 13920-11	Alu.-kølere	Al-Cu-køler, rent	Aluminiumkøler fra køleskabe og fryser
		DIN EN 13920-11		Al-Cu-køler, urent	
		DIN EN 13920-3	Alu.-luftledning	Alu.-luftledninger	Højspændingsledninger, acsr-ledninger
		DIN EN 13920-4 DIN EN 13920-5 DIN EN 13920-6	Alu.-offsetplader	Offsetplader	Offsetplader fra trykkeri
Offsetplader, presset					
Alu.-profil	ISO-profil		Vinduesprofiler, rammer, ekstruderings mv.		
	Alu.-profil, rent				
	Alu.-profil, urent				
Alu.-sandwich	Alu.-sandwich	Alu.-sandwichplader			

6. Genanvendelse af jern- og metalskrot i Danmark

6.1 Genvindingsbranchen i Danmark

Den danske genvindingsbranche dækker over en bred vifte af virksomheder, hvis hovedaktiviteter omfatter oparbejdning af jern- og metalskrot fra affaldsprodukter, restmaterialer fra overskudsproduktion o.l. De forskellige virksomhedstyper i branchen er beskrevet i *Branchebeskrivelse for produkthandel, autoophug og jern- og metalgenindvindingsvirksomheder* (Teknik & Administration Nr. 9 1997). I udgivelsen foretages en opdeling mellem autoophuggere, produkthandlere og genvindingsvirksomheder, hvor de to sidstnævnte er virksomheder, der indsamler, sorterer og videresælger jern- og metalskrot, men hvor genvindingsvirksomhederne ydermere udfører en mekanisk bearbejdning af skrottet. Fælles for virksomhederne er, at de håndterer de samme former for skrotmaterialer. I nærværende rapport ser vi bort fra både autoophuggere og produkthandlere som virksomhedstyper, da de ikke udfører nogen mekanisk bearbejdning af skrot. Fra de miljøbehandlede biler genvindes størstedelen af disse på et af de tre shredder anlæg, som findes i Danmark. I Bilag E ses et udsnit af Dansk Branchekode (DB07), der indeholder en detaljeret klassifikation og beskrivelse af virksomheder, hvis hovedaktiviteter beror på undergruppe 38.32 *Genbrug af sorterede materialer* og dermed omfatter genvindingsvirksomheder.

Historisk strækker genvindingsbranchen sig tilbage til midten af 1800-tallet og bygger på en lang tradition for at genbruge udtjente produkter og materialer af jern og metal, der blev indsamlet og oparbejdet forud for omsmelting på støberier eller smelteværker. Det var især gammelt værktøj og andre brugsgenstande, der blev indsamlet og omsmeltet på grund af metallernes høje værdi. Selvom metoderne og skrottyperne dengang var relativt simple, er det grundlæggende de samme principper, som branchen baserer sig på i dag, blot ved brug af mere moderne teknologi til adskillelse og karakterisering.

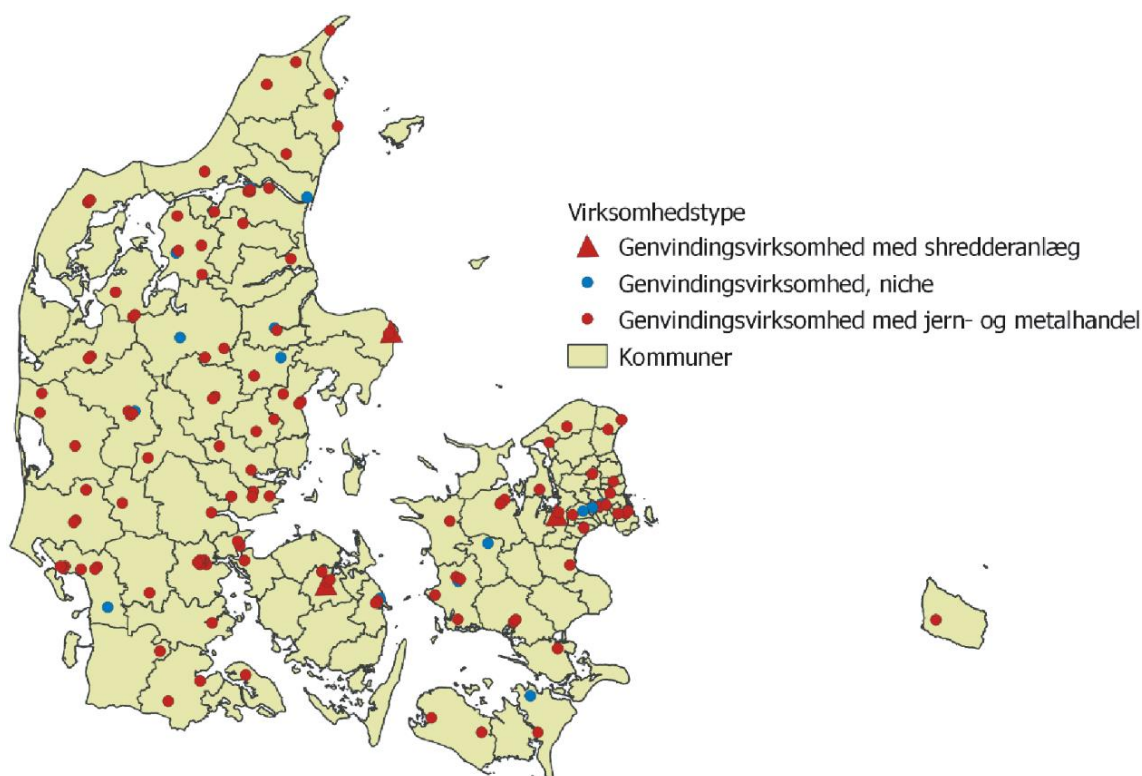
I 1981 skete en større organisering af branchen med oprettelse af brancheorganisationen, Genvindingsbrancherådet, som senere skiftede navn til Genvindingsindustrien. I 1997, da den førnævnte branchebeskrivelse blev udgivet, var 60 af landets genvindingsvirksomheder organiseret i Genvindingsbrancherådet, som dengang repræsenterede omkring 90 % af de årligt håndterede mængder skrot i Danmark.

I dag omfatter den danske genvindingsbranche nogle få store genvindingsvirksomheder, typisk med flere pladser, og mange små og mellemstore genvindingsvirksomheder og skrot-handlere med under 20 ansatte pr. virksomhed, der typisk kun råder over en enkelt plads. Aktiviteterne i de mindre virksomheder er almindeligvis relativt simple oparbejdningsaktiviteter såsom indsamling, manuel sortering, klipning og skæring af det jern- og metalskrot, der opkøbes fra det umiddelbare geografiske opland.

De store genvindingsvirksomheder disponerer over større faciliteter og maskiner, herunder kraner, skrotsakse, presseanlæg og shredder anlæg til oparbejdning og separation af skrot og råder ofte over flere pladser med mere end 20 beskæftigede, mens de allerstørste beskæftiger mere end 100 med både produktion, salg og marketing. Ligeledes disponerer de

større virksomheder over en større flåde af egne lastbiler til transport af skrot samt containerordninger, der sættes op hos virksomheder i industrien. Den større kapacitet på mandskab, oparbejdningsfaciliteter, mere effektiv logistik, bedre infrastruktur og økonomisk kapital betyder, at de store operatører opererer på større geografiske markeder i forhold til køb og salg i både ind- og udland og desuden har stordrifts- og konkurrencemæssige fordele i forhold til de mindre virksomheder.

Men da skrot genereres fra en bred vifte af industrier og erhverv i hele landet fra bygge- og anlægsvirksomheder, produktionsvirksomheder, landbrug, private virksomheder, kommunale genbrugspladser- og stationer og ikke mindst fra husholdninger, og da skrot er tungt og besværligt at håndtere, og transportomkostningerne derfor er en væsentlig konkurrenceparameter, har genvindingsvirksomhederne typisk været lokalt forankret med hovedaktiviteter på samme adresse. Dette afspejles i den geografiske fordeling af genvindingsvirksomheder i Danmark, som ses i Figur 8.



Figur 8 Kort over genvindingsvirksomheder i Danmark. Data er baseret på tilgængelige oplysninger fra Affaldsregistret, hvor samtlige virksomheder der er aktive i den danske affaldshåndtering, er registreret. Fra registret er udvalgt de virksomheder, der i deres beskrivelse kan håndtere affaldsfraktioner med jern- og metal, og som er registreret som enten indsamlingsvirksomheder med og uden forbehandlingsanlæg samt genanvendelsesanlæg. Udvælgelsen betyder bl.a. at større entreprenører og transportvirksomheder ikke er medtaget.

Flere af branchens store og mellemstore aktører er i dag organiseret i en af de to brancheforeninger: Genvindingsindustrien (GI) under Dansk Erhverv med omkring 30 medlemmer og i interesseorganisationen og medlemsforeningen Affalds- og Ressourceindustrien (ARI)

under Dansk Industri med fem medlemmer. Både GI og ARI arbejder for at fremme de økonomiske, handelsmæssige og administrative rammevilkår for medlemmerne, der beskæftiger sig bredt inden for genvinding af samfundets affaldsressourcer, der inkluderer skrot af jern og metaller, WEEE, byggeaffald, men også andre affaldstyper som pap, papir mv.

Oplysninger fra Affaldsregistret om virksomheder, der kan betegnes som genvindingsvirksomheder, viser, at der i 2018 var 104 forskellige genvindingsvirksomheder, hvoraf størstedelen kun råder over en enkelt plads, samt et mindre antal virksomheder, som råder over 2-4 produktionsenheder. De to største aktører i den danske genvindingsbranche, Stena Recycling og H.J. Hansen Genvindingsindustri A/S, råder over henholdsvis 12 og ni produktionsenheder. Gennem de seneste årtier har en række af de største genvindingsvirksomheder udvidet deres aktiviteter ved opkøb af andre genvindingsvirksomheder og overtagelse af deres pladser og/eller gennem investering i nye anlæg.

I Danmark er der ikke længere aktive smelteværker, og det er derfor kun de danske støberier, der er aftagere af det oparbejdede skrot.

6.2 Støberibranchen i Danmark

Den danske støberibranche udgøres af jern- og metalstøberier, som producerer gods i støbejern eller andre metaller (Teknik & Administration Nr. 6 1997). Jern- og stålstøberierne er specialiserede virksomheder som udelukkende fremstiller produkter af jern og stål; typisk bruges støbeforme af sand. Omvendt gælder, at metalstøberierne ikke producerer jern- og stålprodukter, men kun produkter af metaller som aluminium, magnesium, titan, zink mv. ved sandstøbning, kokillestøbning og ved brug af gipsforme. Selvom støberierne kan opdeles ud fra metaltype, råder flere støberier over en differentieret produktion, hvor der støbes med flere forskellige metaller og forme (ibid.). I Bilag F ses et udsnit af Dansk Branchekode (DB07), der indeholder en detaljeret klassifikation og beskrivelse af virksomheder, hvis hovedaktiviteter beror på undergruppe 24.5 *Støbning af metalprodukter*.

Støberibranchen er en af Danmarks ældre industrier og opstod i forbindelse med industrialiseringens indtog og udbredelse i landet op gennem det 19. århundrede. Det første jernstøberi blev etableret i 1770 i København, mens udviklingen uden for København først for alvor tog fart i løbet af 1830'erne, da de enkelte byer fik behov for støberiernes fremstilling af produkter, maskindele og komponenter (Kulturstyrelsen 2019). I byerne blev støberierne typisk en integreret del af fabrikernes maskinproduktion (Teknik & Administration Nr. 6 1997). Senere bidrog også landbrugets mekanisering til støberiernes udvikling, hvortil der skulle produceres maskiner og komponenter. Set over de sidste par hundrede år har branchen oplevet store udsving både i antallet af jernstøberier og målt på ansatte. I 1997 var der 15 virksomheder med omkring 2.000 ansatte (ibid.), mens der i 2017 var omkring 1.400 fuldtidsbeskæftigede fordelt på 13 jernstøberier, seks stålstøberier, 16 letmetalstøberier og 10 støberier betegnet som *støberier af ikke-jernholdige metalprodukter* med 45 arbejdssteder eller produktionssteder, se Tabel 15 og Tabel 16 (Danmarks Statistik 2019). En stor del af landets støberier, både jern- og metalstøberier, er organiseret under Danske Støberiers Brancheforening i Dansk Industri med i alt 15 medlemmer.

Støberibranchen er i dag den eneste større industrisektor i Danmark, der genanvender skrot som råmateriale til nye produkter.

Tabel 15 *Oversigt over antal fuldtidsbeskæftigede* for de fire undergrupper af støberier i perioden 2008-2017 (Danmarks Statistik 2019).*

	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
245100 Støbning af jernprodukter	625	394	399	459	825	840	822	854	834	913
245200 Støbning af stålprodukter	151	128	18	32	8	8	8	6	7	7
245300 Støbning af letmetalprodukter	315	207	223	229	234	229	417	441	418	389
245400 Støbning af andre ikke-jernholdige metalprodukter	120	81	81	95	80	89	97	98	89	93
I alt	1.211	810	721	815	1.147	1.166	1.344	1.399	1.348	1.402

* antallet af fuldtidsbeskæftigede er lønmodtagere på arbejdsstedet i årets løb med en ugentlig beskæftigelse på 37 timer

Tabel 16 *Oversigt over antal produktionssteder for de fire undergrupper af støberier i perioden 2008-2017 indberettet ultimo november det pågældende år (Danmarks Statistik 2019).*

	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
245100 Støbning af jernprodukter	6	14	12	13	14	13	12	13	13	13
245200 Støbning af stålprodukter	8	6	7	6	7	5	6	4	5	6
245300 Støbning af letmetalprodukter	17	18	19	17	17	15	17	19	18	16
245400 Støbning af andre ikke-jernholdige metalprodukter	13	11	10	10	10	9	10	9	9	10
I alt	54	49	48	46	48	42	45	45	45	45

Danske støberier er leverandører af støbegods til en bred vifte af industrier og sektorer i både ind- og udland herunder til bilindustrien, marine- og offshoreindustrien, maskinindustrien, energi-, bygge- og fremstillingsindustrierne og andre, hvor der produceres komponenter og emner som motorer, pumpehuse, lejhuse, gearhuse, hjulophæng, cylinderhoveder, maskiner, armaturer o.l., mens der også støbes jernstænger til videre forarbejdning.

De fleste støberier er jernstøberier, hvor der støbes i gråjern og sfærisk grafitjern (SG-jern), men der støbes i mindre grad også i rustfrit stål, aluminium, nikkelaluminiumbronz- og kobberlegeringer. I Danmark er det dog kun de danske jernstøberier, der i nævneværdig udstrækning anvender skrot i produktionen, mens der i udlandet ses eksempler på aluminiumstøberier, hvor aluminiumskrot indgår i produktionen.

I Danmark bruger støberierne hovedsageligt nyskrot og ikke gammelskrot i produktionen, da de dermed får detaljeret kendskab til legeringsindholdet i skrottet, hvilket er afgørende for at opnå en høj og ensartet kvalitet af de støbte emner. Viden om inputmaterialerne hænger nøje sammen med de høje krav til materialeegenskaberne af det færdige støbegods, hvor selv små mængder af uønskede metaller og andre grundstoffer kan have en negativ indvirkning på støbegodsets specifikationer i forhold til hårdhed, slid-, træk- og brudstyrke samt varme- og korrosionsbestandighed; egenskaber der kun opnås ved den korrekte sammensætning af legeringsmetaller og grundstoffer. Hvis skrottet har højt indhold af visse uønskede legeringsmetaller forsøger støberierne at 'fortynde' sig ud af problemet med tilførsel af skrot,

som kan kompensere for legeringsindholdet. Men denne fremgangsmåde forlænger og besværliggør processen og har dermed en økonomisk slagside.

Når støberierne anvender skrot som inputmateriale i produktionen, skal skrottet først omsmeltes hvorefter slaggen, bestående af oxiderede metaller og metaldele, som ikke er smeltet, skal fjernes. Denne smelteproces foregår i dag typisk i induktionsovne (el-ovne), hvorefter den smeltede masse overføres til en 'støbeske', inden det til sidst støbes i en støbeform.

Den danske produktion fordeler sig grundlæggende mellem støbning af færdigprodukter, som størstedelen af støberierne er specialiseret inden for, og støbning af halvfabrikata, som stænger og profiler, der indgår som input til videre forarbejdning og produktion i industrien.

6.3 Oparbejdning af jern- og metalskrot i Danmark

Genanvendelsesraten af metallerne er betinget af, at skrotfraktionerne er behandlet så de er så homogene som muligt. Nedenstående gives en oversigt over typiske arbejdsprocesser ved oparbejdning af jern- og metalskrot i Danmark.

6.3.1 Værdisætning og kategorisering

Genvindingsvirksomheder modtager skrot fra alle steder i samfundet ved at privatpersoner, håndværkere og virksomheder indleverer direkte på skrotpladsen eller ved at genvindingsvirksomhederne selv kører ud og afhenter skrottet hos de skrotproducerende aktører. Ligeledes modtages skrot fra de kommunale genbrugspladser, der bl.a. handles gennem DanBørs A/S, som varetager kommunernes salg af jern- og metalskrot.

I forbindelse med opkøb af skrot varebestemmes skrottet, og på baggrund af skrottypen forhandles der en pris, hvilket helt lavpraktisk foregår ved, at den pågældende skrotfraktion vejes (som regel på en brovægt) og prisen udregnes. Til at identificere og varebestemme skrotfraktionen kan genvindingsvirksomheder gøre brug af forskellige metoder. De fleste aktører i branchen kan på baggrund af mange års brancheerfaring karakterisere de enkelte skrotfraktioner ved visuel inspektion i kombination med viden om, hvor skrottet kommer fra. I tvivlstilfælde kan et håndholdt røntgeninstrument (XRF) anvendes til at fastslå det præcise metalindhold, især hvor der er tale om et parti bestående af homogene skrotfraktioner. Ved store uhomogene prøver kan det være nødvendigt at udtage prøver til nærmere analyse.

Prisen følger de normale markedsmekanismer i forhold til prissætning, ofte med reference til priserne ved London Metal Exchange (LME). Er der tale om skrot bestående af uhomogene fraktioner, hvor forskellige metaller, materialer eller kvaliteter er sammenblandet, vil køber typisk værdisætte hele fraktionen ud fra den laveste kvalitet. Ved handel med legeret skrotmateriale, hvor der kan være indhold af værdifulde metaller som fx nikkel i rustfrit stål, afhænger prisen af, om det er muligt at udnytte indholdet af disse legeringsmetaller i den afsluttende omsmelting. Hvis det er muligt at nyttiggøre legeringsmetaller, vil prisen på skrot-

tet typisk afspejle værdien af legeringsmetallerne i skrottet. Omvendt kan meget rene fraktioner normalt opnå en højere pris; det ses typisk for forskellige typer af kobberskrot. I Figur 9 og Figur 10 ses eksempler på henholdsvis kobber- og jernskrot med forskellig renhed.



Figur 9 Eksempler på kobberskrot (også kaldet raffineringkobber) af forskellig renhedsgrad. Til venstre: kobberskrot med malingrester, ledninger og andre urenheder. Til højre: kobberskrot i form af rør, stænger og plader med høj renhed. Foto: MiMa.



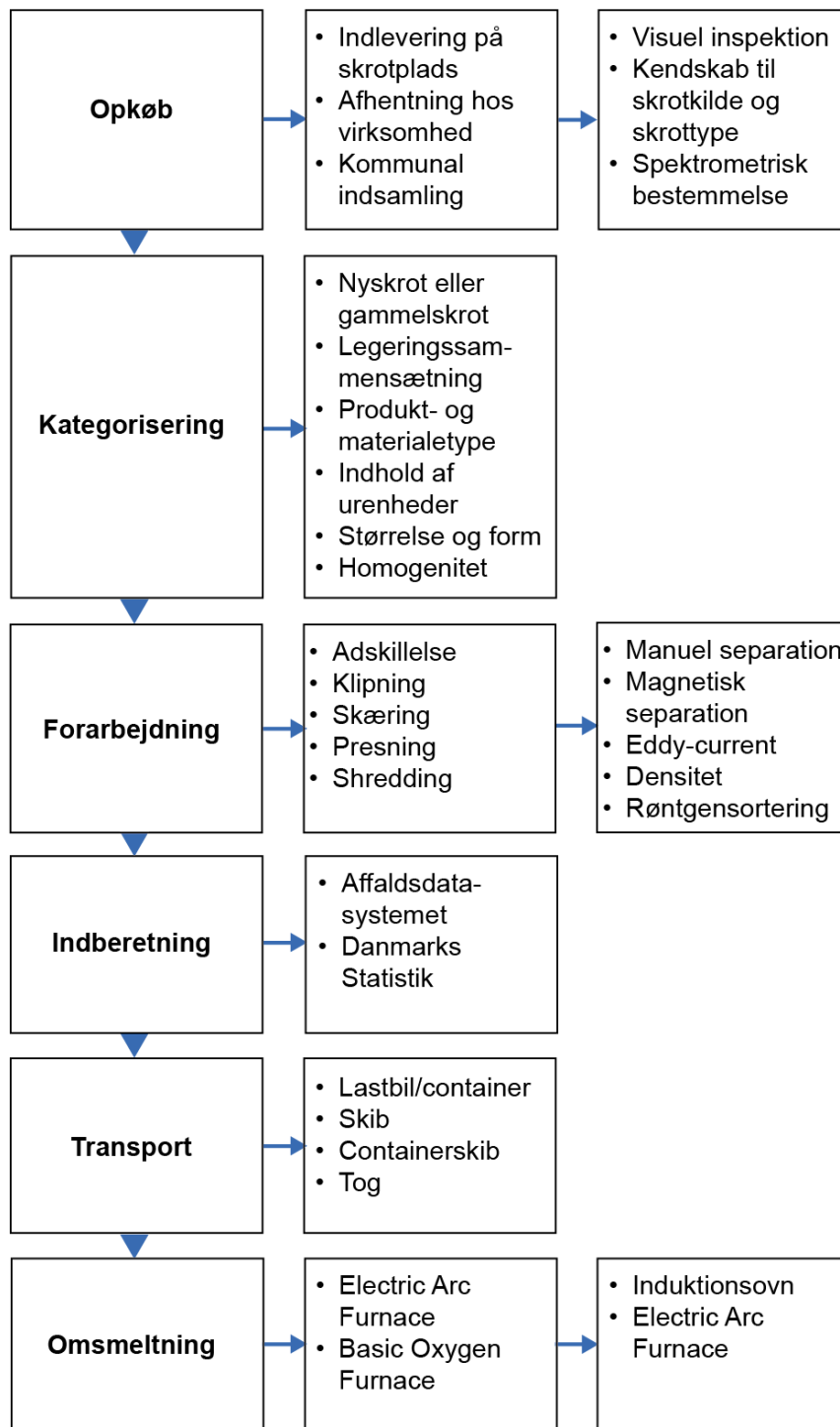
Figur 10 Eksempler på jernskrot. Til venstre: et parti gammelt jernskrot. Til højre: nyt almindeligt rustfrit stål (304, se afsnit 7.1.3) i form af afklip fra fremstillingsprocesser. Foto: MiMa.

6.3.2 Oparbejdning af skrot

I Figur 11 ses hovedaktiviteterne for oparbejdning af skrot i et flowdiagram med udgangspunkt i jern- og stålskrot. Hovedaktiviteterne er opdelt i seks faser; opkøb, kategorisering, forarbejdning, indberetning, transport og omsmeltning, der er typiske for de danske genvindingsvirksomheder uanset typen af skrot. Som det fremgår, gennemgår skrottet en række

mellemliggende aktiviteter fra det for første gang opkøbes af genvindingsvirksomhederne til det afslutningsvis sendes til omsmelting.

Aktiviteter for behandling af skrot af jern og stål



Figur 11 Oversigt over oparbejdningsforløbet for jern- og stålskrot inddelt i seks grundlæggende trin: Opkøb, kategorisering, forarbejdning, indberetning, transport og omsmelting. Forløbet er tilpasset den danske genvindingsbranche og de typiske metoder og processer, der foretages i Danmark.

Efter opkøb og kategorisering oparbejder skrotvirksomheden skrottet i specielle fraktioner ved at skrottet gennemgår diverse mekaniske forarbejdnings- og separationstrin for at neddele og sortere det i mindre fraktioner, hvilket gør skrottet lettere at udsortere. Trinene inkluderer bl.a. fysisk adskillelse, klipning med saks, skæring med gasbrændere, presning og/eller neddeling på en shredder, som der findes tre af i Danmark (Figur 8). Ved shredding neddeles fraktioner af gammelskrot indsamlet fra kommunale genbrugspladser (fx hårde hvidevarer), biler og skillemetal (branchebegreb for sammenblandet skrotfraktion med højt metalindhold ud over jern) (Figur 12). Shredderen kan håndtere store skrotfraktioner og skrotvolumener og er derfor foretrukket til hurtig neddeling af uforarbejdede skrotprodukter.



Figur 12 Shredderformateriale bestående af sammenblandet jern- og metalskrot. Til venstre ses bl.a. lamper, skinner, cykler, græsslåmaskiner, værktøj, køkkenredskaber og en bilmotor. Til højre: hårde hvidevarer. Foto: MiMa.

Ved de mekaniske neddelingsprocesser bliver uforarbejdet gammelskrot i form af udtjente produkter og materialer af især jern- og stål, som fx biler, olie- og gastanke, plader, stænger mv. til mere håndterbare ensartede størrelsesfraktioner, som efterfølgende kan udsorteres i en række forskellige jern- og metalfraktioner. Udsorteringen sker primært efter materialernes magnetiske egenskaber og densitet.

For metalskrot sorteres der i høj grad på produkt- og materialeniveau, fx kabler og ledninger af kobber; offset-plader, profiler og ekstruderings af aluminium (Figur 13); skydepatroner og armaturer af messing; plader og profiler af syrefast rustfrit stål osv. I andre tilfælde indsamles skrot udelukkende på produktniveau, det er bl.a. blyakkumulatorer, katalysatorer og elektroniske komponenter som fx printplader, der primært sendes videre til forarbejdning på specialiserede værker og fabrikker uden for Danmark.



Figur 13 *Forskellige former for aluminiumskrot. Til venstre: ekstruderinger og profiler af aluminium som kan have været brugt til vinduer. Til højre: aluminiumplader og -rammer. Foto: MiMa.*

Nyskrot er i modsætning til gammelskrot typisk i mindre og homogene fraktioner direkte fra virksomheders fremstillings- og produktionsprocesser og er derfor ofte klar til at blive sendt til omsmelting uden videre forarbejdning. Der kan derfor ske en direkte levering af nyskrot fra produktionsvirksomhederne til støberierne og smelteværkerne uden om genvindingsvirksomhederne (Figur 14). De forarbejdede skrotfraktioner er herefter klar til at blive distribueret videre til forarbejdning hos en anden dansk eller udenlandsk genvindingsvirksomhed eller til omsmelting på et smelteværk eller støberi. Inden da foreskriver dansk lovgivning, som beskrevet i kapitel 5, at genvindingsvirksomhederne ved overførsel af skrot indberetter til Danmarks Statistik og ADS.

I forbindelse med distributionsfasen vil der ofte være tale om en direkte eksport til udlandet. Transport af jern- og stålskrot, hvor anseelige mængder eksporteres til fjerntliggende destinationer uden for Europa, vil typisk foregå med skib. Rent logistisk fungerer det ved, at en række af de større danske genvindingsvirksomheder køber jern- og stålskrot fra de mindre genvindingsvirksomheders for at kunne opnå en tilstrækkelig volumen til at fylde et skib.

Med lukningen af Det Danske Stålvalseværk A/S i Frederiksværk i 2002 forsvandt landets største aftager af dansk jern- og stålskrot og siden er størstedelen af dansk jern- og stålskrot blevet eksporteret til udlandet. Størstedelen eksporteres i dag til omsmelting i Tyrkiet, der i 2017 var verdens største importør af jern- og stålskrot (World Steel Association 2018), samt til Tyskland og Sverige. Transporten til Tyrkiet foregår primært med skib, mens leverancer over kortere distancer til Tyskland og Sverige desuden foregår via vejtransport.



Figur 14 Nyskrot af let jern i form af afklip; store stykker bliver ofte neddelt yderligere. Foto: MiMa.

I Figur 15 ses de primære bearbejdningsstrin af forskellige former for jernholdigt skrot beskrevet ved de gængse skrotterminologier, der anvendes i genvindingsbranchen.

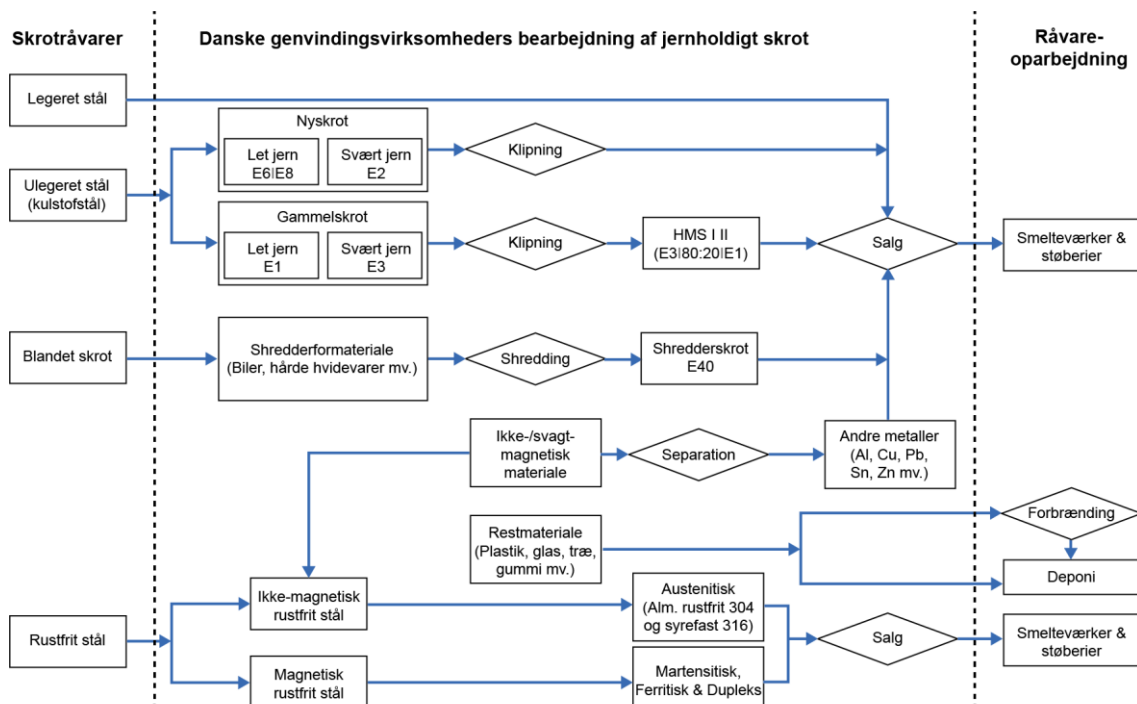
I forlængelse af den mekaniske neddeling følger separationsprocessen, hvor der i Danmark typisk anvendes manuel separation af skrotfraktionerne samt magnetisk separation til at sortere det magnetiske skrot fra det ikke-/svagt-magnetiske skrot. Mere sofistikerede separationsmetoder anvendes i forbindelse med shredding, hvor hovedmetalfractionerne stål, aluminium og kobber separeres ved hjælp af bl.a. magnetisme, eddy-current, luftblæsning og forskellige typer af sensorer.

Overskydende restaffald som plast, glas, træ, gummi mv. fjernes ligeledes i forbindelse med shredding. Da kun to genvindingsvirksomheder råder over shredder anlæg, forarbejder de fleste genvindingsvirksomheder i Danmark skrottet ved brug af de mere simple mekaniske neddelings- og separationsprocesser.

Separationsmetoderne er knyttet til de fysiske egenskaber af materialet såsom dets magnetiske egenskaber, densitet, elektriske ledsevne, farve mv. (van Schaik & Reuter 2012), som udnyttes til at inddele skrotfraktionerne i ønskede grupper. Effektiviteten af separationen afhænger derfor af hvilke materialer der findes i blandingen, forholdet mellem disse og hvilken form de optræder på.

Formålet med hele oparbejdningsforløbet er at optimere kvaliteten og homogeniteten af de enkelte skrotfraktioner således, at de opfylder de industrielle standarder og kvalitetskrav hos

smeltværkerne og støberierne. Uden disse forudgående forarbejdnings- og separationstrin vil kvaliteten af skrottet være så lav, at det ikke kan anvendes som inputmateriale. Sekundært materiale betragtes derfor først som et alternativ til primære råstoffer, såfremt det opfylder de produktionsmæssige kvalitetskrav og prisen samtidig er konkurrencedygtig.



Figur 15 Flowdiagram for de typiske oparbejdningsforløb for legeret stål, ulegeret stål, blandet skrot bestående af primært jern og stål og rustfrit stål (MIMa 2020).

6.3.3 Skrotmarkedet og afsætning

Fordi skrot handles på baggrund af de internationale markedspriser på industrimetaller ved fx LME, som er dynamiske med daglige udsving, kommer virksomhedernes prissætning i forhold til køb og salg til at afspejle den pågældende børsspris, det øjeblik handlen foretages. De dagligt fluktuerende priser kan derfor have stor betydning for, hvorvidt genvindingsvirksomhederne vælger at sælge eller vente til at priserne er mere attraktive. Typisk kan selv små prisændringer være definerende for om skrottet afsættes, hvorfor genvindingsvirksomheder i perioder med lave priser venter med salg til priserne igen er attraktive. Hos smeltværkerne er behovet for skrotmateriale nogenlunde konstant, hvilket betyder, at de kun har begrænset mulighed for at spekulere i prisvariationer, og derfor kan blive nødsaget til at indkøbe skrotpartier til (for) høje priser, da alternativet vil være at skrue ned for produktionen.

Den geografiske placering af internationale smeltværker i metalindustrien har også en betydning, og de dominerende aktører i industrien er derfor med til at definere de danske eksportstrømme for skrot. Den danske import og eksport samt det internationale skrotmarked er nærmere beskrevet i kapitel 9.

7. Hoved- og legeringsmetaller i jern- og metalskrot

I dette kapitel gennemgås først hovedmetallerne jern og stål, aluminium og kobber, som udgør hovedparten af det skrot, der genereres og oparbejdes i Danmark. Derefter omtales en række produkttyper der indeholder mere specielle metaller, som tonnagemæssigt er betydeligt mindre end de før omtalte metaller. I gennemgangen introduceres metallernes materialegenskaber, primære anvendelsesområder og genanvendelsesmuligheder. Ligeledes gives en kort gennemgang af de mest relevante begreber og processer inden for metalindustrien i forhold til genanvendelse af skrot som sekundært råstof.

Overordnet set kan legeringsmetaller inddeles i tre kategorier, der er defineret ud fra deres funktion i det pågældende materiale: primære legeringer, sekundære legeringer og spormetaller (Bell *et al.* 2006). Primære legeringsmetaller er de intenderede legeringsmetaller, der tilsættes for at opnå specifikke egenskaber og kvaliteter, mens sekundære legeringsmetaller ikke tilfører nogle specifikke egenskaber, men blot 'optager' en fysisk plads i materialet (*ibid.*). Spormetallerne har derimod en negativ og forringende effekt på det færdige materiales kvalitet og betragtes derfor som uønskede (*ibid.*). Denne opdeling, skelner således mellem hvilke legeringsmetaller der efterspørges, hvilke der kan tolereres, og hvilke der er uønskede. Fra et bæredygtighedssynspunkt er målet isoleret set at genvinde flest mulige af metallerne som funktionelle metaller, og dermed reducere den nødvendige mængde af primære metaller.

Primære legeringsmaterialer omfatter visse metaller og grundstoffer, der som nævnt tilsættes en metalsmelte for at give det endelige produkt specifikke egenskaber. Visse materialer består af rent eller næsten rent metal. Det gælder fx rent kobber i kobberrør eller kabler samt en række aluminiumlegeringer i *1xxx-serien* (se afsnit 7.2.1), hvor der kun er et lille indhold af sekundære legeringsmetaller, fx legeringstypen 1235 med 99,35 % aluminium, der ofte bruges til aluminiumfolie. De 'kommercielt rene' kobber- og aluminiumprodukter på markedet kan dog indeholde meget små koncentrationer af sekundære legeringsmetaller og spormetaller, typisk få promiller eller lavere.

7.1 Ståltyper og legeringsmetaller

Jern (Fe) er det mest almindeligt anvendte metal i verden. Men rent jern er duktilt, og derfor tilsættes der almindeligvis legeringsmetaller til jern, så de tekniske egenskaber ændres og anvendelsesmulighederne øges. Det gælder fx stål, som består af jern og minimum ét legeringsmetal samt kulstof. Legeringsmetaller, som tilsættes for at øge materialets styrke eller hærdeevne, udgør typisk kun en lille del af smelten (mindre end 5 %), hvorimod legeringsmetaller, som tilsættes for at øge korrosionsbestandighed eller ekstrem temperaturstabilitet, tilsættes i større mængder (over 5 %). Til stål er mangan det mest almindelige legeringsmetal, men der bruges også store mængder nikkel, krom, molybdæn og vanadium. Herudover bruges mindre mængder legeringsmetaller som aluminium, kobolt, kobber, cerium, niobium, titan, wolfram, tin, zink, bly og zirkon. I Tabel 17 ses de mest almindelige legeringsmetaller i stål og de egenskaber, som de tilfører stålet.

Tabel 17 De mest almindelige legeringsmetaller og deres egenskaber i stållegeringer, rustfrit stål og legeret stål.

Legeringsmetall	Beskrivelse	Legeringsegenskaber i stål											Leg.indhold		Bruges typisk i
		Styrke	Brudsejhed	Hårdhed	Slidstyrke	Varmebestandighed	Hærdbarhed	Korrosionsbestandighed	Formbarhed	Mindre vægt	Bearbejdélighed	Svejsbarhed	Syrefasthed	Rustfrit stål	
Mn	I produktionen bruges Mn til at binde ilt. Bruges ofte i legeret stål og HSLA-stål*.	X		X	X		X				X		X	X	Bruges også i støbejern og almindeligt kulstofstål.
Cr	Krom anvendes oftest pga. dets oxidation; en oxideret hinde, der hindrer (yderligere) korrosion, dannes.	X		X	X	X	X						X	X	Bruges i forkromning af især stål.
Ni		X	(X)	X		X	X	X					X	X	Bruges i galvanisering af især stål. Bruges hyppigt i superlegeringer.
Mo		X	X	X		X	X	X			X	X	X	X	Bruges også i superlegeringer og støbejern.
V	Vanadium øger styrke. Anvendes hyppigt i HSLA-stål.	X	(X)	X	X								X	X	Bruges i titanlegeringer, superledere og batterier.
W		X		X	X	X							X	X	
Zn								X							Overfladebehandling, også for almindeligt stål.
Co	Kobolt øger varmebestandighed og hårdhed.			X	X	X		X					X	X	Bruges i superlegeringer.
Al	Aluminium bruges i enkelte stållegeringer med højt kromindhold for at mindske oxidation. Desuden tilføjes aluminium i produktionsprocessen for at binde ilt.	X								X					Bruges også i superlegeringer.
Cu	Kobber I tilføjes for at øge bearbejdélighed og korrosionsmodstand. Kobber er ofte også et uønsket forureningsmetal.							X			X				
Ti	Titan legeres i stål for at øge finkorndannelsen og dermed øge styrken.	X				X		X		X			X	X	
Nb	Niobium bruges for at øge styrken, bearbejdélighed mv., bl.a. meget almindeligt i HSLA-stål.	X	X				X		X		X		X	X	Bruges også i superlegeringer og superledere.

* HSLA - High-Strength Low-Alloy steel

På baggrund af det legerede grundstof og koncentrationer opdeles stål ofte i følgende kategorier: kulstofstål, legeret stål, rustfrit stål og værktøjsstål, som beskrives nedenfor.

7.1.1 Kulstofstål

Kulstofstål er den mest simple og mest anvendte type af stål og består af jern, kulstof (0,1-2 %) og eventuelt mangan (dog max 0,30 %); andre legeringsmetaller kan også være tilsat, fx silicium, kobber, tin og krom. Ved øget kulstofindhold opnår materialet øget hårdhed og styrke, men på bekostning af duktiliteten og svejsbarheden. Kulstofstål er et eftertragtet materiale i byggeindustrien, hvor det anvendes i form af armeringsstål, bjælker (Figur 16), kabler, stålplader og stænger (Total Materia 2012). Derudover indgår det også i fremstillingen af maskin- og konstruktionsdele som skruer, bolte, møtrikker, akselsystemer, fjedring, gear og tandhjul (Coburn-Myers 2019). Kulstofstål er et relativt billigt materiale med stor styrke og holdbarhed, men den ringe korrosionsbestandighed gør det uønsket som materiale i fugtige og vandige miljøer. I Danmark udgør kulstofstål hovedparten af eksporten inden for jern- og stålskrot.



Figur 16 Et typisk eksempel på anvendelse af kulstofstål i form af stålbjælker, som bl.a. bruges i bygninger. Foto: MiMa.

7.1.2 Legeret stål

Som navnet antyder refererer denne ståltipe til en bred vifte af ståltyper, hvor jern og kulstof er legeret med et eller flere metaller som fx kobolt, krom, mangan, molybdæn, nikkel, niobium, titan, vanadium og wolfram i forskellige koncentrationer. Inden for legeret stål skelnes der ofte mellem lavt legeret stål (<5 % legeringsindhold) og højt legeret stål (>5 % legeringsindhold), hvor de rustfrie ståltyper tilhører den sidste gruppe. Tilsætningen af legeringsmetaller afhænger af, hvilke egenskaber der efterspørges; tilsættes molybdæn øges stålets styrke, mens tilførsel af nikkel øger sejheden og krom øger hårdheden og korrosionsbestandigheden (Tabel 17) (Packard 2009).

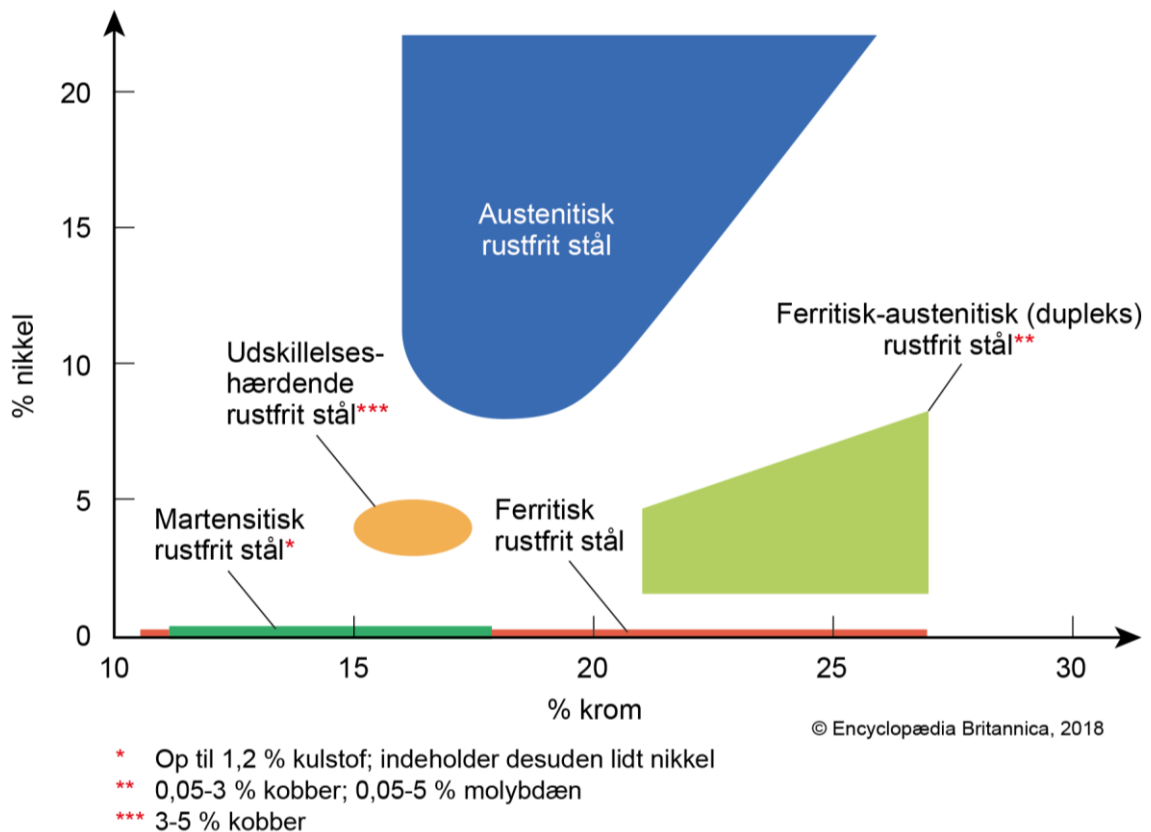
Under typen legeret stål findes hurtigstål (HSLA-stål, eng. *High-Strength Low-Alloy steel*), borstål mv., som er lavt legerede. Anvendelsesmulighederne for disse lavt legerede ståltyper ses typisk inden for konstruktionsudstyr, entreprenørmaskiner i bygge- og konstruktionssektoren, bil- og skibssektoren, rør, trykbeholdere og platforme. Fællesnævnerne for disse områder er efterspørgslen på stor styrke, sejhed og hårdhed, og hvor de æstetiske og designmæssige kvaliteter som overfladeudseende er underordnede, og der derfor går på kompromis med egenskaber som høj korrosionsbestandighed, formbarhed og fleksibilitet. På grund af det lavere legeringsindhold (i forhold til rustfrit stål) er materialerne relativt billige at fremstille.

7.1.3 Rustfrit stål

Betegnelsen rustfrit stål er defineret ved et minimumindhold af krom på 10,5 %, som gør materialet korrosionsbestandigt og dermed eftertragtet i mange typer af produkter og industrier, som skal kunne udholde vand-, fugt- og syreholdige miljøer. Ved tilsætning af krom dannes der på stålets overflade en tynd passiverende oxidfilm, der beskytter mod det omgivende miljø, så stålet ikke rustet under kontakt med vand (Miljø- og Fødevareministeriet 2018). Foruden tilsætning af krom legeres rustfrit stål også med andre metaller og grundstoffer, der afhængig af mængde og sammensætning ændrer materialeegenskaber, så stålet fx opnår øget mekanisk styrke, hårdhed, sejhed, fleksibilitet, magnetisme mv. (Tabel 17) (Aalco 2011). Ståltyper med kromindhold <10,5 % karakteriseres ikke som rustfrie, og kan i stedet være galvaniseret med en belægning af zink, hvilket tilfører lignende korrosionsbestandighed. Dog har denne type stål en begrænset levetid fordi zinklaget over tid korroderer og levetiden derfor bliver en funktion af zinklagets tykkelse.

Foruden tilsætning af krom er de fleste rustfri ståltyper også legeret med nikkel, som ligeledes bidrager med korrosionsbestandige egenskaber samt øget styrke og hårdhed. Samme korrosionsbestandige egenskaber opnås også ved tilsætning af molybdæn, der er efterspurgt, hvis materialet skal kunne holde til særligt korrosive og syreholdige miljøer, og rustfrit stål med indhold af molybdæn er derfor kendt som syrefast rustfrit stål. Andre typisk forekommende legeringsmetaller er kobber, kulstof, mangan, nitrogen, silicium og titan, men der ses også legeringer med små mængder fosfor og svovl. Indholdet af hver af disse legeringsmetaller er typisk lavt og kun sjældent højere end 1,5-2 %. Oversigt over materialeegenskaberne ved de enkelte legeringsmetaller ses i Tabel 17.

På baggrund af mikrostrukturer og indholdet af legeringsmetaller kan rustfrit stål grundlæggende opdeles i fem overordnede grupper; *martensitisk*, *udskillelshærdende*, *ferritisk*, *ferritisk-austenitisk (dupleks)* og *austenitisk rustfrit stål*, der hver især optræder i en lang række underliggende industristandarder og -typer med varierende legeringsindhold og egenskaber. I Figur 17 ses de fem grupper i forhold til indholdet af krom og nikkel.



Figur 17 På baggrund af indholdet af krom og nikkel inddeles rustfrit stål i fem overordnede grupper, martensitisk, udskillelseshærdende, ferritisk, ferritisk-austenitisk (dupleks) og austenitisk rustfrit stål (Encyclopædia Britannica 2018).

I Tabel 18 ses en oversigt over de fem typer rustfrit stål med tilhørende legeringsindhold, materialekarakteristika og anvendelsesmuligheder (Aalco 2011; ACO 2019).

Som nævnt findes der inden for de fem hovedgrupper en lang række anerkendte industristandarder og endnu flere forskellige typer legeringssammensætninger tilpasset industriens produkt-, materiale- og kvalitetsbehov. Hovedmængden af rustfrit stål i Danmark udgøres af fire specifikke standarder. To af disse hører under austenitisk stål med de industrielle betegnelser 304 og 316 (ASTM-standard). Type 304 kendes også som almindeligt rustfrit stål eller 18/8 med reference til procentindholdet af krom og nikkel, mens type 316 kendes som syrefast rustfrit stål eller 18/10/2, der henviser til procentindholdet af krom, nikkel og molybdæn. De to andre typer, 409 og 430, hører begge under ferritisk rustfrit stål og kendes som kromstål.

Austenitisk rustfrit stål besidder de bedste korrosionsbestandige egenskaber, hvilket gør materialer af denne type særdeles efterspurgt i industrier og produkter, som skal være modstandsdygtige over for vand- og syreholdige miljøer (Figur 18). Af disse grunde er austenitisk rustfrit stål den mest udbredte rustfrie ståltype på verdensplan, hvor den i 2016 udgjorde omkring 60-70 % af produktionen (Damstahl 2018).

Tabel 18 Oversigt over de fem overordnede grupper af rustfrit stål med typiske legeringsmetaller, indhold, fordele, begrænsninger og typiske anvendelser (Aalco 2011; ACO 2019).

Gruppe	Legeringsmetaller	Fordele	Begrænsninger	Typisk anvendelse
Marten-sitisk	Cr: 11,5-13,5 % Ni: 0,75-1,5 % Mn: 1-2 %	Stor styrke, billigt	Lav korrosionsbestandighed, lav formbarhed og svejsbarhed, magnetisk hvilket øger risikoen for forureningsproblemer.	Bestik, køkkenredskaber, hospitalsudstyr.
Udskillelseshærdende	Cr: 15-17% Ni: 4-8% Mo: <3 % Nb: <0,5 % Cu: <5 %	Stor styrke	Lav korrosionsbestandighed, lav formbarhed og svejsbarhed.	En sjældent anvendt gruppe af rustfrit stål, bruges til rustfri kædeled og golfkøller.
Ferri-tisk	Cr: 16-18 % Ni: 0,5-1,2 % Mn: 1,0-1,25 %	Billigt, god formbarhed	Lav korrosionsbestandighed, ringe sejhed i svejsninger, sprød karakter og magnetisk.	Husholdningsprodukter, køkkenredskaber, indendørs maskiner, beklædningsdele.
Ferri-tisk-austenitisk (dupleks)	Cr: 21-23 % Ni: 4,5-6,5 % Mo: 0,3-3,5 % Mn: 1,5-2% Cu: <0,04 %	God korrosionsbestandighed, stor styrke, god formbarhed og svejsbarhed, og god modstandsdygtighed mod brud.	Dyrt, begrænset udbud; magnetisk, hvilket øger risikoen for forureningsproblemer.	Trykbeholdere, varmeveksler, offshore olie- og gasinstallationer, lette brokonstruktioner, tanke.
Austenitisk	Cr: 16-26 % Ni: <22 % Mn: 0,5-2 % Mo: <3 % Nb: <0,5 % Ti: <0,3 %	Høj korrosionsbestandighed, god formbarhed og svejsbarhed, ikke-magnetisk.		I levnedsmiddelindustrien, bryggerier og mejerier, udendørs beklædning og arkitektur, armering og produkter i den farmaceutiske, kemiske og petrokemiske industri.

7.1.4 Værktøjsstål

Værktøjsstål er en betegnelse for jernbaserede kulstoflegeringer med indhold af diverse legeringsmetaller, der tilføjes for at give materialet dets alsidige formål, bl.a. egenskaber som styrke, hårdhed, modstandsdygtighed og evnen til at modstå friktion og rystelser (Metal Supermarkets 2014). Typisk har værktøjsstål indhold af wolfram, molybdæn, kobolt og vanadium, som på forskellig vis bidrager til, at de ønskede egenskaber kan opnås (Højerslev 2001).

Værktøjsstål bruges til skæring, presning, ekstrudering og bearbejdning af metaller og andre materialer. Værktøjsstål er en legering af kulstof og legeret stål som er særligt velegnet til fremstilling af værktøj, da denne ståltype har stor hårdhed og er slidresistent, også ved temperaturstigninger under brug af værktøjet. Værktøjsstål indeholder 0,5-1,5 % kulstof, samt et meget lille indhold af mangan, som minimerer revnedannelse under vandafkøling. Indholdet af karbider i matrix giver værktøjsstålet de efterspurgte egenskaber. De fire vigtigste legeringsmetaller der danner karbider i værktøjsstål er wolfram, krom, vanadium og molybdæn (Verhoeven 2007).



Figur 18 Blandet gammelt skrot af syrefast rustfrit stål, hvor der bl.a. ses stålspiraler, sandsynligvis fra varmtvandsbeholdere. Foto: MiMa.

7.2 Legeringsmetaller i aluminium

Aluminium (Al) er efter jern det mest hyppigt anvendte metal i samfundet. Det bruges inden for fremstilling af diverse bygningskomponenter og fly, biler, kabler, husholdningsprodukter mv. Der findes kommercielt rene smedede legeringer, der bl.a. bruges til folie, beholdere i fødevarerindustrien og i elektronik, men hovedparten af aluminiummaterialerne er legerede. Aluminium er ofte legeret med jern, kobber, magnesium, mangan eller zink. I Tabel 19 ses de mest almindelige legeringsmetaller og deres virkning på aluminiumlegeringernes egenskaber.

Udvinding og forarbejdning af aluminium er en meget energikrævende proces, og der er derfor stærke incitament for at genanvende aluminium, da det indebærer en energibesparelse på op til 95 %. Genanvendelsesraten anslås til 69 % for EU (Passarini *et al.* 2018) og mere end 50 % på globalt plan (Reuter *et al.* 2013).

Aluminium anvendes primært i form af aluminiumlegeringer, enten som støbte eller smedede produkter, fx profiler (Figur 19) der har et lavt legeringsindhold. Omkring 85 % af aluminiumprodukterne på verdensplan er smedet (Alumil 2019). Ud over de forskellige egenskaber som skyldes forarbejdningsmetoden adskiller smedede og støbte aluminiumprodukter sig ved indholdet af legeringsmetaller. Smedede legeringer har som udgangspunkt et samlet legeringsindhold på max 10 %, mens støbte kan indeholde op til 20 % legeringsmetaller, herunder en stor andel silicium, se Tabel 20.

Tabel 19 De mest almindelige legeringsmetaller og deres egenskaber i aluminiumlegeringer.

Lege- rings- metal	Beskrivelse	Styrke	Brudsejhed	Hårdhed	Slidstyrke	Varmebestandig- hed	Korrosionsbestan- dighed	Mindre vægt	Bearbejdelig- hed	Forklaring	Hypighed
Zn	Zink anvendes i mindre mængder, ofte sammen med mangan og kobber.	X	X			X				Bruges typisk i 7xxx-serien* og giver ekstra styrke til legeringen, men mindsker korrosionsbestandigheden.	Almindeligt
Cu	Kobber øger hårdhed og styrke i aluminiumlegeringer, men har også problematiske effekter såsom øget korrosion.	X		X						Bruges typisk i 2xxx-serien** og i støbt aluminium (2xx) og sammen med Si (3xx).	Almindeligt
Mn	Mangan er et almindeligt legeringsmateriale i aluminium og indgår ofte som spormetal.	X								Bruges særligt i 3xxx***-serien i smedede legeringer, samt i støbt aluminium.	Almindeligt
Mg	Magnesium legeres let og meget ofte med aluminium, særligt i smedede legeringer.	X		X						Bruges særligt i 5xxx****-serien og i støbt aluminium sammen med Si.	Almindeligt
Cr	Krom er et relativt hårdt metal med højt smeltepunkt. Det anvendes ofte pga. dets egenskaber i krystalliseringen af aluminiumlegeringer.	X								Bruges i aluminiumlegeringer for at give styrke og brudsejhed.	Mindre hypigt
Ni	Nikkel er et hårdt og duktilt metal. Bruges for at give styrke og hårdhed.	X		X						Bruges især ved varmt bearbejdede smedede produkter.	Mindre hypigt
Li	Lithium legeres med aluminium i specielle legeringer for at mindske vægt.							X		Bruges i særlige legeringer, fx i flyindustrien.	Sjældent
Zr	Zirkon bruges i enkelte aluminiumlegeringer for at forbedre mikrostrukturen eller for at øge smeltepunktet.	X				X	X			Bruges i særlige legeringer, fx i flyindustrien.	Sjældent
Ti	Titan er ofte et spormetal i aluminiumlegeringer, men tilsættes også bl.a. støbt aluminium for at opnå kornforfining.				X	X				Bruges i særlige legeringer, fx i kromraffinaderier	Sjældent
Bi, Pb, Sn	Bismut og andre metaller med lavt smeltepunkt tilføres visse legeringer for at øge bearbejdigheden.								X	Bruges i særlige legeringer for at øge bearbejdigheden, men mindsker korrosionsbestandigheden	Sjældent
Cd	Cadmium tilføjes i specielle legeringer for at øge korrosionsbestandighed og styrke.	X					X			Bruges i særlige legeringer, fx højhastighedstog.	Sjældent

* se afsnit 7.2.7, ** se afsnit 7.2.2, *** se afsnit 7.2.3, **** se afsnit 7.2.5



Figur 19 Aluminiumskrot. Til venstre: smedede aluminiumprofiler. Til højre: afskrællede aluminiumkabler. Foto: MiMa.

Tabel 20 Typiske aluminiumprodukter, anvendelsesmuligheder, aluminiumindhold og legeringsmetaller for støbte og smedede aluminiumprodukter.

	Støbte aluminiumprodukter	Smedede aluminiumprodukter
Typiske produkter	Formstøbte dele	Kabler, plader (offset), folie, ekstruderinger, profiler (ISO)
Typiske anvendelser	Bilindustri, forbrugsprodukter, industrivarer	Byggematerialer, forbrugsprodukter (fx emballage), industrivarer (fx kabler), bilindustrien
Typisk aluminiumindhold	> 80 %	> 90 %
Andre legeringsmetaller	Si (typisk > 5 %), Mg, Cu, Fe, Mn (Ni, Zn, Sn, Ti, Pb, Cr)	Mn, Mg, Cu, Si, Zn, (Fe, Cr, V, Ti, Bi, Ga, Pb, Zr)

Der findes en række forskellige nationale og internationale standarder for aluminiumlegeringer, hvoraf den fælleseuropæiske EN-norm, den amerikanske ASME-norm og den internationale ISO-norm er de mest anvendte. De tre normer er opbygget efter samme princip og består af et firecifret nummer, hvor første ciffer angiver det primære legeringsmetal, mens det næste ciffer angiver om det er legeringer til støbte eller smedede produkter. 1xxx-serien refererer til rent aluminium, mens aluminium i 2xxx-serien legeres med kobber, 3xxx med mangan, 4xxx med silicium, 5xxx med magnesium, 6xxx med magnesium-silicium, 7xxx med zink og 8xxx med andre metaller. Afhængigt af legeringsmetallerne og varmebehandlingen kan aluminiumstyperne have mange forskellige egenskaber som flot udseende, let fabrikation, god korrosionsbestandighed, højt styrke/vægt-forhold, god svejsbarhed og høj brudsejhed. Valg af aluminiumstype afhænger i sidste ende af anvendelsen og brugsvilkårene.

Nedenstående gives en kort oversigt over de mest benyttede aluminiumstyper og deres fysiske karakteristika, samt indhold af legeringsmetaller, baseret på informationer fra www.totalmateria.com.

7.2.1 Aluminiumstype Serie 1xxx – ren aluminium

Disse typer af aluminium (1050, 1060, 1100, 1145, 1200, 1230, 1350 etc.) er karakteriseret ved fremragende korrosionsbestandighed, høj termisk og elektrisk ledningsevne, lave mekaniske egenskaber og høj bearbejdelighed. En moderat stigning i styrke kan opnås ved tøjningshærdning. Jern og silicium er de største urenheder og dermed mest uønsket.

7.2.2 Aluminiumstype Serie 2xxx – legering med kobber

Aluminiumlegeringer i 2xxx-serien (2011, 2014, 2017, 2018, 2124, 2219, 2319, 201.0; 203.0; 206.0; 224.0; 242.0 etc.) har ikke en lige så god korrosionsbestandighed som de fleste andre aluminiumlegeringer, og der kan under visse betingelser ske interkrystallinsk korrosion. Aluminiumstyper i 2xxx-serien er god til elementer, som kræver god styrke ved temperaturer op til 150 °C (300 °F) (Tabel 19). Bortset fra type 2219 har disse aluminiumlegeringer begrænset svejsbarhed, og nogle legeringer i denne serie er meget lette at bearbejde. Aluminiumstype 2024 er den mest populære legering og er almindeligt anvendt i flykonstruktioner.

7.2.3 Aluminiumstype Serie 3xxx – legering med mangan

Disse aluminiumlegeringer (3003, 3004, 3105, 383.0; 385.0; A360; 390.0) er generelt ikke-varmebehandlelige, men har ca. 20 % højere styrke end 1xxx-seriens rene aluminium. Fordi kun en begrænset procentdel mangan (op til ca. 1,5 %) kan tilføjes aluminium, bruges mangan kun som et væsentligt element i et par legeringer.

7.2.4 Aluminiumstype Serie 4xxx – legering med primært silicium

Det mest brugte legeringsmetal i 4xxx-serien (4032, 4043, 4145, 4643 etc.) er silicium, som tilsættes i tilstrækkelige mængder (op til 12 %) for at sænke smeltepunktet. Derfor anvendes aluminium-silicium-legeringer i svejsetråde og som hårdloddelegeringer for aluminiumsamlinger, hvor et lavere smeltepunkt end hovedmaterialets eget er krævet. Aluminiumlegeringer med betydelige mængder silicium går fra mørkegrå til trækulsfarve, når de udsættes for anodisk oxidation og er dermed efterspurgt indenfor arkitektoniske funktioner.

7.2.5 Aluminiumstype Serie 5xxx – legering med magnesium

Legeringens hovedelement er magnesium. Når det bruges som hovedelement eller sammen med mangan opnås en moderat til høj styrke med mulighed for deformationshærdning. Magnesium er betydeligt mere effektivt end mangan som en hærder, da der kun er brug for omkring 0,8 % Mg for samme hærkning som 1,25 % Mn giver, og det kan samtidig tilføjes i betydeligt større mængder. Aluminiumlegeringer i denne serie (5005, 5052, 5083, 5086, etc.) er godt til svejsninger og har relativ god modstand mod korrosion i marine miljøer. Dog er der begrænsninger i forhold til koldbearbejdning, og for at undgå følsomhed over for spændingskorrosion er den tilladte driftstemperatur 66 °C for høj-magnesium-aluminiumlegeringer.

7.2.6 Aluminiumstype Serie 6xxx – legering med magnesium-silicium

Aluminiumlegeringer i 6xxx-serien (6061, 6063) indeholder silicium og magnesium i omtrent de proportioner, der kræves for dannelse af magnesium-silicid (Mg_2Si), hvilket gør dem varmebehandlelige. Selv om de ikke er så stærke som de fleste 2xxx- og 7xxx-legeringer, har aluminiumlegeringer i 6xxx-serien gode formegenskaber, svejsbarhed, bearbejdelighed, er relativt korrosionsbestandige og har medium styrke. Aluminiumstyper i denne varmebehandlelige gruppe kan dannes i T4 varmebehandlet tilstand (opløsningsglødet, men ikke udskillelsesbehandlet) og derefter styrkes til fuld T6 egenskaber efter formning ved udskillelsesbehandling.

7.2.7 Aluminiumstype Serie 7xxx – legering med zink

Zink i mængder på 1-8 % er hovedelementet i legeringen i 7xxx-serien for aluminiumlegeringer (7075, 7050, 7049, 710.0, 711.0 etc.). Hvis der kombineres med en mindre procentdel magnesium opnås en varmebehandlelig legering med moderat til meget høj styrke. Andre metaller som fx kobber og krom tilføjes normalt også i små mængder. 7xxx-serie-legeringer anvendes i flyskrog, mobilt udstyr og andre meget belastede dele. Højstyrke-7xxx-aluminiumlegeringer har nedsat resistens over for spændingskorrosion og udnyttes ofte i en lidt overmodnet tilstand for at give bedre kombinationer af styrke, korrosionsbestandighed og brudsejhed.

7.2.8 Aluminiumstype Serie 8xxx – legering med andre metaller

8xxx-serien (8006; 8111; 8079; 850.0; 851.0; 852.0) er forbeholdt legeringsmetaller, der ikke dækkes af serierne 2xxx til 7xxx. Jern og nikkel bruges til at øge styrken uden betydeligt tab i elektrisk ledningsevne og er dermed nyttige i elektriske lederlegeringer som 8017. Aluminium-lithium-legering 8090, der har usædvanlig høj styrke og stivhed, blev udviklet til brug i rumfarten. Aluminiumlegeringer i 8000-serien svarer til Unified Numbering System A98XXX osv.

7.3 Legeringsmetaller i kobber

Kobber (Cu) er det tredje mest anvendte metal i samfundet efter jern og aluminium og er karakteriseret ved at være et blødt, tungt og formbart metal. Kobber kan anvendes som både rent kobber (raffineret kobber) og kobberlegeringer. Kobberlegeringer har en lang historie i samfundet og har været produceret siden oldtiden, bl.a. på grund af de gode mekaniske egenskaber og de gode egenskaber i forhold til støbning (Copper Development Association 2019a). I Tabel 21 ses de mest almindelige legeringsmetaller i kobberlegeringer og de egenskaber, som materialet får ved tilførsel af kobber.

Tabel 21 De mest almindelige legeringsmetaller og deres egenskaber i kobberlegeringer.

Legeringsmetal	Beskrivelse	Styrke	Brudsejhed	Hårdhed	Slidstyrke	Varmebestandighed	Ledningsevne	Korrosionsbestandighed	Støbningssegenskaber	Bearbejdélighed	Bruges typisk i
Sn	Tin er et metal med lavt smeltepunkt, der særligt legeres med kobber i bronzer.	X	X	X							Bronze, messing
Zn	Zink er et metal med relativt lavt smeltepunkt, som ofte legeres med kobber, særligt i messing som giver øget hårdhed.	X	X	X				X		X	Messing, bronze
Ni	Nikkel er et hårdt og duktilt metal, der særligt anvendes i rustfrit stål og kobberlegeringer for øget korrosionsbestandighed.	X			X			X			Kobbernikkel, nikkelsølv, visse bronzer
Mn	Mangan er et mindre almindeligt legeringsmateriale i kobber og tilføjes ofte i bronze med zink eller aluminium for at øge styrke og hårdhed.	X		X							Manganbronze
Pb	Bly legeres med kobber i messing og andre legeringer for at øge bearbejdéligheden.								X	X	Messing
Al	Aluminium legeres hyppigt med kobber i aluminiumbronze eller messing for at øge korrosionsbestandigheden.							X			Aluminiumbronze
Fe	Jern legeres i små mængder i kobber for at øge styrke og hårdhed, men ledningsevnen sænkes.	X		X							Messing og aluminiumbronze
Cr	Krom legeres i små mængder i elkobber for at øge styrke.	X						X			Kobber
Be	Beryllium legeres med kobber i højstyrkekobber og elkobber for øget styrke.	X									Kobber
Bi	Bismut legeres i visse bronzer for at øge korrosionsbestandigheden.							X			Bronze
Zr	Zirkon legeres i meget små mængder med krom i visse typer af elkobber for øget styrke.	X									Kobber
Ag	Sølv legeres i få tilfælde i elkobber for øget styrke.	X									Kobber, ædelmetallegeringer
Cd	Cadmium legeres i små mængder i elkobber for at øge varmebestandigheden.					X					Kobber
Mg	Magnesium legeres med få typer elkobber for øget styrke.	X									Kobber
Co	Kobolt legeres i få typer højstyrkekobber med beryllium.	X									Højstyrkekobber

Genanvendelsesraten for kobber er globalt over 50 % (Reck & Graedel 2012); dog noget højere i Europa. Men genanvendelse af kobber er meget afhængig af, hvilken type produkt metallet indgår i, da små mængder kobber i fx elektronikprodukter gør det relativt svært at adskille kobberet fra de øvrige materialer (Samuelsson & Björkman 2014). Omvendt har rent kobber fra nyskrot eller genbrugte kobberkabler en høj renhedsgrad og kan genanvendes direkte i omsmeltingen til nye produkter.

Afhængigt af legeringsmetallerne og koncentrationen kan kobberlegeringerne opdeles i seks typer: rent kobber, fortyndede kobberlegeringer, messing, bronze, kobber-nikkellegeringer og nysølvlegeringer, som alle beskrives nedenfor.

7.3.1 Rent og fortyndet kobber

Rent kobber (Figur 20) indeholder mindre end 0,7 % urenheder og er blødt og duktilt. Det anvendes primært i kabler og som kobbertråd i elektroniske og elektriske produkter, hvor der kræves en renhed på minimum 99,995 %. Kommercielle rene kobbertyper omfatter numrene C10100 til C13000 i Unified Numbering Systems (UNS).

De fortyndede kobbertyper indeholder små mængder af forskellige legeringsmetaller (<50 ppm), der ændrer en eller flere af de grundlæggende egenskaber for kobber. Electrolytic Tough Pitch-kobber (ETP) C11000 laves af katodekobber, dvs. kobber der er elektrolytisk raffineret og er den mest almindelige af alle de elektriske kobbertyper.



Figur 20 Rent kobberskrot af kabler og rør. Foto: MiMa.

7.3.2 Messing

Kobber anvendes også i messing, der primært er en legering af kobber og zink (5-40 %), men det legeres også med små mængder bly, aluminium, mangan, jern og tin. Messing anvendes primært til fremstilling af produkter som armaturer, låse, lejer, gear, ventiler og musikinstrumenter samt til produkter af mere æstetisk karakter som dekorationer, ornamenter, facader, knapper, lynlåse mv. fordi det har et guldglende udseende. I Danmark stammer messingskrot typisk fra vandhaner, vandinstallationer og patronhylstre (Figur 21). Messings relativt høje økonomiske værdi og lette genkendelighed gør det let at sortere fra andre materialer, hvilket er med til at genanvendelsesraten af materialet er høj.



Figur 21 Messingskrot. Til venstre: blandet gammelt messingskrot af armaturer, vandhaner og andet. Til højre: VVS-fittings, adskilte vandmålere samt lysestager. Foto: MiMa.

7.3.3 Bronze

I lighed med messing er bronze en meget almindelig kobberlegering og består af kobber legeret med omkring 12 % tin og i nogle tilfælde også med andre metaller som mangan, nikkel, zink og aluminium til fremstilling af aluminiumbronze. Typisk for disse legeringssammensætninger er, at de frembringer et hårdere materiale end rent kobber. Samtidigt er det stærkt og har en høj korrosionsbestandighed, hvilket gør materialet egnet til marine miljøer som bl.a. skibspropeller og lejer, men legeringerne bruges også i musikinstrumenter og skulpturer. Bronze har ligesom messing en høj genanvendelsesrate som følge af dets høje pris og udseendemæssige karakteristika.

7.3.4 Kobber-nikkellegeringer

Kobber-nikkellegeringer (cupro-nickel) indeholder 1,5-45 % nikkel som det største legeringsmetal. I UNS har kobber-nikkellegeringer numrene fra C70000 til C73499. Disse legeringer bruges til mønter, havvandsudstyr, fordampere, varmeveksler, hydraulisk udstyr, afkølingsanlæg og til forskelligt udstyr i biler.

7.3.5 Nysølvlegeringer

Nysølv indeholder ikke sølv, men er en messinglegering bestående af nikkel, kobber og zink. Nikkelindholdet er højt i nysølvlegeringer; typisk mellem 9 og 30 % afhængigt af anvendelsen. Kobberindholdet er typisk 60-65 %, mens zinkindholdet reduceres, når nikkelindholdet øges. Jo højere nikkelindhold jo hvidere er farven og jo højere korrosionsresistens; men materialets sejhed reduceres til gengæld. Nysølv har på grund af høj korrosionsbestandighed og koldformningsevner været anvendt til alt lige fra bilradiatorer, kuglepenne, musikinstrumenter, nøgler, transistorhylstre, elektriske kontakter, isenkram, bestik osv. I UNS har nysølvlegeringer numre fra C73500 til C79999.

8. Metallurgiske forhold af betydning for genanvendelsen

Der opstår materialetab under de forskellige trin fra minedrift til genanvendelse (Figur 3). Flere af tabene er uundgåelige, men andre kan forhindres eller reduceres ved ændringer i indsamlings-, forarbejdnings- og omsmeltningsmetoderne.

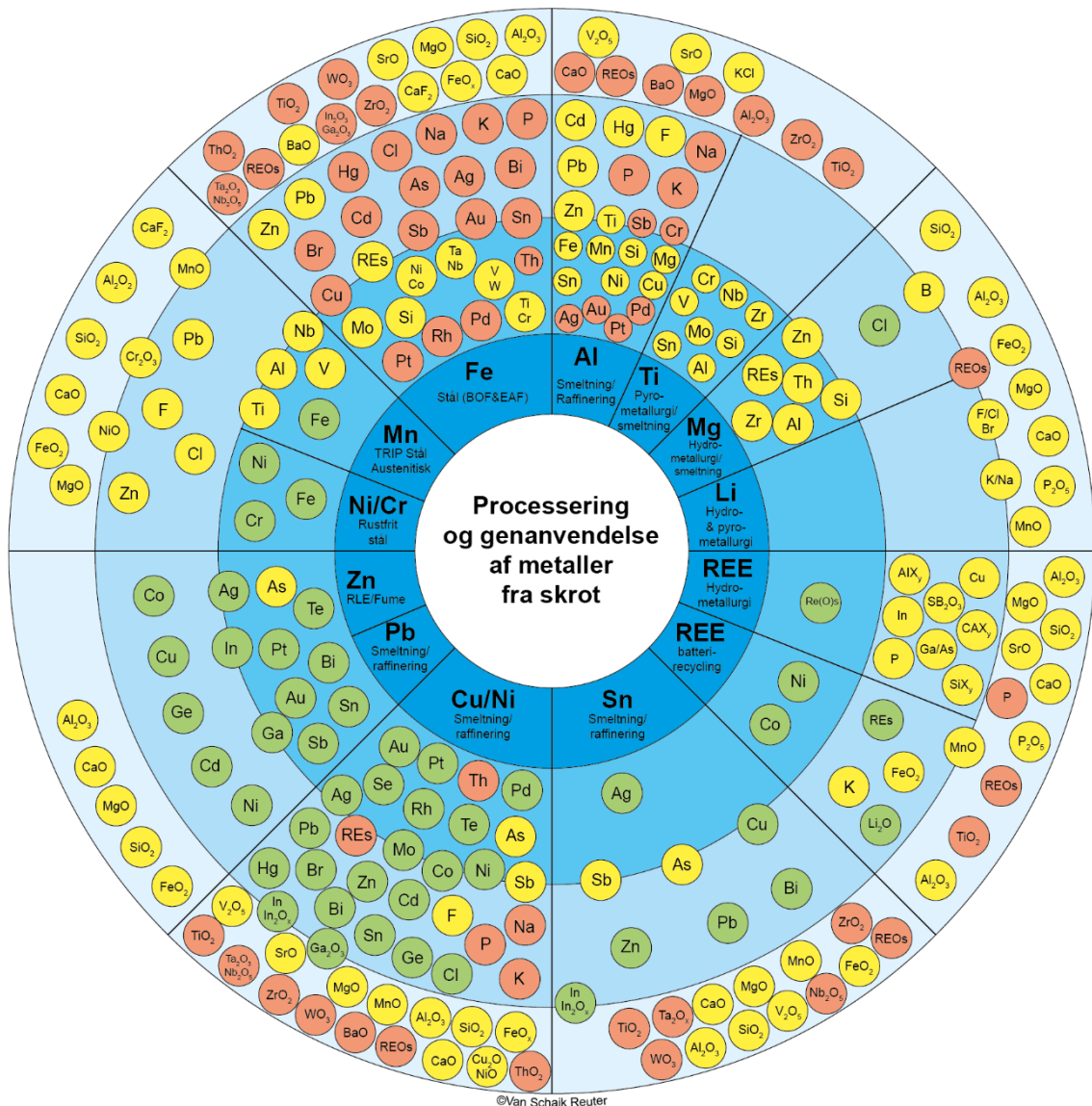
Genvindingsbranchen er baseret på at oparbejde skrotfraktioner med lav værdi til skrotfraktioner med en højere værdi, hvorefter disse fraktioner sælges videre til omsmelting. En del skrotfraktioner kan relativt let identificeres visuelt af personer med relevant erfaring og efterfølgende udsorteres; andre typer, fx kromstål, almindeligt rustfrit stål og syrefast stål, kan næsten kun identificeres instrumentalt (fx med XRF-spektrometer). Da ensartet skrot har en højere værdi end 'blandet' skrot, er der almindeligvis et økonomisk incitament til at foretage sortering af skrottet. Men omkostninger til skrotbehandling samt utilstrækkelig viden om legeringsindholdet i et skrotparti kan betyde, at skrottet ikke optimeres mest muligt i forhold til en genanvendelse, og at legeringsmetaller derfor tabes.

Shreddermateriale er en betydelig kilde til funktionelle tab af legeringsmetaller, da der ikke kan foretages nøjagtige sorteringer på de forskellige legeringer. For eksempel udsorteres kromstål ikke i en selvstændig fraktion ved shredding, men udsorteres i den magnetiske fraktion og omsmeltes derefter til nyt stål, hvorved der sker en downcycling af krom. Mere effektive sorteringsmetoder, både før, under og efter de mekaniske neddelingsstrin, kan øge genanvendelsen af legeringsmetallerne i komplekse materialer.

Selvom skrot som råstofmateriale er et billigere alternativ end primære råstoffer, er brug af skrot forbundet med en vis usikkerhed, da det nøjagtige indhold af legeringsmetaller og andre urenheder ofte ikke er velbestemt. Hos smelteværker og støberier, der anvender skrot i produktionen, er der derfor stor fokus på renheden af skrottet og indholdet af både de primære og sekundære legeringsmetaller samt spormetallerne.

Omsmelting af materiale er en vigtig del af processen omkring genanvendelse. I Figur 22 ses en oversigt over hvilke (legerings-)metaller, der er mulige at udtrække og gendanne i forbindelse med genanvendelse af hovedmetallet fra udtjente produkter under forskellige behandlingsformer. Metallerne i den inderste ring er de metaller, som er vitale i samfundet og de metaller, som genanvendelsesinfrastrukturen primært har fokus på at gendanne. Af disse er jern, aluminium og kobber de vigtigste, men også tin, bly, krom, nikkel, zink, titan, magnesium, lithium, sjældne jordartsmetaller (REE) og mangan ses i den inderste cirkel. Metaller som i Figur 22 er markeret med rød farve er det på nuværende tidspunkt ikke økonomisk rentabelt at genanvende, og de går derfor tabt. Samtidig skal man være opmærksom på, at i forbindelse med genanvendelse af jern og aluminium kan indholdet af metaller markeret med rødt påvirke kvaliteten af det omsmeltede jern og aluminium negativt. Metaller angivet med grøn farve er derimod både kompatible med det bærende metal og mulige at genanvende. Metaller angivet med gult indgår i legeringsmetaller, som kræver den rette oparbejdning for at kunne blive funktionelt genanvendt. For genanvendelse af kobberskrot ses en stor

andel grundstoffer markeret med grøn, herunder guld, sølv, nikkel og platingruppemetallerne, som alle kan gendannes fra den afsluttende raffineringsproces.

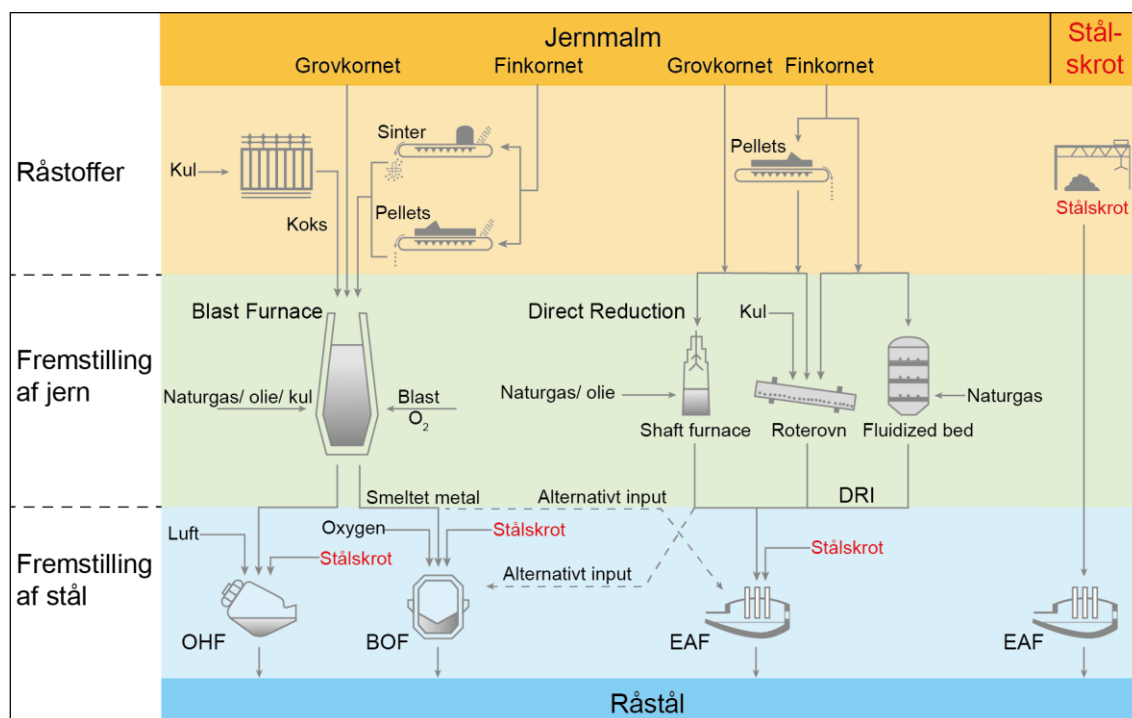


- Hovedmetaller i vigtige skrottyper. Indeholder vigtige legeringsmetaller, som ønskes funktionelt genanvendt.
- Legeringsmetaller smelter sammen med værtsmetallet (oftest pyrometallurgisk proces). Indeholder vigtige metaller, som ofte kan udvindes – men med tab.
- Mest i form af finkornet støv, slam og speiss (oftest hydrometallurgisk proces). Samler vigtige grundstoffer i form af oxider/sulfater/klorider. Regenereres delvist – hvis der er økonomisk grundlag for det.
- Grundstoffer som kan bruges til billige produkter i byggeindustrien. Vigtige grundstoffer, men lav pris/kvalitet betyder, at der er et betydeligt tab af disse grundstoffer.
- A Grundstoffer der almindeligvis regenereres, enten sammen med værtsmetallet eller i en selvstændig proces.
- B Grundstoffer i legeringer, som mistes hvis det ikke processeres korrekt.
- C Grundstoffer som mistes – eller ikke kan genanvendes funktionelt.

Figur 22 'The Metal Wheel' illustrerer i hvilket omfang legeringsmetaller kan genvindes fra nogle vigtige skrottyper. For hvert hovedmetal er der metaller som ikke kan genvindes af metallurgiske årsager; i andre tilfælde er genvinding mulig i forskelligt omfang (Reuter et al. 2018).

Ved rene højkvalitetsskrottyper, hvor der ikke er nævneværdig oxidation, overfladebehandling eller sammenblanding af andre metaltyper, kan skrottet omsmeltes og umiddelbart støbes til nye produkter eller bærere. Dette gælder fx for skrot af rent kobber eller kobberlegeringer med kendt sammensætning. Ved en simpel omsmelning er temperaturen lavest mulig, og skrottets kemiske sammensætning svarer til den kemiske sammensætning for det produkt, som skal fremstilles. Under omsmelningen føres der konstant kontrol med indholdet af de primære og sekundære legeringsmetaller samt spormetaller for at sikre, at den kemiske sammensætning passer til produktionskravene. I forbindelse med fremstilling af smedet aluminium er der også store krav til, at indholdet af visse metaller holdes lavt. Derimod er der mindre krav til lavt indhold af ikke-funktionelle metaller ved fremstilling af legeret stål, hvor der primært anvendes jern- og stålskrot; men grænseværdierne varierer for de enkelte produkter.

Ved smeltning eller pyrometallurgi behandles skrot eller malm ved høj varme så metallerne frigøres fra de kemiske forbindelser de indgår i. Der anvendes forskellige ovntyper til smeltning og raffinering af metallet, som vælges i forhold til råmaterialesammensætningen, tekniske forhold og det ønskede produkt (Figur 23). Til fremstilling af stål bruges ofte en *Basic Oxygen Furnace* (BOF), hvor metallet opvarmes under tilsætning af ilt, eller en *Electric Arc Furnace* (EAF), hvor metallet opvarmes via en elektrisk strøm direkte i smelten. For at fjerne uønskede metaller, eller for at tilsætte legeringsmetaller, raffineres smelten almindeligvis efterfølgende.



Figur 23 Flowdiagram for fremstilling af (primært) kulstofstål ved brug af jern- og stålskrot.

Under smelteprocessen vil dele af råmateriale oxidere og tilgå slaggen, som det fx er tilfældet for mangan, mens andre metaller, som fx zink, vil oxidere og fordampe fra smelten og ende som støv i anlæggets filtre. Hvilke metaller der oxiderer, og hvilke metaller der følger

med hovedmetallet over i raffineringsovnene, og eventuelt til det endelige produkt, afhænger af metallernes kemiske og fysiske egenskaber. Jo tættere legeringsmetallernes egenskaber er på hovedmetallets i forhold til fx smeltepunkt og oxidation, jo sværere vil det i praksis være at adskille dem pyrometallurgisk.

Ved hydrometallurgi anvendes vandige opløsninger, typisk ved relativt lave temperaturer (≤ 200 °C), til at adskille metallerne fra hinanden. Formålet er at opnå en højere renhed af hovedmetallet ved at udvaske urenheder fra det. Restprodukterne udvaskes til en slam, hvorfra nogle metaller efterfølgende kan regenereres. I kobberraffinaderier anvendes desuden elektrolyse til at opnå en højere renhed af kobberet. Ved elektrolysen samler kobber-ionerne sig på en elektrode, mens øvrige metaller forbliver i opløsningen. De hydrometallurgiske processer anvendes ofte i forbindelse med komplekse produkter, der indeholder kobber, og til genvinding af metaller fra kemiske forbindelser (Reuter *et al.* 2013). Til fremstilling af produkter bruger smelteværkerne ofte både pyro- og hydrometallurgiske processer og teknologier.

Der kan være en lang række forskellige metoder til genanvendelse af dansk skrot alt efter hvilken aftagervirksomhed, der genanvender det. Som oftest vil metalskrottet blive oparbejdet til nye produkter af samme hovedmetaltypen efter de ovenstående beskrevne metoder. Skrot kan også oparbejdes fordi det skal bruges som legeringsmetal. For eksempel anvendes små mængder kobberskrot i produktionen af støbejern, aluminium og andre stålprodukter og aluminiumskrot anvendes ligeledes til stålproduktion.

8.1 Metoder til genanvendelse af jern- og stålskrot

Almindeligt jern- og stålskrot smeltes hovedsageligt til nyt kulstofstål i enten BOF eller EAF (Figur 23).

BOF anvender primært råjern, der reduceres for kulstof ved at tilsætte store mængder ilt til smelten. Der tilsættes desuden kalk for at holde smelten basisk, hvilket fremmer processen og er med til at fjerne andre urenheder. Da det er en exoterm proces tilsættes stålskrot for dels at sænke temperaturen og for dels at sænke kulstofindholdet ved udtynding. Visse legeringsmetaller vil tilgå slaggen, fx mangan, vanadium og aluminium der i øvrigt bruges i stålproduktion som reduktionsmiddel, da det reagerer med den tilstedeværende ilt og derved begrænser oxideringen af jern. Ikke alle legeringsmetaller vil tilgå slaggen, nogle vil blive bevaret i metalfasen og dermed ført videre i de nye produkter. I forbindelse med raffineringprocesserne, der typisk foregår i forskellige raffineringsovne, er det muligt at kontrollere smelteprocessen nøje, fx ved at skabe iltfattige forhold. Under raffineringprocesserne kan nogle af de uønskede legeringsmetaller fjernes, mens andre legeringsmetaller tilsættes. Tidspunktet for fjernelse og tilsætning af legeringsmetaller har stor betydning, da nogle ville være oxideret, hvis de tilsættes for tidligt i processen. Dette ses bl.a. i en EAF, hvor omsmeltingen foregår under iltrige forhold.

Stålværker med EAF anvender næsten udelukkende skrot til deres produktion af nye stålprodukter. Det almindelige stålskrot tilsættes ovnen, der opvarmes ved at elektricitet tilføres

via grafitelektroder. EAF anvender ofte skrot af blandet kvalitet, og det kan derfor ikke undgås, at der er primære og sekundære legeringsmetaller samt spormetaller i smelten. Ligesom for BOF forbliver nogle legeringsmetaller i smelten, mens andre tilgår slaggen eller fordampes. Hvis der produceres rustfrit stål eller andre typer af legeret stål, vil smelten efterfølgende raffineres i en raffineringsovn, fx i en *Argon Oxygen Decarburization* (AOD) ovn eller i en *Vacuum Oxygen Decarburization* (VOD) ovn, hvor kulstof under visse forhold reduceres yderligere, og hvor de primære legeringsmetaller tilføres smelten, der opvarmes under tilsætning af forskellige gasser, der er med til at kontrollere og styre de kemiske processer.

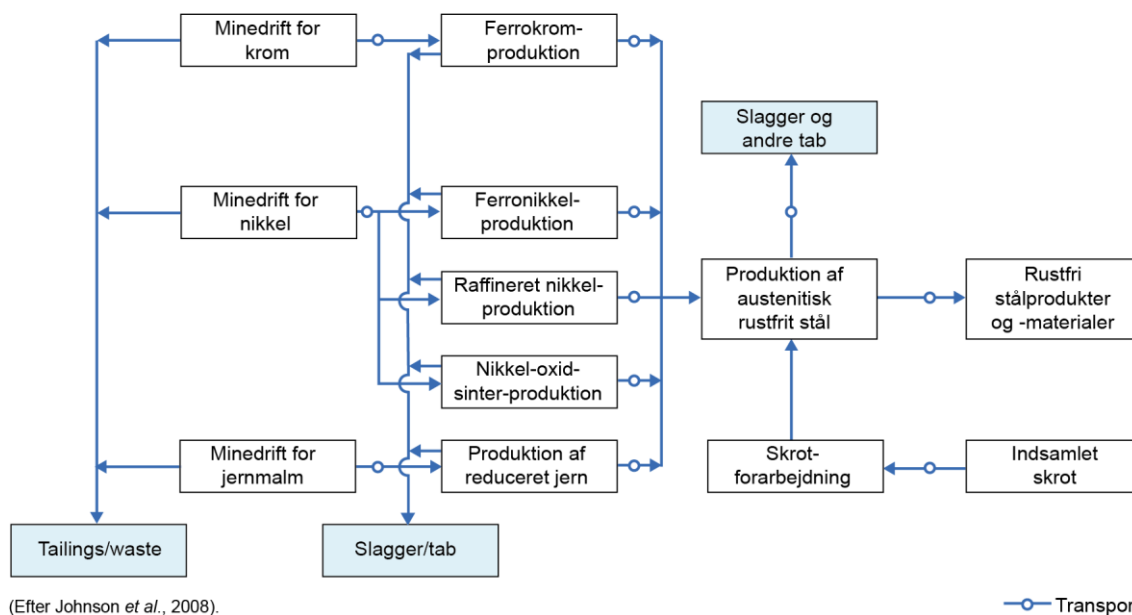
Støbejern og støbestål produceres ligeledes fra skrot, enten ved brug af en EAF eller en induktionsovn, hvor der induceres en strøm ind i selve smelten, der dermed opvarmes. Her vil der også dannes slagge, mens andre metaller vil afgase. I Tabel 22 ses opdelingen af metaller mellem stål og slagge i EAF. Når stålskrot smeltes ender omkring 99 % af aluminiumlegeringen i slaggen, som følge af oxidation under processen, og mindre end 1% af aluminiumlegeringen vil komme med i stålsmelten. Derfor skal der til aluminiumlegerede ståltypers tilsættes ny ren aluminium til den flydende stål. Tabel 22 viser desuden tilsvarende problematikker med høje adskillelsesrater (>90 %) i EAF'en under pyrometallurgiske processer for en række andre metaller, fx kobolt, krom, kobber, molybdæn, nikkel og wolfram. Disse tab er årsag til, at det i praksis ikke er alle legeringsmetallerne der kan genbruges funktionelt (Ohno *et al.* 2017, Reijnders 2016).

Tabel 22 Ved smeltning af stålskrot ses et skøn over opdelingen af legeringsmetaller mellem stål og slagge i EAF'er (Ohno *et al.* 2017, Reijnders 2016).

Metal	% i flydende stål	% i slagge*
Aluminium	<1	>99
Jern	92-99	1-8
Kobolt	98-99	1-2
Krom	30-95	5-70
Kobber	90-95	5-10
Magnesium	<1	>99
Mangan	16-80	20-84
Molybdæn	90-99	1-10
Nikkel	98-99	1-2
Niobium	1-60	40-99
Vanadium	7-58	42-93
Wolfram	97-99	1-3

* udover tab til slagge er der tab i form af støv

Figur 24 illustrerer, hvordan genanvendelse og primær produktion indgår i samme produkt. Ved fremstilling af højkvalitets rustfrit stål er ferrokrom- eller ferronikkelsmelteren i nogle tilfælde etableret ved smelte- og mølleværket, så disse legeringer kan tilsættes efter behov. Denne metode sikrer optimal brug af legeringsmetallerne i stålskrot, specielt de metaller som opløses i hovedmetallet under den pyrometallurgiske proces, som illustreret i Figur 22 og vist i Tabel 22; det gælder fx krom, titan, wolfram, molybdæn, kobolt og nikkel. Genanvendelsesraten for disse grundstoffer kan under de bedst tænkelige forhold være op til 90 %.



Figur 24 Flowdiagram for teknologien til rustfri stålproduktion ved brug af jern- og stålskrot (Johnson *et al.* 2008).

Legeringsmetallerne zink og bly ender hovedsageligt i støv/aske. Teknologisk er det muligt at genvinde dem, men det er normalt uøkonomisk, og i praksis er genvindingsraten af zink og bly derfor kun 25-40 %.

Kobber i smelten resulterer i duktilitet, og hvis smelten også indeholder tin, øges den negative virkning af kobber. Så for at opnå så god stålqualität som muligt, skal både kobber og tin fjernes fra det genanvendte jern- og stålskrot, hvorved kobber og tin samt bismut går tabt under genanvendelse til nye jern- og stålprodukter.

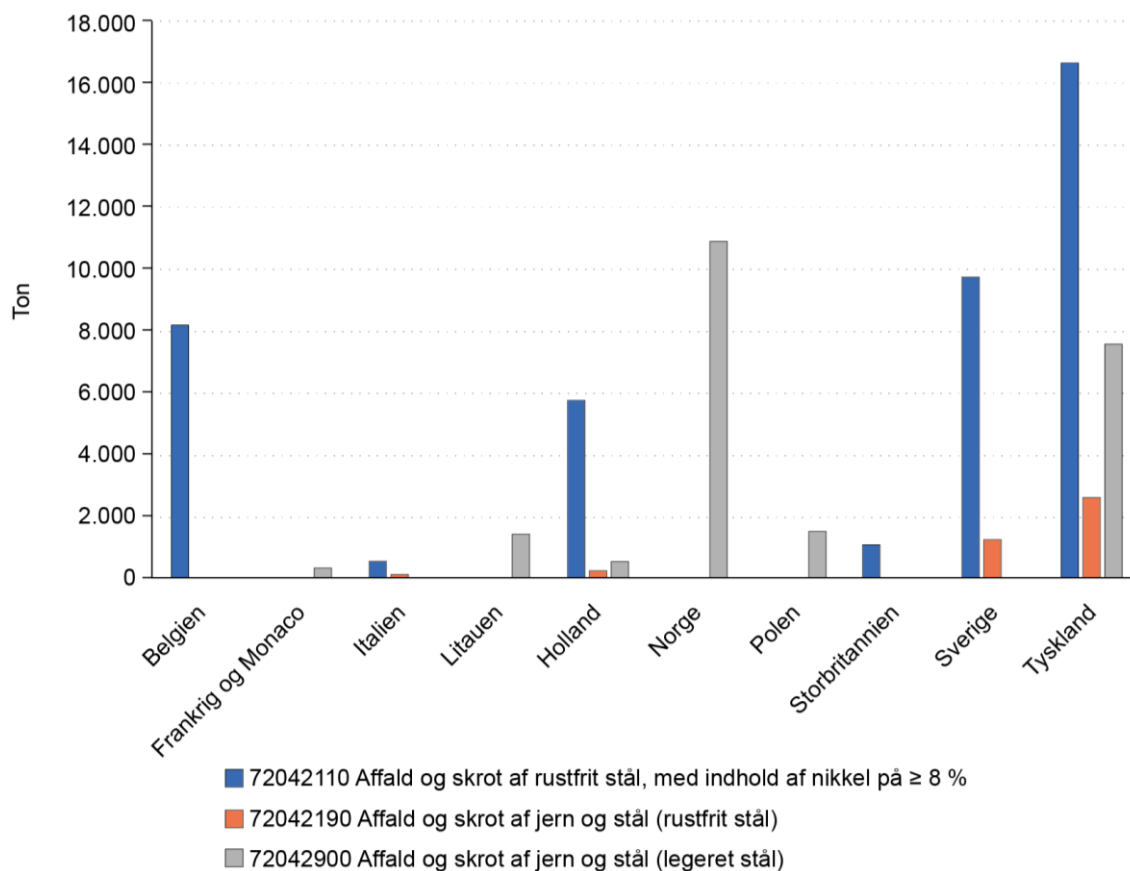
Store dele af mangan tabes almindeligvis til slaggen (Figur 22). Dette tab kan undgås/reduceres, men det kræver yderligere behandling af slaggen og kan derfor være uøkonomisk; genvindingsraten for mangan i jern- og stålskrot er derfor begrænset til omkring 30-50 % (Hagelstein 2009, Matsubae *et al.* 2014).

Der bruges en ikke ubetydelig andel af aluminiumskrot til produktion af stål, da aluminiumskrottet bruges til at forhindre oxidation af fx jern, krom og nikkel i stålproduktionen. Aluminium følger med over i slaggen fra stålproduktionen, og da slaggen oftest deponeres går det medfølgende aluminium tabt.

8.1.1 Rustfrit og legeret stålskrot

Rustfrit og legeret stålskrot eksporteres især til de øvrige europæiske lande (Figur 25). Mængderne er generelt mindre og priserne højere end for jern- og stålskrot, og skrottet eksporteres primært via vejtransport til europæiske købere. Modsat det almindelige jern- og stålskrot eksporteres rustfrit stål og legeret stål i høj grad til genvindingsvirksomheder i Tyskland,

Norge, Sverige, Belgien og Holland, der videreformidler salget til stålværker, hvor skrottet omsmeltes. Her er der en markant forskel på nyskrot og gammelskrot.



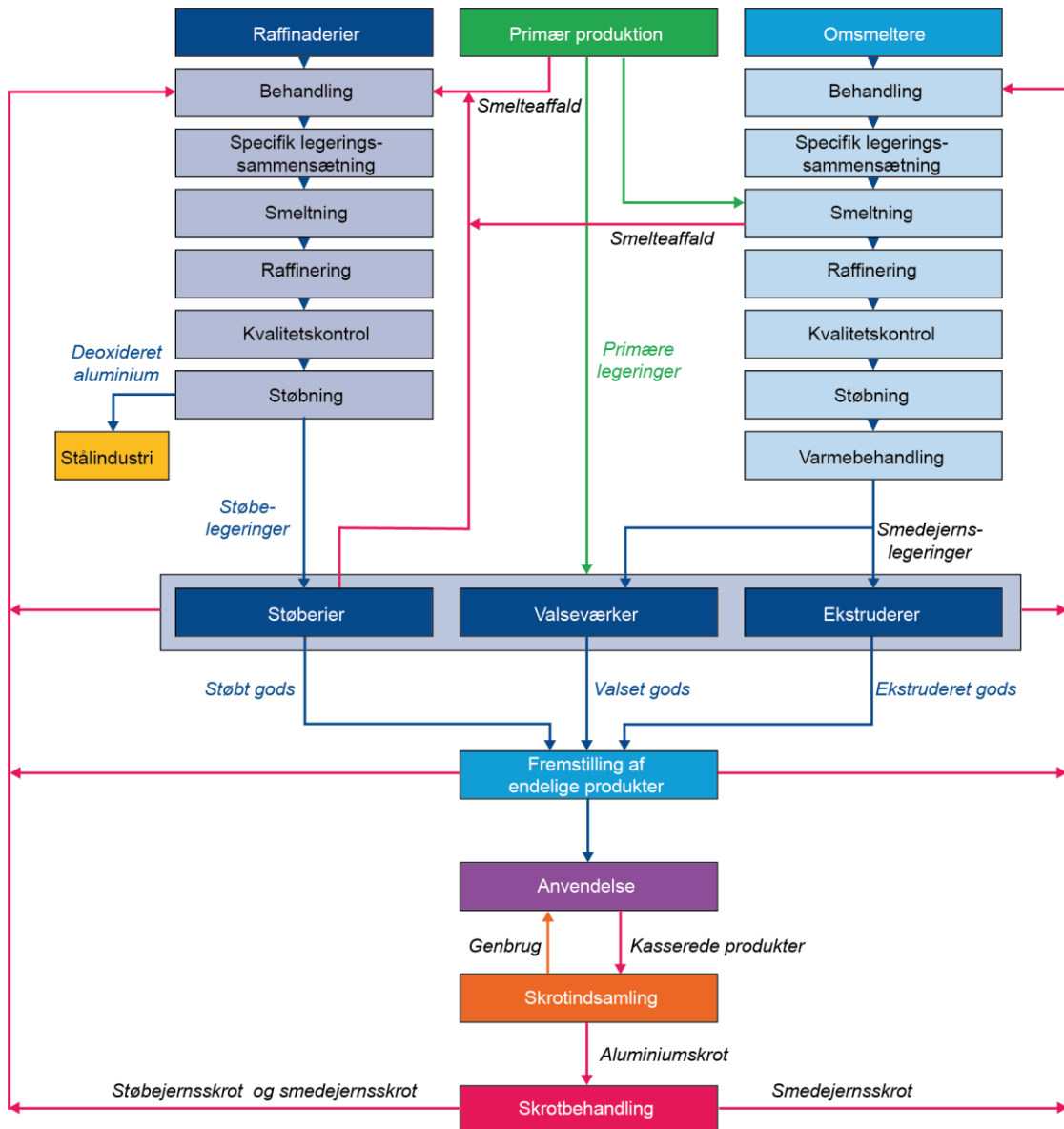
Figur 25 Største modtagerlande af eksport af dansk legeret og rustfrit stålskrot i 2017 (Danmarks Statistik – Statistikbanken.dk/KN8Y).

Nyskrot købes af de danske genvindingsvirksomheder, primært fra produktionsvirksomheder, hvor stansninger, fræsninger og lignende afskæringer fra produktionen har en kendt legeringssammensætning og homogen udformning. Den kendte legeringssammensætning gør nyskrot til et mere sikkert og værdifuldt produkt sammenlignet med gammelskrot, der ofte vil være en blanding af forskellige typer stålskrot med forskelle i både størrelse, udformning og legeringssammensætning. Priserne er variable og følger både priserne på det almindelige stålskrot samt priserne på de værdifulde legeringsmetaller i skrottet, fx er de løbende priser på særligt nikkel afgørende for prisen på rustfrit stålskrot, da nikkel typisk udgør over halvdelen af værdien af rustfrit stål. Der skelnes ikke mellem nyskrot og gammelskrot i Danmarks Statistiks opgørelser, og de angives derfor i samme kategorier.

De danske eksportører sælger enten direkte til smeltværker i Europa eller til andre genvindingsvirksomheder i Europa. Det direkte salg udgøres især af nyskrot, hvor de danske genvindingsvirksomheder kender legeringssammensætningen af materialet. Meget skrot sælges også til europæiske genvindingsvirksomheder, som foretager en yderligere sortering og videre sælger til smeltværker.

8.2 Metoder til genanvendelse af aluminium

Aluminiumskrot genanvendes i stigende grad i aluminiumindustrien, hvor det, især i Europa, erstatter brugen af aluminium udvundet og raffineret fra primære forekomster. Overordnet følger aluminiumskrot to veje til genanvendelse, (i) de primære aluminiumværker (remelters/omsmelttere) og (ii) de sekundære aluminiumværker (refiners), hvor legeringssammensætning og kvalitet afgør, hvor den videre oparbejdning sker. På verdensplan tilgår størstedelen af aluminiumskrottet refiners (Cullen & Allwood 2013), men der er en stor vækst i andelen, der tilgår omsmelttere (Ahmad *et al.* 2016). De involverede metoder, processer og skrottyper ses i Figur 26.

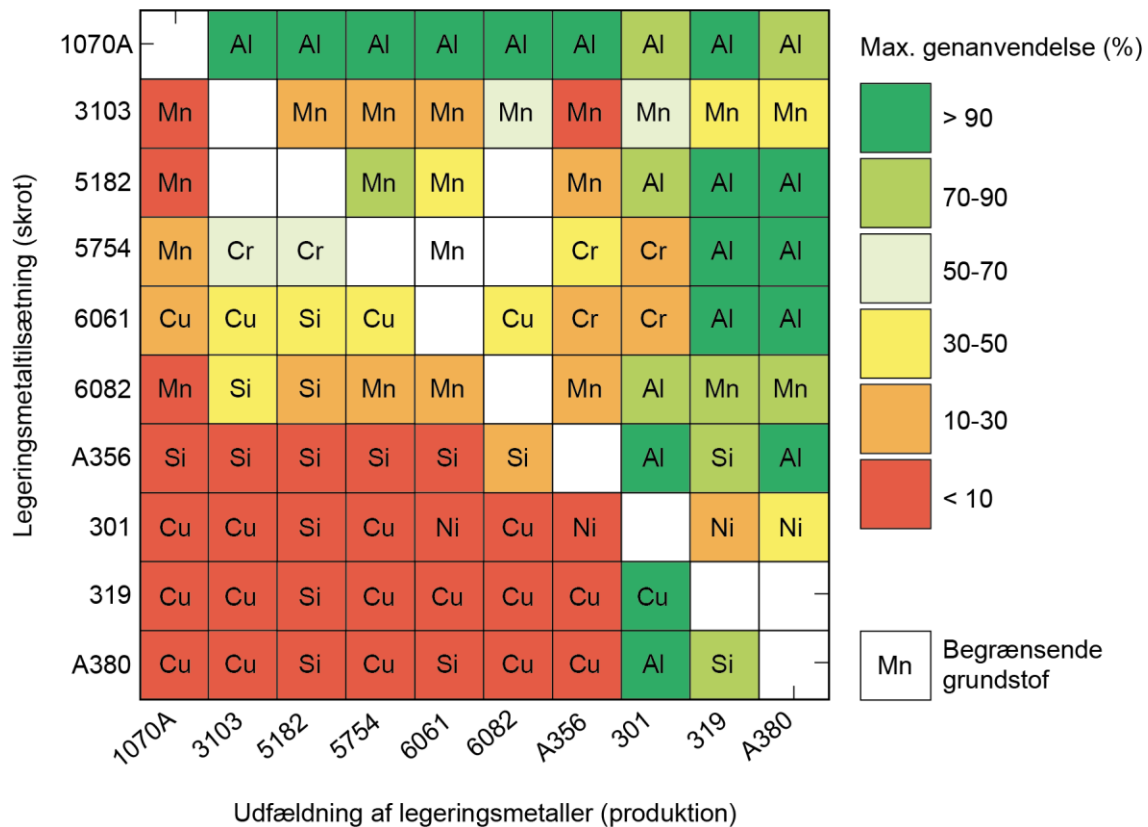


Kilde: EEA & OEA, 2006

Figur 26 Flowdiagram over metoder, processer og skrottyper i genanvendelse af aluminium (EEA/OEA Recycling Division 2006).

Selvom genvindingen af metaller fra legeringer fra aluminiumskrot er høj, er sortering af aluminiumskrot og skrotkvalitet ekstrem vigtig for at opnå en funktionel genanvendelse af legeringsmetallerne. I Figur 27 ses muligheder og begrænsninger for genanvendelse af typiske legeringsmetaller, som indgår i biler; farverne angiver, hvor mange procent af skrottet, der kan genanvendes. Man kan sige, at figuren viser de legeringsmetaller som begrænser genanvendelsen. Beregningerne er baseret på de sammensætninger som er fastsat for industristandarder (ASTM B179-11).

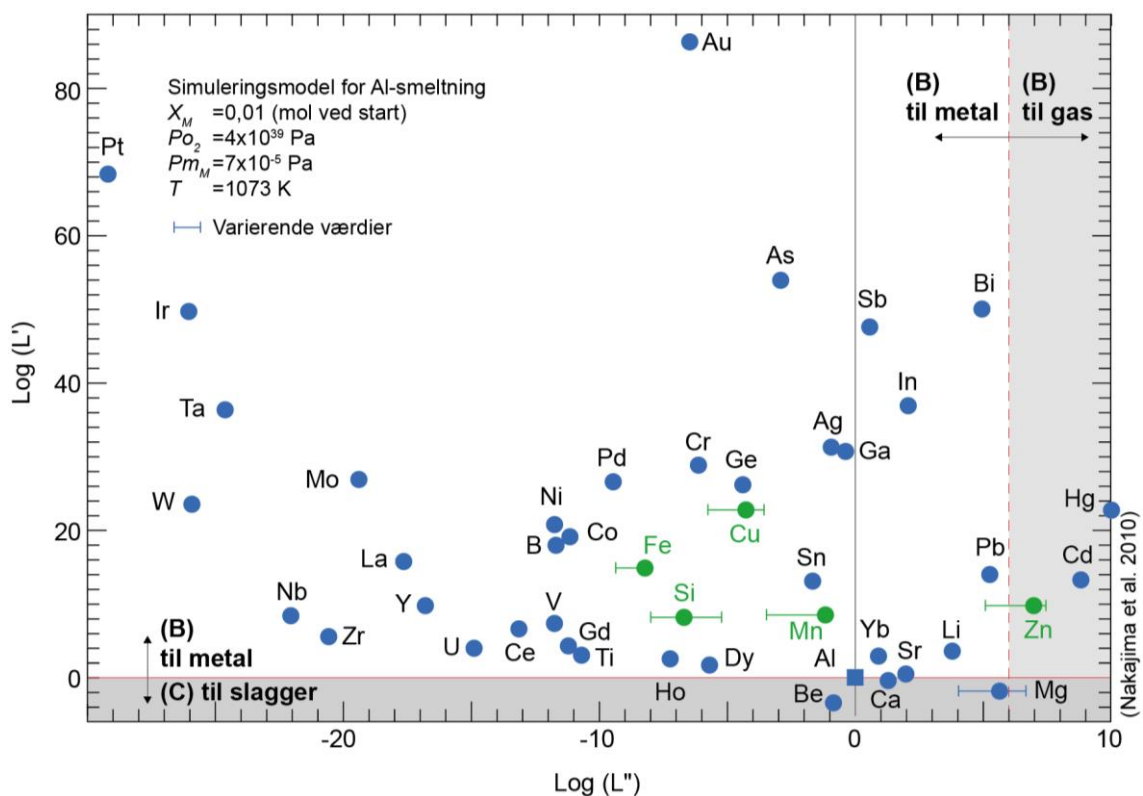
Hvis man fx ønsker at fremstille en legering med en sammensætning som 1070A, vil der ved brug af skrot med samme sammensætning (1070A) kunne tilsættes ubegrænset skrotmængde. Hvis der derimod bruges skrottype 3103, kan der kun tilsættes op til 10 % af skrottype 3103, resten skal være ren aluminium, da mangan-koncentrationen ellers bliver for høj. Tilsvarende gælder hvis der anvendes skrot af type 5182 og 6082. Som det også fremgår af figuren, er der et klart potentiale i genanvendelse af smedelegeringer (fx 1070A, 5182, 5754, 6061) til støbte legeringer (fx 319 og A380). En anden potentiel genanvendelsesmulighed er legering 6082, der kan absorbere en blanding af typiske smedelegeringer (1070A og 6061).



Figur 27 Muligheder og begrænsninger for genanvendelse af typiske aluminiumlegeringer som indgår i biler (Løvik et al. 2014). På y-aksen ses de skrottyper, og dermed de legeringsmetaller, som tilsættes, mens der på x-aksen ses de resulterende genanvendelsesrater for de enkelte legeringsmetaller. Tallene på x- og y-aksen henviser til produkter med bestemte legerings-sammensætninger.

Generelt er zink og magnesium spormetaller under aluminiumgenbrug og kan adskilles fra aluminiumskrot i omsmeltningsprocessen, men det meste af zink og magnesium i aluminiumskrot går tabt under genanvendelse. For de øvrige almindelige legeringsmetaller, såsom mangan, kobber, krom, nikkel, jern og titan, varierer den effektive genvindingsrate fra 10 % til 40 %, afhængigt af sorteringen af skrottet.

Fjernelse af legeringsmetaller fra aluminiumskrot er langt vanskeligere end fra stålskrot. I Figur 28 ses forholdet mellem legeringsmetallerne i de forskellige faser under omsmeltningsprocessen. Undersøgelser viser, at jo højere metal-slagge-ratioen (L' i Figur 28) er, jo sværere er det at fjerne legeringsmetallet fra aluminiumskrot ved oxidation, og at det næsten er umuligt at fjerne legeringsmetaller ved oxidation, når $\log(L') > 0$ i Figur 28. Tilsvarende gælder, at jo højere metal-gas-ratioen (L'' i Figur 28) er, jo lettere er det at fjerne legeringsmetallet ved fordampning, og at det næsten er umuligt at fjerne legeringsmetaller til et acceptabelt niveau, når $\log(L'') < 0$ i Figur 28 (Nakajima *et al.* 2010). Hvis der kun ses på de seks mest almindelige legeringsmetaller til aluminium (jern, kobber, silicium, mangan, zink og magnesium), så vil zink blive fjernet ved fordampning, magnesium vil blive fjernet ved oxidation, mens det er næsten umuligt at fjerne de sidste fire metaller til et acceptabelt niveau, hvilket stemmer overens med resultaterne i Figur 27.



Figur 28 Fordeling af grundstoffer blandt gas, slagge og metalfaser ved simuleret modellering af aluminiumsmeltning (Nakajima *et al.* 2010). Med grønt ses de mest almindelige legeringsmetaller med aluminium. L' er metal-slagge-ratio; L'' er metal-gas-ratio. Skift mellem (B) og (C) sker ved oxidation, skift mellem (B) metal og (B) gas sker ved fordampning.

Af Figur 28 fremgår det også, at magnesium, calcium og beryllium kan fjernes ved oxidation og overføres til slaggen, og at zink, cadmium og kviksølv tabes som følge af fordampning. Tab af de øvrige 39 grundstoffer, herunder kobber, jern, silicium og mangan er lavt, da de forbliver i metalfasen. Disse resultater understøtter erfaringerne med, at de fleste urenheder i aluminiumlegeringsskrot ikke fjernes i nævneværdig grad under normale driftsbetingelser.

8.2.1 Smedet aluminium

Omsmeltningsværker producerer aluminiumbarrer, der forarbejdes til smedede legeringer som fx plader og profiler. Aluminium oxiderer ofte før andre metaller og derfor vil hovedparten af de metaller, der tilgår smelten, følge med over i de nye produkter. Da smedet aluminium har lavt indhold af legeringsmetaller foretrækkes nyskrot af smedet aluminium til omsmeltingen (Figur 29). Aluminiumskrottet smeltes i en *flux free* smelteovn og blandes ofte med primært raffineret aluminium for at fortynde indholdet af uønskede legeringsmetaller; specielt uønskede legeringsmetaller tilsættes efterfølgende i en legeringsovn.



Figur 29 Gammelskrot af smedet aluminium såsom profiler, stænger samt en stige. Foto: MiMa.

8.2.2 Støbt aluminium

Omsmeltningsværker, der fremstiller støbte aluminiumlegeringer, bruger især skrot af støbt aluminium, blandet gammelt aluminiumskrot (profiler, plader mv.) og aluminiumskrot af ringere kvalitet, fx stærkt oxideret skrot (skrot med et stort overfladeareal), men der bruges også aluminiumskrot med stort indhold af forurenende materialer såsom køleanlæg, hvor der sidder kobber eller aluminiummotorer (eventuelt med dele af stål).

Omsmeltningsværkerne bruger forskellige typer af smelteovne, og aluminiumsmelten dækkes typisk af et lag slagge (*salt flux*) i ovnen, der mindsker oxidationen af aluminium. Aluminiumsmelten kan efterfølgende legeres i en legeringsovn for at opnå den ønskede kemiske

sammensætning. Støbt aluminium anvendes primært i bilindustrien, hvor der ønskes stærke, lette komponenter, fx fælg (Figur 30). Der kan ligeledes udvindes aluminium fra slaggen.

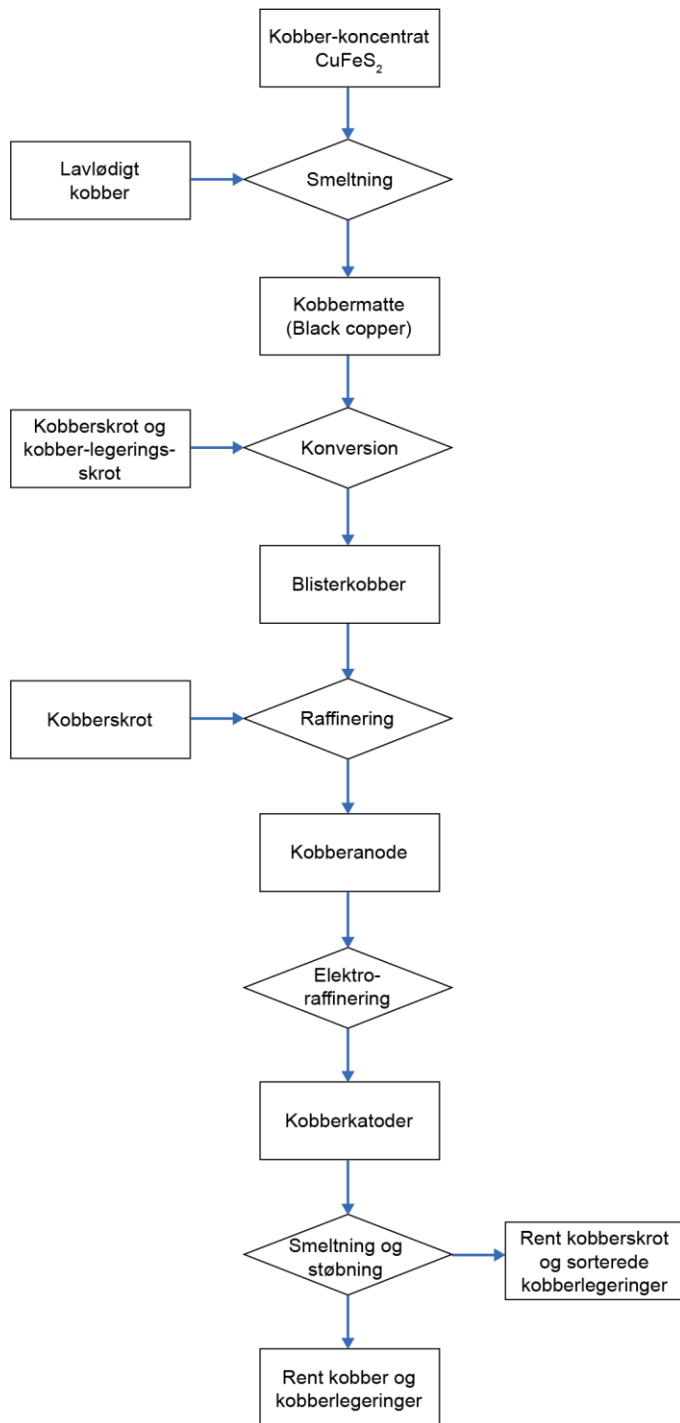


Figur 30 Støbte aluminiumfælg der bl.a. kan have indhold af silicium og magnesium. Foto: MiMa.

8.3 Metoder til genanvendelse af kobber

De forskellige metoder til genanvendelse af kobber afhænger af legeringstyper og skrotkvalitet. Indholdet af legeringsmetallerne er afgørende for, om kobberskrot kan omsmeltes direkte til nye produkter eller skal raffineres til rent kobber via en række forskellige processer.

Kobberskrot og skrot af kobberlegeringer af høj kvalitet og med kendt legerings sammensætning kan relativt enkelt omsmeltes til nye produkter i støberier. Ensartede typer af kobberskrot uden urenheder vil ofte følge denne vej til genanvendelse. Det gælder fx meget bronze- og messingskrot samt rent nyt kobber. Da der er høje krav til materialestandard for kobber i forhold til renheden, vil meget af det rene kobberskrot raffineres. Er der derimod tale om produktion af kobber til formål, hvor elektrisk ledsevne er underordnet, som fx kobberrør, bliktage eller varmevekslere, er bagatelgrænsen for indholdet af de sekundære legeringsmetaller betydeligt højere (Copper Development Association 2019b).



Figur 31 Flowdiagram over processer ved genanvendelse af kobberskrot (Samuelsson & Björkman 2014).

Raffinering af kobber benytter en række hydro- og pyrometallurgiske metoder, der har formål at raffinere kobberet til en høj renhedsgrad på 99,995 % (Copper Development Association 2019b). Jo lavere kvalitet og renhedsgrad kobberskrottet har, desto tidligere i raffineringen skal det tilføres, ligesom det skal gennemgå flere processer end høj-kvalitetskobberskrot, inden det ender som et nyt produkt. Dette fremgår også af Figur 31, hvor lavkvalitets-

kobberskrot/lavlødigt kobber tilføres i den indledende smeltning, mens sorteret og rent kobberskrot først tilsættes under den afsluttende smeltning og støbning. Hvis skrottet gennemgår de rette metallurgiske processer, kan legeringsmetaller med højt indhold genvindes, da stort set alt indhold af legeringsmetallerne vil fragå kobberet, primært i form af slagge eller slam fra de hydrometallurgiske processer. Slammet oparbejdes ofte til salte eller rene metaller, der ligeledes kommer på markedet igen. For eksempel udvindes store mængder rent tin, bly, nikkel, sølv, guld og platingruppemetaller fra slammen og slaggen hos de større kobbersmelteværker i Europa.

Ved den smeltende eller legerende ovn blandes kobber, kobberlegering og rene legeringsmetaller for at fremstille en ny legering med den ønskede specifikation. Den funktionelle genvindingsrate for legeringsmetaller er relativt høj i kobberskrot sammenlignet med aluminiumskrot.

9. International handel med jern- og metalskrot

Jern- og metalskrot er i dag en international handelsvare, og skrot genanvendes derfor i høj grad uden for det land, hvor det produceres. Det gælder i særlig grad for Danmark, der kun har et mindre antal virksomheder, der genanvender jern- og metalskrot til nye produkter.

I dette kapitel redegøres der på baggrund af data om udenrigshandlen fra Danmarks Statisk først for de væsentligste strømme af jern- og metalskrot ud af Danmark. Strømmene kommenteres i forhold til mængder og destinationer for dansk skrot.

Efterfølgende beskrives udviklingen i den internationale handel med jern- og metalskrot på baggrund af UN Comtrade data. De internationale data harmonerer til en vis grad med de danske, da der i udgangspunkt er tale om samme kategorisering. Dog er detaljegraden i den internationale statistik, hvor der bruges kodesystemet *Harmonized System (HS)*, som er det system den Kombinerede Nomenklatur bygger på, lavere. Derudover er der enkelte metodologiske forskelle i forhold til, hvordan transitgods opgøres, men da data primært bruges til at beskrive overordnede tendenser, vurderes det, at forskellene ikke har betydning.

Afslutningsvis beskrives forholdene vedrørende international skibsophugning kort, herunder også danske skibe. Som markedet fungerer på nuværende tidspunkt, ender anseelige mængder jern- og stålskrot fra danske skibe ikke hos de danske genvindingsvirksomheder men hos udenlandske virksomheder.

9.1 Dansk eksport af jern- og metalskrot

Eksport af metalskrot indrapporteres af de eksporterende virksomheder til Danmarks Statistik, hvor data er tilgængelig med eksportens vægt og værdi med importørland for hver KN-kode. Data opgøres efter den Kombinerede Nomenklatur, som er beskrevet i kapitel 5.

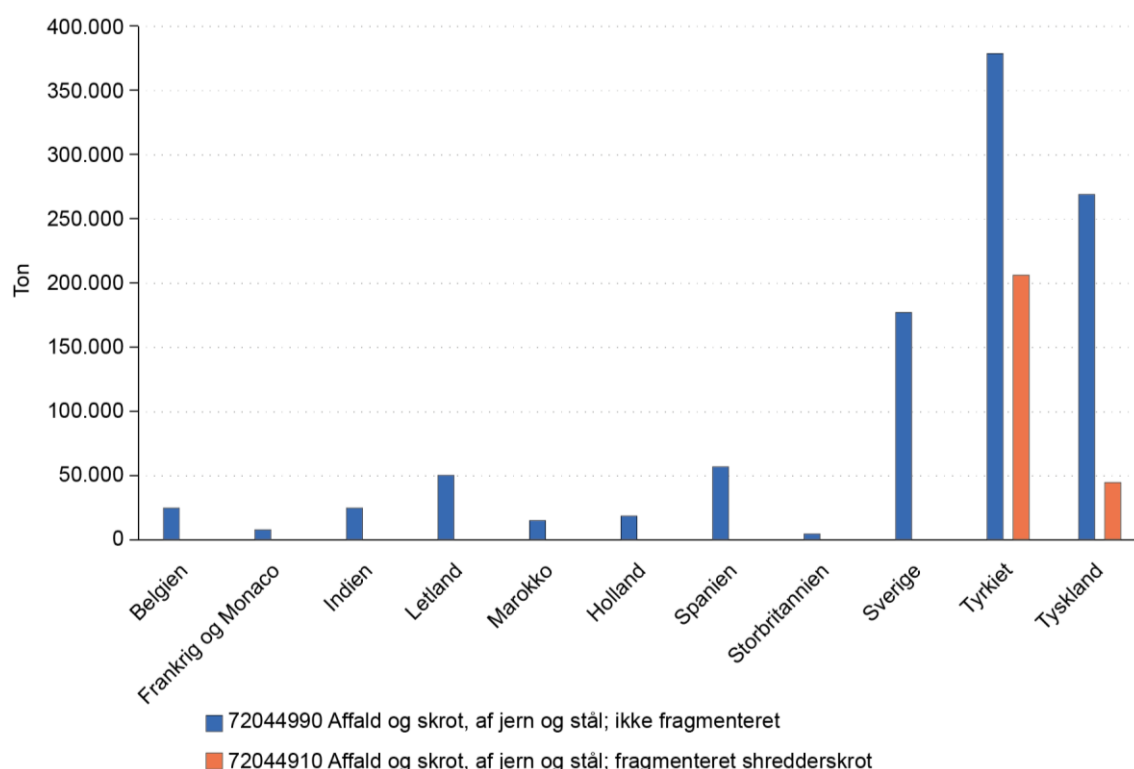
Det danske skrotmarked er i høj grad integreret med det europæiske og globale marked for skrot. Langt de fleste kategorier af skrot handles med europæiske grossister eller smelteværker, der står for den videre forarbejdning. Enkelte kategorier af skrot eksporteres direkte til lande uden for Europa, hvis der er en tilstrækkelig volumen til, at det kan betale sig. Det gælder særligt det almindelige ulegerede stålskrot, som typisk går under navnet HMS 1 og HMS 2 (80:20) (afsnit 5.2.4) samt den magnetiske jernfraktion i shredderskrot. Dog eksporteres mindre partier af øvrigt skrot også.

9.1.1 Jern- og stålskrot

Da Danmark ikke længere har aktive primære stålværker, bliver langt hovedparten af dansk stålskrot eksporteret. Almindeligt stålskrot eksporteres ofte i større partier med skib til udenlandske købere. Særligt Tyrkiet, Tyskland og Sverige aftager en forholdsmæssig stor andel af eksport af dansk stålskrot (Figur 32). En mindre del af det ulegerede stålskrot omsmeltes

i danske støberier. Danmark er en af verdens største eksportører af almindeligt stålskrot og var i 2016 det 12. største eksportørland i verden med en andel på omkring 1,6 % af den globale eksport (Institute of Scrap Recycling Industries 2018b).

Købs- og salgskontrakter indgås mellem en dansk genvindingsvirksomhed, typisk nogle af de store danske aktører, og en udenlandsk importør. Salgskontrakterne indgås med aftale om levering efter en periode, hvor de danske eksportører således arbejder på at fylde et parti op, typisk et helt dybdegående fragtskib. For at kunne fylde et større skib foregår der en del indenrigstransport af stålskrot med mindre skibe mellem havne som bl.a. Odense, Korsør, Aabenraa, Aalborg og Prøvestenen til eksporthavne, som især er Grenå og Lindø. Herudover er der en del vejtransport i Danmark, enten internt i det eksporterende selskab eller mellem forskellige danske selskaber. Ofte indgår de større eksportører aftaler med mindre danske genvindingsvirksomheder om at levere en del af stålskrotet til de enkelte pladser.



Figur 32 Største modtagerlande af eksport af dansk jern- og stålskrot i 2017 (Danmarks Statistik – Statistikbanken.dk/KN8Y).

Købsaftalerne specificerer hvilken kvalitet, skrotet skal have og bygger ofte på de internationale standarder som fx HMS 1 og HMS 2. Ligeledes aftales pris, som er i konstant udvikling. Inden eksport fra den danske havn kontrolleres partiet af en repræsentant fra køberen.

Det internationale salg er dynamisk og salgsaftalerne indgås som regel kun for et enkelt parti ad gangen. Ligeledes ændrer skrotpriserne sig ofte forskelligt fra marked til marked, så importlandene skifter ligeledes hyppigt fra handel til handel og år til år.

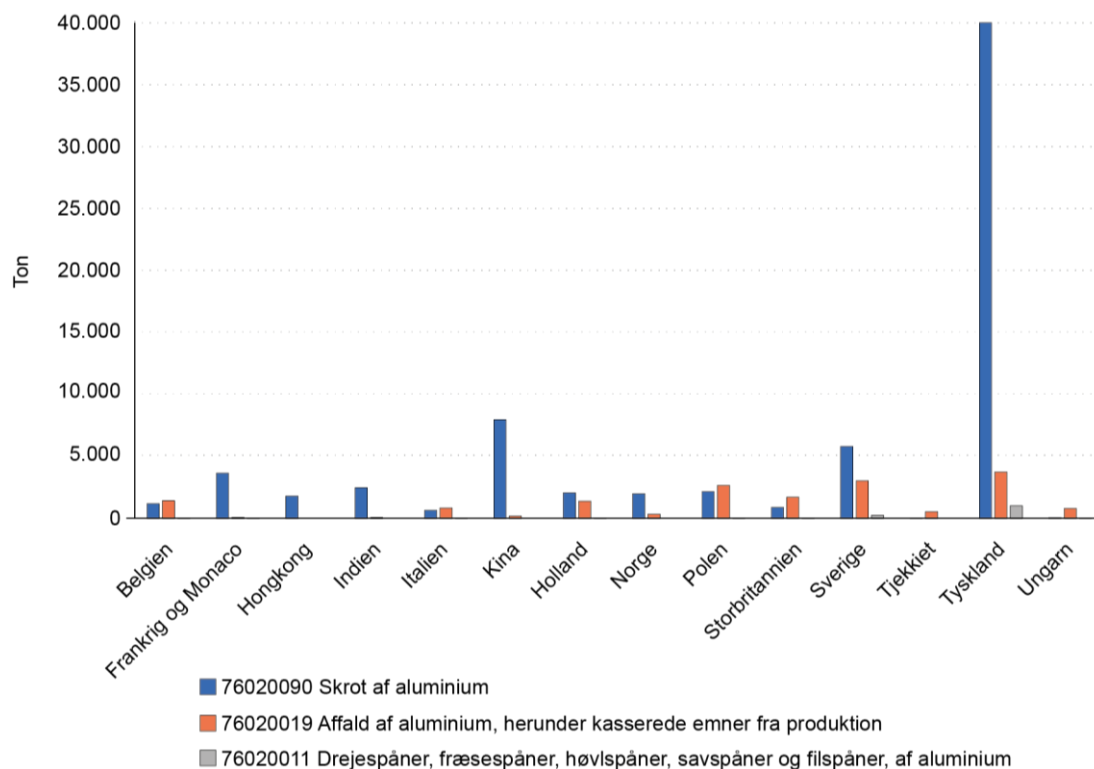
Stålskrottet fragtes typisk til havne med stålværk i modtagerlandet, så det kan leveres direkte til stålværket. EAF-værker aftager det meste stålskrot, men almindeligt stålskrot anvendes også i BOF-værker som supplement til råjern.

Stålskrottet er som udgangspunkt ulegeret eller lavt legeret nyskrot og gammelskrot. Men da separationsmetoderne i den danske skrotbranche hovedsagelig baserer sig på manuel separation og genkendelse, samt magnetisk separation, vil der ofte være dele af stålskrottet, som består af andre magnetiske stållegeringer, fx visse typer af rustfrit stål, samt andre fremmedelementer, som ikke er blevet frasorteret. Ligeledes kan der være dele af stålskrottet, som er galvaniseret eller har andre former for overfladebehandling eller bemaling. Det er reguleret ved salgsaftalerne, hvor store mængder af fx galvaniseret stål, der kan accepteres i et salg.

Eksport af rustfrit stål, legeret stål, kobber og aluminium udgør de volumenmæssigt største skrotkategorier foruden almindeligt stålskrot, men da mængderne generelt er noget mindre end stålskrottet, er handelsvejene typisk anderledes.

9.1.2 Aluminiumskrot

Aluminiumskrot eksporteres især til de europæiske lande samt Kina (Figur 33). Hovedparten af aluminiumskrot er legeret i mange forskellige legeringstyper, så skrottet sendes typisk i mindre partier til videre sortering i andre europæiske lande eller som mindre partier direkte til smelteværker i Europa.



Figur 33 Største modtagerlande af eksport af dansk aluminiumskrot i 2017 (Danmarks Statistik – Statistikbanken.dk/KN8Y).

Nyskrot af aluminium med en kendt legeringssammensætning eksporteres ofte direkte til aluminiumværker i Europa. Det er ofte de større danske genvindingsvirksomheder, der har virksomhedskontakt til smelteværker og har en tilstrækkelig volumen til, at det kan betale sig at sortere aluminium på enkelte legeringer.

Gammelskrot af aluminium er typisk en blanding af forskellige aluminiumprodukter. Ofte vil gammelskrot af aluminium blive handlet med genvindingsvirksomheder i Europa, og specielt i Tyskland, hvor der er en stor etableret industri af sekundære aluminiumværker. Her sorteres skrottet yderligere inden salg til de sekundære aluminiumværker, der oparbejder skrottet til barrer til videre forarbejdning.

9.1.3 Kobberskrot

Kobberskrot findes typisk som raffineret (rent) kobber med en meget høj andel af kobber og som legeringer med særligt tin og zink, fx messing. Afhængigt af renhed og kvalitet omsmeltes kobberskrot direkte til nye produkter eller oparbejdes for at opnå en højere kvalitet.

Noget kobberskrot gennemgår en forarbejdning i Danmark. Særligt kan kabler 'skrælles' så plast og anden isolering frasorteres, men meget kobberskrot eksporteres også som mindre oparbejdede kategorier.

Kobberskrot eksporteres særligt til Tyskland og Sverige i Europa og til Kina og Indien uden for Europa (Figur 34). Det eksporteres især med vejtransport til de europæiske lande og med containerfragt til lande uden for Europa. Kina har gennem de seneste par årtier haft en stor import af kobber.

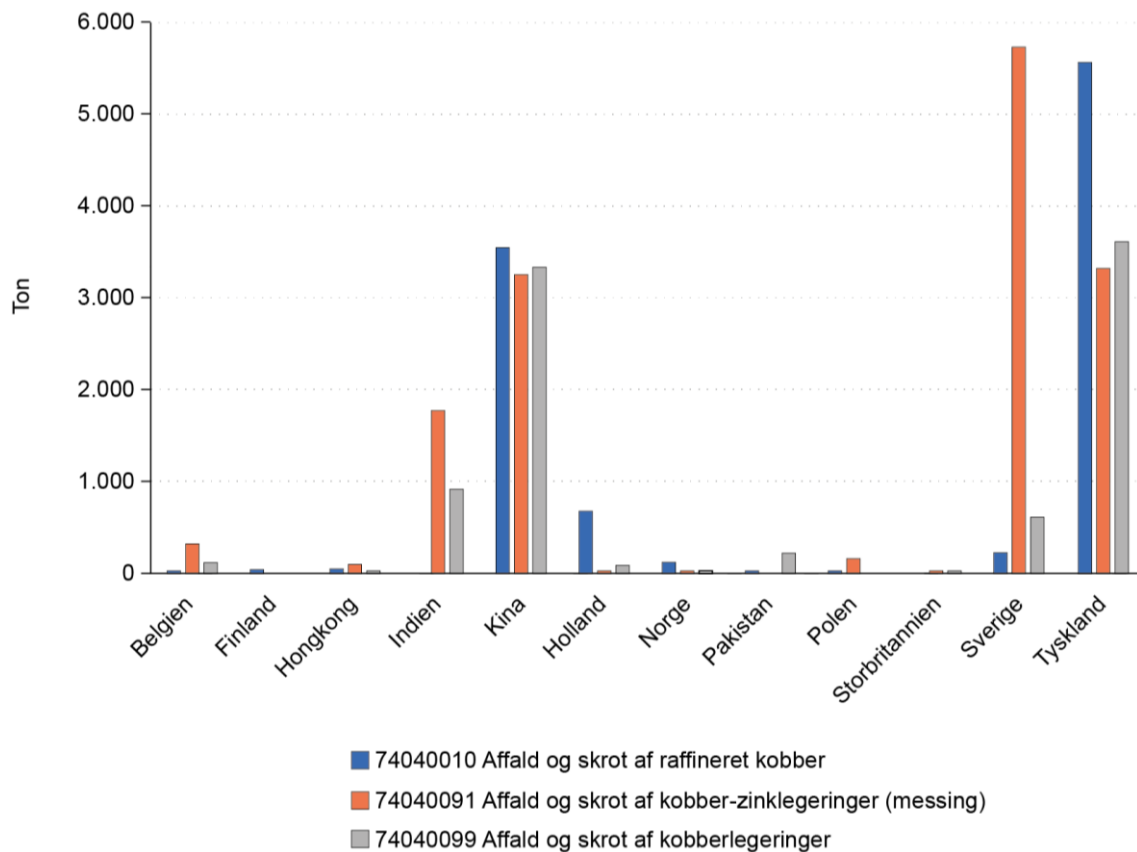
Prissætningen af kobberskrot følger markedsprisen på kobber, hvor der i prissætningen tages højde for kobberets kvalitet i forhold til raffinering og omsmelting.

9.2 International skrothandel og tendenser

Handel med jern- og metalskrot er som nævnt i dag en stor international branche. Uafhængigt af type er produktion og indsamling af skrot størst i verdens mest udviklede lande (Graedel & Cao 2010), mens oparbejdningen og genanvendelsen af skrot generelt er størst i lande med en stor primær og sekundær stål- og metalforarbejdningsindustri, samt i mindre økonomisk udviklede lande.

En række makroøkonomiske og reguleringsmæssige forhold bevirker, at handel med skrot helt overvejende flyder fra rigere lande til fattigere lande. For det første er udbuddet af skrot i forhold til industriens efterspørgsel større i de rigere lande sammenlignet med udviklingslandene (Lyons *et al.* 2009). For det andet er kvalitetskravene i forhold til råmaterialer ofte mindre i udviklingslandenes industrier (van Beukering *et al.* 2014), og for det tredje er den miljømæssige regulering mindre omfattende i udviklingslandene og billig arbejdskraft gør, alt

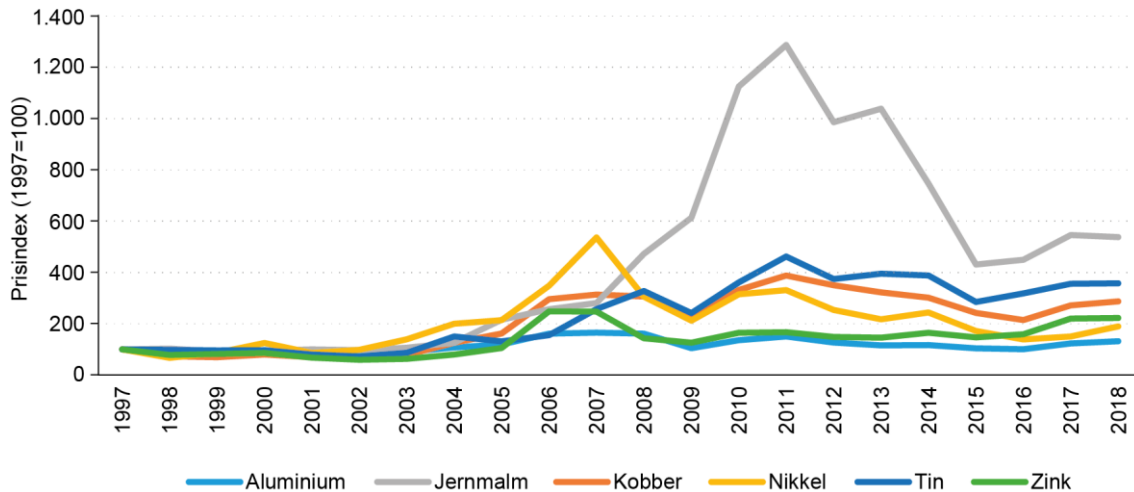
andet lige, genanvendelse af skrot mere økonomisk bæredygtig i lavindkomstlande (Kellenberg 2012). Omvendt medfører de lavere miljømæssige krav, at de miljø- og sundhedsmæssige omkostninger forbundet med behandling af skrot også flyttes fra højindkomstlande til lavindkomstlande. Der er dog en stigende opmærksomhed på miljøproblematikkerne i forhold til handel med affald, skrot og brugte brugsgenstande, som bl.a. er udmøntet i Baselkonventionen.



Figur 34 Største modtagerlande af eksport af dansk kobberskrot i 2017 (Danmarks Statistik – Statistikbanken.dk/KN8Y).

Den internationale handel med skrot er omfattende. Det skyldes især, at mens forbruget af jern- og metalprodukter er spredt over hele verden, er faciliteter til oparbejdning af skrot til nye produkter mere koncentreret, især med hensyn til de mindre produktgrupper. Derudover er import af jern- og metalskrot præget af forholdet mellem et lands behov for nye råvarer til industrien og tilgængeligheden af skrot på hjemmemarkedet. Således har den internationale handel med jern- og metalskrot i de seneste par årtier særligt været præget af Kinas markante indtog som importør af skrot, især på markedet for aluminium og kobber, som Danmark i 2017 eksporterede store mængder til (Figur 33 og Figur 34). Der har i de senere år dog været en tendens til afmatning i Kinas efterspørgsel på skrot af stål, aluminium og kobber, en tendens som sandsynligvis vil fortsætte i fremtiden, som følge af Kinas nye restriktioner på import af affald og skrot.

Prisen på skrot følger generelt prisudviklingen på markedet for metaller. Råvarepriserne har generelt været stigende i starten af 00'erne med en afmatning efter den finansielle krise i 2008, hvorefter de har ligget på et mere stabilt højt niveau (Figur 35). Især prisen på jernmalm har haft en voldsom stigning på grund af den kinesiske industris store efterspørgsel på råvarer.

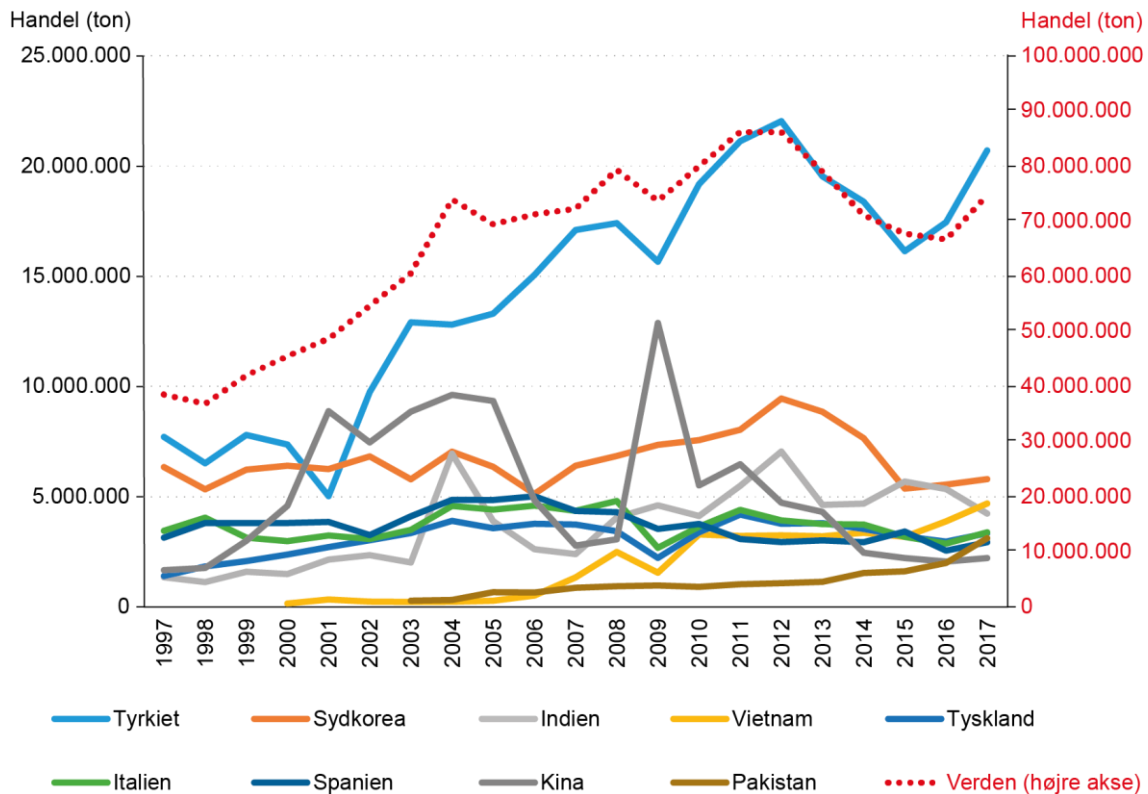


Figur 35 Prisudviklingen for metalråvarer. Index 1997=100, løbende priser (International Monetary Fund 2020).

9.2.1 Jern- og stålskrot

Markedet for jern- og stålskrot er præget af intensiv international handel, hvor priser på fx det amerikanske og europæiske marked følger hinanden tæt (Söderholm & Ejdemo 2008). Priserne på stålskrot afhænger bl.a. af priserne på råjern, som i høj grad er substituerbar i stålproduktion i EAF. Som tidligere nævnt flyder jern- og stålskrot fra de skrotproducerende lande til de stålproducerende lande, som dels er de gamle industrilande og dels de nyligt industrialiserede lande, som Tyrkiet, Indien og Kina. Tyrkiet har indtaget en helt dominerende position på verdensmarkedet som aftager af jern- og stålskrot (Figur 36), og som vi så i afsnit 9.1.1 også fra Danmark. Siden EU indgik frihandelsaftale med Tyrkiet i 1996, har Tyrkiet ikke lagt told på stålskrotimport fra EU, og i dag er der ligeledes ikke told på stålskrot fra fx USA. Da Tyrkiet især producerer stål i EAF og ikke har en stor hjemmehørende produktion af stålskrot, er landet særligt afhængig af import af stålskrot.

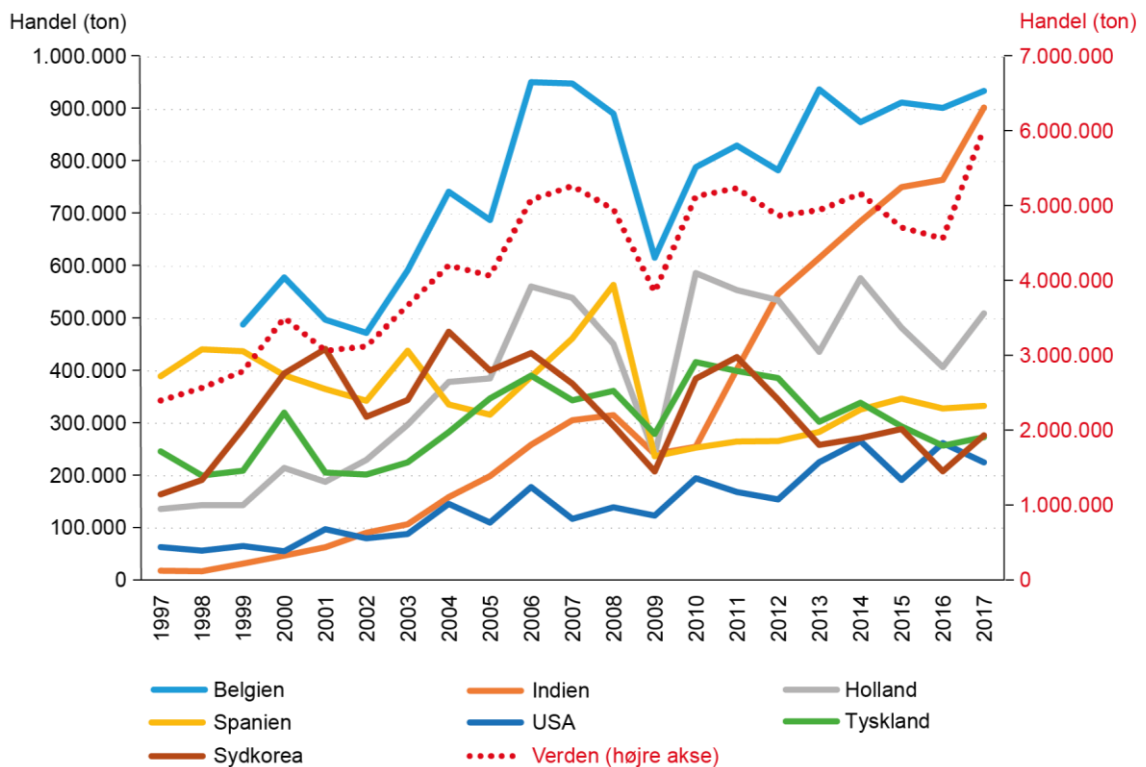
I Europa genbruges stålskrot både i jernstøberier (primært nyskrot) og af stålproducenter der bruger EAF. Derudover anvendes stålskrot i de primære stålværker som et mindre input i produktionen. De største importører af stålskrot i Europa er Tyskland, Frankrig, Italien og Belgien, der ligeledes modtager størstedelen af den danske eksport til Europa. Da skrotvolumenerne er store, transporteres varerne typisk med skib, og afstandene er derfor mindre begrænsende i forhold til eksport.



Figur 36 Udviklingen i import af stålskrot inklusiv shredderjern (HS 720449) i de største modtagerlande samt for hele verden (højre akse) (data fra UN Comtrade).

Handel med almindeligt stålskrot har været stigende i løbet af de seneste 20 år. Især har Tyrkiet indtaget en førerposition, særligt som hovedimportør af meget europæisk stålskrot. Samtidig har nogle europæiske lande haft en svagt dalende import. Kinas import af almindeligt stålskrot er relativt lavt, hvilket bl.a. skyldes at Kina i høj grad producerer stål i BOF ved brug af råjern. I 2008 og 2009 steg Kinas import voldsomt i kølvandet på den finansielle krise og på bekostning af flere af de europæiske landes import. Udviklingen illustrerer at den stigende internationale handel til dels afspejler den generelle økonomiske udvikling samt at visse lande øger deres industrielle udvikling, mens andre landes tunge industriproduktion falder (Figur 36).

Importen af rustfrit stålskrot er ligesom legeret stålskrot (som ikke er afbildet i figuren) præget af de store europæiske og nordamerikanske industrilande (Figur 37), og der vil ligeledes ofte være et virksomhedsmæssigt overlap mellem producenter af rustfrit og legeret stål. Rustfrit stålskrot opretholder en høj værdi på grund af dets høje nikkel- og kromindhold og er derfor en attraktiv handelsvare. Belgien og Holland, der har en række store stålværker, står for en stor del af den europæiske import. Verdenshandlen har været stigende frem mod 2008, hvor den led et gevaldigt knæk som følge af den finansielle krise. Efter finanskrisen steg verdenshandlen igen, og der er siden 2015 set en markant stigning.



Figur 37 Udviklingen i import af rustfrit stålskrot (HS 720421) i de største modtagerlande samt for hele verden (højre akse) (data fra UN Comtrade).

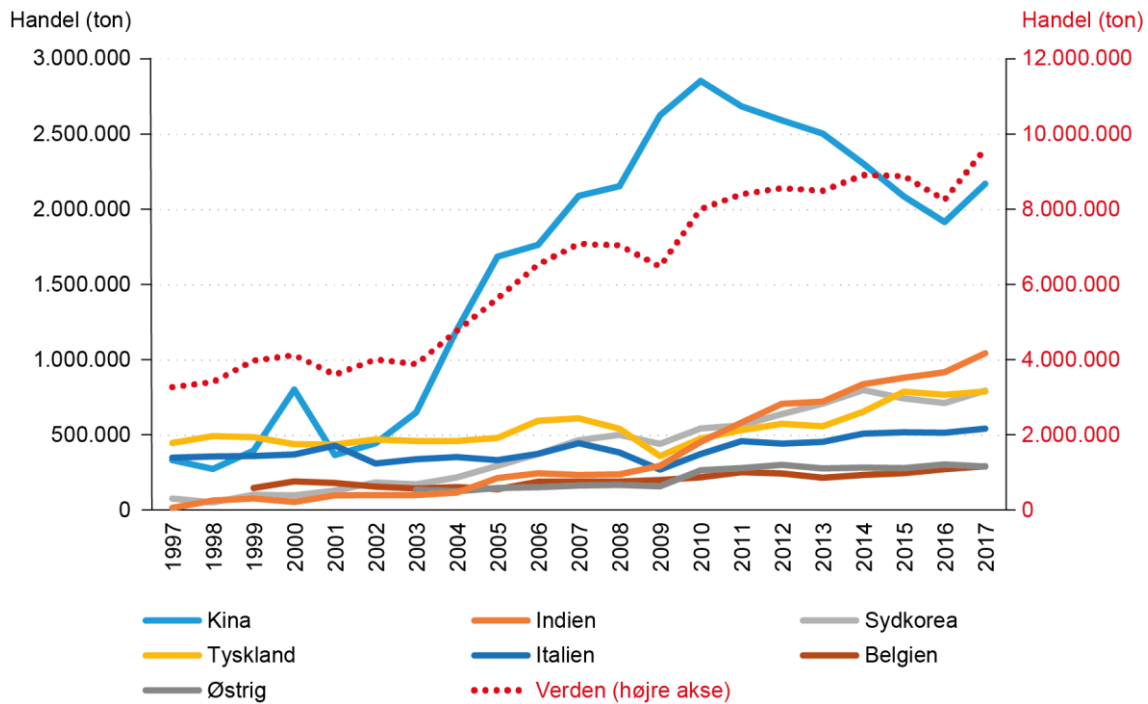
9.2.2 Aluminiumskrot

Importen af metalskrot domineres af de traditionelt store industrilande og Kina, hvor Tyskland er den største importør i Europa. Derudover importerer enkelte af de store nyligt industrialiserede lande som fx Indien, hvor det hjemmehørende udbud af skrot ikke kan modsvare produktionsbehovet, også store dele (Figur 38).

Importen af rustfrit stålskrot er ligesom legeret stålskrot (som ikke er afbildet i figuren) præget af de store europæiske og nordamerikanske industrilande (Figur 37), og der vil ligeledes ofte være et virksomhedsmæssigt overlap mellem producenter af rustfrit og legeret stål. Rustfrit stålskrot opretholder en høj værdi på grund af dets høje nikkel- og kromindhold og er derfor en attraktiv handelsvare. Belgien og Holland, der har en række store stålværker, står for en stor del af den europæiske import. Verdenshandlen har været stigende frem mod 2008, hvor den led et gevaldigt knæk som følge af den finansielle krise. Efter finanskrisen steg verdenshandlen igen, og der er siden 2015 set en markant stigning.

Mængden af tilgængeligt aluminiumskrot er lavt i forhold til efterspørgslen på aluminiumprodukter generelt. Derfor er genanvendt materiale i nye produkter relativt lavt i forhold til fx stål og kobber. Omvendt er genanvendelsesraten relativt høj på grund af den høje pris på aluminium og de store besparelser, der kan opnås ved genanvendelse. I Europa er genanvendelsesraten og andelen af genanvendt materiale i nye produkter relativt højere end i resten af verden. Gammelt aluminiumskrot følger typisk to veje i forhold til handel og genanvendelse;

(i) de smedede produkter genanvendes i omsmeltere, der ofte er integrerede i store selskaber samt i specialiserede sekundære producenter; mens (ii) støbt aluminium på grund af det højere indhold af legeringsmetaller genanvendes, af specialiserede sekundære producenter, der producerer ingots (barrer) og billets (stænger) til støberierne. Der findes mange aluminiumstøberierne over hele Europa, og også flere i Danmark, men ingen af disse bruger almindeligvis aluminiumskrot direkte i deres produktion.



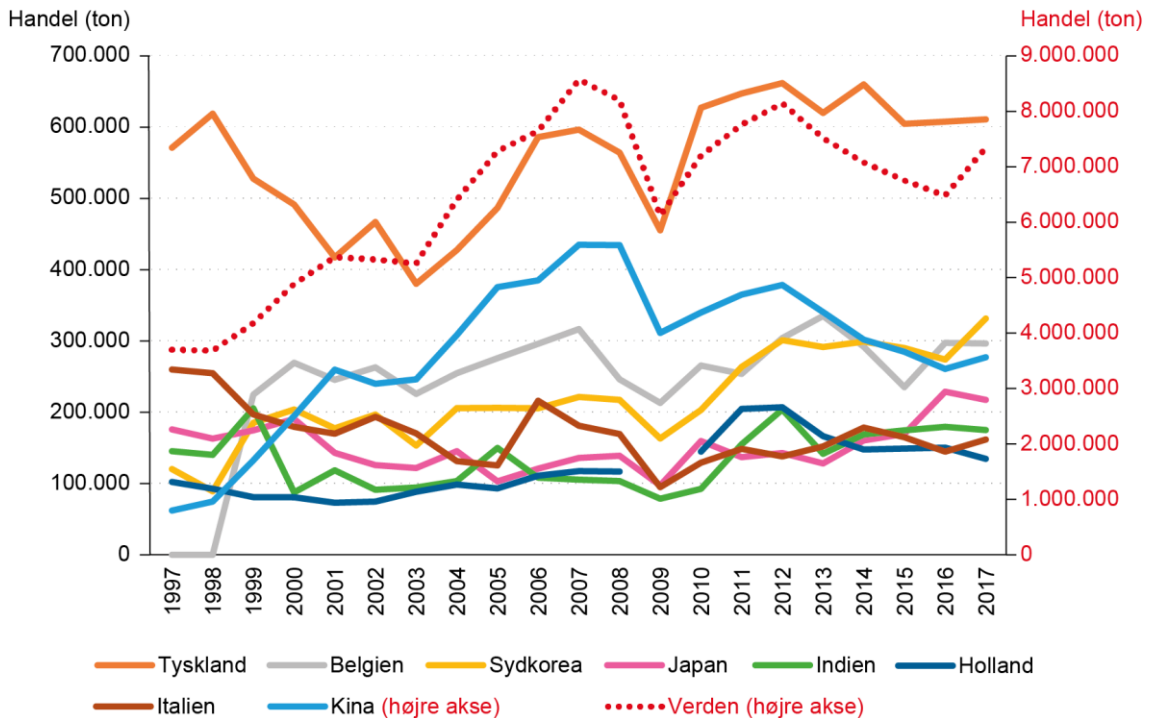
Figur 38 Udviklingen i import af aluminiumskrot (HS 7602) i de største modtagerlande samt for hele verden (højre akse) (data fra UN Comtrade).

For aluminiumskrot spiller skrottets kvalitet en stor rolle i forhold til de omkostninger, der er ved at genanvende det. Aluminium oxiderer let, og derfor er det let genanvendelige aluminium ofte mindre i skrotprodukter med et stort overflade/vægt-forhold. Ligeledes er lakerede og malede produkter sværere at håndtere. I Europa handles aluminiumskrot ofte i overensstemmelse med den europæiske standard EN 13920, hvor der er definerede krav til indhold, renhed, størrelse osv. Derudover kan der indgås særlige aftaler mellem køber og sælger. Nyskrot har ofte en kendt legeringssammensætning og sælges som udgangspunkt som sådan, mens gammelskrot oftere vil sælges som et blandet produkt af flere forskellige produkter og legeringer.

De europæiske priser følger priserne på LME. For hver skrottype beregnes en pris, hvor legeringssammensætning, kvalitet, mængde osv. tages i betragtning i forhold til prisen for nyt aluminium.

9.2.3 Kobberskrot

Det internationale marked for kobberskrot domineres af især Kina, der siden slutningen af 1990'erne har indtaget en dominerende position på det internationale marked (Figur 39). I Europa er Tyskland den langt største importør af kobber, hvor virksomheden Aurubis AG, der er verdens næststørste kobberproducent, står for en meget stor del af markedet. I 2017 lå Kinas totale import af kobberskrot på 3,56 mio. ton, svarende til knap halvdelen af verdens samlede import, mens verdens næststørste importør, Tyskland, til sammenligning importerede 610.000 ton.



Figur 39 Udviklingen i import af kobberskrot (HS 7404) i de største modtagerlande samt for hele verden (højre akse). Kurven for Kina skal ligeledes aflæses på højre akse (data fra UN Comtrade).

Kobberskrot handles internationalt efter industristandarder, der specificerer form, renhed og legeringen af kobberet. Kvaliteten spiller en stor rolle for prisen på kobberskrot, da det kan indgå forskellige steder i produktionen af nyt kobber. Nyt kobberskrot og højkvalitetskobberskrot (fx rene kobberkabler uden isolering) kan smeltes direkte i den afsluttende fase, mens lavere kvalitetskobberskrot tilføres forskellige steder til produktion af katodekobber.

Den høje pris på kobber samt de høje omkostninger ved udvinding og produktion af kobber betyder, at hovedparten af kobberskrot genanvendes. Selv i mere komplekse produkter med kobberindhold fx elektronikskrot, bliver kobberet ofte genanvendt til nyt kobber. I de senere år har der været større fokus på genanvendelse af elektronikskrot med bl.a. indførelsen af producentansvar for elektronik.

9.2.4 Jern- og stålskrot fra skibsophugning

Skibsophugning udgør på verdensplan en stor kilde til jern- og stålskrot, men størstedelen bliver ikke oparbejdet i de lande, hvor skibene er hjemmehørende. De fleste ophugninger af skibe foretages på strande i Bangladesh og Indien under forhold, hvor både miljø- og arbejdsmiljø er udfordret. Det vurderes, at størstedelen af de omkring 1.000 store handelsskibe såsom container-, last- og tørlastskibe, olie- og gastankere, passagerskibe samt andre skibe, der årligt ophugges på verdensplan, bliver sendt til ophugning i Indien, Bangladesh, Pakistan, Kina og Tyrkiet (Hossain 2017, Miljø- og Fødevareministeriet 2017b).

Det antages, at 75-85 % af et skibs samlede vægt består af stål (Mikelis 2013), hvoraf hovedparten betegnes som *re-rollable steel*, der refererer til stål, som kan genanvendes blot ved opvarmning og ny valsning frem for at blive omsmeltet, mens kun en mindre andel er stålskrot, som skal omsmeltes inden det kan genanvendes (Kumar 2009). Skibes egenvægt opgøres typisk i *Light Displacement Tonnage* (LDT), som er vægten af skibets skrog, maskiner, motorer, skruesystemet m.m., men fratrukket eventuel vægt af besætning, passagerer, ballast, brændstof, vand og last (Mikelis 2013). Derfor er ophugning af skibe en betydelig kilde til skrot.

EU-Kommissionen anslog i 2018, på basis af analyser fra European Maritime Safety Agency, over skibsophugning i perioden 2013-2017, at den årlige estimerede vægt af skibe, der blev ophugget under EU-flag (EU registrerede skibe) var 588.000 LDT, mens den årlige estimerede vægt af skibe, der et år før ophugning, skiftede flag fra et EU-medlemsland til et ikke-EU-medlemsland, var 432.000 LDT (European Commission 2018a). Det vil sige, at den samlede årlige estimerede vægt for ophuggede skibe, der ved ophugning eller et år inden ophugning var registreret under et EU-flag, var 1.020.000 LDT, hvilket omtrent svarer til Danmarks samlede eksport af almindeligt jern- og stålskrot *7204 4990 Affald og skrot, af jern og stål, ikke fragmenteret, ikke i pakker ...*

Da det som nævnt antages, at 75-85 % af et skibs samlede vægt består af stål, blev der dermed i perioden 2013-2017 genereret et sted mellem 765.000-867.000 ton stålskrot fra ophugning af skibe, som ved ophugning eller et år inden ophugning var registreret i et EU-medlemsland. I rapporten *Ship Dismantling – A status report on South Asia* (Kumar 2009) er der indhentet globale skibsophugningstal, der efter beregning giver en gennemsnitsvægt pr. skib på ca. 9.200 LDT, mens Rahman *et al.* (2016) anvender en gennemsnitsvægt på 10.000 LDT. Ifølge Danske Rederier sendes 10-12 danske skibe årligt til ophugning i lande som Indien, Bangladesh, Kina og Tyrkiet (Miljø- og Fødevareministeriet 2017b). Dermed vil den samlede mængde stålskrot, der årligt genereres fra danske skibe og som ophugges i udlandet, være 75.000-100.000 LDT, men tallene kan være endnu højere, da store containerskibe og olietankere ifølge Hossain (2017) kan have en vægt på henholdsvis 16.000 og 29.000 LDT.

I 2013 indførte Europa-Parlamentet og Europarådet nye regler for skibsophugning med forordningen *Ship Recycling Regulation* (EU SRR), der foreskriver, at alle større EU-flagede (EU-registrerede) skibe skal ophugges på EU-godkendte anlæg (NGO Shipbreaking Platform 2019b). Når forordningen træder i kraft, vil det gælde at: "... skibe bliver ophugget på

anlæg, der overholder konventionens krav, og at landets skibsophugningsvirksomheder kun ophugger skibe på en måde, der overholder konventionens krav.” (Miljø- og Fødevareministeriet 2017b). I 2018 var i alt 26 skibsophugningsanlæg, med en årlig maksimumkapacitet på sammenlagt 1.720.000 ton ophugget skibe, blevet godkendt (European Commission 2018b). Godkendte anlæg i Danmark ligger i Esbjerg, Frederikshavn, Grenå og Munkebjerg (European Commission 2020c).

10. Dansk eksport af legeringsmetaller i skrot

I dette kapitel diskuteres og kvantificeres de legeringsmetaller, der var indeholdt i den danske skroteksport i 2017. En del af disse tabes i genanvendelsesprocessen, fordi de (i) af termodynamiske grunde ikke kan genanvendes, (ii) af tekniske grunde ikke kan genanvendes, eller (iii) er upåagtede bestanddele i skrotmaterialerne.

Opgørelser af metaller der eksporteres vurderes både ud fra data fra Danmarks Statistik (afsnit 10.1) og ud fra data fra Affaldsdatasystemet (afsnit 10.2).

10.1 Eksport af legeringsmetaller baseret på data fra Danmarks Statistik

10.1.1 Eksport af legeringsmetaller i jern- og stålskrot – DST-data

I Tabel 23 ses indberettede mængder import til og eksport fra Danmark i 2017 for forskellige typer af jern- og stålskrot. Data stammer fra Danmarks Statistiks database, kategori *Im- og eksport KN (EU Kombineret nomenklatur) efter im- og eksport, varer, land og enhed*.

Som det ses af Tabel 23, var den samlede danske eksportmængde på omkring 1.570.000 ton meget højere end importmængden på ca. 130.000 ton, dvs. at der i 2017, som minimum blev produceret omkring 1.440.000 ton skrot i Danmark. I de følgende afsnit estimeres indholdet af legeringsmetaller i de skrottyper, der ses i Tabel 23.

10.1.1.1 Almindeligt jern- og stål

Almindeligt ulegeret stålskrot (kulstofstål) udgør volumenmæssigt hovedparten af den danske jern- og metalskroteksport. Kategorien *7204 4990 Affald og skrot, af jern og stål, ikke fragmenteret, ikke i pakker ...* repræsenterer hovedparten af den danske eksport. Stålskrottet omsmeltes typisk til almindelige ulegerede ståltyper. Smelteværkerne har i deres kvalitetsvurderinger især fokus på renhed, stykstørrelser og godstykkelser, og i mindre grad på indholdet af legeringsmetaller.

Det antages, at mængderne opgjort i kategorierne *7204 4110 Dreje- og fræseaffald, spåner, slibe-, save- og høvleaffald ...*, *7204 4191 Stansnings- og klipningsaffald, af jern og stål, i pakker ...* samt *7204 4199 Stansnings- og klipningsaffald, af jern og stål, ikke i pakker ...* udgøres af nyskrot, mens *7204 4990 Affald og skrot, af jern og stål, ikke fragmenteret ...* primært udgøres af gammelskrot; dog kan der være blandede partier af nyskrot og gammelskrot, der indberettes under *7204 4990*, se Tabel 23.

Som vi så i afsnit 7.1.1 kan kulstofstål udover kulstof indeholde sekundære legeringsmetaller i små koncentrationer, fx mangan, silicium og kobber, samt meget små mængder tin og krom, der sandsynligvis stammer fra det skrot, der har været råstof til smelten.

Tabel 23 Import og eksport af jern- og stålskrot i 2017 fordelt på KN-koder i Danmarks Statistiks opgørelse af international varehandel (Danmarks Statistik – Statistikbanken.dk/KN8Y).

OBS: Kun skroteksport der udgør mere end 1 ton er indberettet.

Skrottyper efter KN-kode	Import ton	Eksport ton
7204 1000 Affald og skrot, af støbejern (undtagen radioaktivt)	3.559	316
7204 2110 Affald og skrot, af rustfrit stål, med indhold af nikkel på ≥ 8 vægtprocent (undtagen radioaktivt og undtagen affald og skrot af primærelementer, primærbatterier og elektriske akkumulatorer)	666	41.807
7204 2190 Affald og skrot, af rustfrit stål (undtagen med et indhold af nikkel på ≥ 8 vægtprocent og undtagen radioaktivt samt affald og skrot af primærelementer, primærbatterier og elektriske akkumulatorer)	7.013	4.451
7204 2900 Affald og skrot, af legeret stål (undtagen af rustfrit stål og undtagen radioaktivt samt affald og skrot af primærelementer, primærbatterier og elektriske akkumulatorer)	2.543	22.162
7204 3000 Affald og skrot, af forfinnet jern og stål (undtagen radioaktivt og undtagen affald og skrot af primærelementer, primærbatterier og elektriske akkumulatorer)	237	10.420
7204 4110 Dreje- og fræseaffald, spåner, slibe-, save- og høvleaffald, af jern og stål, også i pakker (undtagen af støbejern, af legeret stål eller af forfinnet jern og stål)	13	87.703
7204 4191 Stansnings- og klipningsaffald, af jern og stål, i pakker (undtagen af støbejern, af legeret stål eller af forfinnet jern og stål)	0	48.340
7204 4199 Stansnings- og klipningsaffald, af jern og stål, ikke i pakker (undtagen af støbejern, af legeret stål eller af forfinnet jern og stål)	1.487	25.304
7204 4910 Affald og skrot, af jern og stål, fragmenteret Shredderskrot (undtagen affald og skrot af primærelementer, primærbatterier og elektriske akkumulatorer; slagge, metalskum, hammerskæl og andet affald fra fremstilling af jern og stål ...)	30.951	268.885
7204 4930 Affald og skrot, af jern og stål, ikke fragmenteret, i pakker (undtagen affald og skrot af primærelementer, primærbatterier og elektriske akkumulatorer; slagge, metalskum, hammerskæl og andet affald fra fremstilling af jern og ...)	0	35
7204 4990 Affald og skrot, af jern og stål, ikke fragmenteret, ikke i pakker (undtagen affald og skrot af primærelementer, primærbatterier og elektriske akkumulatorer; slagge, metalskum, hammerskæl og andet affald fra fremstilling af jern ...)	83.100	1.060.140
Sum	129.569	1.569.563

Skrottets kvalitet og sammensætning varierer fra parti til parti. Når skrottet bliver handlet, anvendes ofte internationale og europæiske standarder til beskrivelse af kvaliteter af jern- og stålskrot. Men som nævnt i afsnit 5.2 er der ikke fuldstændig overensstemmelse mellem KN-koderne for udenrigshandlen og de varekoder og standarder, som branchen anvender ved køb og salg. Dette vanskeliggør en opgørelse af indholdet af metaller i skrottet, og i denne undersøgelse er der derfor foretaget sammenstilling af de KN-koder, der bedst passer til de klasser fra European Steel Scrap Specifications (ESSS), som indeholder oplysninger om indholdet af legeringsmetaller (Tabel 24).

I Bilag B ses i henhold til ESSS de forventede maksimale indhold af udvalgte legeringsmetaller i skrot ved brug af almindelige metoder og processer. Dog skal det bemærkes, at ESSS kun fokuserer på legeringsmetaller, der enten har en negativ indvirkning på mulighederne for at genanvende stål (fx kobber og tin) eller på værdifulde legeringsmetaller (fx krom, nikkel og molybdæn). Det er derfor ikke usandsynligt, at det eksporterede skrot indeholder andre legeringsmetaller, som blot ikke er vurderet. Ved brug af de maksimale værdier er tonnager

af den danske eksport af legeringsmetaller i 2017 for almindeligt stålskrot (72044990) estimeret (Tabel 25). Det må antages, at det reelle indhold af legeringsmetaller ligger under maksimumværdien, ligesom skrottet kan indeholde andre legeringsmetaller og urenheder. For eksempel er det ikke ualmindeligt, at der i stålskrot findes mindre mængder af galvaniseret stål, forskellige magnetiske højlegerede ståltyper med kulstof og silicium samt urenheder som aluminium eller bly.

Tabel 24 Sammenstilling af KN-koder og ESSS for hvordan almindeligt jern- og stålskrot kategoriseres efter ESSS.

Skrottyper efter KN-kode	European Steel Scrap Specification
7204 4110 Dreje- og fræseaffald, spåner, slibe-, save- og høvleaffald, af jern og stål, også i pakker (undtagen af støbejern, af legeret stål eller af fortinnet jern og stål)	E5H+E5M
7204 4191 Stansnings- og klipningsaffald, af jern og stål, i pakker (undtagen af støbejern, af legeret stål eller af fortinnet jern og stål)	E6
7204 4199 Stansnings- og klipningsaffald, af jern og stål, ikke i pakker (undtagen af støbejern, af legeret stål eller af fortinnet jern og stål)	E2+E8
7204 4990 Affald og skrot, af jern og stål, ikke fragmenteret, ikke i pakker (undtagen affald og skrot af primærelementer, primærbatterier og elektriske akkumulatore; slagge, metalskum, hammerskæl og andet affald fra fremstilling af jern ...)	E1+E3+EHRB+EHRM

Samme metode er anvendt til beregning af det maksimale indhold af legeringsmetaller i de tre andre typer stålskrot, 7204 4110, 7204 4191 og 7204 4199; resultaterne ses sammen med resultatet for 7204 4990 i Tabel 26 (for mangan findes ingen information om de tre førstnævnte typer stålskrot).

Fagfolk vurderer, at kobber og tin hver udgør omkring $\frac{1}{3}$ af legeringsmetallerne i skrottyperne 7204 4191 og 7204 4199. Den resterende $\frac{1}{3}$ udgøres af legeringsmetallerne krom, nikkel og molybdæn; af denne tredjedel er det vurderingen, at krom udgør 75 %, nikkel 20 % og molybdæn 5 %; denne fordeling af krom-, nikkel-, og molybdæn antages desuden at gælde for skrottyperne 7204 4110 og 7204 4990.

Det skal bemærkes, at eksporten af nyskrot i høj grad genanvendes til produkter med samme legeringssammensætning, og det antages derfor, at legeringsmetallerne i nyskrot i høj grad bliver funktionelt genanvendt i nye produkter. Dog kan der være store tab af legeringsmetaller, hvor disse oxiderer til slagge; det gælder fx for mangan i stålskrot (Nakajima *et al.* 2008a).

En vigtig problematik i forhold til genanvendelse af stålskrot er indholdet af magnetiske legerede stålskrottyper. Stålskrotfraktioner sorteres ofte efter skrottet magnetiske egenskaber, hvilket indebærer, at stålskrotfraktionerne kan blive forurenede med legeret stål som ferritisk kromstål, som indeholder legeringsmetallerne krom, nikkel og molybdæn. Disse legeringsmetaller oxiderer ikke i EAF eller BOF, og ved gentagne omsmeltninger sker der derfor en opkoncentrering af de uønskede legeringsmetaller. Ifølge Oda *et al.* (2010) vil kromindholdet i almindeligt kulstofstål i Japan således stige fra 0,2 % i 2010 til ca. 0,3 % i 2030. Lignende problematikker må antages at gøre sig gældende for dansk og europæisk stålskrot. Med det store volumen af kulstofstål der bruges i samfundet, er der således tale om meget store tab af krom og andre legeringsmetaller i forbindelse med oparbejdning af skrot.

Tabel 25 Estimeret maksimalt indhold af udvalgte legeringsmetaller i almindeligt stålskrot 7204 4990 eksporteret fra Danmark i 2017, baseret på ESSS og Nakajima et al. (2008). Det antages, at kategori 7204 4990 består af 80 % E3-skrot og 20 % E1-skrot (den handelsmæssige fordeling mellem HMS 1 og 2). I praksis vil andre typer af skrot formentlig også indberettes under 7204 4990, men E3 og E1 vil udgøre langt hovedparten. Decimalangivelser er baseret på kilder.

Skrottype efter KN-kode	Eksport ton	E3 maksimumindhold %			E1 maksimumindhold %			Manganindhold %	Maksimalt legeringsindhold i eksporteret almindeligt stålskrot (80:20) (2017) ton			
		Cu	Sn	Cr+Ni+Mo	Cu	Sn	Cr+Ni+Mo	Mn	Cu	Sn	Cr+Ni+Mo	Mn
72044 990 Affald og skrot, af jern og stål, ikke fragmenteret, ikke i pakker (undtagen affald og skrot af primærelementer, primærbatterier og elektriske akkumulatører; slagger, metalskum, hammerskæl og andet affald fra fremstilling af jern ...)	1.060.140	0,25	0,01	0,25	0,40	0,02	0,30	0,30	2.968	127	2.756	3.180

Tabel 26 Estimeret maksimalt indhold af udvalgte legeringsmetaller i fire forskellige slags almindeligt stålskrot eksporteret fra Danmark i 2017, baseret på ESSS og Nakajima et al. (2008b).

Skrottype efter KN-kode	Eksport ton	Maksimalt legeringsindhold i eksporteret almindeligt stålskrot (2017) ton			
		Cu	Sn	Cr+Ni+Mo	Mn
7204 4110 Dreje- og fræseaffald, spåner, slibe-, save- og høvleaffald, af jern og stål, også i pakker (undtagen af støbejern, af legeret stål eller af fortinnet jern og stål)	87.703	351	26	877	
7204 4191 Stansnings- og klipningsaffald, af jern og stål, i pakker (undtagen af støbejern, af legeret stål eller af fortinnet jern og stål)	48.340	145			
7204 4199 Stansnings- og klipningsaffald, af jern og stål, ikke i pakker (undtagen af støbejern, af legeret stål eller af fortinnet jern og stål)	25.304	76			
7204 4990 Affald og skrot, af jern og stål, ikke fragmenteret, ikke i pakker (undtagen affald og skrot af primærelementer, primærbatterier og elektriske akkumulatører; slagger, metalskum, hammerskæl og andet affald fra fremstilling af jern ...)	1.060.140	2.968	127	2.756	3.180

10.1.1.2 Støbejern

Støbejern er legeret med 0,1-1,65 % mangan (Matmatch 2019). I 2017 blev der importeret 3.559 ton støbejernsskrot i Danmark, mens der kun blev eksporteret 316 ton (7204 1000 Affald og skrot, af støbejern (undtagen radioaktivt)) (Tabel 23). Det maksimale indhold af legeringsmetaller i den eksporterede fraktion er beregnet til 5 ton (Tabel 27). Da de internationale standarder for stålskrot specificerer, at der ikke må være iblandet støbejern i nævneværdige mængder, antages det, at de danske jernstøberier i 2017 genanvendte omkring 3.200 ton støbejern, der dermed er funktionelt anvendt, dog med forbehold for de legeringsmetaller der oxiderer og dermed tilgår slaggen.

Tabel 27 Typisk legeringsindhold af mangan i støbejern samt estimerede lave og høje tonnage af mangan i skrot af støbejern 7204 1000 eksporteret fra Danmark i 2017 (Matmatch 2019). Decimalangivelser er baseret på kilder.

Skrottype efter KN-kode	Eksport ton	Lav %	Høj %
Legeringsindhold (%)		0,1	1,65
7204 1000 Affald og skrot, af støbejern (undtagen radioaktivt) (ton)	316	0,3	5

10.1.1.3 Fortinnet jern og stål

Fortinnet jern og stål indsamles særligt under navnene FE-dåser og hvidblik og indeholder ca. 0,5 % tin (Savov *et al.* 2000). Den danske eksport af fortinnet jern- og stålskrot udgjorde i 2017 10.420 ton (7204 3000 Affald og skrot, af fortinnet jern og stål...) (Tabel 23). Det estimeres derfor, at tin udgjorde omtrent 52 ton (Tabel 28).

Tabel 28 Estimeret indhold af tin i skrot af fortinnet jern- og stålskrot 7204 3000 eksporteret fra Danmark i 2017. Decimalangivelser er baseret på kilder.

Skrottype efter KN-kode	Eksport ton	Tin %	Maksimalt legeringsindhold af tin i eksporteret fortinnet jern og stål (2017) ton
7204 3000 Affald og skrot, af fortinnet jern og stål, ...	10.420	0,5	52

Fortinnet jern og stål må ikke iblandes det normale stålskrot; det antages derfor, at det enten bliver oparbejdet særskilt eller tilføres i små mængder til det normale stålskrot. Tin kan udvindes fra skrot af fortinnet jern og stål ved en elektrolytisk, og relativt dyr, proces (ofte omtalt som aftinning). Da det primært er nyskrot der aftinnes i stor skala (Björkman & Samuelsson 2014, Iazard & Müller 2010, Savov *et al.* 2000), antages det, at en del af det fortinnede jern- og stålskrot genanvendes uden oparbejdning af tin. Det tin, som ikke genanvendes, forbliver i stålskrottet i små koncentrationer og føres over i nye stålprodukter, hvor det kan være teknologisk uønsket. Samlet sker der et tab, som skal erstattes med primært tin.

10.1.1.4 Rustfrit stål

Rustfrit stål genanvendes i stålværker der er specialiseret i specialstål. Da legeringsindholdet er bestemmende for hvilke legeringstyper, der kan fremstilles, har stålværkerne fokus på

legeringsindholdet. Højt indhold af nikkel, krom og molybdæn i skrottet kan reducere den mængde legeringsmetaller, som værket skal tilsætte en given legering, hvorved værkets råstofomkostninger reduceres. Rustfrit stålskrot omsmeltes almindeligvis i en EAF, hvor nogle metaller oxiderer og tilgås slaggen, mens andre forbliver i metalfasen med jern og ender i den endelige ingot. Eksporten fra Danmark registreres i to kategorier baseret på indholdet af nikkel: 7204 2110 Affald og skrot, af rustfrit stål, med indhold af nikkel på $\geq 8\%$ og 7204 2190 Affald og skrot, af rustfrit stål med indhold af nikkel $<8\%$.

Stålskrot med højt nikkelindhold ($\geq 8\%$)

Kategorien med højt nikkelindhold indeholder de fleste austenitiske typer, bl.a. almindeligt rustfrit stål 304 (18/8) og syrefast rustfrit stål 316 (18/10/2), der udgør omkring 65 % og 7 % af det globale rustfrie stål (International Stainless Steel Forum 2019). Austenitisk rustfrit stål er ikke magnetisk og kan derfor let magnetsepareres fra det almindelige stålskrot. Omvendt er visse typer af ferritisk, martensitisk og dupleks rustfrit stål magnetiske og vil derfor i højere grad sammenblandes med det almindelige stålskrot.

Stålskrot med lavt nikkelindhold ($< 8\%$)

Stålskrot med lavt nikkelindhold udgøres især af martensitisk og ferritisk 'kromstål' med kromindhold på henholdsvis $>17\%$ og $>11\%$. Krom udgør i disse legeringer det væsentligste legeringsmetal, men de kan ligeledes være lavt legeret med andre metaller fx nikkel, molybdæn og silicium. Martensitisk og ferritisk rustfrit stål udgør henholdsvis omkring 2 % og 24 % af det globale rustfrie stål. Udskilleleshærdende stål og dupleks rustfrit stål udgør henholdsvis ca. 1 % og ca. 0,6 %.

Til estimering af indholdet af legeringsmetaller i eksporteret rustfrit stål fra Danmark i 2017 er specifikationerne for indholdet af legeringsmetaller i de forskellige ståltyper anvendt (Tradewellferro 2020; Laxmi Steel 2019) (Tabel 29). Der blev i 2017 eksporteret 46.258 ton skrot af rustfrit stål (7204 2110 og 7204 2190) (Tabel 23). Med udgangspunkt i de mest almindelige legeringer er mængderne af de vigtigste legeringsmetaller eksporteret i 2017 estimeret og er vist i Tabel 29.

Specielle rustfri ståltyper indeholder, ud over de mest almindelige legeringsmetaller, også små mængder af fx mangan, vanadium, titan, kobber, aluminium, silicium, kobolt og niobium. Ved omsmeltnings vil nogle af legeringsmetallerne oxidere og udfældes med slaggen.

Høje nikkelpriser gør det sandsynligt, at rustfrit stålskrot alene handles på grund af indholdet af nikkel og med meget lidt fokus på de øvrige legeringsmetaller, som dermed sandsynligvis ikke genvindes funktionelt ved omsmeltnings. For nyskrot, hvor legeringsindholdet er kendt på forhånd, kan der i højere grad tages højde for legeringsmetaller som fx niobium eller kobolt, men det er dog uklart, hvorvidt de i praksis bliver funktionelt genanvendt.

10.1.1.5 Leget stål

Legeret stål er en bred kategori af specialstål med særlige egenskaber med hensyn til styrke, hårdhed, varmebestandighed, slidstyrke o.l. Specialstål adskiller sig fra almindeligt stål ved at være legeret med andre materialer end kulstof og mangan, og fra de rustfri ståltyper ved

at have et lavere indhold af krom. Indholdet af nogle af de typiske legeringsmetaller i legeret stålskrot ses i Tabel 30.

I 2017 blev der eksporteret 22.162 ton legeret stålskrot fra Danmark (Tabel 23). På basis af de gennemsnitlige indhold af legeringsmetaller er eksporten af legeringsmetaller indeholdt i legeret stålskrot estimeret og ses i Tabel 30.

10.1.1.6 Shredderjern

På de tre danske shredder anlæg behandles gammelskrot, fx jernskrot indsamlet på genbrugspladser ('kommunejern') og skrot indleveret direkte til genvindingsvirksomhederne, som fx skillemetal, miljøbehandlede biler, hårde hvidevarer mv. I shredder anlæggene neddeles skrottet, og en efterfølgende magnetisk sortering opdeler det neddelte skrot i to kommercielle skrotfraktioner: (i) en magnetisk fraktion (shredderjern) og (ii) en ikke-magnetisk fraktion bestående af bl.a. aluminium og kobber, samt det ikke-metalliske affald (shredderaffald), der bl.a. består af plast, træ, pap og tekstiler, som efterfølgende frasorteres. I 2017 blev der eksporteret 268.885 ton shredderjern, kategori 7204 4910, fra Danmark (Tabel 23).

Shredderjern består af blandede skrotfraktioner af stål, herunder både lavt og højt legeret støbejern, visse typer af rustfrit stål, galvaniseret stål samt små koncentrationer af metaller, der ikke er blevet frasorteret, fx kobber, tin, bly og aluminium. I ESSS for shredderjern er der angivet maksimumværdier for tilladt indhold af kobber (0,25 %) og tin (0,02 %) (Bilag B), da højere indhold giver problemer i forhold til omsmeltingen af skrot til stål.

Sander *et al.* (2004) har for EU-Kommissionen undersøgt indholdet af 12 udvalgte legeringsmetaller i shredderjernfraktionerne i to prøver, der skulle være 'typiske prøver'; prøverne er stillet til rådighed af Eurofor, den europæiske stålindustri brancheforening, Tabel 31. Det vides ikke, om indholdet i de to undersøgte prøver er repræsentative for dansk shredderjern, da den kemiske sammensætning afhænger af det enkelte shredder anlægs effektivitet og hvilke skrottyper, der oparbejdes og produceres i de enkelte lande. Shredderjernet bliver primært omsmeltet i EAF til produktion af nye stålprodukter. Ved denne metode forbliver en betydelig del af krom og nikkel i smelten og vil indgå som sekundære legeringsmetaller i ny stålproduktion. De vil i forskelligt omfang kunne indgå som ønskede legeringsmetaller og/eller blot som passive legeringsmetaller.

Under antagelse af at indholdet af de 12 udvalgte legeringsmetaller i de to prøver undersøgt af Sander *et al.* (2004) er repræsentative for dansk shredderskrot, er indholdet i den danske eksport af shredderjern i 2017 beregnet (Tabel 31). Som det ses af Tabel 31 var indholdet af kobber i prøve 1 0,25 %, hvilket er det maksimalt tilladte, mens indholdet i prøve 2 (0,165 %) var under den tilladte grænseværdi. For tin var begge prøver over den fastsatte grænseværdi.

10.1.1.7 Genanvendelse af legeringsmetaller i jern- og stålskrot

Jern- og stålskrot er volumenmæssigt den langt største kategori af skrot, der eksporteres fra Danmark. I Tabel 32 ses den estimerede maksimale mængde af udvalgte legeringsmetaller i eksporteret jern- og stålskrot fra Danmark i 2017.

Tabel 29 Typisk indhold af legeringsmetallerne mangan, krom, nikkel, molybdæn, niobium, kobber og tin i rustfrit stål (Tradewellferro 2020, Laxmi Steel 2019) og estimerede indhold af de nævnte legeringsmetaller i rustfrit stålskrot fra kategori 7204 2110 og 7204 2190 eksporteret fra Danmark i 2017. Decimalangivelser er baseret på kilder.

Skrottype efter KN-kode	Eksport ton	Mn		Cr		Ni		Mo		Nb		Cu		Ti	
		Lav	Høj	Lav	Høj	Lav	Høj	Lav	Høj	Lav	Høj	Lav	Høj	Lav	Høj
Legeringsindhold (%)		0	0,65	11,5	18	0,75	10,5	0	2	0	0,0014	0	0,5	0	0,003
7204 2110 + 7204 2190 (ton)	46.258	0	301	5.320	8.326	347	4.857	0	925	0	0,6	0	231	0	1,4

Tabel 30 Typisk indhold af legeringsmetallerne mangan, krom, nikkel, molybdæn, niobium, vanadium og aluminium i legeret stålskrot fra TradewellFerro (2020), Laxmi Steel (2019) og estimeret af eksperter fra H.J. Hansen Genvindingsindustri A/S, samt estimerede indhold af de nævnte legeringsmetaller i legeret stålskrot kategori 7204 2900 eksporteret fra Danmark i 2017. Decimalangivelser er baseret på kilder.

Skrottype efter KN-kode	Eksport ton	Mn		Cr		Ni		Mo		Nb		V		Al	
		Lav	Høj	Lav	Høj	Lav	Høj	Lav	Høj	Lav	Høj	Lav	Høj	Lav	Høj
Legeringsindhold (%)		0,3	1,0	0,4	10	0	3,75	0,15	1,13	0	0,1	0	0,25	0	0,04
7204 2900 (ton)	22.162	66	222	89	2.216	0	831	33	250	0	22	0	55	0	9

Tabel 31 Legeringsindholdet i dansk eksporteret shredderjern, baseret på Sander et al. (2004). Indholdet af 12 forskellige legeringsmetaller er analyseret på to prøver af 'typiske' shredderjern-partier og undersøgt af Eurofer. Der blev i 2017 eksporteret 268.885 ton shredderjern, kategori 7204 4910 Affald og skrot, af jern og stål, fragmenteret Shredderskrot ... fra Danmark (Tabel 23).

	Cu		Sn		Cr		Ni		Mo		Zn	
	Prøve 1	Prøve 2	Prøve 1	Prøve 2	Prøve 1	Prøve 2	Prøve 1	Prøve 2	Prøve 1	Prøve 2	Prøve 1	Prøve 2
Legeringsindhold (%)	0,250	0,165	0,028	0,021	0,207	0,141	0,067	0,061	0,008	0,009	0,204	0,202
Mængde i eksport (ton)	672	444	75	56	557	379	180	164	22	24	549	543
	V		Mn		Al		Nb		Co		Pb	
	Prøve 1	Prøve 2	Prøve 1	Prøve 2	Prøve 1	Prøve 2	Prøve 1	Prøve 2	Prøve 1	Prøve 2	Prøve 1	Prøve 2
Legeringsindhold (%)	0,005	0,004	0,006	0,119	0,006	0,015	0,003	0,002	0,012	0,011	0,048	0,041
Mængde i eksport (ton)	13	11	16	320	16	40	8,1	5,4	32	30	129	110

Sammenfattende kan det konkluderes, at genanvendelsesraten af legeringsmetallerne er afhængig af hvilken proces, der bruges til omsmeltingen af skrottet, og hvilke produkter det efterfølgende indgår i. Overordnet set gælder, at kobber, tin, molybdæn, kobolt og wolfram ikke genvindes som funktionelle metaller via metalfasen ved omsmelting, samt at mangan, niobium, titan, vanadium, aluminium og zink i høj grad ender i slagge eller askefaserne og dermed tabes, med mindre der efterfølgende foretages en specifik recycling fra slagge- og askefasen.

Tabel 32 Indholdet af udvalgte legeringsmetaller i dansk eksporteret jern- og stålskrot i 2017 (1.569.563 ton i alt), data fra Tabel 25 til Tabel 31.

Legeringsmetaller	Cu	Sn	Mn	Cr	Ni	Mo	Nb
Max. indhold i eksportskrot (ton)	4.296	354	4.028	13.883	6.609	1.384	31
Legeringsmetaller	Ti	V	Al	Zn	Co	Pb	
Max. indhold i eksportskrot (ton)	1	68	49	549	32	129	

10.1.2 Eksport af legeringsmetaller i aluminiumskrot – DST-data

Aluminiumskrot importeres og eksporteres fra Danmark under tre forskellige varebetegnelser i Danmarks Statistik, Tabel 33, hvor mængden af importeret og eksporteret aluminiumskrot i 2017 for de tre koder også ses. Som det fremgår, blev der samlet importeret 13.118 ton og eksporteret 90.713 ton, hvilket betyder, at der mindst blev produceret omkring 78.000 ton aluminiumskrot i Danmark i 2017.

Tabel 33 Import og eksport af aluminiumskrot fordelt på KN-koder i Danmarks Statistiks opgørelse af international varehandel (Danmarks Statistik – Statistikbanken.dk/KN8Y).

Skrottyper efter KN-kode	Import ton	Eksport ton
7602 0011 Drejespåner, fræsespåner, høvlspåner, savspåner og filspåner, af aluminium; affald af farvet, overtrukket eller sammenklæbet folie af tykkelse, uden underlag, <= 0,2 mm, af aluminium	0	1.315
7602 0019 Affald af aluminium, herunder kasserede emner fra fabrikation (undtagen slagge mv. hidrørende fra fremstilling af jern eller stål, indeholdende genindvindeligt aluminium i form af silikater samt ingots og lignende ubearbejdede ...)	8.557	16.985
7602 0090 Skrot af aluminium (undtagen slagge mv. hidrørende fra fremstilling af jern eller stål, indeholdende genindvindeligt aluminium i form af silikater samt ingots og lignende ubearbejdede former, støbt af omsmeltet aluminiumaffald ...)	4.561	72.413
Sum	13.118	90.713

Aluminiumskrot stammer fra mange forskellige produkter og sektorer, både i form af nyskrot fra produktionen, fx udstansninger, spåner mv., og som gammelskrot. En del aluminiumskrot separeres desuden fra andet metalaffald hos shredder anlæggene. På europæisk plan udgør nyskrot ca. 77 % af aluminiumskrottet, mens 23 % er gammelskrot. Da aluminiumfabrikationen er marginal i Danmark, antages andelen af nyskrot i Danmark at være mindre end på europæisk plan.

Ved genanvendelse følger aluminiumskrottet, som omtalt i afsnit 8.1.1, en af følgende to procesruter: via de primære aluminiumværker (omsmelttere, der genanvender især smedet aluminium) og de sekundære aluminiumværker (refiners, der raffinerer højt legeret aluminiumskrot, fx støbte produkter). Støbt aluminium har højere indhold af legeringsmetaller, især silicium og kobber og genanvendes derfor kun hos sekundære aluminiumproducenter til fremstilling af nye ingots til støbt aluminium. Ligeledes vil aluminiumskrot med blandet sammensætning (både støbt og smedet aluminium) også tilgå refiners. Omsmeltere modtager udelukkende smedet aluminiumskrot.

I Tabel 34 ses den kemiske sammensætning af typisk amerikansk aluminiumskrot (Schlesinger 2006), hvoraf det fremgår, at koncentrationerne er højest for zink og magnesium; det er usikkert om dansk aluminiumskrot har samme sammensætning. Metallerne i dansk skrot udgøres af legeringsmetaller, overfladebehandling og metaller fra sammensatte produkter og svejsninger o.l. Indholdet af bismut og tin stammer typisk fra svejsninger og lodninger og optræder kun undtagelsesvis som legeringsmetal.

I 2017 blev der eksporteret 90.713 ton aluminiumskrot fra Danmark (Tabel 33). Ved brug af de typiske værdier for amerikansk aluminiumskrot er mængden af legeringsmetaller i eksporten af dansk aluminiumskrot i 2017 estimeret (Tabel 34). Vurdering af hvilke legeringsmetaller der genanvendes funktionelt, og hvilke der ikke gør, er vanskeliggjort af, at der ikke er sikker viden om, hvordan skrottet genvindes. Det antages dog, at aluminium primært genvindes ved sekundær aluminiumraffinerings til produktion af støbte legeringer, mens zink, bly og titan kun delvist vil kunne anvendes funktionelt. For den del af nyskrottet der genanvendes som smedede legeringer, kan både krom og zink genanvendes funktionelt.

For de primære aluminiumværker er det svært at beregne, hvor stor en andel af det smedede aluminiumskrot, der genanvendes. Som nævnt vil omsmelting af gammelt aluminiumskrot typisk ske i de sekundære aluminiumværker, hvor der produceres støbte legeringer. Disse værker vil som udgangspunkt udelukkende være interesserede i legeringsmetaller, der sælges i støbt aluminium, særligt kobber, silicium, mangan og magnesium. De øvrige metaller adskilles ikke fra aluminium i metalfasen, da aluminium oxiderer lettere end de fleste andre metaller. Derfor vil legeringsmetaller, som fortrinsvis anvendes i smedede legeringer, såsom titan, krom og zink, ikke blive funktionelt anvendt i nye produkter, men blot følge med i de nye produkter under visse grænseværdier. Det antages, at en betydelig del af aluminiumnyskrot, fx spåner og udstansninger genanvendes, mens kun en relativ lille andel af aluminium-gammelskrot genanvendes.

For aluminiumskrot gælder det således, at en øget genanvendelse af legeringsmetaller beror på en stadig bedre sortering og adskillelse af smedet og støbt aluminium og på en finere sortering af enkelte legeringer. Det antages, at de primære aluminiumværkers incitament til at øge andelen af genanvendt aluminium i deres produkter vil tilskynde skrotbranchen til en bedre sortering af gammelt aluminiumskrot i fremtiden. Ligeledes er det sandsynligt, at efterspørgslen på støbt aluminium, der primært anvendes i biler med forbrændingsmotorer, vil falde med udbredelsen af elbiler og dermed øge behovet for, at smedet aluminium genanvendes til nye smedede produkter.

Tabel 34 Typisk indhold af legeringsmetallerne jern, kobber, mangan, zink, magnesium, krom, nikkel, bly, tin, bismut og titan i amerikansk aluminiumskrot (Schlesinger 2007) og estimerede indhold af de nævnte legeringsmetaller i aluminiumskrot kategori 7602 0011, 7602 0019 og 7602 0090 eksporteret fra Danmark i 2017. Decimalangivelser er baseret på kilder.

Skrottyper efter KN-kode	Eksport ton	Legeringsindholdet i skroteksport											
		Fe		Cu		Mn		Zn		Mg		Cr	
		Lav	Høj	Lav	Høj	Lav	Høj	Lav	Høj	Lav	Høj	Lav	Høj
Typisk legeringsindhold (%)		0,04	1,2	0,035	3,5	0,07	6,5	0,1	6,0	0,01	0,3	0,01	0,2
7602 0011 + 7602 0019 + 7602 0090 (ton)	90.713	36	1.089	45	3.175	45	1.179	64	5.896	91	5.443	9	272

Skrottyper efter KN-kode	Eksport ton	Legeringsindholdet i skroteksport									
		Ni		Pb		Sn		Bi		Ti	
		Lav	Høj	Lav	Høj	Lav	Høj	Lav	Høj	Lav	Høj
Typisk legeringsindhold (%)		0	0,3	0,01	0,2	0,01	0,3	0,01	0,3	0,05	0,2
7602 0011 + 7602 0019 + 7602 0090 (ton)	90.713	0	272	9	181	9	272	9	272	45	181

10.1.3 Eksport af legeringsmetaller i kobberskrot – DST-data

Kobberskrot eksporteres fra Danmark under tre forskellige varebetegnelser i Danmarks Statistik. Det fremgår af Tabel 35, at der i 2017 blev eksporteret 33.974 ton, og importeret ca. 8.814 ton, hvilket betyder, at der mindst blev produceret omkring 25.000 ton kobberskrot i Danmark; der kan dog være en ubetydelig andel af højkvalitetskobberskrot, der omsmeltes i danske støberier.

Tabel 35 Import og eksport af kobberskrot i 2017 fordelt på KN-koder i Danmarks Statistiks opgørelse af international varehandel (Danmarks Statistik – Statistikbanken.dk/KN8Y).

Skrottyper efter KN-kode	Import ton	Eksport ton
7404 0010 Affald og skrot, af raffineret kobber (undtagen ingots og lignende ubearbejdede former, der er støbt af omsmeltet affald og skrot af raffineret kobber, og undtagen aske og restprodukter, indeholdende raffineret kobber ...)	2.568	10.101
7404 0091 Affald og skrot, af kobber-zinklegeringer messing (undtagen ingots og lignende ubearbejdede former, der er støbt af omsmeltet affald og skrot af kobber-zinklegeringer, og undtagen aske og restprodukter, indeholdende ...)	2.794	14.675
7404 0099 Affald og skrot, af kobberlegeringer (undtagen af kobber-zinklegeringer og undtagen ingots og lignende ubearbejdede former, der er støbt af omsmeltet affald og skrot af kobberlegeringer, aske og restprodukter ...)	3.452	9.197
Sum	8.814	33.974

Kobberskrot eksporteres primært til genanvendelse og raffinering i udlandet. Særligt Tyskland, Sverige og Kina modtager en stor andel af disse skrottyper fra Danmark. Høje priser og ret store strømme af kobberskrot, øger incitamentet til at oparbejde og sortere kobberskrottet grundigt.

I Tabel 36 ses den kemiske sammensætning af typisk eksporteret kobberskrot baseret på data fra Jolly (2006) og BS EN 12861 (1999). Det er almindeligt, at kobber legeres med grundstofferne zink, tin, bly eller nikkel, hvor mængde og sammensætning vælges for at bestemme egenskaber opnås. I nogle skrottyper er koncentrationen af legeringsmetallerne meget højt, fx kan indholdet af zink i gul, tung messing være 42 %, men på trods af dette er der i estimerne i Tabel 36 anvendt et gennemsnitsindhold på 35 % zink i det kobberskrot, der blev eksporteret i 2017. Ifølge Miljøstyrelsen (2003) er kobberindholdet i *7404 0091 Affald og skrot, af kobber-zinklegeringer messing ...* mellem 57 % og 68 %, mens kobberindholdet i uspecificerede kobberlegeringer *7404 0099 Affald og skrot, af kobberlegeringer (undtagen af kobber-zinklegeringer ...)* er mellem 65 % og 85 %, hvilket betyder, at der som en del af kobberskrottet også eksporteres en stor mængde legeringsmetaller (Tabel 36).

7404 0099 Affald og skrot, af kobberlegeringer ... er blandet kobberskrot bestående af følgende legeringer: kobber-tin, kobber-bly-tin, kobber-bly, kobber-aluminium, kobber-nikkel-tin, kobber-nikkel, kobber-nikkel-bly, kobber-mangan, kobber-bly-mangan og andre. Da den præcise fordeling af de enkelte typer skrot ikke kendes, er der til estimering af legeringsmetaller i *7404 0099* anvendt følgende faktorer: tin: 0,5; bly: 0,2; øvrige: 0,1.

Kobberskrot bruges efter smeltning og raffinering typisk til fremstilling af nye kobberprodukter. Dog har kobberskrottets renhed betydning for genvindingsmetoderne. Hvis skrottet har en

simpel legeringssammensætning, er det lettere at genvinde til et nyt høj kvalitetsprodukt. Dette gælder fx bronzelegeringer og messinglegeringer, hvor legeringssammensætningerne til bronzeprodukter efterfølgende kan justeres med bly og tin, mens der for messing kan justeres med zink (som ofte tabes under smeltningen).

Ved genanvendelse af kobberskrot med en ukendt sammensætning er det normalt, at det først smeltes og efterfølgende raffineres i flere trin (se afsnit 8.3). I disse processer kan der foretages en effektiv oparbejdning af en række af de metaller eller biprodukter, der er indeholdt i kobberskrottet; typisk zink, som opfanges som røggas; bly og tin som oparbejdes fra slaggen til bly-tin-legeringer; og nikkel der oparbejdes som nikkelsulfat. I den afsluttende raffineringsproces af kobberet udtrækkes ædelmetaller som sølv, guld og platingruppermetaller som rene metaller. Tabet af disse metaller er derfor relativt begrænset, og derfor bliver de heller ikke opkoncentreret i de nye kobberprodukter.

10.2 Eksport af legeringsmetaller baseret på data fra Affaldsdatasystemet

I dette afsnit opgøres indholdet af legeringsmetaller i eksporteret skrot fra Danmark i 2017 ved brug af data fra Affaldsdatasystemets (ADS) affaldskategorier med særligt fokus på skrot fra:

- Transportindustrien (køretøjer og andre transportmidler)
- Byggeindustrien
- Maskinindustrien
- Elektronikindustrien
- Emballageindustrien
- Øvrige

I Danmark klassificerer det vigtige affaldsdatasystem, ADS, affaldskategorier i henhold til den europæiske affaldsliste.

Metoden, der er anvendt i dette afsnit, tager udgangspunkt i den antagelse, at skrotkvaliteten på basis af ADS-systemet er mere velbestemt end de kvantitative forhold for de enkelte affaldsklasser i EAK-systemet (se afsnit 4.1.2). I de tilfælde hvor der ikke er tilgængelige kvantitative data/information, er estimerne foretaget ud fra forholdet af de producerede mængder af jern- og stålskrot, aluminiumskrot og kobberskrot for 2017 indberettet til DST og som er omtalt i afsnit 10.1. I Tabel 37 ses eksporterede skrotmængder fra Danmark for 2017. Det antages, at 1 % af skrottet udgøres af andre metaller, fx bly, tin og nikkel, og der regnes derfor med et produktionsforhold på 92:5:2 for henholdsvis jern- og stålskrot, aluminiumskrot og kobberskrot.

Tabel 36 Typisk indhold af legeringsmetallerne bismut, bly, zink, aluminium, jern, nikkel, tin, mangan og kobolt baseret på Jolly (2006) og BS EN 12861 (1999) og estimerede indhold af de nævnte legeringsmetaller i kobberskrot i kategori 7404 0010, 7404 0091 og 7404 0099 eksporteret fra Danmark i 2017. Decimalangivelser er baseret på kilder.

KN-kode		Typisk legeringsindhold i kobberskrot (%)																			
		Bi		Pb		Zn		Al		Fe		Ni		Sn		Mn		Co			
		Lav	Høj	Lav	Høj	Lav	Høj	Lav	Høj	Lav	Høj	Lav	Høj	Lav	Høj	Lav	Høj	Lav	Høj		
7404 0010		0	0,0005	0	0,005																
7404 0091				0,1	7	2	42	0	8	0,05	0,6	0,05	2	0,2	6						
7404 0099				0	34	0	28	0	13,5	0,05	0,6	0	33	0	20	0	14	0	5,5		
KN-kode		Eksport ton		Legeringsindhold i eksporteret kobberskrote fra Danmark (2017) (ton)																	
				Bi		Pb		Zn		Al		Fe		Ni		Sn		Mn		Co	
				Lav	Høj	Lav	Høj	Lav	Høj	Lav	Høj	Lav	Høj	Lav	Høj	Lav	Høj	Lav	Høj	Lav	Høj
7404 0010		10.101	0	0,05	0	0,5															
7404 0091		14.675			15	1.027	294	5.136*	0	1.174	7	88	7	294	29	880					
7404 0099		9.196			0	626	0	258	0	124	5	55	0	303	0	920	0	128	0	51	
Sum		33.972	0	0	15	1.653	294	5.394	0	1.298	12	143	7	597	29	1.800	29	128	0	51	

* zinkindholdet kan være op til 42 % i gul, tung messing, men der regnes her med 35 %

Tabel 37 Eksporterede skrotmængder i 2017 ifølge Danmarks Statistik og beregninger på baggrund af data fra Affaldsdatasystemet (Miljøstyrelsen 2019b). Skrotmængderne fra DST danner basis for produktionsforholdet 92:5:2, hvor det antages at 1 % af skrottet udgøres af andre metaller, fx bly tin og nikkel, Værdierne for DST ses i Tabel 23, Tabel 33 og Tabel 35.

Eksport af	DST-data ton	ADS-data ton
Jern- og stålskrot	1.569.563	1.095.039
Aluminiumskrot	90.773	65.605
Kobberskrot	33.974	25.597
I alt	1.694.310	1.186.241

I Tabel 39 ses estimerede skrotmængder fra de seks største jern- og stålskrotkilder eksporteret fra Danmark i 2017; data er baseret på Affaldsstatistik 2017 – Rådata (Miljøstyrelsen 2019c). I Tabel 38 ses et eksempel på læsning af Tabel 39, Tabel 47 og Tabel 49.

Tabel 38 Med udgangspunkt i jern- og stålskrot eksporteret fra Danmark i 2017 indenfor byggeindustrien ses et eksempel på læsning af Tabel 39, Tabel 47 og Tabel 49.

Under EAK-kode 17 04 05 Jern og stål blev der indsamlet 277.609 ton skrot til genanvendelse mens der under EAK-kode 17 04 07 Blandet metal blev indsamlet 30.498 ton skrot til genanvendelse (kolonne *Masterdata ton*). Det antages, at al skrot under kode 17 04 05 er jern og stål og derfor genanvendeligt, mens det for kode 17 04 07 antages, at kun 92 % er genanvendeligt jern og stål (kolonne *Konverter-indeks*). Det vil sige, at i denne industri er henholdsvis 277.609 ton og 28.058 ton genanvendeligt jern og stål (kolonne *Konverter-data ton*), og at den samlede mængde udgjorde 305.972 ton svarende til 31 % (kolonnen *Forhold*) af al genanvendeligt jern- og stålskrot i 2017, som var 982.934 ton. I 2017 var den samlede mængde dansk eksporteret jern- og stålskrot 1.095.039 ton, Tabel 37 (Miljøstyrelsen 2019b). Hvis det antages, at 31 % stammer fra byggeindustrien blev der i 2017 i alt eksporteret 340.529 ton fra denne industri.

I Tabel 39 er 92 % er stål baseret det fundne produktionsforhold mellem jern- og stålskrot, aluminiumskrot og kobberskrot.

10.2.1 Eksport af legeringsmetaller i jern- og stålskrot – ADS-data

Som det ses i afsnit 7.1 bruges jern og stål i en lang række produkter, som indeholder forskellige legeringsmetaller, som eksporteres sammen med det skrottede jern, aluminium og kobber. Indenfor de seks kategorier; transport-, bygges-, maskin-, elektron- og emballageindustrien og kategorien 'øvrige' er jern- og stålskrot klassificeret i forhold til de produkter, hvori det blev brugt, inden det blev affald.

Den samlede mængde eksporteret jern- og stålskrot i 2017 er ved brug af ADS-data beregnet til 1.095.039 ton (Miljøstyrelsen 2019b), hvilket er ca. 30 % af den eksportmængde der er opgjørt på basis af data fra Danmarks Statistiks internationale varehandel (Tabel 37).

I det følgende beskrives metode og resultater for de seks vigtigste skrotsektorer for jern- og stålskrot.

Tabel 39 Estimerede skrotmængder fra de seks største jern- og stålskrotkilder eksporteret fra Danmark i 2017, baseret på Affaldsstatistik 2017 – Rådata (Miljøstyrelsen 2019c). Den samlede eksport af jern- og stålskrot er beregnet til 1.095.039 ton.

Skrotkilder	EAK-kode	Master-data ton	Konverter-indeks**	Konverter-data** ton	Bemærkninger	Genan-ven-delse*** ton	Forhold	Eksport ton
Transportindustrien	16 01 03 Udtjente dæk	42.592	0,15	94.018	I 2017 var den samlede mængde bilskrot i Danmark 134.311 ton (Miljøstyrelsen 2019b), hvoraf det antages at 70 % er behandlet som jern- og stålskrot (Singh 2016); 134.311 x 70 % = 94.018 ton	94.018	0,10	104.741
	16 01 04 Udtjente køretøjer	12.821	1					
	16 01 06 Udtjente køretøjer, som hverken indeholder væsker eller andre farlige dele	88.850	1					
	16 01 16 Tanke til flydende gas	0	1					
	16 01 17 Jernholdigt metal	20.909	1					
Byggeindustrien	17 04 05 Jern og stål	277.609	1	277.609		305.667	0,31	340.529
	17 04 07 Blandet metal	30.498	0,92	28.058	92 % er stål			
Maskinindustrien	02 01 10 Metalaffald	56.460	0,92	51.943	92 % er stål	88.989	0,09	99.138
	12 01 01 Filspåner og drejespåner af jern	32.661	1	32.661				
	12 01 02 Metalstøv og -partikler af jern	2.817	1	2.817				
	12 01 17 Affald fra sandblæsning, bortset fra affald henhørende under 12 01 16	6.340	0,12	761	12 % er jern og stål, vurderet på basis af Buruiana <i>et al.</i> (2011) og Borucka-Lipska <i>et al.</i> (2019)			
	12 01 21 Brugte slibeemner og slibematerialer, bortset fra affald henhørende under 12 01 20	32	0,06	2	6 % er jern og stål, vurderet på basis af European Commission (2006)			
12 01 99 Andet affald, ikke andetsteds specificeret	7.316	0,11	805	11 % er jern og stål, vurderet på basis af Brooks (1985), Twidwell <i>et al.</i> (1986, 1993) og European Commission (2006)				

fortsættes næste side ...

... fortsat fra forrige side

Elektronikindustrien	16 02 10 Kasseret udstyr, som indeholder eller er forurennet med PCB, bortset fra affald henhørende under 16 02 09	192			Det samlede elektronikaffald i 2017 var 80.000 ton (Miljøstyrelsen 2019b); ifølge Muchová <i>et al.</i> (2011) er 49,8 % af elektronikaffaldet jern og stål; 80.000 x 49,8 % = 39.840 ton	39.840	0,04	44.384
	16 02 11 Kasseret udstyr indeholdende chlorfluorcarboner, HCFC eller HFC	6.523						
	16 02 13 Kasseret udstyr, som indeholder farlige dele 2), bortset fra affald henhørende under 16 02 09 - 16 02 12	3.526						
	16 02 14 Kasseret udstyr, bortset fra affald henhørende under 16 02 09 - 16 02 13	18.249						
	16 02 16 Dele fjernet fra kasseret udstyr, bortset fra affald henhørende under 16 02 15	768						
	17 04 11 Kabler, bortset fra affald henhørende under 17 04 10	7.119						
	20 01 23 Kasseret udstyr indeholdende chlorfluorcarboner	2.747						
	20 01 35 Kasseret elektrisk og elektronisk udstyr, bortset fra affald henhørende under 20 01 21	20.145						
	20 01 36 Kasseret elektrisk og elektronisk udstyr, bortset fra affald henhørende under 20 01 21, 20 01 23 og 20 01 35	17.329						
Emballageindustrien	15 01 04 Metalemballage	25.107	0,75	18.830	75 % er jern og stål, vurderet på basis af Jakobsen (2011)	19.232	0,02	21.426
	15 01 05 Kompositemballage	10	0,045	0,5	4,5 % er jern og stål (Eurostat 2019)			
	15 01 06 Blandet emballage	8.927	0,045	402	4,5 % er jern og stål (Eurostat 2019)			

fortsættes næste side ...

... fortsat fra forrige side

Øvrige	19 01 02 Jernholdigt materiale fjernet fra bundaske	938	1	938		435.188	0,44	484.821
	19 10 01 Jern- og stålaffald	4.431	1	4.431				
	19 10 06 Andre fraktioner, bortset fra affald henhørende under 19 10 05	0	0,08	0	8 % er jern og stål, vurderet på basis af Ahmed <i>et al.</i> (2014), Kahle <i>et al.</i> (2015)			
	19 12 02 Jernholdigt metal	136.432	1	136.432				
	19 12 11 Andet affald (herunder blandinger af materialer) fra mekanisk behandling af affald indeholdende farlige stoffer	6	0	0	0,15 % er jern og stål, vurderet på basis af Velenturf <i>et al.</i> (2018)			
	19 12 12 Andet affald (herunder blandinger af materialer) fra mekanisk behandling af affald, bortset fra affald henhørende under 19 12 11	22.614	0,04	832	4 % er metal, vurderet på basis af Visvanathan <i>et al.</i> (2006) og Velenturf <i>et al.</i> (2018), 92 % af metal er jern og stål			
	20 01 40 Metaller	338.597	0,8244	279.139	82,44 % er jern og stål, vurderet på basis af Kuusiola <i>et al.</i> (2012) (53 % er tin-pladestål til emballager; 15 % aluminiumemballage, 32 % er øvrigt metalkrot, (hvoraf 92 % er jern og stål), dvs. konverterindeks bliver: $0,53 + 32 \% \times 92 \% = 0,8244$)			
	20 03 07 Storskrald	29.163	0,46*	13.415	50 % er metal*, og 92 % af metal er jern og stål			

* Procentsatsen er baseret på ekspertvurdering fra interviews blandt større danske skrothandlere, da der ikke er fundet brugbare publicerede data (se afsnit 4.2.2).

** Ikke alt affald under de enkelte EAK-koder er jern- og stålskrot, da det kan være blandet med plast, træ og andre materialer. Konverter-data og konverter-indeks bruges derfor til at estimere, hvor store mængder af det oprindelige affald, der er jern- og stålskrot.

*** Den samlede genanvendelse af jern- og stålskrot i 2017 var 982.934 ton.

10.2.1.1 Skrot fra transportindustrien

Bilindustrien er en af de største forbrugere af metal inden for transportindustrien, og i nogle lande forbruger denne industri mere end 90 % af metalforbruget. Materialerne i bilindustrien er typisk legerede metaller og sammensatte materialer.

Når biler og tog skrottes, bliver de i Danmark indsamlet med henblik på genanvendelse af metallerne, som udgør ca. 75 % af bilens vægt, hvoraf jern og stål udgør 70 %, aluminium udgør omkring 3,5 %, mens resten består af andre ikke-metalliske dele, der bortskaffes ved forbrænding eller deponering (Singh 2016). I Figur 40 ses jern- og stålskrot fra transportindustrien inden de behandles i en shredder, der neddelser skrottet til cm-store stykker, som efterfølgende kan separeres magnetisk, inden det afsendes til omsmelting på et stålværk (ofte i en EAF) (Ohno *et al.* 2015).



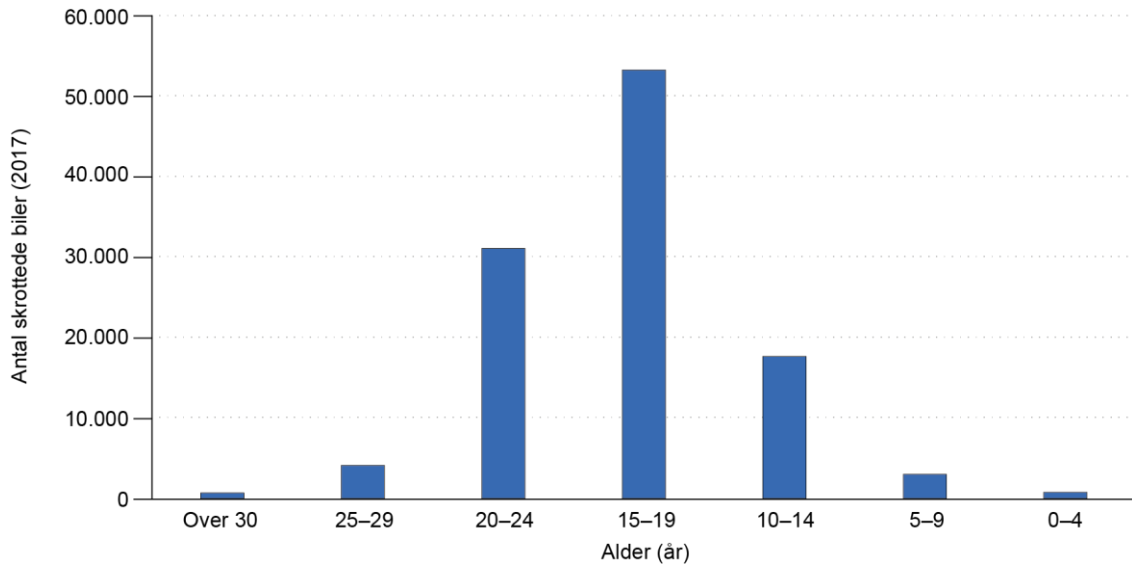
Figur 40 Miljøbehandlede biler klar til sortering inden behandling i en shredder. Til venstre: karosserier og døre. Til højre: udover selve karosseriet ses bremses, dæk, fjedre, udstødning og motor, der først shreds som en stor klump og efterfølgende udsorteres. Foto: MiMa.

Biler udgjorde med ca. 9 % i 2017 en af de største enkeltkilder til den danske eksport af jern- og stålskrot og er samtidig en betydelig kilde til eksport af legeringsmetaller. I 2017 blev der i Danmark skrottet 111.399 biler, hvoraf $\frac{3}{4}$ var 15-24 år gamle (Figur 41) og således produceret i perioden 1993-2002. Der sker løbende ændringer i bilers materialesammensætning, og derfor er materialesammensætningen i de skrottede biler forskellig fra de biler, der kører på vejene i dag.

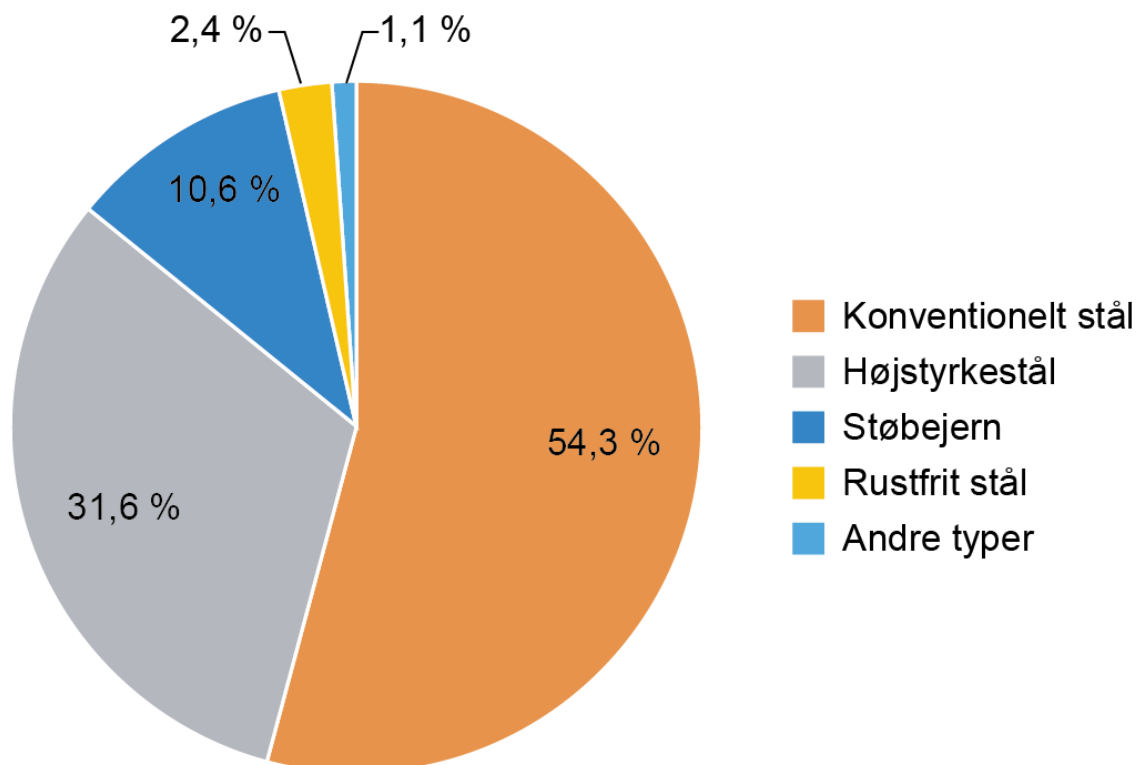
Som nævnt var hovedparten af de skrottede biler i Danmark i 2017 produceret i perioden 1993-2002, og fordelingen af de typisk anvendte ståltyper i biler produceret i denne periode fremgår af Figur 42. Her refererer betegnelsen konventionelt stål til mildt stål (eng. *mild steel*), men inkluderer også andre mindre stærke ståltyper. Højstyrkestål omfatter mest bagehærdningsstål (eng. *bake-hardening steel*) og interstitielt-frit stål (eng. *interstitial-free steel*), samt nogle avancerede højstyrkestål, såsom dobbeltfasesstål og transformationsinduceret plasticitetstål. I Tabel 40 ses indholdet af legeringsmetaller i de typiske ståltyper, der blev brugt i biler produceret i perioden 1993-2002.

Den samlede mængde bilskrot i Danmark i 2017 udgjorde 134.311 ton (Miljøstyrelsen 2019b), hvoraf det antages, at 70 % er behandlet som genanvendeligt jern- og stålskrot,

svarende til 94.018 ton (Tabel 39). Da det antages, at 10 % af det genanvendelige samlede skrot i Danmark i 2017 (som var 1.095.039) stammer fra transportindustrien stammede 104.741 ton af det eksporterede jern- og stålskrot fra transportindustrien. Med udgangspunkt i dette volumen og legeringssammensætningerne for de mest almindelige ståltyper anvendt til biler i perioden 1993-2002, er mængden af legeringsmetaller som blev eksporteret fra Danmark i 2017 estimeret (Tabel 40).



Figur 41 Antallet af skrottede biler i Danmark i 2017, fordelt på bilernes alder (<https://www.dst.dk/Site/Dst/Udgivelser/nyt/GetPdf.aspx?cid=28467>).



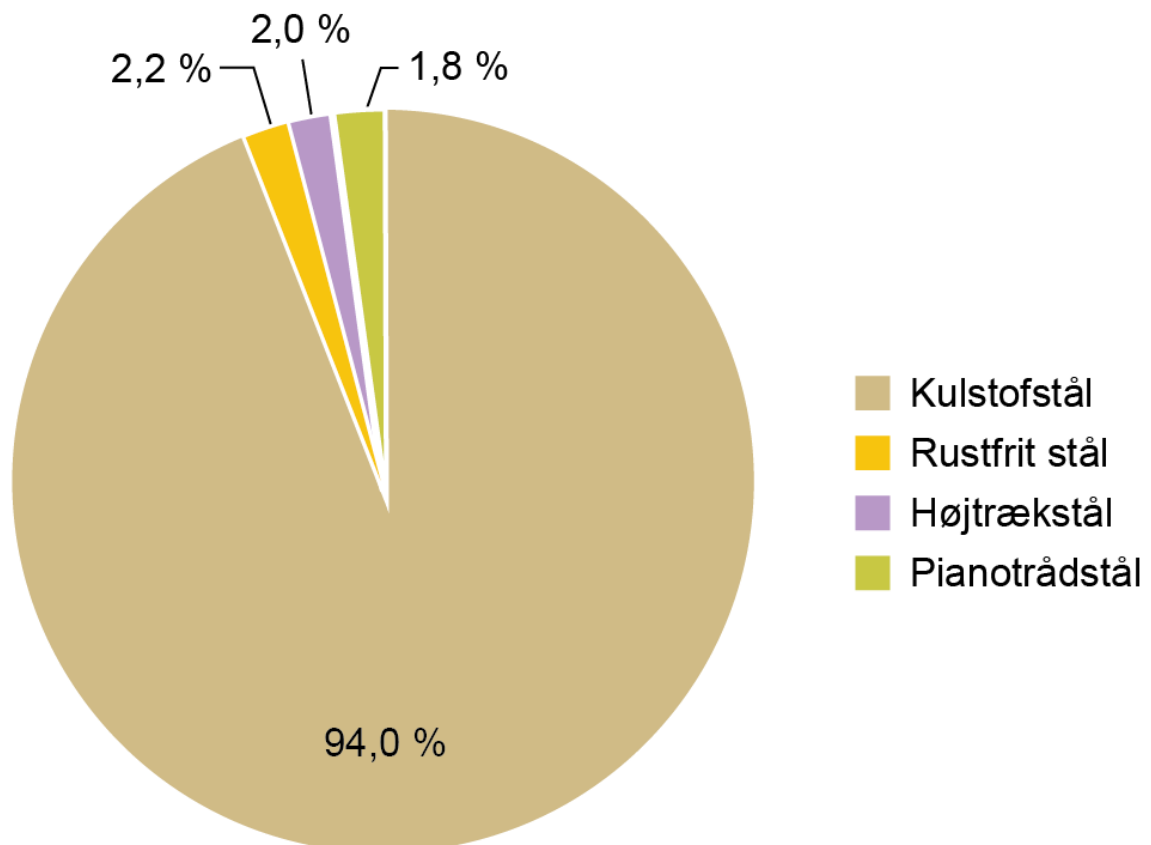
Figur 42 Typisk fordeling af jern- og ståltyper i biler produceret i perioden 1993-2002 (Ohno et al. 2017).

Tabel 40 Indholdet af legeringsmetaller i typiske ståltyper, som blev brugt i køretøjer fremstillet i 1993-2002, samt estimerede mængder legeringsmetaller der i 2017 blev eksporteret i dansk skrot fra udtjente køretøjer (Hovorun et al. 2017). Decimalangivelser er baseret på kilder.

Ståltype		Typisk legeringsindhold for forskellige ståltyper i køretøjer fremstillet 1993-2002 (%)																	
		Mn		Cr		Ni		Mo		Nb		V		Cu		Al			
		Lav	Høj	Lav	Høj	Lav	Høj	Lav	Høj	Lav	Høj	Lav	Høj	Lav	Høj	Lav	Høj		
Støbejern		0,1	2																
Konventionelt stål		0,6	1,65											0	0,6				
Højstyrkestål		0,2	2,5	0,4	1,3			0	0,4	0,03	0,06	0	0,06	0	0,2	0,02	1,4		
Rustfrit stål		0,27	1,78	17,01	19,02	6,07	8,17	0,15	0,24	0	0,0014								
Andre typer		0	1,65	0	1,6	0	2	0	0,08			0	0,25	0	0,36				
Ståltype		Mængde ton		Legeringsindhold i eksporteret dansk skrot fra biler (2017) (ton)															
				Mn		Cr		Ni		Mo		Nb		V		Cu		Al	
				Lav	Høj	Lav	Høj	Lav	Høj	Lav	Høj	Lav	Høj	Lav	Høj	Lav	Høj	Lav	Høj
Støbejern		11.103		11	222														
Konventionelt stål		56.874		341	938										0	341			
Højstyrkestål		33.098		66	827	133	430			0	133	10	20	0	20	0	66		
Rustfrit stål		2.514		7	45	428	478	153	205	4	6	0	0,035						
Andre typer		1.152		0	19	0	18	0	23	0	1			0	3	0	4		
Sum		104.741		425	2.052	560	927	153	228	4	140	10	20	0	23	0	411		

10.2.1.2 Skrot fra byggeindustrien

Store mængder stål anvendes i byggeindustrien, både som selvstændige konstruktioner og som konstruktionsdele i bygninger, veje, broer m.m. Mængden af jern- og stålskrot fra nedrivning af bygninger varierer meget afhængig af bygningstype og geografisk placering, men eksperter fra genvindingsindustrien anslår, at jern og stål i gennemsnit udgør lidt under 1 % af den samlede masse fra en boligbygning. I Danmark blev der i 2017 eksporteret 340.529 ton jern- og stålskrot fra byggeindustrien (Tabel 39). I Figur 43 ses de typiske ståltyper, som bruges til bygge- og anlægsopgaver (Ohno *et al.* 2017).



Figur 43 Fordelingen af jern- og ståltypen i byggeindustrien (Ohno *et al.* 2017).

Kulstofstål underinddeles ofte i følgende tre typer:

- Mildt stål, som anvendes i byggeri. Selvom mængden af kulstof der findes i mildt stål varierer afhængigt af kilden, er der typisk 0,05 til 0,25 vægt% kulstof i mildt stål. Mildt stål er ikke et legeret stål og indeholder derfor næsten kun jern og meget få legeringsmetaller. Mangan er det eneste legeringsmetal, der kan findes i mildt stål, ofte med en koncentration på 0,7 % til 0,9 %.
- Armeringsstål (eng. *reinforcing steel*) som anvendes i betonkonstruktioner har typisk et indhold af mangan på mellem 0,3 % og 0,8 % og kan desuden indeholde kobber, men dog maksimalt 0,6 %.
- Strukturelt stål kaldes også for konstruktionsstål og bruges, som navnet siger, ofte i konstruktioner. I Europa anvendes strukturelt stål især som stålstænger i kvaliteten Fe 415 og Fe 500, som begge har lavt kulstofindhold med mangankoncentrationer

på 0,5-1,65 % og kan desuden indeholde lidt kobber (som dog max. må udgøre 0,6 %).

De nævnte værdier for indholdet af mangan og kobber i kulstofstål er anvendt til at estimere, hvor store mængder legeringsmetaller der i 2017 blev eksporteret indenfor kategorien kulstofstål (Tabel 41).

Legeret stål bruges også i byggeindustrien i form af højtrækstål og pianotråd. Den kemiske sammensætning af disse ståltypen ses i Tabel 41.

Udover de ovennævnte typer af kulstofstål bruges stigende mængder rustfrit stål i bygninger og konstruktioner. I Tyskland udgør denne type nu omkring 7 %, men da alderen på de bygninger der nedrives, antageligt er betydeligt ældre end 50 år, forventes indholdet af rustfrit stål i skrot fra byggeindustrien at være betydeligt mindre, da der tidligere blev brugt mindre mængder rustfrit stål til bygninger. Ohno *et al.* (2017) har beregnet, at 2,2 % af al den stål der bruges i byggeindustrien, er rustfrit stål.

I Tabel 41 ses estimater for udvalgte legeringsmetaller, som kan være indeholdt i de 340.529 ton jern- og stålskrot fra byggeindustrien, som blev eksporteret fra Danmark i 2017.

Tabel 41 Indholdet af legeringsmetaller i forskellige typer stål som bruges i konstruktioner, samt estimerede mængder legeringsmetaller der i 2017 blev eksporteret i dansk jern- og stålskrot fra byggeindustrien (Sidenor 2016; Rafi *et al.* 2014; Jibrin & Ejeh 2013). Decimalangivelser er baseret på kilder.

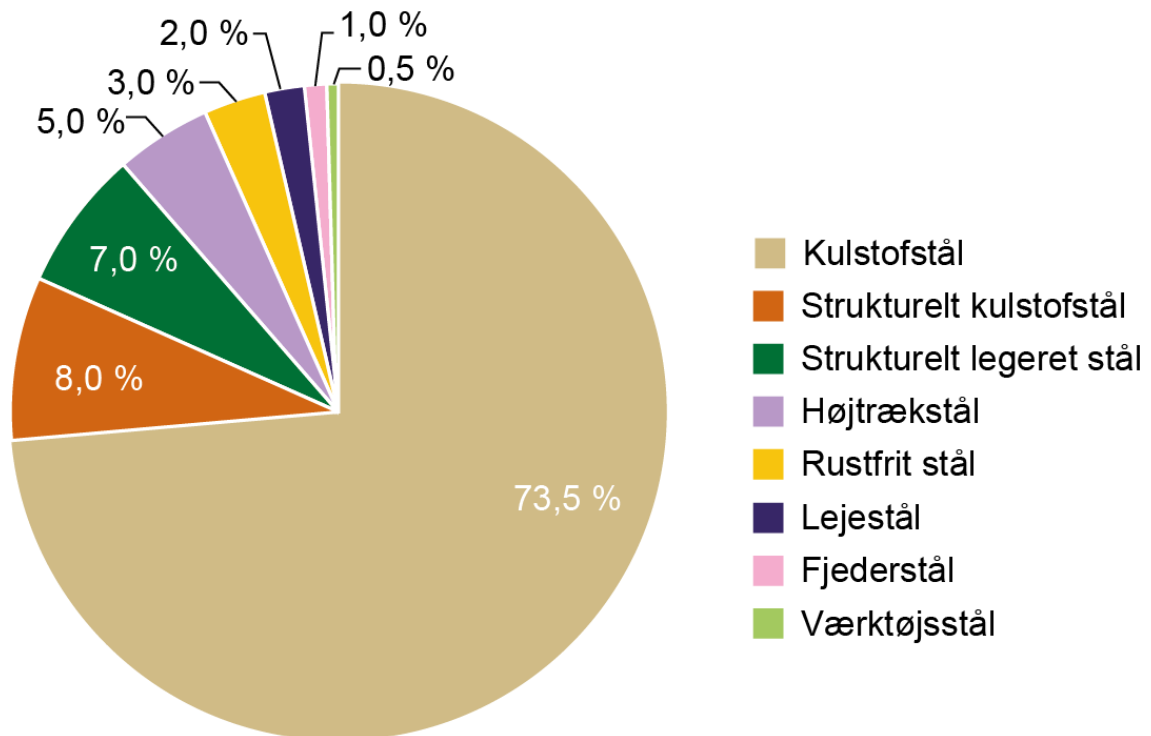
Ståltypen		Typisk legeringsindhold for forskellige ståltypen i byggeindustrien (%)									
		Mn		Cr		Ni		Mo		Cu	
		Lav	Høj	Lav	Høj	Lav	Høj	Lav	Høj	Lav	Høj
Pianotrådstål		0,3	1,2							0	0,12
Kulstofstål		0,3	1,65							0	0,6
Højtrækstål		0,45	1	0,5	1,1	0	2,8	0,15	0,65		
Rustfrit stål		0,27	1,77	17,01	18,98	6,07	7,82	0,15	0,23		
Ståltypen		Legeringsindhold i eksporteret dansk skrot fra byggeindustrien (2017) (ton)									
		Mn		Cr		Ni		Mo		Cu	
		Lav	Høj	Lav	Høj	Lav	Høj	Lav	Høj	Lav	Høj
Pianotrådstål	6.130	18	74							0	7
Kulstofstål	320.097	960	5282							0	1921
Højtrækstål	6.811	31	68	34	75	0	191	10	40		
Rustfrit stål	7.492	20	133	1.274	1.422	455	586	11	17		
Sum	340.529	1.030	5.556	1.308	1.497	455	777	21	61	0	1.928

10.2.1.3 Skrot fra maskinindustrien

Maskiner dækker en lang række udstyr fra små værktøjer til store fabriksbaserede robotmaskiner og valseværker. Globalt blev ca. 15 % af stålproduktionen anvendt til fremstilling af værktøjer og maskiner. I Figur 44 ses de typiske ståltypen, som anvendes i maskinindustrien

(Ohno *et al.* 2017). Som det fremgår af figuren, er kulstofstål det mest anvendte efterfulgt af legeret stål og højtrækstål.

Der bruges desuden en betydelig mængde af det såkaldte *værktøjsstål* (eng. *tool steel*), som er karakteriseret ved at have høj hårdhed og høj resistens overfor varme, slid og korrosion, hvilket er opnået ved specielle legeringssammensætninger. De fire vigtigste legeringsmetaller i værktøjsstål er wolfram, krom, vanadium og molybdæn; herudover indeholder visse produkter mangan, nikkel og kobolt. Det typiske legeringsindhold for syv metaller i forskellige ståltyper er vist i Tabel 42.



Figur 44 Sammensætningen af typiske jern- og ståltyper anvendt i maskinindustrien (Ohno *et al.* 2017).

I 2017 eksporterede Danmark 99.138 ton jern- og stålskrot (Tabel 39) fra maskinindustrien. Under antagelse af at fordelingen mellem de forskellige ståltyper følger de i Figur 44 angivne værdier, ses i Tabel 42 estimater for udvalgte legeringsmetaller, som kan være indeholdt i jern- og stålskrot fra maskinindustrien, som blev eksporteret fra Danmark i 2017.

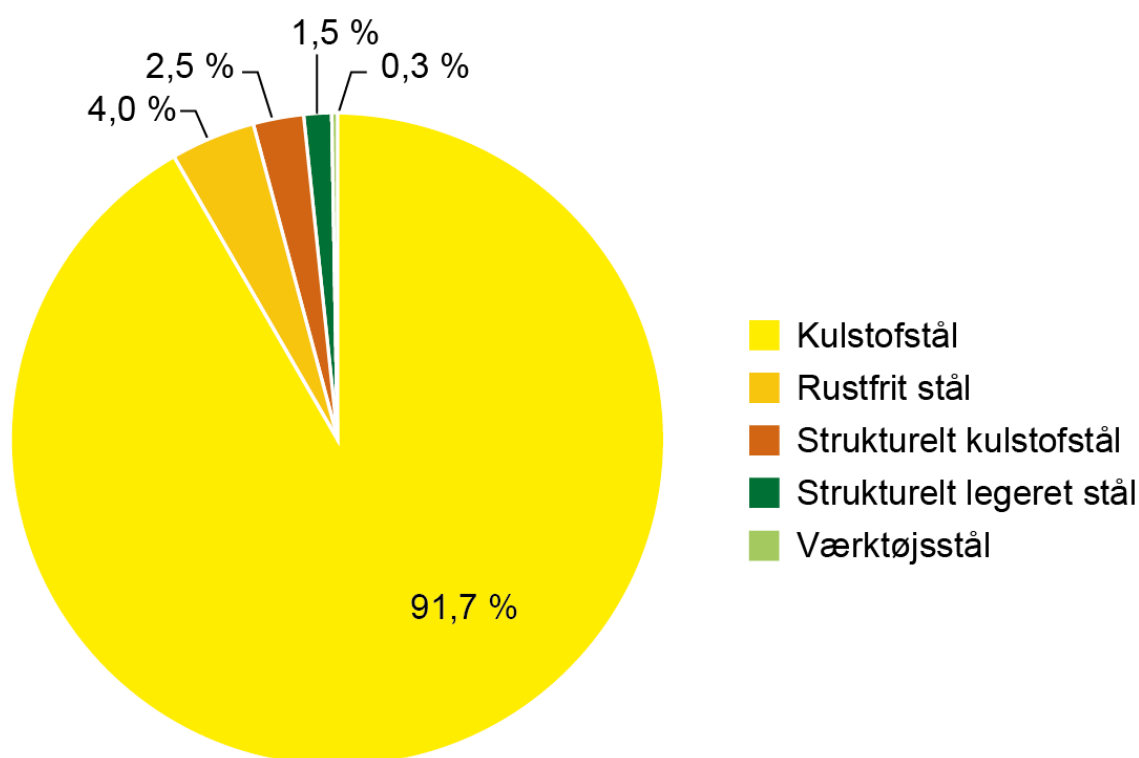
Tabel 42 Indholdet af legeringsmetaller i forskellige ståltyper som bruges i maskiner, samt estimerede mængder legeringsmetaller der i 2017 blev eksporteret i dansk jern- og stålskrot fra maskinindustrien (Ohno et al. 2017). Decimalangivelser er baseret på kilder.

Ståltype		Typisk legeringsindhold for forskellige ståltyper indenfor maskinindustrien (%)																	
		Mn		Cr		Ni		Mo		Cu		V		Co		W			
		Lav	Høj	Lav	Høj	Lav	Høj	Lav	Høj	Lav	Høj	Lav	Høj	Lav	Høj	Lav	Høj		
Værktøjsstål		0,3	2	0,4	12	0,6	1,8	0,2	10			0,3	5,1	5	10,5	0,7	18		
Strukturelt kulstofstål		0	1,6																
Strukturelt legeret stål		0,85	1,4							0,2	0,35	0,02	0,2						
Fjederstål		0,2	2	0	18	0	8					0	0,2						
Lejestål		0,18	1,22	0,09	2,05	0	0,51	0	0,6	0	0,35								
Højstrækstål		0,45	1	0,5	1,1		2,8	0,15	0,65										
Rustfrit stål		0,27	1,78	17,01	19,02	6,07	8,17	0,15	0,24										
Kulstofstål		0,3	1,65							0	0,6								
Ståltype		Mængde ton		Legeringsindhold i eksporteret dansk skrot fra maskinindustrien (2017) (ton)															
				Mn		Cr		Ni		Mo		Cu		V		Co		W	
				Lav	Høj	Lav	Høj	Lav	Høj	Lav	Høj	Lav	Høj	Lav	Høj	Lav	Høj	Lav	Høj
Værktøjsstål		496		1	10	2	60	3	9	1	50			1,5	25	25	52	3	89
Strukt. kulstofstål		7.931		0	127														
Strukt. legeret stål		6.940		59	97							14	24	1,4	14				
Fjederstål		991		2	20	0	178	0	79					0	2				
Lejestål		1.983		4	24	2	41	0	10	0	12	0	7						
Højstrækstål		4.957		22	50	25	55	0	139	7	32								
Rustfrit stål		2.974		8	53	506	566	181	243	4	7								
Kulstofstål		72.866		219	1.202							0	437						
Sum		99.138		315	1.583	535	899	184	480	12	101	14	468	3	41	25	52	3	89

10.2.1.4 Skrot fra elektronikindustrien

De seneste to årtiers globalt hurtige teknologiske og økonomiske udvikling har øget produktionen af elektrisk og elektronisk udstyr med voksende mængder udtjente produkter (EoL – End of Life) til følge. Disse kaldes ofte elektronisk affald (e-affald) eller affald af elektrisk og elektronisk udstyr (eng. *WEEE – Waste from Electrical and Electronic Equipment*). WEEE indeholder en række værdifulde materialer, såsom metaller, glas, plast m.fl. I gennemsnit udgør stål dog næsten halvdelen af massen i elektrisk udstyr. I Danmark blev der i 2017 eksporteret 44.384 ton jern- og stålskrot fra e-affald (Tabel 39).

I Figur 45 ses de typiske ståltyper som bruges i elektronikindustrien (Ohno *et al.* 2017). Kulstofstål dominerer stålforbruget i elektrisk og elektronisk udstyr, men der er også en stor mængde rustfrit stål i denne sektor, samt små mængder strukturelt kulstofstål og strukturelt legeret stål.



Figur 45 Fordelingen af stål anvendt i elektronikindustrien (Ohno *et al.* 2017).

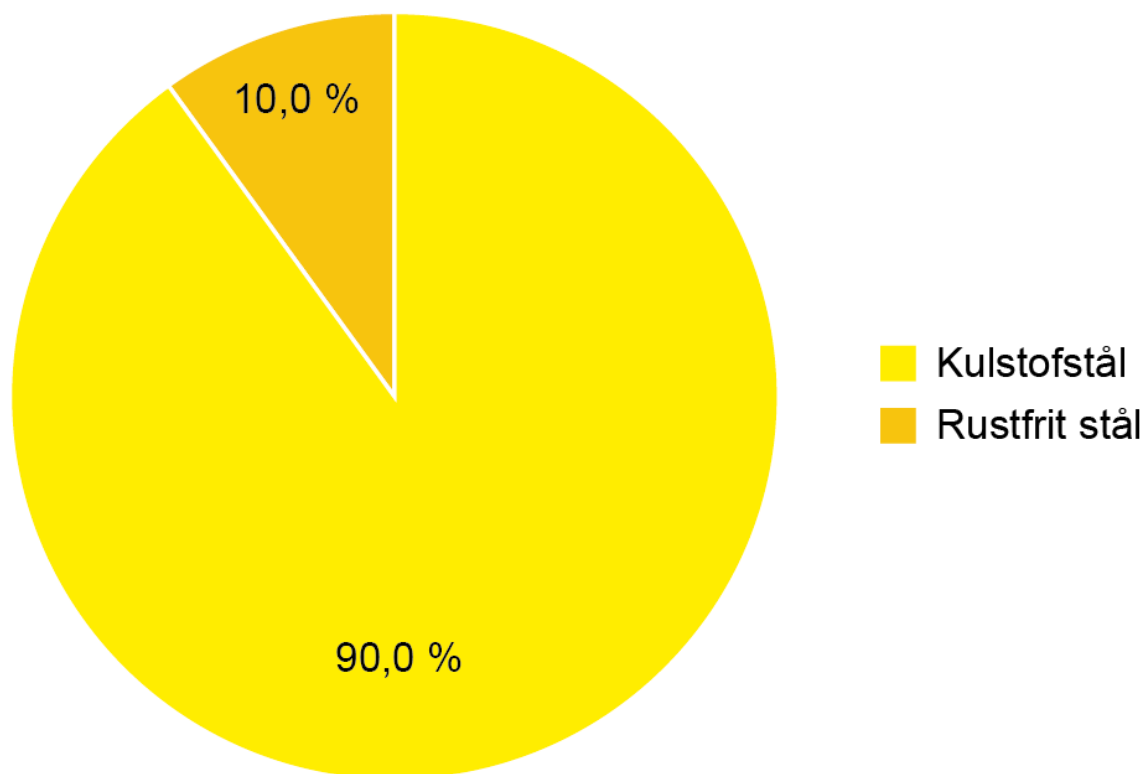
I Tabel 43 ses typisk legeringsindhold for otte metaller for de ståltyper, der anvendes i elektronikindustrien. Under antagelse af at fordelingen mellem de forskellige ståltyper følger de i Figur 45 angivne værdier, ses i Tabel 43 estimer for udvalgte legeringsmetaller, som kan være indeholdt i jern- og stålskrot fra elektronikindustrien, som blev eksporteret fra Danmark i 2017.

Tabel 43 Indholdet af legeringsmetaller i forskellige ståltyper som bruges i elektrisk og elektronisk udstyr, samt estimerede mængder legeringsmetaller der i 2017 blev eksporteret i dansk jern- og stålskrot fra elektronikindustrien (Ohno et al. 2017). Decimalangivelser er baseret på kilder.

Ståltype		Typisk legeringsindhold for forskellige ståltyper indenfor elektronikindustrien (%)																	
		Mn		Cr		Ni		Mo		Cu		V		Co		W			
		Lav	Høj	Lav	Høj	Lav	Høj	Lav	Høj	Lav	Høj	Lav	Høj	Lav	Høj	Lav	Høj		
Værktøjsstål		0,3	2,0	0,4	12	0,6	1,8	0,2	10			0,3	5,1	5	10,5	0,7	18		
Strukt. kulstofstål		0	1,6																
Strukt. legeret stål		0,85	1,4							0,2	0,35	0,02	0,2						
Rustfrit stål		0,27	1,77	17,01	18,98	6,07	7,82	0,15	0,23	0	0,0002								
Kulstofstål		0,3	1,65							0	0,6								
Ståltype		Mængde ton		Legeringsindhold i eksporteret dansk skrot indenfor elektronikindustrien (2017) (ton)															
				Mn		Cr		Ni		Mo		Cu		V		Co		W	
				Lav	Høj	Lav	Høj	Lav	Høj	Lav	Høj	Lav	Høj	Lav	Høj	Lav	Høj	Lav	Høj
Værktøjsstål		133		0	3	1	16	1	2	0,3	13			0,4	7	7	14	1	24
Strukt. kulstofstål		1.110		0	18														
Strukt. legeret stål		666		6	9							1	2	0,1	1				
Rustfrit stål		1.775		5	31	302	337	108	139	3	4	0	0,004						
Kulstofstål		40.700		122	672							0	244						
Sum		44.384		133	733	303	353	109	141	3	17	1	246	0,5	8	7	14	1	24

10.2.1.5 Skrot fra emballageindustrien

Stål er stærkt, formbart og holdbart og bruges derfor til mange forskellige typer af emballage. Stålemballage inkluderer maddåser, drikkedåser, aerosoler osv. Kulstofstål udgør hovedparten af stål i emballage, mens ca. 10 % er rustfrit stål (Figur 46). Kulstofstål bruges i stort omfang til olie- og gasbeholdere på grund af dets tilgængelighed, konstruktionsevne og relativt lave pris, men på grund af lav korrosionsbestandighed overfladebehandles beholderne ofte med maling. Rustfrit stål bruges især i fødevarerindustrien (Dewangan *et al.* 2015). Ståltypene AISI 316 eller 316L anvendes især, hvor der er behov for særligt korrosionsresistent stål; hvor der er mindre krav til korrosionsresistens anvendes især AISI 302 og AISI 304.



Figur 46 Fordelingen af stål anvendt i emballageindustrien (Ohno *et al.* 2017).

I 2017 blev der fra Danmark eksporteret 21.426 ton jern- og stålskrot fra emballageindustrien (Tabel 39). På baggrund af fordelingen mellem rustfrit stål og kulstofstål, samt antagelser om deres legeringsindhold, ses i Tabel 44 estimater for udvalgte legeringsmetaller, som kan være indeholdt i jern- og stålskrot fra emballageindustrien, som blev eksporteret fra Danmark i 2017.

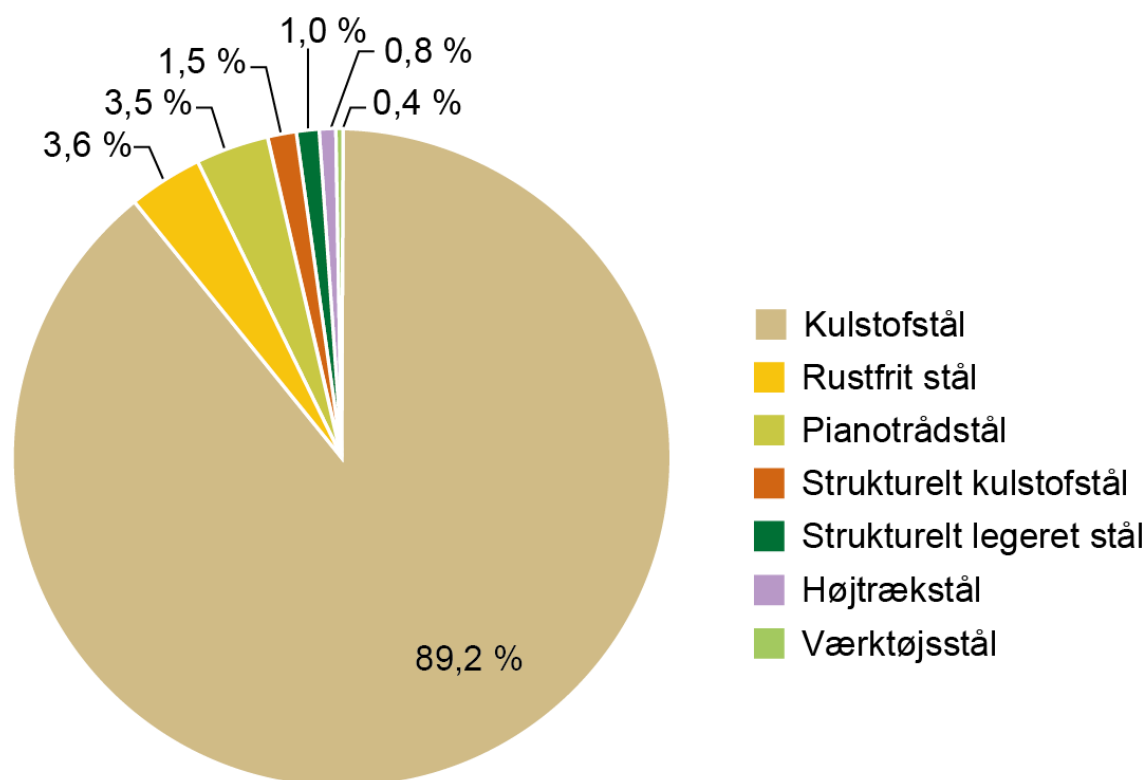
10.2.1.6 Skrot fra øvrige kilder

Udover de fem ovennævnte industrier er der mange andre kilder til skrot af jern og stål, fx husholdning, virksomheder, rensningsanlæg osv. Fra disse kilder udgør kulstofstål omkring 83 %, mens rustfrit stål og pianostål hver udgør lidt under 4 % (Figur 47) (Ohno *et al.* 2017).

Tabel 44 Indholdet af legeringsmetaller i rustfrit stål og kulstofstål i emballage, samt estimerede mængder legeringsmetaller der i 2017 blev eksporteret i dansk jern- og stålskrot fra emballageindustrien (Oldring & Nehring 2007; Ojha et al. 2015). Decimalangivelser er baseret på kilder.

Ståltipe	Typisk legeringsindhold af forskellige ståltyper indenfor emballageindustrien (%)									
	Mn		Cr		Ni		Mo		Cu	
	Lav	Høj	Lav	Høj	Lav	Høj	Lav	Høj	Lav	Høj
Rustfrit stål	0,27	1,77	17,01	18,98	6,07	7,82	0,15	0,23	0	0,0002
Kulstofstål	0,3	1,65							0	0,6

Ståltipe	Mængde ton	Legeringsindhold i eksporteret dansk skrot fra emballage (2017) (ton)									
		Mn		Cr		Ni		Mo		Cu	
		Lav	Høj	Lav	Høj	Lav	Høj	Lav	Høj	Lav	Høj
Rustfrit stål	2.143	6	38	365	407	130	168	3	5	0	0,004
Kulstofstål	19.283	58	318							0	116
Sum	21.426	64	356	365	407	130	168	3	5	0	116



Figur 47 Fordelingen af jern- og ståltyper i kategorien 'øvrige' (Ohno et al. 2017).

I Tabel 45 ses typisk legeringsindhold af de mest almindelige ståltyper i kategorien 'øvrige'. I 2017 blev der fra Danmark eksporteret 484.821 ton jern- og stålskrot fra kategorien 'øvrige' (Tabel 39). Under antagelse af at fordelingen mellem de forskellige ståltyper følger de i Figur 47 angivne værdier, ses i Tabel 45 estimeret for udvalgte legeringsmetaller, som kan være indeholdt i jern- og stålskrot fra kategorien 'øvrige', som blev eksporteret fra Danmark i 2017.

Tabel 45 Indholdet af legeringsmetaller i forskellige ståltyper som findes i kategorien 'øvrige'. Derudover ses estimerede mængder af udvalgte legeringsmetaller der i 2017 blev eksporteret i dansk jern- og stålskrot fra kategorien 'øvrige' (Ohno et al. 2017). Decimalangivelser er baseret på kilder.

Ståltype	Typisk legeringsindhold af forskellige ståltyper indenfor kategorien 'øvrige' (%)															
	Mn		Cr		Ni		Mo		Cu		V		Co		W	
	Lav	Høj	Lav	Høj	Lav	Høj	Lav	Høj	Lav	Høj	Lav	Høj	Lav	Høj	Lav	Høj
Værktøjsstål	0,3	2	0,4	12	0,6	1,8	0,2	10			0,3	5,1	5	10,5	0,7	18
Strukturelt kulstofstål	0	1,6														
Strukturelt legeret stål	0,85	1,4							0,2	0,35	0,02	0,2				
Pianotrådstål	0,3	1,2							0	0,12						
Højtrækstål	0,45	1	0,5	1,1	0	2,8	0,15	0,65								
Rustfrit stål	0,27	1,77	17,01	18,98	6,07	7,82	0,15	0,23	0	0,0002						
Kulstofstål	0,3	1,65							0	0,6						

Ståltype	Mængde ton	Legeringsindhold i eksporteret dansk skrot indenfor kategorien 'øvrige' (ton)															
		Mn		Cr		Ni		Mo		Cu		V		Co		W	
		Lav	Høj	Lav	Høj	Lav	Høj	Lav	Høj	Lav	Høj	Lav	Høj	Lav	Høj	Lav	Høj
Værktøjsstål	1.939	6	39	8	233	12	35	4	194	0	0	6	99	97	204	14	349
Strukturelt kulstofstål	7.272	0	116														
Strukturelt legeret stål	4.848	41	68							10	17	1	10				
Pianotrådstål	16.969	51	204							0	20						
Højtrækstål	3.879	17	39	19	43	0	109	6	25								
Rustfrit stål	17.454	47	309	2.969	3.313	1.059	1.365	25	40	0	0,034						
Kulstofstål	432.461	1.297	7.136							0	2.595						
Sum	484.822	1.459	7.911	2.996	3.589	1.071	1.509	36	259	10	2.632	7	109	97	204	14	349

10.2.1.7 Sammenfatning – legeringsmetaller i jern- og stålskrot

I Tabel 46 ses estimaterne for indholdet af legeringsmetaller i stålskrot eksporteret fra Danmark i 2017 fra de seks største kilder beregnet for henholdsvis lave og høje indhold af metallerne. Der ses en række forskelle mellem beregningerne baseret på data fra Danmarks Statistik (Tabel 32) og på data fra ADS (Tabel 46):

- Estimaterne for indholdet af legeringsmetallerne krom, nikkel, molybdæn, kobber og niobium eksporteret i jern- og stålskrot i 2017 er mindre for ADS-data end for DST-data. Dette kan skyldes, at kun en del af det eksporterede jern- og stålskrot i DST-systemet er registreret i ADS-system, hvilket også er omtalt i afsnit 10.2.1.
- Estimaterne for det maksimale indhold af legeringsmetallerne kobolt og vanadium i det eksporterede jern- og stålskrot giver højere tonnager, når der anvendes ADS-data end DST-data, hvilket kan skyldes, at kun få typer af jern- og stålskrot har tilstrækkeligt højt indhold til at det registreres i DST-systemet, mens det registreres i ADS-systemet.
- Bly er et almindeligt spormetal i stål, men antageligt ikke højt nok til at blive registreret i ADS-systemet.
- Tin og zink er sædvanligvis ikke legeringsmetaller i stål, men anvendes derimod ofte til overfladebeskyttelse og indgår derfor ikke i registreringer af jern- og stålskrot i ADS-systemet og kan derfor ikke estimeres. DST-systemet opererer med en kategori af fortinnet jern- og stålskrot.

Generelt er genvindingsraten for jern og stål høj med rater på (World Steel Association 2020; Steel Recycling Institute 2020):

- Transportindustrien – 95%
- Byggeindustrien – 85 %
- Maskinindustrien – 90 %
- Elektronikindustrien – 50 %
- Emballageindustrien – 70 %
- Øvrige – ca. 60 %

En betydelig del af legeringsmetallerne returneres derfor til genvinding, men der er meget store forskelle på, i hvilket omfang legeringsmetallerne bliver funktionelt genvundet og på omfanget af materialetab i genvindingsprocessen (se afsnit 8.1).

10.2.2 Eksport af legeringsmetaller i aluminiumskrot – ADS-data

Som omtalt i afsnit 7.2 bruges aluminium i en lang række produkter, som indeholder forskellige legeringsmetaller, som eksporteres sammen med det skrottede aluminium. Indenfor de seks kategorier; transportindustrien, byggeindustrien, maskinindustrien, elektronikindustrien, emballageindustrien og kategorien 'øvrige' er aluminiumskrot klassificeret i forhold til de produkter, hvori aluminium blev brugt inden det blev affald.

For at kunne vurdere mængderne af legeringsmetaller der eksporteres i aluminiumskrot ud fra ADS-data beskrives først, de største aftagere af aluminium.

Tabel 46 Total mængde af vigtigste legeringsmetaller i jern- og stålskrot fra de seks største skrotkilder (ton) eksporteret i 2017.

Skrotkilde	Eksport i alt ton	Mn		Cr		Ni		Mo		Cu	
		Lav	Høj	Lav	Høj	Lav	Høj	Lav	Høj	Lav	Høj
Transportindustri	104.741	425	2.052	560	927	153	228	4	139	0	412
Byggeindustri	340.529	1.030	5.556	1.308	1.497	455	777	21	61	0	1.928
Maskinindustri	99.138	315	1.583	535	899	184	480	12	101	14	468
Elektronikindustri	44.384	133	733	303	353	109	141	3	17	1	246
Emballageindustri	21.426	64	356	365	407	130	168	3	5	0	116
Øvrige industrier	484.821	1.459	7.911	2.996	3.589	1.071	1.509	36	259	10	2.632
Sum	1.095.039	3.426	18.190	6.067	7.671	2.101	3.303	79	583	25	5.802

Skrotkilde	Eksport i alt ton	V		Co		W		Nb		Al	
		Lav	Høj	Lav	Høj	Lav	Høj	Lav	Høj	Lav	Høj
Transportindustri	104.741	0	23					10	20	7	463
Byggeindustri	340.529										
Maskinindustri	99.138	3	41	25	52	3	89				
Elektronikindustri	44.384	0,5	8	7	14	1	24				
Emballageindustri	21.426										
Øvrige industrier	484.821	7	109	97	204	14	349				
Sum	1.095.039	10	180	129	270	18	462	10	20	7	463

Transportindustrien: Bilindustrien er det største samlede marked for anvendelse af aluminium og den betydeligste kilde til aluminiumskrot, og som nævnt i 10.2.1.1 udgør aluminium omkring 5 % af en skrottet bils vægt.

Bygge- og konstruktionsindustrien: Det største forbrug af aluminium i byggeindustrien er til tagdækning, facadebeklædning, skillevægge, lofter, vinduer og døre. For de større anvendelsesområder er der meget høj indsamlingsprocent fra nedrivninger; i Europa udgør skrotmængden 92-98 %. Store aluminiumkomponenter nedrives og indsamles og sælges separat som skrot, hvorimod indsamling af mindre bygningsdele afhænger af nedrivningsmetoden.

Maskinindustrien: Hvor det er muligt, bruges aluminium i stort omfang på grund af dets lave vægt, høje holdbarhed, modstand mod korrosion og termisk påvirkning. Komponenter fremstillet i valset aluminium, støbt aluminium og ekstruderet aluminium bruges i vidt omfang.

Elektronikindustrien: Skrot fra elektronikindustri er en kompleks blanding af materialer fra en bred vifte af produkter. Den gennemsnitlige estimerede aluminiumsammensætning i WEEE ca. 4 % (Muchová *et al.* 2011).

Emballageindustrien: Aluminiumemballageaffald, der er en betydelig kilde til skrot, har ofte en omsætningshastighed på under 1 år, da mange produkter indgår i mademballage. Indsamlingsraten for dåser til drikkevarer udgør 80-93 % i en række europæiske lande (Eurostat 2019). Desuden bruges aluminium til containere til olie og gas og til opbevaring af korrosive væsker og kemikalier.

Øvrige: Aluminium bruges også til højspændingstransmissionskabler og i mange dagligdagsprodukter (cykler, legetøj, sportsudstyr mv.). Aluminiumlegeringer bruges også i produkter til rørledninger og borerør til oliesektoren. På grund af aluminiums lave vægt og resistens overfor vejr og virkningerne af hydrogensulfid anvendes aluminiumrør til bygning og drift af brønde, som alternativ til de dyrere kobberør.

I Tabel 47 ses den samlede skrotmængde fra de seks største kilder til aluminiumskrot i 2017 baseret på data fra ADS, samt indhentede ekspertvurderinger.

De aluminiumlegeringer der bruges i de fem industrier og kategorien 'øvrige' er forholdsvis specifikke for den enkelte industri; typiske legeringssammensætninger ses i Tabel 48. Estimerer for mængderne af de vigtigste legeringsmetaller i aluminiumskrot, som blev eksporteret i 2017, er udarbejdet under antagelse af, at legeringer i skrottet afspejler disse sammensætninger (Tabel 48).

Estimaterne baseret på ADS-data i Tabel 48 adskiller sig fra estimerne baseret på DST-data (Tabel 36) på følgende punkter:

- Mængden af legeringsmetallerne jern, mangan, krom og titan estimeret på baggrund af ADS-data er betydeligt mindre end estimerne på baggrund af DST-data. Dette kan skyldes, at legeringsmetallerne er beregnet som et gennemsnit af alle typer af aluminiumskrot, men at der reelt er store forskelle mellem de enkelte skrottyper indhold.

Tabel 47 Estimerede skrotmængder fra de seks største aluminiumskrotkilder eksporteret fra Danmark i 2017, baseret på Affaldsstatistik 2017 – Rådata (Miljøstyrelsen 2019c). Den samlede eksport af aluminiumskrot er beregnet til 65.605 ton.

Skrotkilder	EAK-kode	Master-data ton	Konverter-indeks**	Konverter-data** ton	Bemærkninger	Genanven-delse*** ton	Forhold	Eksport ton
Transportindustrien	16 01 04 Udtjente køretøjer	12.821	0,04	3.358	I 2017 var den samlede mængde bilsrot i Danmark 134.311 ton (Miljøstyrelsen 2019b), hvoraf det antages at 3,5 % er aluminium (Singh 2016); 134.311 x 3,5 % = 4.701 ton	4.701	0,08	5.304
	16 01 06 Udtjente køretøjer, som hverken indeholder væsker eller andre farlige dele	88.850						
	16 01 16 Tanke til flydende gas	0						
Byggeindustrien	17 04 02 Aluminium	15.405	1	15.405		17.380	0,30	19.610
	17 04 07 Blandet metal	39.498	0,05	1.975	5 % er aluminium*			
Maskinindustrien	02 01 10 Metalaffald	56.460	0,05	2.823	5 % er aluminium*	5.431	0,09	6.128
	12 01 03 Filspåner og drejespåner af ikke-jernmetal	3.093	0,7	2.165	70 % er aluminium*			
	12 01 04 Metalstøv og -partikler af ikke-jernmetal	164	0,7	115	70 % er aluminium*			
	12 01 17 Affald fra sandblæsning, bortset fra affald henhørende under 12 01 16	6.340	0,04	254	4 % er aluminium, vurderet på basis af Buruiana <i>et al.</i> (2011) og Borucka-Lipska <i>et al.</i> (2019)			
	12 01 21 Brugte slibeemner og slibematerialer, bortset fra affald henhørende under 12 01 20	32	0,055	2	5,5 % er aluminium, vurderet på basis af European Commission (2006)			
12 01 99 Andet affald, ikke andetsteds specificeret	7.316	0,01	73	1 % er aluminium, vurderet på basis af Brooks (1985), Twidwell <i>et al.</i> (1986, 1993) og European Commission (2006)				

fortsættes næste side ...

... fortsat fra forrige side

Elektronikindustrien	16 02 10 Kasseret udstyr, som indeholder eller er forurenet med PCB, bortset fra affald henhørende under 16 02 09	192	0,04	3.200	Det samlede elektronikaffald i 2017 var 80.000 ton (Miljøstyrelsen 2019b), hvoraf ca. 4 % er aluminium (Muchová <i>et al.</i> 2011); 80.000 x 4 % = 3.200 ton	3.200	0,06	3.611
	16 02 11 Kasseret udstyr indeholdende chlorfluorcarboner, HCFC eller HFC	6.523						
	16 02 13 Kasseret udstyr, som indeholder farlige dele 2), bortset fra affald henhørende under 16 02 09 - 16 02 12	3.526						
	16 02 14 Kasseret udstyr, bortset fra affald henhørende under 16 02 09 - 16 02 13	18.249						
	16 02 16 Dele fjernet fra kasseret udstyr, bortset fra affald henhørende under 16 02 15	768						
	17 04 11 Kabler, bortset fra affald henhørende under 17 04 10	7.119						
	20 01 23 Kasseret udstyr indeholdende chlorfluorcarboner	2.747						
	20 01 35 Kasseret elektrisk og elektronisk udstyr, bortset fra affald henhørende under 20 01 21	20.145						
	20 01 36 Kasseret elektrisk og elektronisk udstyr, bortset fra affald henhørende under 20 01 21, 20 01 23 og 20 01 35	17.329						
Emballageindustrien	15 01 04 Metalemballage	25.107	0,25	6.277	25 % er aluminium (Jakobsen 2011)	6.411	0,11	7.233
	15 01 05 Kompositemballage	10	0,015	0,2	1,5 % er aluminium (Eurostat 2019)			
	15 01 06 Blandet emballage	8.927	0,015	134	1,5 % er aluminium (Eurostat 2019)			

fortsættes næste side ...

... fortsat fra forrige side

Øvrige	19 01 12 Bundaske og slagge, bortset fra affald henhørende under 19 01 13	1.640	0,016	26	1,6 % er aluminium, vurderet på basis af Biganzoli <i>et al.</i> (2014) og Kahle <i>et al.</i> (2015)	21.021	0,36	23.718
	19 10 02 Ikke-jernmetal	134	0,7	94	70 % er aluminium*			
	19 10 06 Andre fraktioner, bortset fra affald henhørende under 19 10 05	0	0,023	0	0,23 % er aluminium, vurderet på basis af Boldrin <i>et al.</i> (2015)			
	19 12 03 Ikke-jernmetal affald fra mekanisk behandling af affald	4.567	0,7	3.197	70 % er aluminium*			
	19 12 11 Andet affald (herunder blandinger af materialer) fra mekanisk behandling af affald indeholdende farlige stoffer	6	0,0085	0	0,0085 % er aluminium, vurderet på basis af Velenturf <i>et al.</i> (2018)			
	19 12 12 Andet affald (herunder blandinger af materialer) fra mekanisk behandling af affald, bortset fra affald henhørende under 19 12 11	22.614	0,002	45	4 % er metal og 5 % af metallet er aluminium, vurderet på basis af Visvanathan <i>et al.</i> (2006) og Velenturf <i>et al.</i> (2018)			
	20 01 40 Metaller	338.597	0,05	16.930	5 % er aluminium*			
	20 03 07 Storskrald	29.163	0,025	729	50 % er metal*, og 5 % af metallet er aluminium			

* Procentsatsen er baseret på ekspertvurdering fra interviews blandt større danske skrothandlere, da der ikke er fundet brugbare publicerede data (se afsnit 4.2.2).

** Ikke alt affald under de enkelte EAK-koder er jern- og stålskrot, da det kan være blandet med plast, træ og andre materialer. Konverter-data og konverter-indeks bruges derfor til at estimere, hvor store mængder af det oprindelige affald, der er jern- og stålskrot.

*** Den samlede genanvendelse af aluminiumskrot i 2017 var 58.144 ton.

Tabel 48 Indholdet af de vigtigste legeringsmetaller i aluminiumlegeringer, samt estimerede mængder legeringsmetaller der i 2017 blev eksporteret i dansk aluminiumskrot fra de seks hovedkilder (Capuzzi & Timelli 2018; Bell et al. 2003, Boin & Bertram 2005; Davis 2001; Gesing & Wolanski 2001, Hatayama et al. 2007). Decimalangivelser er baseret på kilder.

Skrotkilde	Typisk legeringsindhold i aluminiumlegeringer for forskellige industrier (%)									
	Fe		Cu		Mn		Mg		Cr	
	Lav	Høj	Lav	Høj	Lav	Høj	Lav	Høj	Lav	Høj
Transportindustri	0,1	0,7	0,05	0,9	0,05	1	0,05	2	0,1	0,25
Byggeindustri	0,008	0,7	0,05	0,4	0,1	0,8	0,2	0,8	0	0,35
Maskinindustri	0,1	1,2	0,05	6,8	0,1	1,2	0,02	1,8	0	0,1
Elektronikindustri	0,008	2	0,02	1,6	0,01	1	0,02	0,8	0	0,35
Emballageindustri	0,3	2	0,05	1	0,03	1,5	0,01	5	0,03	0,1
Øvrige industrier	0,3	0,7	0,5	1	0,5	0,6	1,2	1,5	0,002	0,1

Skrotkilde	Eksport i alt ton	Legeringsindhold i eksporteret aluminiumskrot indenfor forskellige industrier (2017) (ton)									
		Fe		Cu		Mn		Mg		Cr	
		Lav	Høj	Lav	Høj	Lav	Høj	Lav	Høj	Lav	Høj
Transportindustri	5.304	5	37	3	48	3	53	3	106	5	13
Byggeindustri	19.610	2	137	10	78	20	157	39	157	0	69
Maskinindustri	6.128	6	74	3	417	6	74	1	110	0	6
Elektronikindustri	3.611	0,3	72	1	58	0,4	36	1	29	0	13
Emballageindustri	7.233	22	145	4	72	2	108	1	362	2	7
Øvrige industrier	23.719	71	166	119	237	119	142	285	356	0,5	24
Sum	65.605	106	631	140	910	150	570	330	1.120	8	132

fortsættes næste side ...

... fortsat fra forrige side

Skrotkilde		Typisk legeringsindhold i aluminiumlegeringer for forskellige industrier (%)										
		Ni		Zn		Ti		Ga		V		
		Lav	Høj	Lav	Høj	Lav	Høj	Lav	Høj	Lav	Høj	
Transportindustri				0,2	6,5	0	0,2	0	0,03	0	0,05	
Byggeindustri				0	0,4	0	0,15					
Maskinindustri		0,1	1,4	0,06	0,9	0	0,2			0,05	0,15	
Elektronikindustri		0	0,03	0,006	1	0,006	0,2	0	0,03	0	0,05	
Emballageindustri				0,05	0,25	0,006	0,2	0	0,05	0	0,05	
Øvrige industrier		0	0,1	0,6	0,8	0	0,1	0	0,042	0	0,042	
Skrotkilde		Eksport i alt ton	Legeringsindhold i eksporteret aluminiumskrot indenfor forskellige industrier (2017) (ton)									
			Ni		Zn		Ti		Ga		V	
			Lav	Høj	Lav	Høj	Lav	Høj	Lav	Høj	Lav	Høj
Transportindustri		5.304			11	345		11	0	2	0	3
Byggeindustri		19.610				78		29				
Maskinindustri		6.128	6	86	4	55		12			3	9
Elektronikindustri		3.611	0	1	0,2	36	0,2	7	0	1	0	2
Emballageindustri		7.233			4	18	0,4	14	0	4	0	4
Øvrige industrier		23.719	0	24	142	190		24	0	10	0	10
Sum		65.605	6	111	161	722	1	97	0	17	3	28

- Generelt kommer der store mængder aluminiumskrot, fra byggeindustrien og emballageindustrien, og der kan derfor være en ikke-identificeret fejlkilde ved estimering baseret på DST-data.
- Da bly, tin og bismut normalt ikke tilsættes i aluminiumslegeringer, skyldes fundet af disse legeringsmetaller i aluminiumskrot-data fra DST sandsynligvis, at det stammer fra utilstrækkeligt sorterede skrotfraktioner. Værdierne i Tabel 34 anses dog som uventet høje.

10.2.3 Eksport af legeringsmetaller i kobberskrot – ADS-data

Kobber anvendes især i infrastruktur- (elektricitetsnet, telekommunikation), byggeri- (vand-, varme- og elforsyning) og transportindustrien (især relateret til elektricitet, dvs. biler, jernbaner, skibe, fly). De vigtigste kilder til kobberskrot beskrives kort nedenfor.

Transportindustrien: Kobber indgår i mange forskellige komponenter i moderne transportmidler, men høje kobberpriser gør at kobber erstattes af billigere og lettere materialer, hvis det er muligt. Biler og lastbiler indeholder omkring 1,5 % kobber (Lipowsky & Arpaci 2007). I biler anvendes kobber til mange forskellige formål, hvor de vigtigste legeringsmetaller er zink, nikkel, tin og aluminium; desuden anvendes små mængder bly, krom og jern i specielle legeringer.

Byggeindustrien: Kobber anvendes især til VVS-udstyr, tagdækninger og vinduesrammer. Derudover bruges kobberlegeringer i form af messing og bronze, hvor zink, nikkel og bly udgør de vigtigste legeringsmetaller. Det gennemsnitlige metalindhold i byggeri og nedrivningsaffald i Vesteuropa er estimeret til omkring 3,5 %, hvoraf kobber og kobberlegering udgør ca. 0,3 % (International Copper Study Group 2005). Af de seks store skrotkilder som undersøges i denne rapport, er byggeindustrien den største industri indenfor EU med hensyn til brug af kobber og udgjorde i 2009 omkring 40 % af det samlede EU-forbrug og er derfor en vigtig kilde for kobberskrot.

Maskinindustrien: Kobberlegeringer har stor holdbarhed, varmeledningsegenskaber, korrosionsbestandighed, styrke, og da kobber kan støbes og forarbejdes meget præcist, finder det bred anvendelse i denne sektor.

Elektronikindustrien (inkl. kabler og andet til kommunikation): På grund af kobbers høje elektriske ledningsevne og korrosionsbestandighed anvendes kobber i strømkabler til næsten alle formål, hvor der overvejende anvendes ikke-legeret kobber, men til andre formål er legeringssammensætningen afstemt i forhold til formålet. Kobber er også et vigtigt metal i elektronik- og kommunikationsudstyr, hvor de vigtigste legeringsmetaller er zink, tin og nikkel, og kobber er derfor et af de væsentligste metaller i WEEE, hvor det udgør ca. 7 % af massen (Deetman *et al.* 2018).

Øvrige: Kobber er et let støbt uædelt metal, der ofte tilsættes til ædle metaller for at forbedre deres elasticitet, fleksibilitet, hårdhed, farve og modstandsdygtighed over for korrosion. Blandt andet føjes det ofte til ædle metaller til smykkefremstilling. Det har også været et af de metaller, der sammen med sølv og guld er blevet brugt til fremstilling af mønter.

I Tabel 49 ses den samlede skrotmængde for de seks største kilder til kobberskrot, transport-, bygge-, maskin- og elektronikindustrien samt kategorien 'øvrige', baseret på data fra ADS, samt indhentede ekspertvurderinger. Den samlede mængde kobberskrot eksporteret i 2017 er på baggrund af ADS-data estimeret til 25.597 ton, hvilket svarer til den samlede eksport, der er opgjort ved at bruge Danmarks Statistiks internationale varehandel (Tabel 37).

I Danmark udgjorde skrot fra byggeindustrien den største mængde kobberskrot (6.457 ton i 2017), svarende til 25 % af den samlede eksport af kobberskrot, efterfulgt af skrot fra elektronikindustrien, der stod for ca. 23 % af det eksporterede kobberskrot (Tabel 49). I alt blev der fra kategorien 'øvrige' eksporteret ca. 34 % af den samlede mængde kobberskrot i 2017.

De typiske legeringssammensætninger for de kobberlegeringer der anvendes i de enkelte industrityper ses i Tabel 50. Under antagelse af at skrottet afspejler disse legeringer, er mængderne af de vigtigste legeringsmetaller, som blev eksporteret i kobberskrot fra Danmark i 2017, estimeret (Tabel 50).

10.3 Sammenligning af resultater fra DST- og ADS-data

De estimerede tonnager af legeringsmetaller i de tre eksporterede skrottyper: jern og stål, aluminium og kobber, baseret på data fra DST og ADS, er opsummeret i Tabel 51.

Som det ses af Tabel 51 var den estimerede eksport i 2017 af legeringsmetallerne krom og zink for alle tre skrottyper >10.000 ton ved brug af DST-data, men ved brug af ADS-data var eksporten af de to metaller på henholdsvis 8.025 og 7.469 ton, dvs. <10.000. Ved brug af ADS-data var det kun legeringsmetallet mangan, hvor den samlede eksport for de tre skrottyper var >10.000 ton. For legeringsmetallerne nikkel, kobber, mangan, magnesium, tin, bly, molybdæn, aluminium og jern var den estimerede eksport for hver af dem mellem 1.000 og 10.000 ton baseret på DST-data. Af disse var eksporten af mangan som nævnt >10.000 ton, eksporten af krom og zink lå ligeledes mellem 1.000 og 10.000 ton, mens eksporten af molybdæn var <1.000 ton baseret på ADS-data. For bismut, titan, kobolt, vanadium, niobium, wolfram og gallium er eksporten, baseret på data fra begge kilder, estimeret til at være <1.000 ton for alle tre skrottyper. Det skal bemærkes, at estimererne er behæftet med stor usikkerhed, og tallene derfor primært er retningsgivende.

Estimererne for mængderne af legeringsmetallerne aluminium, bly, krom, jern, kobolt og zink, i det eksporterede kobberskrot, som er fremkommet ved brug af data fra ADS (Tabel 50) er nogenlunde på samme niveau, som de estimerer der fremkom ved brug af data fra DST (Tabel 36).

Tabel 49 Estimerede skrotmængder fra de fem største kobberskrotkilder eksporteret fra Danmark i 2017, baseret på Affaldsstatistik 2017 – Rådata (Miljøstyrelsen 2019c). Den samlede eksport af kobberskrot er beregnet til 25.597 ton.

Skrotkilder	EAK-kode	Master-data ton	Konverter-indeks**	Konverter-data** ton	Bemærkninger	Genanvendelse*** ton	Forhold	Eksport ton
Transportindustrien	16 01 04 Udtjente køretøjer	12.821	0,015	2.015	I 2017 var den samlede mængde bilskrot i Danmark 134.311 ton (Miljøstyrelsen 2019b), hvoraf det antages at 3,5 % er aluminium (Singh 2016); 134.311 x 1,5 % = 2.015 ton	2.015	0,08	2.141
	16 01 06 Udtjente køretøjer, som hverken indeholder væsker eller andre farlige dele	88.850						
	16 01 16 Tanke til flydende gas	-						
Byggeindustrien	17 04 01 kobber	5.286	1	5.286		6.076	0,25	6.457
	17 04 07 Blandet metal	39.498	0,02	790	2 % er kobber*			
Maskinindustrien	02 01 10 Metallaftald	56.460	0,02	1.129	2 % er kobber*	2.137	0,09	2.271
	12 01 03 Filspåner og drejespåner af ikke-jernmetal	3.093	0,25	773	25 % er kobber*			
	12 01 04 Metalstøv og -partikler af ikke-jernmetal	164	0,25	41	25 % er kobber*			
	12 01 17 Affald fra sandblæsning, bortset fra affald henhørende under 12 01 16	6.340	0,0005	3	0,05 % er kobber, vurderet på basis af Buruiana <i>et al.</i> (2011) og Borucka-Lipska <i>et al.</i> (2019)			
	12 01 21 Brugte slibeemner og slibematerialer, bortset fra affald henhørende under 12 01 20	32	0,01	0,4	1,1 % er kobber, vurderet på basis af European Commission (2006)			
	12 01 99 Andet affald, ikke andetsteds specificeret	7.316	0,026	190	2,6 % er kobber, vurderet på basis af Brooks (1985), Twidwell <i>et al.</i> (1986, 1993) og European Commission (2006)			

fortsættes næste side ...

... fortsat fra forrige side

Elektronikindustrien	16 02 10 Kasseret udstyr, som indeholder eller er forurenet med PCB, bortset fra affald henhørende under 16 02 09	192	0,07	5.600	Det samlede elektronikaffald i 2017 var 80.000 ton (Miljøstyrelsen 2019b), hvoraf ca. 7 % er kobber (Muchová <i>et al.</i> 2011); 80.000 x 7 % = 5.600 ton	5.600	0,23	5.951
	16 02 11 Kasseret udstyr indeholdende chlorfluorcarboner, HCFC eller HFC	6.523						
	16 02 13 Kasseret udstyr, som indeholder farlige dele 2), bortset fra affald henhørende under 16 02 09 – 16 02 12	3.526						
	16 02 14 Kasseret udstyr, bortset fra affald henhørende under 16 02 09 – 16 02 13	18.249						
	16 02 16 Dele fjernet fra kasseret udstyr, bortset fra affald henhørende under 16 02 15	768						
	17 04 11 Kabler, bortset fra affald henhørende under 17 04 10	7.119						
	20 01 23 Kasseret udstyr indeholdende chlorfluorcarboner	2.747						
	20 01 35 Kasseret elektrisk og elektronisk udstyr, bortset fra affald henhørende under 20 01 21	20.145						
	20 01 36 Kasseret elektrisk og elektronisk udstyr, bortset fra affald henhørende under 20 01 21, 20 01 23 og 20 01 35	17.329						

fortsættes næste side ...

... fortsat fra forrige side

Øvrige	19 01 12 Bundaske og slagge, bortset fra affald henhørende under 19 01 11	1.640	0,0022	4	0,22 % er kobber, vurderet på basis af Kahle <i>et al.</i> (2015)	8.262	0,34	8.777
	19 10 02 Ikke-jernmetal	134	0,25	34	25 % er kobber*			
	19 10 06 Andre fraktioner, bortset fra affald henhørende under 19 10 05	0	0,01	0	1 % er kobber, vurderet på basis af Environmental Project No. 1568 (Miljøstyrelsen 2014), Environmental Project No. 1441 (Miljøstyrelsen 2012) og Ahmed <i>et al.</i> (2014)			
	19 12 03 Ikke-jernmetal affald fra mekanisk behandling af affald	4.567	0,25	1.142	25 % er kobber*			
	19 12 11 Andet affald (herunder blandinger af materialer) fra mekanisk behandling af affald indeholdende farlige stoffer	6	0	0	0,0034 % er kobber, vurderet på basis af Velenturf <i>et al.</i> (2018)			
	19 12 12 Andet affald (herunder blandinger af materialer) fra mekanisk behandling af affald, bortset fra affald henhørende under 19 12 11	22.614	0,0008	18	4 % er metal og 2 % af metallet er kobber, vurderet på basis af Visvanathan <i>et al.</i> (2006) og Velenturf <i>et al.</i> (2018)			
	20 01 40 Metaller	338.597	0,02	6.772	2 % er kobber*			
	20 03 07 Storskrald	29.163	0,01	292	50 % er metal, og 2 % af metallet er kobber			

* Procentsatsen er baseret på ekspertvurdering fra interviews blandt større danske skrothandlere, da der ikke er fundet brugbare publicerede data (se afsnit 4.2.2).

** Ikke alt affald under de enkelte EAK-koder er jern- og stålskrot, da det kan være blandet med plast, træ og andre materialer. Konverter-data og konverter-indeks bruges derfor til at estimere, hvor store mængder af det oprindelige affald, der er jern- og stålskrot.

*** Den samlede genanvendelse af aluminiumskrot i 2017 var 24.090 ton.

Tabel 50 Indholdet af de vigtigste legeringsmetaller i kobberlegeringer fra de fem største hovedkilder, samt estimerede mængder af legeringsmetaller der i 2017 blev eksporteret i dansk kobberskrot fra de fem hovedkilder (International Copper Study Group 2005, 2014; Muchová et al. 2011; Abu Bakar & Rahimi-fard 2009; Michel 2013). Decimalangivelser er baseret på kilder.

Skrotkilde		Typisk legeringsindhold i kobberlegeringer for forskellige sektorer (%)											
		Zn		Sn		Ni		Al		Pb		Cr	
		Lav	Høj	Lav	Høj	Lav	Høj	Lav	Høj	Lav	Høj	Lav	Høj
Transportindustri		1	42	0	7,5	0	1	0	0,1	0	8	0,5	1,2
Byggeindustri		3,5	40	0	11	0	1	0	7,5	0	3		
Maskinindustri		3,5	30	1,5	12	0,5	5,5	0,005	7,5	0,03	27	0,01	0,05
Elektronikindustri		0	7,5	0	6,5	0	3	0	0,1	0	5,5		
Emballageindustri		0,3	25	0,03	5,5	0,1	32	0,02	6,5	0,03	11		
Skrotkilde		Typisk legeringsindhold i kobberlegeringer for forskellige sektorer (ton)											
		Zn		Sn		Ni		Al		Pb		Cr	
		Lav	Høj	Lav	Høj	Lav	Høj	Lav	Høj	Lav	Høj	Lav	Høj
Transportindustri	2.141	21	899	0	161	0	21	0	2	0	171	11	26
Byggeindustri	6.457	226	2.583	0	710	0	65	0	484	0	194		
Maskinindustri	2.271	79	681	34	273	11	125	0,1	170	0,7	613	0,2	1
Elektronikindustri	5.951	0	446	0	387	0	179	0	6	0	327		
Emballageindustri	8.777	26	2.194	3	483	9	2.809	2	571	2,6	965		
Sum	25.597	352	6.803	37	2.014	20	3.199	2	1.246	3	2.270	11	27

fortsættes næste side ...

... fortsat fra forrige side

Skrotkilde		Typisk legeringsindhold i kobberlegeringer for forskellige sektorer (%)										
		Fe		Co		Mn		Nb		Mg		
		Lav	Høj	Lav	Høj	Lav	Høj	Lav	Høj	Lav	Høj	
Transportindustri		0,05	0,2	0,03	2,8							
Byggeindustri		0	4			0	5					
Maskinindustri		0	4	0	0,005	0	5					
Elektronikindustri		0	0,3									
Emballageindustri		0,05	2,5	0	0,1	0,05	0,25	0	1,5	0	0,15	
Skrotkilde		Eksport i alt ton	Legeringsindhold i eksporteret kobberskrot indenfor forskellige sektorer (2017) (ton)									
			Fe		Co		Mn		Nb		Mg	
			Lav	Høj	Lav	Høj	Lav	Høj	Lav	Høj	Lav	Høj
Transportindustri		2.141	1	4	0,6	60						
Byggeindustri		6.457	0	258			0	323				
Maskinindustri		2.271	0	91	0	0,1	0	114				
Elektronikindustri		5.951	0	18								
Emballageindustri		8.777	4	219	0	9	4	22	0	132	0	13
Sum		25.597	5	590	1	69	4	459	0	132	0	13

Som det også ses af Tabel 51, er der generelt overensstemmelse mellem de estimer, der er fremkommet ved brug af DST-data og ADS-data. Dog fremgår det, at de estimerede tonnage af krom og nikkel, som overvejende findes som legeringsmetaller i rustfrit stål, er betydeligt højere i estimer baseret på DST-data end på data fra ADS. Dette kan skyldes, at kun en del af det eksporterede jern- og stålskrot i DST-systemet er registreret i ADS-systemet. Legeringsmetallerne krom og nikkel findes hovedsageligt i rustfrit stål og DST-systemet har to specifikke kategorier for rustfrit stålskrot, i modsætning til ADS-systemet som kategoriserer skrot i forhold til slutbruger-sektorerne og ikke har en speciel kategori for rustfrit stål. Det kan derfor antages, at estimeringen af krom- og nikkelindholdet, baseret på DST-data, er tæt på den reelle eksport. Mængderne af rustfrit stål, som bruges i de enkelte industrier, er estimeret på basis af en japansk undersøgelse, Ohno *et al.* (2017), og da der er forskel på de økonomiske strukturer i Danmark og Japan, kan de estimerede mængder af krom og nikkel, baseret på ADS-data være underestimerede.

Af Tabel 51 fremgår det ydermere, at der er store forskelle for de estimerede mængder af nikkel og tin i kobberskrot. Indholdet af både nikkel og tin kan i visse kobberlegeringer være meget højt, men der mangler desværre data for at kunne forklare årsagerne til de store forskelle.

I enkelte tilfælde er mængden af legeringsmetaller tilgængelig i DST-systemet, men ikke i ADS-systemet. For eksempel er der, baseret på DST-data, mellem 9 og 181 ton bly i aluminiumskrot, men der er ingen oplysninger om dette i ADS-systemet. Årsagen kan skyldes, at skrotsammensætningen anvendt i DST-systemet, stammer fra begrænset information fra litteraturen, mens sammensætningen i beregninger fra ADS-data estimeres ud fra sammensætningen af det tilsvarende slutprodukt. Slutprodukter kan forurenes under brug, men disse oplysninger mangler muligvis i ADS-systemet.

10.3.1 Vurderinger af usikkerhed for estimer af eksporterede metalstrømme

Usikkerhedsfaktorer for de estimerede metalstrømme af dansk eksport af jern- og metalskrot omfatter en række forhold, som gennemgås i det følgende.

Kvalitetssikring af Danmarks Statistik

Usikkerheden af data fra Danmarks Statistik er især knyttet til følgende forhold:

- Indberetninger kan være fejlbehæftede, da det kan være vanskeligt for virksomhederne at indberette korrekt og ensartet.
- Det er usikkert i hvilket omfang al eksport af dansk jern- og metalskrot er indberettet.
- Det er kun en lille del af eksporten, for hvilken indholdet af metaller er velbestemt; dette gælder især for skrotfraktioner af aluminium og kobber.

Tabel 51 Estimeret total mængde legeringsmetaller i eksporteret skrot baseret på data fra DST og ADS. Data fra Tabel 32, Tabel 34, Tabel 36, Tabel 46, Tabel 48 og Tabel 50. Rød – samlet eksport af legeringsmetaller i dansk skrot i 2017 >10.000 ton; orange – samlet eksport af legeringsmetaller i dansk skrot i 2017 <10.000 ton og >1.000 ton; gul – samlet eksport af legeringsmetaller i dansk skrot i 2017 <1.000 og >100 ton; grøn – samlet eksport af legeringsmetaller i dansk skrot i 2017 <100 ton.

Legeringsindhold i skrot fra	Datakilde	Sum	Cr	Zn	Ni	Cu	Mn	Mg	Sn	Pb	Mo	Al	Fe	Bi	Ti	Co	V	Nb	W	Ga
			ton	ton	ton	ton	ton	ton	ton	ton	ton	ton	ton	ton	ton	ton	ton	ton	ton	ton
Jern og stål	DST	31.413	13.883	549	6.609	4.296	4.028		354	129	1.384	49			1	32	68	31		
Aluminium	DST	18.232	272	5.896	272	3.175	1.179	5.443	272	181			1.089	272	181					
Kobber	DST	11.064		5.394	597		128		1.800	1.653		1.298	143	0		51				
Sum	DST	60.709	14.155	11.839	7.478	7.471	5.335	5.443	2.426	1.963	1.384	1.347	1.232	272	182	83	68	31		
Legeringsindhold i skrot fra	Datakilde	Sum	Cr	Zn	Ni	Cu	Mn	Mg	Sn	Pb	Mo	Al	Fe	Bi	Ti	Co	V	Nb	W	Ga
			ton	ton	ton	ton	ton	ton	ton	ton	ton	ton	ton	ton	ton	ton	ton	ton	ton	ton
Jern og stål	ADS	36.946	7.671		3.303	5.802	18.190				583	463				270	180	20	462	
Aluminium	ADS	4.338	132	722	111	910	570	1.120					631		97		28			17
Kobber	ADS	16.809	27	6.803	3.199		459	13	2.014	2.270		1.233	590			69		132		
Sum	ADS	58.093	7.830	7.525	6.613	6.712	19.219	1.133	2.014	2.270	583	1.696	1.221		97	339	208	150	462	17

Kvalitetssikring af Affaldsdatasystemet

Usikkerheden af data fra Affaldsdatasystemet knytter sig til især til følgende forhold:

- Der er ikke sikkerhed for ensartet indberetning til ADS, ligesom der er uklarhed om, hvorvidt alle virksomheder indberetter ensartet. Problemet er omtalt i afsnit 5.2.4.
- Der er forskelle i frekvenserne på indberetninger til DST og ADS; data indberettes månedligt til DST og årligt til ADS. Egentlige sammenligninger kan derfor kun opgøres én gang om året.
- Der er ikke information om andelen af jern- og stålskrot, aluminiumskrot og kobberskrot i forskellige kilder, dog med undtagelse af den del, der kommer fra byggeindustrien.
- ADS-systemet registrerer de miljøskadelige grundstoffer i det eksporterede skrot; af denne årsag er eksportvolumen større når den beregnes på grundlag af DST-data.
- Data beskriver slutproduktet, men ikke skrottets indhold af metaller.

Kvalitetssikring af litteratur

- De fleste litteraturbaserede data beskriver forhold i EU, Japan eller USA; forholdene for dansk skrot kan afvige fra disse kilder.
- Litteraturdata kan i sig selv være usikkert bestemt.

Kvalitetssikring af interviews og estimeringer af eksperter

- Hvor der ikke har været tilgængelige offentlige data, er estimerne baseret på ekspertvurdering fra interviews blandt større danske skrothandlere. Disse skøn er nøjagtige for den pågældende virksomhed, men ikke nødvendigvis på et mere generelt plan.

Samlet set har estimerne store usikkerheder, og de enkelte værdier skal ikke tillægges stor vægt; derimod angiver estimer størrelsesordener for vigtige metalstrømme i den danske eksport af jern- og stålskrot.

11. Diskussion: Muligheder for bedre genvinding af legeringsmetaller fra jern- og metalkrot

Danmark eksporterer årligt store mængder jern- og metalkrot. Omfanget af eksporten kan opgøres både på grundlag af data fra Danmarks Statistik og fra Affaldsdatasystemet (Tabel 37).

Hovedmetaller indberettes til DST og denne del af eksporten er således velbestemt. Men indholdet af legeringsmetaller i skrot indberettes ikke særskilt, og der er dermed ikke data for eksporten af de enkelte metaller, ligesom der ikke er viden om i hvilket omfang legeringsmetallerne bliver genanvendt, eller hvorvidt legeringsmetallerne genvindes funktionelt.

Tonnager af de mest betydende legeringsmetaller, som er indeholdt i dansk eksport af jern- og metalkrot er estimeret i kapitel 10 ved brug af to forskellige metoder. Det samlede billede er, at mange skrottyper har højt indhold af legeringsmetaller, og at der derfor eksporteres betydelige mængder legeringsmetaller, hvoraf hovedparten ikke registreres. De to anvendte metoder viser samstemmende, at for skroteksporten i 2017 var mere end halvdelen af legeringsmetallerne knyttet til jern- og stålskrot; henholdsvis 52 % beregnet ud fra DST-data og 64% ved brug af ADS-data, Tabel 52.

Tabel 52 *Estimerede mængder legeringsmetaller eksporteret fra Danmark i jern- og stålskrot, aluminiumskrot og kobberskrot i 2017 ved brug af data fra Danmarks Statistik og Affaldsdatasystemet.*

Eksport af legeringsmetaller i	DST-data (ton)	DST-data (%)	ADS-data (ton)	ADS-data (%)
Jern- og stålskrot	31.413	52	36.946	64
Aluminiumskrot	18.232	30	4.338	7
Kobberskrot	11.064	18	16.809	29
Sum	60.709		58.093	

Som det fremgår af Tabel 53 eksporteres de største skrotmængder fra uspecificerede industrier (kategorien 'øvrige'), og omkring halvdelen af de eksporterede legeringsmetaller kan ikke tilskrives specifikke industrier. Men blandt de identificerede industrier er bygge-, transport- og maskinindustriene de største leverandører af stålskrot, og er således også de mest betydende leverandører af legeringsmetaller; aluminiumskrot indsamles især fra maskin-, bygge- og emballageindustriene, mens kobberskrot primært stammer fra bygge- og maskinindustriene (Tabel 53).

Der ses stor uregistreret eksport af krom, mangan, nikkel og kobber med jern- og stålskrot, både når opgørelsen er baseret på basis af DST- og ADS-data. Eksporten af aluminiumskrot indeholder især store mængder af følgende ikke-registrerede legeringsmetaller: zink, magnesium og kobber baseret på DST-data; anvendes derimod ADS-data er de største ikke-registrerede legeringsmetaller magnesium, kobber og zink. Tilsvarende indeholder den eksporterede kobberskrot også betydelige mængder legeringsmetaller, som ikke er registreret,

og omfatter især zink, tin, bly og aluminium opgjort på basis af DST-data, og zink, nikkel, bly og tin, opgjort ved brug af ADS-data.

Tabel 53 *Estimerede mængder (ton) eksporterede legeringsmetaller fordelt efter skrotkilde (Tabel 46, Tabel 48 og Tabel 50).*

Skrotkilde	Jern- og stålskrot	Aluminiumskrot	Kobberskrot	I alt
Byggeindustrien	9.819	705	4.617	15.141
Transportindustrien	4.264	618	1.344	6.225
Maskinindustrien	3.713	843	2.068	6.624
Elektronikindustrien	1.536	255	1.363	3.154
Emballageindustrien	1.052	734		1.786
Øvrige	16.562	1.184	7.417	25.163
Sum	36.946	4.338	16.809	58.093

Som ses i Tabel 51 var krom og zink på baggrund af DST-data og mangan på baggrund af ADS-data i 2017 de mest betydende legeringsmetaller med et samlet volumen på >10.000 ton.

11.1 Vurdering af materialetab af udvalgte eksporterede legeringsmetaller

Den del af de eksporterede legeringsmetaller som ikke genvindes funktionelt, må betragtes som lækager i det cirkulære materialekredsløb. Nedenstående diskuteres, med udgangspunkt i Tabel 51, derfor potentialet for genvinding af nogle af de eksporterede legeringsmetaller (alfabetisk orden).

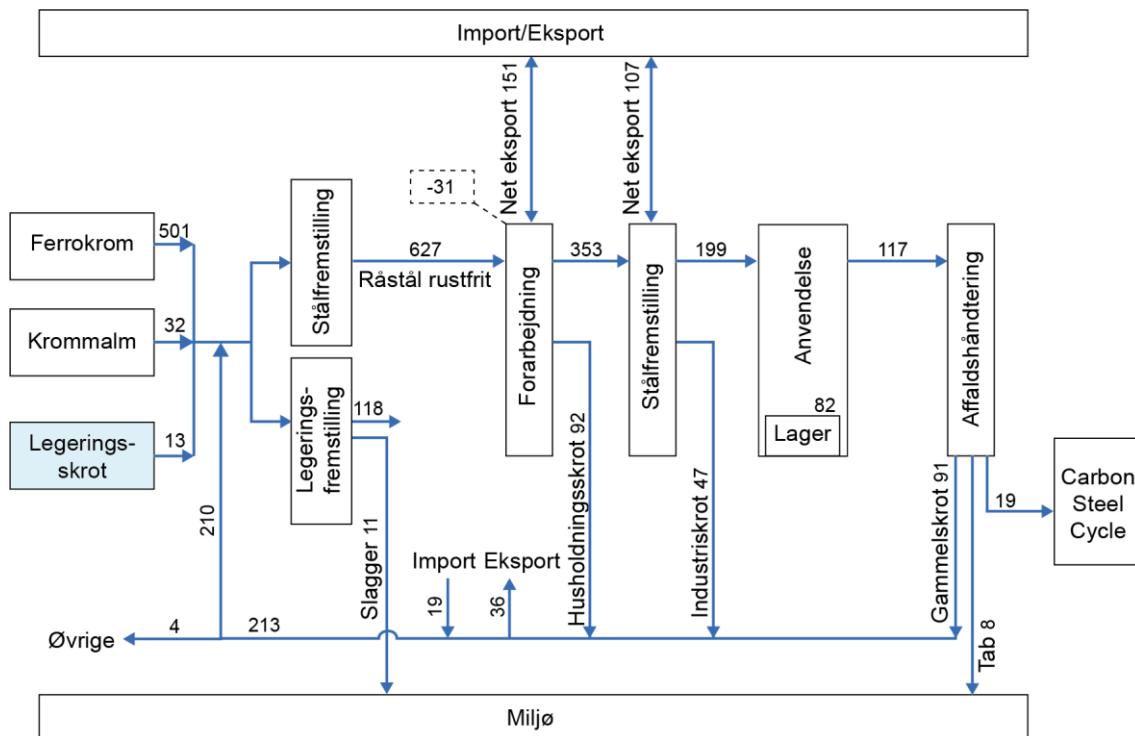
Bly: Hovedparten af bly i dansk skroteksport er knyttet til eksporten af kobberskrot. Bly opløses under omsmeltingen af kobberskrot (Figur 22) og kan genanvendes sammen med kobber. Derimod opløses bly ikke som selvstændig fase i jern- og stålskrot og aluminiumskrot, og for denne del af skroteksporten vil hovedparten af bly gå i slaggefraktionen, som på grund af blys lave pris almindeligvis ikke vil blive regenereret, og derfor tabes næsten al bly fra disse fraktioner.

Jern og aluminium: Jern indgår som legeringsmetal i aluminium- og kobberskrot, mens aluminium indgår som legeringsmetal i jern- og stålskrot samt kobberskrot. Jern kan ikke genvindes funktionelt fra hverken aluminiumskrot eller kobberskrot, og aluminium kan ikke genanvendes funktionelt fra jern- og stålskrot, hvorfor store mængder af disse metaller tabes. Da både jern, stål og aluminium er forholdsvis billige metaller, er der på nuværende tidspunkt meget lidt fokus på at reducere disse tab.

Kobber: For DST-data stammer 58 % af det eksporterede legeringsmetal kobber fra jern- og stålskrot, mens det for ADS-data er hele 86 % der stammer fra jern- og stålskrot. Kobber er uønsket i jern- og stålskrot, da kobberindhold i genvundet stål påvirker stålegenskaberne mekaniske del negativt. Men da det er vanskeligt at fjerne kobber i jern- og stål-genvindings-

processerne, fortyndes smeltens kobberindhold typisk med ikke-kobberholdigt stål, så indholdet af kobber bliver <0,3 %. Overordnet betyder det, at hovedparten af kobber i jern- og stålskrot ikke genvindes funktionelt.

Krom: Hovedparten (>98 % for begge data) af kromindholdet kan henføres til rustfrit stålskrot. Da skrotfraktionerne med rustfrit stål har relativ høj pris, har genvindingsbranchen fokus på disse fraktioner og udsorteringen er ret effektiv. I genvindingsprocessen opløses krom og kan teoretisk genvindes (Figur 22), men som ses i Figur 48 opnås der i praksis kun en funktionel genanvendelsesgrad på 78 % (91.000 ton *gammelskrot* ud af 117.000 ton skrot der går til *affaldshåndtering*) (Daigo et al. 2010), mens omkring 22 % af kromindholdet tabes.

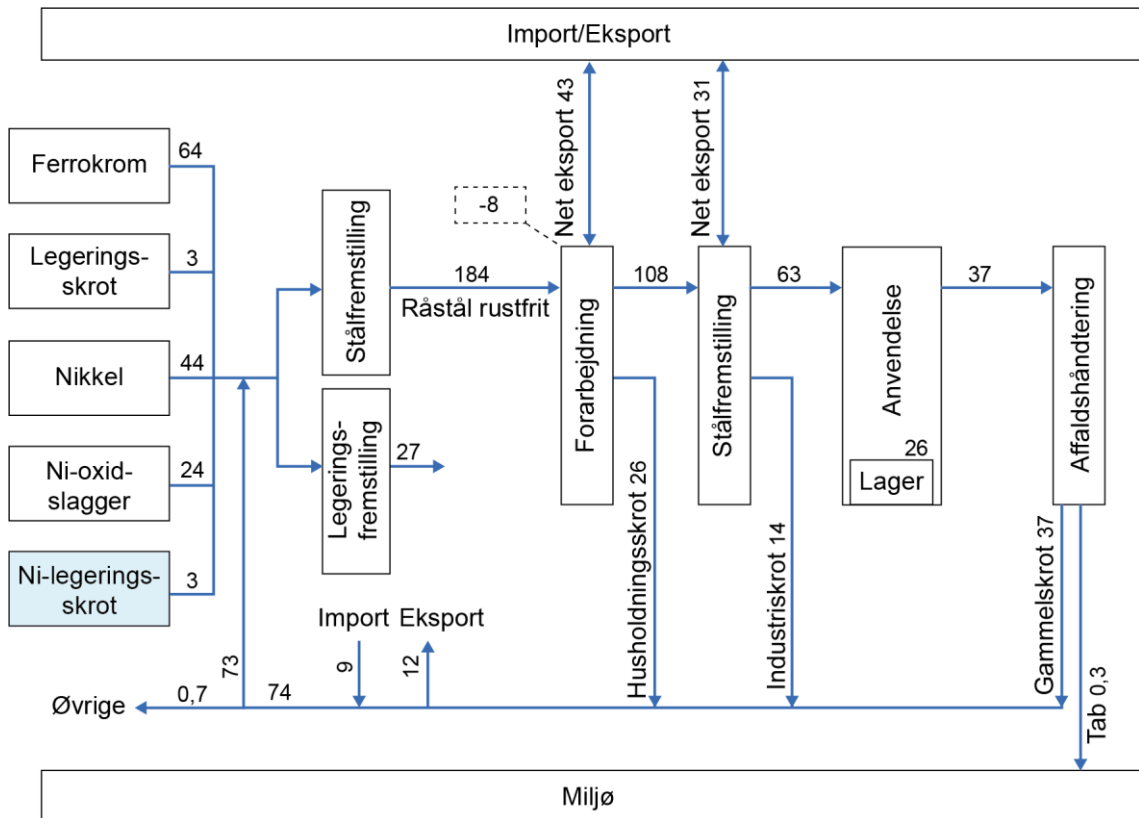


Figur 48 Materialebalance for krom under genvinding af rustfrit stål i Japan i 2005 (Daigo et al. 2010). Enhed: 1.000 ton.

Magnesium: Eksporten af magnesium som legeringsmetal er ved brug af DST-data kun udregnet for aluminiumskrot og ved brug af ADS-data for både aluminium- og kobberskrot. Hovedparten af legeringsmetallet magnesium er derfor knyttet til aluminiumskrot; specielt legeringerne aluminium-magnesium (afsnit 7.2.5) og aluminium-magnesium-silicium (afsnit 7.2.6). Funktionel genanvendelse af magnesium er begrænset, fordi det forudsætter at aluminiumskrot kan udsorteres i specifikke, ensartede legeringstyper, som omsmeltes separat til samme legeringstype. I praksis er genanvendelsesraten derfor lille. Det skal bemærkes, at magnesium indgår på EU-Kommissionens liste over kritiske råstoffer (European Commission 2020b).

Mangan: Som legeringsmetal findes den største mængde mangan i jern- og stålskrot (76 % for DST-data, 95 % for ADS-data), hvor det indgår i forskellige koncentrationer i de forskellige ståltyper. Mindre end halvdelen af det mangan der findes i jern- og stålskrot genanvendes funktionelt (Matsubae et al. 2014).

Nikkel: Nikkel er et meget brugt legeringsmetal i rustfrit stål og i kobberlegeringer, og eksporten af disse skrotfraktioner indeholder derfor mest nikkel. Som det ses af Figur 22 kan nikkel teoretisk genvindes. I Figur 49 går 37.000 ton til affaldshåndtering, hvilket er omtrentligt den samme mængde som kan genvindes i et lukket kredsløb (*gammelskrot* – 37.000 ton); den funktionelle genanvendelse af nikkel fra jern- og stålskrot er således næsten 100 % (Daigo *et al.* 2010). Ved omsmelning af kobberskrot smelter nikkel også (Figur 22) og i praksis er tabet af nikkel beskedent (Tabel 22) (Reck *et al.* 2008).



Figur 49 Materialebalance for nikkel ved genvinding af rustfrit stål i Japan i 2005 (Daigo *et al.* 2010). Enhed: 1.000 ton.

Tin: De største mængder af legeringsmetallet tin eksporteres fra kobberskrot (74 % ved brug af DST-data og 100 % ved brug af ADS-data, da eksport af tin ikke er beregnet for jern- og stålskrot samt aluminiumskrot). Tin opløses i kobbersmelten og genvindes til fremstilling af tilsvarende legeringer; materialetabet i kobberlegeringer er derfor lille. Tin bruges også til overfladebeskyttelse af stål og kan genvindes, hvis det kan adskilles inden omsmeltingen.

Zink: De største mængder af legeringsmetallet zink eksporteres fra kobberskrot. Zink bruges til overfladebeskyttelse af stål; genvinding af zink fra sådanne galvaniserede produkter kræver at skrottet er 'afzinket' inden omsmeltingen, da zink ellers ikke genvindes (Nakajima *et al.* 2008b). Hvor zink indgår som legeringsmetal i kobberskrot, kan zink opløses i kobbersmelten, og materialet kan derfor genvindes til fremstilling af tilsvarende legeringer; tab af zink i kobberlegeringer er derfor lille.

I 2017 blev der eksporteret mindre end 1.000 ton af legeringsmetallerne *molybdæn, bismut, titan, kobolt, vanadium, niobium, wolfram og gallium* i dansk skrot. Alle, med undtagelse af molybdæn, er vurderet som kritiske råstoffer af EU-Kommissionen (European Commission 2020b), men trods dette, er der meget lidt fokus på genvinding af disse metaller i forbindelse med omsmeltingen af skrottet, hvorfor en betydelig del af disse metaller tabes.

Lidt anderledes forholder det sig for skrot med højpris-legeringsmetaller som fx *guld, sølv og platin, samt sjældne jordartsmetaller*. En betydelig del af disse metaller findes i specifikke skrotstrømme, fx WEEE, katalysatorer og permanente magneter, og der er derfor betydelig fokus på genvinding af disse metaller fra de omtalte skrotstrømme.

11.2 Vurdering af muligheder for reduktion af lækager i den cirkulære økonomi

Som vist i nærværende analyse blev der i 2017 eksporteret store mængder legeringsmetaller fra Danmark, hvoraf en betydelig del tabes på grund af manglende viden om, hvordan de genvindes, hvilket formentlig ikke kun er gældende for dansk skrot. Da den internationale handel med skrotmetaller er stigende, er det af samfundsmæssig interesse at få øget viden om genanvendelsesrater, genvindingsmuligheder og miljøpåvirkninger. Men da de vigtigste drivere i disse aktiviteter på nuværende tidspunkt især er knyttet til de økonomiske forhold ved handel med skrot og reduktion af driftsomkostningerne, og miljø og bæredygtighed hidtil er underordnede forhold, er det, under de givne rammer, en betydelig udfordring at øge genanvendelsesraterne (Sahni & Gutowski 2011; Sevigné-Itoiz *et al.* 2014).

Analyserne i dette projekt peger på, at der er store lækager i de cirkulære kredsløb for legeringsmetallerne. Set fra et råstofsynspunkt er der især behov for mere viden om skrotsammensætningerne og om værdikæderne for (dansk) skrot, herunder hvor omsmeltingen finder sted, hvilke teknologier der anvendes, og hvad det betyder for genvindingsraten. Manglen på detaljeret viden om de faktiske forarbejdningsstrin, både teknisk og geografisk, efter skrottet har forladt eksportlandet, gør det vanskeligt at kortlægge de udfordringer, som står i vejen for at øge genanvendelsesraterne og dermed reducere omfanget af tab af legeringsmetaller.

De faktorer der kan begrænse den funktionelle genanvendelse af legeringsmetaller og dermed øge materialetabet er forskellige, men kan opdeles i følgende tre hovedfaser:

- Genanvendelsesraten af metaller og legeringsmetaller af produkternes design, egenskaberne for materialerne de er lavet af, og hvor godt affaldet opsamles og sorteres – Genanvendelse af komplekse produkter (fx elektriske apparater) kræver adskillige trin, bl.a. demontering, størrelsesreduktion/frigørelse (makulering), fysisk sortering og yderligere metallurgisk behandling og anden slutbehandling, hvor der for hvert trin sker et materialetab (Reuter *et al.* 2018).
- Brug af omsmeltningsystemer, som benytter lukkede kredsløb, producere produkter med meget lille tab af nøglelegeringsmetaller og med ydelsesspecifikationer svarende til produkter fremstillet af primære produkter. For eksempel er der i Japan opnået en funktionel genanvendelsesrate for nikkel i rustfrit stål på op til 90 %, når

nikkelsmelter-anlægget er tilknyttet og opererer sammen med stålgenvindingsanlægget (Daigo *et al.* 2010). Men i praksis er open loop-genanvendelse med lavere genanvendelsesrate stadig mest almindeligt. Desuden foretages der ofte en økonomisk afvejning af, hvilke legeringsmetaller der skal prioriteres på bekostning af andre, som dermed tabes i betydeligt omfang.

- Genanvendelsesraten for legeringsmetallerne er størst, når der anvendes 'solid state'-teknologi i forhold til 'remelting' teknologi (Rane & Date 2015); men den sidstnævnte metode er mest udbredt.

På baggrund af undersøgelserne i Scrap-Track-projektet antages det, at ikke-funktionelle tab af nøglelegeringsmetallerne er små: (i) fordi indholdet af disse vigtige legeringsmetaller er indregnet i salgsprisen for skrottet, hvorfor smelteværkerne vil være motiverede til at regenerere disse metaller; og (ii) fordi disse skrotgrupper allerede er forarbejdet med et relativt velbestemt indhold af nøglelegeringsmetallerne, i modsætning til fx blandede skrottyper, og derfor kun i helt særlige tilfælde videresælges til omsmelting i andre lande end eksportdestinationerne.

Yderligere undersøgelser og mere detaljerede analyser af materialestrømmene af legeringsmetaller er en forudsætning for at genvindingsindustrien kan nedbringe tabene af vigtige metaller under genvinding af skrot. De overordnede lovgivningsmæssige rammer og direktiver for affaldssektoren, herunder de forskellige ordninger omkring indsamling, håndtering og indberetning, gennemgår løbende udviklinger, hvoraf nogle dikteres fra EU. Inden for disse rammer har skiftende danske regeringer gennem de seneste årtier fremsat nationale målsætninger og strategier på affaldsområdet, som har været med til at drive landet i en mere ambitiøs retning inden for forvaltning af den danske affaldssektor. Disse målsætninger og strategier skal bidrage til en øget genanvendelse samt sikre at affaldsmængderne, der deponeres eller forbrændes, reduceres, som i overensstemmelse med affaldshierarkiet.

Et eksempel på denne udvikling er introduktionen af producentansvar, der er implementeret for en række produkttyper, herunder batterier, biler og elektronik. Producentansvar dikterer, at forhandlere og producenter af forskellige varetyper selv skal forestå eller finansiere indsamling og genanvendelse af affald svarende til deres salg af nye produkter. I de kommende år vil der som følge af EU's nyeste affaldsdirektiver også blive implementeret producentansvar for en række emballagetyper inklusive metalemballage. Et tiltag som producentansvar kan bidrage til at øge genanvendelsen af metalemballage ved, at der tilføres økonomiske ressourcer til genanvendelse af materialer, hvor omkostningerne ved genanvendelse ellers ville overskride materialernes salgsværdi. Ligeledes kan producentansvaret tilskynde, at producenter designer produkter, der nemmere lader sig genanvende, da der vil være økonomiske incitamenter hertil gennem producentansvaret.

Et andet område vedrører den nuværende sorteringspraksis af affald på husstands niveau, hvor de forskellige metalfraktioner blot grupperes og sorteres under én og samme kategori; metalaffald. Tiltag som indførelse af en finere opdeling af metalaffald sorteret på fx letgenkendelige skrotfraktioner såsom kabler, konservesemballage, diverse mv. vil som udgangspunkt kunne optimere kvaliteten af den videre oparbejdning af det metalliske husholdningsaffald. I praksis vil sortering på metalniveau næppe være realistisk på husholdningsniveau, da det

kræver viden om de forskellige metaller udseende og beskaffenhed, men en ordning med klare retningslinjer for hvilke generelle produkter, komponenter og dele, der skal sorteres sammen, vil være et simpelt instrument til at undgå unødvendig sammenblanding af visse skrottyper.

11.3 Detaljerede affaldsdatasystemer er vigtige

Sammenlignet med andre lande har Danmark et veletableret affaldshåndterings- og statistiksystem med relativt høje dataopløsninger, hvilket har gjort denne analyse mulig.

Der er to overordnede ting, som kan forbedres:

- Den samlede mængde af eksporteret skrot i de to datasystemer, DST og ADS, har en forskel på omkring 30 % for de fleste undersøgte år (2013-2017). Da virksomheder kun er forpligtet til at registrere giftigt affald i ADS, udgør den registrerede skrotmængde i ADS en mindre mængde end i DST. Herudover er aktualiteten af data ikke optimal, fordi virksomhederne kun er forpligtet til at indberette til ADS én gang om året. I praksis indberetter virksomhederne typisk den information, der gennem årets løb er registreret på en bestemt varekode i forhold til køb og salg under én EAK-kode, fremfor at operere med flere forskellige EAK-koder til hver varekode. Dermed har Miljøstyrelsen kun sjældent et fuldt opdateret overblik over de danske affaldsdata. Indberetningsfrekvensen til Danmarks Statistik er noget højere; udenrigshandelsstatistikken bliver opdateret månedligt.
- Både DST- og ADS-systemerne mangler viden om skrottes sammensætning. De grove kategorier, der anvendes i affaldsdata og handelsdata for jern- og metalskrot gør det vanskeligt at evaluere den danske indsamling og behandling af jern- og metalskrot, da de i princippet repræsenterer mange forskellige virksomhedsvarekoder. Der sker derfor et informationstab, når virksomhederne skal tilpasse deres skrotfraktioner til de officielle indberetningskoder, som har en betydeligt lavere detalje-grad end virksomhedernes varekoder, og som der er et betydeligt større antal af. Information om fx skrottype, legeringsindhold, renhed og dimensioner (tykkelse og størrelse) skal ikke angives i affaldsdata og kun i beskedent omfang i handelsdata for jern- og metalskrot. Inden for de enkelte indberetningskategorier skjuler der sig derfor vigtig information om indholdet af legeringsmetaller, som virksomhederne ikke har mulighed for at indberette. Med andre ord tillader systemerne ikke at registrere og anvende den viden, der ligger i genvindingsvirksomhedernes varekoder.

11.4 Teknologiuudvikling i genvindingsbranchen og metalindustrien er vigtig

Genvindingsbranchen udvikler deres teknologi og forretningsområder kontinuerligt som følge af den generelle teknologiske udvikling, udbud af nye skrottyper og efterspørgslen i metalindustrien. Der bliver investeret i nye genanvendelsesanstaltninger i Danmark og i vores nabolande, og der udvikles nye metoder til bedre sortering og oparbejdning af forskellige skrottyper. Ud-

viklingen drives også af metalindustriens efterspørgsel på sekundære materialer af høj kvalitet, da industrien ser et behov for øget andel af genanvendt materiale i produktionen af nye produkter. En afdeling herunder vedrører udviklingen af nye typer af skrotfraktioner, der opstår når teknologien muliggør en mere avanceret sorterings- og neddelingsgrad af de forskellige fraktioner, som derefter kan sælges i en højere kvalitet og renhed og dermed til en højere pris.

Der sker løbende teknologisk udvikling af genvindingsbranchens muligheder for at sortere og oparbejde skrot. Disse teknologiske forbedringer udfordres imidlertid af det faktum, at de udtjente produkter, som ender som skrot, er komplekst sammensatte og består af et stort antal speciallegeringer, der alt andet lige er sværere at genanvende funktionelt (Reck & Graedel 2012). Der kan altså være tale om modsatrettede tendenser i forhold til, hvordan skrot og indholdet af legeringsmetaller kan genanvendes funktionelt uden væsentlige tab i processen. Den voksende kompleksitet kan illustreres ved elektronikprodukter, der over tid er blevet fysisk mindre men med mere komplekse materialesammensætninger, og dermed sværere at skille ad i komponenter med ensartet legeringsmetal-sammensætning. For at kunne øge de funktionelle genanvendelsesrater af metallerne i skrot er der således behov for at optimere de forskellige processer lige fra sortering og oparbejdning til de forudgående designmæssige beslutninger, men også at præge vores nuværende forbrugsmønstre og adfærd i retning af affaldshierarkiets principper om øget genbrug og reduktion i forbrug (Reck & Graedel 2012). Økonomiske incitament er kan bidrage til at forbedre genanvendelsesraten, især for metaller som klassificeres som kritiske af EU-kommissionen, og som ikke nødvendigvis er højpris-metaller.

Under antagelse af at den danske industristruktur fortsætter nogenlunde uændret betyder det, at Danmark vil fortsætte som stor nettoeksportør af metalskrot. Med det udtrykte politiske ønske om, at Danmark skal baseres på cirkulære økonomiske principper, er der derfor behov for detaljerede data og analyser af, i hvilket omfang og hvor i genvindingen der tabes vigtige metaller (Miljø- og Fødevareministeriet 2017a). Mere viden kan bidrage til diskussioner om relevante tiltag indenfor reguleringer; tiltag som kunne være modeller i andre lande. Det skal dog bemærkes, at forbedringer af bæredygtigheden af den internationale handel med skrotprodukter forudsætter, at der sker en global samordning og regulering af disse materialestrømme, hvor der både indtænkes hensyn til de miljøbyrder, der skifter over grænserne og reduktion af drivhusgasser set i et livscyklusperspektiv (Sevigné-Itoiz *et al.* 2014).

12. Konklusioner om bæredygtighed for dansk skroteksport

Data og indberetning

- Dataindberetning og statistik for skrot indsamles med henblik på viden om eksport af tolddeklareringsklasser og kontrol med affald.
- Der foretages ikke dataindberetning om sammensætningen af dansk skrot.
- Der sker informationstab ved indberetning af handelsdata og affaldsdata, da indberetningskoderne er inkommensurable med genvindingsvirksomhedernes varekoder.

Estimeret tab legeringsmetaller fra dansk skrot

- Estimerer for eksporterede legeringsmetaller i dansk skrot i 2017 tyder på, at betydelige mængder legeringsmetaller ikke bliver funktionelt genanvendt, og ender som sekundære legeringsmetaller, og der dermed er lækager i de cirkulære materialekredsløb, som påvirker den reelle genanvendelsesrate negativt.
- Der er et uudnyttet potentiale for forbedring af genanvendelsesraten for legeringsmetaller i dansk skrot.

Barrierer i forhold til genanvendelse

- Målet om den cirkulære økonomi inden for genanvendelse af metaller fra skrot udfordres af flere forhold, bl.a.:
 - Termodynamiske forhold og metallernes kemiske egenskaber.
 - Stigende materialekompleksitet i nutidens produkter, hvor indholdet af legeringsmetaller og deres præcise koncentration ofte er ukendt.
 - Nuværende sorteringspraksisser og oparbejdningsfaciliteter der er utilstrækkelige til at sikre at alle skrottyper oparbejdes optimalt i forhold til en funktionel genanvendelse af de indeholdte legeringsmetaller.
- Begrebet genanvendelse bruges til at klassificere slutbehandlingen af skrot i den danske affaldshåndtering og -forvaltning. Der skelnes ikke mellem egentlig genanvendelse ved omsmelning og slutbehandling som et forberedende trin inden omsmelning. Der er derfor behov for en justering af begrebet genanvendelse for at kunne opgøre mængderne af skrot, der omsmeltes i Danmark.

Referencer

- Aalco 2011. Aalco Product Guide: Technical reference manual for Aluminium, Stainless Steel and Copper Alloys. Issue No. 3 – 02/2011, 6-47. Hentet fra: <http://www.aalco.co.uk/literature/files/aalco-catalogue.pdf>
- Abu Bakar, M.S. and Rahimifard, S. 2008. Ecological and economical assessment of end-of-life waste recycling in the electrical and electronic recovery sector. *Int. J. Sustain. Eng.* 1, 261–277. <https://doi.org/10.1080/19397030802576825>
- ACO 2019. Materialebeskrivelser: Rustfrit Stål. General Information om rustfrit stål. Hentet fra: <http://www.aco.dk/media/1428668/Rustfri%20st%C3%A5l%20-%20Generel%20information.pdf>
- Affaldsbekendtgørelsen 2019. Bekendtgørelse om affald. Hentet fra: <https://www.retsinformation.dk/Forms/R0710.aspx?id=207367>
- Ahmad, A., Lajis, M.A., Yusuf, N.K. & Wagiman, A. 2016. Hot press forging as the direct recycling technique of aluminium - A review. *ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences.* 11(4). 2258-2265
- Ahmed, N., Wenzel, H., & Hansen, J.B. 2014. Characterization of Shredder Residues generated and deposited in Denmark. *Waste Manag.* 34, 1279–1288. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2014.03.017>
- Alumil 2019. Knowledge Base In Aluminium. Hentet fra: <https://www.alumil.com/extrusion/info/knowledgebase-in-aluminium>
- Bell, S., Davis, B., Javaid, A. & Essadiqi, E. 2003. Final Report on Scrap Management, Sorting and Classification of Aluminum Enhanced Recycling, Action Plan 2000 on Climate Change, Minerals and Metals Program-The Government of Canada Action Plan 2000 on Climate Change Minerals and Metals Program, managed by the Minerals and Metals Sector of Natural Resources.
- Bell, S., Davis, B., Javaid, A. & Essadiqi, E. 2006. Final Report on Effect of Impurities in Steel. Report No. 2005-41(CF).
- Biganzoli, L., Grosso, M. & Forte, F. 2014. Aluminium mass balance in waste incineration and recovery potential from the bottom ash: A case study. *Waste and Biomass Valorization* 5, 139–145. <https://doi.org/10.1007/s12649>
- Björkman, B. & Samuelsson, C. 2014. Recycling of steel. I Worrell, E. & Reuter, M. A. (Eds.): *Handbook of recycling: state-of-the-art for practitioners, analysts, and scientists.* Elsevier (65-83).
- Boin, U.M.J. & Bertram, M. 2005. Melting standardized aluminum scrap: A mass balance model for Europe. *JOM.* <https://doi.org/10.1007/s11837-005-0164-4>
- Boldrin, A., Damgaard, A., Brogaard, L.K-S., & Astrup, T.F. 2015. Life cycle assessment of shredder residue management. Danish Environmental Protection Agency. Miljøprojekt, No. 1814, 2015 Hentet fra: <http://www2.mst.dk/Udgiv/publications/2015/12/978-87-93435-11-7.pdf>
- Borucka-Lipska, J., Techman, M. & Skibicki, S. 2019. Use of Contaminated Sand Blasting Grit for Production of Cement Mortars. *IOP Conf. Ser. Mater. Sci. Eng.* 471, 0–6. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/471/3/032055>
- Brooks, C.S. 1985. Metal recovery from waste sludges.
- BS EN 12861. 1999 - Copper and copper alloys. Scrap

- Buruiana, D.L., Bordei, M., Diaconescu, I. & Ciurea, A. 2011. Recycling options for used sandblasting grit into road construction. *Recent Res Energy Env. Landsc Arch.* 172–178.
- Capuzzi, S. & Timelli, G. 2018. Preparation and Melting of Scrap in Aluminum Recycling: A Review. *Metals (Basel)*. 8, 249. <https://doi.org/10.3390/met8040249>
- Ciacci, L., Reck, B., Nassar, N.T. & Graedel, T.E. 2015. Lost by design. *Environmental Science & Technology*, 2015.
- Coburn-Myers 2019. *Materials: Carbon Steel*. Coburn-Myers Fastening Systems, Inc. Hentet 03.04.2019 fra: <https://www.coburnmyers.com/materials-carbon-steel/>
- Copper Development Association 2019a. About Copper and Copper Alloys. Hentet 02.04.2019 fra: <https://copperalliance.org.uk/about-copper/copper-alloys/>
- Copper Development Association 2019b. Recycling of Copper. Hentet 02.04.2019 fra: <https://www.copper.org/environment/lifecycle/ukrecyc.html>
- Cullen, J.M. & Allwood, J.M. 2013. Mapping the global flow of aluminum: From liquid aluminum to end-use goods. *Environmental Science & Technology* 47(7): 3057-3064.
- Daigo, I., Matsuno, Y. & Adachi, Y. 2010. Substance flow analysis of chromium and nickel in the material flow of stainless steel in Japan. *Resources, Conservation and Recycling*, 54(11): 851-863.
- Damstahl 2018. *Teknisk information 2018*. Hentet fra: www.damstahl.dk
- Danmarks Statistik 2019. *Statistikbanken: Arbejdssteder, job, fuldtidsbeskæftigede og lønsum efter enhed, branche (DB07) og tid*. Hentet fra: <https://www.statistikbanken.dk/statbank5a/default.asp?w=2560>
- Davis, J.R. 2001. Aluminum and Aluminum Alloys. *Light Met. Alloy*. 351–416. <https://doi.org/10.1361/autb2001p351>
- Deetman, S., Pauliuk, S. & Van Vuuren, D. 2018. Scenarios for demand growth of metals in electricity generation technologies, cars, and electronic appliances. *Environmental Science & Technology* 52(8): 4950-4959.
- Den Europæiske Unions Tidende 2018. KOMMISSIONENS GENNEMFØRELSESFORORDNING (EU) 2018/1602 af 11. oktober 2018 om ændring af bilag I til Rådets forordning (EØF) nr. 2658/87 om told- og statistiknomenklaturen og den fælles toldtarif. L 273 61. årgang, 31.10.2018.
- Dewangan A.K., Patel, A.D. & Bhadania, A.G. 2015. Stainless steel for dairy and food industry: a review. *J. Mater. Sci. Eng.* 4: 1–4
- EAA/OEA Recycling Division 2006. *Aluminium Recycling in Europe: The Road to High Quality Products*. Hentet fra: http://greenbuilding.world-aluminium.org/uploads/media/1256563914European_Recycling_Brochure-1.pdf
- Encyclopaedia Britannica 2018. *Stainless Steel*. Encyclopædia Britannica, inc. Hentet 03.04.2019 fra: <https://www.britannica.com/technology/stainless-steel>
- Energistyrelsen 2020. *Energistyrelsen og affaldsområdet*. Hentet 03.04.2019 fra <https://ens.dk/ansvarsomraader/affald/energistyrelsen-og-affaldsomraadet>
- Europa-Parlamentet og Rådets Direktiv 2008. Direktiv 2008/98/EF af 19. november 2008 om affald og om ophævelse af visse direktiver (EØS-relevant tekst). Hentet fra: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DA/TXT/PDF/?uri=CELEX:32008L0098&from=EN>
- European Commission 2006. *Surface Treatment of Metals and Plastics - Reference Document 582*.

- European Commission 2017. Meddelelse fra Kommissionen til Europa-Parlamentet, Rådet, Det Europæiske Økonomiske og Sociale Udvalg og Regionsudvalg om 2017-listen over råstoffer af kritisk betydning for EU. COM (2017) 490. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DA/TXT/?uri=CELEX:52017DC0490>
- European Commission 2018a. Explanatory note on the analysis by the European Maritime Safety Agency of vessels dismantled during the period 2013-2017. Brussels, 14 September 2018. Hentet fra: <http://ec.europa.eu/transparency/regexpert/index.cfm?do=groupDetail.groupMeetingDoc&docid=18370>
- European Commission 2018b. Shipbreaking: Updated list of European ship recycling facilities to include six new yards. Publiceret 06.12.2018. Hentet fra: https://ec.europa.eu/info/news/shipbreaking-updated-list-european-ship-recycling-facilities-include-six-new-yards-2018-dec-06_en
- European Commission 2020a. Basel-konventionen om kontrol med grænseoverskridende overførsel af farligt affald og bortskaffelsen heraf. Hentet 23.11.2020 fra: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DA/ALL/?uri=legisum%3A128043>
- European Commission 2020b. Critical Raw Materials Resilience: Charting a Path towards greater Security and Sustainability. (COM (2020) 474. Hentet fra: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:52020DC0474&from=EN>
- European Commission 2020c. The European list of ship recycling facilities referred to in article 16 of regulations (EU) no 1257/2013. Hentet fra: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX%3A32020D1675&qid=1605170136460>
- European List of Waste 2014. <https://ec.europa.eu/environment/waste/framework/list.htm>
Hentet fra: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:32014D0955&from=EN>
- European Steel Scrap Specifications (ESSS) 2007. Hentet fra: <https://www.euric-aisbl.eu/facts-figures/standards-specifications>
- Eurostat 2019. Packaging waste by waste management operations and waste flow. Hentet 16.010.2019 fra: http://appsso.eurostat.ec.europa.eu/nui/show.do?lang=en&data-set=env_waspac
- Forenede Nationer 2019. Mål 12: Sikre bæredygtigt forbrug og produktionsformer. Hentet 02.04.2019 fra: <https://www.verdensmaalene.dk/maal/12>
- Gesing, A. & Wolanski, R. 2001. Recycling light metals from end-of-life vehicles. JOM 53, 21–23. <https://doi.org/10.1007/s11837-001-0188-3>
- Graedel, T.E., Allwood, J., Birat, J-P., Buchert, M., Hagelüken, C., Reck, B.K., Sibley, S.F. & Sonnemann, G. 2011. What Do We Know About Metal Recycling Rates? Journal of Industrial Ecology 15(3): 355-366.
- Graedel, T.E. & Cao, J. 2010. Metal spectra as indicators of development. Proceedings of the National Academy of Sciences 107(49): 20905-20910.
- Hagelstein, K. 2009. Globally sustainable manganese metal production and use. Journal of Environment Management 90(12):3736-3740.
- Hatayama, H., Yamada, H., Daigo, I., Matsuno, Y. & Adachi, Y. 2007. Dynamic substance flow analysis of aluminum and its alloying elements. Mater. Trans. 48, 2518–2524.
- Hossain, A.K. 2017. Ship Recycling Practice and Annual Reuseable Material Output from Bangladesh Ship Recycling Industry. Journal of Fundamentals of Renewable Energy and Applications 7(5), 1-6.

- Hovorun, T.P., Berladir, K.V., Pererva, V.I., Rudenko, S.G. & Martynov, A.I. 2017. Modern materials for automotive industry. *J. Eng. Sci.* 4, f8–f18.
[https://doi.org/10.21272/jes.2017.4\(2\).f8](https://doi.org/10.21272/jes.2017.4(2).f8)
- Højerslev, C. 2001. Tool steels. Risø National Laboratory. Denmark. Forskningscenter Risoe. Risoe-R, No. 1244(EN)
- Institute of Scrap Recycling Industries 2018a. Scrap Specifications Circular. Institute of Scrap Recycling Industries, Inc. Hentet fra: <https://www.isri.org/recycling-commodities/scrap-specifications-circular>
- Institute of Scrap Recycling Industries 2018b. 2018 Recycling Industry Yearbook. Institute of Scrap Recycling Industries, Inc. Hentet fra: <https://www.isri.org/recycling-commodities/recycling-industry-yearbook>
- International Copper Study Group 2005. Copper flow model-determining recycling rates for Western Europe, Final Report, March 2005.
- International Monetary Fund 2020. Hentet fra: <https://www.imf.org/en/Research/commodity-prices>
- International Stainless Steel Forum 2005. "New 200-series" steels: An opportunity or a threat to the image of stainless steel? Hentet fra: https://www.worldstainless.org/Files/issf/non-image-files/PDF/ISSF_New_200_series_steels_An_opportunity_or_a_threat_to_the_image_of_stainless_steel.pdf
- International Stainless Steel Forum 2019. Stainless steel in figures 2019. Hentet fra: https://www.worldstainless.org/Files/issf/non-image-files/PDF/ISSF_Stainless_Steel_in_Figures_2019_English_public_version.pdf
- Izard, C.F. & Müller, D.B. 2010. Tracking the devil's metal: Historical global and contemporary US tin cycles. *Resources, Conservation and Recycling* 54(12): 1436-1441.
- Jakobsen, J. 2011. Emballageforsyningen i Danmark 2009.
- Jibrin, M.U. & Ejeh, S.P. 2013. Chemical Composition of Reinforcing Steel Bars in the Nigerian Construction Industry. *Int. J. Civ. Environ. Eng.* 13, 1–7.
- Johnson, J., Reck, B.K., Wang, T., Graedel, T.E. 2008. The Energy Benefit of Stainless Steel Recycling. *Energy Policy*, vol. 36, pp. 181–192.
- Johnson, J., Schewel, L., & Graedel, T.E. 2006. The contemporary anthropogenic chromium cycle. *Environmental science & technology* 40(22): 7060-7069.
- Jolly, J.L. 2006. The U.S. copper-base scrap industry and its by-products: An overview. Technical report. New York: Copper Development Association.
- Kahle, K., Kamuk, B., Kallesøe, J., Fleck, E., Lamers, F., Jacobsson, L. & Sahlén, J. 2015. Bottom ash from WtE plants: Metal recovery and utilization. ISWA Report.
- Kellenberg, D. 2012. Trading wastes. *Journal of Environmental Economics and Management*: 64(1), 68-87.
- Kulturstyrelsen 2019. 1001 fortællinger om Danmark: Køge Jernstøberi. Hentet fra http://www.kulturarv.dk/1001fortaellinger/m/da_DK/koege-jernstoeberi
- Kumar, R. 2009. Ship Dismantling: A status report on South Asia. By Euroconsult Mott MacDonald and WWF-India, 1-36. Hentet fra: https://www.shipbreakingplatform.org/wp-content/uploads/2018/11/ship_dismantling_en.pdf
- Kuusiola, T., Wierink, M. & Heiskanen, K. 2012. Comparison of collection schemes of municipal solid waste metallic fraction: The impacts on global warming potential for the case of the helsinki metropolitan area, finland. *Sustainability* 4, 2586–2610.
<https://doi.org/10.3390/su4102586>

- Laxmi Steel 2019. Steel scrap company specification.
- Lipowsky, H. & Arpacı, E. 2007. Copper in the Automotive Industry. 1-177. Online ISBN: 9783527611652 DOI: 10.1002/9783527611652.
- Lyons, D., Rice, M. & Wachal, R. 2009. Circuits of scrap: Closed loop industrial ecosystems and the geography of US international recyclable material flows 1995–2005. *Geographical Journal* 175(4): 286-300.
- Løvik, A.N., Modaresi, R. & Müller, D.B. 2014. Long-Term Strategies for Increased Recycling of Automotive Aluminum and Its Alloying Elements. *Environ. Sci. Technol.* 48, 4257–4265. <https://doi.org/10.1021/es405604g>
- Matmatch 2019. Cast Iron: Properties, Processing and Applications. Hentet 03.04.2019 fra: <https://matmatch.com/learn/material/cast-iron>
- Matsubae, K., Iizuka, Y., Ohno, H., Hiraki, T., Miki, T., Nakajima, K. & Nagasaka, T. 2014. Distribution analysis on steel alloying elements in the end of life vehicle scrap recycling process. *Tetsu-To-Hagane/Journal Iron Steel Inst. Japan* 100, 788–793. <https://doi.org/10.2355/tetsutohagane.100.788>
- Metal Supermarkets 2014. <https://www.metalsupermarkets.com/tool-steel-applications-grades/>
- Michel, J. 2013. Introduction to Copper and Copper Alloys. ICSG. <https://doi.org/10.31399/asm.hb.v02.a0001065>
- Mikelis, N. 2013. Ship recycling Markets and the Impact of the Hong Kong Convention. SHIPREC 2013, International Conference on Ship Recycling World Maritime University, Malmö, 7-9 April, 2013.
- Miljø- og Fødevarerministeriet 2017a. Advisory Board for cirkulær økonomi. Anbefalinger til regeringen. Hentet fra: https://mfvm.dk/fileadmin/user_upload/MFVM/Miljoe/Cirku-laer_oekonomi/Advisory_Board_for_cirkulaer_oekonomi_Rapport.pdf
- Miljø- og Fødevarerministeriet 2017b. Danmark har tiltrådt FN-konvention om miljørigtig opbygning af skibe. Hentet fra: <https://mfvm.dk/nyheder/nyhed/nyhed/danmark-har-tiltraadt-fn-konvention-om-miljoerigtig-opbygning-af-skibe/>
- Miljø- og Fødevarerministeriet 2018. Fødevarekontaktmaterialer (FKM) af Stål: Retningslinjer. ISBN 978-87-93147-16-4. Hentet fra: https://www.foedevarestyrelsen.dk/Publikationer/Alle%20publikationer/Retningslinjer_for_FKM_af_staal.pdf
- Miljøstyrelsen 2003. Ressourcebesparelser ved affaldsbehandlingen i Danmark. Hentet fra: <https://www2.mst.dk/udgiv/publikationer/2003/87-7972-603-8/html/bilag01/kap23.htm>
- Miljøstyrelsen 2011. Klassificering af grønlistet affald under "transportforordningen" (forordning nr. 1013/2006) - en praktisk vejledning. Hentet fra: <https://www2.mst.dk/udgiv/publikationer/2011/06/978-87-92779-07-6.pdf>
- Miljøstyrelsen 2012. Forbedret ressourceudnyttelse af shredderaffald. Miljøprojekt nr. 1441. ISBN: 978-87-92903-45-7. Hentet fra: <https://www2.mst.dk/Udgiv/publikationer/2012/09/978-87-92903-45-7.pdf>
- Miljøstyrelsen 2014. Shredder residues: Problematic substances in relation to resource recovery. Miljøprojekt nr. 1568. ISBN: 978-87-93178-41-0. Hentet fra: <https://www2.mst.dk/Udgiv/publications/2014/04/978-87-93178-41-0.pdf>
- Miljøstyrelsen 2018. Affaldsstatistikken 2016. Miljøprojekt nr. 2020, ISBN: 978-87-93710-39-9. Hentet fra: <https://www2.mst.dk/Udgiv/publikationer/2018/06/978-87-93710-39-9.pdf>

- Miljøstyrelsen 2019a. Affald: Import og eksport af affald. Hentet fra: <https://mst.dk/affald-jord/affald/import-og-eksport-af-affald/>
- Miljøstyrelsen 2019b. Affaldsstatistikken 2017. Miljøprojekt nr. 2020, ISBN: 978-87-93710-39-9. Hentet fra: <https://www2.mst.dk/Udgiv/publikationer/2019/09/978-87-7038-109-3.pdf>
- Miljøstyrelsen 2019c. Affaldsstatistikken 2017 - Rådata. Miljøprojekt nr. 2020, ISBN: 978-87-93710-39-9. Hentet fra: <https://mst.dk/affald-jord/affald/affaldsdatasystemet/find-affaldsdata/affaldsstatistikker/>
- Miljøstyrelsen 2020a. Affaldsdata & affaldsdatasystemet. Hentet fra: <https://mst.dk/affald-jord/affald/affaldsdatasystemet/>
- Miljøstyrelsen 2020b. Valg af behandlingsaktiviteter og bortskaffelses-/nyttiggørelseskoder ved indberetning til Affaldsdatasystemet. Hentet fra: <https://mst.dk/media/150921/ny-behandlingsvejledning-opdateret-24-04-2020.pdf>
- Muchová, L., Eder, P. & Villanueva, A. 2011. End-of-waste criteria for copper and copper alloy scrap: technical proposals. <https://doi.org/10.2791/57777>
- Nakajima, K., Yokoyama, K. & Nagasaka, T. 2008a. Substance Flow Analysis of Manganese Associated with Iron and Steel Flow in Japan. ISIJ International 2008. Vol. 48 (2008), No. 4, pp. 549–553
- Nakajima, K., Matsubae-Yokoyama, K., Nakamura, S., Itoh, S. & Nagasaka, T. 2008b. Substance flow analysis of zinc associated with iron and steel cycle in Japan, and environmental assessment of EAF dust recycling process. ISIJ international 48(10): 1478-1483.
- Nakajima, K., Takeda, O., Miki, T., Matsubae, K., Nakamura, S. & Nagasaka, T. 2010. Thermodynamic Analysis of Contamination by Alloying Elements in Aluminum Recycling. Environ. Sci. Technol. 44, 5594–5600. <https://doi.org/10.1021/es9038769>
- NGO Shipbreaking Platform 2019b. EU Ship Recycling Regulation. Hentet 03.04.2019 fra: <https://www.shipbreakingplatform.org/issues-of-interest/the-law/eu-srr/>
- Oda, T., Daigo, I., Matsuno, Y. & Adachi, Y. 2010. Substance flow and stock of chromium associated with cyclic use of steel in Japan. ISIJ international 50(2): 314-323.
- Ohno, H., Fukushima, Y., Matsubae, K., Nakajima, K. & Nagasaka, T. 2017. Revealing Final Destination of Special Steel Materials with Input-Output-Based Material Flow Analysis. ISIJ Int. 57, 193–199. <https://doi.org/10.2355/isijinternational.ISIJINT-2016-470>
- Ohno, H., Matsubae, K., Nakajima, K., Kondo, Y., Nakamura, S. & Nagasaka, T. 2015. Toward the efficient recycling of alloying elements from end of life vehicle steel scrap. Resources, Conservation and Recycling 100, 11-20.
- Ojha, A., Sharma, A., Sihag, M. & Ojha, S. 2015. Food packaging – materials and sustainability-A review. Agric. Rev. 36, 241. <https://doi.org/10.5958/0976-0741.2015.00028.8>
- Oldring, K.T. & Nehring, P.U. 2007. Packing Materials - 7. Metal Packing for Foodstuffs. Int. Life Sci. Inst. 44. <https://doi.org/D/2007/10.996/7>
- Packard, K. 2009. Understanding low-alloy steel: An overview low-alloy steel and its filler metal matches. Hentet 03.04.2019 fra: <https://www.thefabricator.com/article/consu-mables/understanding-low-alloy-steel>
- Passarini, L., Ciacci, L., Nuss, P. & Manfredi, S. 2018. Material flow analysis of aluminium, copper, and iron in the EU-28. EUR 29220 EN, Publications Office of the European Union, Luxembourg, ISBN 978-92-79-85744-7, doi:10.2760/1079, JRC111643. https://publications.jrc.ec.europa.eu/repository/bit-stream/JRC111643/jrc111643_mfa_final_report_june2018.pdf

- Rafi, M.M., Lodi, S.H. & Nizam, A. 2014. Chemical and mechanical properties of steel re-bars manufactured in Pakistan and their design implications. *J. Mater. Civ. Eng.* 26, 338–348. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)MT.1943-5533.0000812](https://doi.org/10.1061/(ASCE)MT.1943-5533.0000812)
- Rahman, S.M.M., Handler, R.H. & Mayer, A.L. 2016. Life cycle assessment of steel in the ship recycling industry in Bangladesh. *Journal of Cleaner Production* 135, 963-971.
- Rane, K.K. & Date, P.P. 2015. Reduction and densification characteristics of iron oxide metallic waste during solid state recycling. *Adv. Powder Technol.* 26, 126–138. <https://doi.org/10.1016/j.apt.2014.08.015>
- Reck, B.K. & Graedel, T.E. 2012. Challenges in Metal Recycling. *Science* 337, 690-694.
- Reck, B.K., Müller, D.B., Rostkowski, K. & Graedel, T.E. 2008. Anthropogenic nickel cycle: Insights into use, trade, and recycling. *Environmental Science & Technology* 42(9): 3394-3400.
- Regeringen 2013. Danmark uden affald: Genanvend mere – forbrænd mindre. ISBN 978-87-93026-07-0. Hentet fra: https://mst.dk/media/mst/Attachments/Ressourcestrategi_DK_web.pdf
- Reijnders, L. 2016. Conserving functionality of relatively rare metals associated with steel life cycles. A review. *Journal of Cleaner Production* 131. DOI: 10.1016/j.jclepro.2016.05.073
- Reuter, M.A., Hudson, C., van Schaik, A., Heiskanen, K., Meskers, C. & Hagelüken, C. 2013. Metal recycling: Opportunities, limits, infrastructure. A Report of the Working Group on the Global Metal Flows to the International Resource Panel.
- Reuter, M.A., van Schaik, A. & Ballester, M. 2018. Limits of the Circular Economy: Fairphone Modular Design Pushing the Limits. *World of Metallurgy – Erzmetall* 71 (2), 68-79.
- Sahni, S. and Gutowski, T.G. 2011. Your Scrap, My Scrap! The Flow of Scrap Materials through International Trade. In: *Sustainable Systems and Technology (ISSST), 2011 IEEE International Symposium On*, 1–6. <https://doi.org/10.1109/issst.2011.5936853>
- Salminen, J. & Olausson, S. 2018. SOCRATES Policy brief: Overcoming challenges in the circular economy: A thermodynamic reality-check. EU H2020 ETN SOCRATES.
- Samuelsson, C. & Björkman, B. 2014. Copper Recycling. In Worrell, E. & Reuter, M. A. (Eds.): *Handbook of recycling: state-of-the-art for practitioners, analysts, and scientists*. Elsevier (85-94).
- Sander, K., Jepsen, D., Schilling, S., Tebert, C. & Ipsen, A. 2004. Definition of waste recovery and dispersal operations – part B: neutralization of waste specific environmental risks. DG Environment, Nuclear Safety and Civil Protection of the European Commission, Ökopol GmbH. Hamburg.
- Savoy, L., Tu, S. & Janke, D. 2000. Methods of increasing the rate of tin evaporation from iron-based melts. *ISIJ international* 40(7): 654-663.
- Schaffer, C. 2015. Catalytic Converter Recycling Is Still Big Business. Thermo Fischer Scientific. Hentet 22.07.2019 fra: <https://www.thermofisher.com/blog/metals/catalytic-converter-recycling-is-still-big-business/>
- Schlesinger, M.E. 2006. Aluminum recycling. CRC Press, New York, USA, 1. udgave.
- Seigné-Itoiz, E., Gasol, C.M., Rieradevall, J. & Gabarrell, X. 2014. Environmental Consequences of Recycling Aluminum Old Scrap in a Global Market. *Resources, Conservation and Recycling*, no. 0. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.1016/j.resconrec.2014.05.002>

- Sidenor 2016. Special steels. Hentet fra: <https://www.sidenor.com/wp-content/uploads/2016/12/Cat%C3%A1logo-Sidenor-Aceros-Especiales-Ing%CC%83%A9s.pdf>
- Singh, M.K. 2016. Application of steel in automotive industry. *International Journal of Emerging Technology and Advanced Engineering* 6(7): 246-265.
- Steel Recycling Institute 2020. Steel is the world's most recycled material. Hentet fra: <https://www.steelsustainability.org/recycling>
- Söderholm, P. & Ejdemo, T. 2008. Steel scrap markets in Europe and the USA. *Minerals & Energy-Raw Materials Report* 23(2): 57-73.
- Tan, J., Wehde, M.V., Brønd, F. & Kalvig, P 2020. Traded metal scrap, traded alloying elements: A case study of Denmark and implications for circular economy. *Resources, Conservation & Recycling*, 2020, 105242. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0921344920305577>
- Teknik & Administration Nr. 6 1997. Branchebeskrivelse for jern- og metalstøberier. Carl Bro A/S.
- Teknik & Administration Nr. 9 1997. Branchebeskrivelse for produkthandel, autoophug og jern- og metalgenindvindingsvirksomheder. Carl Bro A/S.
- Total Materia 2012. High Carbon Steels. Hentet 03.04.2019 fra: <https://www.total-materia.com/page.aspx?ID=CheckArticle&site=kts&NM=368>
- TradewellFerro 2020. <http://www.tradewellferro.com/products/alloy-steel-scrap>
- Twidwell, L.G., Dahnke, D.R., Arthur, B.W. & Nordwick, S.M. 1986. Recovery of metal values from metal-finishing hydroxide sludges by phosphate precipitation. *Hazard. Waste Res. Lab.* 338–351.
- Twidwell, L.G., Shuey, S.A., Flynn, D.R. & Dahnke, D.R. 1993. Selective recovery of nickel and cobalt from electromachining sludge materials. *Hazard. Waste & Hazard. Mater.* 10(3): 297-311.
- van Beukering, P., Kuik, O. & Oosterhuis, F. 2014. The Economics of Recycling. I Worrell, E. & Reuter, M. A. (Eds.): *Handbook of recycling: state-of-the-art for practitioners, analysts, and scientists*. Elsevier (479-489).
- van Schaik, A. & Reuter, M.A. 2012. Shredding, Sorting and Recovery of Metals from WEEE: Linking Design to Resource Efficiency. I Goodship, V, Stevels, A. & Huisman, J. (Eds.): *Waste Electrical and Electronic Equipment (WEEE) Handbook*. Woodhead Publishing (163-211).
- Velenturf, A., Iacovidou, E., Ng, K.S. & Millward-Hopkins, J. 2018. Evolution of Mechanical Heat Treatment for resource recovery from Municipal Solid Waste in the UK.
- Verhoeven, J.D. 2007. Steel Metallurgy for the Non-Metallurgists. ASM International 2007 (#05214G)
- Visvanathan, C., Tränkler, J. and Chiemchaisri, C. 2006. Mechanical biological pre-treatment of solid waste prior to landfill.
- World Steel Association 2018. *World Steel in Figures 2018*. ISBN 978-2-930069-89-0.
- World Steel Association 2020. Product Sustainability. Hentet fra: <https://www.world-steel.org/about-steel/product-sustainability.html>
- Worrell, E. & Reuter, M.E. 2014a. Recycling: A Key Factor for Resource Efficiency. I Worrell, E. & Reuter, M.A. (Eds.): *Handbook of recycling: state-of-the-art for practitioners, analysts, and scientists*. Elsevier (3-8).

Worrell, E. & Reuter, M.E. 2014b. Definitions and Terminology. I Worrell, E. & Reuter, M. A. (Eds.): Handbook of recycling: state-of-the-art for practitioners, analysts, and scientists. Elsevier (9-16).

Bilag A

Behandlingsaktiviteter og nyttiggørelseskoder (R1-R13)

Tabel A1 De syv danske behandlingsaktiviteter 01, 02, 03, 04, 07, 08 og 10 samt 11, som er en opsamlingsbetegnelse (Miljøstyrelsen 2020b).

Behandlingsaktivitet	Beskrivelse
01	<p>Genanvendelse (herunder forbehandling)</p> <p>Behandlingsaktiviteten <i>genanvendelse</i> dækker over forskellige former for slutbehandling, hvor affald bliver oparbejdet til materialer, produkter og stoffer. Det gælder f.eks. affald af glas, papir, pap, plastik og metal, der via en industriel proces, f.eks. omsmelting, omdannes til enten nye produkter eller til materialer eller stoffer, der kan anvendes til samme formål eller nye formål. Organisk affald, der omdannes til kompost, hører også under kategorien <i>genanvendelse</i>. Det samme gør bioaffald til forgasning, hvor det afgassede materiale - om nødvendigt efter yderligere behandling - bliver udspreddt på jorden med positive virkninger for landbrug eller miljø.</p> <p>I tabel 2 ses det, at <i>genanvendelse</i> kan kombineres med R2-R13. I og med behandlingsaktiviteten <i>genanvendelse</i> også dækker over diverse forbehandling, så kan <i>genanvendelse</i> også kombineres med forbehandling til <i>genanvendelse</i> (R12-R13) (se tabel 2). Det betyder, at <i>genanvendelse</i> i ADS-sammenhæng forstås bredere, end det er defineret i affaldsbekendtgørelsen.</p> <p>Genanvendelse kan ikke kombineres med bortskaffelseskoder (D1-D15) eller forbrænding med energiudnyttelse (R1) (se tabel 1 og 2).</p>
02	<p>Forbrænding (herunder forbehandling)</p> <p>Behandlingsaktiviteten <i>forbrænding</i> dækker over alt affald, der skal forbrændes, uanset om det er til nyttiggørelse (R1) eller bortskaffelse (D10). Det er typisk affald, der ikke er egnet til materialenyttiggørelse, og hvor der ikke er krav om deponering af affaldet.</p> <p>R1 anvendes for anlæg, der forbrænder affald, som har en positiv brændværdi, og hvor varmeenergien udnyttes effektivt, enten i en produktionsproces eller til el og fjernvarme. Anlæg, der forbrænder blandet kommunalt affald (20 03 01), skal leve op til den formel for energieffektivitet, der er angivet i Affaldsbekendtgørelsens bilag 5B under R1. De danske dedikerede forbrændingsanlæg lever op til denne formel. Kombinationen af D10 og <i>forbrænding</i> er også korrekt, hvis forbrændingen er en bortskaffelse, dvs. hvor en eventuel varmegevinst er rent sekundær. D10 anvendes som udgangspunkt ikke så meget i Danmark, da stort set al forbrænding af affald foregår i dedikerede forbrændingsanlæg, der producerer varme og el (R1).</p> <p>I tabel 1 og 2 ses det at <i>forbrænding</i> kan kombineres med enten forbrænding med energiudnyttelse (R1) eller med karakter af bortskaffelse (D10). Forbrænding kan også kombineres med forskellige former for forbehandling, så som ompakning og sammenpresning eller demontering, sortering, knusning, tørring, neddeling mv. inden forbrænding (D14-D15 og R12-R13). De midlertidige koder anvendes alt efter om den forbrænding, der er planlagt, er en nyttiggørende forbrænding eller ej. Således vil en oplagring forud for forbrænding/R1 skulle indberettes som forbrænding/R13, mens f.eks. presning og tørring forud for forbrænding/R1 vil skulle indberettes som forbrænding/R12.</p> <p>R1 og behandlingsaktiviteten <i>genanvendelse</i> kan ikke kombineres (se tabel 2). Denne kombination er ikke korrekt, da materialer ved en R1-behandling ikke materiale-nyttiggøres. I stedet er det affaldets energiindhold, der nyttiggøres til el og varme.</p>
03	<p>Deponering (herunder forbehandling)</p> <p>Den danske behandlingsaktivitet <i>deponering</i> omfatter alt affald, der går til bortskaffelse, og som ikke bortskaffes ved forbrænding (D10). Det vil først og fremmest sige affald til deponeringsanlæg for inert, mineralsk, farligt affald og blandet affald. De forskellige typer af deponeringsanlæg er defineret i bekendtgørelse om deponeringsanlæg. Eksempler på affald til deponering kan være: Glas og glasbaserede fibermaterialer, keramik, kakler og porcelæn, sanitet, blyindfattede ruder, spejle og planglas (der ikke kan genanvendes), støberisand, tjærepap, isoleringsmaterialer som mineraluld, leca-produkter, ikke genanvendeligt beton, glaseret tegl, skorstensrør og mursten med sod, bundaske og slagger (som ikke kan genanvendes), rejekt fra forbrændingsskrot, ikke-genanvendeligt PVC, ikke-støvende asbest og støvende asbest, slam fra rensningsanlæg uegnet til anden behandling, imprægneret træ og vejopfej.</p> <p>Behandlingsaktiviteten <i>deponering</i> kan kombineres med en række bortskaffelseskoder (D1-D6, D8, D9 og D12-D15), herunder koder for behandlinger, der ikke er deponering i traditionel forstand. For at minimere antallet af danske behandlingsaktiviteter har man valgt ikke at indføre ekstra betegnelser, for de</p>

	<p>mange former for bortskaffelse, men lade aktiviteten <i>deponering</i> dække en række forskellige bortskaffelseskoder.</p> <p><i>Deponering</i> bruges i forbindelse med behandling af affald i jordmiljø, hvor tilførslen ikke resulterer i nogen positiv påvirkning af landbrugsjord og miljø, f.eks. bionedbrydning af ikke-farligt flydende affald eller slam i jordbunden (D2). <i>Deponering</i> bruges også til permanent oplagring af affald i miner (D12), blandingsoperationer (D13), rekonditionering (D14) og oplagring forud for en endelig bortskaffelse (D15). Det skal dog understreges, at de danske deponier primært skal benytte bortskaffelseskoden D5 og kun i særlige tilfælde andre D-koder, se nedenfor under D1.</p> <p>Det ses også i tabel 2, at <i>deponering</i> ikke kan kombineres med nogle af nyttiggørelseskoderne (R1-R13). <i>Deponering</i> er ikke nyttiggørelse, og det vil derfor være ulogisk at kombinere en nyttiggørelseskode med <i>deponering</i>. Se i stedet "Afgiftsfritaget deponi" og "anden endelig materialenyttiggørelse" om situationer, hvor placering af affald kan minde om deponi, men hvor behandlingen er nyttiggørende.</p> <p>Aktiviteten omfattet af koden D11 (forbrænding på havet) er forbudt, og aktiviteten D7 (dumpning i havet) er normalt ikke tilladt i henhold til havmiljøloven. Kontakt Miljøstyrelsen hvis D11 eller D7 ønskes indberettet.</p>
04	<p>Særlig behandling (herunder forbehandling)</p> <p>Behandlingsaktiviteten <i>særlig behandling</i> omfatter udelukkende behandling af farligt affald. Det er f.eks. olie-, kemikalieaffald og klinisk risikoaffald.</p> <p>Affald til <i>særlig behandling</i> kan både kombineres med en række nyttiggørelseskoder (R1-R9 og R12-R13) og bortskaffelseskoder (D3, D5, D8-D10 og D12-D15) (se tabel 1 og 2), i form af slutbehandling eller forbehandling.</p>
07	<p>Afgiftsfritaget forbrænding (herunder forbehandling)*</p> <p><i>Afgiftstaget forbrænding</i> omfatter affald til forbrænding, der er fritaget for affaldsvarmeafgift og tillægsafgift i henhold til kulafgiftsloven § 7a4 og afgifter i henhold CO2 afgiftsloven. Det gælder f.eks. rent træaffald fra træforarbejdningsanlæg (herunder spåner og savsmuld) uden indhold af lim, lak, imprægnering og maling, men også råtræ, herunder grene, stød, rødder og andet rent vedmateriale, bark, skovflis og ubehandlet savværksflis. Affald, der er afgiftsfritaget, skal leveres i hele læs til forbrændingsanlægget. I disse tilfælde skal affaldsfritaget forbrænding kombineres med R1 (forbrænding med energinyttiggørelse). Afgiftsfritaget forbrænding kan også være klinisk risikoaffald eller andet farligt affald, og hvis forbrændingen heraf sker uden energiudnyttelse, skal der kombineres med D10 (forbrænding med karakter af bortskaffelse). Behandlingsaktiviteten kan også kombineres med forbehandlingsaktiviteterne R12 og R13 og D13-D15.</p>
08	<p>Afgiftsfritaget deponering (herunder forbehandling)*</p> <p>Affald til <i>afgiftsfritaget deponering</i> er affald, der er fritaget fra affaldsafgift i henhold til Lov om affaldsafgift § 9 stk. 2. Det gælder bl.a. ren jord til daglig afdækning eller slutafdækning på deponeringsanlæg; kompost, der anvendes til slutafdækning; deponering af aske eller slagter fra separat forbrænding af specificeret risikomateriale, hvor der foreligger veterinært krav om deponering; olie- og kemikalieforurennet sand fra kommunal strandrensning; affald i form af sten, tegl og brokker, der bruges til daglig afdækning og interimsveje.</p> <p><i>Afgiftsfritaget deponering</i> kan kombineres med bortskaffelseskoderne D5 samt D12-D15 (se tabel 1). <i>Afgiftsfritaget deponering</i> kan også kombineres med nyttiggørelseskoden R5, R12 eller R13 da <i>afgiftsfritaget deponering</i> kan være nyttiggørelse, når jord benyttes til nødvendig afdækning af deponier eller til interimsveje på deponeringsanlæg.</p>
10	<p>Forberedelse med henblik på genbrug (herunder forbehandling)</p> <p>Forberedelse med henblik på genbrug (herunder forbehandling) er en nyttiggørelsesoperation i form af kontrol, rengøring eller reparation, hvor produkter eller produktkomponenter, der er blevet til affald, forberedes, således at de igen kan anvendes til samme formål, som de var udformet til. Forberedelse med henblik på genbrug foretages eksempelvis ved rensning af mursten fra nedrevne bygninger, rengøring af flasker, reparation og kontrol af elektronikaffald før gensalg, vaskning og evt. reparation af tøj og møbler før gensalg.</p> <p>Forberedelse med henblik på genbrug kan kombineres med R2-R8, R12 og R13.</p>
11	<p>Anden endelig materialenyttiggørelse</p> <p>'Anden endelig materialenyttiggørelse' er en opsamlingsbetegnelse for de nyttige anvendelser af materialer, som ikke kan karakteriseres som genanvendelse eller genbrug. Affald kan nyttiggøres til et nyt formål, hvor materialet benyttes, men uden at det indgår i fremstillingen af nye produkter (genanvendelse) eller forberedes med henblik på genbrug. For at en behandling kan betragtes som anden endelig materialenyttiggørelse, er det afgørende, at anvendelsen af affaldet opfylder et behov, som ellers ville være blevet løst ved anvendelse af andre materialer. Eksempler på anden endelig materialenyttiggørelse er udspreddning af slam og knust gips på landbrugsjord med positiv effekt for jordmiljøet. Derudover ituskarne dæk som anvendes til drænlag i affaldsdeponier og brug af slagter fra affaldsforbrænding til vejunderlag. Desuden anvendelse af 'genbrugsstabil', 'genbrugsballast' og lignende former for nedknust</p>

	<p>bygge- og anlægsmateriale, der kan anvendes til bl.a. bærelag og bundsikring ved anlægning af nye veje, fortove, stier og p-pladser. Eksempelvis kan jord også materialenytiggøres, så det er velegnet til opfyldning og afretning af udgravede områder og byggegrunde, fyldningsmateriale i rør-, kabel- og ledningsgrave samt anlægsarbejder.</p> <p>Anden endelig materialenytiggørelse kan kombineres med: R5 og R10-R13</p>
--	---

***Afgiftsfritaget forbrænding (07) og Afgiftsfritaget deponering (08)**

Disse to behandlingsformer anvendes, når hhv. et deponeringsanlæg er fritaget for betaling af afgift af det modtagne affald i henhold til Lov om affaldsafgift eller et forbrændingsanlæg i henhold til kulafgiftsloven og CO₂ afgiftsloven er fritaget for betaling af afgift af det modtagne affald.

Tabel A2 Oversigt over de europæiske nyttiggørelseskoder (R1-R13) (Miljøstyrelsen 2020b).

Nyttiggørelseskode	Beskrivelse
R1	<p>Anvendelse som brændsel (fx forbrænding af affald til produktion af varme eller el)</p> <p>Denne kategori gælder affald, der er anvendt som brændsel. Det kan typisk være et forbrændingsanlæg, som producerer varme og elektricitet af restaffald, og som lever op til energieffektivitetsformlen angivet under R1 i affaldsbekendtgørelsen bilag 5. Alle dedikerede forbrændingsanlæg i Danmark lever efter Miljøstyrelsens oplysninger op til dette krav. Også medforbrænding ved f.eks. cementfremstilling angives som R1. Anlæg, der ikke forbrænder restaffald, men som f.eks. medforbrænder i produktion, skal ikke vurderes efter R1-formlen, men skal altid sørge for at udnytte varmeenergien effektivt. R1 skal altid kombineres med behandlingsaktiviteten forbrænding. Hvis affaldet alene bliver modtaget på et sorterings- eller omlastningsanlæg med henblik på, at det efterfølgende skal til et forbrændingsanlæg, så anvend ikke R1 men R12 eller R13 sammen med behandlingskode "forbrænding". Affald, som nyttiggøres ved produktion af brændselsprodukter, der ikke er affald (fx diesel eller brændselsbriketter), skal ikke indberettes med R1, men med R3 kombineret med anden endelig materialenytiggørelse.</p>
R2	<p>Nyttiggørelse/regenerering af opløsningsmidler</p> <p>Anlæg, der slutbehandler brugte opløsningsmidler, f.eks., så opløsningsmidlerne kan benyttes til deres oprindelige formål. Forbrænding af opløsningsmidler er R1.</p>
R3	<p>Nyttiggørelse/regenerering af organiske stoffer (herunder kompostering)</p> <p>Organisk affald, der er blevet slutbehandlet, så det enten kan bruges igen eller kan bruges til noget andet. Dette gælder både organisk affald, der er biologisk nedbrydeligt og organisk affald, der ikke er biologisk nedbrydeligt. Således er kompostering af mad- og haveaffald samt oparbejdning af papir-, pap-, træ- og plastaffald til nye produkter eksempler på organisk affald, der behandles ved R3. R3 anvendes f.eks. for komposteringsanlæg, hvor det komposterede materiale resulterer i et produkt, som ikke er affald. Udbringning på marken af slammet vil være R10. Til afgasset materiale fra biogasanlæg, som efterfølgende bliver udspredd på jorden med positive virkninger for landbrug eller miljø, anvendes kode R10. Kode R3 anvendes også til afsluttende oparbejdning af plastaffald til nye produkter. Forbehandling i form af sortering af papir- og papaffald eller af plastaffald, herunder infrarødbelysnings- eller densitets-sortering eller vaskning af plast, som ikke opnår affaldsfasens ophør, er ikke at betragte som slutbehandling i form af R3, men er en forbehandling i form af R12.</p>
R4	<p>Nyttiggørelse/genanvendelse af metal</p> <p>Slutbehandling af metalaffald, især ved omsmeltnings af metaller. Sortering af metalaffald kan være en slutbehandling, hvis metalaffaldet opnår affaldsfasens ophør på baggrund af forordningen om affaldsfasens ophør for metalskrot. Hvis affaldsfasen ikke ophører, anvendes i stedet kode R12.</p>
R5	<p>Nyttiggørelse/genanvendelse af uorganiske stoffer (ikke metal)</p> <p>Slutbehandling af uorganisk (og ikke-metallisk) affald så materialet kan bruges igen i nye produkter, eller anden endelig materialenytiggørelse af materiale. Dette gælder f.eks. omsmeltnings af glas (eller vask og findeling, sådan at affaldsfasens ophør opnås på baggrund af forordningen om affaldsfasens ophør for glas), affald, der bruges som sekundært materiale i cementproduktion (f.eks. slagge og flyveaske fra termiske processer), eller omsmeltnings af asfalt og nedkølet betonaffald, der indgår i produktion af ny beton. R5 bruges endvidere for affald, der bruges til havneopfyldning, etablering af støvvolde, opfyldning og lignende endelige materialenytiggørelsesoperationer, hvor egnet affald anvendes til reetablering af udgravede områder. R5 anvendes også om anvendelse af affald til ingeniørtekniske formål i forbindelse med anlægsarbejder ("backfilling"), og hvor affaldet anvendes som erstatning for andre ikke-affaldsmaterialer. Hvis affaldet, f.eks. bygge- og anlægsaffald, alene sorteres og ikke endeligt nyttiggøres ved operationen, så anvendes kode R12. Dog kan der for jordvask anvendes R5, selv om jordvasken ikke opnår affaldsfasens ophør.</p>

fortsættes næste side ...

... fortsat fra forrige side

R6	Regenerering af syrer eller baser Slutbehandling af syrer eller baser så væskeerne kan bruges igen til deres oprindelige formål eller andre formål. F.eks. opkoncentrering af brugt syre.
R7	Nyttiggørelse af komponenter, der har været benyttet til forureningsbekæmpelse Regenerering af materialer der har været anvendt til at bekæmpe forurening. F.eks. regenerering af aktivt kul, der har været anvendt til vandrensning eller røggasrensning, hvor man ved hjælp af opvarmning fjerner optagede stoffer fra kul.
R8	Nyttiggørelse af komponenter fra katalysatorer Reparation af katalysatorer så de kan genbruges som katalysatorer eller genanvendelse af katalysatordele. Metalkomponenter og ædelmetaller kan f.eks. genanvendes fra katalysatorer.
R9	Regenerering af olie Behandling der gør det muligt at bruge spildolie igen. Det kan være re-raffinering af olieaffald i form af brugt motorolie, gearolie, hydraulikolie, kompressorolie og transmissionsolie uden PCB til ny baseolie, som kan bruges til at producere nye olieprodukter. Det kan også være oparbejdning til brændstof, fx diesel.
R10	Spredning på jorden med positive virkninger for landbrug eller miljø Denne behandlingskode omfatter organisk eller mineralsk affald, der anvendes som gødning eller jordforbedringsmiddel. Affald til spredning på f.eks. landbrugsjord kan f.eks. være slam, kompost, afgasset gylle eller knust gips.
R11	Anvendelse af restaffald fra en R 1 til R 10 behandling Anvendelse af affald, der stammer fra behandlingstyperne R1 til R10. R11 er en opsamlingskode, som kun anvendes, hvis man ikke kan finde en passende kode under de øvrige genanvendelseskoder (R2-R10). Som udgangspunkt er brugen af koden derfor begrænset.
R12	Forbehandling af affald forud for nyttiggørelse (medmindre anden kode er relevant) Indledende behandling inden gennemførelse af en af operationerne med koder R1–R11. Det omfatter bl.a. demontering, sortering, knusning, sammenpresning, pelletering, tørring, neddeling, konditionering, ompakning, adskillelse eller blanding. Det kan evt. være pyrolyse forud for anden nyttiggørelse. Det kan f.eks. være komprimering og omlastning af blandet husholdningsaffald inden det sendes til f.eks. forbrænding. Andre eksempler er sortering af genanvendeligt affald i form af papir-, pap-, plast- eller metalaffald, eller neddeling af træaffald, inden det sendes til genanvendelse.
R13	Oplagring af affald forud for nyttiggørelse Opbevaring af affald i maksimum tre år, inden det skal behandles efter en af behandlingerne R1 til R12. Det anbefales, at R13 anvendes, når affaldet mellemhandles eller på anden måde skifter hænder uden at der sker noget med affaldets sammensætning, andet end måske en kvalitetskontrol. Det kan f.eks. være en midlertidig oplagring forud for forbrænding, som tidligere havde sin egen kode, men som nu kan indberettes ved en kombination af Forbrænding og R13. Hvis affaldet oplagres i mere end 3 år, er oplagringen at betragte som et deponeringsanlæg, jf. bekendtgørelsen om deponering 13 paragraf 3 stk. 1 punkt 10 a. Affaldet skal i så fald betragtes som deponering ved D5.

Bilag B

European Steel Scrap Specifications

Tabel B1 Uddrag fra European Steel Scrap Specification (<http://jfab.com/custom/euspec.pdf>).

Category	Specification	Description	Dimensions	Density	Steriles (1)
OLD SCRAP	E3	Old thick steel scrap, predominantly more than 6mm thick in sizes not exceeding 1.5 x 0.5 x 0.5 m, prepared in a manner to ensure direct charging. May include tubes and hollow sections. Excludes vehicle body scrap and wheels from light vehicles. Must be free of rebars and merchant bars, free of metallic copper, tin, lead (and alloys), mechanical pieces and steriles to meet the aimed analytical contents. Refer to points B) and C) of the general conditions.	Thickness ≥ 6mm <1.5 x 0.5 x 0.5 m	≥ 0.6	≤ 1 %
	E1	Old thin steel scrap predominantly less than 6 mm thick in sizes not exceeding 1.5 x 0.5 x 0.5 m prepared in a manner to ensure direct charging. If greater density is required it is recommended that maximum 1 metre is specified. May include light vehicle wheels, but must exclude vehicle body scrap and domestic appliances. Must be free of rebars and merchant bars, free of metallic copper, tin, lead (and alloys), mechanical pieces and steriles to meet the aimed analytical contents. Refer to points B) and C) of the general conditions.	Thickness < 6mm <1.5 x 0.5 x 0.5 m	≥ 0.5	< 1.5 %
NEW SCRAP Low Residuals, Uncoated (2)	E2	Thick new production steel scrap predominantly more than 3mm thick prepared in a manner to ensure direct charging. The steel scrap must be uncoated unless permitted by joint agreement and be free of rebars and merchant bars even from new production. Must be free of metallic copper, tin, lead (and alloys), mechanical pieces and steriles to meet the aimed analytical contents. Refer to points B) and C) of the general conditions.	Thickness ≥ 3 mm <1.5 x 0.5 x 0.5 m	≥ 0.6	< 0.3 %
	E8	Thin new production steel scrap predominantly less than 3mm thick prepared in a manner to ensure direct charging. The steel scrap must be uncoated unless permitted by joint agreement and be free of unbound ribbons to avoid trouble when charging. Must be free of metallic copper, tin, lead (and alloys), mechanical pieces and steriles to meet the aimed analytical contents. Refer to points B) and C) of the general conditions.	Thickness < 3 mm <1.5 x 0.5 x 0.5 m (except bound ribbons)	≥ 0.4	< 0.3 %
	E6	New production thin steel scrap (less than 3mm thick) compressed or firmly baled in a manner to ensure direct charging. The steel scrap must be uncoated unless permitted by joint agreement. Must be free of metallic copper, tin, lead (and alloys), mechanical pieces and steriles to meet the aimed analytical contents. Refer to points B) and C) of the general conditions.		≥ 1	< 0.3 %
SHREDDED	E40	Shredded steel scrap. Old steel scrap fragmented into pieces not exceeding 200 mm in any direction for 95% of the load. No piece, in the remaining 5%, shall exceed 1000mm. Should be prepared in a manner to		>0.9	< 0.4 %

		ensure direct charging. The scrap shall be free of excessive moisture, loose cast iron and incinerator material (especially tin cans). Must be free of metallic copper, tin, lead (and alloys), and steriles to meet the aimed analytical contents. Refer to points B) and C) of the general conditions.			
STEEL TURNINGS	E5H	Homogeneous lots of carbon steel turnings of known origin, free from excessive bushy. Should be prepared in a manner to ensure direct charging. Turnings from Free Cutting Steel must be clearly identified. The turnings must be free from all contaminants such as non-ferrous metals, scale, grinding dust and heavily oxidized turnings or other materials from chemical industries. Prior chemical analysis could be required.			(*)
	E5M	Mixed lots of carbon steel turnings, free from excessive bushy and free from turnings from Free Cutting Steel. Should be prepared in a manner to ensure direct charging. The turnings must be free from all contaminants such as non-ferrous metals, scale, grinding dust and heavily oxidised turnings or other materials from chemical industries.			(*)
HIGH RESIDUAL SCRAP	EHRB (4)	Old and new steel scrap consisting mainly of rebars and merchant bars prepared in a manner to ensure direct charging. May be cut, sheared or baled and must be free of excessive concrete or other construction material. Must be free of metallic copper, tin, lead (and alloys), mechanical pieces and steriles to meet the aimed analytical contents. Refer to points B) and C) of the general conditions.	Max. 1.5 x 0.5 x 0.5 m	≥ 0.5	<1.5 %
	EHRM (5)	Old and new mechanical pieces and components not accepted in the other grades prepared in a manner to ensure direct charging. May include cast iron pieces (mainly the housings of the mechanical components). Must be free of metallic copper, tin, lead (and alloys) and pieces such as bearing shells, bronze rings and others as well as steriles, to meet the aimed analytical contents. Refer to points B) and C) of the general conditions.	Max. 1.5 x 0.5 x 0.5 m	≥ 0.6	<0.7 %
FRAGMENTED SCRAP FROM INCINERATION	E46	Fragmentized incinerator scrap. Loose steel scrap processed through an incinerating plant for household waste followed by magnetic separation, fragmentized into pieces not exceeding 200 mm in any direction and consisting partly of tin coated steel cans. Should be prepared in a manner to ensure direct charging. The scrap shall be free of excessive moisture and rust. Must be free of excessive metallic copper, tin, lead (and alloys) and steriles to meet the aimed analytical contents. Refer to points B) and C) of the general conditions.		≥ 0.8	Fe content ≥ 92 %

- (1) Corresponds to the weight of steriles, not adhering to the scrap, remaining at the bottom of the vehicle after unloading by magnet
- (2) Coated Material must be notified
- (3) Free from all contaminants (non-ferrous metals, scale, grinding dust, chemical materials, excess oil)
- (4) Rebar and Merchant Bar must be classified apart due essentially to the copper content which could place them out with old scrap and new scrap low residual grades.
- (5) Mechanical and engine components must be classified apart principally due to their Ni, Cr and Mo content which could place them with the thick old scrap and heavy scrap low residual grades.
- (*) To date, no clear method to determine these values.

Tabel B2 Aimed analytical contents. Uddrag fra European Steel Scrap Specification (<http://jbfab.com/custom/euspec.pdf>). The values retained for the analytical contents are those that have been experienced in real terms in the various countries of the European Union and are achieved by scrap yards working normally with standard methods and standard equipment.

Category	Specification	Aimed Analytical Contents (residuals) in %				
		Cu	Sn	Cr, Ni, Mo	S	P
OLD SCRAP	E3	≤0.250	≤0.010	∑≤0.250		
	E1	≤0.400	≤0.020	∑≤0.300		
NEW SCRAP Low Residuals, Uncoated (2)	E2	∑≤0.300				
	E8	∑≤0.300				
	E6	∑≤0.300				
SHREDDED	E40	∑≤0.250	∑≤0.020			
STEEL TURNINGS	E5H	Prior chemical analysis could be required				
	E5M	≤0.400	≤0.030	∑≤1	≤0.100	
HIGH RESIDUAL SCRAP	EHRB	≤0.450	≤0.030	∑≤0.350		
	EHRM	≤0.400	≤0.030	∑≤1.0		
FRAGMENTISED SCRAP FROM IN- CINERATION	E46	≤0.500	≤0.070			

Bilag C

The European Standard EN 13920 Aluminium and aluminium alloys – scrap

Tabel C1 Den europæiske standard for klassifikation af aluminiumskrot inddelt i klassifikationskoderne 13920-2 til 13920-16 (<https://aluminium-guide.com/en/klaskifikaciya-alyuminievogo-loma/>).

Klassifikations-kode	Beskrivelse
DIN EN 13920-2	Unalloyed Aluminum
DIN EN 13920-3	Wire and cable scrap
DIN EN 13920-4	Scrap consisting of one single wrought alloy
DIN EN 13920-5	Scrap consisting of two or more wrought alloys of the same series
DIN EN 13920-6	Scrap consisting of two or more wrought alloys
DIN EN 13920-7	Scrap consisting of castings
DIN EN 13920-8	Scrap consisting of non-ferrous materials from shredding processes destined to Aluminum separation processes
DIN EN 13920-9	Scrap from Aluminum separation processes of non-ferrous shredded materials
DIN EN 13920-10	Scrap consisting of used Aluminum beverage cans
DIN EN 13920-11	Scrap from aluminum-copper radiators
DIN EN 13920-12	Turnings consisting of one single alloy
DIN EN 13920-13	Mixed turnings consisting of two or more alloys
DIN EN 13920-14	Scrap from post-consumer aluminum packagings
DIN EN 13920-15	Decoated aluminum scrap from post-consumer aluminum packagings
DIN EN 13920-16	Scrap consisting of skimmings, drosses, spills and metallics

Bilag D

Udvalgte EAK-koder fra det europæiske Affaldskatalog

Da denne rapport's fokus er jern- og metalkrot, ses i Tabel D1 de EAK-koder, som vurderes at repræsentere hovedparten af det skrot af jern og metal, som danske genvindingsvirksomheder mest sandsynligt anvender ved indberetninger. Listen er derfor ikke udtømmende og andre EAK-koder kan være benyttet af virksomhederne.

Tabel D1 Udvalgte EAK-koder som omfatter affald af jern og metal. EAK-kode med fed skrift: de koder, som vi vurderer genvindingsvirksomhederne benytter; understregning: grupper, hvor der kan være farligt affald. For hver sort kasse: xx – kapitel, xx yy – gruppe, xx yy zz – undergruppe. Opbygningen følger de tre niveauer: kapitel, gruppe og undergruppe (<https://www.retsinformation.dk/eli/ta/2019/224>).

EAK-kode	Navn	Eksempler på skrot
10	Affald fra termiske processer	
10 03	Affald fra termisk baserede aluminiumsværker	
10 03 16	Afskummet materiale	
10 04	Affald fra termisk baserede blyværker	
10 04 01	<u>Slagge fra primær og sekundær forarbejdning</u>	Aske og slagge
10 08	Affald fra andre termiske baserede ikke-jernmetallværker	
10 08 11	Slagge og afskummet materiale	Slagge
10 09	Affald fra jernstøberier	Slagge, støbekerner, støv & andet materiale
10 10	Affald fra metalstøberier	Slagge, støbekerner, støv & andet materiale
12	Affald fra formning, tildannelse samt fysisk og mekanisk overfladebearbejdning af metal og plast	
12 01	Affald fra formning, tildannelse samt fysisk og mekanisk overfladebehandling af metal og plast	
12 01 01	Filspåner og drejerspåner af jern	Spåner
12 01 02	Metalstøv og -partikler af jern	Støv
12 01 03	Filspåner og drejerspåner af ikke-jernmetal	Spåner
12 01 04	Metalstøv og -partikler af ikke-jernmetal	Støv
15	Emballageaffald, absorptionsmidler, aftøringsklude, filtermaterialer og beskyttelsesdragter, ikke andetsteds specificeret	
15 01	Emballage (herunder separat indsamlet emballageaffald fra husholdninger)	
15 01 04	Metalemballage	Dåser (Al) og Fe-dåser
16	Affald ikke specificeret andetsteds i listen	
16 01	Udtjente køretøjer fra forskellige transformere og affald fra ophugning af udtjente køretøjer og fra vedligeholdelse af køretøjer	
16 01 04	<u>Udtjente køretøjer</u>	Ikke-miljøbehandlede biler
16 01 06	Udtjente køretøjer, som hverken indeholder væsker eller andre farlige dele	Miljøbehandlede biler
16 01 17	Jernholdigt metal	Bilskrot af jern

16 01 18	Ikke-jernmetal	<i>Bilskrot af andre metaller (Al, Cu, Pb, Mg, Ni, Sn & Zn mv.)</i>
16 06	Batterier og akkumulatorer	
16 06 01	Blyakkumulatorer	<i>Blyakkumulatorer fra lastbiler</i>
17	Bygnings- og nedrivningsaffald (herunder opgravet jord fra forurenede grunde)	
17 04	Metaller (og legeringer heraf)	
17 04 01	Kobber, bronze, messing	<i>Plader og rør</i>
17 04 02	Aluminium	<i>Ekstruderinger, profiler og skinner</i>
17 04 03	Bly	<i>Diverse materialer af bly</i>
17 04 04	Zink	<i>Plader og rør</i>
17 04 05	Jern og stål	<i>Svært og let jern, armeringsjern, stålbjælker</i>
17 04 06	Tin	<i>Diverse materialer af tin</i>
17 04 07	Blandet metal	<i>Diverse materialer af blandet metal</i>
17 04 09	<u>Metallaffald forurenet med farlige stoffer</u>	<i>Diverse materialer af blandet metal</i>
17 04 10	<u>Kabler indeholdende olie, kultjære eller andre farlige stoffer</u>	<i>Kabler (Al, Cu og Pb)</i>
17 04 11	Kabler, bortset fra affald henhørende under 17 04 10	<i>Kabler (Al, Cu og Pb)</i>
19	Affald fra affaldsbehandlingsanlæg, spildevandsrensingsanlæg uden for produktionsstedet samt fra fremstilling af drikkevand eller vand til industrielt brug	
19 01	Affald fra forbrænding eller pyrolyse af affald	
19 01 02	Jernholdigt materiale fjernet fra bundaske	<i>Bundaske og slagge</i>
19 10	Affald fra fragmentering af metalholdigt affald	
19 10 01	Jern- og stålaffald	<i>Shredderskrot af jern og stål</i>
19 10 02	Ikke-jernmetal	<i>Shredderskrot af blandede metaller (Al, Cu, Pb, Mg, Ni, Sn, Zn & rustfrit stål). ISRI – Zorba & Zeppelin</i>
19 12	Affald fra mekanisk behandling af affald (f.eks. sortering, neddeling, sammenpresning og pelletering)	
19 12 02	Jernholdigt metal	<i>Diverse materialer af jern og stål</i>
19 12 03	Ikke-jernholdigt metal	<i>Diverse materialer af blandet metal (Al, Cu, Pb, Mg, Ni, Sn & Zn mv.)</i>
20	Husholdningsaffald og lignende handels-, industri- og institutionsaffald, herunder separat indsamlede fraktioner	
20 01	Separat indsamlede fraktioner	
20 01 33	<u>Batterier eller akkumulatorer henhørende under 16 06 01, 16 06 02 eller 16 06 03 samt usorterede batterier og akkumulatorer indeholdende disse batterier</u>	<i>Batterier fra biler</i>
20 01 36	Kasseret elektrisk og elektronisk udstyr	<i>WEEE, transformer, elmotor, kabler (Al, Cu og Pb)</i>
20 01 40	Metaller	<i>Svært og let jern, armeringsjern, støbejern, rustfrit stål, udstansninger, spåner og afklip af blandende metaller (Al, Cu, Pb, Mg, Ni, Sn & Zn mv.)</i>

Bilag E

Dansk Branchekode (DB07): 38.32 - Genbrug af sorterede materialer

Statistisk set er genvindingsbranchen ikke beskrevet som en selvstændig branche og er derfor ikke afgrænset i forhold til økonomiske aktiviteter. Der er derfor taget udgangspunkt i Dansk Branchekode (DB07), der indeholder en detaljeret klassifikation og beskrivelse af virksomheder med hovedaktiviteter på genbrug af sorterede materialer (DB07 - 38.32 Genbrug af sorterede materialer) (Tabel E1). Genvindingsbranchen kan således beskrives ved de virksomheder hvis hovedaktiviteter omfatter *forarbejdning af affald til sekundære råmaterialer, samt adskillelse og sortering af ikke farligt affald. Branchen omfatter ikke fremstilling af nye slutprodukter.*

Tabel E1 Dansk Branchekode (DB07) med beskrivelse af branchen 38.32 – Genbrug af sorterede materialer (<https://www.dst.dk/Site/Dst/Udgivelser/GetPubFile.aspx?id=11119&sid=helepubl>).

Dansk Branchekode (DB07)	Beskrivelse af branchen
38.32 – Genbrug af sorterede materialer	<p>Branchen omfatter forarbejdning af affald til sekundære råmaterialer, samt adskillelse og sortering af ikke farligt affald. Branchen omfatter ikke fremstilling af nye slutprodukter.</p> <p>Omfatter: Forarbejdning af metalholdigt og ikke-metalholdigt affald, skrot og genstande til sekundære råmaterialer</p> <p>Omfatter også: Genbrug af affald i form af (1) adskillelse og sortering af ikke-farligt affald, dvs. køkkenaffald eller (2) adskillelse og sortering af blandede genbrugsmaterialer såsom papir, plastik, brugte øl- og sodavandsdåser</p> <p>Der anvendes eksempelvis følgende mekaniske og kemiske transformeringsprocesser:</p> <ul style="list-style-type: none">- Mekanisk knusning af metalaffald fra brugte biler, vaskemaskiner, cykler osv.- Mekanisk reduktion af store jernstykker, fx jernbanevogne- Fragmentering af metalaffald, udtjente køretøjer osv.- Andre former for mekanisk forarbejdning, fx neddeling og presning med henblik på at reducere volumen- Genvinding af metaller fra fotoaffald, fx fikservæske eller fotografisk film og papir- Genvinding af gummi såsom brugte dæk med henblik på fremstilling af sekundære råmaterialer- Sortering og pelletering af plast med henblik på fremstilling af sekundære råmaterialer til slanger, urtepotter, paller o.l.- Forarbejdning (rensning, smeltning og formaling) af plast- og gummi affald til granulater- Knusning, rensning og sortering af glas- Knusning, rensning og sortering af andet affald såsom nedrivningsaffald til sekundære råmaterialer- Forarbejdning af brugte spiselige olier og fedtstoffer til sekundære råmaterialer- Forarbejdning af andet affald fra mad- og drikkevarer og tobak samt reststoffer til sekundære råmaterialer

fortsættes næste side ...

... fortsat fra forrige side

	<p>Omfatter ikke:</p> <ul style="list-style-type: none">- Fremstilling af nye slutprodukter af sekundære råmaterialer (uanset om disse er egenfremstillede), fx spinning af garn af kradsuld, fremstilling af papirmasse af papiraffald, vulkanisering af dæk eller metalfremstilling af metalskrot, jf. tilsvarende undergrupper i hovedafdeling C (Fremstillingsvirksomhed)- Oparbejdning af atombrændstof, jf. 20.13.00- Materialegenindvinding under affaldsforbrænding eller -destruktion, jf. 38.2- Omsmeltning af jernholdigt affald, jf. 24.10.00- Behandling og bortskaffelse af organisk affald, inklusiv kompostering, jf. 38.21.10- Behandling og bortskaffelse af ikke-farligt affald, jf. 38.21- Behandling af organisk affald med henblik på bortskaffelse, jf. 38.21- Energigenvinding under destruktion af ikke-farligt affald, jf. 38.21- Behandling og bortskaffelse af letnedbrydeligt radioaktivt affald fra hospitaler, jf. 38.22.00- Behandling og bortskaffelse af giftigt, kontamineret affald, jf. 38.22.00 <p>Engroshandel med genindvindelige materialer, jf. 46.77.00</p>
--	--

Bilag F

Dansk Branchekode (DB07): 24.5 - Støbning af metalprodukter

I Danmarks Statistik er støberierne registreret i henhold til Dansk Branchekode (DB07).

Gruppen 24.5: *Støbning af metalprodukter* er inddelt i fire undergrupper (Tabel F1):

- 24.51 Støbning af jernprodukter
- 24.52 Støbning af stålprodukter
- 24.53 Støbning af letmetalprodukter
- 24.54 Støbning af andre ikke-jernholdige metalprodukter

Tabel F1 Dansk Branchekode (DB07) med beskrivelse af støberibranchens underopdeling (<https://www.dst.dk/Site/Dst/Udgivelser/GetPubFile.aspx?id=11119&sid=helepubl>).

Dansk Branchekode (DB07)	Beskrivelse af branchen
24.51 – Støbning af jernprodukter	Branchen omfatter støbning af jernprodukter (jernstøberier). Omfatter: <ul style="list-style-type: none">- Støbning af jernprodukter- Støbning af halvfabrikata af jern- Støbning af jernstøbegods- Støbning af jernstøbegods med kuglegratit- Støbning af tempergods- Fremstilling af rør og fittings af støbejern
24.52 – Støbning af stålprodukter	Branchen omfatter støbning af stålprodukter (stålstøberier). Omfatter: <ul style="list-style-type: none">- Støbning af halvfabrikata af stål- Støbning af stålstøbegods- Fremstilling af rør af stål uden sammenføjning ved centrifugal støbning- Fremstilling af rørfittings af støbestål
24.53 – Støbning af letmetalprodukter	Branchen omfatter støbning af støbegods og halvfabrikata af letmetal, herunder aluminium, magnesium, titan (titanium), zink mv. Omfatter: <ul style="list-style-type: none">- Støbning af halvfabrikata af aluminium, magnesium, titan, zink mv.- Støbning af støbegods af letmetal
24.54 – Støbning af andre ikke-jernholdige metalprodukter	Branchen omfatter støbning af ædelmetal og tungmetal, samt trykstøbning af ikkejernholdigt støbegods. Støbning af jern, stål og letmetal er ikke omfattet. Omfatter: <ul style="list-style-type: none">- Støbning af støbegods af tungmetal- Støbning af støbegods af ædelmetal- Trykstøbning af ikke-jernholdigt støbegods



MiMa rapport 2020/2 Udfordringer for bæredygtig genanvendelse af dansk jern- og metalkrot

Global befolkningsvækst og øget købekraft fordrer bedre udnyttelse af mineralske ressourcer og har affødt politisk fokus på bæredygtighed og cirkulære materialekredsløb, som det bl.a. er udtrykt i FN's Verdensmål. Genanvendelse af metaller fra jern- og metalkrot kan potentielt være et væsentligt bidrag til øget bæredygtighed, men er udfordret af betydelige tab af metaller relateret til utilstrækkelig indsamling, skrotbearbejdning og omsmelting. Tabene skyldes bl.a., at metaller typisk anvendes som materialer bestående af blandinger af metaller – legeringer – som teknologisk er vanskelige eller bekostelige at skille ad. Men der foreligger meget lidt viden om omfanget af materialetabene.

Scrap-Track-projektet blev derfor igangsat for at skaffe mere viden om: (i) hvilke legeringsmetaller der er 'blinde passagerer' i eksporten af dansk jern- og metalkrot; (ii) det volumenmæssige omfang af legeringsmetallerne; og (iii) hvilke af disse legeringsmetaller, der ikke genvindes funktionelt eller helt mistes under omsmeltingen, og dermed er lækager i det cirkulære kredsløb.

Undersøgelsen er primært baseret på danske og internationale statistiske data fra 2017, samt interview med eksperter fra industrien. Analysen viser, at følgende 18 metaller er de hyppigst forekommende legeringsmetaller i dansk metalkrot: aluminium, bismut, bly, gallium, jern, kobber, kobolt, krom, magnesium, mangan, molybdæn, nikkel, niobium, tin, titan, vanadium, wolfram og zink. Hovedparten af de eksporterede legeringsmetaller er knyttet til jern- og stålskrot og omfatter især krom, mangan, molybdæn og nikkel.

Den danske skrotbranche omfatter ca. 100 virksomheder. Da der ikke længere er smelteværker i Danmark, og der blot er nogle få støberier, som de eneste danske aftagere af skrot, eksporteres hovedparten af jern- og metalkrot til udlandet. Tyskland og Sverige er de største aftagere af dansk skrot med voksende eksport til Kina, Indien og Tyrkiet. I 2017 udgjorde eksporten ca. 1,6 mio. ton jern- og stålskrot, 91.000 ton aluminiumskrot og 34.000 ton kobberskrot til en samlet værdi af ca. 5 mia. kr.

Undersøgelsen konkluderer, at genvinding af skrotmetaller ikke er cirkulære og peger på, at for jern- og stålskrot tabes især kobber, tin og bismut; for aluminiumskrot tabes især zink, magnesium, tin, bly og bismut, og for kobberskrot er det især legeringsmetallerne jern, aluminium, mangan og magnesium som tabes. Med mere viden om årsagerne til tabene kan de cirkulære kredsløb forbedres.

Videncenter for Mineralske Råstoffer og Materialer (MiMa) er et rådgivende center under De Nationale Geologiske Undersøgelser for Danmark og Grønland (GEUS). MiMa formidler viden om mineralske ressourcers værdikæde fra efterforskning og udvinding til forbrug, genanvendelse og udviklingen af nye teknologier.