

“1743: 275 jaar voorlopers in de chemie”



Woudschoten Chemie Conferentie 2018
Onno Kramer

Abstract:

Gezond drinkwater - Een doorkijk door de tijd van gezond drinkwater

Van een afstand in de ruimte ziet onze aarde er blauw uit. Je zou het daarom misschien niet verwachten, maar onze mooie planeet is toch heel erg droog. Met een toenemende wereldbevolking en een wens naar meer welvaart neemt de ‘water-stress’ steeds meer toe en dit betreft vooral zoet en schoon water.

Het milieu wordt zwaarder belast met een scala aan chemische stoffen die op hun beurt een bedreiging vormen voor de volksgezondheid. Onze eerste primaire levensbehoefte is gezond drinkwater en dit vinden we in de westerse wereld heel vanzelfsprekend. Echter, op iets meer dan twee uur vliegen is het maar de vraag of het verstandig is om uit de kraan te drinken. In toenemende mate moeten er steeds complexere stoffen uit het water worden gehaald en dit vraagt steeds meer van de chemische zuiveringen bij de bereiding van drinkwater.

In deze masterclass wordt aan de hand van de geschiedenis van Nederlands eerste waterleidingbedrijf uitgelegd hoe betrouwbaar drinkwater door de tijd heen werd bereid en hoe Nederland heden ten dage in staat is om het beste drinkwater van de wereld te bereiden. Ons drinkwater heeft vergelijkbare kwaliteit als flesjeswater alleen is het drinkwater uit de kraan veel goedkoper en duurzamer. Nederland als Deltaland, is een waterexpert en deelt en verspreidt deze kennis internationaal. Kennis dient te stromen.

Deze masterclass gaat tevens in op het onderwerp duurzaamheid en drinkwater. Als wij willen dat volgende generaties ook zorgeloos uit de kraan kunnen blijven drinken moeten we duurzamer gaan werken. Waterbedrijven dragen hier al aan bij en vinden steeds betere oplossingen om de waterzuiveringsprocessen duurzaam te maken. De ontharding van drinkwater is hier een goed voorbeeld van. Bij het zachter maken van drinkwater worden er ook reststoffen geproduceerd. Van deze reststoffen worden nu weer nuttige grondstof van gemaakt en zo dragen we bij aan een circulaire economie.

Naast de geschiedenis en de duurzaamheid gaat deze masterclass ook in op de processen van drinkwaterbereiding. De drinkwaterbereiding is een combinatie van zowel chemische, fysische als biologische processen en naast een circulaire aanpak ook een kwestie van een interdisciplinair aanpak.

De masterclass “Gezond drinkwater - Een doorkijk door de tijd van gezond drinkwater” biedt u als docent kennis in diverse facetten van gezond drinkwater. De kennis die u bij deze masterclass op doet is heel geschikt om in uw eigen lespraktijk op uw eigen school uit te dragen.

Onno Kramer2/3 november 2018



Water



Proces

Circulair

2 november 2018 masterclass drinkwater
Onno Kramer

Water
chemie?

Drinkwater!
Chemie?

Drinkwater, lekker belangrijk



Water is soms gratis

Veel overheden verhogen de prijs om het watergebruik te verminderen. In islamitische landen kan granaat beschikbaar. Een land als Egypte betaalt per jaar tot 10 miljard dollar voor waterprojecten voor zijn landbouw. Daarbij is Egypte erg afhankelijk van het water van de Nijl. Als landen ten zuiden van Egypte veel water van de Nijl aftappen, is dat een bedreiging voor Egypte. Dat kan zelfs tot oorlog leiden.

Drinkwater uit grond- en oppervlaktewater

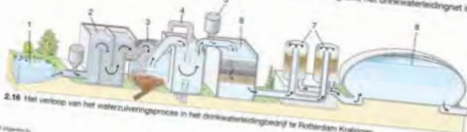
Vroeger was het rivierwater schoon genoeg om te gebruiken voor de was. Grondwater werd bij de mensen thuis opgepompt en diende als drinkwater. Tegenwoordig moet **drinkwater** aan strenge kwaliteitseisen voldoen. Je kunt deze eisen nazaken op de site.

Water heeft een **zelfreinigend vermogen** dat we **biologische reiniging** noemen. Er leven kleine organismen in het water die dode dieren en planten opeten die in het water terechtkomen. Ook bacteriën en schimmels kunnen dit soort vuil opruimen en verteren. Het is een proces dat **biologische reiniging** heet. Om hun werk goed te kunnen doen hebben deze organismen allemaal zuurstof nodig. In water zit zuurstof opgelost, maar dat is niet veel. Als het water te vuil is of er zit te weinig zuurstof in, dan verliest het water zijn zelfreinigend vermogen.

Vanaf 1850 groeide het aantal fabrieken, die voor aan- en afvoer van hun producten rivieren gebruikten. Het afval van deze fabrieken kwam in het rivierwater terecht. Bovendien werden de steden groter, waarvoor er steeds meer mensen hun afval in de rivieren voldoende was geweest, kon de enorme toename van afvalstoffen niet meer aan. De afgelopen jaren is de kwaliteit van het rivierwater sterk verbeterd door het

terengingen van de vervuiling door fabrieken en door grootschalige rioolwaterzuivering. Toch moet het water eerst gezuiverd worden voordat het geschikt is als drinkwater. We noemen dit **drinkwaterbereiding**. In figuur 2.16 kun je zien hoe dit zuiveringsproces in zijn werk gaat.

- 1 In de Biesbosch wordt water opgepompt uit de Maas en voor een half jaar opgeslagen in een open waterreservoir. Tijdens deze periode kunnen allerlei vaste bestanddelen bezinken en vindt er een natuurlijke zuivering van het water plaats.
- 2 Na deze voorzuivering wordt het water naar het eigenlijke zuiveringsgebied in Rotterdam gevoerd. Hier voegt men een stof aan het water toe (spumaftaalt), die de bijzondere eigenschap heeft kleine vlokken te vormen, waarin allerlei zwevende verontreinigingen als het ware worden ingekapseld.
- 3 De gevormde vlokken laat men **bezinken**. Het bezinksel wordt weggehaald.
- 4 Nu de zwevende verontreinigingen grotendeels zijn verwijderd, worden de opgeloste afvalstoffen aangepakt. Dit gebeurt door **ozon** in het water te blazen. Dit gas reageert met de afvalstoffen waardoor ze worden afgebroken. Ook doodt ozon de nog in het water aanwezige bacteriën en andere ziektekiemen.
- 5 Omdat tijdens de behandeling met ozon weer nieuwe zwevende bestanddelen in het water kunnen ontstaan, wordt het toevoegen van het vlokmiddel **spumaftaalt** herhaald.
- 6 Daarna wordt het water **verzuurd** met behulp van filterbedden die bestaan uit lagen grint, zand en actiocoal.
- 7 Eventueel aanwezige opgeloste kleur-, geur- en smaakstoffen worden verwijderd door behandeling van het water met het **actieve kool**.
- 8 Vervolgens wordt nog een klein beetje chloor toegevoegd om besmetting van het water te voorkomen. Hierna kan het water, na een tussenstop in een opslagtank, het drinkwaterleidingnet in.



2.16 Het verloop van het waterzuiveringsproces in het drinkwaterleidingnet in Rotterdam-Kralingen



Waterchemie



group 1

period 1

1

2

3

4

5

6

7

8

9

10

11

12

13

14

15

16

17

18

1.00794

1312.0

2.20

1

1

H

Hydrogen

1s¹

6.941

520.2

0.98

3

1

Li

Lithium

1s² 2s¹

22.98976

495.8

0.93

11

1

Na

Sodium

[Ne] 3s¹

39.0983

418.8

0.82

19

1

K

Potassium

[Ar] 4s¹

85.4678

403.0

0.82

37

1

Rb

Rubidium

[Kr] 5s¹

132.9054

375.7

0.79

55

1

Cs

Cesium

[Xe] 6s¹

(223)

380.0

0.70

87

1

Fr

Francium

[Rn] 7s¹

9.012182

899.5

1.57

4

2

Be

Beryllium

1s² 2s²

24.3050

737.7

1.31

12

2

Mg

Magnesium

[Ne] 3s²

40.078

589.8

1.00

20

2

Ca

Calcium

[Ar] 4s²

88.90585

600.0

1.22

38

2

Sr

Strontium

[Kr] 5s²

137.327

502.9

0.89

56

2

Ba

Barium

[Xe] 6s²

174.9668

523.5

1.27

71

2

Lu

Lutetium

[Xe] 4f¹⁴ 5d¹ 6s²

178.49

658.5

1.30

72

2

Hf

Hafnium

[Xe] 4f¹⁴ 5d² 6s²

180.9478

761.0

1.50

73

2

Ta

Tantalum

[Xe] 4f¹⁴ 5d³ 6s²

183.84

770.0

2.36

74

2

W

Tungsten

[Xe] 4f¹⁴ 5d⁴ 6s²

186.207

760.0

1.90

75

2

Re

Rhenium

[Xe] 4f¹⁴ 5d⁵ 6s²

190.23

840.0

2.20

76

2

Os

Osmium

[Xe] 4f¹⁴ 5d⁶ 6s²

192.217

880.0

2.20

77

2

Ir

Iridium

[Xe] 4f¹⁴ 5d⁷ 6s²

195.084

870.0

2.28

78

2

Pt

Platinum

[Xe] 4f¹⁴ 5d⁹ 6s¹

196.9665

890.1

2.54

79

2

Au

Gold

[Xe] 4f¹⁴ 5d¹⁰ 6s¹

200.59

1007.1

2.00

80

2

Hg

Mercury

[Xe] 4f¹⁴ 5d¹⁰ 6s²

204.3833

589.4

1.62

81

2

Tl

Thallium

[Xe] 4f¹⁴ 5d¹⁰ 6s² 6p¹

207.2

715.6

2.33

82

2

Pb

Lead

[Xe] 4f¹⁴ 5d¹⁰ 6s² 6p²

208.9804

703.0

2.02

83

2

Bi

Bismuth

[Xe] 4f¹⁴ 5d¹⁰ 6s² 6p³

(210)

812.1

2.00

84

2

Po

Polonium

[Xe] 4f¹⁴ 5d¹⁰ 6s² 6p⁴

(210)

890.0

2.20

85

2

At

Astatine

[Xe] 4f¹⁴ 5d¹⁰ 6s² 6p⁵

(220)

1037.0

86

2

Rn

Radon

[Xe] 4f¹⁴ 5d¹⁰ 6s² 6p⁶

55.845

762.5

1.83

26

8

Fe

Iron

[Ar] 3d⁶ 4s²

58.93319

760.4

1.91

27

8

Co

Cobalt

[Ar] 3d⁷ 4s²

58.934

737.1

1.88

28

8

Ni

Nickel

[Ar] 3d⁸ 4s²

63.546

745.5

1.90

29

8

Cu

Copper

[Ar] 3d¹⁰ 4s¹

65.38

906.4

1.65

30

8

Zn

Zinc

[Ar] 3d¹⁰ 4s²

69.723

578.8

1.81

31

8

Ga

Gallium

[Ar] 3d¹⁰ 4s² 4p¹

72.64

762.0

2.01

32

8

Ge

Germanium

[Ar] 3d¹⁰ 4s² 4p²

74.92160

747.0

2.18

33

8

As

Arsenic

[Ar] 3d¹⁰ 4s² 4p³

78.96

941.0

2.55

34

8

Se

Selenium

[Ar] 3d¹⁰ 4s² 4p⁴

79.904

1139.9

2.96

35

8

Br

Bromine

[Ar] 3d¹⁰ 4s² 4p⁵

83.798

1350.8

3.00

36

8

Kr

Krypton

[Ar] 3d¹⁰ 4s² 4p⁶

10.811

800.6

2.04

5

13

B

Boron

1s² 2s² 2p¹

12.0107

1086.5

2.55

6

14

C

Carbon

1s² 2s² 2p²

14.0067

1402.3

3.04

7

15

N

Nitrogen

1s² 2s² 2p³

15.9994

1313.9

3.44

8

16

O

Oxygen

1s² 2s² 2p⁴

18.998403

1681.0

3.98

9

17

F

Fluorine

1s² 2s² 2p⁵

20.1797

2080.7

10

18

Ne

Neon

1s² 2s² 2p⁶

26.98153

577.5

1.61

13

13

Al

Aluminium

[Ne] 3s² 3p¹

28.0855

786.5

1.90

14

14

Si

Silicon

[Ne] 3s² 3p²

30.97696

1011.8

2.19

15

15

P

Phosphorus

[Ne] 3s² 3p³

32.065

999.6

2.58

16

16

S

Sulfur

[Ne] 3s² 3p⁴

35.453

1251.2

3.16

17

17

Cl

Chlorine

[Ne] 3s² 3p⁵

39.948

1520.6

18

18

Ar

Argon

[Ne] 3s² 3p⁶

alkali metals

alkaline metals

other metals

transition metals

lanthanoids

actinoids

metalloids

nonmetals

halogens

noble gases

unknown elements

radioactive elements have masses in parenthesis

atomic mass or most stable mass number

1st ionization energy in kJ/mol

chemical symbol

name

electron configuration

atomic number

electronegativity

oxidation states most common are bold

1

2

3

4

5

6

7

8

9

10

11

12

13

14

15

16

17

18

group 1

group 2

group 13

group 14

group 15

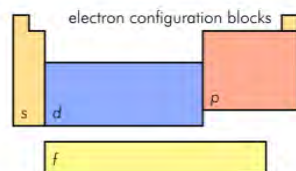
group 16

group 17

group 18

The Periodic Table of the Elements

by Robert Campion version 1.4



notes

- as of yet, elements 113-118 have no official name designated by the IUPAC.
- 1 kJ/mol $\approx$ 96.485 eV.
- all elements are implied to have an oxidation state of zero.

138.9054 57 La Lanthanum [Xe] 5d ¹ 6s ²	140.116 58 Ce Cerium [Xe] 4f ¹ 5d ¹ 6s ²	140.9076 59 Pr Praseodymium [Xe] 4f ³ 6s ²	144.242 60 Nd Neodymium [Xe] 4f ⁴ 6s ²	(145) 61 Pm Promethium [Xe] 4f ⁵ 6s ²	150.36 62 Sm Samarium [Xe] 4f ⁶ 6s ²	151.964 63 Eu Europium [Xe] 4f ⁷ 6s ²	157.25 64 Gd Gadolinium [Xe] 4f ⁷ 5d ¹ 6s ²	158.9253 65 Tb Terbium [Xe] 4f ⁹ 6s ²	162.500 66 Dy Dysprosium [Xe] 4f ¹⁰ 6s ²	164.9303 67 Ho Holmium [Xe] 4f ¹¹ 6s ²	167.259 68 Er Erbium [Xe] 4f ¹² 6s ²	168.9342 69 Tm Thulium [Xe] 4f ¹³ 6s ²	173.054 70 Yb Ytterbium [Xe] 4f ¹⁴ 6s ²
(227) 89 Ac Actinium [Rn] 6d ¹ 7s ²	232.0380 90 Th Thorium [Rn] 6d ² 7s ²	231.0358 91 Pa Protactinium [Rn] 5f ² 6d ¹ 7s ²	238.0289 92 U Uranium [Rn] 5f ³ 6d ¹ 7s ²	(237) 93 Np Neptunium [Rn] 5f ⁴ 6d ¹ 7s ²	(244) 94 Pu Plutonium [Rn] 5f ⁶ 7s ²	(243) 95 Am Americium [Rn] 5f ⁷ 7s ²	(247) 96 Cm Curium [Rn] 5f ⁷ 6d ¹ 7s ²	(247) 97 Bk Berkelium [Rn] 5f ⁹ 7s ²	(251) 98 Cf Californium [Rn] 5f ¹⁰ 7s ²	(252) 99 Es Einsteinium [Rn] 5f ¹¹ 7s ²	(257) 100 Fm Fermium [Rn] 5f ¹² 7s ²	(258) 101 Md Mendelevium [Rn] 5f ¹³ 7s ²	(259) 102 No Nobelium [Rn] 5f ¹⁴ 7s ²

group 1

period 1

1.00794
1
H
Hydrogen
1s¹

6.941
3
Li
Lithium
1s² 2s¹

22.98976
11
Na
Sodium
[Ne] 3s¹

39.0983
19
K
Potassium
[Ar] 4s¹

85.4678
37
Rb
Rubidium
[Kr] 5s¹

132.9054
55
Cs
Caesium
[Xe] 6s¹

(223)
87
Fr
Francium
[Rn] 7s¹

9.012182
4
Be
Beryllium
1s² 2s²

24.3050
12
Mg
Magnesium
[Ne] 3s²

40.078
20
Ca
Calcium
[Ar] 4s²

87.62
38
Sr
Strontium
[Kr] 5s²

137.327
56
Ba
Barium
[Xe] 6s²

(226)
88
Ra
Radium
[Rn] 7s²

44.95591
21
Sc
Scandium
[Ar] 3d¹ 4s²

88.90585
39
Y
Yttrium
[Kr] 4d¹ 5s²

174.9668
71
Lu
Lutetium
[Xe] 4f¹⁴ 5d¹ 6s²

(262)
103
Lr
Lawrencium
[Rn] 5f¹⁴ 6d¹ 7p¹

47.867
22
Ti
Titanium
[Ar] 3d² 4s²

91.224
40
Zr
Zirconium
[Kr] 4d² 5s²

178.49
72
Hf
Hafnium
[Xe] 4f¹⁴ 5d² 6s²

(261)
104
Rf
Rutherfordium
[Rn] 5f¹⁴ 6d² 7s²

50.9415
23
V
Vanadium
[Ar] 3d³ 4s²

92.90638
41
Nb
Niobium
[Kr] 4d⁴ 5s¹

180.9478
73
Ta
Tantalum
[Xe] 4f¹⁴ 5d³ 6s²

(262)
105
Db
Dubnium
[Rn] 5f¹⁴ 6d³ 7s²

51.9962
24
Cr
Chromium
[Ar] 3d⁵ 4s¹

95.96
42
Mo
Molybdenum
[Kr] 4d⁵ 5s¹

183.84
74
W
Tungsten
[Xe] 4f¹⁴ 5d⁴ 6s²

(266)
106
Sg
Seaborgium
[Rn] 5f¹⁴ 6d⁴ 7s²

54.93804
25
Mn
Manganese
[Ar] 3d⁵ 4s²

(98)
43
Tc
Technetium
[Kr] 4d⁵ 5s²

186.207
75
Re
Rhenium
[Xe] 4f¹⁴ 5d⁵ 6s²

(264)
107
Bh
Bohrium
[Rn] 5f¹⁴ 6d⁵ 7s²

55.845
26
Fe
Iron
[Ar] 3d⁶ 4s²

101.07
44
Ru
Ruthenium
[Kr] 4d⁷ 5s¹

190.23
76
Os
Osmium
[Xe] 4f¹⁴ 5d⁶ 6s²

(277)
108
Hs
Hassium
[Rn] 5f¹⁴ 6d⁶ 7s²

58.93319
27
Co
Cobalt
[Ar] 3d⁷ 4s²

102.9055
45
Rh
Rhodium
[Kr] 4d⁸ 5s¹

192.217
77
Ir
Iridium
[Xe] 4f¹⁴ 5d⁷ 6s²

(268)
109
Mt
Meitnerium
[Rn] 5f¹⁴ 6d⁷ 7s²

58.6934
28
Ni
Nickel
[Ar] 3d⁸ 4s²

106.42
46
Pd
Palladium
[Kr] 4d¹⁰

195.084
78
Pt
Platinum
[Xe] 4f¹⁴ 5d⁹ 6s¹

(271)
110
Ds
Darmstadtium
[Rn] 5f¹⁴ 6d⁸ 7s²

63.546
29
Cu
Copper
[Ar] 3d¹⁰ 4s¹

107.8682
47
Ag
Silver
[Kr] 4d¹⁰ 5s¹

196.9665
79
Au
Gold
[Xe] 4f¹⁴ 5d¹⁰ 6s¹

(272)
111
Rg
Roentgenium
[Rn] 5f¹⁴ 6d⁹ 7s²

65.38
30
Zn
Zinc
[Ar] 3d¹⁰ 4s²

112.441
48
Cd
Cadmium
[Kr] 4d¹⁰ 5s²

200.59
80
Hg
Mercury
[Xe] 4f¹⁴ 5d¹⁰ 6s²

(285)
112
Cn
Copernicium
[Rn] 5f¹⁴ 6d¹⁰ 7s²

69.723
31
Ga
Gallium
[Ar] 3d¹⁰ 4s² 4p¹

114.818
49
In
Indium
[Kr] 4d¹⁰ 5s² 5p¹

204.3833
81
Tl
Thallium
[Xe] 4f¹⁴ 5d¹⁰ 6s² 6p¹

(284)
113
Uut
Ununtrium
[Rn] 5f¹⁴ 6d¹⁰ 7s² 7p¹

72.64
32
Ge
Germanium
[Ar] 3d¹⁰ 4s² 4p²

118.710
50
Sn
Tin
[Kr] 4d¹⁰ 5s² 5p²

207.2
82
Pb
Lead
[Xe] 4f¹⁴ 5d¹⁰ 6s² 6p²

(289)
114
Uuq
Ununquadium
[Rn] 5f¹⁴ 6d¹⁰ 7s² 7p²

74.92160
33
As
Arsenic
[Ar] 3d¹⁰ 4s² 4p³

121.760
51
Sb
Antimony
[Kr] 4d¹⁰ 5s² 5p³

208.9804
83
Bi
Bismuth
[Xe] 4f¹⁴ 5d¹⁰ 6s² 6p³

(288)
115
Uup
Ununpentium
[Rn] 5f¹⁴ 6d¹⁰ 7s² 7p³

78.96
34
Se
Selenium
[Ar] 3d¹⁰ 4s² 4p⁴

127.60
52
Te
Tellurium
[Kr] 4d¹⁰ 5s² 5p⁴

208.9804
83
Bi
Bismuth
[Xe] 4f¹⁴ 5d¹⁰ 6s² 6p³

(292)
116
Uuh
Ununhexium
[Rn] 5f¹⁴ 6d¹⁰ 7s² 7p⁴

79.904
35
Br
Bromine
[Ar] 3d¹⁰ 4s² 4p⁵

126.9044
53
I
Iodine
[Kr] 4d¹⁰ 5s² 5p⁵

(210)
85
At
Astatine
[Xe] 4f¹⁴ 5d¹⁰ 6s² 6p⁵

(294)
117
Uus
Ununseptium
[Rn] 5f¹⁴ 6d¹⁰ 7s² 7p⁵

83.798
36
Kr
Krypton
[Ar] 3d¹⁰ 4s² 4p⁶

131.293
54
Xe
Xenon
[Kr] 4d¹⁰ 5s² 5p⁶

(220)
86
Rn
Radon
[Xe] 4f¹⁴ 5d¹⁰ 6s² 6p⁶

(294)
118
Uuo
Ununoctium
[Rn] 5f¹⁴ 6d¹⁰ 7s² 7p⁶

alkali metals

alkaline metals

other metals

transition metals

lanthanoids

actinoids

metalloids

nonmetals

halogens

noble gases

unknown elements

radioactive elements have masses in parenthesis

atomic mass
or most stable mass number

1st ionization energy
in kJ/mol

chemical symbol

name

electron configuration

atomic number

electronegativity

oxidation states
most common are bold

group 1

period 1

1.00794
1
H
Hydrogen
1s¹

6.941
3
Li
Lithium
1s² 2s¹

22.98976
11
Na
Sodium
[Ne] 3s¹

39.0983
19
K
Potassium
[Ar] 4s¹

85.4678
37
Rb
Rubidium
[Kr] 5s¹

132.9054
55
Cs
Caesium
[Xe] 6s¹

(223)
87
Fr
Francium
[Rn] 7s¹

9.012182
4
Be
Beryllium
1s² 2s²

24.3050
12
Mg
Magnesium
[Ne] 3s²

40.078
20
Ca
Calcium
[Ar] 4s²

87.62
38
Sr
Strontium
[Kr] 5s²

137.327
56
Ba
Barium
[Xe] 6s²

(226)
88
Ra
Radium
[Rn] 7s²

44.95591
21
Sc
Scandium
[Ar] 3d¹ 4s²

88.90585
39
Y
Yttrium
[Kr] 4d¹ 5s²

174.9668
71
Lu
Lutetium
[Xe] 4f¹⁴ 5d¹ 6s²

(262)
103
Lr
Lawrencium
[Rn] 5f¹⁴ 6d¹ 7p¹

47.867
22
Ti
Titanium
[Ar] 3d² 4s²

91.224
40
Zr
Zirconium
[Kr] 4d² 5s²

178.49
72
Hf
Hafnium
[Xe] 4f¹⁴ 5d² 6s²

(261)
104
Rf
Rutherfordium
[Rn] 5f¹⁴ 6d² 7s²

50.9415
23
V
Vanadium
[Ar] 3d³ 4s²

92.90638
41
Nb
Niobium
[Kr] 4d⁴ 5s¹

180.9478
73
Ta
Tantalum
[Xe] 4f¹⁴ 5d³ 6s²

(262)
105
Db
Dubnium
[Rn] 5f¹⁴ 6d³ 7s²

51.9962
24
Cr
Chromium
[Ar] 3d⁵ 4s¹

95.96
42
Mo
Molybdenum
[Kr] 4d⁵ 5s¹

183.84
74
W
Tungsten
[Xe] 4f¹⁴ 5d⁴ 6s²

(266)
106
Sg
Seaborgium
[Rn] 5f¹⁴ 6d⁴ 7s²

54.93804
25
Mn
Manganese
[Ar] 3d⁵ 4s²

(98)
43
Tc
Technetium
[Kr] 4d⁵ 5s²

186.207
75
Re
Rhenium
[Xe] 4f¹⁴ 5d⁵ 6s²

(264)
107
Bh
Bohrium
[Rn] 5f¹⁴ 6d⁵ 7s²

55.845
26
Fe
Iron
[Ar] 3d⁶ 4s²

101.07
44
Ru
Ruthenium
[Kr] 4d⁷ 5s¹

190.23
76
Os
Osmium
[Xe] 4f¹⁴ 5d⁶ 6s²

(277)
108
Hs
Hassium
[Rn] 5f¹⁴ 6d⁶ 7s²

58.93319
27
Co
Cobalt
[Ar] 3d⁷ 4s²

102.9055
45
Rh
Rhodium
[Kr] 4d⁸ 5s¹

192.217
77
Ir
Iridium
[Xe] 4f¹⁴ 5d⁷ 6s²

(268)
109
Mt
Meitnerium
[Rn] 5f¹⁴ 6d⁷ 7s²

58.6934
28
Ni
Nickel
[Ar] 3d⁸ 4s²

106.42
46
Pd
Palladium
[Kr] 4d¹⁰

195.084
78
Pt
Platinum
[Xe] 4f¹⁴ 5d⁹ 6s¹

(271)
110
Ds
Darmstadtium
[Rn] 5f¹⁴ 6d⁸ 7s²

63.546
29
Cu
Copper
[Ar] 3d¹⁰ 4s¹

107.8682
47
Ag
Silver
[Kr] 4d¹⁰ 5s¹

196.9665
79
Au
Gold
[Xe] 4f¹⁴ 5d¹⁰ 6s¹

(272)
111
Rg
Roentgenium
[Rn] 5f¹⁴ 6d⁹ 7s²

65.38
30
Zn
Zinc
[Ar] 3d¹⁰ 4s²

112.441
48
Cd
Cadmium
[Kr] 4d¹⁰ 5s²

200.59
80
Hg
Mercury
[Xe] 4f¹⁴ 5d¹⁰ 6s²

(285)
112
Cn
Copernicium
[Rn] 5f¹⁴ 6d¹⁰ 7s²

69.723
31
Ga
Gallium
[Ar] 3d¹⁰ 4s² 4p¹

114.818
49
In
Indium
[Kr] 4d¹⁰ 5s² 5p¹

204.3833
81
Tl
Thallium
[Xe] 4f¹⁴ 5d¹⁰ 6s² 6p¹

(284)
113
Uut
Ununtrium
[Rn] 5f¹⁴ 6d¹⁰ 7s² 7p¹

72.64
32
Ge
Germanium
[Ar] 3d¹⁰ 4s² 4p²

118.710
50
Sn
Tin
[Kr] 4d¹⁰ 5s² 5p²

207.2
82
Pb
Lead
[Xe] 4f¹⁴ 5d¹⁰ 6s² 6p²

(289)
114
Uuq
Ununquadium
[Rn] 5f¹⁴ 6d¹⁰ 7s² 7p²

74.92160
33
As
Arsenic
[Ar] 3d¹⁰ 4s² 4p³

121.760
51
Sb
Antimony
[Kr] 4d¹⁰ 5s² 5p³

208.9804
83
Bi
Bismuth
[Xe] 4f¹⁴ 5d¹⁰ 6s² 6p³

(288)
115
Uup
Ununpentium
[Rn] 5f¹⁴ 6d¹⁰ 7s² 7p³

78.96
34
Se
Selenium
[Ar] 3d¹⁰ 4s² 4p⁴

127.60
52
Te
Tellurium
[Kr] 4d¹⁰ 5s² 5p⁴

208.9804
83
Bi
Bismuth
[Xe] 4f¹⁴ 5d¹⁰ 6s² 6p³

(292)
116
Uuh
Ununhexium
[Rn] 5f¹⁴ 6d¹⁰ 7s² 7p⁴

79.904
35
Br
Bromine
[Ar] 3d¹⁰ 4s² 4p⁵

126.9044
53
I
Iodine
[Kr] 4d¹⁰ 5s² 5p⁵

(210)
85
At
Astatine
[Xe] 4f¹⁴ 5d¹⁰ 6s² 6p⁵

(294)
117
Uus
Ununseptium
[Rn] 5f¹⁴ 6d¹⁰ 7s² 7p⁵

83.798
36
Kr
Krypton
[Ar] 3d¹⁰ 4s² 4p⁶

131.293
54
Xe
Xenon
[Kr] 4d¹⁰ 5s² 5p⁶

(220)
86
Rn
Radon
[Xe] 4f¹⁴ 5d¹⁰ 6s² 6p⁶

(294)
118
Uuo
Ununoctium
[Rn] 5f¹⁴ 6d¹⁰ 7s² 7p⁶

atomic mass
or most stable mass number

1st ionization energy
in kJ/mol

chemical symbol

name

electron configuration

atomic number

electronegativity

oxidation states
most common are bold

alkali metals

alkaline metals

other metals

transition metals

lanthanoids

actinoids

metalloids

nonmetals

halogens

noble gases

unknown elements

radioactive elements have
masses in parenthesis

group 1

period 1

1.00794
1
H
Hydrogen
1s¹

6.941
3
Li
Lithium
1s² 2s¹

22.98976
11
Na
Sodium
[Ne] 3s¹

39.0983
19
K
Potassium
[Ar] 4s¹

85.4678
37
Rb
Rubidium
[Kr] 5s¹

132.9054
55
Cs
Caesium
[Xe] 6s¹

(223)
87
Fr
Francium
[Rn] 7s¹

9.012182
4
Be
Beryllium
1s² 2s²

24.3050
12
Mg
Magnesium
[Ne] 3s²

40.078
20
Ca
Calcium
[Ar] 4s²

87.62
38
Sr
Strontium
[Kr] 5s²

137.327
56
Ba
Barium
[Xe] 6s²

(226)
88
Ra
Radium
[Rn] 7s²

44.95591
21
Sc
Scandium
[Ar] 3d¹ 4s²

88.90585
39
Y
Yttrium
[Kr] 4d¹ 5s²

174.9668
71
Lu
Lutetium
[Xe] 4f¹⁴ 5d¹ 6s²

(262)
103
Lr
Lawrencium
[Rn] 5f¹⁴ 6d¹ 7p¹

47.867
22
Ti
Titanium
[Ar] 3d² 4s²

91.224
40
Zr
Zirconium
[Kr] 4d² 5s²

178.49
72
Hf
Hafnium
[Xe] 4f¹⁴ 5d² 6s²

(261)
104
Rf
Rutherfordium
[Rn] 5f¹⁴ 6d² 7s²

50.9415
23
V
Vanadium
[Ar] 3d³ 4s²

92.90638
41
Nb
Niobium
[Kr] 4d⁴ 5s¹

180.9478
73
Ta
Tantalum
[Xe] 4f¹⁴ 5d³ 6s²

(262)
105
Db
Dubnium
[Rn] 5f¹⁴ 6d³ 7s²

51.9962
24
Cr
Chromium
[Ar] 3d⁵ 4s¹

95.96
42
Mo
Molybdenum
[Kr] 4d⁵ 5s¹

183.84
74
W
Tungsten
[Xe] 4f¹⁴ 5d⁴ 6s²

(266)
106
Sg
Seaborgium
[Rn] 5f¹⁴ 6d⁴ 7s²

54.93804
25
Mn
Manganese
[Ar] 3d⁵ 4s²

(98)
43
Tc
Technetium
[Kr] 4d⁵ 5s²

186.207
75
Re
Rhenium
[Xe] 4f¹⁴ 5d⁵ 6s²

(264)
107
Bh
Bohrium
[Rn] 5f¹⁴ 6d⁵ 7s²

55.845
26
Fe
Iron
[Ar] 3d⁶ 4s²

101.07
44
Ru
Ruthenium
[Kr] 4d⁷ 5s¹

190.23
76
Os
Osmium
[Xe] 4f¹⁴ 5d⁶ 6s²

(277)
108
Hs
Hassium
[Rn] 5f¹⁴ 6d⁶ 7s²

58.93319
27
Co
Cobalt
[Ar] 3d⁷ 4s²

102.9055
45
Rh
Rhodium
[Kr] 4d⁸ 5s¹

192.217
77
Ir
Iridium
[Xe] 4f¹⁴ 5d⁷ 6s²

(268)
109
Mt
Meitnerium
[Rn] 5f¹⁴ 6d⁷ 7s²

58.6934
28
Ni
Nickel
[Ar] 3d⁸ 4s²

106.42
46
Pd
Palladium
[Kr] 4d¹⁰

195.084
78
Pt
Platinum
[Xe] 4f¹⁴ 5d⁹ 6s¹

(271)
110
Ds
Darmstadtium
[Rn] 5f¹⁴ 6d⁸ 7s²

63.546
29
Cu
Copper
[Ar] 3d¹⁰ 4s¹

107.8682
47
Ag
Silver
[Kr] 4d¹⁰ 5s¹

196.9665
79
Au
Gold
[Xe] 4f¹⁴ 5d¹⁰ 6s¹

(272)
111
Rg
Roentgenium
[Rn] 5f¹⁴ 6d⁹ 7s²

65.38
30
Zn
Zinc
[Ar] 3d¹⁰ 4s²

112.441
48
Cd
Cadmium
[Kr] 4d¹⁰ 5s²

200.59
80
Hg
Mercury
[Xe] 4f¹⁴ 5d¹⁰ 6s²

(285)
112
Cn
Copernicium
[Rn] 5f¹⁴ 6d¹⁰ 7s²

69.723
31
Ga
Gallium
[Ar] 3d¹⁰ 4s² 4p¹

114.818
49
In
Indium
[Kr] 4d¹⁰ 5s² 5p¹

204.3833
81
Tl
Thallium
[Xe] 4f¹⁴ 5d¹⁰ 6s² 6p¹

(284)
113
Uut
Ununtrium
[Rn] 5f¹⁴ 6d¹⁰ 7s² 7p¹

72.64
32
Ge
Germanium
[Ar] 3d¹⁰ 4s² 4p²

118.710
50
Sn
Tin
[Kr] 4d¹⁰ 5s² 5p²

207.2
82
Pb
Lead
[Xe] 4f¹⁴ 5d¹⁰ 6s² 6p²

(289)
114
Uuq
Ununquadium
[Rn] 5f¹⁴ 6d¹⁰ 7s² 7p²

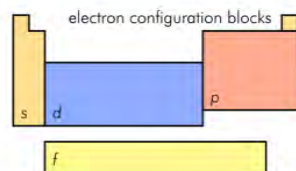
74.92160
33
As
Arsenic
[Ar] 3d¹⁰ 4s² 4p³

121.760
51
Sb
Antimony
[Kr] 4d¹⁰ 5s² 5p³

208.9804
83
Bi
Bismuth
[Xe] 4f¹⁴ 5d¹⁰ 6s² 6p³

(288)
115
Uup
Ununpentium
[Rn] 5f¹⁴ 6d¹⁰ 7s² 7p³

78.96
34
Se
Selenium
[Ar] 3d¹⁰ 4



notes

- as of yet, elements 113-118 have no official name designated by the IUPAC.
- 1 kJ/mol ≈ 96.485 eV.
- all elements are implied to have an oxidation state of zero.

138.9054 57 La Lanthanum [Xe] 5d ¹ 6s ²	140.116 58 Ce Cerium [Xe] 4f ¹ 5d ¹ 6s ²	140.9076 59 Pr Praseodymium [Xe] 4f ³ 6s ²	144.242 60 Nd Neodymium [Xe] 4f ⁴ 6s ²	(145) 61 Pm Promethium [Xe] 4f ⁵ 6s ²	150.36 62 Sm Samarium [Xe] 4f ⁶ 6s ²	151.964 63 Eu Europium [Xe] 4f ⁷ 6s ²	157.25 64 Gd Gadolinium [Xe] 4f ⁷ 5d ¹ 6s ²	158.9253 65 Tb Terbium [Xe] 4f ⁹ 6s ²	162.500 66 Dy Dysprosium [Xe] 4f ¹⁰ 6s ²	164.9303 67 Ho Holmium [Xe] 4f ¹¹ 6s ²	167.259 68 Er Erbium [Xe] 4f ¹² 6s ²	168.9342 69 Tm Thulium [Xe] 4f ¹³ 6s ²	173.054 70 Yb Ytterbium [Xe] 4f ¹⁴ 6s ²
(227) 89 Ac Actinium [Rn] 6d ¹ 7s ²	232.0380 90 Th Thorium [Rn] 6d ² 7s ²	231.0358 91 Pa Protactinium [Rn] 5f ² 6d ¹ 7s ²	238.0289 92 U Uranium [Rn] 5f ³ 6d ¹ 7s ²	(237) 93 Np Neptunium [Rn] 5f ⁴ 6d ¹ 7s ²	(244) 94 Pu Plutonium [Rn] 5f ⁶ 7s ²	(243) 95 Am Americium [Rn] 5f ⁷ 7s ²	(247) 96 Cm Curium [Rn] 5f ⁷ 6d ¹ 7s ²	(247) 97 Bk Berkelium [Rn] 5f ⁹ 7s ²	(251) 98 Cf Californium [Rn] 5f ¹⁰ 7s ²	(252) 99 Es Einsteinium [Rn] 5f ¹¹ 6s ²	(257) 100 Fm Fermium [Rn] 5f ¹² 7s ²	(258) 101 Md Mendelevium [Rn] 5f ¹³ 7s ²	(259) 102 No Nobelium [Rn] 5f ¹⁴ 7s ²

group 1

period 1

1.00794
1
H
Hydrogen
1s¹

6.941
3
Li
Lithium
1s² 2s¹

22.98976
11
Na
Sodium
[Ne] 3s¹

39.0983
19
K
Potassium
[Ar] 4s¹

85.4678
37
Rb
Rubidium
[Kr] 5s¹

132.9054
55
Cs
Caesium
[Xe] 6s¹

(223)
87
Fr
Francium
[Rn] 7s¹

2

9.012182
4
Be
Beryllium
1s² 2s²

24.3050
12
Mg
Magnesium
[Ne] 3s²

40.078
20
Ca
Calcium
[Ar] 4s²

87.62
38
Sr
Strontium
[Kr] 5s²

137.327
56
Ba
Barium
[Xe] 6s²

(226)
88
Ra
Radium
[Rn] 7s²

3

44.95591
21
Sc
Scandium
[Ar] 3d¹ 4s²

88.90585
39
Y
Yttrium
[Kr] 4d¹ 5s²

174.9668
71
Lu
Lutetium
[Xe] 4f¹⁴ 5d¹ 6s²

(262)
103
Lr
Lawrencium
[Rn] 5f¹⁴ 7s² 7p¹

4

47.867
22
Ti
Titanium
[Ar] 3d² 4s²

91.224
40
Zr
Zirconium
[Kr] 4d² 5s²

178.49
72
Hf
Hafnium
[Xe] 4f¹⁴ 5d² 6s²

(261)
104
Rf
Rutherfordium
[Rn] 5f¹⁴ 6d² 7s²

5

50.9415
23
V
Vanadium
[Ar] 3d³ 4s²

92.90638
41
Nb
Niobium
[Kr] 4d⁴ 5s¹

180.9478
73
Ta
Tantalum
[Xe] 4f¹⁴ 5d³ 6s²

(262)
105
Db
Dubnium
[Rn] 5f¹⁴ 6d³ 7s²

6

51.9962
24
Cr
Chromium
[Ar] 3d⁵ 4s¹

95.96
42
Mo
Molybdenum
[Kr] 4d⁵ 5s¹

183.84
74
W
Tungsten
[Xe] 4f¹⁴ 5d⁴ 6s²

(266)
106
Sg
Seaborgium
[Rn] 5f¹⁴ 6d⁴ 7s²

7

54.93804
25
Mn
Manganese
[Ar] 3d⁵ 4s²

98
43
Tc
Technetium
[Kr] 4d⁵ 5s²

186.207
75
Re
Rhenium
[Xe] 4f¹⁴ 5d⁵ 6s²

(264)
107
Bh
Bohrium
[Rn] 5f¹⁴ 6d⁵ 7s²

8

55.845
26
Fe
Iron
[Ar] 3d⁶ 4s²

101.07
44
Ru
Ruthenium
[Kr] 4d⁷ 5s¹

190.23
76
Os
Osmium
[Xe] 4f¹⁴ 5d⁶ 6s²

(277)
108
Hs
Hassium
[Rn] 5f¹⁴ 6d⁶ 7s²

9

58.93319
27
Co
Cobalt
[Ar] 3d⁷ 4s²

102.9055
45
Rh
Rhodium
[Kr] 4d⁸ 5s¹

192.217
77
Ir
Iridium
[Xe] 4f¹⁴ 5d⁷ 6s²

(268)
109
Mt
Meitnerium
[Rn] 5f¹⁴ 6d⁷ 7s²

10

58.6934
28
Ni
Nickel
[Ar] 3d⁸ 4s²

106.42
46
Pd
Palladium
[Kr] 4d¹⁰

195.084
78
Pt
Platinum
[Xe] 4f¹⁴ 5d⁹ 6s¹

(271)
110
Ds
Darmstadtium
[Rn] 5f¹⁴ 6d⁸ 7s²

11

63.546
29
Cu
Copper
[Ar] 3d¹⁰ 4s¹

107.8682
47
Ag
Silver
[Kr] 4d¹⁰ 5s¹

196.9665
79
Au
Gold
[Xe] 4f¹⁴ 5d¹⁰ 6s¹

(272)
111
Rg
Roentgenium
[Rn] 5f¹⁴ 6d⁹ 7s²

12

65.38
30
Zn
Zinc
[Ar] 3d¹⁰ 4s²

112.441
48
Cd
Cadmium
[Kr] 4d¹⁰ 5s²

200.59
80
Hg
Mercury
[Xe] 4f¹⁴ 5d¹⁰ 6s²

(285)
112
Cn
Copernicium
[Rn] 5f¹⁴ 6d¹⁰ 7s²

13

10.811
5
B
Boron
1s² 2s² 2p¹

26.98153
13
Al
Aluminium
[Ne] 3s² 3p¹

69.723
31
Ga
Gallium
[Ar] 3d¹⁰ 4s² 4p¹

(284)
113
Uut
Ununtrium
[Rn] 5f¹⁴ 6d¹⁰ 7s² 7p¹

14

12.0107
6
C
Carbon
1s² 2s² 2p²

28.0855
14
Si
Silicon
[Ne] 3s² 3p²

72.64
32
Ge
Germanium
[Ar] 3d¹⁰ 4s² 4p²

(289)
114
Uuq
Ununquadium
[Rn] 5f¹⁴ 6d¹⁰ 7s² 7p²

15

14.0067
7
N
Nitrogen
1s² 2s² 2p³

30.97396
15
P
Phosphorus
[Ne] 3s² 3p³

74.92160
33
As
Arsenic
[Ar] 3d¹⁰ 4s² 4p³

(288)
115
Uup
Ununpentium
[Rn] 5f¹⁴ 6d¹⁰ 7s² 7p³

16

15.9994
8
O
Oxygen
1s² 2s² 2p⁴

32.065
16
S
Sulfur
[Ne] 3s² 3p⁴

78.96
34
Se
Selenium
[Ar] 3d¹⁰ 4s² 4p⁴

(292)
116
Uuh
Ununhexium
[Rn] 5f¹⁴ 6d¹⁰ 7s² 7p⁴

17

18.998403
9
F
Fluorine
1s² 2s² 2p⁵

35.453
17
Cl
Chlorine
[Ne] 3s² 3p⁵

79.904
35
Br
Bromine
[Ar] 3d¹⁰ 4s² 4p⁵

(294)
117
Uus
Ununseptium
[Rn] 5f¹⁴ 6d¹⁰ 7s² 7p⁵

18

4.002602
2
He
Helium
1s²

20.1797
10
Ne
Neon
1s² 2s² 2p⁶

39.948
18
Ar
Argon
[Ne] 3s² 3p⁶

83.798
36
Kr
Krypton
[Ar] 3d¹⁰ 4s² 4p⁶

131.293
54
Xe
Xenon
[Kr] 4d¹⁰ 5s² 5p⁶

(220)
86
Rn
Radon
[Xe] 4f¹⁴ 5d¹⁰ 6s² 6p⁶

atomic mass
or most stable mass number

1st ionization energy
in kJ/mol

chemical symbol

name

electron configuration

55.845

26

Fe

Iron

[Ar] 3d⁶ 4s²

atomic number

electronegativity

oxidation states
most common are bold

alkali metals

alkaline metals

other metals

transition metals

lanthanoids

actinoids

metalloids

nonmetals

halogens

noble gases

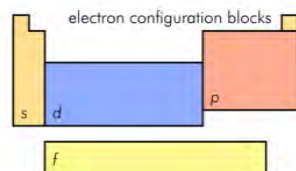
unknown elements

radioactive elements have
masses in parenthesis

The Periodic Table of the Elements

by Robert Campion version 1.4

--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--



notes

- as of yet, elements 113-118 have no official name designated by the IUPAC.
- 1 kJ/mol ≈ 96.485 eV.
- all elements are implied to have an oxidation state of zero.

138.9054 57 La Lanthanum [Xe] 5d ¹ 6s ²	140.116 58 Ce Cerium [Xe] 4f ¹ 5d ¹ 6s ²	140.9076 59 Pr Praseodymium [Xe] 4f ³ 6s ²	144.242 60 Nd Neodymium [Xe] 4f ⁴ 6s ²	(145) 61 Pm Promethium [Xe] 4f ⁵ 6s ²	150.36 62 Sm Samarium [Xe] 4f ⁶ 6s ²	151.964 63 Eu Europium [Xe] 4f ⁷ 6s ²	157.25 64 Gd Gadolinium [Xe] 4f ⁷ 5d ¹ 6s ²	158.9253 65 Tb Terbium [Xe] 4f ⁹ 6s ²	162.500 66 Dy Dysprosium [Xe] 4f ¹⁰ 6s ²	164.9303 67 Ho Holmium [Xe] 4f ¹¹ 6s ²	167.259 68 Er Erbium [Xe] 4f ¹² 6s ²	168.9342 69 Tm Thulium [Xe] 4f ¹³ 6s ²	173.054 70 Yb Ytterbium [Xe] 4f ¹⁴ 6s ²
(227) 89 Ac Actinium [Rn] 6d ¹ 7s ²	232.0380 90 Th Thorium [Rn] 6d ² 7s ²	231.0358 91 Pa Protactinium [Rn] 5f ² 6d ¹ 7s ²	238.0289 92 U Uranium [Rn] 5f ³ 6d ¹ 7s ²	(237) 93 Np Neptunium [Rn] 5f ⁴ 6d ¹ 7s ²	(244) 94 Pu Plutonium [Rn] 5f ⁶ 7s ²	(243) 95 Am Americium [Rn] 5f ⁷ 7s ²	(247) 96 Cm Curium [Rn] 5f ⁷ 6d ¹ 7s ²	(247) 97 Bk Berkelium [Rn] 5f ⁹ 7s ²	(251) 98 Cf Californium [Rn] 5f ¹⁰ 7s ²	(252) 99 Es Einsteinium [Rn] 5f ¹¹ 6s ²	(257) 100 Fm Fermium [Rn] 5f ¹² 7s ²	(258) 101 Md Mendelevium [Rn] 5f ¹³ 7s ²	(259) 102 No Nobelium [Rn] 5f ¹⁴ 7s ²

Water in ons zonnestelsel

Aarde



1386 miljoen km³

Europa

Kleinste maan Jupiter



2855 miljoen km³

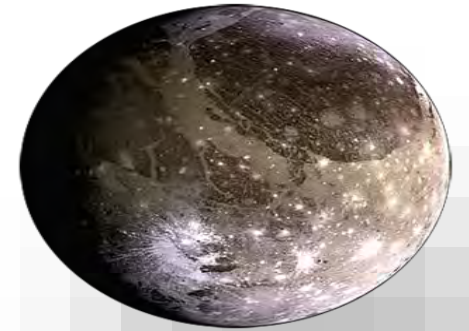
Pluto



4316 miljoen km³

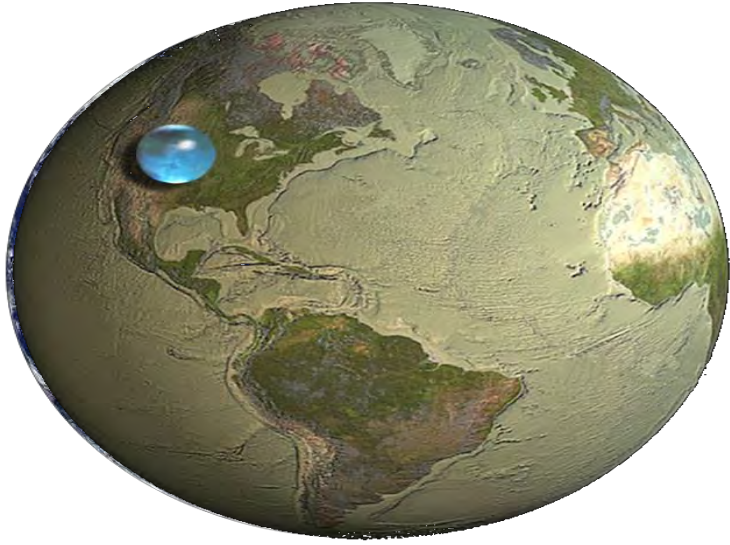
Ganymedes

Grootste maan Jupiter



54362 miljoen km³

Water op onze blauwe planeet



1386 miljoen km³ water
Bedekt oppervlakte 70%
Volume water 0,1%



97,5% zout

2,5% zoet



- 69,6% ijs/sneeuw
- 30,1% zoet grondwater
- 0,3% zoet oppervlaktewater



0,01% geschikt voor drinkwater!



Door grote droogte verdringen mensen zich rondom waterput: Natwarghad, Gujarat, India.
Foto: Amit Dave, National Geographic Magazine 2010.



In het dorp Basudevpur (India) loopt een vrouw over kurkdroge grond.
Foto: Biswaranjan Rout, National Geographic Magazine 2010.



Gabra vrouwen in Noord Kenia lopen elke dag 5 uur voor een paar liter vervuild water.
Foto: Lynn Johnson, National Geographic Magazine 2010.

Volgens de WHO in 2018:

hebben twee miljard mensen geen toegang tot schoon drinkwater

kunnen vier miljard mensen geen gebruik maken van veilige sanitaire voorzieningen

sterven jaarlijks 3 miljoen mensen aan ziektes die verband houden met vervuild water

Vrouwen schrapen water uit de Arayo River in Ethiopië.
Foto: Lynn Johnson, National Geographic Magazine 2010.

Watercrisis in Kaapstad



Het grootste waterreservoir van Kaapstad, het stuwmeer van de Theewaterskloofdam, droogt langzaam uit.
Bron: National Geographic, Craig Welch.



Klimaatverandering gaat uiteindelijk ons allemaal aan.
Foto: Carol Byers, The Patriot Institute, 2017.

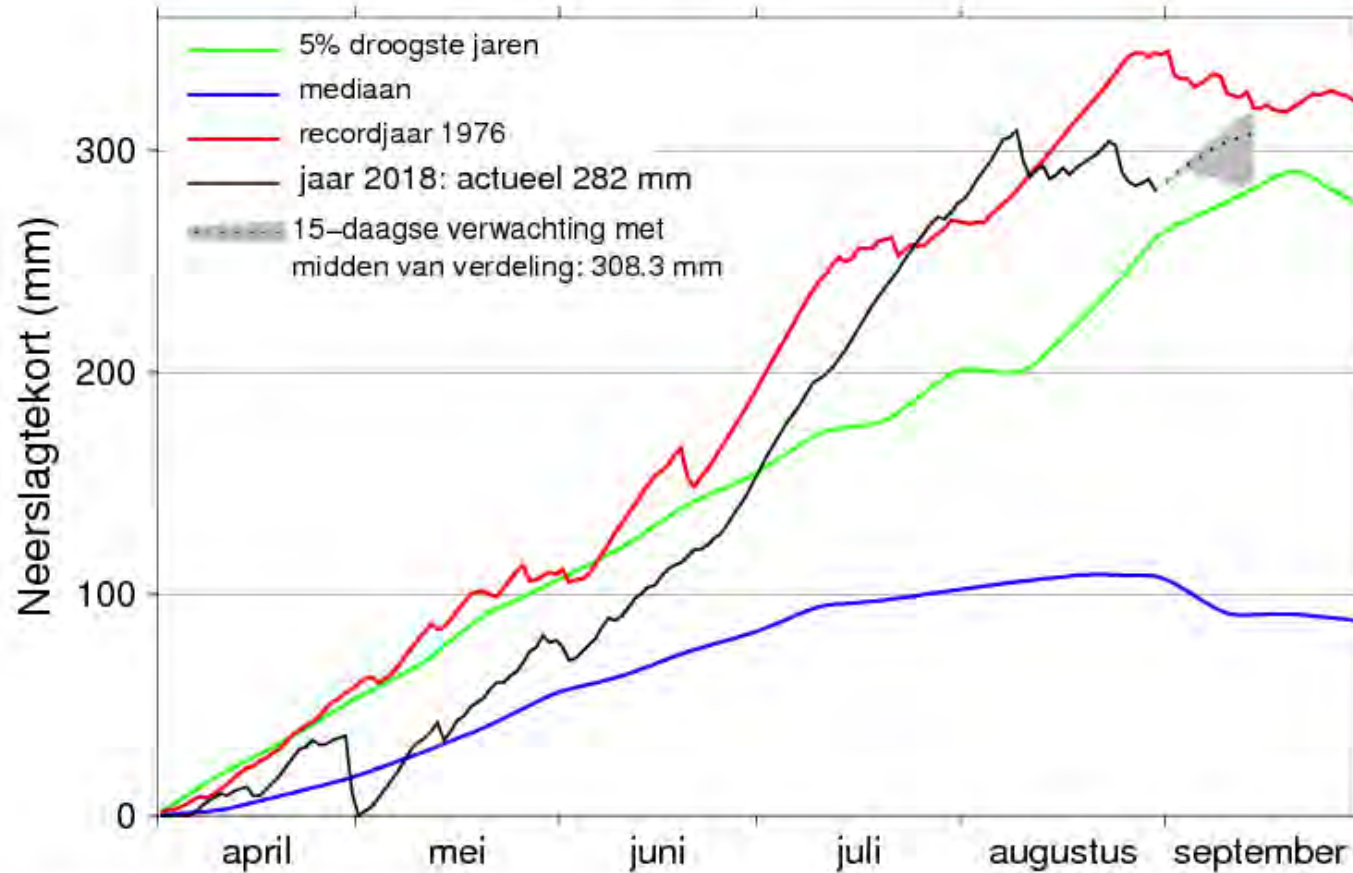


Plastic soep. Jaarlijks 150 miljoen ton wegwerpplastic waarvan 5-13 miljoen ton plastic in zee terecht komt.

Foto: Daily mail, 2018.

Neerslagtekort in Nederland in 2018

Landelijk gemiddelde over 13 stations



(c) KNMI, bijgewerkt 2018-08-30, 17:27 UT

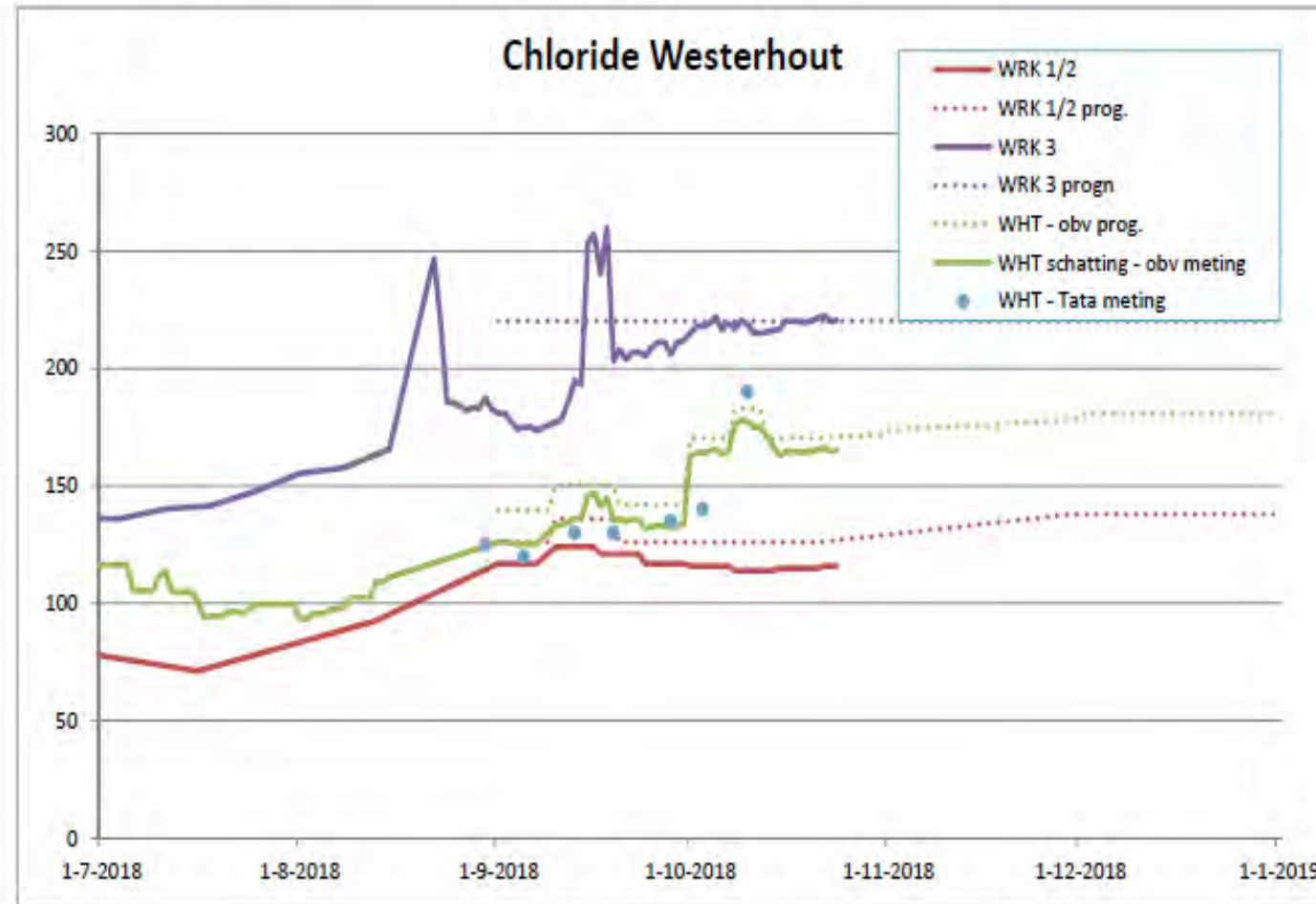


Ten gevolge van de droge zomer is het IJsselmeer veel zouter dan normaal.

Kaart: Ad Huikeshoven, <https://nl.wikipedia.org/wiki/IJsselmeer>.

Actueel overzicht chloride gehalte WRK

printdatum 29-10-2018



©2018 Waternet.



Dit levert de nodige uitdagingen voor de drinkwater productie.
Kaart: Ad Huikeshoven, <https://nl.wikipedia.org/wiki/IJsselmeer>.

Open riool in Amsterdam, Goudsbloemgracht ±1853



De Goudsbloemgracht werd om hygiënische redenen de gracht in 1854 gedempt.
Tekening: Willem Hekking, Stadsarchief Amsterdam.

Het is de zomer van 1854. Londen telt meer dan twee miljoen inwoners. Zonder ophaaldiensten voor vuilnis, zonder schoon leidingwater en zonder riool is de stad een gemakkelijke prooi voor ziekten. De cholera breekt dan ook in alle hevigheid uit: 'Je kon een weekendje de stad uit gaan en bij terugkomst merken dat tien procent van je burens in lijkkoetsen was afgevoerd.' In de strijd tegen de ziekte verschijnen twee mannen op het toneel: de geestelijke Henry Whitehead en wetenschapper dr. John Snow. Met hun moderne onderzoek wordt niet alleen de epidemie een halt toegeroepen, maar wordt ook een beslissende stap gezet in de wetenschap en in de ontwikkeling van metropolen.

Londen, spookstad leest als een medische thriller. Steven Johnson schrijft in een meeslepend verslag hoe de ziekte om zich heen grijpt, en hoe een onverwachte ontdekking van Whitehead en Snow de wereld blijvend heeft veranderd.

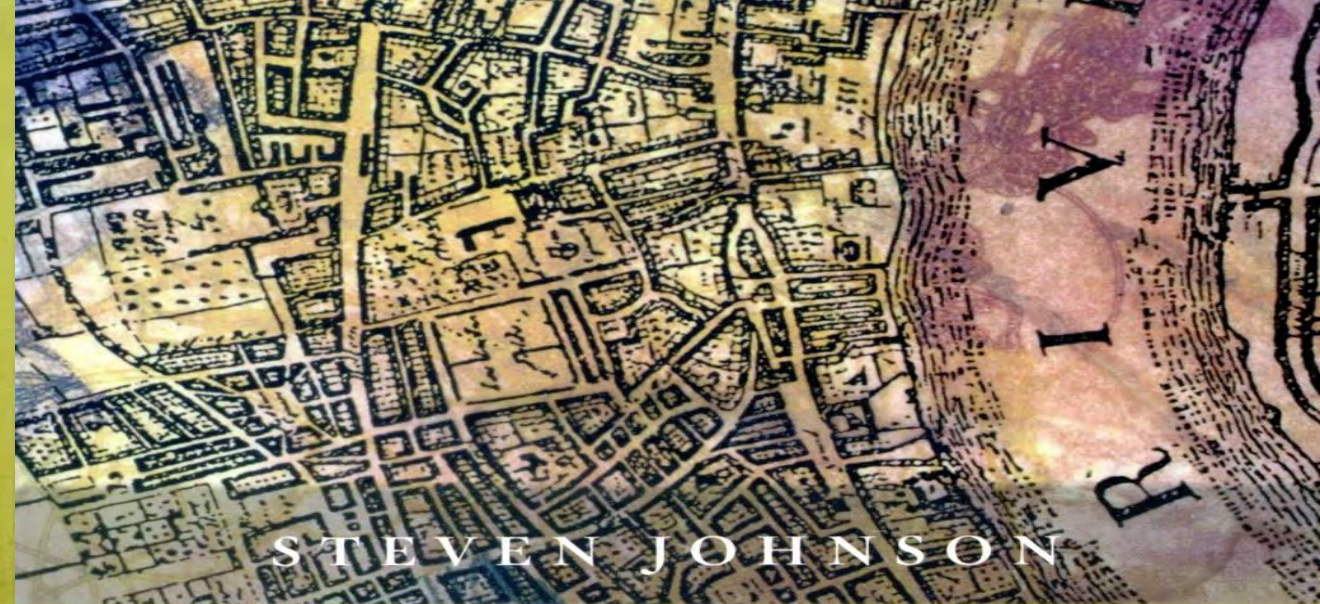


Steven Johnson (1968) is medeoprichter van het online-tijdschrift *Feed* en schrijft regelmatig voor *Wired*, *The Wall Street Journal* en *The New York Times*. In 2007 verscheen bij Meulenhoff *Alle slechte dingen zijn goed voor je. Waarom de populaire cultuur ons slimmer maakt*. Hij blogt op www.stevenberlinjohnson.com.

'Johnson schrijft helder en levendig, intelligent en prikkelend.' *The Washington Post*

'Een cultuurcriticus met de ziel van een dichter.' *The Village Voice*

'Geweldig vermakelijk.' *The New Yorker*



STEVEN JOHNSON

LONDEN, *Hoe een cholera-epidemie de wetenschap,* SPOOKSTAD *de steden en de moderne wereld veranderde*

MEULENHOF





Riolering medewerker met de Boldoot 'eau de cologne'-car, 1920 in de Jordaan .
Een stronttonnetjesschepper met twee emmers vol uitwerpselen. Stadsarchief Amsterdam.



Aen de
Edele Groot Achtbare HEEREN
BURGEMEESTEREN
En REGEERDERS
Der S T A D
AMSTERDAM.

Geeft met alle eerbiedig-
heyd te kennen *Elias Sandra*, Burger in
Amsterdam, dat hy een middel heeft uyt-
gevonden om het Zoet Water uyt de Re-
vier de VEGT, boven Wefop van daen te
leyden in de Stadts Graffen, tuffchen de Muyder en Wefo-
per Poorten, om de geheele Stad met vars water te kunnen
voorsien, fullende de kosten daer toe te doen fo veel niet
komen te bedragen, oft haer Ed: Groot Agtbaerheden
fullen daer van een Interest oft Rente tegens vier ten hon-
derd in 't Jaer kunnen genieten.

*Dit is Copie van 't Request, overgeleverd aen de Edele Groot
Agtbare Heeren Burgermeesteren, in October 1682. Welk
wierd toegezegeld en door een Stadts Bode gebragt ten Huysse van
d'Heer Burgermeester Hudde.*

* 2

VOOR-

Water werd aangevoerd uit rivier de Vecht naar Amsterdam per boot.

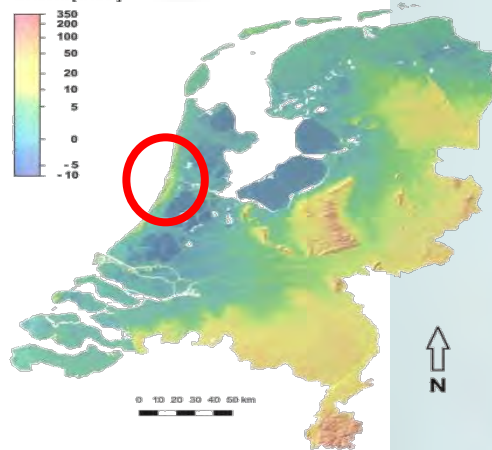
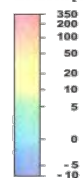
Foto: Stadsarchief Amsterdam.



Jacob van Lennep
1853

Duinwater
voor alle
Amsterdammers

elevation [m NAP]



0 10 20 30 40 50 km





Amsterdamse Waterleidingduinen,
bij Zandvoort aan Zee.



Aanleg winkanalen in de duinen 1850-1870.

Duinwaterleidingen



Het eerste waterleidingbedrijf van Nederland.
Pompstation Leiduin te Vogelenzang.

Plassenwaterleidingen



Het Vechtwaterleidingbedrijf Weesperkarspel 1881.
Foto: Stadsarchief Amsterdam.

Water



Proces

Circulair

2 november 2018 masterclass drinkwater
Onno Kramer

Waterproblematiek

- ✓ Ziekteverwekkers en bestrijdingsmiddelen in water
- ✓ Klimaatverandering
- ✓ Energieproblematiek en duurzaamheid
- ✓ Terrorisme
- ✓ Kostprijs
- ✓ Wet en regelgeving
- ✓ Veeleisende klanten
- ✓ ...

Verontreinigingen in water

Typering:

- ✓ Gesuspendeerde en zwevende stoffen
- ✓ Opgeloste stoffen en gassen
- ✓ Organismen

Doel:

- ✓ Gezond en betrouwbaar drinkwater produceren met een 'complexe' zuiveringstrein

Verontreinigingen in water

Typering:

✓ Gesuspendeerde en zwevende stoffen

✓ Opgeloste stoffen en gassen

- Minerale bestanddelen:

 - Kationen, Anionen

Arseen

- Organisch bestanddelen:

 - Voedingsstoffen, Toxische stoffen

Bestrijdingsmiddelen

Medicijnen

Hormonen

Röntgencontrastvloeistoffen

Drugs

- Opgeloste gassen:

 - Methaan, Ammoniak, Waterstofdissulfide

- Radioactieve stoffen

✓ Organismen

- Micro-biologische organismen:

 - Virussen, Bacteriën, Algen, Hogere organismen

Zuiveringstechnieken (chemisch fysisch biologisch)

Precipitatie

Coagulatie, sedimentatie, filtratie, ionenwisseling, microzeven

Oxidatie

Chloor, Ozon, UV, Waterstofperoxide, Fotochemisch

Adsorptie

Granulair Actief Kool

Conditionering

Ontharding, pH correctie

Membranen

Micro-, Ultra-, Nano-, RO (ook ... puur H₂O maken daarna conditioneren Ca²⁺ en Mg²⁺)

Waternet (Drinkwater, Afvalwater, Watersystemen)

Waterleidingbedrijven
- Drinkwater (10)

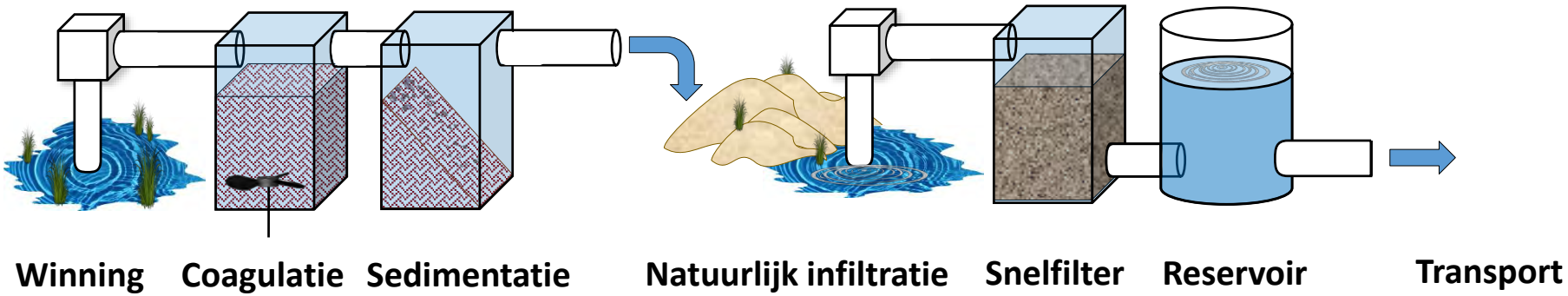
Gemeenten (380)
- Riolering
- Grondwater

Waterschappen (21)
- Afvalwaterzuivering
- Oppervlaktewater
- Waterpeil
- Dijken

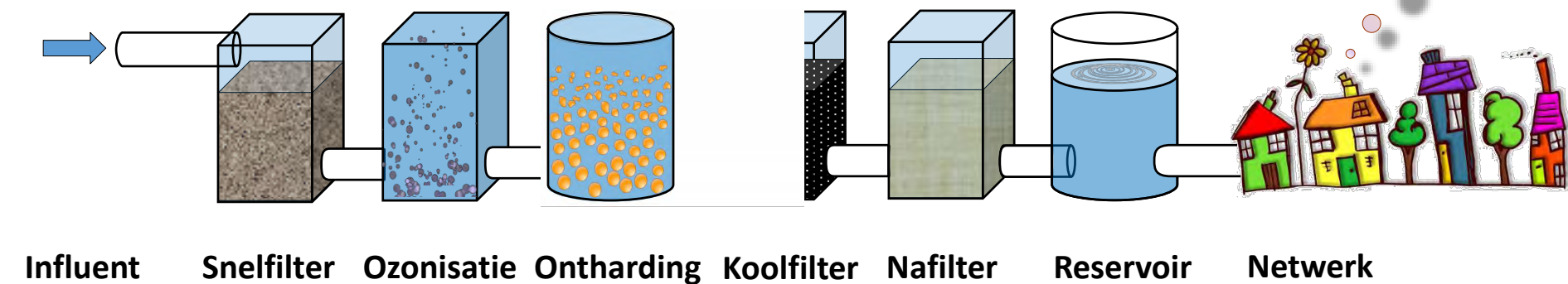


Zuiveringstrein: van ruw water tot drinkwater

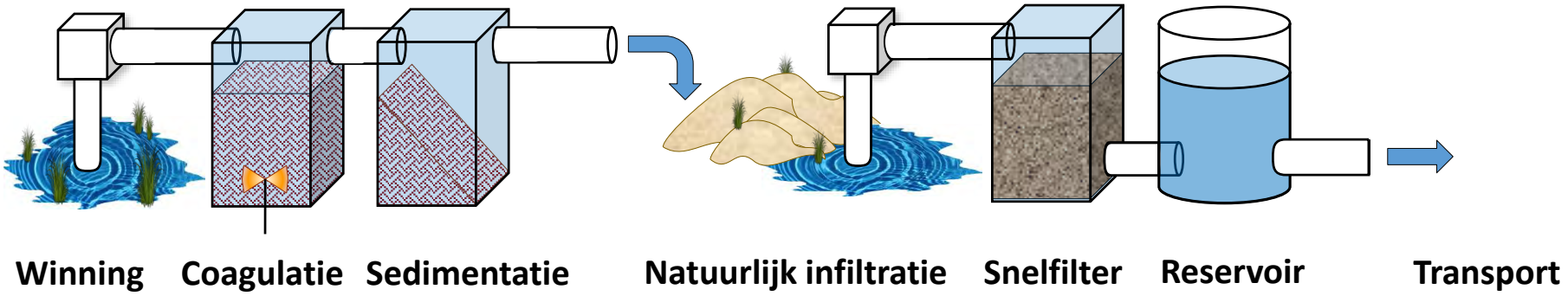
Voorzuivering



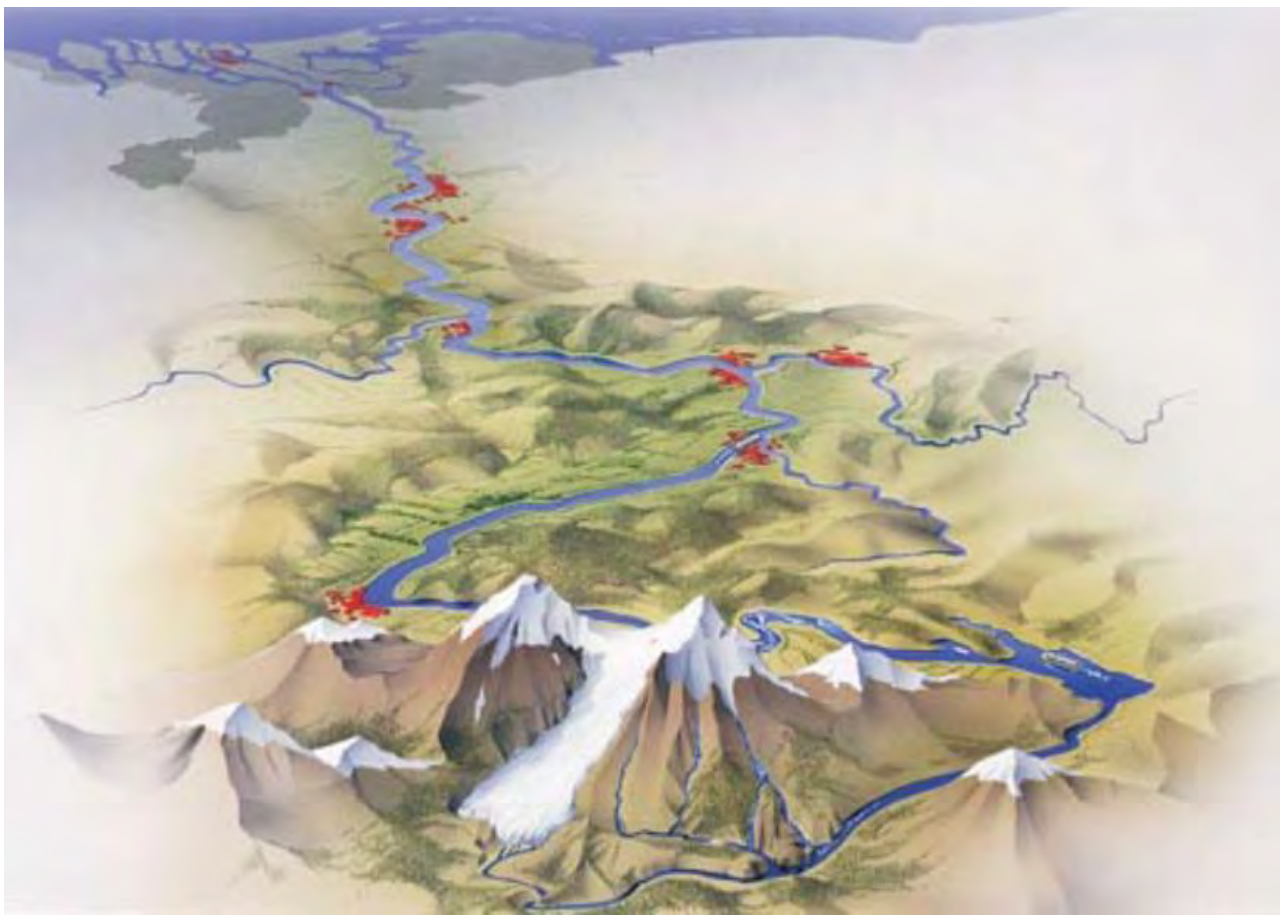
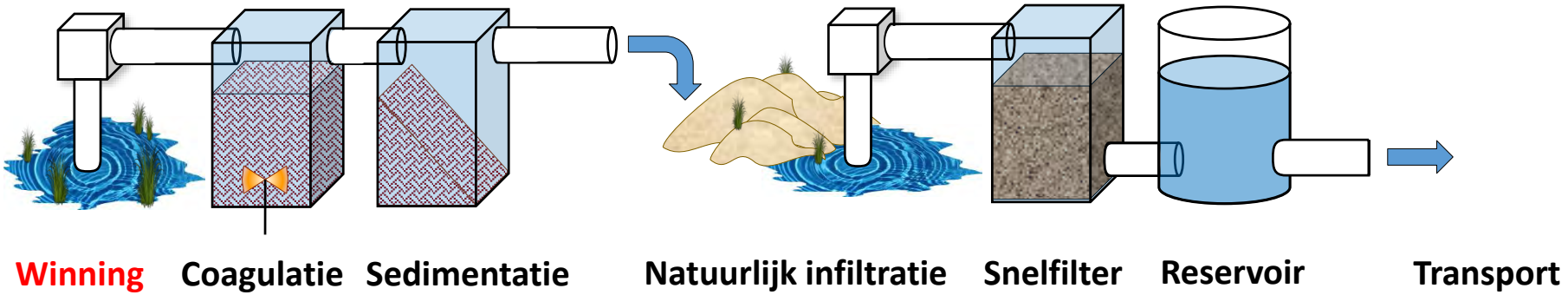
Hoofdzuivering



Voorzuivering



Voorzuivering



Bronbescherming Rijn

Gebied 250,000 km²

Lengte 1230 km

Debiet 2000 m³/s

50 miljoen inwoners

9 landen

Veel - industrie

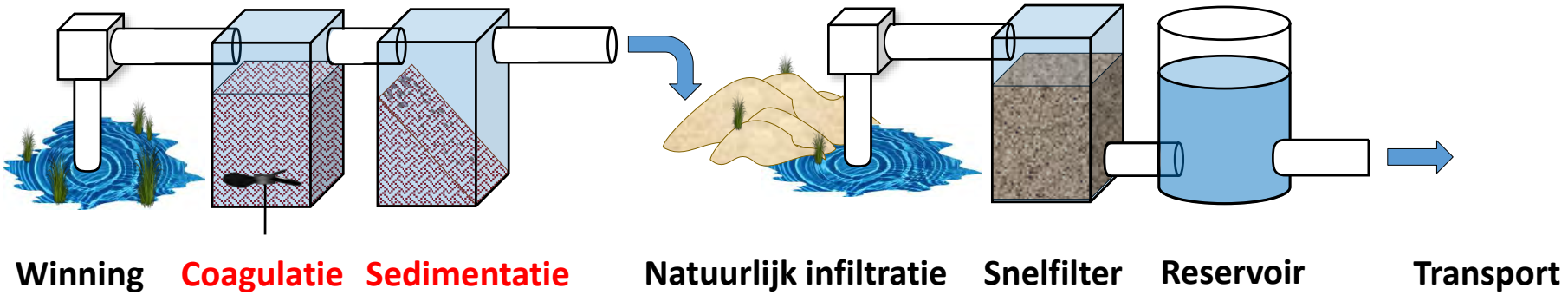
- landbouw

- transport

Alarmmelding systeem

RIWA

Voorzuivering



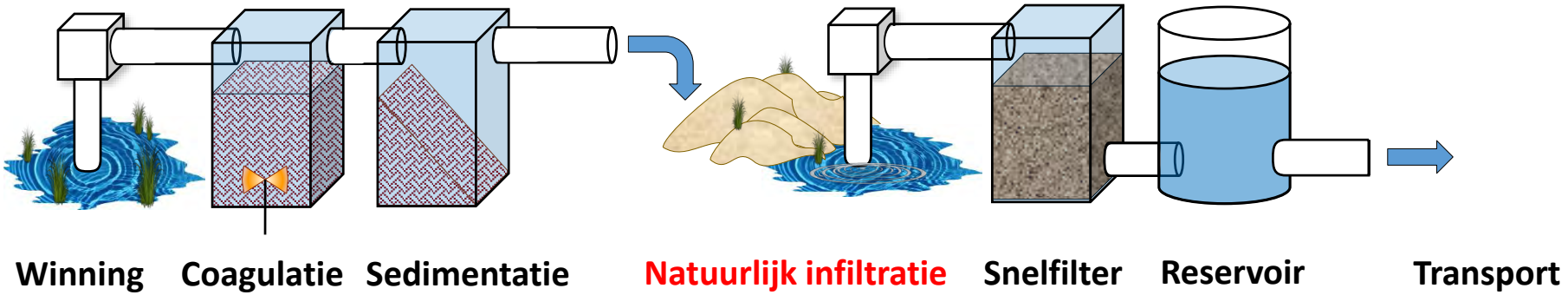
FeCl_3 dosering, vlokvorming

Verwijdering:

- Gesuspendeerde stoffen
- Fosfaat
- Colloïde deeltjes
- Organische stoffen
- Bacteriën en virussen
- Zware metalen

Coagulatieslib wordt
verwerkt tot bakstenen

Voorzuivering

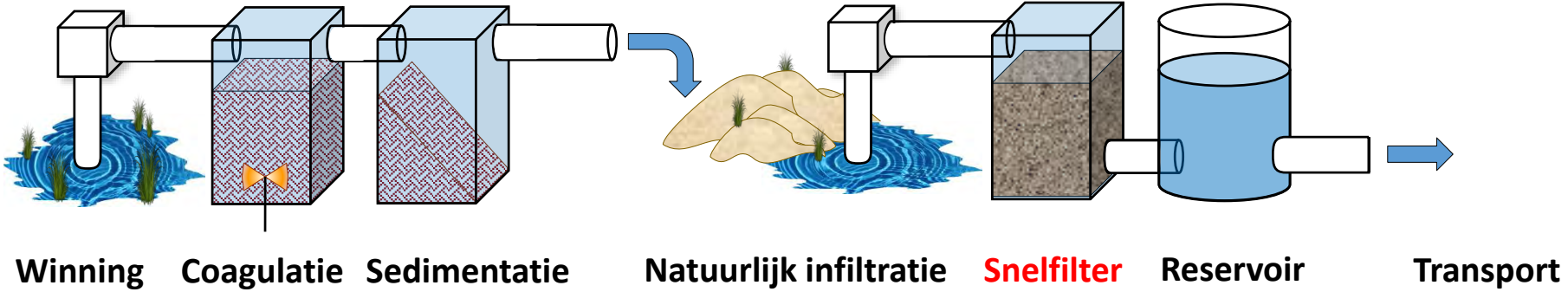


Waterleiding duinen
60 dagen verblijftijd
Reductie organische microverbindingen
Afvlakking waterkwaliteit
Strategische voorraad 2-3 maanden



Waterleiding plassen
90 dagen verblijftijd
Reductie organische stoffen,
ammonium, bacteriën en virussen

Voorzuivering



Verwijdering:

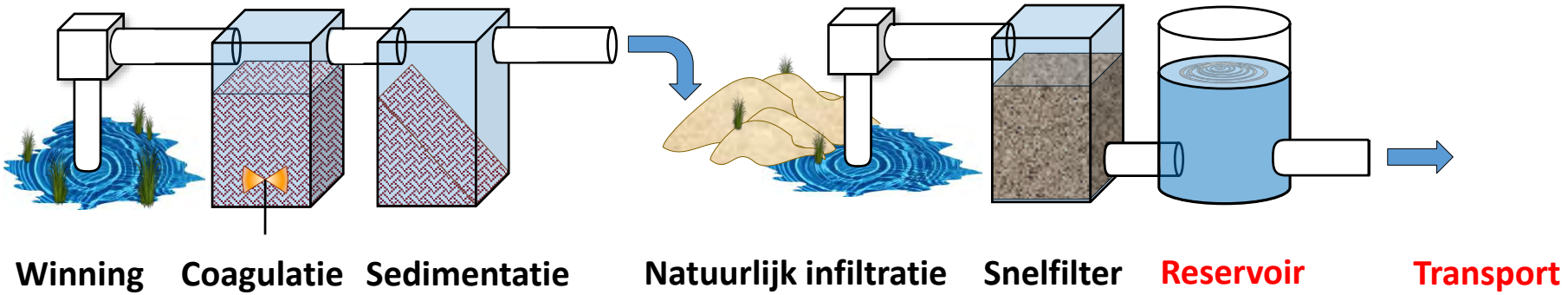
- Zwevende stoffen
- Bacteriën
- Ammonium
- IJzer
- Mangaan

Filterspoeling elke week

Nitrificatie:



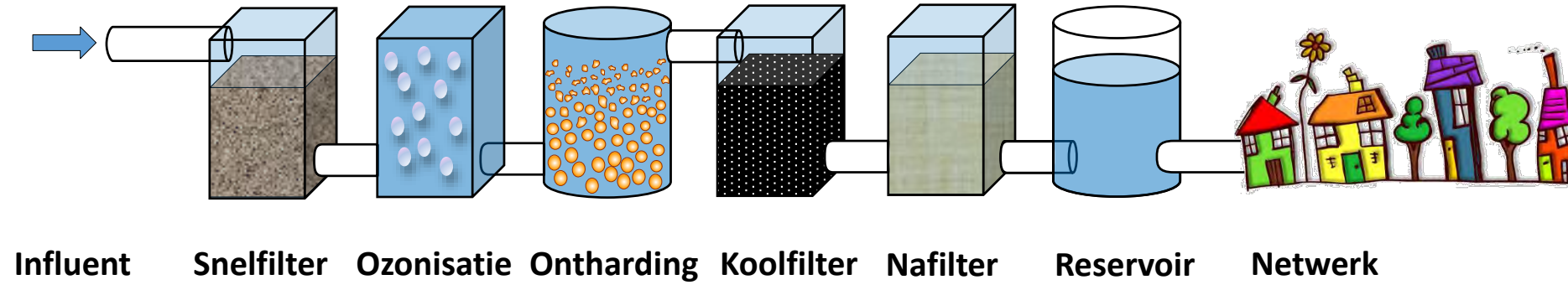
Voorzuivering



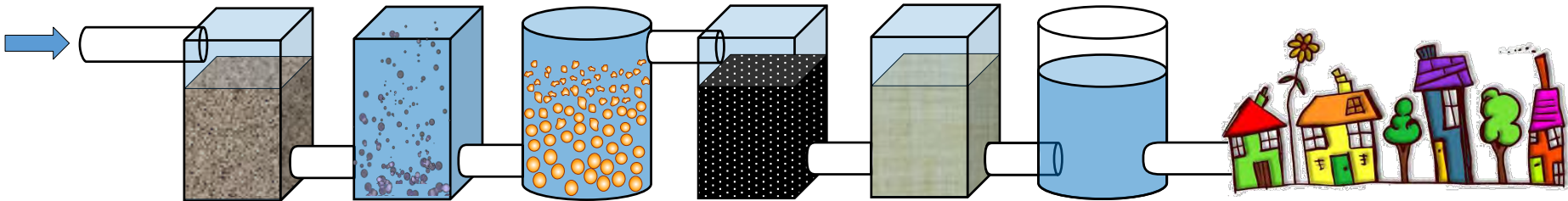
Opslag tussenproduct
Nieuwegein
100-160 miljoen m³/jaar
Levering aan o.a. Tata Steel
Transport Leiduin

Opslag tussenproduct
Loenderveen
30 miljoen m³/jaar
Transport Weesperkarspel

Hoofdzuivering



Hoofdzuivering



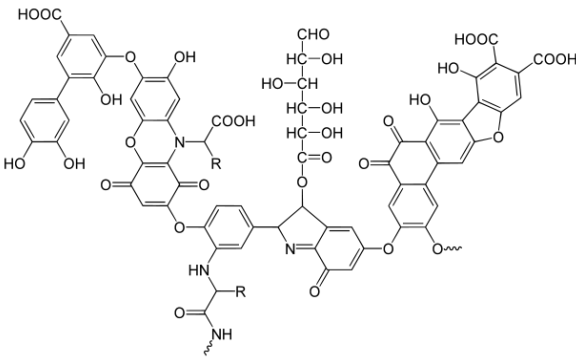
Influent Snelfilter **Ozonisatie** Ontharding Koelfilter Nafilter Reservoir Netwerk



Desinfectie van water
 Dosering ozon gas
 Betere smaak, kleur, geur
 Verwijdering:

- Organische stoffen
- Bestrijdingsmiddelen
- Ziekteverwekkers

Deelstroomdosering



Humuszuur

Ozon - Model

Ozone

$$\frac{\partial c_{O_3}}{\partial t} = -u \frac{\partial c_{O_3}}{\partial x} + k_L RQ \frac{u}{u_g d_b} (\alpha k_D c_{O_{3g}} - c_{O_3}) - k_{UV,A} (UV_A - UV_{A_0}) Y - k_{O_3} c_{O_3}$$

$$\frac{\partial c_{O_{3g}}}{\partial t} = -u_g \frac{\partial c_{O_{3g}}}{\partial x} + k_L \frac{6}{d_b} (\alpha k_D c_{O_{3g}} - c_{O_3})$$

UVA₂₅₄

$$\frac{\partial (UV_A)}{\partial t} = -u \frac{\partial (UV_A)}{\partial x} - k_{UV,A} (UV_A - UV_{A_0})$$

Bromate

$$\frac{\partial c_{BrO_3}}{\partial t} = -u \frac{\partial c_{BrO_3}}{\partial x} + k_{BrO_3} c_{O_3}$$

$$c_{BrO_3, in} = F_{BrO_3, in} c_{O_3, DOS} + c_{BrO_3, in}$$

CT

$$\frac{\partial (CT)}{\partial t} = -u \frac{\partial (CT)}{\partial x} + c_{O_3}$$

Giardia

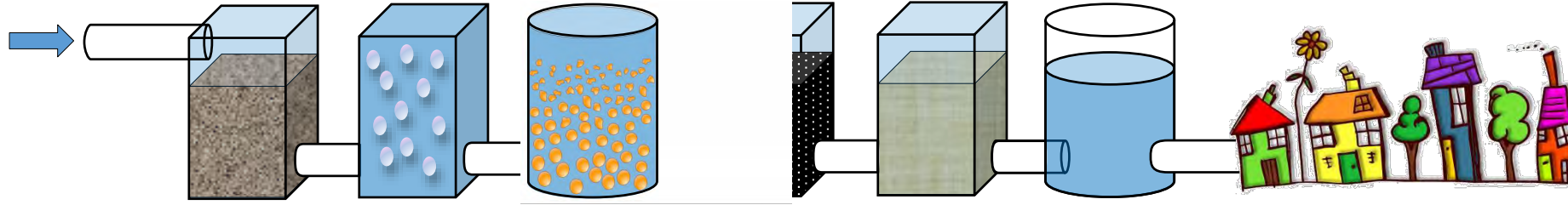
$$CT = 0.9606 \cdot e^{-0.0713 \cdot T}$$

AOC

$$c_{AOC} = F_{AOC} c_{O_3, DOS} c_{DOC, in} + c_{AOC, in}$$

1 log removal

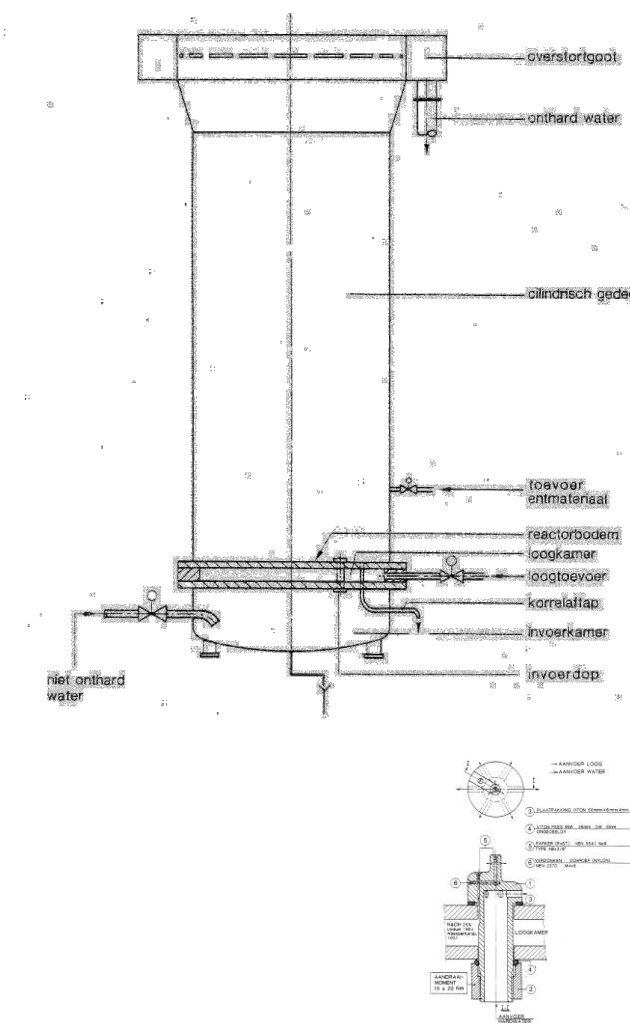
Hoofdzuivering



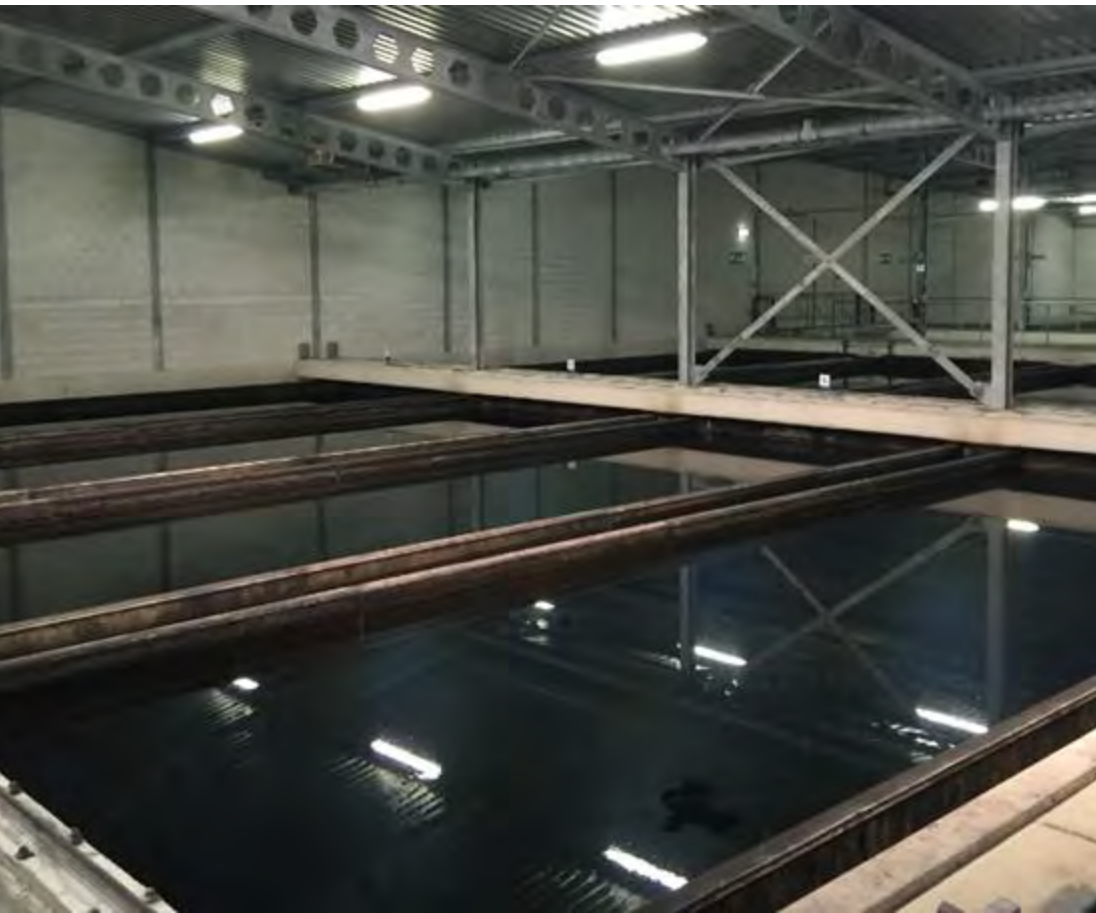
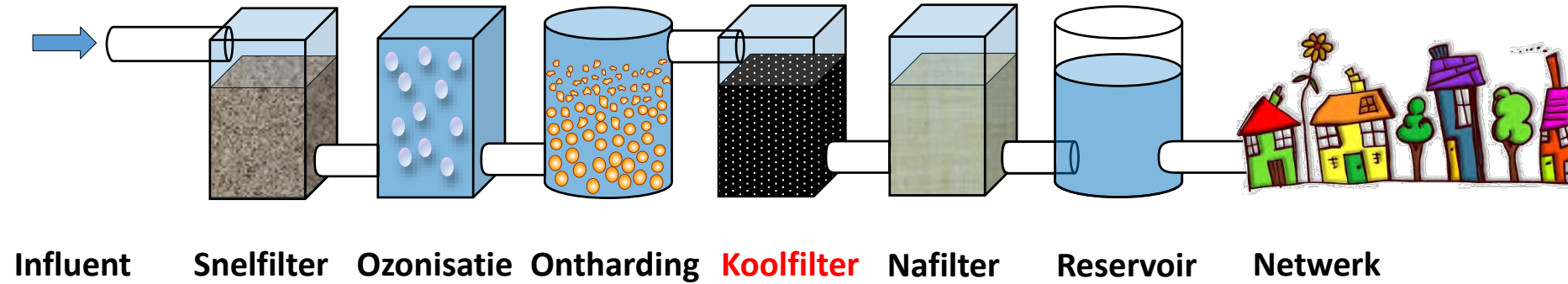
Influent Snelfilter Ozonisatie **Ontharding** Koolfilter Nafilter Reservoir Netwerk



Hardheidsreductie
Hard naar zacht water
Hardheid: 1,4 mmol/L
Kalkkoolzuurevenwicht
Snelheid 100 m/uur
Fluid bed reactoren
400 miljoen m³/NL
Kosten 4 € cent per m³



Hoofdzuivering



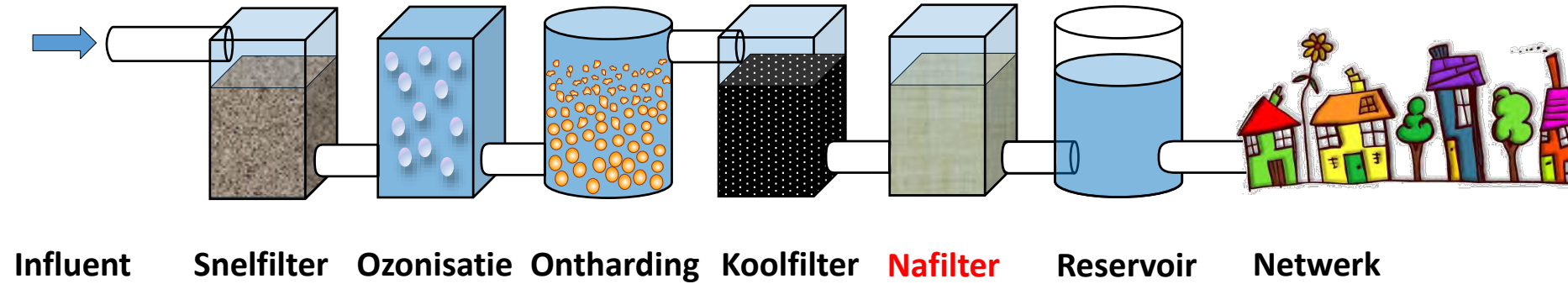
Adsorptieproces van kool
Snelheid 10 m/uur
 $1\text{g kool} \approx 1\text{ voetbalveld m}^2$
- Verwijdering organische microverontreinigingen
- Omzetting natuurlijk organisch materiaal
- Re-activatie 1#/jaar



Spoelen van koelfilters
gemiddeld elke week

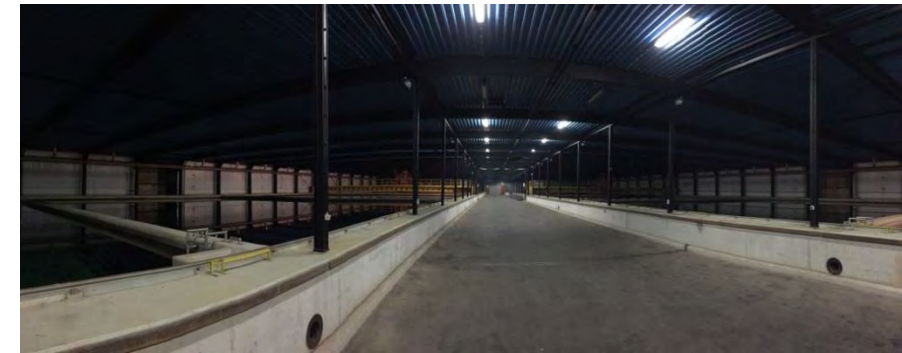


Hoofdzuivering

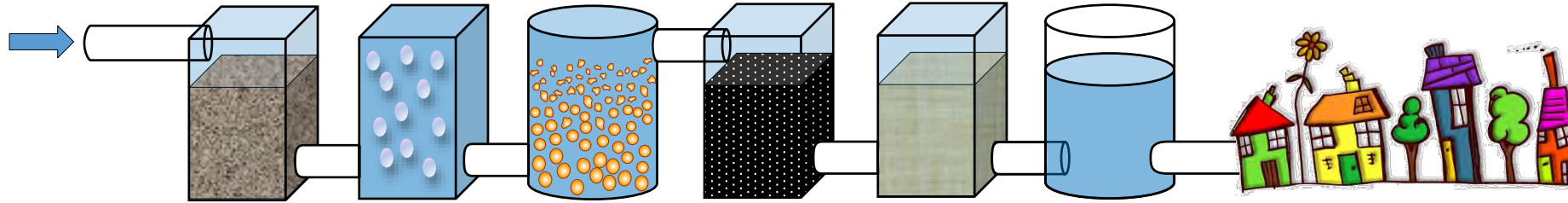


Langzame zandfiltratie
Snelheid 1 m/uur
Oppervlakte 1 filter 1000 m²
Verbetering biologische stabiliteit
Desinfectie van water
Verwijdering:

- Bacteriën
- Protozoa
- Virussen



Hoofdzuivering



Influent Snelfilter Ozonisatie Ontharding Koolfilter Nafilter Reservoir Netwerk



Opslag van drinkwater

Productie:

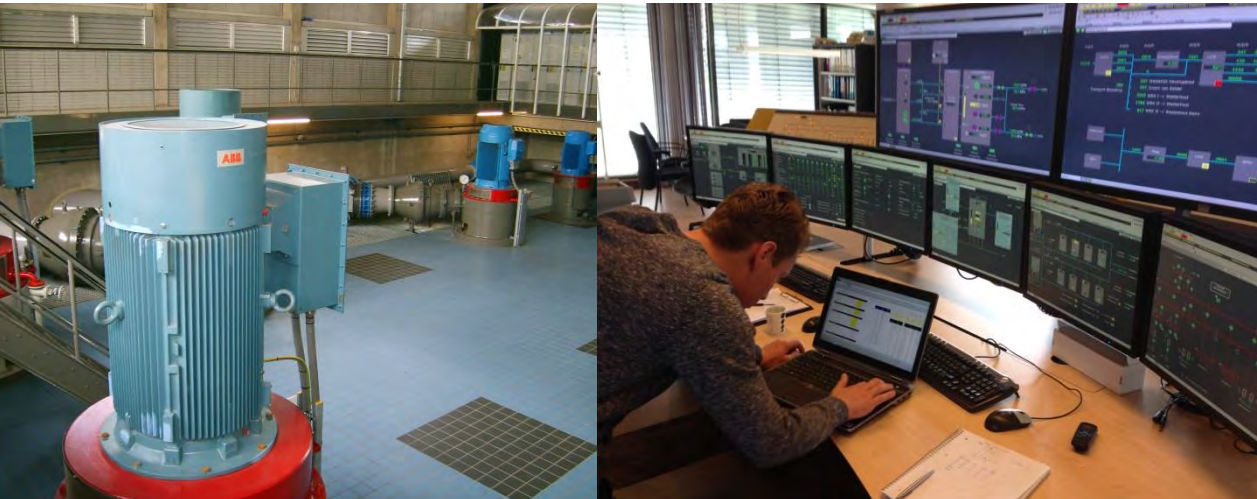
10 duizend m³/uur

2/3 Leiduin

1/3 Weesperkarspel

1 miljoen mensen

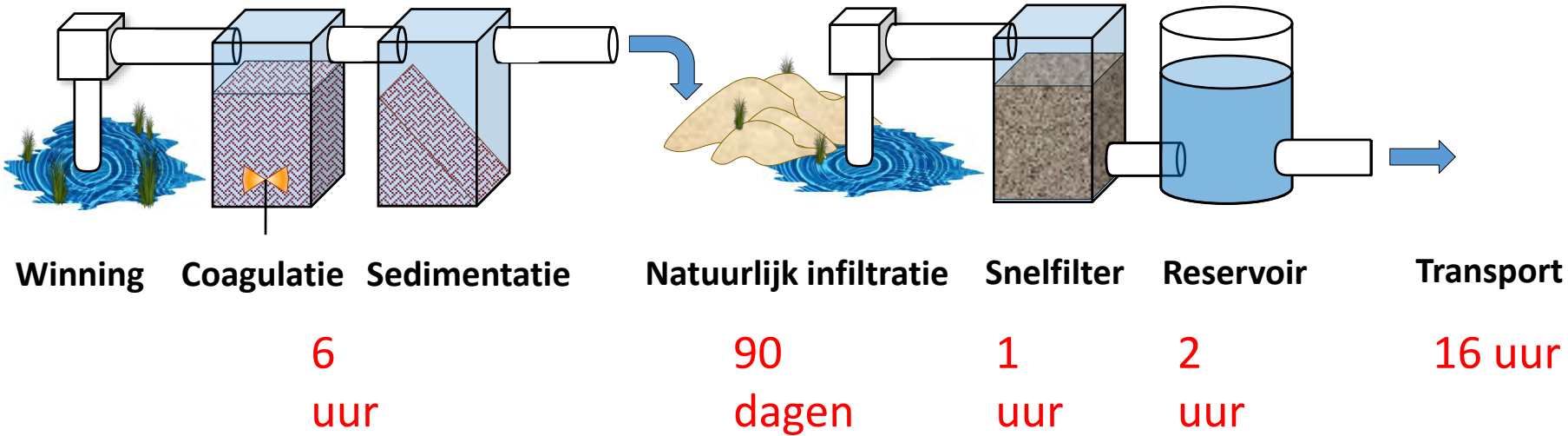
3000 km leidingen



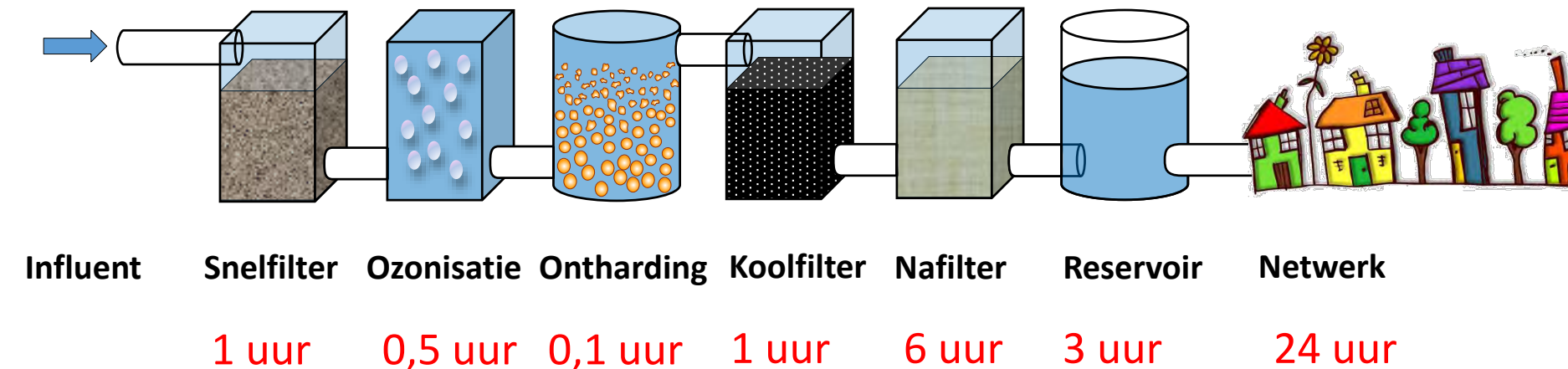
Tijdsschalen van zuiveringsprocessen

- ✓ Chemisch [sec]
- ✓ Fysisch [min]
- ✓ Biologisch [dag]

Voorzuivering



Hoofdzuivering



Variatie in de verschillende hydraulische Verbliftijden als gevolg van verschillende Doorloopsnelheden en mate van menging en Procesoppervlakte.

Water

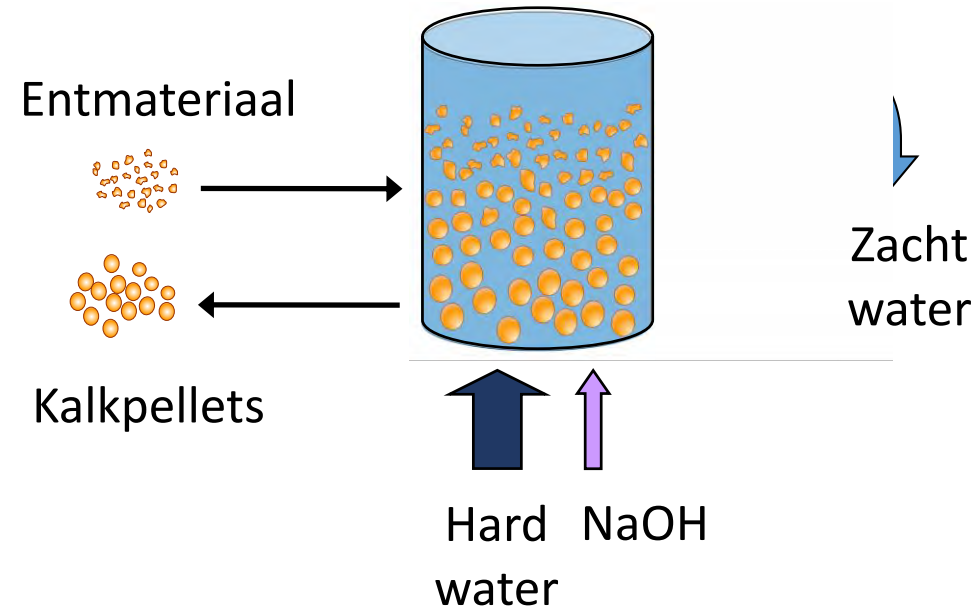


Proces

Circulair

2 november 2018 masterclass drinkwater
Onno Kramer

Principe van pellet-ontharding



Fysisch

Deeltjes
classificeren

Het bed
fluidiseert

Upflow door
de kolom



Chemisch

Natronloog
doseren

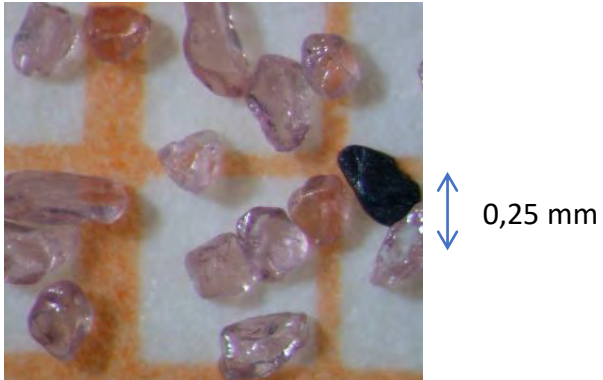
pH stijgt

$\text{CO}_2 \rightarrow \text{CO}_3^{2-}$

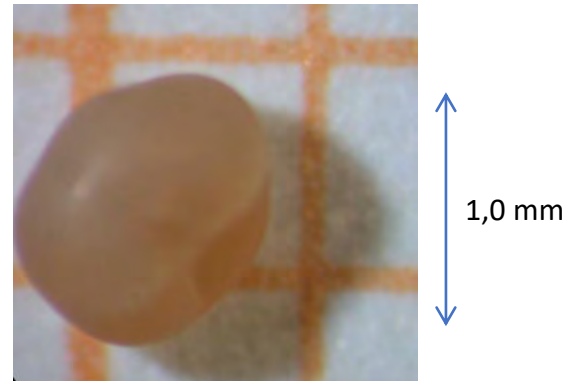
Kalk (CaCO_3)
kristalliseert

Drinkwater ontharding (lineaire economie)

Ent-materiaal (granaatzand) →



Kalkpellets



500 ton/jaar grondstof Australië →

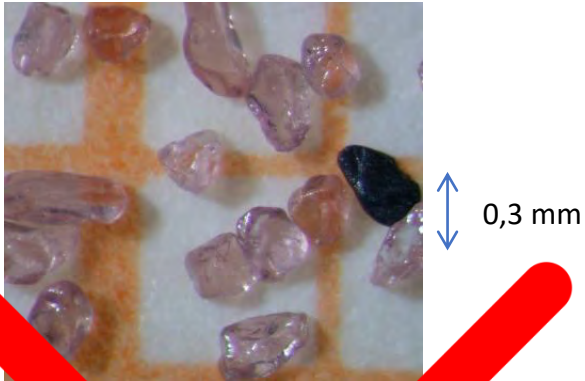


8000 ton/jaar reststof

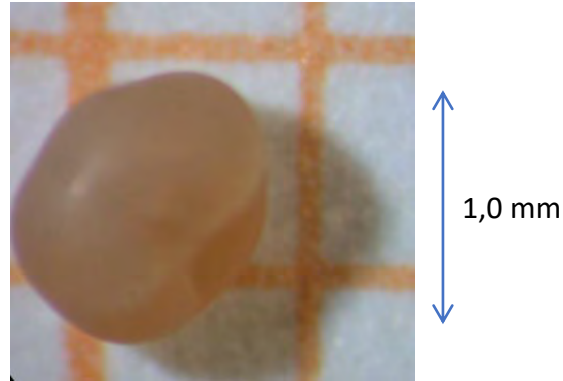


Drinkwater ontharding (Waternet CO₂ neutral in 2020)

Ent-materiaal (granaatzand)



Kalkpellets



500 ton/jaar grondstof Australië

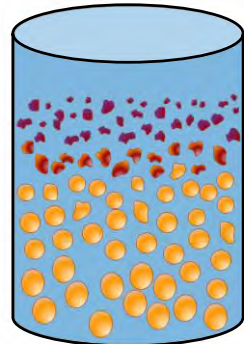


8000 ton/jaar reststof



Drinkwater ontharding (lineaire economie)

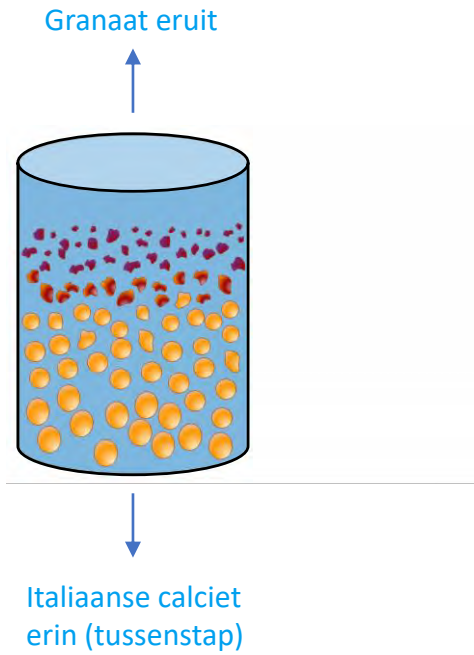
Granaatzand



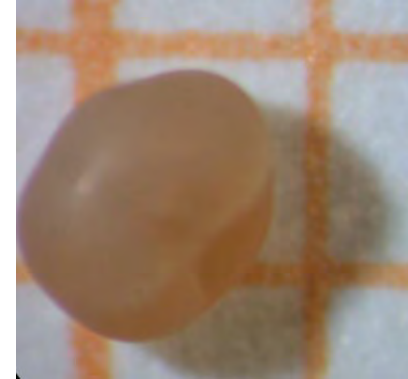
Kalkpellets



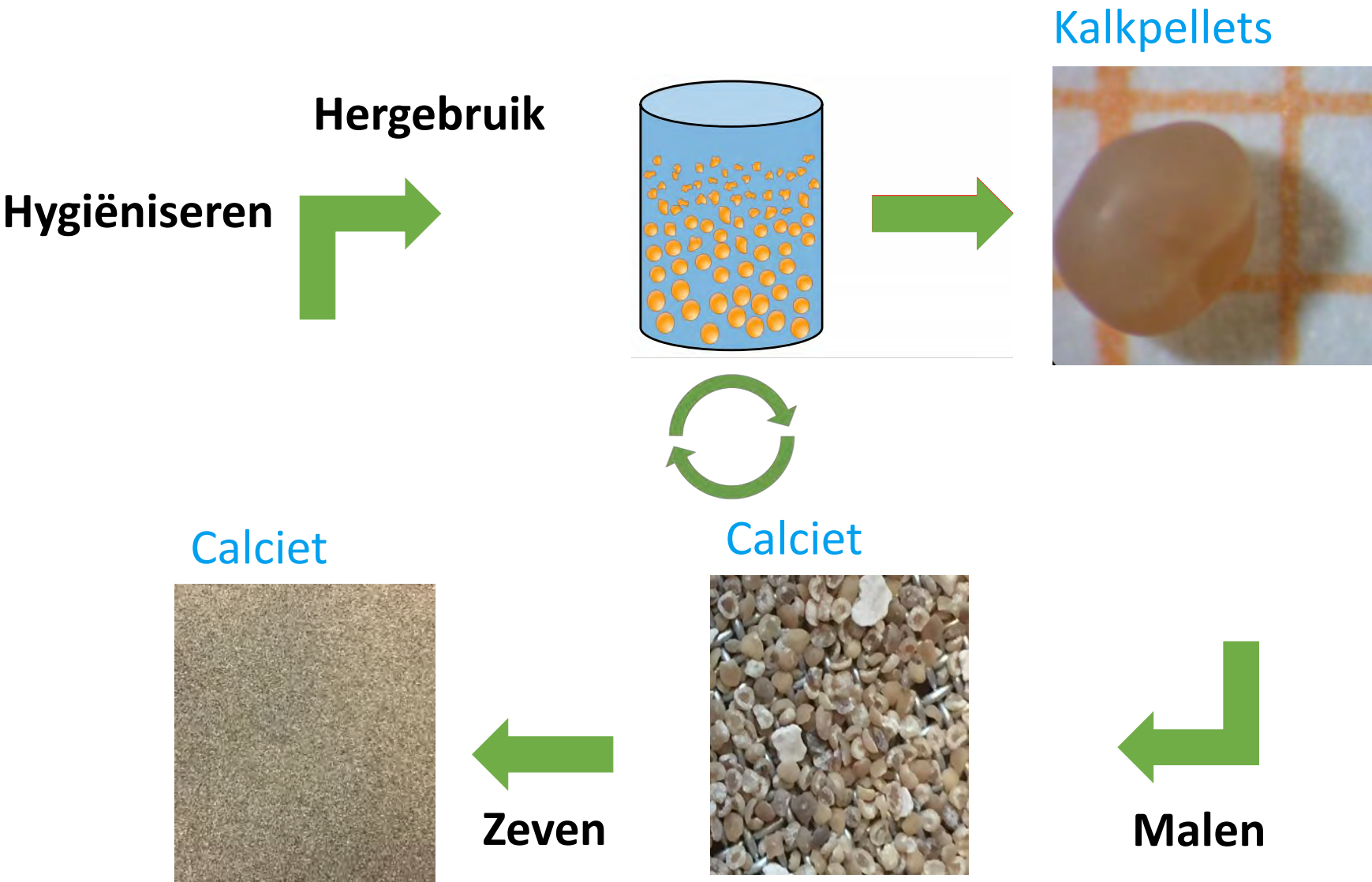
Drinkwater ontharding (lineaire economie)



Kalkpellets

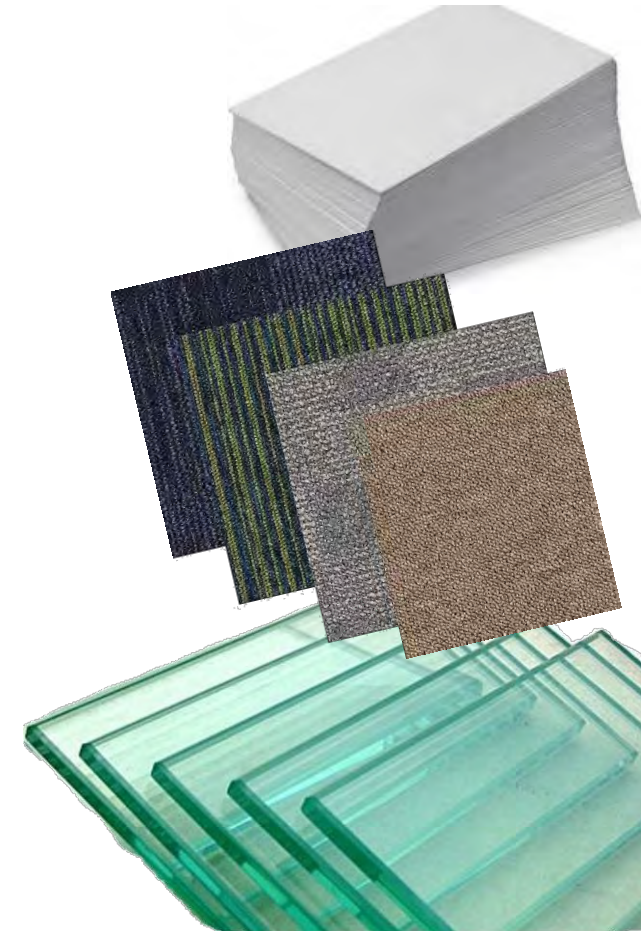


Drinkwater ontharding (circulaire economie)



Drinkwater ontharding (circulaire economie)

- ✓ Opbrengst hergebruik van calcië als ent-materiaal
 - Kosten: besparing 100.000 €/jaar (0,4%)
 - Duurzaamheid: 40.000 eco-punten/jaar (5%)
 - Valorisatie: afzetmarkt: glas/papier/tapijt...
 - Visie: mogelijkheid van invoering van cycles in bedrijfsvoering
 - Veel leermomenten
 - wet en regelgeving
 - hydraulica in reactor
 - LCA berekeningen



Circular economy in drinking water treatment: reuse of ground pellets as seeding material in the pellet softening process

M. J. A. Schetters, J. P. van der Hoek, O. J. I. Kramer, L. J. Kors,
L. J. Palmen, B. Hofs and H. Koppers



Klimaatneutraal door circulair handelen

✓ Calciet hergebruik bij drinkwater ontharding

✓ Thermische energie uit waterleidingen
Sanquin (bloedbank)

✓ Struviet uit afvalwater en urine
$$\text{Mg}^{2+} + \text{PO}_4^{3-} + \text{NH}_4^+ + 6\text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{Mg}(\text{NH}_4)\text{PO}_4 \cdot 6(\text{H}_2\text{O})$$

✓ Cellulose, eiwit uit afvalwater
Fijnzeven, potentieel 10.000 kg ds/jaar

✓ Bio-plastics uit slib

✓ Bio-composiet van planten

✓ Groengas uit biogas

2/11/18 - WCC - 275 jaar voorlopers in de chemie



Duurzaamheid

- ✓ In Nederland focus op waterkwaliteit
- ✓ Vervuiling voorkomen is beter dan ... (water) behandelen
- ✓ Duurzame Nederlandse waterbedrijven
 - Reductie van chemicaliën
 - Gebruiken van de energie uit de watercyclus
 - Hergebruiken reststoffen in de watercyclus



We hebben 1 aarde...

- ✓ Klimaatverandering
- ✓ Grondstoffen tekort
- ✓ Schoon water
- ✓ Biodiversiteit
- ✓ 9 miljard mensen
- ✓ Eerlijke verdeling

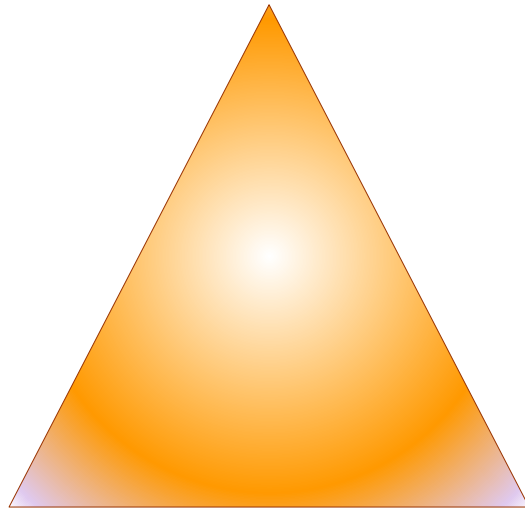


SUSTAINABLE DEVELOPMENT GOALS



Educatie

Onderzoek



Onderwijs

Praktijk

2/11/18 - WCC - 275 jaar voorlopers in de chemie



Eerdere onderzoeksstages

Pyrazol afbraak in snelfilters

Kalkkorrels verkleinen met cavitatie

Specifiek oppervlak van niet ronde deeltjes



Lars van Bokhorst 2018



Roy Wiersma 2016



Suraj Ramjad 2019



“1743: 275 jaar voorlopers in de chemie”



Woudschoten Chemie Conferentie 2018
Onno Kramer

Bedankt voor uw aandacht

Met dank aan:

Alex van der Helm
Alice Fermont
André Struiker
Anthony van As
Eric Baars
Karin Dieters
Las van Bokhorst
Leon Kors
Marcel Borsboom
Remco Vasterink
Wim van Vugt

Foto: Onno Kramer (BVI's 2008)

Vragen?

2/11/18 - WCC - 275 jaar voorlopers in de chemie



Personalia

Naam: Onno Kramer

Tel.: 06-42147123

E-mail: onno.kramer@waternet.nl

Netwerk: LinkedIn

Publicaties: ResearchGate, TUDelft, PureCycle



Waternet, Sector Drinkwater, Afdeling, Productie



waterschap amstel gooi en vecht
gemeente amsterdam

Hogeschool Utrecht Institute for Life Sciences and Chemistry



Delft University of Technology

Faculty of Civil Engineering and Geosciences, Department Water Management, Section Sanitary Engineering, Research Group Drinking Water
Faculty of Mechanical, Maritime and Materials Engineering, Department Process and Energy, Section Intensified Reaction and Separation Systems

