

**Gezond drinkwater - een doorkijk door de tijd van gezond drinkwater
Masterclass M2 (PPT)**

Kramer, Onno

Publication date

2018

Document Version

Final published version

Citation (APA)

Kramer, O. (2018). *Gezond drinkwater - een doorkijk door de tijd van gezond drinkwater: Masterclass M2 (PPT)*. Woudschoten Chemie conferentie, Zeist, Netherlands.

Important note

To cite this publication, please use the final published version (if applicable).
Please check the document version above.

Copyright

Other than for strictly personal use, it is not permitted to download, forward or distribute the text or part of it, without the consent of the author(s) and/or copyright holder(s), unless the work is under an open content license such as Creative Commons.

Takedown policy

Please contact us and provide details if you believe this document breaches copyrights.
We will remove access to the work immediately and investigate your claim.

“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 Kramer 2/3 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 geen 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 afnemen, is dat een bedreiging voor Egypte. Dat kan zelfs tot oorlog leiden.

E Drinkwater uit grond- en oppervlaktewater

Vroeger was het rivierwater schoon genoeg om te gebruiken voor de was. Grondwater werd bij de mensen voornamelijk 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 tot organisch afval. 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, waardoor er steeds meer mensen hun afval in de rivieren voldoende was geweest, kon de enorme toevloed van afvalstoffen niet meer aan. De afgelopen jaren is de kwaliteit van het rivierwater sterk verbeterd door het



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

tengebrengen van de vervuiling door fabrieken en door grootstadsche 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 eilandige zuiveringsgebied in Rotterdam gevoerd. Hier voegt men een stof aan het water toe (spuurstof), 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 bijkomen. 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 gestaakt herhaald.
- 6 Daarna wordt het water **verfilterd** met behulp van filterbedden die bestaan uit lagen grint, zand en actietruis.
- 7 Eventueel aanwezige opgeloste kleur-, geur- en smaakstoffen worden verwijderd door behandeling van het water met het **wateroplossmiddel** Norit.
- 8 Vervolgens wordt nog een klein beetje chloor toegevoegd om besmetting van het water te voorkomen. Hierna kan het water, na een ruststop in een opslagtank, het drinkwaterleidingnet in.



Waterchemie

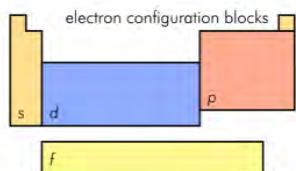


The Periodic Table of the Elements

group 1																	18		
period 1	1																	2	
	1.00794 1312.0 2.20 H Hydrogen 1s ¹																	4.002602 2372.3 He Helium 1s ²	
	6.941 520.2 0.98 Li Lithium 1s ² 2s ¹	9.012182 899.5 1.57 Be Beryllium 1s ² 2s ²																	20.1797 2086.7 Ne Neon 1s ² 2s ² 2p ⁶
2	22.98976 495.8 0.93 Na Sodium [Ne] 3s ¹	24.3050 737.7 1.31 Mg Magnesium [Ne] 3s ²																	39.948 1520.6 Ar Argon [Ne] 3s ² 3p ⁶
3	39.0983 418.8 0.82 K Potassium [Ar] 4s ¹	40.078 589.8 1.00 Ca Calcium [Ar] 4s ²	44.95591 633.1 1.36 Sc Scandium [Ar] 3d ¹ 4s ²	47.867 658.8 1.54 Ti Titanium [Ar] 3d ² 4s ²	50.9415 650.9 1.63 V Vanadium [Ar] 3d ³ 4s ²	51.9962 652.9 1.66 Cr Chromium [Ar] 3d ⁵ 4s ¹	54.93804 717.3 1.55 Mn Manganese [Ar] 3d ⁵ 4s ²	55.845 762.5 1.83 Fe Iron [Ar] 3d ⁶ 4s ²	58.93319 760.4 1.91 Co Cobalt [Ar] 3d ⁷ 4s ²	58.6934 737.1 1.88 Ni Nickel [Ar] 3d ⁸ 4s ²	63.546 745.5 1.90 Cu Copper [Ar] 3d ¹⁰ 4s ¹	65.38 906.4 1.65 Zn Zinc [Ar] 3d ¹⁰ 4s ²	69.723 578.8 1.81 Ga Gallium [Ar] 3d ¹⁰ 4s ² 4p ¹	72.64 762.0 2.01 Ge Germanium [Ar] 3d ¹⁰ 4s ² 4p ²	74.92160 947.0 2.18 As Arsenic [Ar] 3d ¹⁰ 4s ² 4p ³	78.96 941.0 2.55 Se Selenium [Ar] 3d ¹⁰ 4s ² 4p ⁴	79.904 1139.9 2.96 Br Bromine [Ar] 3d ¹⁰ 4s ² 4p ⁵	83.798 1350.8 3.00 Kr Krypton [Ar] 3d ¹⁰ 4s ² 4p ⁶	
4	85.4678 403.0 0.82 Rb Rubidium [Kr] 5s ¹	87.62 549.5 0.95 Sr Strontium [Kr] 5s ²	88.90585 600.0 1.22 Y Yttrium [Kr] 4d ¹ 5s ²	91.224 640.1 1.33 Zr Zirconium [Kr] 4d ² 5s ²	92.90638 640.1 1.60 Nb Niobium [Kr] 4d ⁴ 5s ¹	95.96 684.3 2.16 Mo Molybdenum [Kr] 4d ⁵ 5s ¹	(98) 702.0 1.90 Tc Technetium [Kr] 4d ⁵ 5s ²	101.07 710.2 2.20 Ru Ruthenium [Kr] 4d ⁷ 5s ¹	102.9055 719.7 2.28 Rh Rhodium [Kr] 4d ⁸ 5s ¹	106.42 804.4 2.20 Pd Palladium [Kr] 4d ¹⁰	107.8682 731.0 1.93 Ag Silver [Kr] 4d ¹⁰ 5s ¹	112.414 867.8 1.69 Cd Cadmium [Kr] 4d ¹⁰ 5s ²	114.818 558.3 1.78 In Indium [Kr] 4d ¹⁰ 5s ² 5p ¹	118.710 708.6 1.96 Sn Tin [Kr] 4d ¹⁰ 5s ² 5p ²	121.760 834.0 2.05 Sb Antimony [Kr] 4d ¹⁰ 5s ² 5p ³	127.60 869.3 2.10 Te Tellurium [Kr] 4d ¹⁰ 5s ² 5p ⁴	126.9044 1008.4 2.66 I Iodine [Kr] 4d ¹⁰ 5s ² 5p ⁵	131.293 1170.4 2.60 Xe Xenon [Kr] 4d ¹⁰ 5s ² 5p ⁶	
5	132.9054 375.7 0.79 Cs Caesium [Xe] 6s ¹	137.327 502.9 0.89 Ba Barium [Xe] 6s ²	174.9668 523.5 1.27 Lu Lutetium [Xe] 4f ¹⁴ 5d ¹ 6s ²	178.49 658.5 1.30 Hf Hafnium [Xe] 4f ¹⁴ 5d ² 6s ²	180.9478 761.0 1.50 Ta Tantalum [Xe] 4f ¹⁴ 5d ³ 6s ²	183.84 770.0 2.36 W Tungsten [Xe] 4f ¹⁴ 5d ⁴ 6s ²	186.207 760.0 1.90 Re Rhenium [Xe] 4f ¹⁴ 5d ⁵ 6s ²	190.23 840.0 2.20 Os Osmium [Xe] 4f ¹⁴ 5d ⁶ 6s ²	192.217 880.0 2.20 Ir Iridium [Xe] 4f ¹⁴ 5d ⁷ 6s ²	195.084 870.0 2.28 Pt Platinum [Xe] 4f ¹⁴ 5d ⁹ 6s ¹	196.9665 890.1 2.54 Au Gold [Xe] 4f ¹⁴ 5d ¹⁰ 6s ¹	200.59 1007.1 2.00 Hg Mercury [Xe] 4f ¹⁴ 5d ¹⁰ 6s ²	204.3833 589.4 1.62 Tl Thallium [Xe] 4f ¹⁴ 5d ¹⁰ 6s ² 6p ¹	207.2 703.0 2.33 Pb Lead [Xe] 4f ¹⁴ 5d ¹⁰ 6s ² 6p ²	208.9804 703.0 2.02 Bi Bismuth [Xe] 4f ¹⁴ 5d ¹⁰ 6s ² 6p ³	(210) 812.1 2.00 Po Polonium [Xe] 4f ¹⁴ 5d ¹⁰ 6s ² 6p ⁴	(210) 890.0 2.20 At Astatine [Xe] 4f ¹⁴ 5d ¹⁰ 6s ² 6p ⁵	(220) 1037.0 Rn Radon [Xe] 4f ¹⁴ 5d ¹⁰ 6s ² 6p ⁶	
6	(223) 380.0 0.70 Fr Francium [Rn] 7s ¹	(226) 509.3 0.90 Ra Radium [Rn] 7s ²	(262) 470.0 Lr Lawrencium [Rn] 5f ¹⁴ 7s ² 7p ¹	(261) 580.0 Rf Rutherfordium [Rn] 5f ¹⁴ 6d ² 7s ²	(262) 105 Db Dubnium [Rn] 5f ¹⁴ 6d ³ 7s ²	(266) 106 Sg Seaborgium [Rn] 5f ¹⁴ 6d ⁴ 7s ²	(264) 107 Bh Bohrium [Rn] 5f ¹⁴ 6d ⁵ 7s ²	(277) 108 Hs Hassium [Rn] 5f ¹⁴ 6d ⁶ 7s ²	(268) 109 Mt Meitnerium [Rn] 5f ¹⁴ 6d ⁷ 7s ²	(271) 110 Ds Darmstadtium [Rn] 5f ¹⁴ 6d ⁸ 7s ²	(272) 111 Rg Roentgenium [Rn] 5f ¹⁴ 6d ⁹ 7s ²	(285) 112 Cn Copernicium [Rn] 5f ¹⁴ 6d ¹⁰ 7s ²	(284) 113 Uut Ununtrium [Rn] 5f ¹⁴ 6d ¹⁰ 7s ² 7p ¹	(289) 114 Uuq Ununquadium [Rn] 5f ¹⁴ 6d ¹⁰ 7s ² 7p ²	(288) 115 Uup Ununpentium [Rn] 5f ¹⁴ 6d ¹⁰ 7s ² 7p ³	(292) 116 Uuh Ununhexium [Rn] 5f ¹⁴ 6d ¹⁰ 7s ² 7p ⁴	(294) 117 Uus Ununseptium [Rn] 5f ¹⁴ 6d ¹⁰ 7s ² 7p ⁵	(294) 118 Uuo Ununoctium [Rn] 5f ¹⁴ 6d ¹⁰ 7s ² 7p ⁶	

atomic mass or most stable mass number: 55.845
 1st ionization energy in kJ/mol: 762.5 1.83
 chemical symbol: Fe
 name: Iron
 electron configuration: [Ar] 3d⁶ 4s²
 atomic number: 26
 electronegativity: +6, +5, +4, +3, +2, +1, -1, -2
 oxidation states most common ore bold: +3, +2

- alkali metals
- alkaline metals
- other metals
- transition metals
- lanthanoids
- actinoids
- metalloids
- nonmetals
- halogens
- noble gases
- unknown elements
- radioactive elements have masses in parenthesis



- 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 538.1 1.10 La Lanthanum [Xe] 5d ¹ 6s ²	140.116 534.4 1.12 Ce Cerium [Xe] 4f ¹ 5d ¹ 6s ²	140.9076 527.0 1.13 Pr Praseodymium [Xe] 4f ³ 6s ²	144.242 533.1 1.14 Nd Neodymium [Xe] 4f ⁴ 6s ²	(145) 540.0 Pm Promethium [Xe] 4f ⁵ 6s ²	150.36 544.5 1.17 Sm Samarium [Xe] 4f ⁶ 6s ²	151.964 547.1 Eu Europium [Xe] 4f ⁷ 6s ²	157.25 593.4 1.20 Gd Gadolinium [Xe] 4f ⁷ 5d ¹ 6s ²	158.9253 565.8 Tb Terbium [Xe] 4f ⁹ 6s ²	162.500 573.0 1.22 Dy Dysprosium [Xe] 4f ¹⁰ 6s ²	164.9303 581.0 1.23 Ho Holmium [Xe] 4f ¹¹ 6s ²	167.259 589.3 1.24 Er Erbium [Xe] 4f ¹² 6s ²	168.9342 596.7 1.25 Tm Thulium [Xe] 4f ¹³ 6s ²	173.054 603.4 Yb Ytterbium [Xe] 4f ¹⁴ 6s ²
(227) 499.0 1.10 Ac Actinium [Rn] 6d ¹ 7s ²	232.0380 587.0 1.30 Th Thorium [Rn] 6d ² 7s ²	231.0358 568.0 1.50 Pa Protactinium [Rn] 5f ² 6d ¹ 7s ²	238.0289 597.6 1.38 U Uranium [Rn] 5f ³ 6d ¹ 7s ²	(237) 604.5 1.36 Np Neptunium [Rn] 5f ⁴ 6d ¹ 7s ²	(244) 584.7 1.28 Pu Plutonium [Rn] 5f ⁶ 7s ²	(243) 578.0 1.30 Am Americium [Rn] 5f ⁷ 7s ²	(247) 581.0 1.30 Cm Curium [Rn] 5f ⁷ 6d ¹ 7s ²	(247) 601.0 1.30 Bk Berkelium [Rn] 5f ⁹ 7s ²	(251) 608.0 1.30 Cf Californium [Rn] 5f ¹⁰ 7s ²	(252) 619.0 1.30 Es Einsteinium [Rn] 5f ¹¹ 6s ²	(257) 627.0 1.30 Fm Fermium [Rn] 5f ¹² 7s ²	(258) 635.0 1.30 Md Mendelevium [Rn] 5f ¹³ 7s ²	(259) 642.0 1.30 No Nobelium [Rn] 5f ¹⁴ 7s ²

The Periodic Table of the Elements

group 1 2 13 14 15 16 17 18

period 1 2 3 4 5 6 7

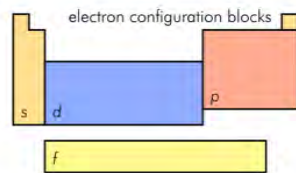
atomic mass or most stable mass number
1st ionization energy in kJ/mol
chemical symbol
name
electron configuration

atomic number
electronegativity
oxidation states most common ore bold

alkali metals
alkaline metals
other metals
transition metals
lanthanoids
actinoids

metalloids
nonmetals
halogens
noble gases
unknown elements
radioactive elements have masses in parenthesis

1.00794 1312.0 2.20 H Hydrogen 1s ¹	4.002602 2372.3 He Helium 1s ²																
6.941 520.2 0.98 Li Lithium 1s ² 2s ¹	9.012182 899.5 1.57 Be Beryllium 1s ² 2s ²	10.811 800.6 2.04 B Boron 1s ² 2s ² 2p ¹	12.0107 1086.5 2.55 C Carbon 1s ² 2s ² 2p ²	14.0067 1402.3 3.04 N Nitrogen 1s ² 2s ² 2p ³	15.9994 1313.9 3.44 O Oxygen 1s ² 2s ² 2p ⁴	18.998403 1681.0 3.98 F Fluorine 1s ² 2s ² 2p ⁵	20.1797 2086.7 Ne Neon 1s ² 2s ² 2p ⁶										
22.98976 495.8 0.93 Na Sodium [Ne] 3s ¹	24.3050 737.7 1.31 Mg Magnesium [Ne] 3s ²	26.98153 577.5 1.61 Al Aluminium [Ne] 3s ² 3p ¹	28.0855 786.5 1.90 Si Silicon [Ne] 3s ² 3p ²	30.97396 1011.8 2.19 P Phosphorus [Ne] 3s ² 3p ³	32.065 999.6 2.58 S Sulfur [Ne] 3s ² 3p ⁴	35.453 1251.2 3.16 Cl Chlorine [Ne] 3s ² 3p ⁵	39.948 1520.6 Ar Argon [Ne] 3s ² 3p ⁶										
39.0983 418.8 0.82 K Potassium [Ar] 4s ¹	40.078 589.8 1.00 Ca Calcium [Ar] 4s ²	44.95591 633.1 1.36 Sc Scandium [Ar] 3d ¹ 4s ²	47.867 658.8 1.54 Ti Titanium [Ar] 3d ² 4s ²	50.9415 650.9 1.63 V Vanadium [Ar] 3d ³ 4s ²	51.9962 652.9 1.66 Cr Chromium [Ar] 3d ⁵ 4s ¹	54.93804 717.3 1.55 Mn Manganese [Ar] 3d ⁵ 4s ²	55.845 762.5 1.83 Fe Iron [Ar] 3d ⁶ 4s ²	58.93319 760.4 1.91 Co Cobalt [Ar] 3d ⁷ 4s ²	58.6934 737.1 1.88 Ni Nickel [Ar] 3d ⁸ 4s ²	63.546 745.5 1.90 Cu Copper [Ar] 3d ¹⁰ 4s ¹	65.38 906.4 1.65 Zn Zinc [Ar] 3d ¹⁰ 4s ²	69.723 578.8 1.81 Ga Gallium [Ar] 3d ¹⁰ 4s ² 4p ¹	72.64 762.0 2.01 Ge Germanium [Ar] 3d ¹⁰ 4s ² 4p ²	74.92160 947.0 2.18 As Arsenic [Ar] 3d ¹⁰ 4s ² 4p ³	78.96 941.0 2.55 Se Selenium [Ar] 3d ¹⁰ 4s ² 4p ⁴	79.904 1139.9 2.96 Br Bromine [Ar] 3d ¹⁰ 4s ² 4p ⁵	83.798 1350.8 3.00 Kr Krypton [Ar] 3d ¹⁰ 4s ² 4p ⁶
85.4678 403.0 0.82 Rb Rubidium [Kr] 5s ¹	87.62 549.5 0.95 Sr Strontium [Kr] 5s ²	88.90585 600.0 1.22 Y Yttrium [Kr] 4d ¹ 5s ²	91.224 640.1 1.33 Zr Zirconium [Kr] 4d ² 5s ²	92.90638 640.1 1.60 Nb Niobium [Kr] 4d ⁴ 5s ¹	95.96 684.3 2.16 Mo Molybdenum [Kr] 4d ⁵ 5s ¹	(98) 717.3 1.55 Tc Technetium [Kr] 4d ⁵ 5s ²	101.07 710.2 2.20 Ru Ruthenium [Kr] 4d ⁷ 5s ¹	102.9055 719.7 2.28 Rh Rhodium [Kr] 4d ⁸ 5s ¹	106.42 804.4 2.20 Pd Palladium [Kr] 4d ¹⁰	107.8682 731.0 1.93 Ag Silver [Kr] 4d ¹⁰ 5s ¹	112.414 867.8 1.69 Cd Cadmium [Kr] 4d ¹⁰ 5s ²	114.818 558.3 1.78 In Indium [Kr] 4d ¹⁰ 5s ² 5p ¹	118.710 708.6 1.96 Sn Tin [Kr] 4d ¹⁰ 5s ² 5p ²	121.760 834.0 2.05 Sb Antimony [Kr] 4d ¹⁰ 5s ² 5p ³	127.60 869.3 2.10 Te Tellurium [Kr] 4d ¹⁰ 5s ² 5p ⁴	126.9044 1008.4 2.66 I Iodine [Kr] 4d ¹⁰ 5s ² 5p ⁵	131.293 1170.4 2.60 Xe Xenon [Kr] 4d ¹⁰ 5s ² 5p ⁶
132.9054 375.7 0.79 Cs Caesium [Xe] 6s ¹	137.327 502.9 0.89 Ba Barium [Xe] 6s ²	174.9668 523.5 1.27 Lu Lutetium [Xe] 4f ¹⁴ 5d ¹ 6s ²	178.49 658.5 1.30 Hf Hafnium [Xe] 4f ¹⁴ 5d ² 6s ²	180.9478 761.0 1.50 Ta Tantalum [Xe] 4f ¹⁴ 5d ³ 6s ²	183.84 770.0 2.36 W Tungsten [Xe] 4f ¹⁴ 5d ⁴ 6s ²	186.207 760.0 1.90 Re Rhenium [Xe] 4f ¹⁴ 5d ⁵ 6s ²	190.23 840.0 2.20 Os Osmium [Xe] 4f ¹⁴ 5d ⁶ 6s ²	192.217 880.0 2.20 Ir Iridium [Xe] 4f ¹⁴ 5d ⁷ 6s ²	195.084 870.0 2.28 Pt Platinum [Xe] 4f ¹⁴ 5d ⁹ 6s ¹	196.9665 890.1 2.54 Au Gold [Xe] 4f ¹⁴ 5d ¹⁰ 6s ¹	200.59 1007.1 2.00 Hg Mercury [Xe] 4f ¹⁴ 5d ¹⁰ 6s ²	204.3833 589.4 1.62 Tl Thallium [Xe] 4f ¹⁴ 5d ¹⁰ 6s ² 6p ¹	207.2 703.0 2.33 Pb Lead [Xe] 4f ¹⁴ 5d ¹⁰ 6s ² 6p ²	208.9804 703.0 2.02 Bi Bismuth [Xe] 4f ¹⁴ 5d ¹⁰ 6s ² 6p ³	(210) 812.1 2.00 Po Polonium [Xe] 4f ¹⁴ 5d ¹⁰ 6s ² 6p ⁴	(210) 890.0 2.20 At Astatine [Xe] 4f ¹⁴ 5d ¹⁰ 6s ² 6p ⁵	(220) 1037.0 Rn Radon [Xe] 4f ¹⁴ 5d ¹⁰ 6s ² 6p ⁶
(223) 380.0 0.70 Fr Francium [Rn] 7s ¹	(226) 509.3 0.90 Ra Radium [Rn] 7s ²	(262) 470.0 Lr Lawrencium [Rn] 5f ¹⁴ 7s ² 7p ¹	(261) 580.0 Rf Rutherfordium [Rn] 5f ¹⁴ 6d ² 7s ²	(262) 105 Db Dubnium [Rn] 5f ¹⁴ 6d ³ 7s ²	(266) 106 Sg Seaborgium [Rn] 5f ¹⁴ 6d ⁴ 7s ²	(264) 107 Bh Bohrium [Rn] 5f ¹⁴ 6d ⁵ 7s ²	(277) 108 Hs Hassium [Rn] 5f ¹⁴ 6d ⁶ 7s ²	(268) 109 Mt Meitnerium [Rn] 5f ¹⁴ 6d ⁷ 7s ²	(271) 110 Ds Darmstadtium [Rn] 5f ¹⁴ 6d ⁸ 7s ²	(272) 111 Rg Roentgenium [Rn] 5f ¹⁴ 6d ⁹ 7s ²	(285) 112 Cn Copernicium [Rn] 5f ¹⁴ 6d ¹⁰ 7s ²	(284) 113 Uut Ununtrium [Rn] 5f ¹⁴ 6d ¹⁰ 7s ² 7p ¹	(289) 114 Uuq Ununquadium [Rn] 5f ¹⁴ 6d ¹⁰ 7s ² 7p ²	(288) 115 Uup Ununpentium [Rn] 5f ¹⁴ 6d ¹⁰ 7s ² 7p ³	(292) 116 Uuh Ununhexium [Rn] 5f ¹⁴ 6d ¹⁰ 7s ² 7p ⁴	(294) 117 Uus Ununseptium [Rn] 5f ¹⁴ 6d ¹⁰ 7s ² 7p ⁵	(294) 118 Uuo Ununoctium [Rn] 5f ¹⁴ 6d ¹⁰ 7s ² 7p ⁶



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 538.1 1.10 La Lanthanum [Xe] 5d ¹ 6s ²	140.116 534.4 1.12 Ce Cerium [Xe] 4f ¹ 5d ¹ 6s ²	140.9076 527.0 1.13 Pr Praseodymium [Xe] 4f ³ 6s ²	144.242 533.1 1.14 Nd Neodymium [Xe] 4f ⁴ 6s ²	(145) 540.0 Pm Promethium [Xe] 4f ⁵ 6s ²	150.36 544.5 1.17 Sm Samarium [Xe] 4f ⁶ 6s ²	151.964 547.1 Eu Europium [Xe] 4f ⁷ 6s ²	157.25 593.4 1.20 Gd Gadolinium [Xe] 4f ⁷ 5d ¹ 6s ²	158.9253 565.8 Tb Terbium [Xe] 4f ⁹ 6s ²	162.500 573.0 1.22 Dy Dysprosium [Xe] 4f ¹⁰ 6s ²	164.9303 581.0 1.23 Ho Holmium [Xe] 4f ¹¹ 6s ²	167.259 589.3 1.24 Er Erbium [Xe] 4f ¹² 6s ²	168.9342 596.7 1.25 Tm Thulium [Xe] 4f ¹³ 6s ²	173.054 603.4 Yb Ytterbium [Xe] 4f ¹⁴ 6s ²
(227) 499.0 1.10 Ac Actinium [Rn] 6d ¹ 7s ²	232.0380 587.0 1.30 Th Thorium [Rn] 6d ² 7s ²	231.0358 568.0 1.50 Pa Protactinium [Rn] 5f ² 6d ¹ 7s ²	238.0289 597.6 1.38 U Uranium [Rn] 5f ³ 6d ¹ 7s ²	(237) 604.5 1.36 Np Neptunium [Rn] 5f ⁴ 6d ¹ 7s ²	(244) 584.7 1.28 Pu Plutonium [Rn] 5f ⁶ 7s ²	(243) 578.0 1.30 Am Americium [Rn] 5f ⁷ 7s ²	(247) 601.0 1.30 Cm Curium [Rn] 5f ⁷ 6d ¹ 7s ²	(247) 608.0 1.30 Bk Berkelium [Rn] 5f ⁹ 7s ²	(251) 608.0 1.30 Cf Californium [Rn] 5f ¹⁰ 7s ²	(252) 619.0 1.30 Es Einsteinium [Rn] 5f ¹¹ 6s ²	(257) 627.0 1.30 Fm Fermium [Rn] 5f ¹² 7s ²	(258) 635.0 1.30 Md Mendelevium [Rn] 5f ¹³ 7s ²	(259) 642.0 1.30 No Nobelium [Rn] 5f ¹⁴ 7s ²

The Periodic Table of the Elements

group 1 2 13 14 15 16 17 18

period 1 2 3 4 5 6 7

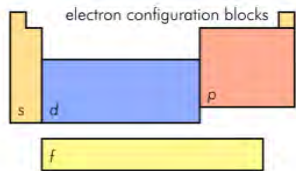
atomic mass or most stable mass number
1st ionization energy in kJ/mol
chemical symbol
name
electron configuration

atomic number
electronegativity
oxidation states most common ore bold

alkali metals
alkaline metals
other metals
transition metals
lanthanoids
actinoids

metalloids
nonmetals
halogens
noble gases
unknown elements
radioactive elements have masses in parenthesis

1.00794 1312.0 2.20 H Hydrogen 1s ¹	6.941 520.2 0.98 Li Lithium 1s ² 2s ¹	9.012182 899.5 1.57 Be Beryllium 1s ² 2s ²	11 22.98976 495.8 0.93 Na Sodium [Ne] 3s ¹	12 24.3050 737.7 1.31 Mg Magnesium [Ne] 3s ²	13 10.811 800.6 2.04 B Boron 1s ² 2s ² 2p ¹	14 12.0107 1086.5 2.55 C Carbon 1s ² 2s ² 2p ²	15 14.0067 1402.3 3.04 N Nitrogen 1s ² 2s ² 2p ³	16 15.9994 1313.9 3.44 O Oxygen 1s ² 2s ² 2p ⁴	17 18.998403 1681.0 3.98 F Fluorine 1s ² 2s ² 2p ⁵	18 4.002602 2372.3 He Helium 1s ²							
19 39.0983 418.8 0.82 K Potassium [Ar] 4s ¹	20 40.078 589.8 1.00 Ca Calcium [Ar] 4s ²	21 44.95591 633.1 1.36 Sc Scandium [Ar] 3d ¹ 4s ²	22 47.867 658.8 1.54 Ti Titanium [Ar] 3d ² 4s ²	23 50.9415 650.9 1.63 V Vanadium [Ar] 3d ³ 4s ²	24 51.9962 652.9 1.66 Cr Chromium [Ar] 3d ⁵ 4s ¹	25 54.93804 717.3 1.55 Mn Manganese [Ar] 3d ⁵ 4s ²	26 55.845 762.5 1.83 Fe Iron [Ar] 3d ⁶ 4s ²	27 58.93319 760.4 1.91 Co Cobalt [Ar] 3d ⁷ 4s ²	28 58.6934 737.1 1.88 Ni Nickel [Ar] 3d ⁸ 4s ²	29 63.546 745.5 1.90 Cu Copper [Ar] 3d ¹⁰ 4s ¹	30 65.38 906.4 1.65 Zn Zinc [Ar] 3d ¹⁰ 4s ²	31 69.723 578.8 1.81 Ga Gallium [Ar] 3d ¹⁰ 4s ² 4p ¹	32 72.64 762.0 2.01 Ge Germanium [Ar] 3d ¹⁰ 4s ² 4p ²	33 74.92160 947.0 2.18 As Arsenic [Ar] 3d ¹⁰ 4s ² 4p ³	34 78.96 941.0 2.55 Se Selenium [Ar] 3d ¹⁰ 4s ² 4p ⁴	35 79.904 1139.9 2.96 Br Bromine [Ar] 3d ¹⁰ 4s ² 4p ⁵	36 83.798 1350.8 3.00 Kr Krypton [Ar] 3d ¹⁰ 4s ² 4p ⁶
37 85.4678 403.0 0.82 Rb Rubidium [Kr] 5s ¹	38 87.62 549.5 0.95 Sr Strontium [Kr] 5s ²	39 88.90585 600.0 1.22 Y Yttrium [Kr] 4d ¹ 5s ²	40 91.224 640.1 1.33 Zr Zirconium [Kr] 4d ² 5s ²	41 92.90638 652.1 1.60 Nb Niobium [Kr] 4d ⁴ 5s ¹	42 95.96 684.3 2.16 Mo Molybdenum [Kr] 4d ⁵ 5s ¹	43 (98) 702.0 1.90 Tc Technetium [Kr] 4d ⁵ 5s ²	44 101.07 710.2 2.20 Ru Ruthenium [Kr] 4d ⁷ 5s ¹	45 102.9055 719.7 2.28 Rh Rhodium [Kr] 4d ⁸ 5s ¹	46 106.42 804.4 2.20 Pd Palladium [Kr] 4d ¹⁰	47 107.8682 731.0 1.93 Ag Silver [Kr] 4d ¹⁰ 5s ¹	48 112.414 867.8 1.69 Cd Cadmium [Kr] 4d ¹⁰ 5s ²	49 114.818 558.3 1.78 In Indium [Kr] 4d ¹⁰ 5s ² 5p ¹	50 118.710 706.6 1.96 Sn Tin [Kr] 4d ¹⁰ 5s ² 5p ²	51 121.760 834.0 2.05 Sb Antimony [Kr] 4d ¹⁰ 5s ² 5p ³	52 127.60 869.3 2.10 Te Tellurium [Kr] 4d ¹⁰ 5s ² 5p ⁴	53 126.9044 1008.4 2.66 I Iodine [Kr] 4d ¹⁰ 5s ² 5p ⁵	54 131.293 1170.4 2.60 Xe Xenon [Kr] 4d ¹⁰ 5s ² 5p ⁶
55 132.9054 375.7 0.79 Cs Caesium [Xe] 6s ¹	56 137.327 502.9 0.89 Ba Barium [Xe] 6s ²	57 174.9668 523.5 1.27 Lu Lutetium [Xe] 4f ¹⁴ 5d ¹ 6s ²	71 178.49 658.5 1.30 Hf Hafnium [Xe] 4f ¹⁴ 5d ² 6s ²	72 180.9478 761.0 1.50 Ta Tantalum [Xe] 4f ¹⁴ 5d ³ 6s ²	73 183.84 770.0 2.36 W Tungsten [Xe] 4f ¹⁴ 5d ⁴ 6s ²	74 186.207 840.0 1.90 Re Rhenium [Xe] 4f ¹⁴ 5d ⁵ 6s ²	75 190.23 760.0 2.20 Os Osmium [Xe] 4f ¹⁴ 5d ⁶ 6s ²	76 192.227 880.0 2.20 Ir Iridium [Xe] 4f ¹⁴ 5d ⁷ 6s ²	77 195.084 870.0 2.28 Pt Platinum [Xe] 4f ¹⁴ 5d ⁹ 6s ¹	78 196.9665 890.1 2.54 Au Gold [Xe] 4f ¹⁴ 5d ¹⁰ 6s ¹	79 200.59 1007.1 2.00 Hg Mercury [Xe] 4f ¹⁴ 5d ¹⁰ 6s ²	80 204.3833 589.4 1.62 Tl Thallium [Xe] 4f ¹⁴ 5d ¹⁰ 6s ² 6p ¹	81 207.2 703.0 2.33 Pb Lead [Xe] 4f ¹⁴ 5d ¹⁰ 6s ² 6p ²	82 208.9804 703.0 2.02 Bi Bismuth [Xe] 4f ¹⁴ 5d ¹⁰ 6s ² 6p ³	83 (210) 812.1 2.00 Po Polonium [Xe] 4f ¹⁴ 5d ¹⁰ 6s ² 6p ⁴	84 (210) 890.0 2.20 At Astatine [Xe] 4f ¹⁴ 5d ¹⁰ 6s ² 6p ⁵	85 (220) 1037.0 Rn Radon [Xe] 4f ¹⁴ 5d ¹⁰ 6s ² 6p ⁶
87 223 380.0 0.70 Fr Francium [Rn] 7s ¹	88 (226) 509.3 0.90 Ra Radium [Rn] 7s ²	103 (262) 470.0 Lr Lawrencium [Rn] 5f ¹⁴ 7s ² 7p ¹	104 (261) 580.0 Rf Rutherfordium [Rn] 5f ¹⁴ 6d ² 7s ²	105 (262) 580.0 Db Dubnium [Rn] 5f ¹⁴ 6d ³ 7s ²	106 (266) 580.0 Sg Seaborgium [Rn] 5f ¹⁴ 6d ⁴ 7s ²	107 (264) 580.0 Bh Bohrium [Rn] 5f ¹⁴ 6d ⁵ 7s ²	108 (277) 580.0 Hs Hassium [Rn] 5f ¹⁴ 6d ⁶ 7s ²	109 (268) 580.0 Mt Meitnerium [Rn] 5f ¹⁴ 6d ⁷ 7s ²	110 (271) 580.0 Ds Darmstadtium [Rn] 5f ¹⁴ 6d ⁸ 7s ²	111 (272) 580.0 Rg Roentgenium [Rn] 5f ¹⁴ 6d ⁹ 7s ²	112 (285) 580.0 Cn Copernicium [Rn] 5f ¹⁴ 6d ¹⁰ 7s ²	113 (284) 580.0 Uut Ununtrium [Rn] 5f ¹⁴ 6d ¹⁰ 7s ² 7p ¹	114 (289) 580.0 Uuq Ununquadium [Rn] 5f ¹⁴ 6d ¹⁰ 7s ² 7p ²	115 (288) 580.0 Uup Ununpentium [Rn] 5f ¹⁴ 6d ¹⁰ 7s ² 7p ³	116 (292) 580.0 Uuh Ununhexium [Rn] 5f ¹⁴ 6d ¹⁰ 7s ² 7p ⁴	117 (294) 580.0 Uus Ununseptium [Rn] 5f ¹⁴ 6d ¹⁰ 7s ² 7p ⁵	118 (294) 580.0 Uuo Ununoctium [Rn] 5f ¹⁴ 6d ¹⁰ 7s ² 7p ⁶



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 538.1 1.10 La Lanthanum [Xe] 5d ¹ 6s ²	140.116 534.4 1.12 Ce Cerium [Xe] 4f ¹ 5d ¹ 6s ²	140.9076 527.0 1.13 Pr Praseodymium [Xe] 4f ³ 6s ²	144.242 533.1 1.14 Nd Neodymium [Xe] 4f ⁴ 6s ²	(145) 540.0 Pm Promethium [Xe] 4f ⁵ 6s ²	150.36 544.5 1.17 Sm Samarium [Xe] 4f ⁶ 6s ²	151.964 547.1 Eu Europium [Xe] 4f ⁷ 6s ²	157.25 593.4 1.20 Gd Gadolinium [Xe] 4f ⁷ 5d ¹ 6s ²	158.9253 565.8 Tb Terbium [Xe] 4f ⁹ 6s ²	162.500 573.0 1.22 Dy Dysprosium [Xe] 4f ¹⁰ 6s ²	164.9303 581.0 1.23 Ho Holmium [Xe] 4f ¹¹ 6s ²	167.259 589.3 1.24 Er Erbium [Xe] 4f ¹² 6s ²	168.9342 596.7 1.25 Tm Thulium [Xe] 4f ¹³ 6s ²	173.054 603.4 Yb Ytterbium [Xe] 4f ¹⁴ 6s ²
(227) 499.0 1.10 Ac Actinium [Rn] 6d ¹ 7s ²	232.0380 587.0 1.30 Th Thorium [Rn] 6d ² 7s ²	231.0358 568.0 1.50 Pa Protactinium [Rn] 5f ² 6d ¹ 7s ²	238.0289 597.6 1.38 U Uranium [Rn] 5f ³ 6d ¹ 7s ²	(237) 604.5 1.36 Np Neptunium [Rn] 5f ⁴ 6d ¹ 7s ²	(244) 584.7 1.28 Pu Plutonium [Rn] 5f ⁶ 7s ²	(243) 578.0 1.30 Am Americium [Rn] 5f ⁷ 7s ²	(247) 581.0 1.30 Cm Curium [Rn] 5f ⁷ 6d ¹ 7s ²	(247) 601.0 1.30 Bk Berkelium [Rn] 5f ⁹ 7s ²	(251) 608.0 1.30 Cf Californium [Rn] 5f ¹⁰ 7s ²	(252) 619.0 1.30 Es Einsteinium [Rn] 5f ¹¹ 6s ²	(257) 627.0 1.30 Fm Fermium [Rn] 5f ¹² 7s ²	(258) 635.0 1.30 Md Mendelevium [Rn] 5f ¹³ 7s ²	(259) 642.0 1.30 No Nobelium [Rn] 5f ¹⁴ 7s ²

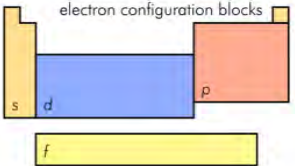
group 1				
period 1	1 1.00794 1312.0 2.20 H Hydrogen 1s ¹			
2	3 6.941 520.2 0.98 Li Lithium 1s ² 2s ¹	2 9.012182 899.5 1.57 Be Beryllium 1s ² 2s ²		
3	11 22.98976 495.8 0.93 Na Sodium [Ne] 3s ¹	12 24.3050 737.7 1.31 Mg Magnesium [Ne] 3s ²		
4	19 39.0983 418.8 0.82 K Potassium [Ar] 4s ¹	20 40.078 589.8 1.00 Ca Calcium [Ar] 4s ²	21 44.95591 633.1 1.36 Sc Scandium [Ar] 3d ¹ 4s ²	22 47.867 658.8 1.54 Ti Titanium [Ar] 3d ² 4s ²
5	37 85.4678 403.0 0.82 Rb Rubidium [Kr] 5s ¹	38 87.62 549.5 0.95 Sr Strontium [Kr] 5s ²	39 88.90585 600.0 1.22 Y Yttrium [Kr] 4d ¹ 5s ²	40 91.224 640.1 1.33 Zr Zirconium [Kr] 4d ² 5s ²
6	55 132.9054 375.7 0.79 Cs Caesium [Xe] 6s ¹	56 137.327 502.9 0.89 Ba Barium [Xe] 6s ²	71 174.9668 523.5 1.27 Lu Lutetium [Xe] 4f ¹⁴ 5d ¹ 6s ²	72 178.49 658.5 1.30 Hf Hafnium [Xe] 4f ¹⁴ 5d ² 6s ²
7	(223) 380.0 0.70 Fr Francium [Rn] 7s ¹	(226) 509.3 0.90 Ra Radium [Rn] 7s ²	(262) 470.0 Lr Lawrencium [Rn] 5f ¹⁴ 7s ² 7p ¹	(261) 580.0 Rf Rutherfordium [Rn] 5f ¹⁴ 6d ¹

atomic mass
or most stable mass number
1st ionization energy
in kJ/mol

chemical symbol

name

electron configuration



- 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.

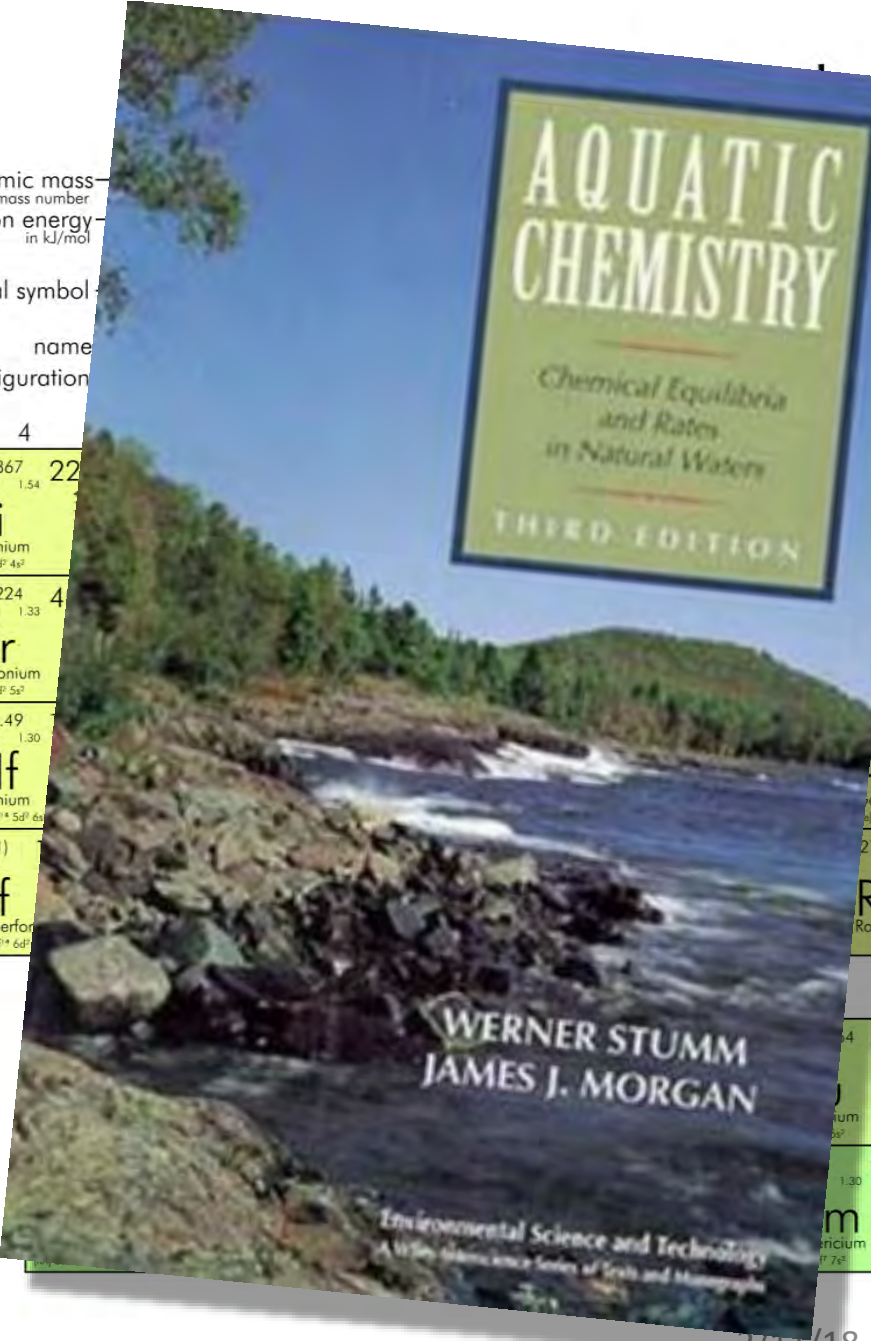


Table of the Elements

													13	14	15	16	17	18
													5 10.811 800.6 2.04 B Boron 1s ² 2s ² 2p ¹	6 12.0107 1086.5 2.55 C Carbon 1s ² 2s ² 2p ²	7 14.0067 1402.3 3.04 N Nitrogen 1s ² 2s ² 2p ³	8 15.9994 1402.3 3.44 O Oxygen 1s ² 2s ² 2p ⁴	9 18.998403 1681.0 3.98 F Fluorine 1s ² 2s ² 2p ⁵	10 20.1797 2080.7 Ne Neon 1s ² 2s ² 2p ⁶
													13 26.981538 577.5 1.61 Al Aluminium [Ne] 3s ² 3p ¹	14 28.0855 786.5 1.90 Si Silicon [Ne] 3s ² 3p ²	15 30.97696 1011.8 2.19 P Phosphorus [Ne] 3s ² 3p ³	16 32.065 999.6 2.58 S Sulfur [Ne] 3s ² 3p ⁴	17 35.453 1251.2 3.16 Cl Chlorine [Ne] 3s ² 3p ⁵	18 39.948 1520.6 Ar Argon [Ne] 3s ² 3p ⁶
29 63.546 1.90 Cu Copper [Ar] 3d ¹⁰ 4s ¹	30 65.38 906.4 1.65 Zn Zinc [Ar] 3d ¹⁰ 4s ²	31 69.723 578.8 1.81 Ga Gallium [Ar] 3d ¹⁰ 4s ² 4p ¹	32 72.64 762.0 2.01 Ge Germanium [Ar] 3d ¹⁰ 4s ² 4p ²	33 74.92160 947.0 2.18 As Arsenic [Ar] 3d ¹⁰ 4s ² 4p ³	34 78.96 941.0 2.55 Se Selenium [Ar] 3d ¹⁰ 4s ² 4p ⁴	35 79.904 1139.9 2.96 Br Bromine [Ar] 3d ¹⁰ 4s ² 4p ⁵	36 83.798 1350.8 3.00 Kr Krypton [Ar] 3d ¹⁰ 4s ² 4p ⁶	47 88.906 1.93 Ag Silver [Kr] 4d ¹⁰ 5s ¹	48 112.414 867.8 1.69 Cd Cadmium [Kr] 4d ¹⁰ 5s ²	49 114.818 558.3 1.78 In Indium [Kr] 4d ¹⁰ 5s ² 5p ¹	50 118.710 708.6 1.96 Sn Tin [Kr] 4d ¹⁰ 5s ² 5p ²	51 121.760 834.0 2.05 Sb Antimony [Kr] 4d ¹⁰ 5s ² 5p ³	52 127.60 869.3 2.10 Te Tellurium [Kr] 4d ¹⁰ 5s ² 5p ⁴	53 126.9044 1008.4 2.66 I Iodine [Kr] 4d ¹⁰ 5s ² 5p ⁵	54 131.293 1170.4 2.60 Xe Xenon [Kr] 4d ¹⁰ 5s ² 5p ⁶			
79 6.9665 1.1 2.54 Au Gold [Xe] 4f ¹⁴ 5d ¹⁰ 6s ¹	80 200.59 1007.1 2.00 Hg Mercury [Xe] 4f ¹⁴ 5d ¹⁰ 6s ²	81 204.3833 589.4 1.62 Tl Thallium [Xe] 4f ¹⁴ 5d ¹⁰ 6s ² 6p ¹	82 207.2 589.4 2.33 Pb Lead [Xe] 4f ¹⁴ 5d ¹⁰ 6s ² 6p ²	83 208.9804 703.0 2.02 Bi Bismuth [Xe] 4f ¹⁴ 5d ¹⁰ 6s ² 6p ³	(210) 812.1 2.00 Po Polonium [Xe] 4f ¹⁴ 5d ¹⁰ 6s ² 6p ⁴	(210) 890.0 2.20 At Astatine [Xe] 4f ¹⁴ 5d ¹⁰ 6s ² 6p ⁵	(220) 1037.0 Rn Radon [Xe] 4f ¹⁴ 5d ¹⁰ 6s ² 6p ⁶	111 (285) 112 (284) 113 (289) 114 (288) 115 (292) 116 117 (294) 118	111 Cn Copernicium [Og] 5f ¹⁴ 6d ¹⁰ 7s ²	112 Uut Ununtrium [Og] 5f ¹⁴ 6d ¹⁰ 7s ² 7p ¹	113 Uuq Ununquadium [Og] 5f ¹⁴ 6d ¹⁰ 7s ² 7p ²	114 Uup Ununpentium [Og] 5f ¹⁴ 6d ¹⁰ 7s ² 7p ³	115 Uuh Ununhexium [Og] 5f ¹⁴ 6d ¹⁰ 7s ² 7p ⁴	116 Uus Ununseptium [Og] 5f ¹⁴ 6d ¹⁰ 7s ² 7p ⁵	118 Uuo Ununoctium [Og] 5f ¹⁴ 6d ¹⁰ 7s ² 7p ⁶			
63 157.25 593.4 1.20 Gd Gadolinium [Xe] 4f ⁷ 5d ¹ 6s ²	64 158.9253 565.8 Tb Terbium [Xe] 4f ⁹ 6s ²	65 162.500 573.0 1.22 Dy Dysprosium [Xe] 4f ¹⁰ 6s ²	66 164.9303 581.0 1.23 Ho Holmium [Xe] 4f ¹¹ 6s ²	67 167.259 589.3 1.24 Er Erbium [Xe] 4f ¹² 6s ²	68 168.9342 596.7 1.25 Tm Thulium [Xe] 4f ¹³ 6s ²	69 173.054 603.4 Yb Ytterbium [Xe] 4f ¹⁴ 6s ²	70 173.054 603.4 Yb Ytterbium [Xe] 4f ¹⁴ 6s ²	95 150.0 581.0 1.30 Cm Curium [Rn] 5f ⁷ 6d ¹ 7s ²	96 158.93 601.0 1.30 Bk Berkelium [Rn] 5f ⁹ 7s ²	97 (247) 608.0 1.30 Cf Californium [Rn] 5f ¹⁰ 7s ²	98 (251) 619.0 1.30 Es Einsteinium [Rn] 5f ¹¹ 7s ²	99 (252) 627.0 1.30 Fm Fermium [Rn] 5f ¹² 7s ²	100 (257) 635.0 1.30 Md Mendelevium [Rn] 5f ¹³ 7s ²	101 (258) 642.0 1.30 No Nobelium [Rn] 5f ¹⁴ 7s ²	102 (259) 642.0 1.30 No Nobelium [Rn] 5f ¹⁴ 7s ²			

Water in ons zonnestelsel

Aarde



1386 miljoen km³

Europa

Kleinste maan Jupiter



2855 miljoen km³

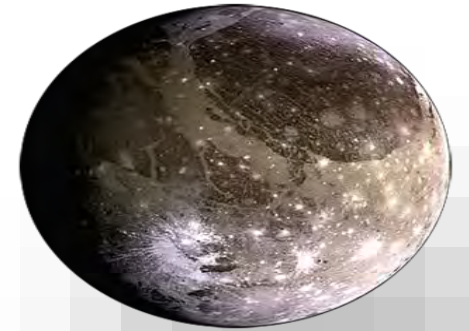
Pluto



4316 miljoen km³

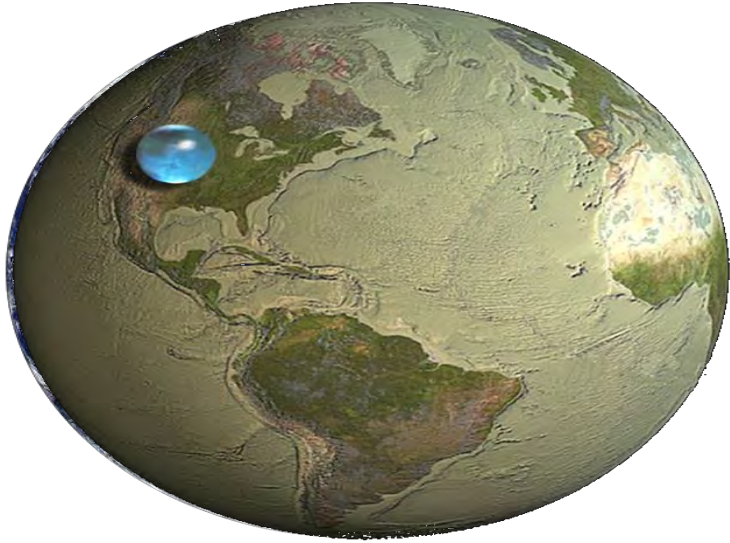
Ganymedes

Grootste maan Jupiter



54362 miljoen km³

Water op onze blauwe planeet



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

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



97,5% zout

2,5% zoet



• 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.

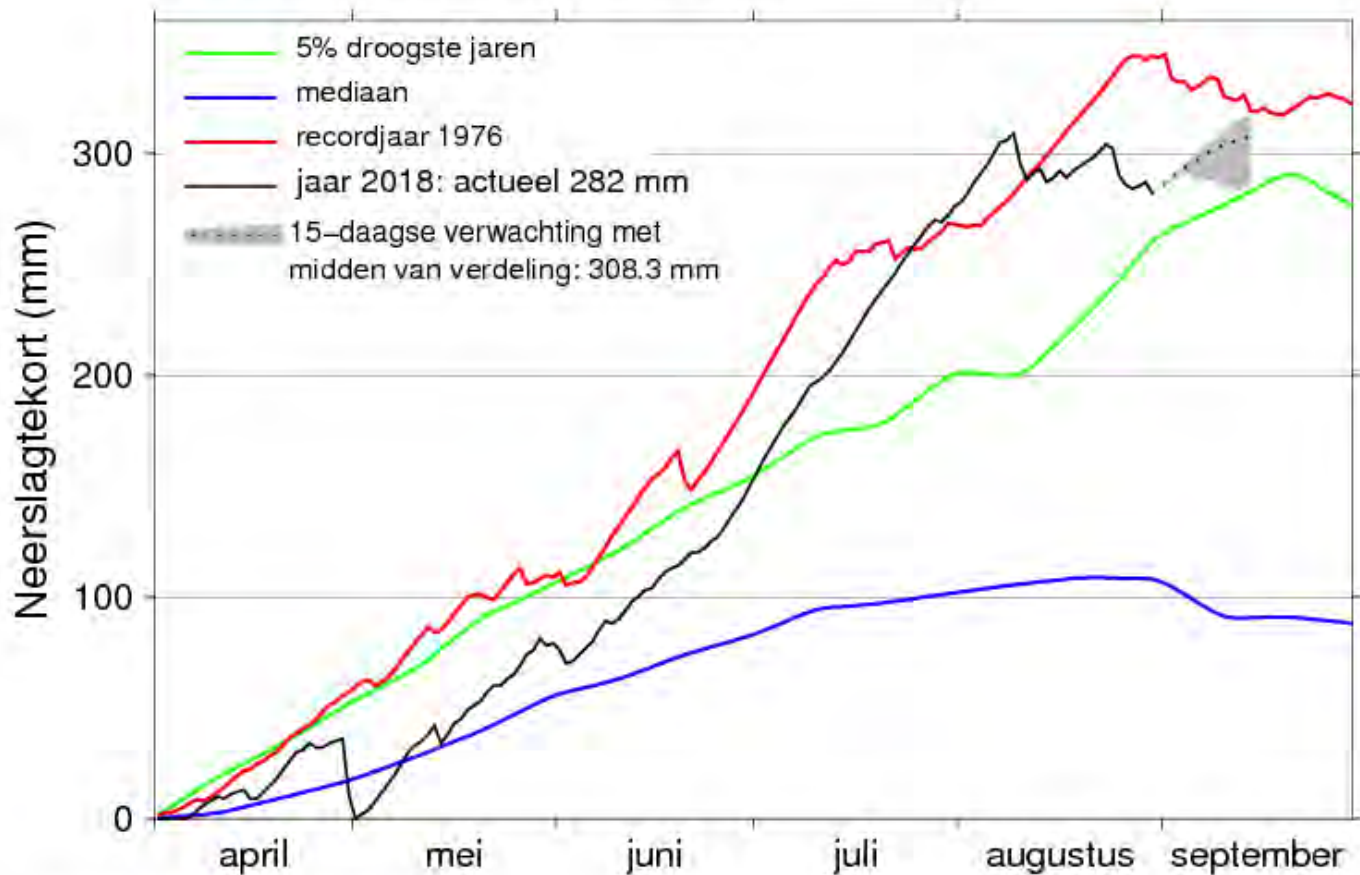


Plastic soep. Jaarlijks 150 miljoen ton wegwerpplastic waarvan 5-13 miljoen ton plastic in zee terecht komt.

Foto: Daily mail, 2018.

Neerslagtekort in Nederland in 2018

Landelijk gemiddelde over 13 stations



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

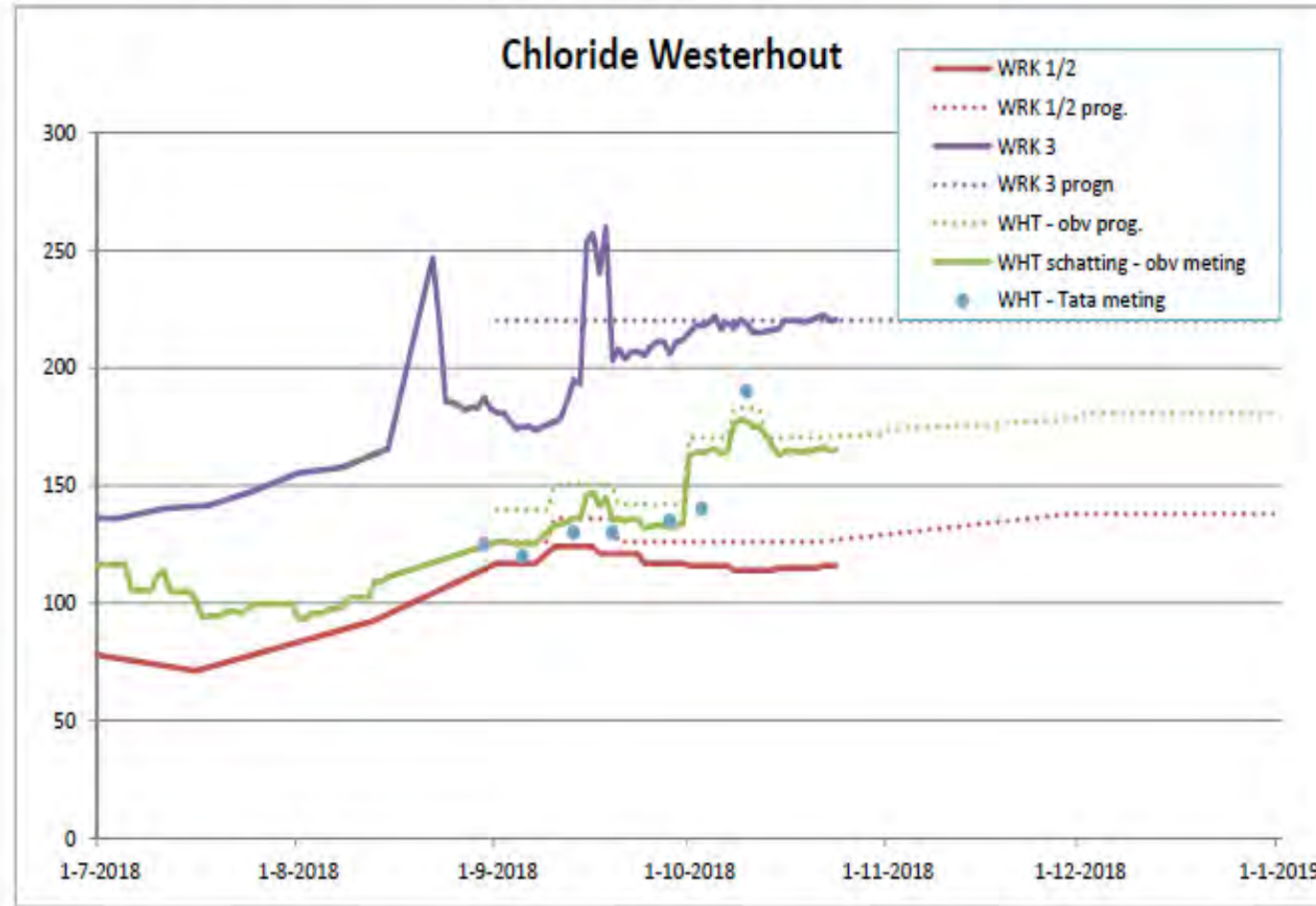


Ten gevolge van de droge zomer is het IJsselmeer veel zouter dan normaal.

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*

WWW.MEULENHOFF.NL



9 789029 080187



STEVEN JOHNSON

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

MEULENHOFF





Rioleringsmedewerker 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 Graften, 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.

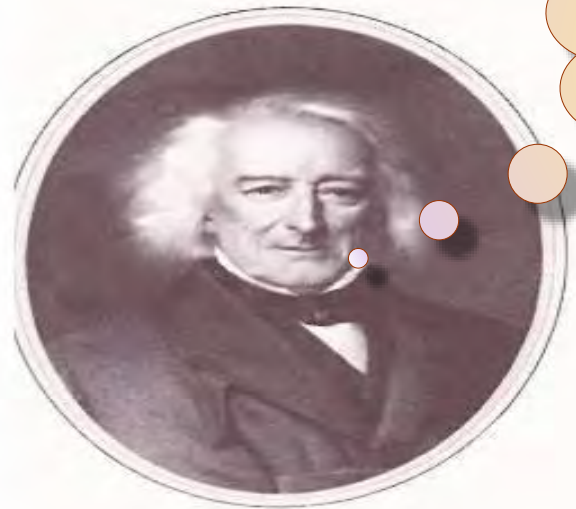
*Dit is Copie van 't Request, overgeleverd aen de Edele Groot
Agtbare Heeren Burgermeesteren, in October 1682. Welk
wierd toegezegeld en door een Stadts Bode gebragt ten Huysse van
d'Heer Burgermeester Hudde.*



VOOR-

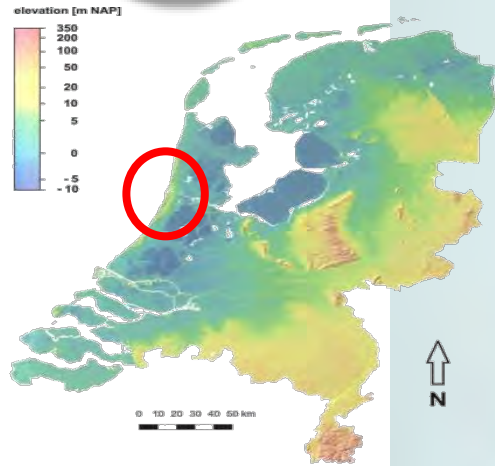
Water werd aangevoerd uit rivier de Vecht naar Amsterdam per boot.

Foto: Stadsarchief Amsterdam.



Jacob van Lennep
1853

Duinwater
voor alle
Amsterdammers



Duinwater - Maatschappij
AMSTERDAM HILL WATER COMPANY.
1853

NAAMLOOZE MAATSCHAPPIJ.	SOCIETE ANONYME.
Gepriwijgeerd Kapitaal.	Preference Capital.
Fl. 1.000.000.	(£ 75.000.)
Een Aandeel in Blanco.	One Share to bearer.
Groot Fl. 120 totaal gefourneerd.	£ 10 paid in full.
Wijgegeven volgens acte van	Created by resolution of
den 12 ^{de} January, 1853.	the 17 th January, 1853.
Amsterdam den 1 st April, 1856.	

J. van Lennep
Frans van der
H. van der



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
 - Opgeloste gassen:
 - Methaan, Ammoniak, Waterstofdissulfide
 - Radioactieve stoffen
 - ✓ Organismen
 - Micro-biologische organismen:
 - Virussen, Bacteriën, Algen, Hogere organismen
- Bestrijdingsmiddelen
 - Medicijnen
 - Hormonen
 - Röntgencontrastvloeistoffen
 - Drugs

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

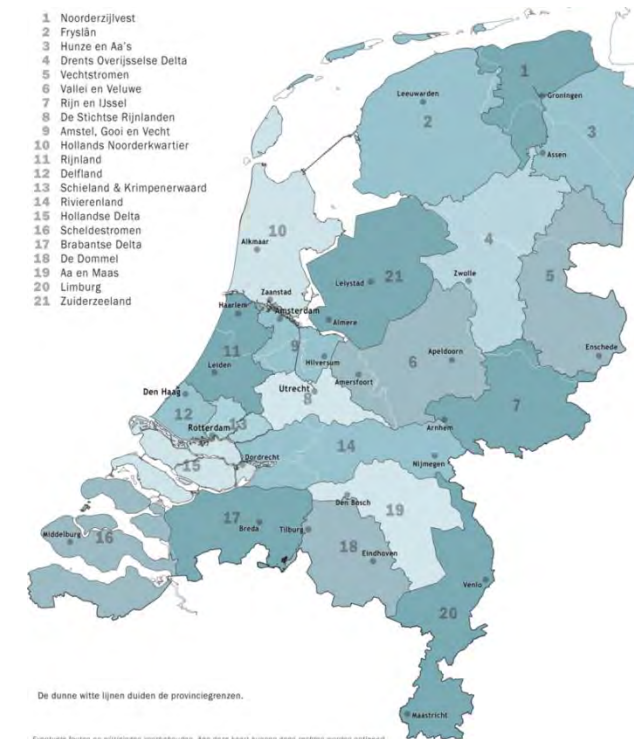
Micro-, Ultra-, Nano-, RO (ook ... puur H₂O maken daarna conditioneren Ca²⁺ en Mg²⁺)

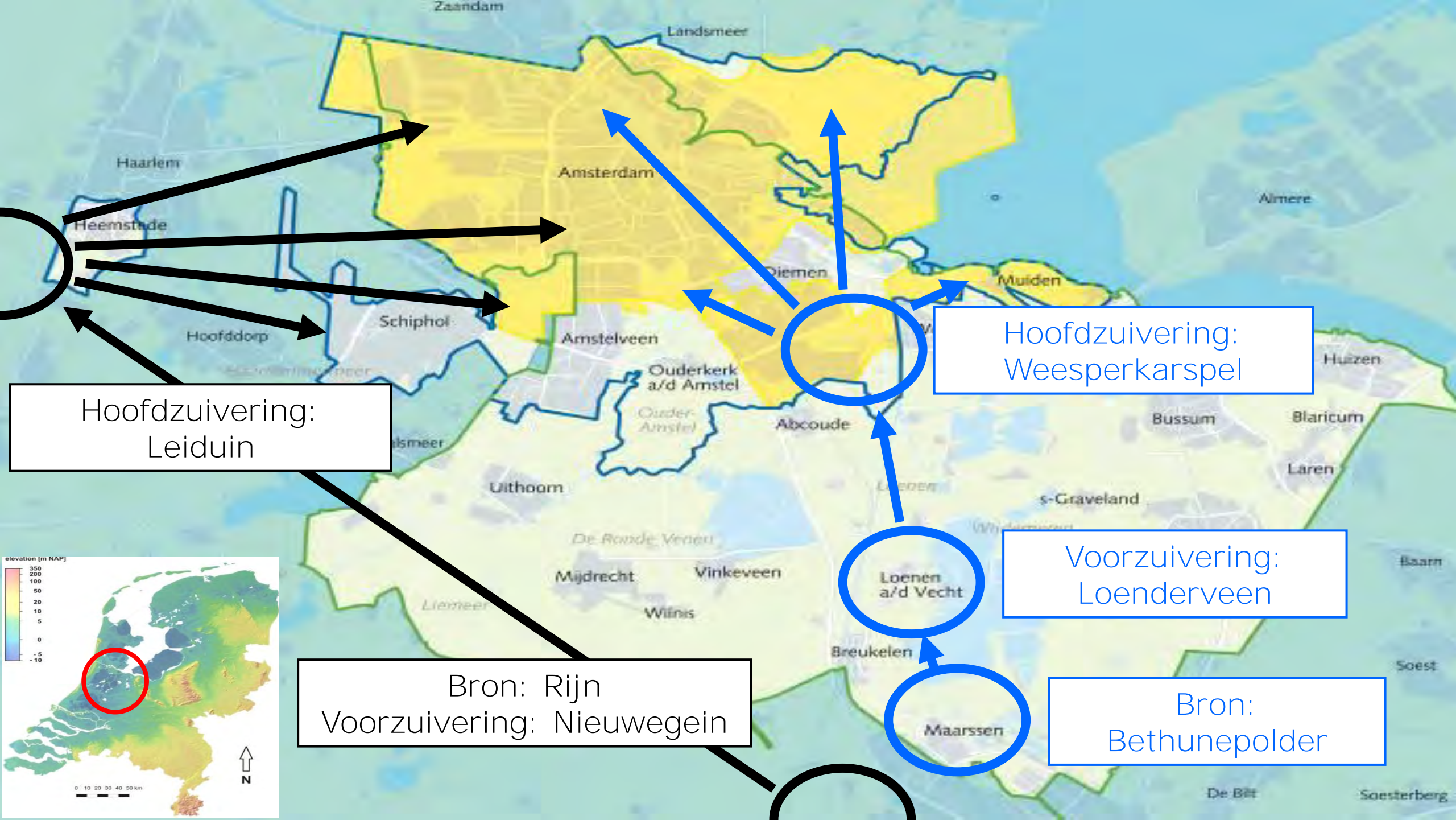
Waternet (Drinkwater, Afvalwater, Watersystemen)

Waterleidingbedrijven
- Drinkwater (10)

Gemeenten (380)
- Riolering
- Grondwater

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





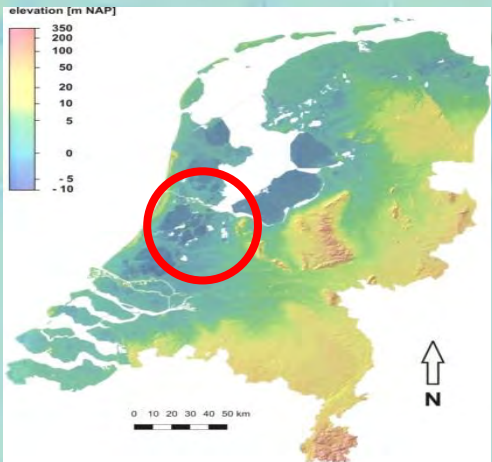
Hoofdzuivering:
Weesperkarspel

Hoofdzuivering:
Leiduin

Bron: Rijn
Voorzuivering: Nieuwegein

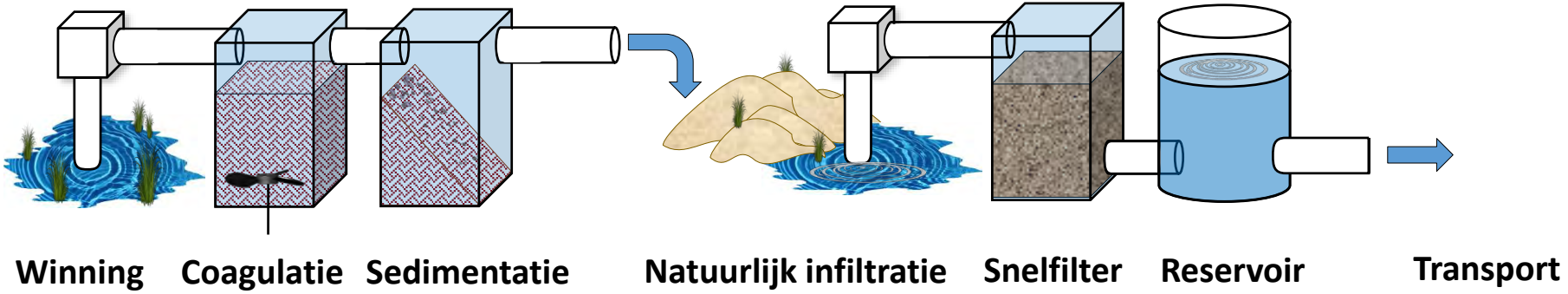
Voorzuivering:
Loenderveen

Bron:
Bethunepolder

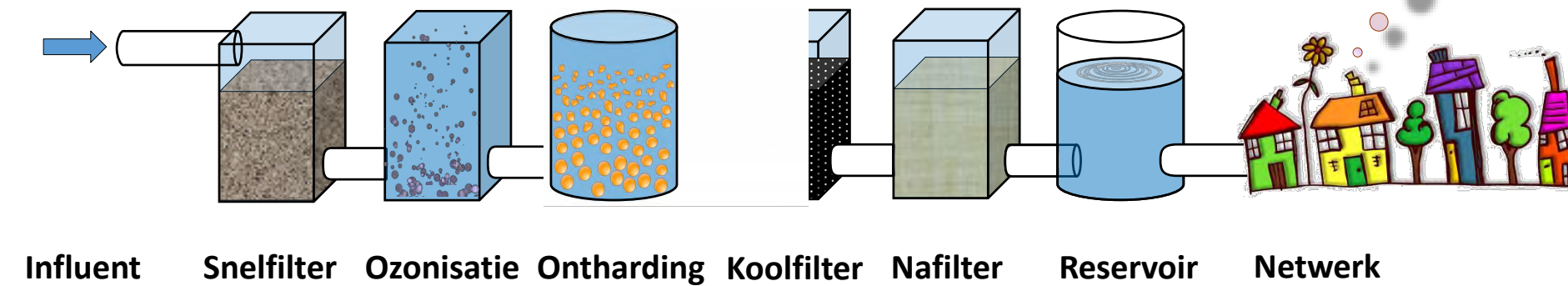


Zuiveringstrein: van ruw water tot drinkwater

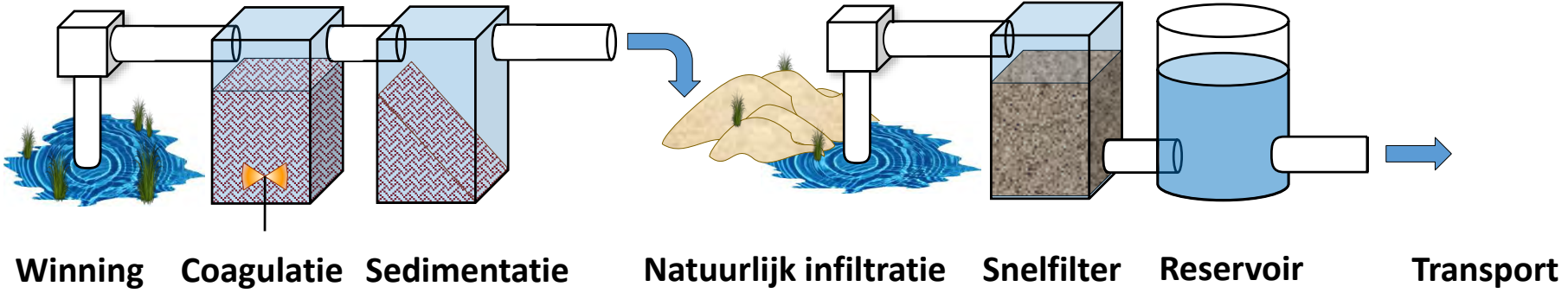
Voorzuivering



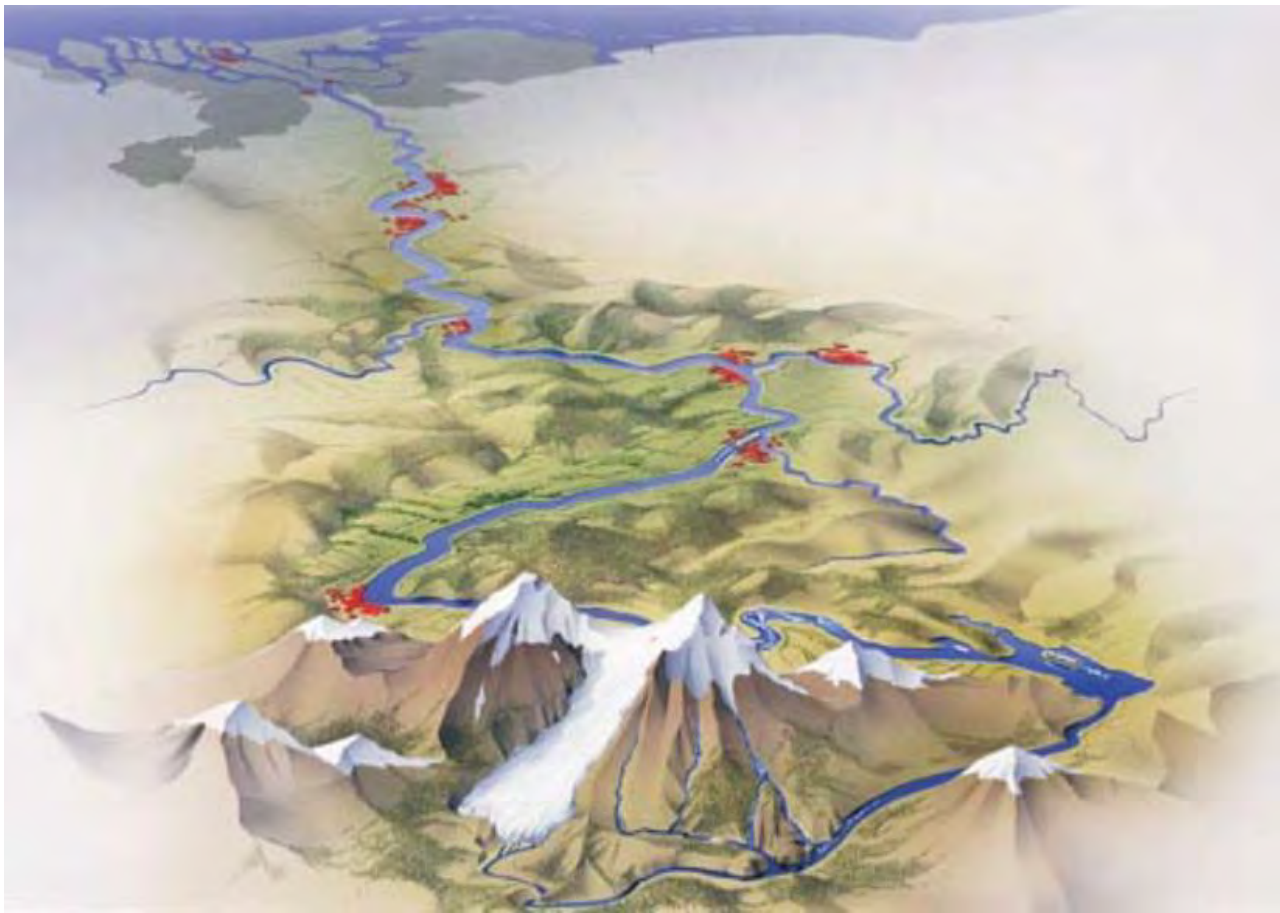
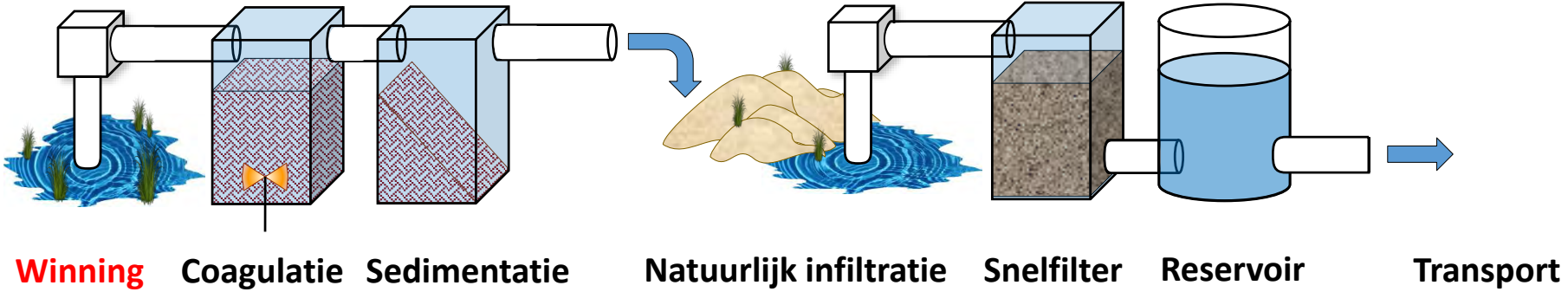
Hoofdzuivering



Voorzuivering



Voorzuivering



Bronbescherming Rijn

Gebied 250,000 km²

Lengte 1230 km

Debiet 2000 m³/s

50 miljoen inwoners

9 landen

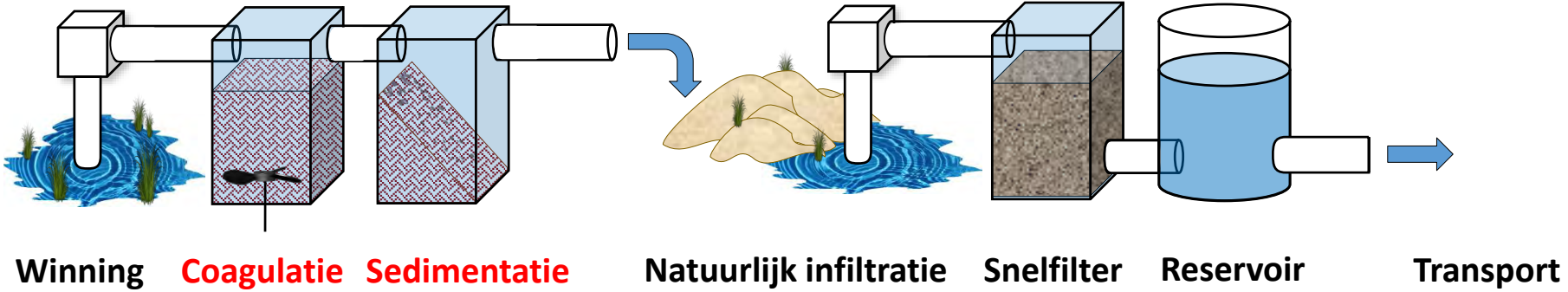
Veel - industrie

- landbouw

- transport

Alarmmelding systeem

Voorzuivering



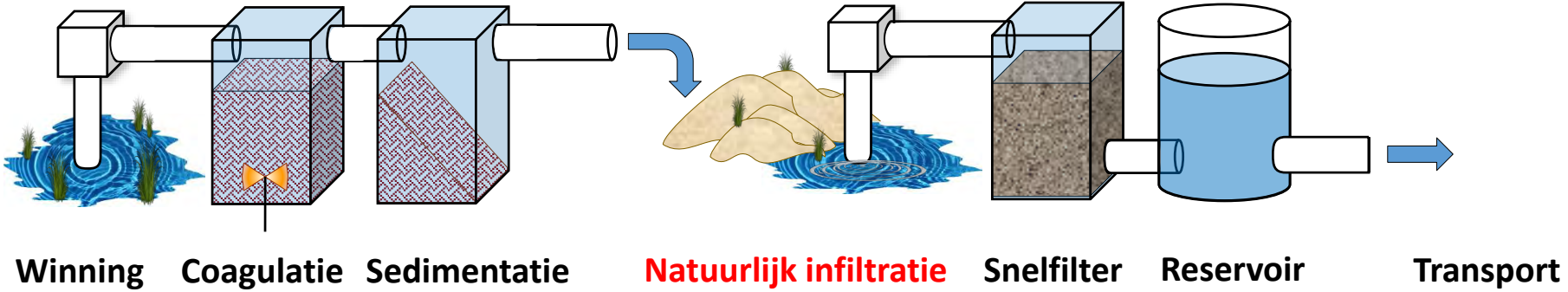
FeCl_3 dosering, vlokvorming

Verwijdering:

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

Coagulatieslib wordt
verwerkt tot bakstenen

Voorzuivering

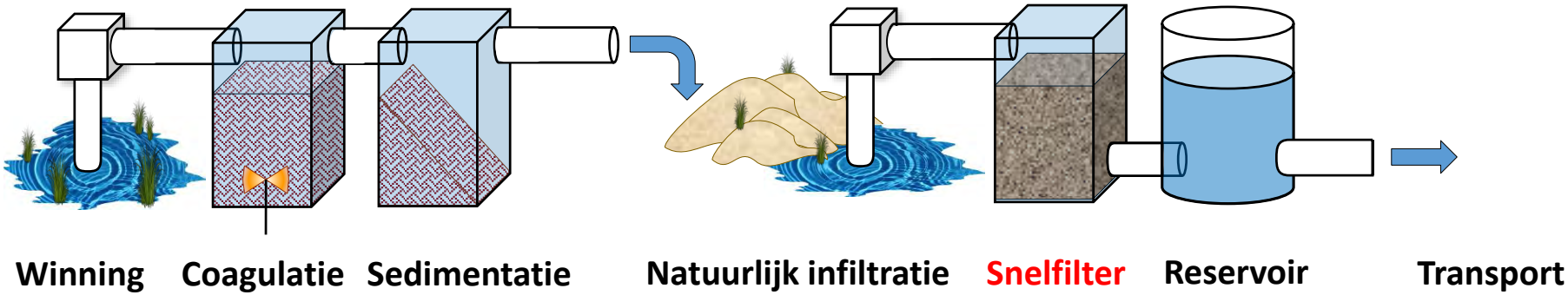


Waterleiding duinen
60 dagen verblijftijd
Reductie organische microverbindingen
Afvlakking waterkwaliteit
Strategische voorraad 2-3 maanden



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

Voorzuivering



Verwijdering:

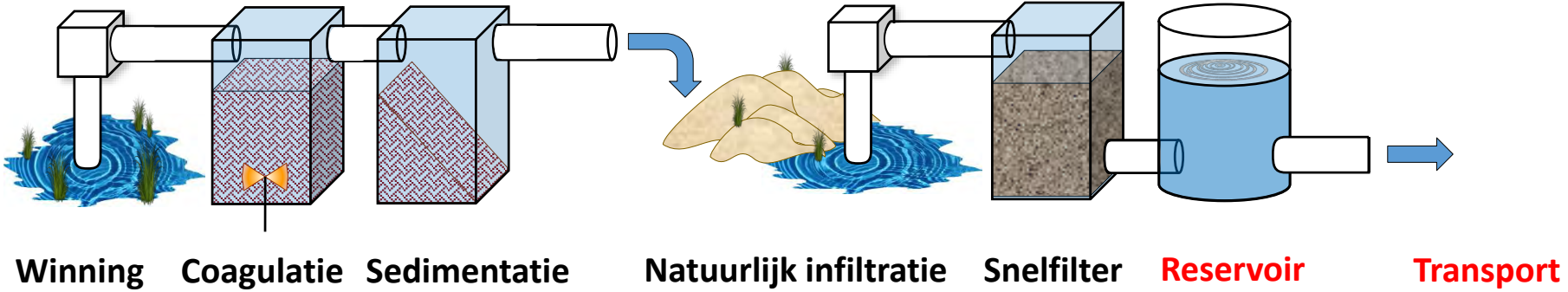
- Zwevende stoffen
- Bacteriën
- Ammonium
- IJzer
- Mangaan

Filterspoeling elke week

Nitrificatie:



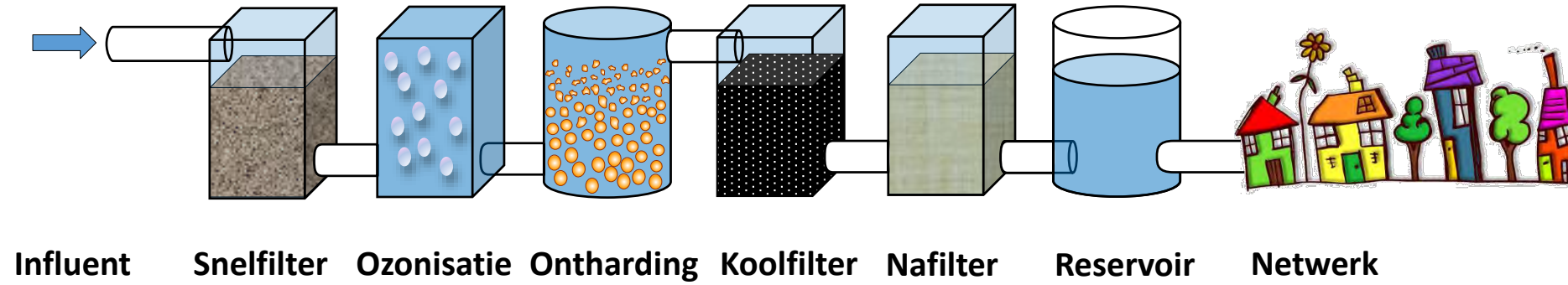
Voorzuivering



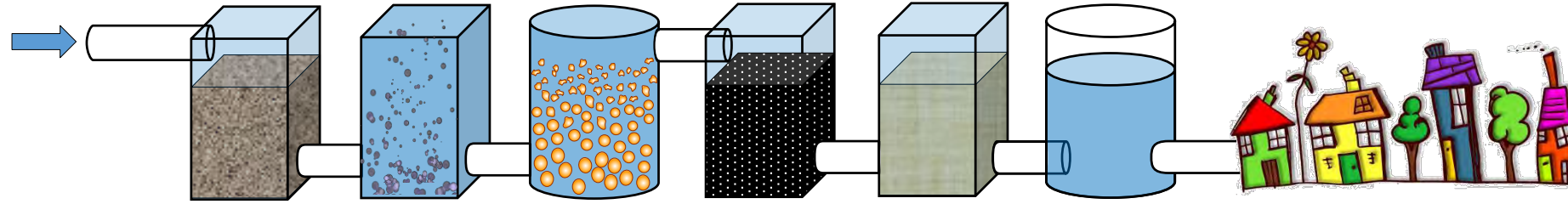
Opslag tussenproduct
Nieuwegein
100-160 miljoen m³/jaar
Levering aan o.a. Tata Steel
Transport Leiduin

Opslag tussenproduct
Loenderveen
30 miljoen m³/jaar
Transport Weesperkarspel

Hoofdzuivering



Hoofdzuivering



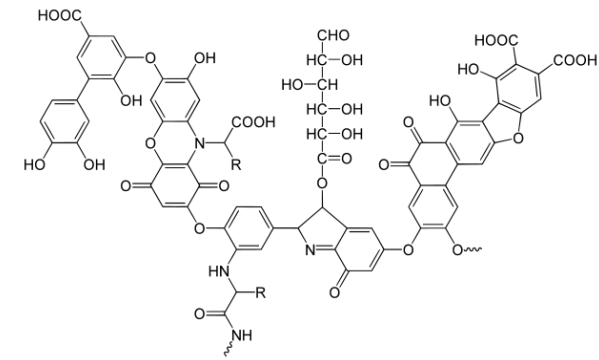
Influent Snelfilter **Ozonisatie** Ontharding Koolfilter Nafilter Reservoir Netwerk



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

- Organische stoffen
- Bestrijdingsmiddelen
- Ziekteverwekkers

Deelstroomdosering



Humuszuur

Ozon - Model

$$\text{Ozone} \left\{ \begin{aligned} \frac{\partial c_{O_3}}{\partial t} &= -u \frac{\partial c_{O_3}}{\partial x} + k_1 RQ \frac{u}{u_g d_b} (\alpha k_D c_{O_3g} - c_{O_3}) - k_{UV,A} (UV_A - UV_{A_0}) Y - k_{O_3} c_{O_3} \\ \frac{\partial c_{O_3g}}{\partial t} &= -u_g \frac{\partial c_{O_3g}}{\partial x} + k_2 \frac{u}{d_b} (\alpha k_D c_{O_3g} - c_{O_3}) \end{aligned} \right.$$

$$\text{UVA}_{254} \quad \frac{\partial(UVA)}{\partial t} = -u \frac{\partial(UVA)}{\partial x} - k_{UV,A} (UV_A - UV_{A_0})$$

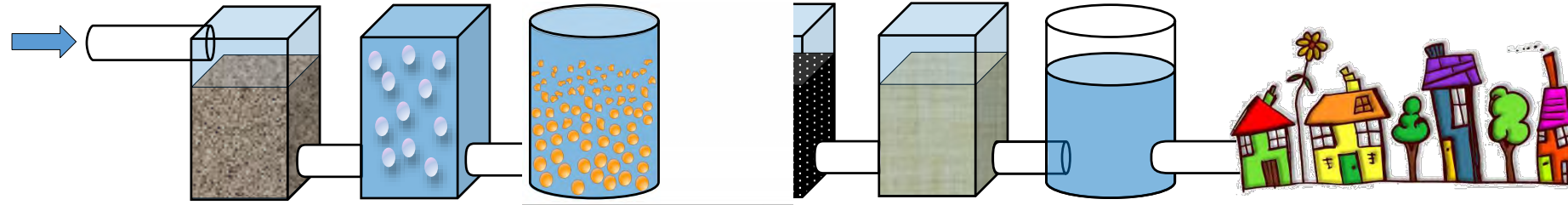
$$\text{Bromate} \quad \frac{\partial c_{BrO_3}}{\partial t} = -u \frac{\partial c_{BrO_3}}{\partial x} + k_{BrO_3} c_{O_3} \quad c_{BrO_3,ini} = F_{BrO_3,ini} c_{O_3,DO_5} + c_{BrO_3,ini}$$

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

$$\text{Giardia} \quad CT = 0.9606 * e^{-0.0713 * CT} \quad 1 \text{ log removal}$$

$$\text{AOC} \quad c_{AOC} = F_{AOC} c_{O_3,DO_5} c_{DOC,ini} + c_{AOC,ini}$$

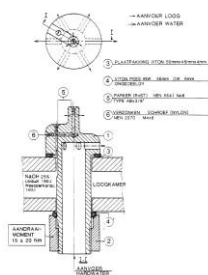
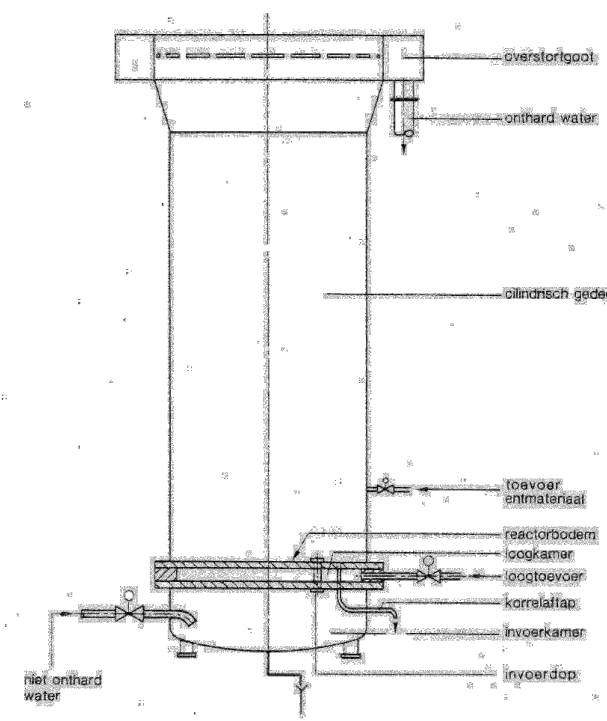
Hoofdzuivering



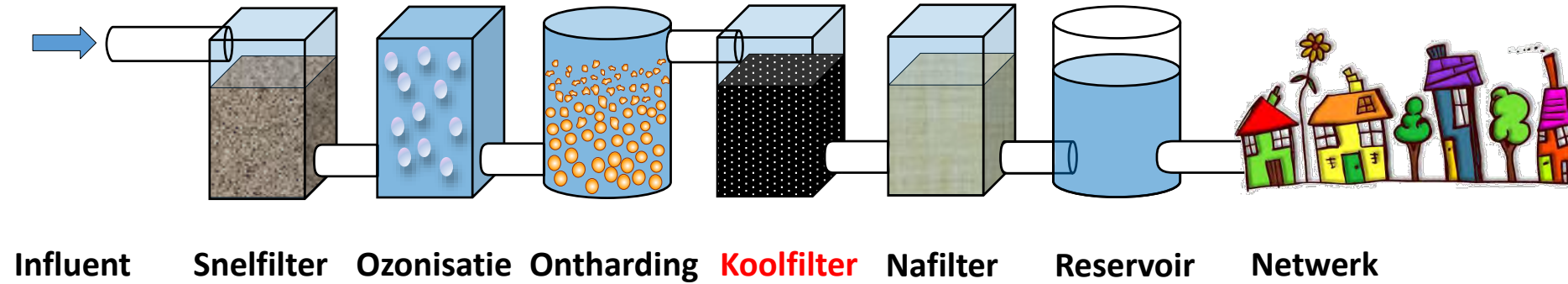
Influent Snelfilter Ozonisatie **Ontharding** Koolfilter Nafilter Reservoir Netwerk



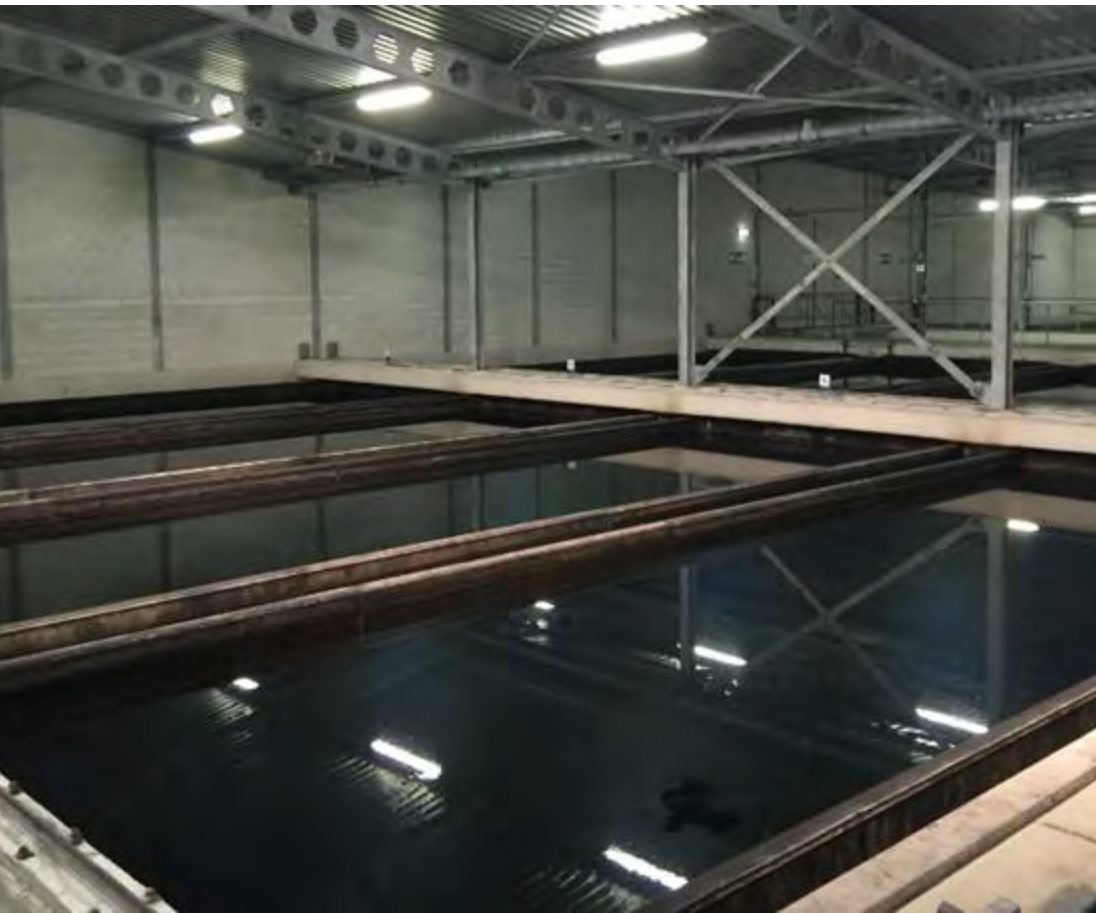
Hardheidsreductie
Hard naar zacht water
Hardheid: 1,4 mmol/L
Kalkkoolzuurevenwicht
Snelheid 100 m/uur
Fluid bed reactoren
400 miljoen m³/NL
Kosten 4 € cent per m³



Hoofdzuivering



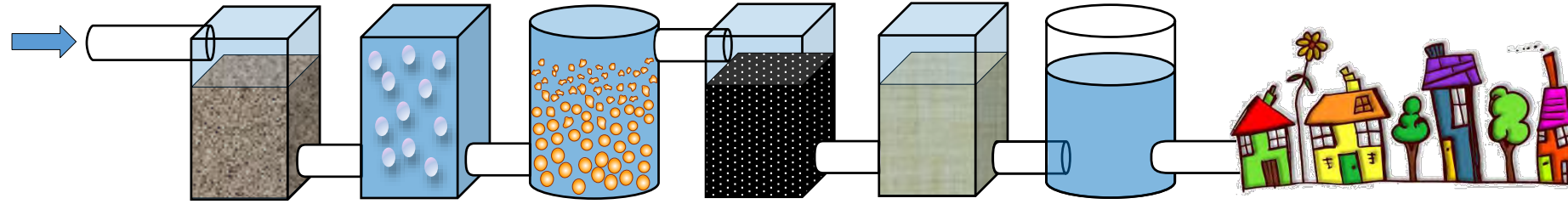
Spoelen van koolfilters
gemiddeld elke week



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



Hoofdzuivering



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



Langzame zandfiltratie

Snelheid 1 m/uur

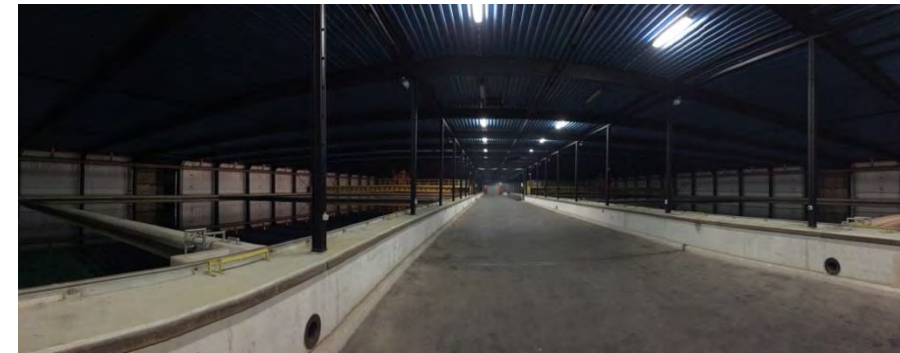
Oppervlakte 1 filter 1000 m²

Verbetering biologische stabiliteit

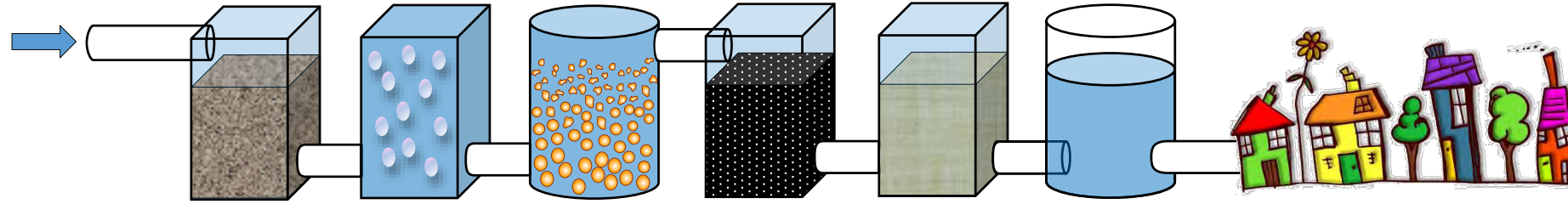
Desinfectie van water

Verwijdering:

- Bacteriën
- Protozoa
- Virussen



Hoofdzuivering



Influent Snelfilter Ozonisatie Ontharding Koolfilter Nafilter Reservoir Netwerk



Opslag van drinkwater

Productie:

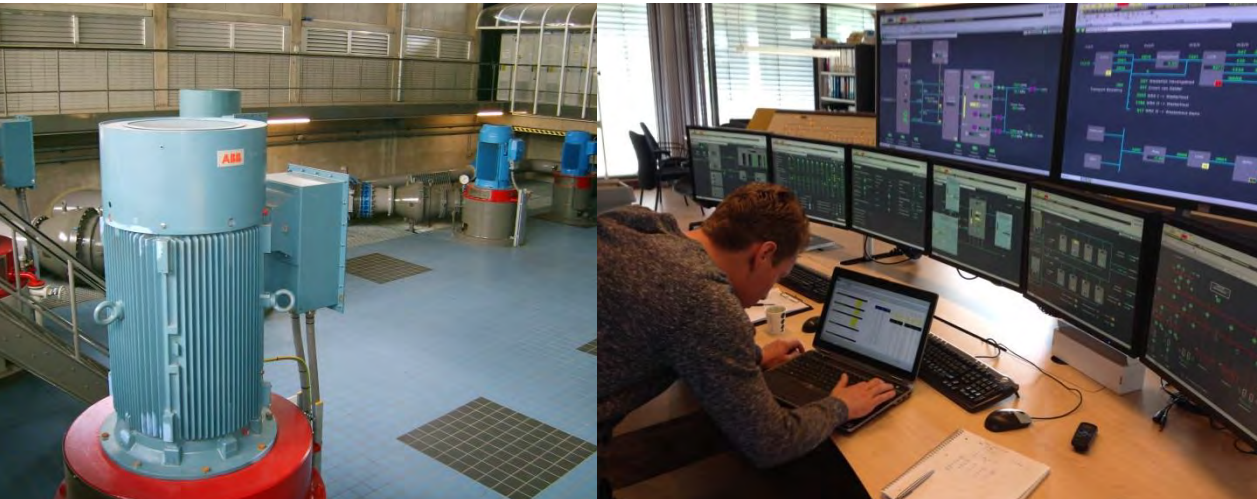
10 duizend m³/uur

2/3 Leiduin

1/3 Weesperkarspel

1 miljoen mensen

3000 km leidingen



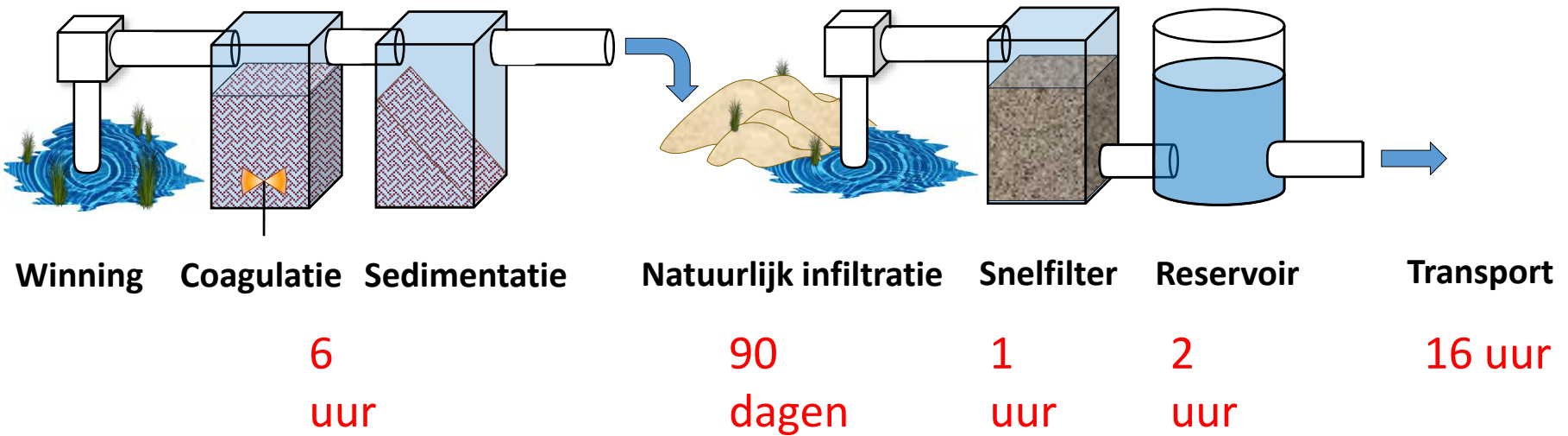
Tijdsschalen van zuiveringsprocessen

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

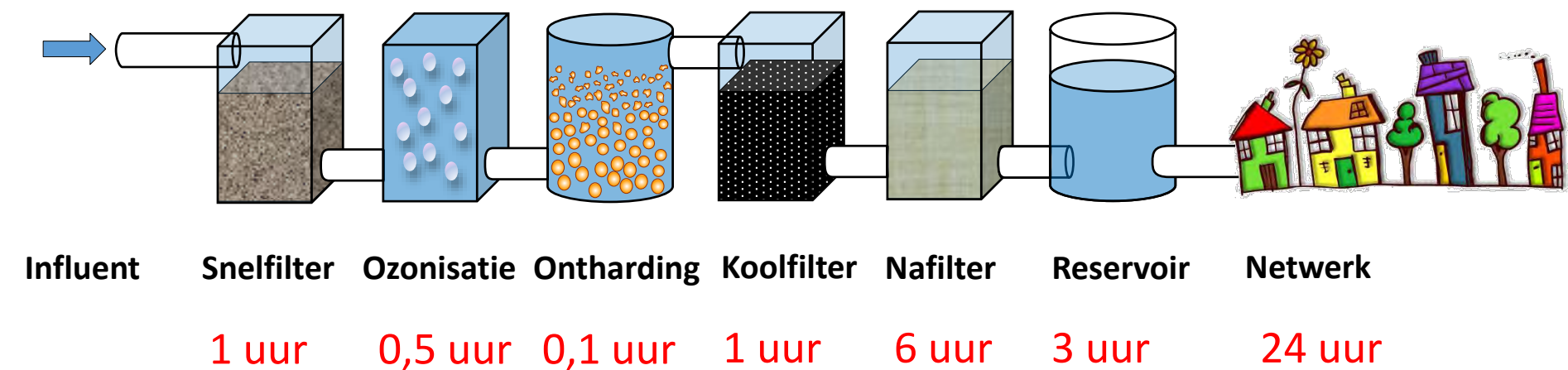


Variatie in de verschillende hydraulische Verbliftijden als gevolg van verschillende Doorloopsnelheden en mate van menging en Procesoppervlakte.

Voorzuivering



Hoofdzuivering



Water

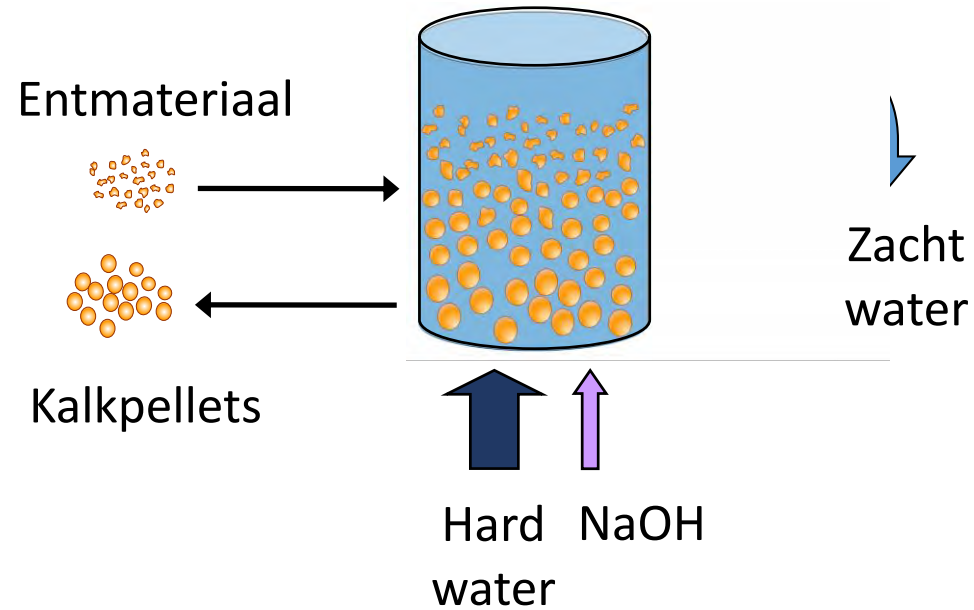


Proces

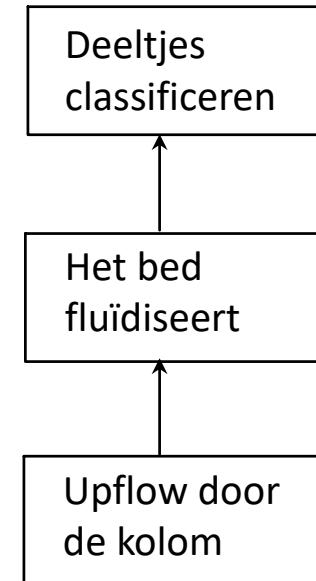
Circulair

2 november 2018 masterclass drinkwater
Onno Kramer

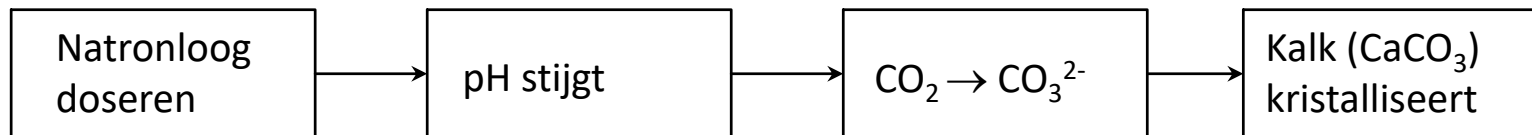
Principe van pellet-ontharding



Fysisch



Chemisch



Drinkwater ontharding (lineaire economie)

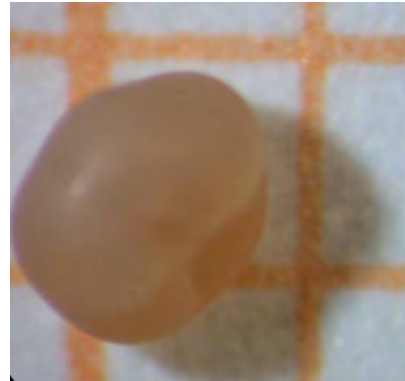
Ent-materiaal (granaatzand)



0,25 mm



Kalkpellets



1,0 mm

500 ton/jaar grondstof Australië

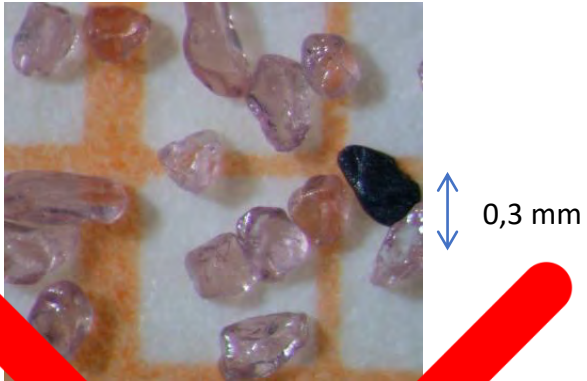


8000 ton/jaar reststof



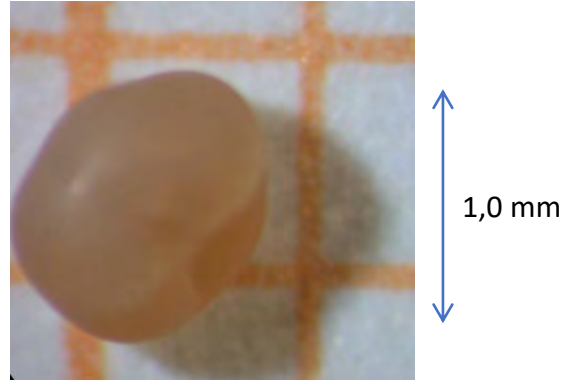
Drinkwater ontharding (Waternet CO₂ neutral in 2020)

Ent-materiaal (granaatzand)



→

Kalkpellets



500 ton/jaar grondstof Australië



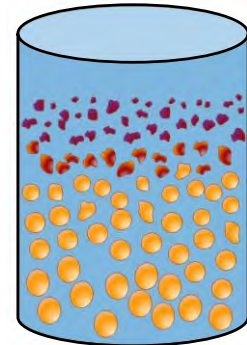
→

8000 ton/jaar reststof

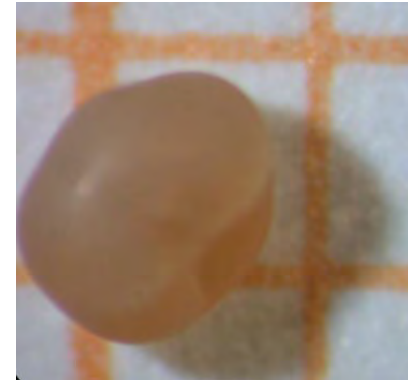


Drinkwater ontharding (lineaire economie)

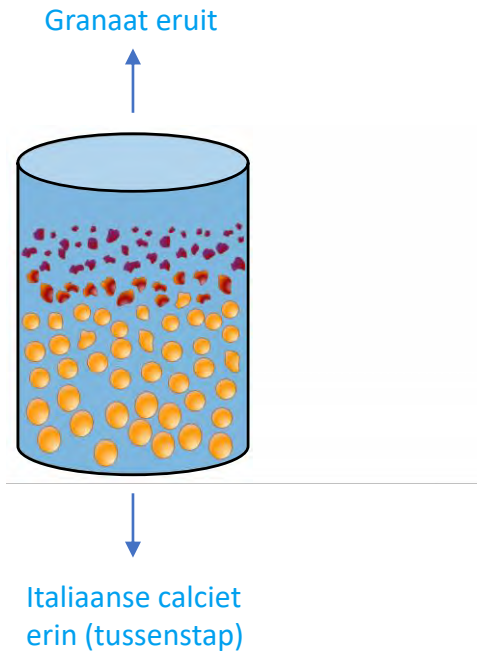
Granaatzand



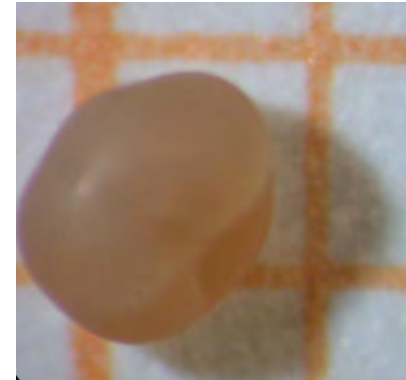
Kalkpellets



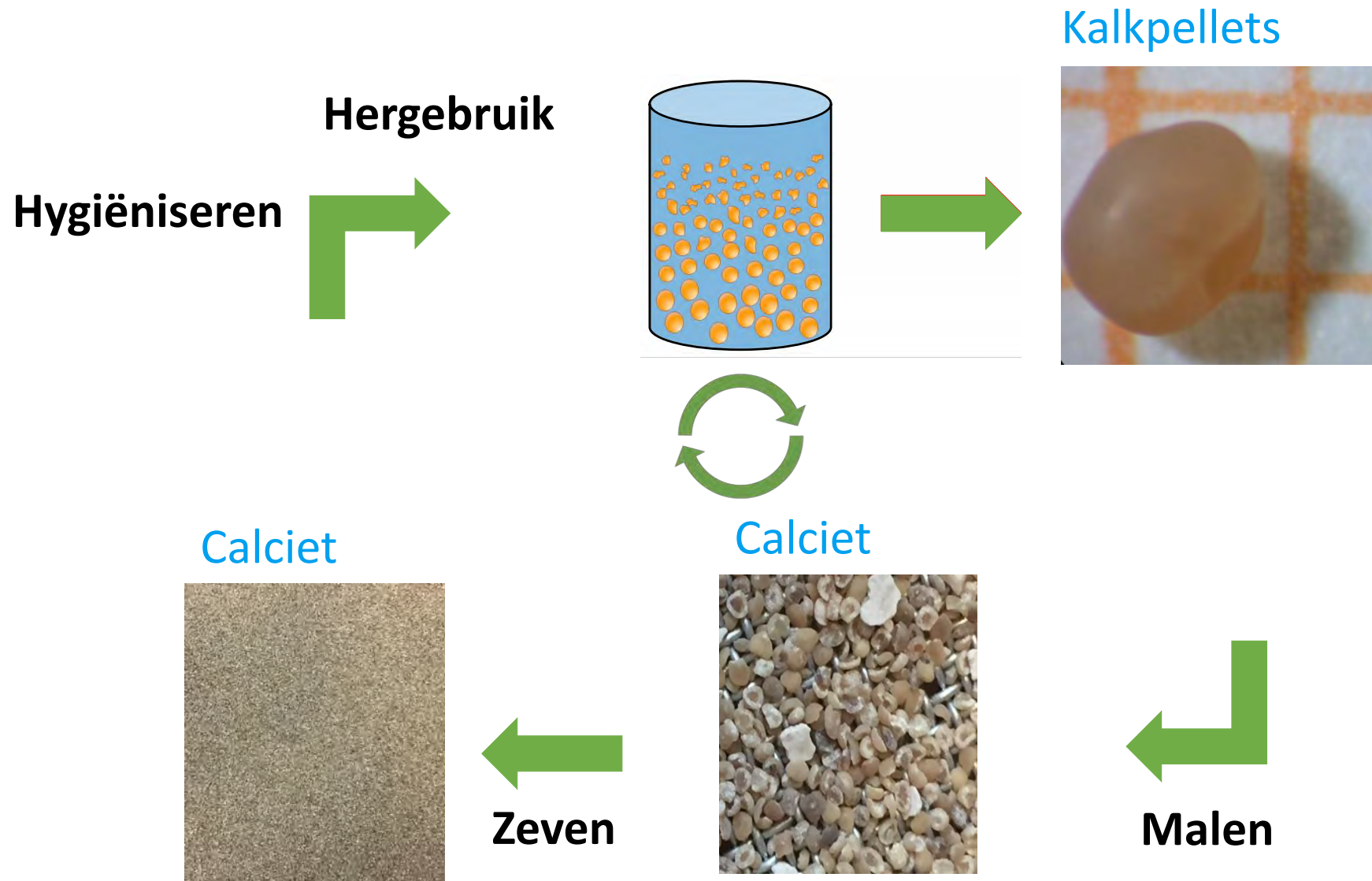
Drinkwater ontharding (lineaire economie)



Kalkpellets

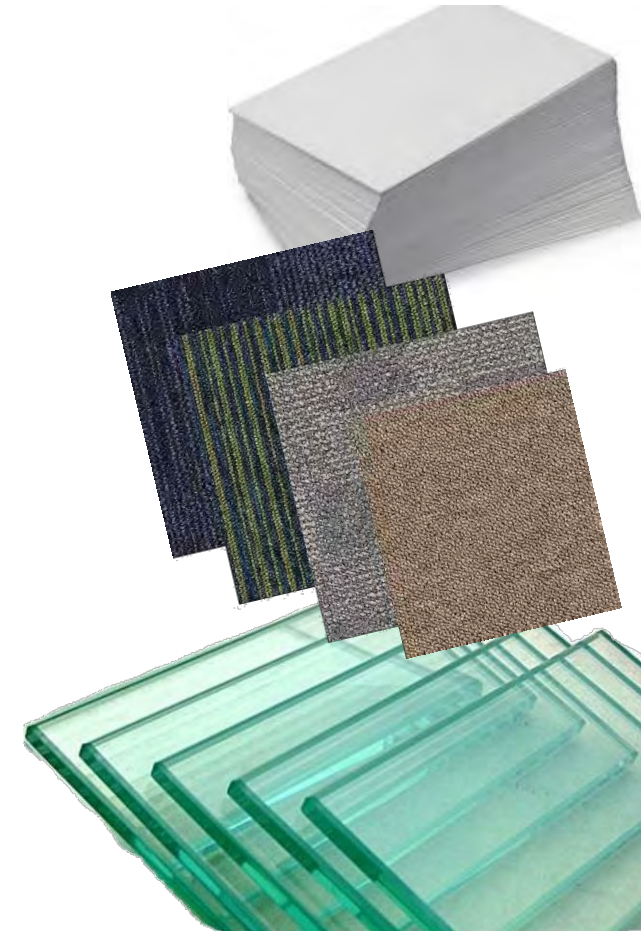


Drinkwater ontharding (circulaire economie)



Drinkwater ontharding (circulaire economie)

- ✓ Opbrengst hergebruik van calciëet 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



✓ 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

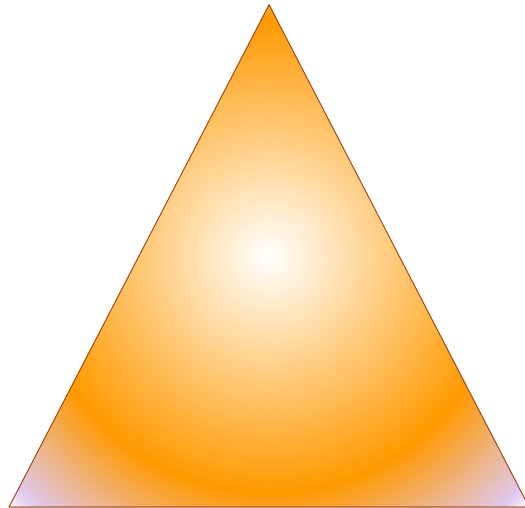


SUSTAINABLE DEVELOPMENT GOALS



Educatie

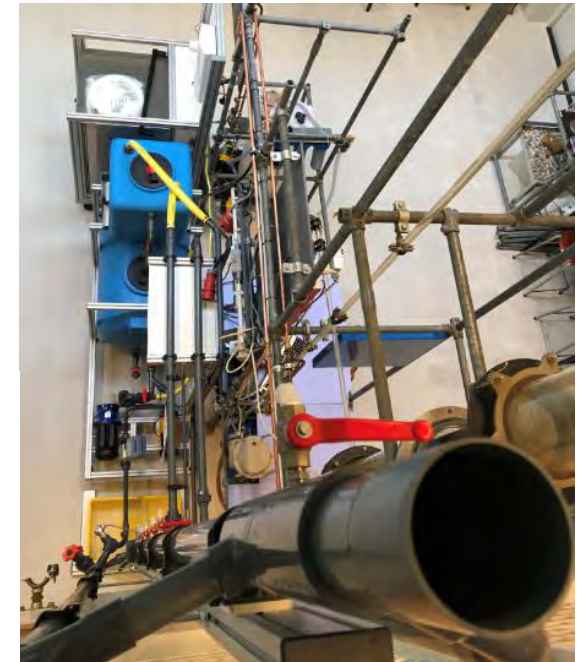
Onderzoek



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 Struker
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

