

**BTO 2020.014 | Maart 2020**

## **BTO** rapport

**Exploratory research on water reuse: Data  
overview and Sankey-diagrams**



## Exploratory research on water reuse

Waterhergebruik kan watersysteem robuuster maken

### BTO 2020.014 | Maart 2020

#### Opdrachtnummer

402045/124

#### Projectmanager

Geertje Pronk

#### Opdrachtgever

BTO - Verkennend onderzoek

#### Auteurs

Teun van Dooren, Sija Stofberg, Geertje Pronk, Ruud Bartholomeus

#### Kwaliteitsborger

Kees van Leeuwen

#### Verzonden naar

Dit rapport is verspreid onder BTO-participanten en is openbaar.

#### Keywords

water reuse, freshwater, drinking water, water system, water safety planning

Jaar van publicatie  
2020

Meer informatie  
Dr. Geertje Pronk  
T +31 306069634  
E [geertje.pronk@kwrwater.nl](mailto:geertje.pronk@kwrwater.nl)

PO Box 1072  
3430 BB Nieuwegein  
The Netherlands

T +31 (0)30 60 69 511  
F +31 (0)30 60 61 165  
E [info@kwrwater.nl](mailto:info@kwrwater.nl)  
I [www.kwrwater.nl](http://www.kwrwater.nl)

**KWR**

Maart 2020 ©

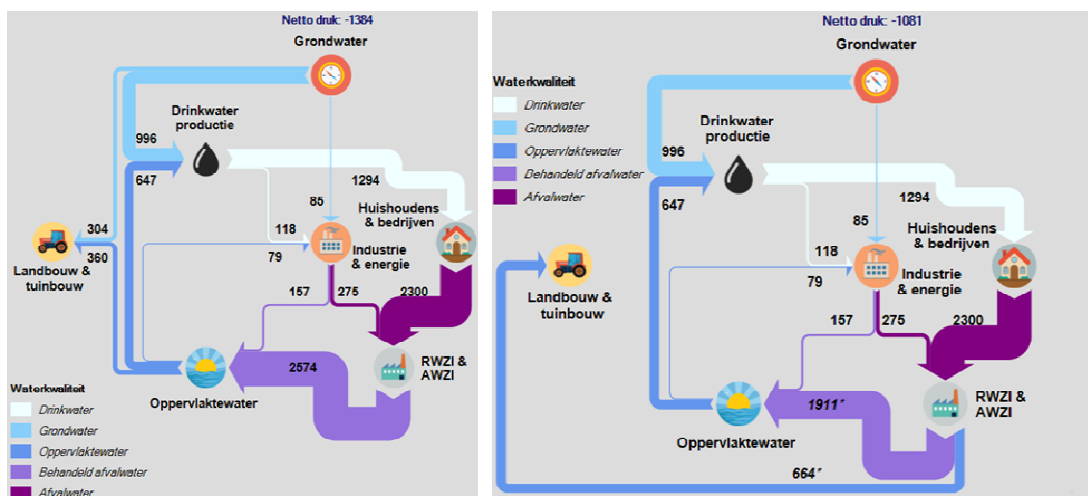
Alle rechten voorbehouden. Niets uit deze uitgave mag worden veeelvoudigd, opgeslagen in een geautomatiseerd gegevens bestand, of openbaar gemaakt, in enige vorm of op enige wijze, hetzij elektronisch, mechanisch, door fotokopieën, opnamen, of enig andere manier, zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van de uitgever.

# BTO Managementsamenvatting

## Waterhergebruik kan watersysteem robuuster maken

**Auteurs** Dr. Geertje Pronk, Teun van Dooren MSc., dr. Sija Stofberg, dr.ir. Ruud Bartholomeus

Waterhergebruik heeft de potentie om de aanspraak op grondwater en oppervlaktewater aanzienlijk te verminderen, zo blijkt uit een studie waarin voor hoog en laag Nederland en voor Vlaanderen een toekomstscenario hierover is geschetst. Met Sankey-stroomdiagrammen is inzichtelijk gemaakt dat waterhergebruik inderdaad kan bijdragen aan een robuuster watersysteem, vooral als hierin nieuwe verbindingen worden gemaakt tussen sectoren. De diagrammen laten zien hoe verschillende sectoren in het menselijke watersysteem zijn verbonden, van welke orde-grootte waterstromen zijn én van welke kwaliteit. Zo kan cross-sectorale inzet van bijvoorbeeld vergaand gezuiverd huishoudelijk en industrieel effluent in de landbouw, industrie, of voor grondwateraanvulling en zo indirect de drinkwaterproductie, ervoor zorgen dat het grondwater minder zwaar wordt belast. Dat is een belangrijke ontwikkeling, gezien het feit dat we steeds meer worden geconfronteerd met toenemende droogteschade aan landbouw en natuur. Vanzelfsprekend is het in de integrale aanpak van waterhergebruik belangrijk om de gezondheid, veiligheid, regulering, perceptie en milieu-impact mee te wegen.



Illustratie van een mogelijk toekomstig Nederlands watersysteem, waarbij de netto druk op het grondwater afneemt omdat de landbouw restwater krijgt aangeleverd. Links: huidig watersysteem – STOOM scenario, rechts: hergebruik restwater – STOOM scenario. Getallen geven watervolumes aan in Mm<sup>3</sup>/jaar.

### Belang: verhogen van regionale zelfvoorziening in zoetwatervraag

Om risico's van een toenemende druk op het (grond)watersysteem beheersbaar te maken, worden – onder meer binnen het Deltaprogramma Zoetwater – strategieën

ontwikkeld die de zoetwatervoorziening op de lange termijn veiligstellen. Eén van de pijlers van deze strategieën is het verhogen van de regionale zelfvoorziening in de zoetwatervraag, zodat de beschikbare waterbronnen efficiënter worden benut. In Nederland en Vlaanderen bestaan



diverse toepassingen en pilots die op lokale schaal industrieel en huishoudelijk effluent hergebruiken. Daarnaast vindt via het oppervlaktewater in feite onbewust hergebruik van RWZI effluent plaats. Bewuste inzet van gezuiverd restwater kan betekenen dat de druk op het (grond)watersysteem afneemt. Voor een verantwoord waterhergebruik is het wel belangrijk dat naast kansen ook risico's en randvoorwaarden worden meegewogen met betrekking tot gezondheid en veiligheid, benodigde zuiveringstechnologie, regulering, perceptie, en mogelijke gevolgen voor het milieu. In dit project is voor Nederland en Vlaanderen de potentie van de inzet van restwater voor waterhergebruik onderzocht, in termen van de bijdrage die dit kan leveren aan het ontwikkelen van een robuust en toekomstbestendig watersysteem.

### Aanpak: Sankey-stroomdiagrammen

De verbindingen van waterstromen tussen sectoren, de grootte van de watervraag en waterbeschikbaarheid voor Nederland (geheel, en hoog vs. laag Nederland) en Vlaanderen én de waterkwaliteit zijn zichtbaar gemaakt met behulp van Sankey-stroomdiagrammen. Naast het huidige menselijke watersysteem is op grond van het Deltascenario STOOM (Wolters et al., 2018) een toekomstscenario in beeld gebracht. Hierin stijgt de watervraag als gevolg van bevolkingsgroei en economische groei en daalt de waterbeschikbaarheid door klimaatverandering. Met een aantal gedachtenexperimenten is geïllustreerd wat de effecten zouden zijn van het opschalen van lokale of regionale toepassingen van waterhergebruik, gebaseerd op bestaande pilots/toepassingen. Het gaat om: (A) hergebruik van RWZI-effluent voor irrigatie ('Haaksbergen'), (B) hergebruik van industrieel effluent voor irrigatie ('Dinteloord'), (C) hergebruik van RWZI-effluent voor industrie ('Terneuzen'), en (D) hergebruik van RWZI-effluent voor ondergrondse opslag en drinkwaterproductie ('Torreele').

### Resultaten: kansen en risico's van waterhergebruik

Onder het STOOM-scenario nemen de watervraag en de druk op het grondwater toe. Alle vier de voorbeelden laten zien dat op landelijk niveau de druk op het grondwater en het oppervlaktewater aanzienlijk verminderd kan worden door hergebruik van gezuiverd restwater. In theorie kan hergebruik

van effluent voor grondwateraanvulling de onttrekking van grondwater potentieel zelfs volledig compenseren.

De Sankey-stroomdiagrammen maken inzichtelijk dat waterhergebruik inderdaad kan bijdragen aan een robuuster watersysteem, vooral als hierin wordt samengewerkt tussen de sectoren. In de praktijk zal op lokaal en regionaal niveau geanalyseerd moeten worden hoe waterhergebruik mogelijk past in een toekomststrategie, en welke sectoren hierin kunnen samenwerken. Ook moeten randvoorwaarden van waterhergebruik voor gezondheid, veiligheid, zuiveringsbehoefte, regulering, perceptie en milieu worden meegewogen. Zo kan direct en bewust waterhergebruik bijvoorbeeld meer controle geven op de waterkwaliteit en op de volksgezondheid dan het hergebruik dat nu feitelijk onbewust via het oppervlaktewater plaatsvindt. Wel moet nog worden bepaald hoe dit waterhergebruik verdeeld is over seizoenen en regio's, en wat de invloed is van verliezen tijdens zuivering en levering.

### Toepassing: mogelijkheden voor de toekomst

De Sankey-stroomdiagrammen voortkomend uit dit project laten zien hoe waterhergebruik kan bijdragen aan de totstandkoming van een robuust en toekomstbestendig watersysteem in Nederland en Vlaanderen. Voor analyses op regionale schaal kunnen deze kaders vervolgens stapsgewijs worden verfijnd. Inzicht in de verdeling tussen watervraag en wateraanbod gedurende de seizoenen en over de regio's maakt het mogelijk modellen hierover te maken in ruimte en tijd, aan te wijzen welke cross-sectorale samenwerkingen mogelijk zijn en met welke praktische mogelijkheden en randvoorwaarden rekening moet worden gehouden.

### Het Rapport

Dit onderzoek is beschreven in het rapport *Potenties van waterhergebruik voor de zoetwatervoorziening* (BTO-2020.011). Een overzicht van alle bronnen en data is te vinden in BTO-2020.014.

A network diagram with nodes and connecting lines, rendered in shades of blue and cyan, set against a dark blue background. The nodes are represented by small circles, and the lines are thin, creating a complex web of connections.

Maart 2020

~  
Exploratory research  
on water reuse;

Data overview and  
Sankey-diagrams

Teun van Dooren

Sija Stofberg

Geertje Pronk

Ruud Bartholomeus

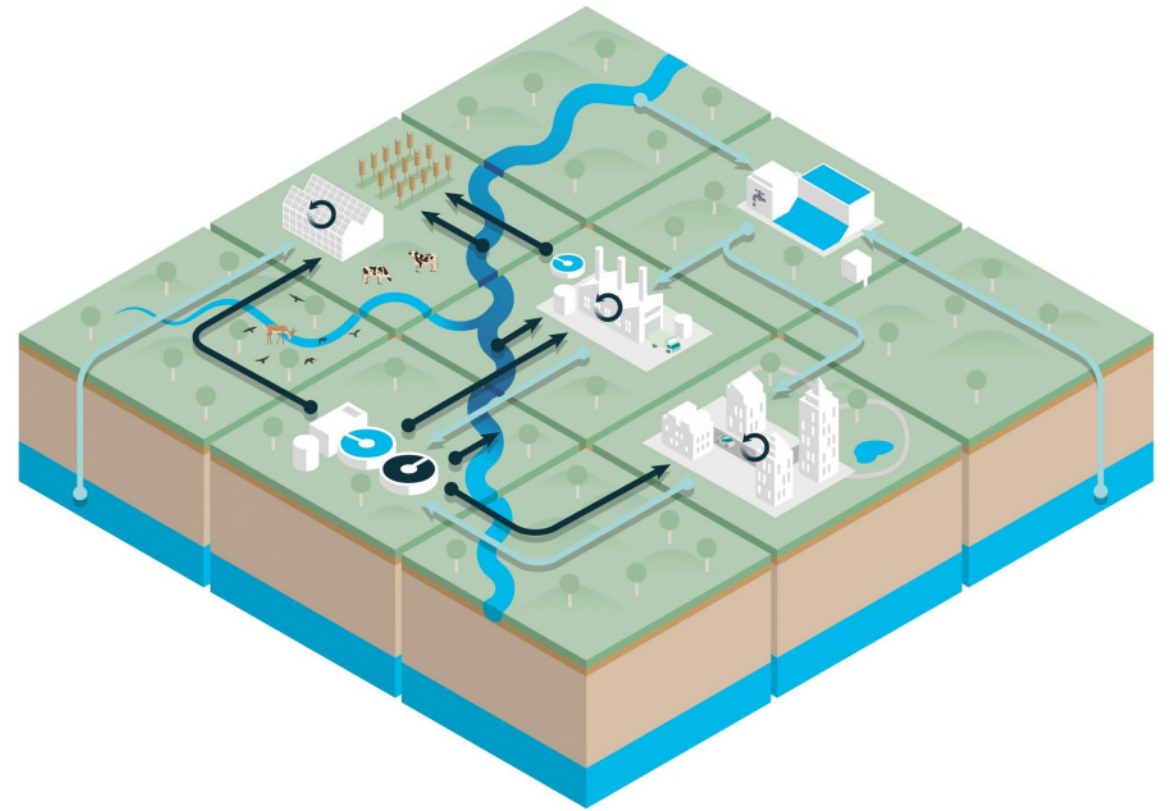
**KWR**

Bridging Science to Practice

# Introduction

## Water reuse in freshwater systems

- Water is connected in the landscape
- This includes both the 'natural' water system of rivers, surface water, groundwater and precipitation, and the 'human' water system of water used in agriculture, industry and urban environments, drinking water production and wastewater effluent.
- How can a shift in water use affect the entire water system in a region?





# Introduction

## Trends:

- Population growth + flourishing economy = increased water demand
- Climate change = increased uncertainty for availability of conventional water sources
- High reliance on, and potential overexploitation of groundwater
- Drive towards a circular economy

## Wastewater reuse as alternative source?

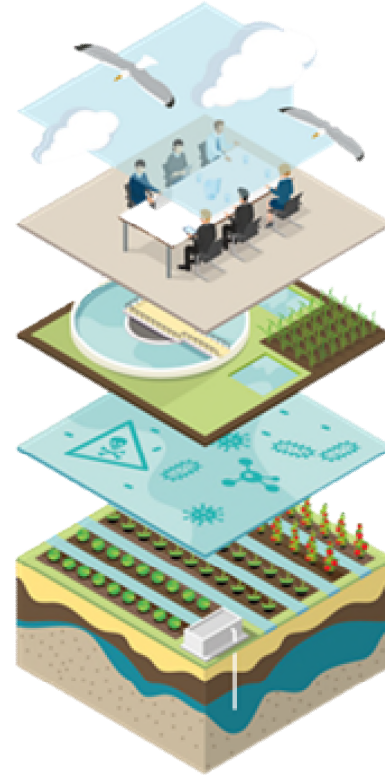
- Linear → Circular
- Increase water system robustness
- Reduce dependence and pressure on groundwater and surface water



# Wastewater Reuse

- Large scale unintended wastewater reuse already takes place (Beard et al., 2019).
- Intended reuse has been successfully applied locally in the Netherlands & Flanders.
- There are many possibilities for further water reuse in cross sectoral settings

→ **Large scale intended/organized application of wastewater reuse requires an (interdisciplinary) evaluation framework**



Sustainability and environment (LCA)

Legislation and regulations

Water treatment technologies

Health and safety

Reuse in agriculture or industry

Subsurface water storage



# Aim

*To demonstrate how water reuse potentially reduces pressure on water systems, with the water systems of the Netherlands and Flanders taken as examples.*

- Current water system
  - Potential future water system under pressure: higher water demand due to economic and population growth, impact of climate change on freshwater supply (STOOM-scenario, Deltascenarios, Wolters et al. 2018)
  - Wastewater reuse scenarios
- 
- Sankey diagrams for visualisation and assessment (this overview)
  - Interdisciplinary framework for evaluation of opportunities and risks (manuscript/paper)

# Sources and assumptions

- I: Input or output of the NWM (Hunink et al. 2018; Rijkswaterstaat 2016)
- II: Van der Aa et al. (2015)
- III: Vewin (2017)
- IV: Graveland et al. (2017)
- V: CBS Statline (2019)

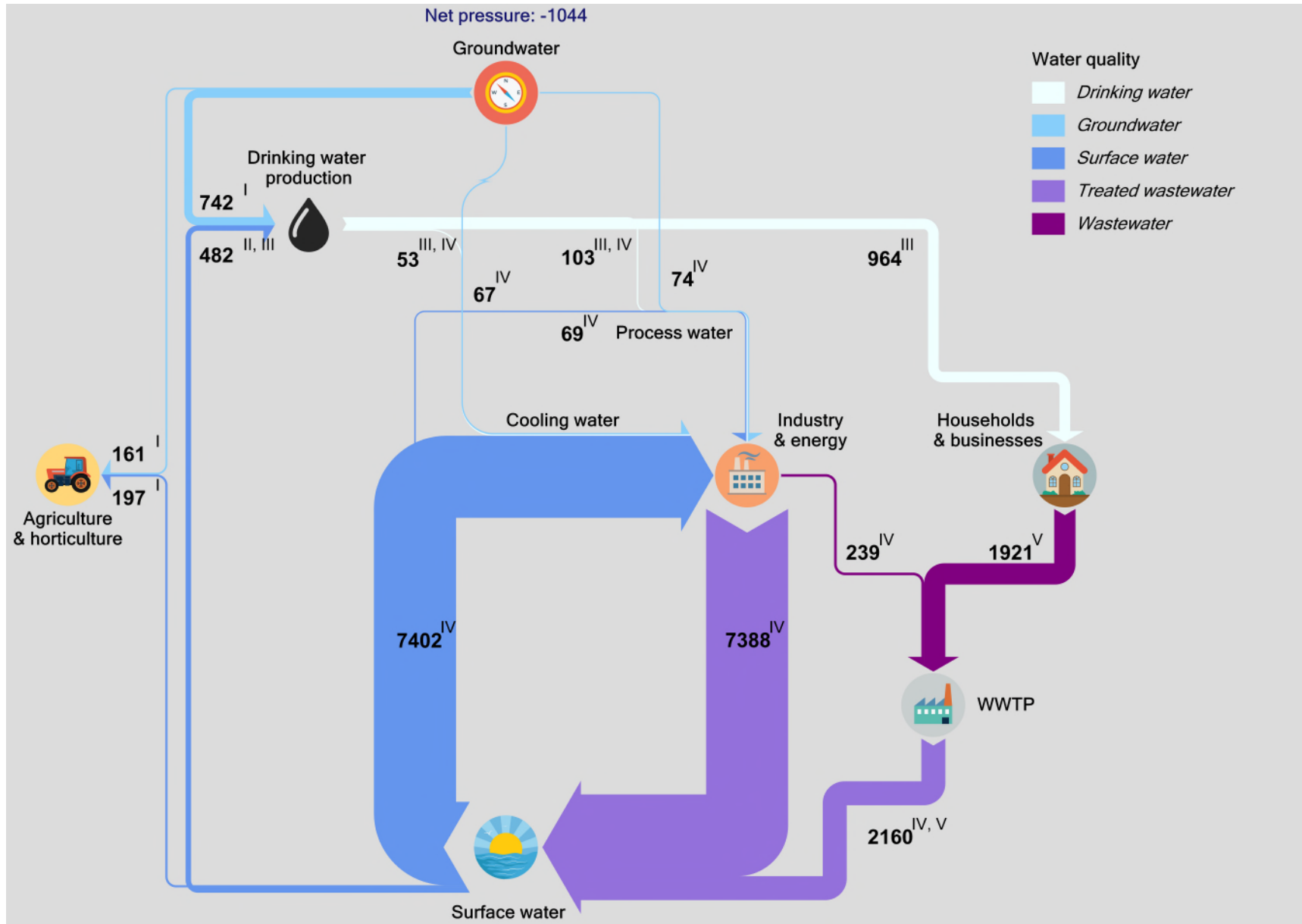
- Communal wastewater = wastewater from households + rainwater collected in sewage system
- WWTP to surface water = sum of industrial and communal wastewater flux to WWTP
- Negligible water flows are excluded from the diagrams or summarized into larger flow
- Water losses during distribution and treatment of wastewater are not considered
- WWTP-effluent to surface water = sum of industrial + communal wastewater (influent)
  
- Cooling water accounts for a flow that approximately equals the sum of all other anthropogenic flows  
→ omitted from the rest of the figures.

# Net pressure on the groundwater system

Net pressure = Anthropogenic groundwater replenishment – anthropogenic groundwater extractions  
(in Mm<sup>3</sup>/year)

- Anthropogenic groundwater replenishment:
  - Assumed to be absent in current water system
  - Potential for future water system
- All groundwater extractions for anthropogenic purposes:
  - Drinking water production
  - Irrigation water for agriculture
  - Process water (and cooling water) for industry
  - In Flanders: private extractions for households and businesses

# Netherlands, current water cycle including cooling water **KWR**



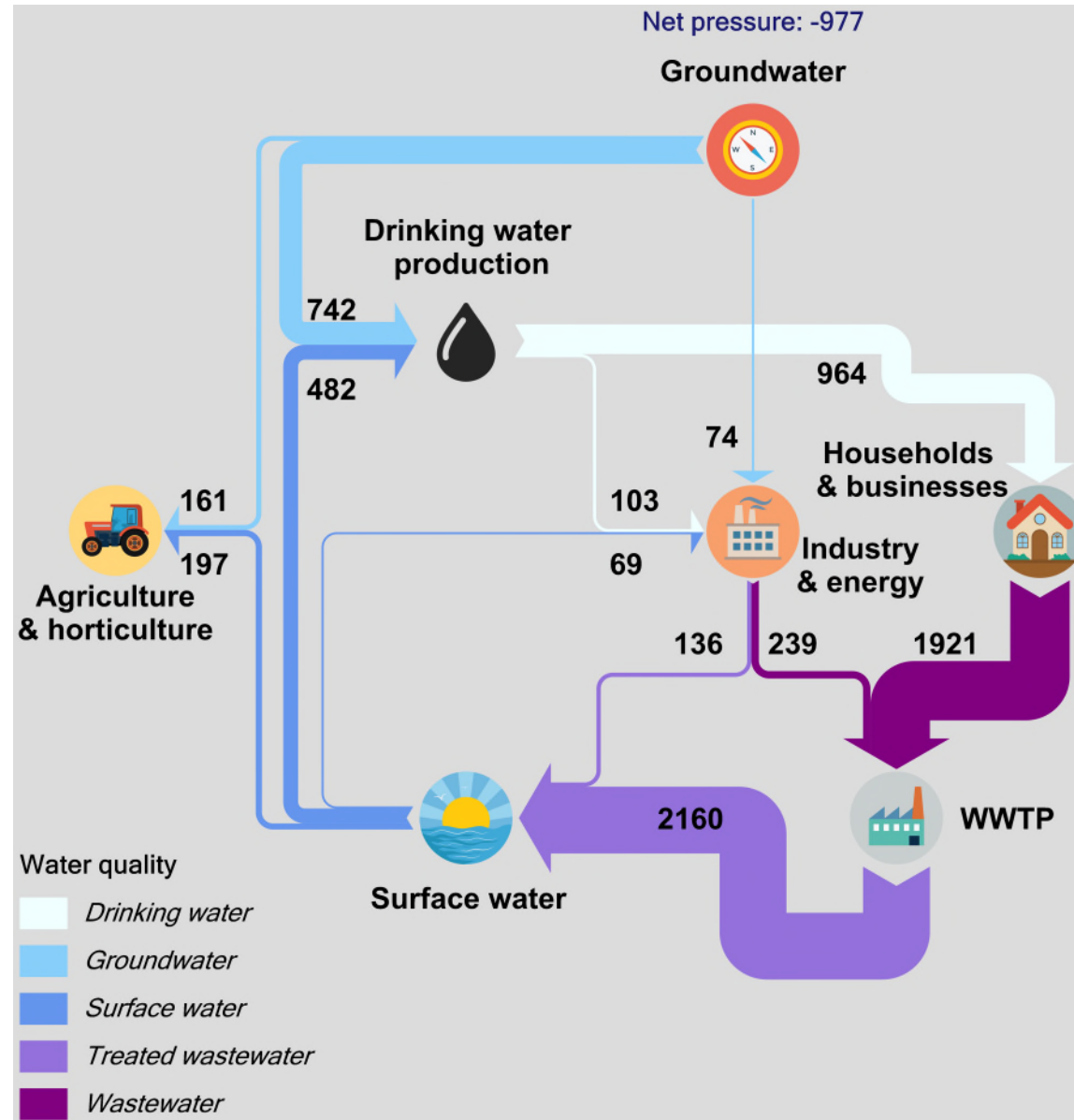




## Assumptions excluding cooling water

- Industry and energy to surface water excluding cooling water = calculated by total industrial flux to surface water minus the influx of industrial cooling water, without considering the energy sector.
- Volume of industrial wastewater might be of greater magnitude than of process water flowing in, since water can be produced in industrial processes.

# Netherlands, current water cycle excluding cooling water **KWR**



# Future scenario: STOOM

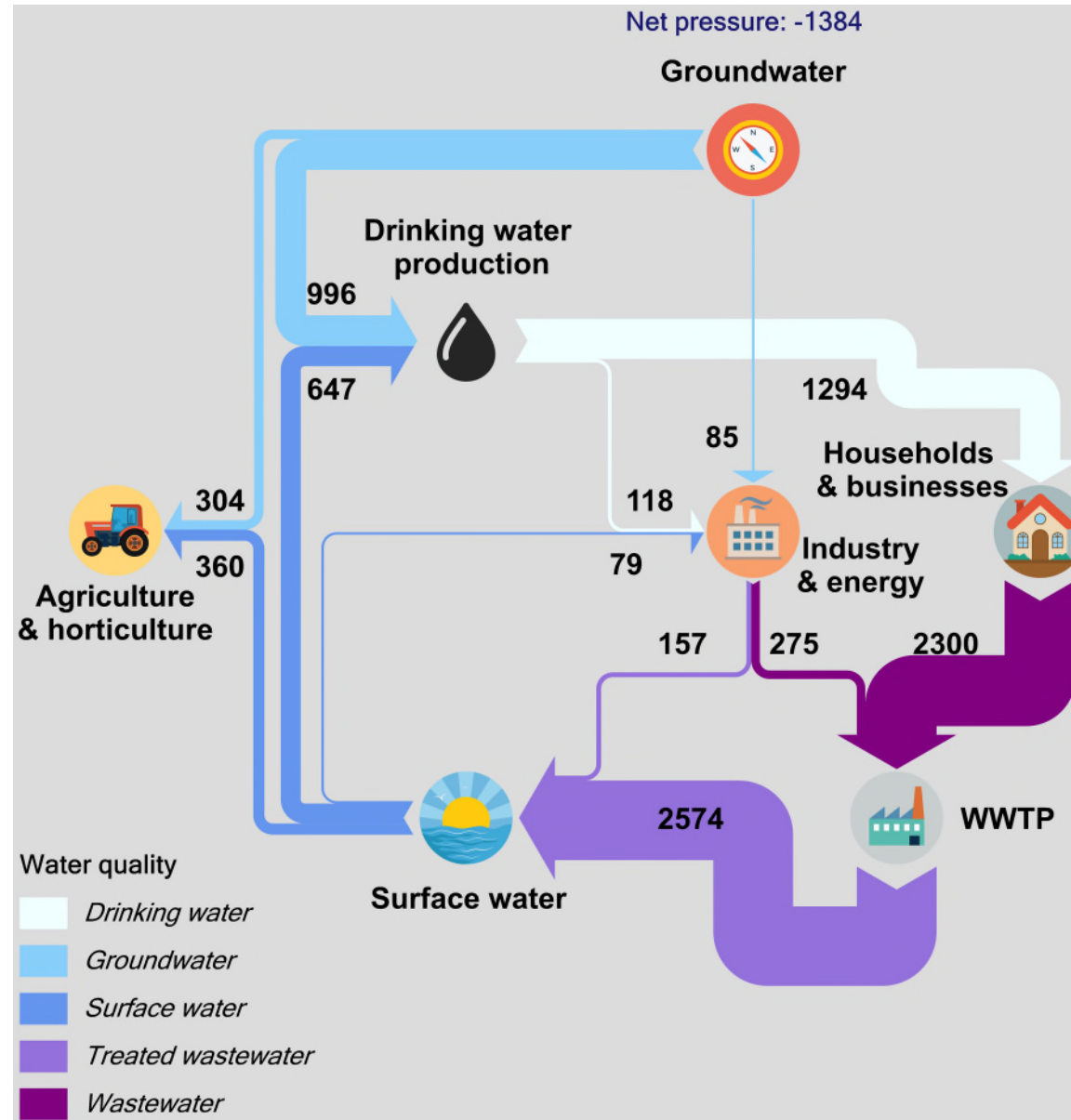
- One of the scenarios calculated as part of the national Deltaprogram (Wolters et al., 2018):
  - RUST: moderate pressure of climate change, low pressure of economic growth and population growth;
  - WARM: high pressure of climate change, low pressure of economic growth and population growth;
  - DRUK: moderate pressure of climate change, high pressure of economic growth and population growth;
  - **STOOM: High pressure of climate change, high pressure of economic growth and population growth.**
- Model run from 2017: NWM (Hunnink et al., 2017; Rijkswaterstaat, 2018)
  - ~35% increase of abstractions from groundwater and surface water for drinking water production
  - ~15% increase of abstractions from groundwater and surface water for industry and energy
  - ~83% increase of abstractions from groundwater for agriculture and horticulture
  - ~89% increase of abstractions from surface water for agriculture and horticulture
  - ~5% increase of precipitation



# Assumptions

- Proportional to increase of abstractions for drinking water production (~35%):
  - Distribution of drinking water to households and businesses
- Proportional to increase industrial abstractions (~15%):
  - Increase of cooling water intake by industry;
  - Increase of industrial wastewater to WWTP and surface water;
  - Increase of drinking water use by industry
- Communal wastewater increases because drinking water consumption increases by 35% and precipitation by 5%

# Netherlands, future water cycle: STOOM-scenario







# Water reuse scenarios

- Can increase water system robustness
- Extrapolated from local/regional applications of water reuse
- Water losses during treatment are not considered

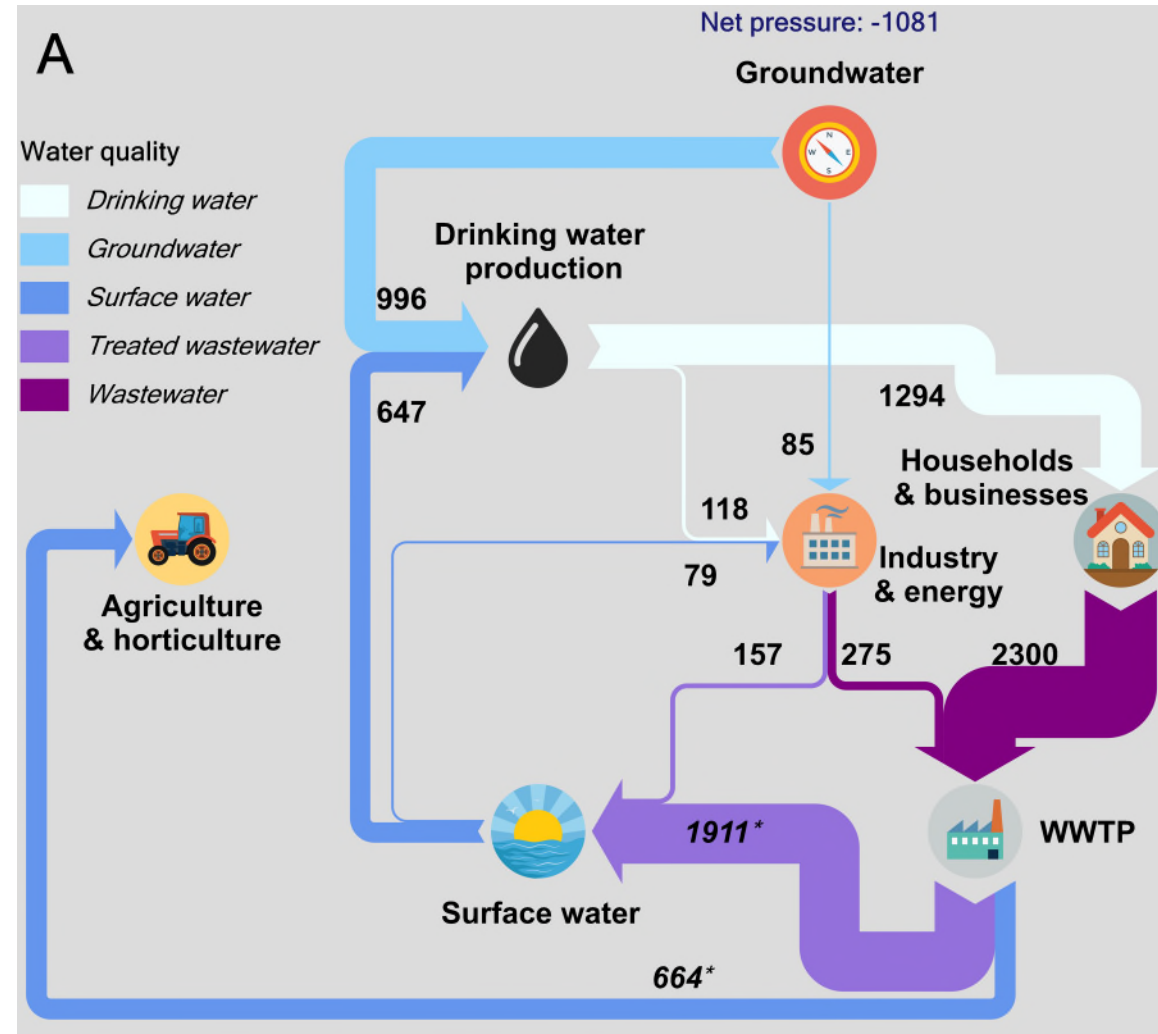
In Sankeys:                      Flow with \* = Flows affected by reuse



## Reuse scenario A: WWTP-effluent for irrigation

- Local application in Haaksbergen, The Netherlands (Bartholomeus et al., 2017).
- As much WWTP-effluent is assumed to be reused as required to fulfill the demand for irrigation water.
- Water quality is assumed to equal surface water, since surface water is main source of irrigation water.

# Netherlands, Reuse scenario A

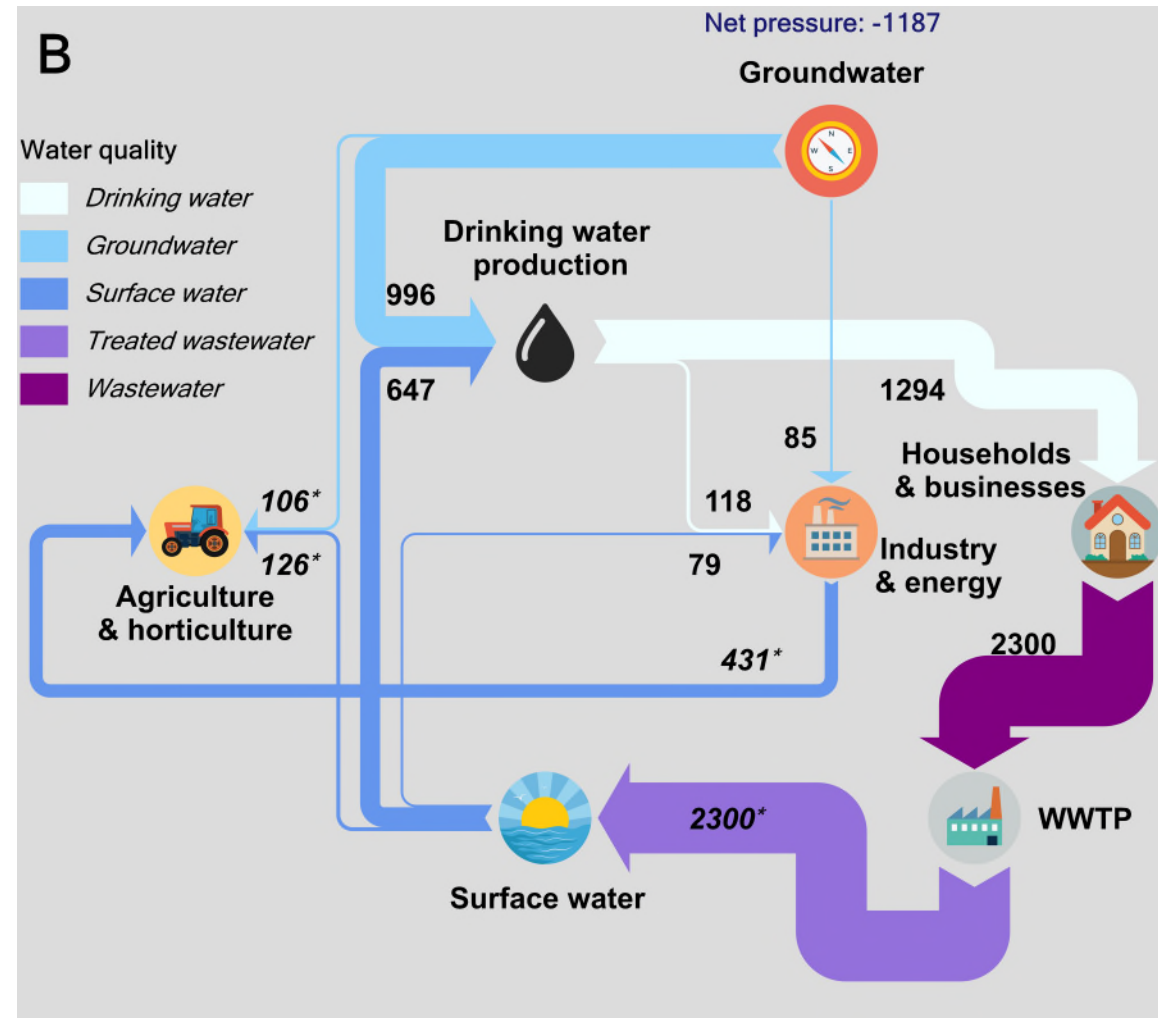




## Reuse scenario B: Industrial effluent for irrigation

- Local application in Dinteloord, The Netherlands (Zuurbier et al., 2018; van Dooren et al., 2019).
- All available industrial effluent is assumed to be reused as irrigation water.
- Water quality is assumed to equal surface water, since surface water is main source of irrigation water.

# Netherlands, Reuse scenario B

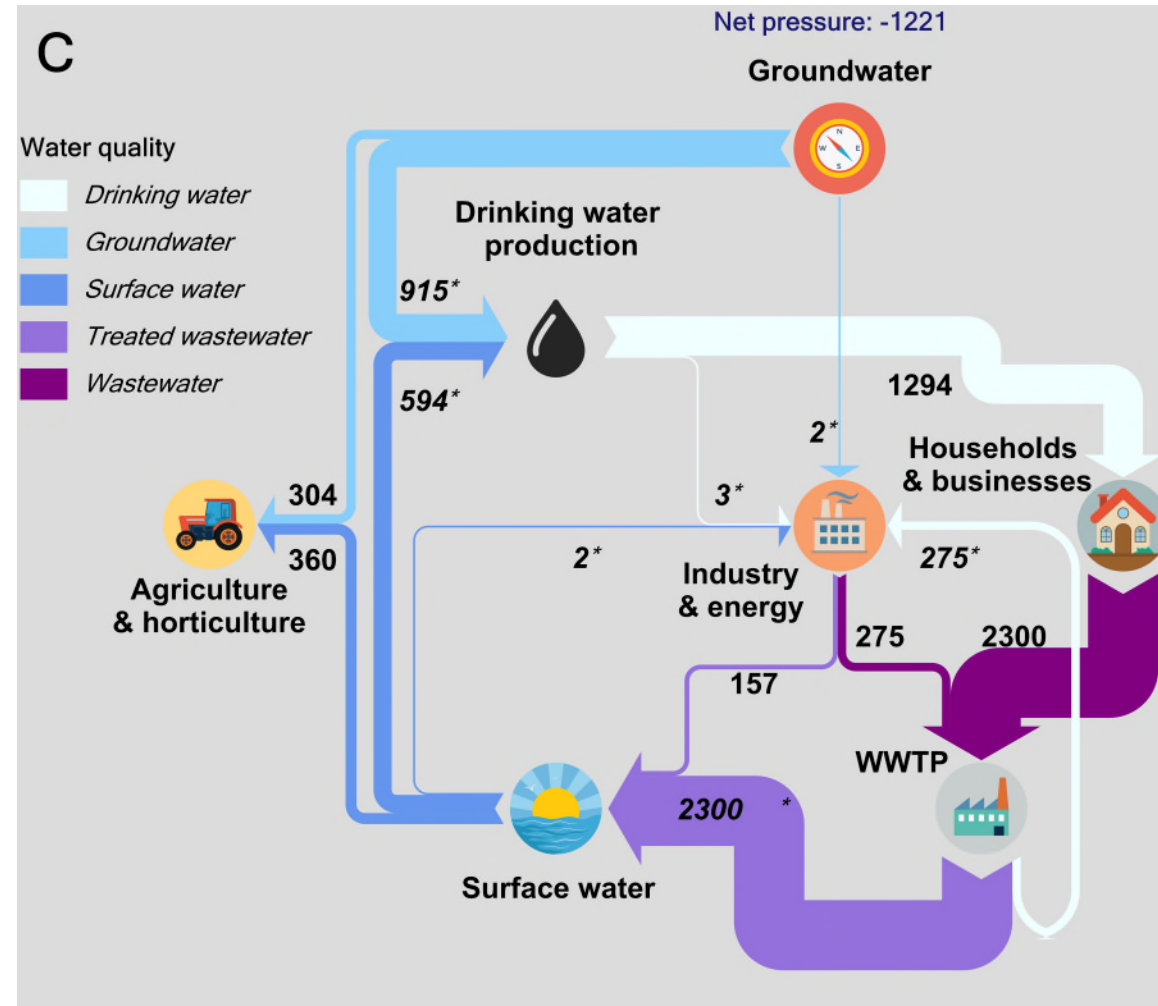




## Reuse scenario C: WWTP-effluent for industry

- Local application in Terneuzen, The Netherlands (Majamaa et al., 2010; Rietveld et al., 2011).
- WWTP-effluent is reused to fulfill the demand for industrial process water.
- Production of drinking water from groundwater and surface water are also affected.
- Water quality is assumed to equal drinking water, as drinking water is main source of industrial process water.

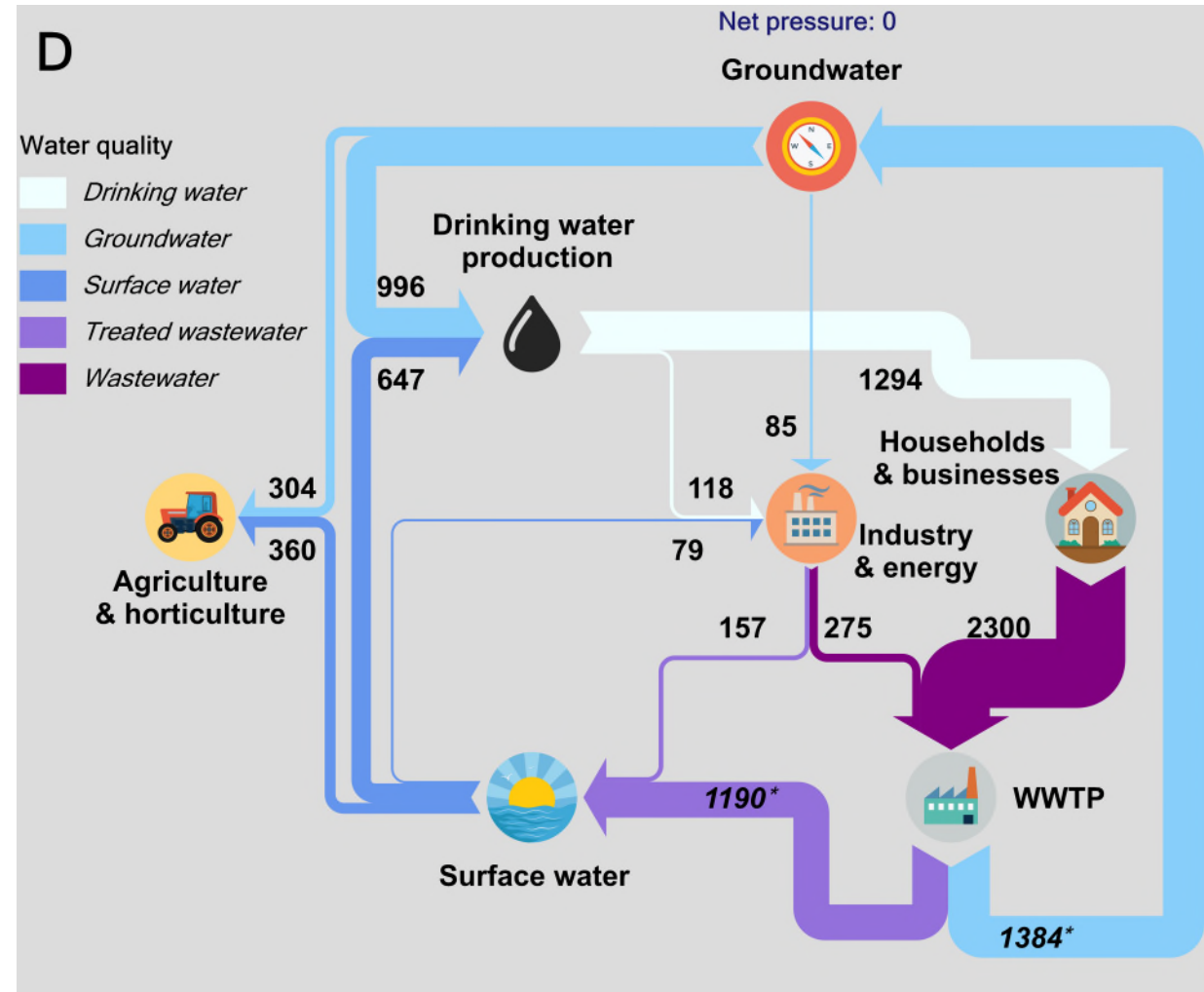
# Netherlands, Reuse scenario C



## Reuse scenario D: WWTP-effluent for groundwater replenishment

- Local application in Torreele, Belgium (Van Houtte et al., 2012).
- Amount of WWTP-effluent for groundwater replenishment is equal to total groundwater extracted.
- Strategy differs from other scenarios.
- Water quality is assumed to equal groundwater.

# Netherlands, Reuse scenario D





# Subdivision Low Netherlands and High Netherlands

## Low Netherlands:

Groningen

Friesland

Noord-Holland

Zuid-Holland

Zeeland

Flevoland

Utrecht

## High Netherlands:

Drenthe

Overijssel

Gelderland

Noord-Brabant

Limburg

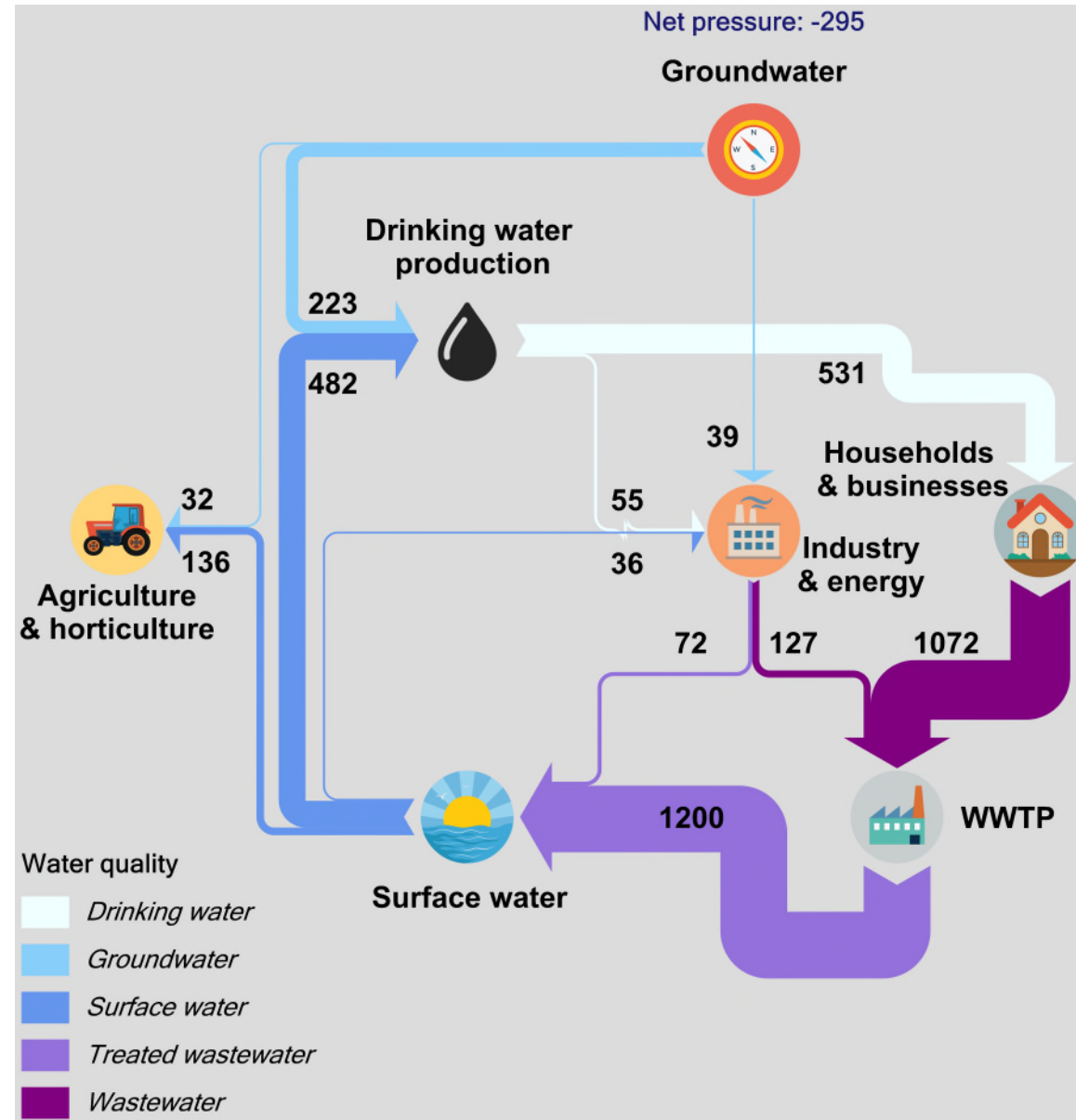


# Sources and assumptions

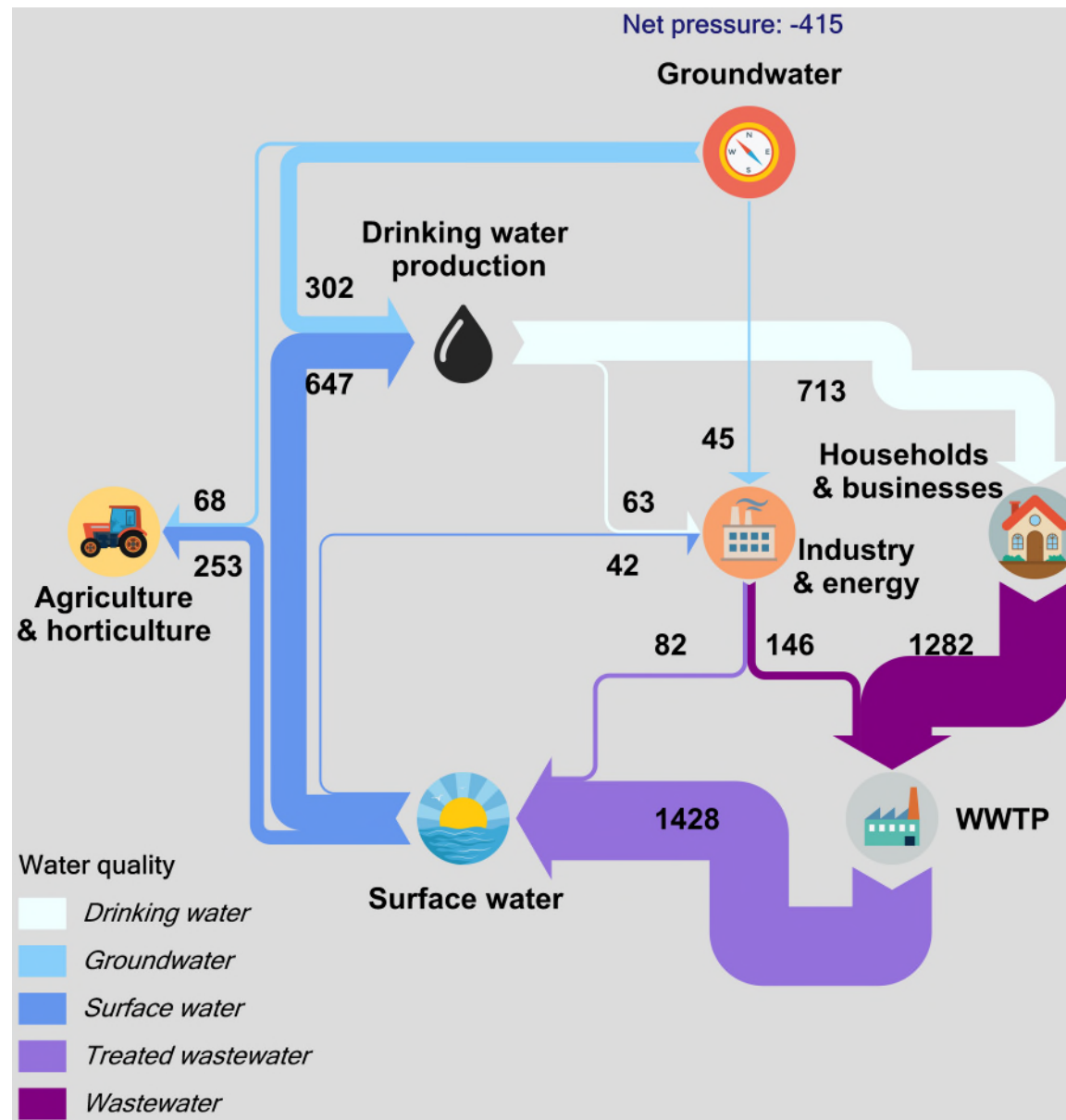
- I: Input or output of the NWM (Hunink et al. 2018; Rijkswaterstaat 2016)
- II: Van der Aa et al. (2015)
- III: Vewin (2017)
- IV: Graveland et al. (2017)
- V: CBS Statline (2019)

- Industrial fluxes are scaled to the number of industrial companies and energy companies
- Fluxes related to drinking water are scaled by the data per individual drinking water company
- Fluxes of communal wastewater are scaled by the amount of wastewater per province
- For STOOM-scenario: same %-increase as for complete Netherlands
- Sum of High and Low Netherlands can differ from complete Netherlands due to differences in sources, calculation method, or rounding inaccuracies

# Low NL, current water cycle excluding cooling water

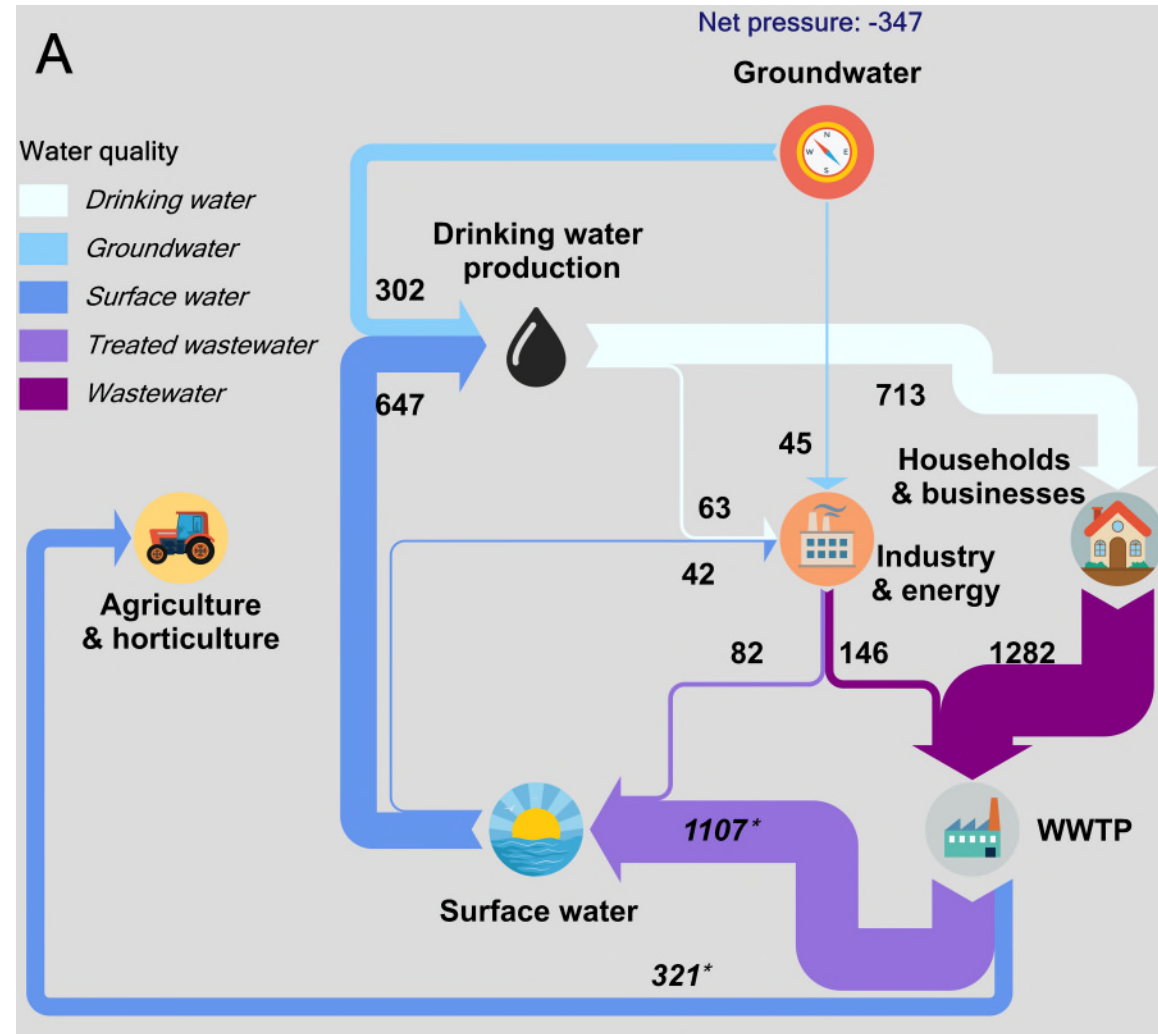


# Low NL, future water cycle: STOOM-scenario

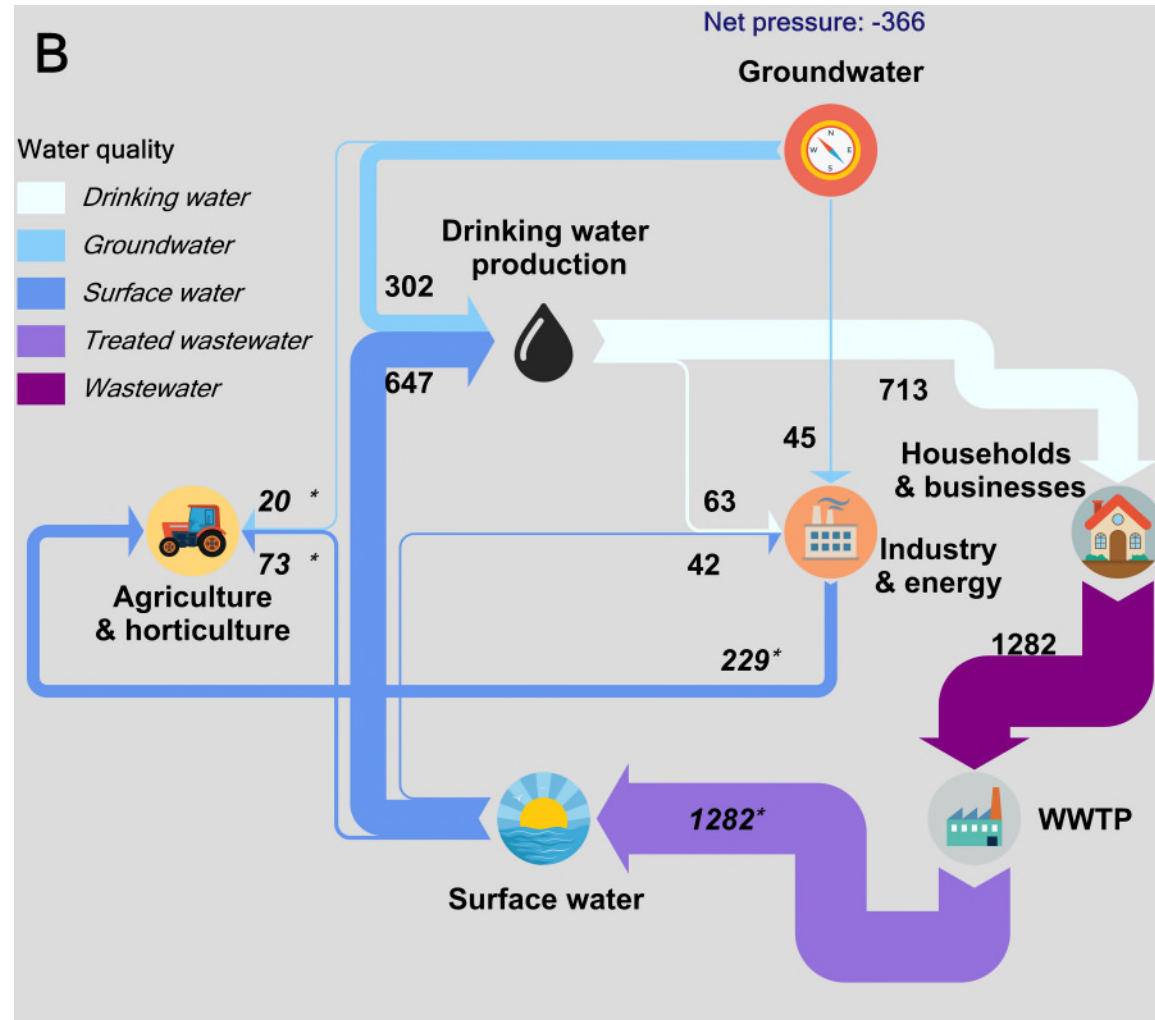




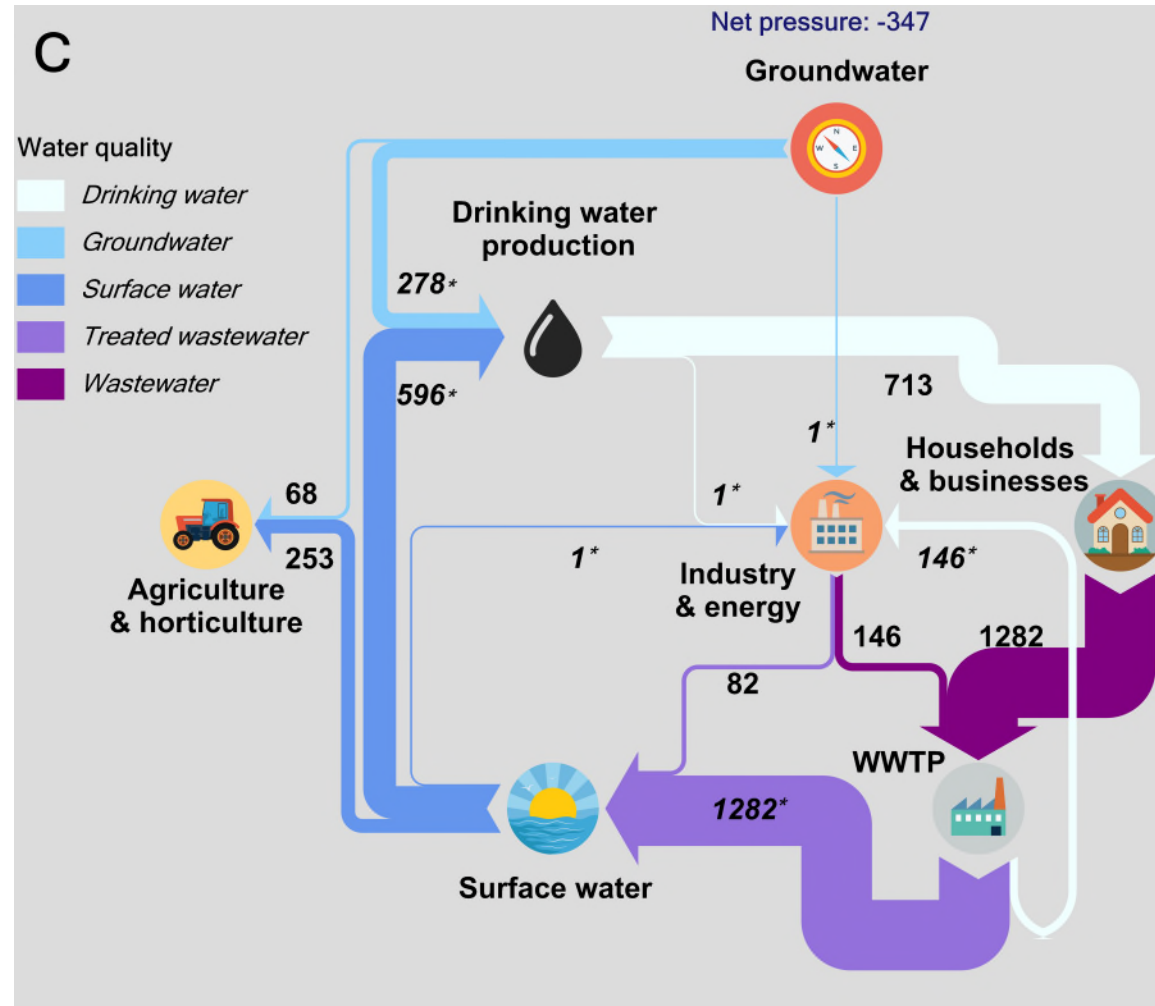
# Low NL, Reuse scenario A



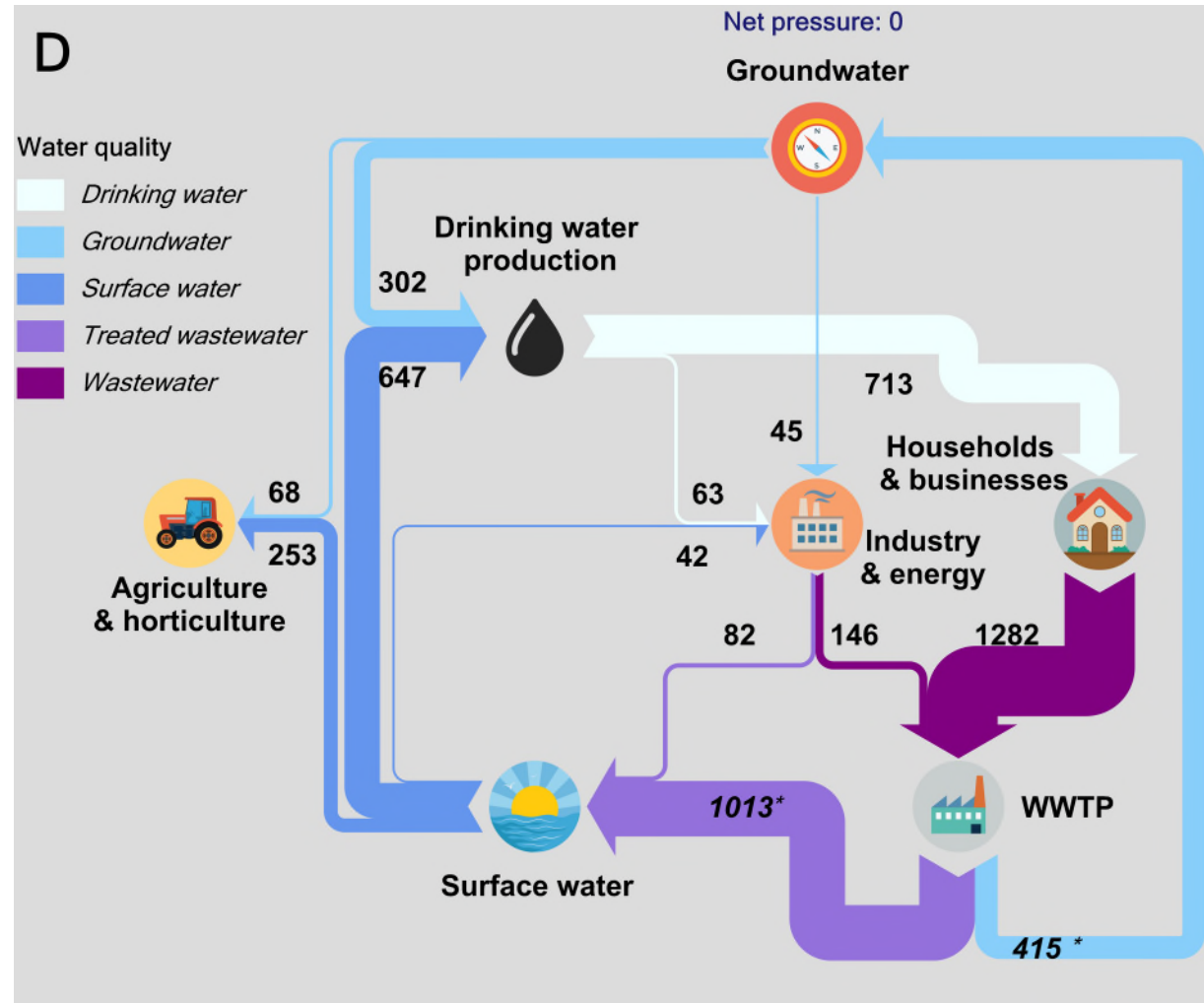
# Low NL, Reuse scenario B



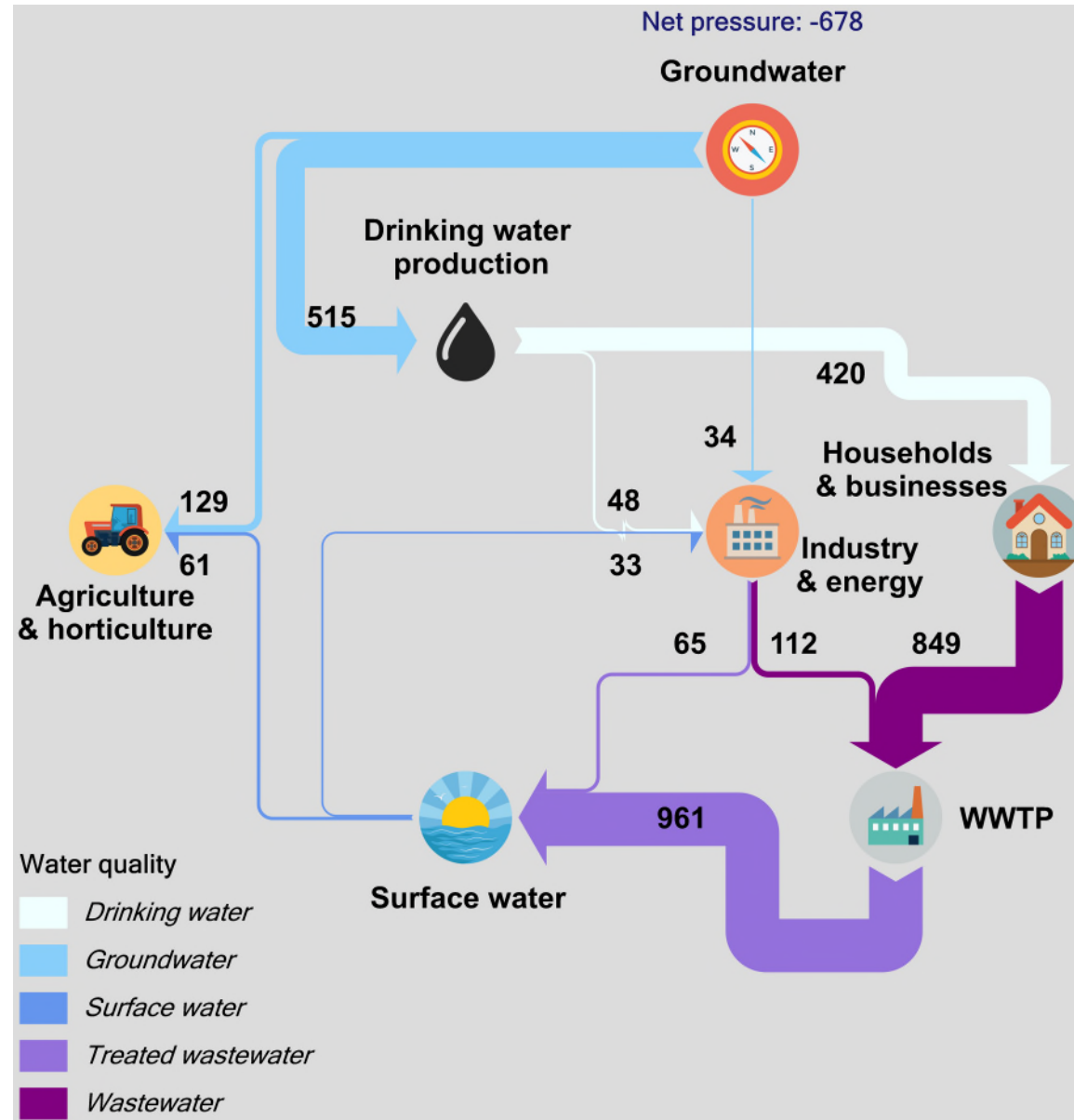
# Low NL, Reuse scenario C



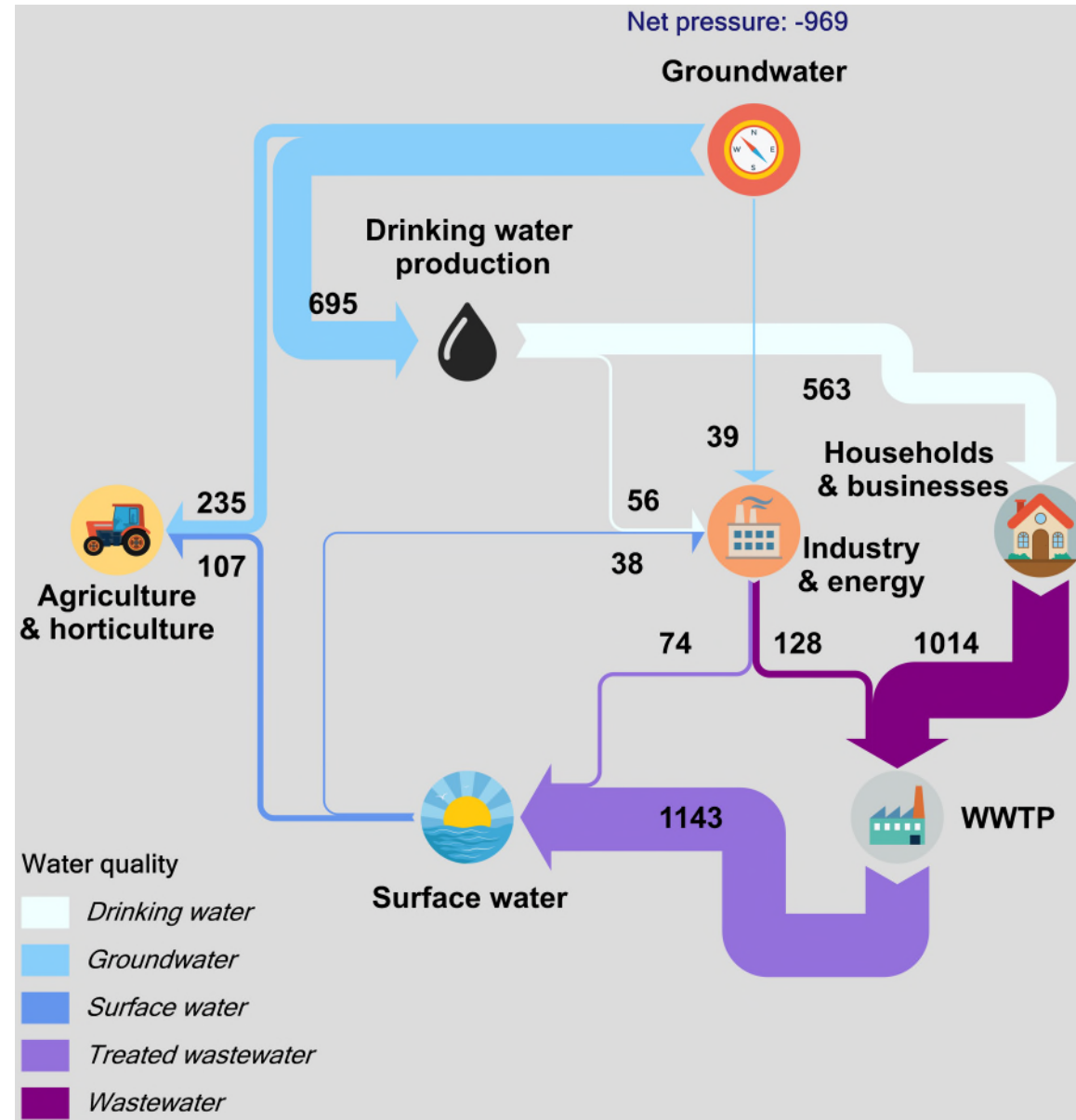
# Low NL, Reuse scenario D



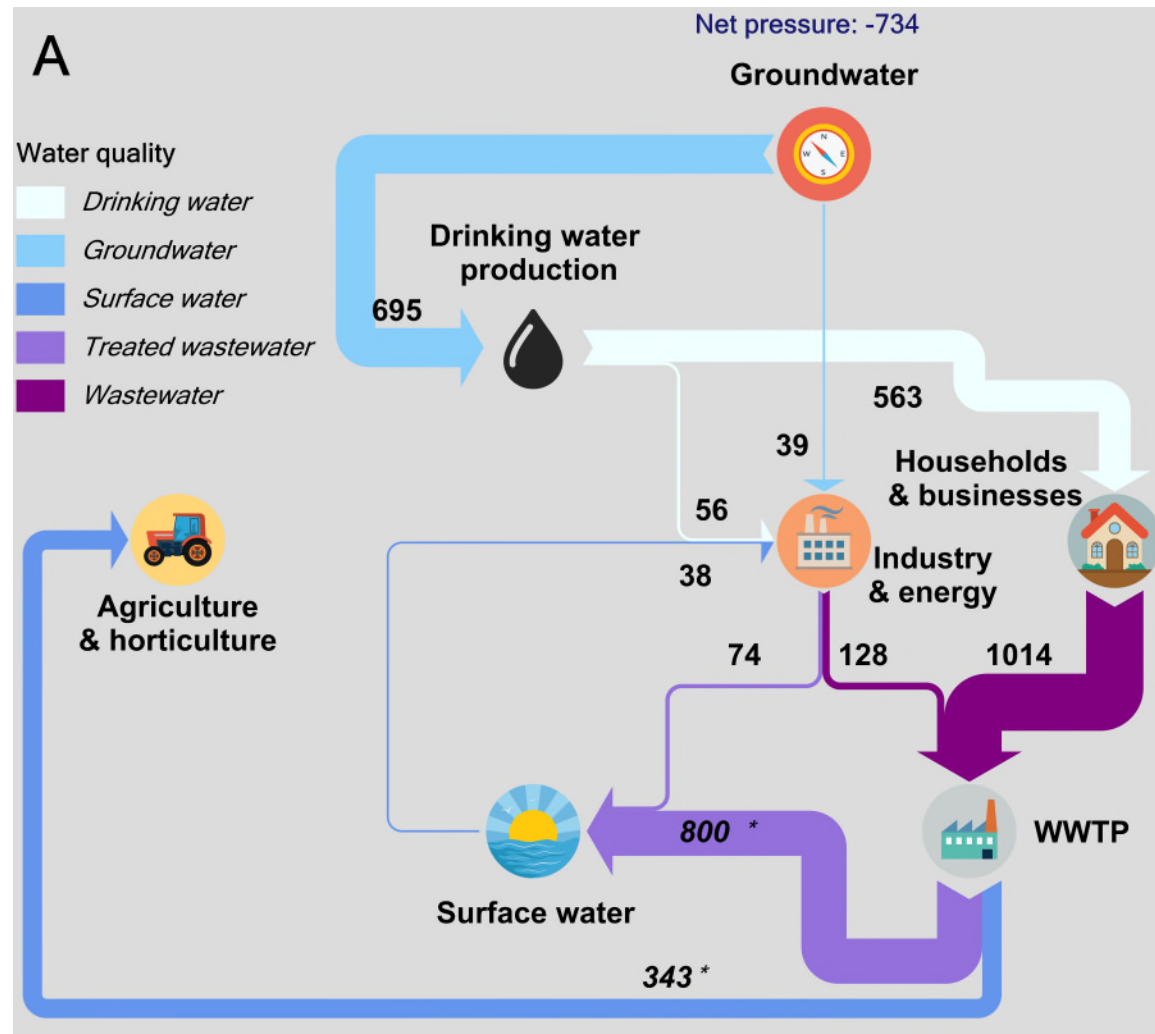
# High NL, current water cycle excluding cooling water



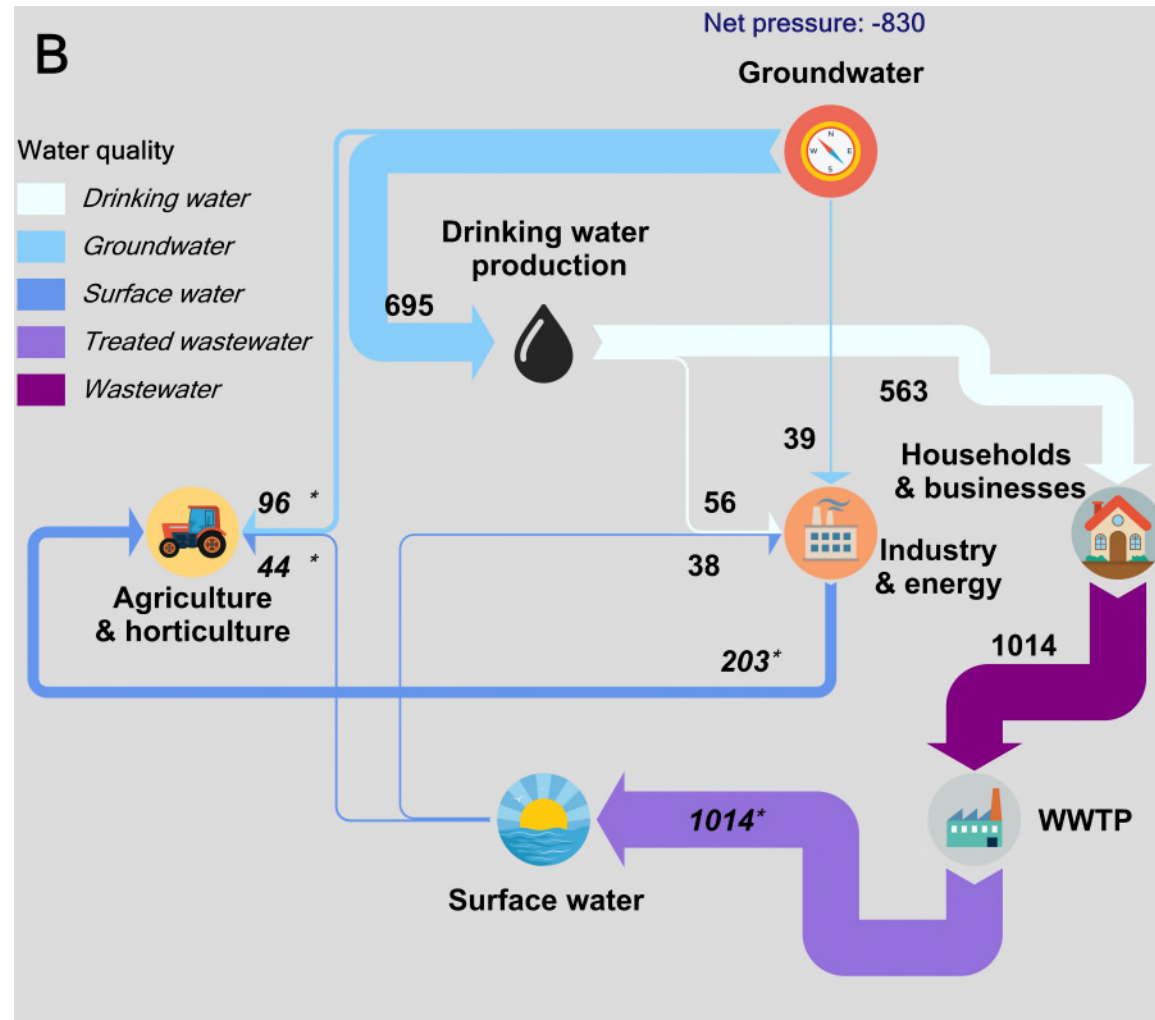
# High NL, future water cycle: STOOM-scenario



# High NL, Reuse scenario A

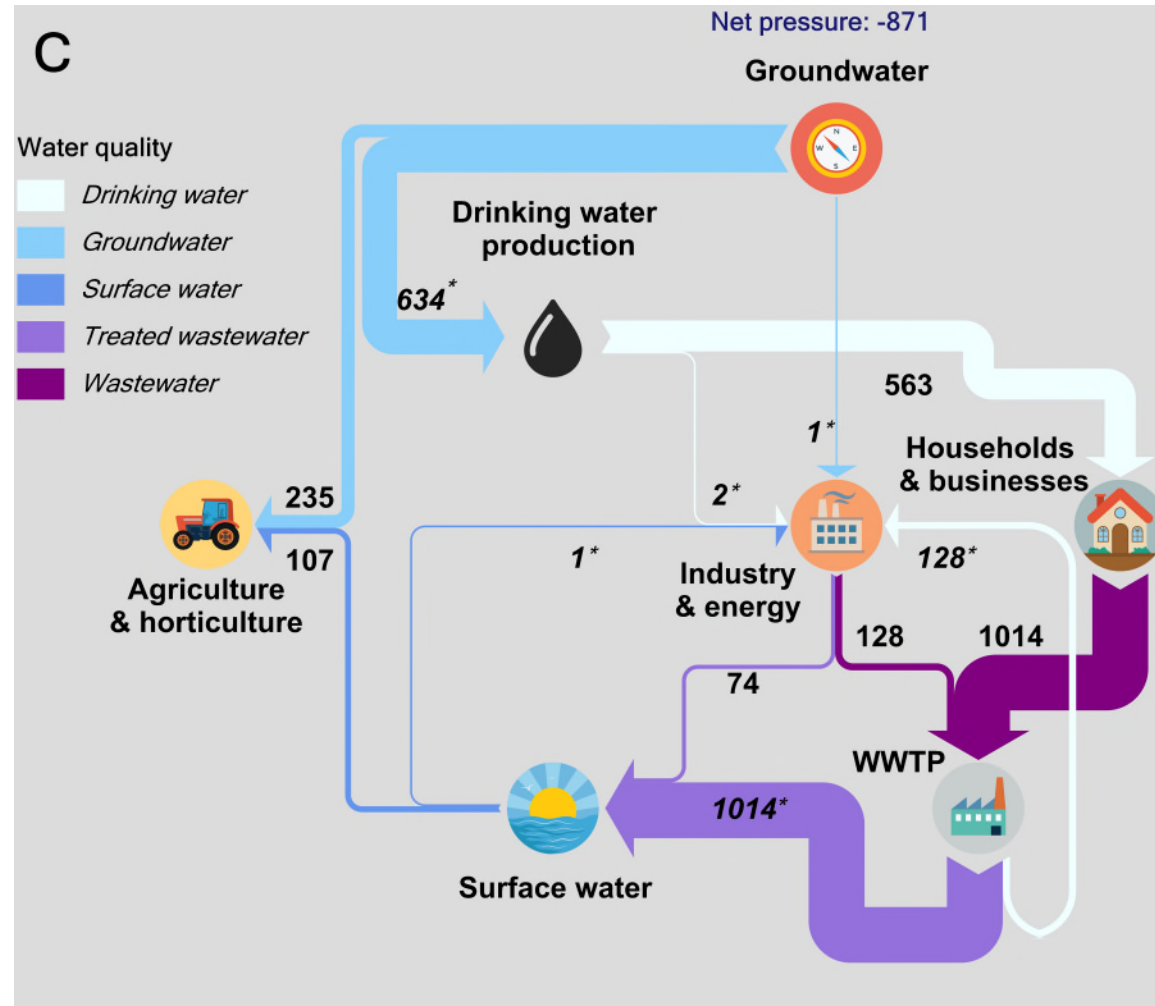


# High NL, Reuse scenario B

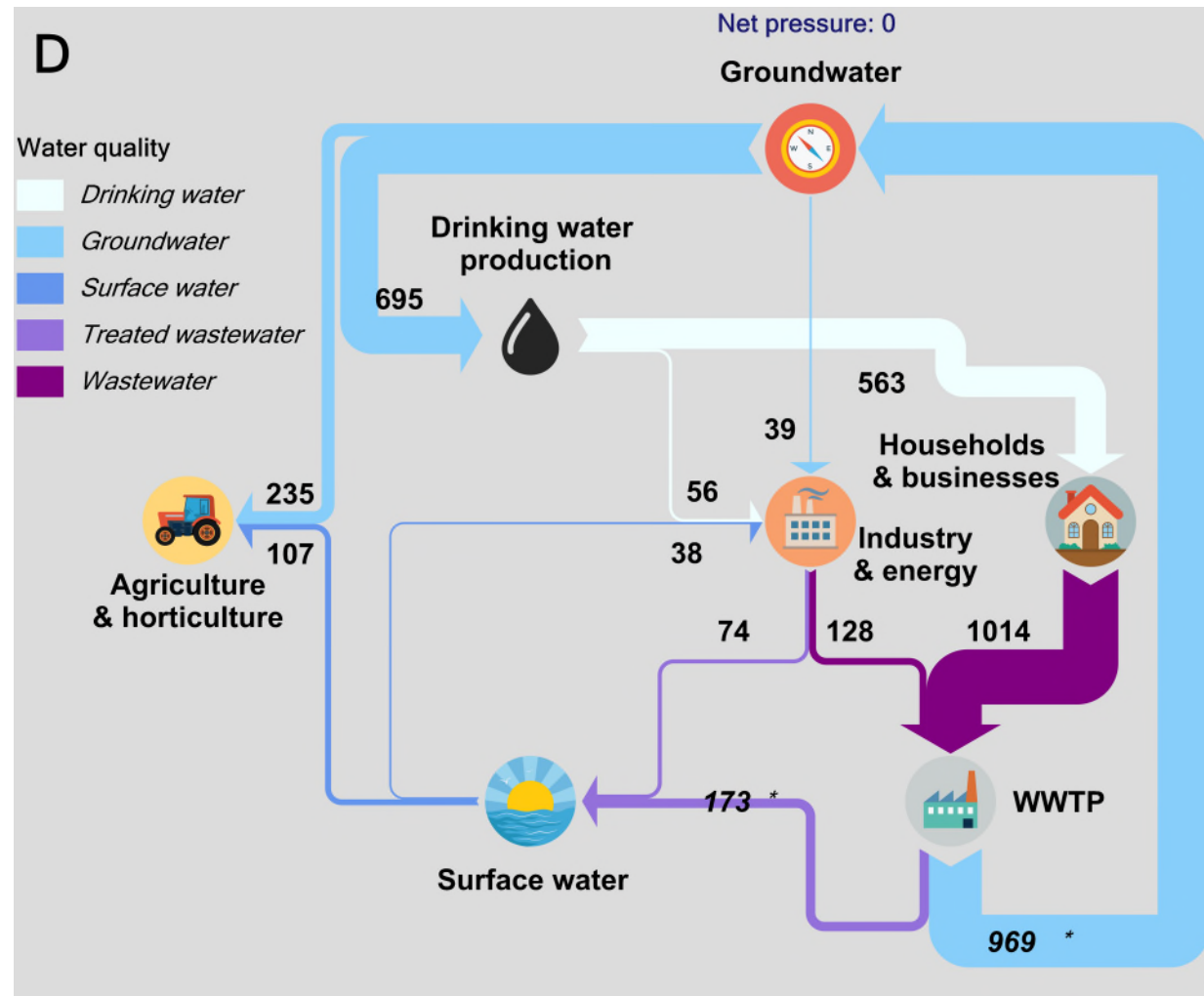




# High NL, Reuse scenario C



# High NL, Reuse scenario D



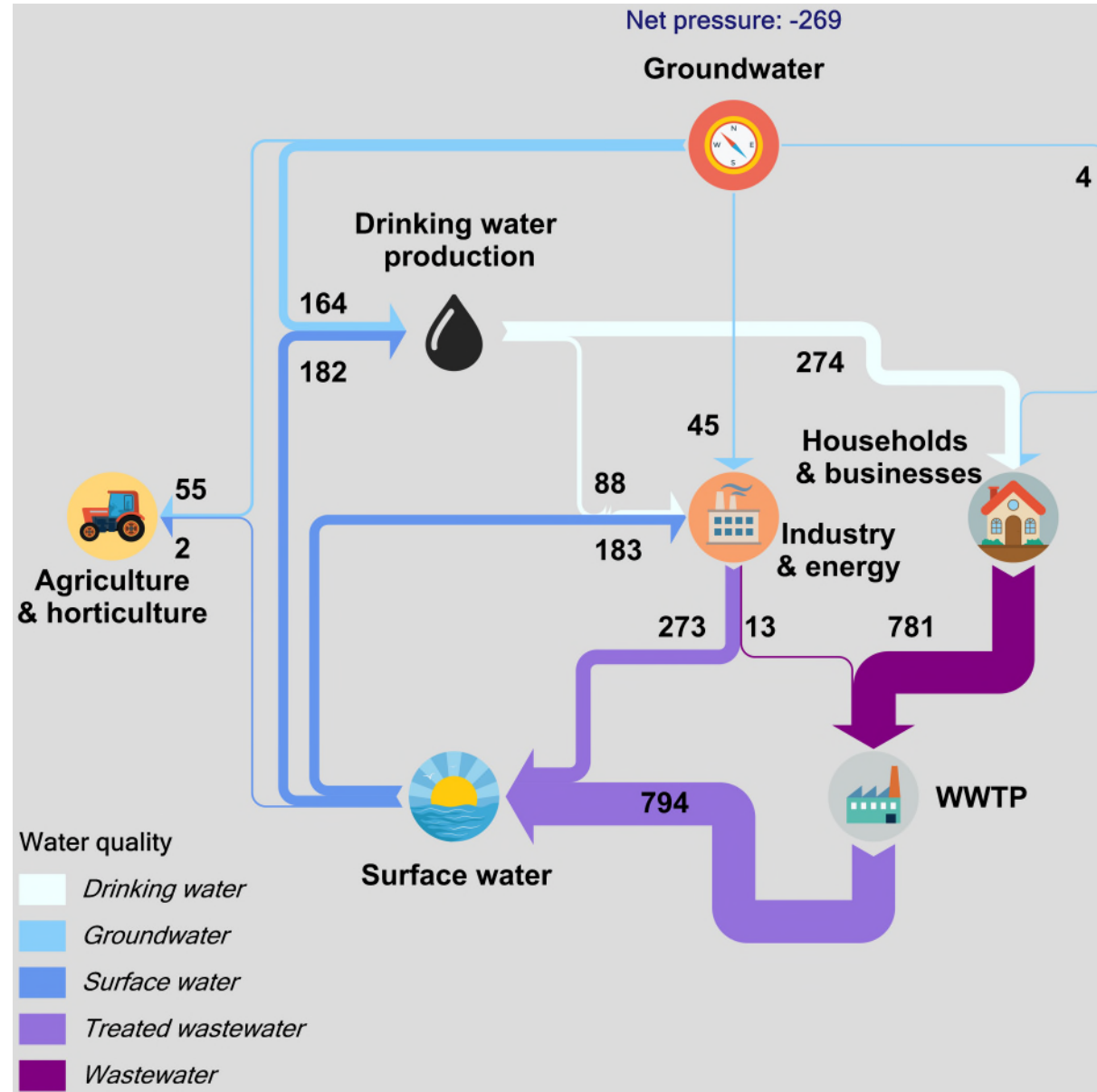


# Flanders: sources and assumptions

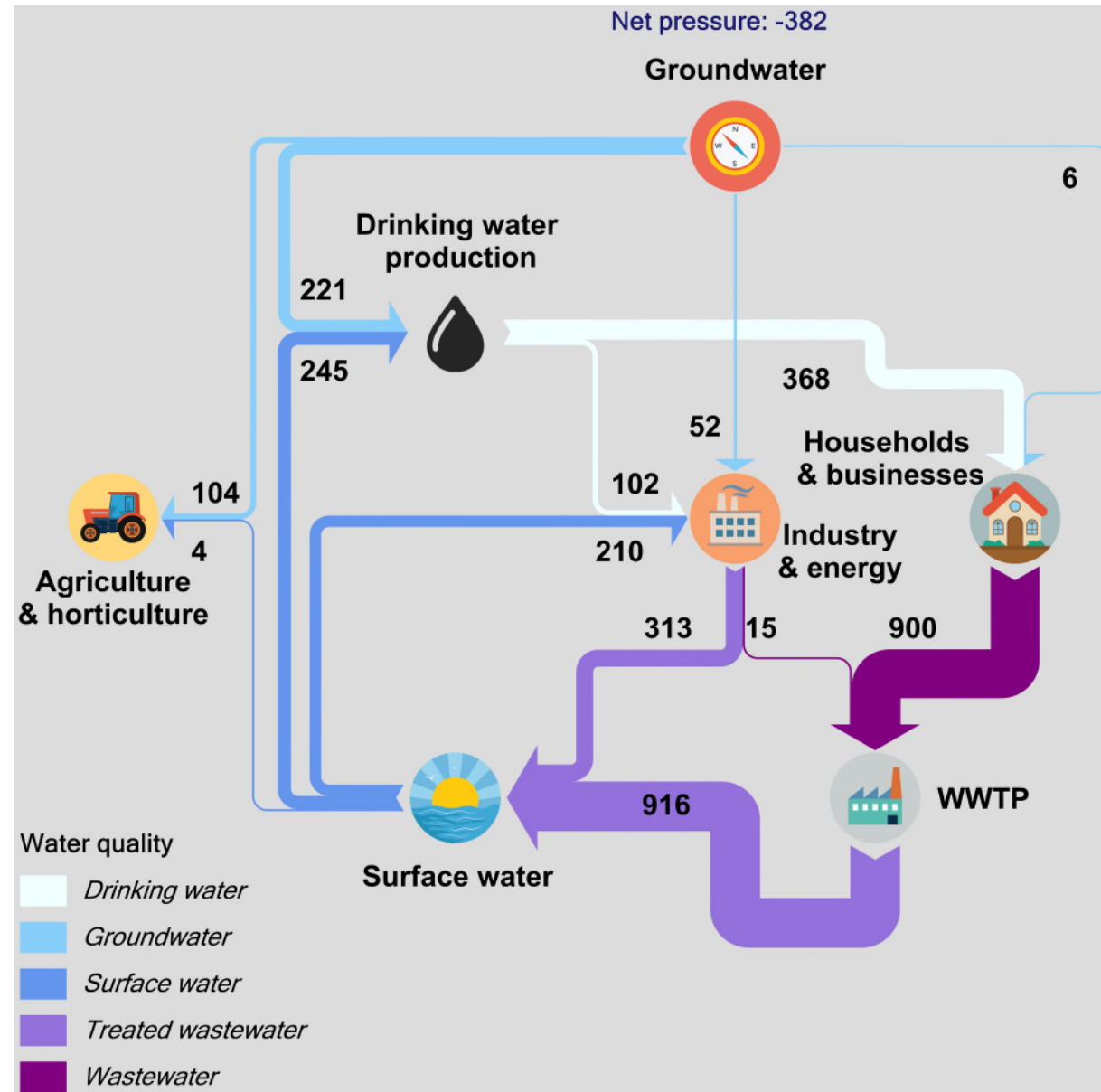
VMM (2018; 2019a; 2019b; 2019c; 2019d)

- Also private abstractions from groundwater for households and businesses are considered
- For cooling water intake, only the total intake is known. It is assumed to originate from surface water.
- For STOOM-scenario: same %-increase as for complete Netherlands.

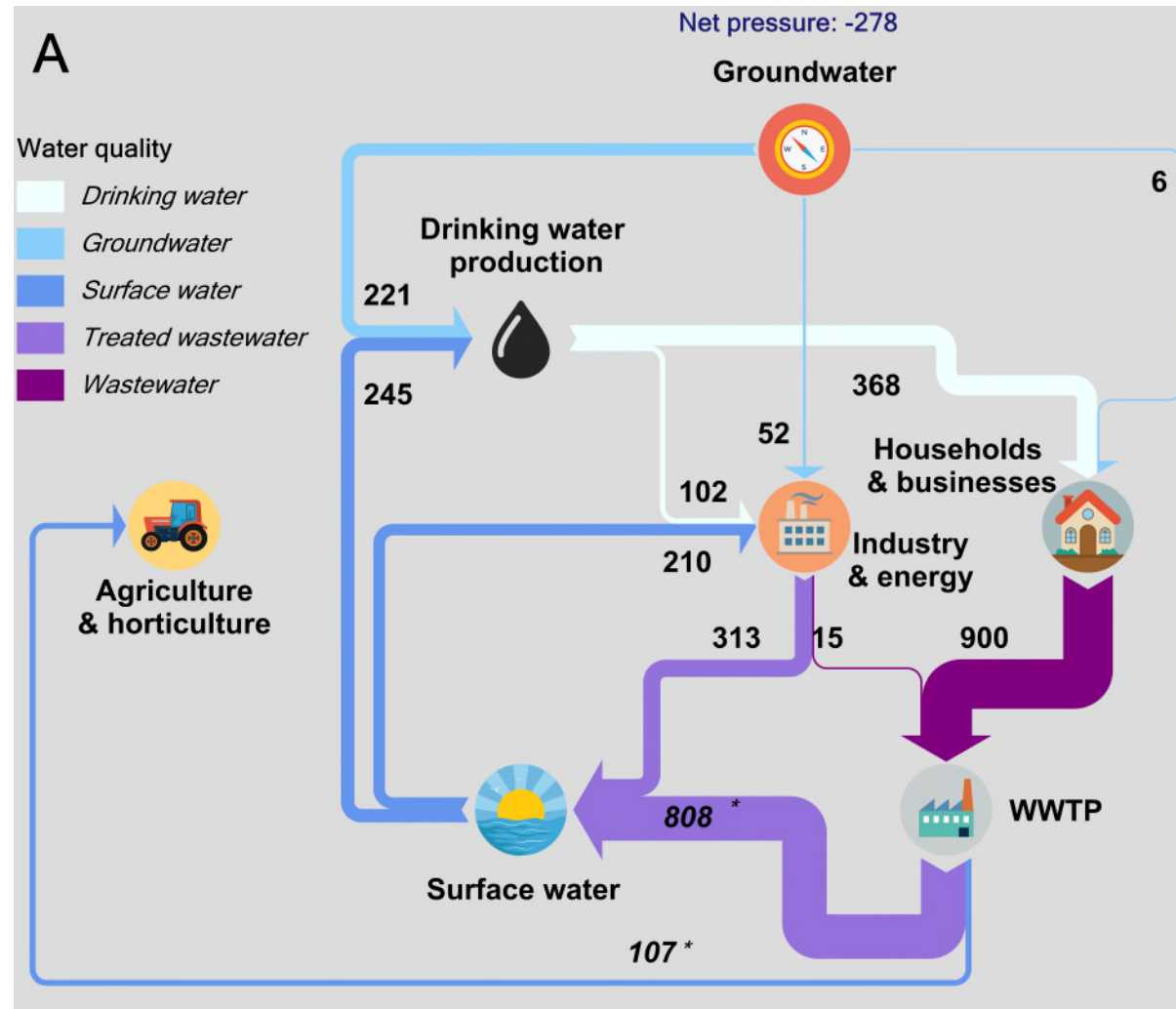
# Flanders, current water cycle excluding cooling water



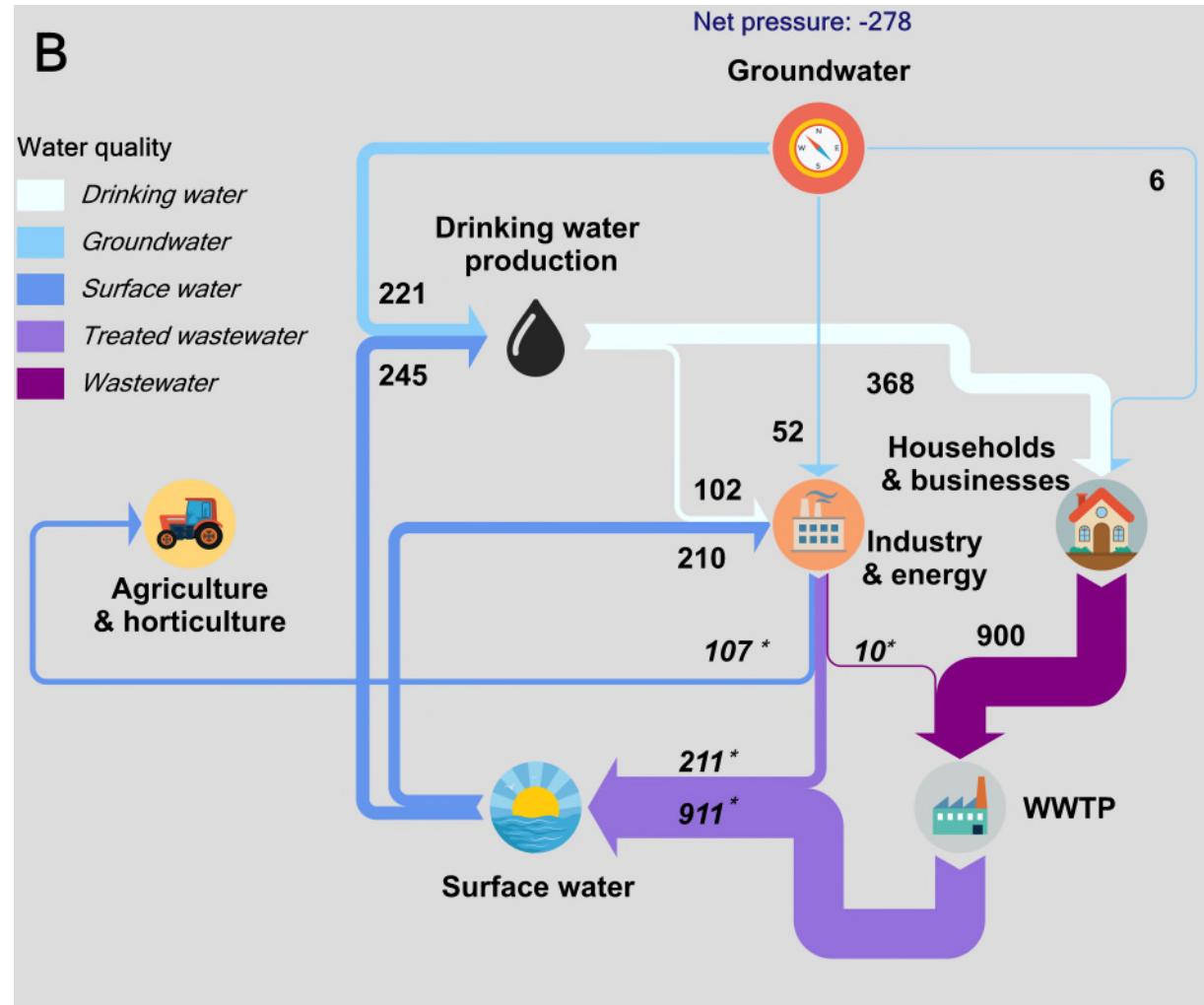
# Flanders, future water cycle: STOOM-scenario



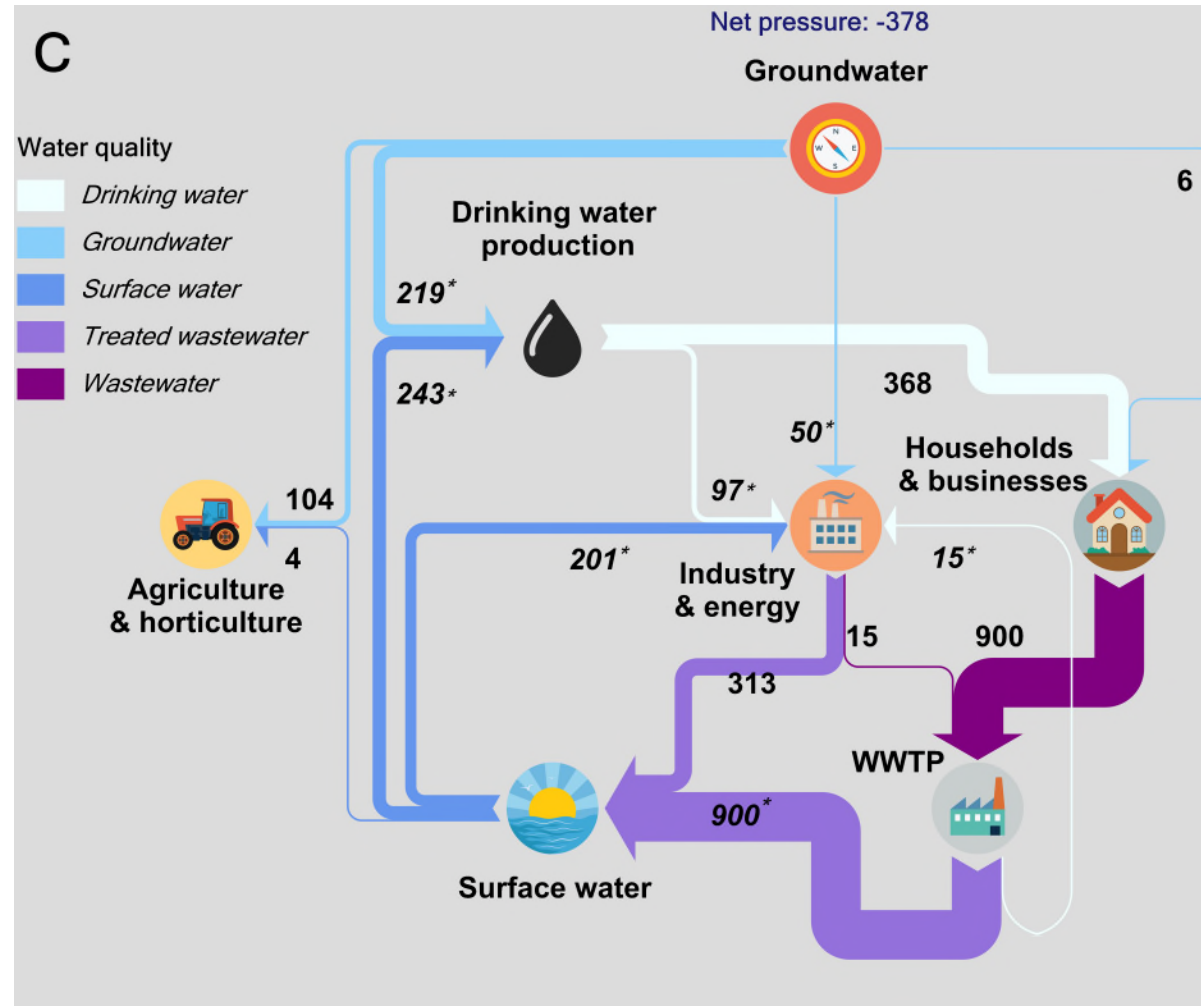
# Flanders, Reuse scenario A



# Flanders, Reuse scenario B

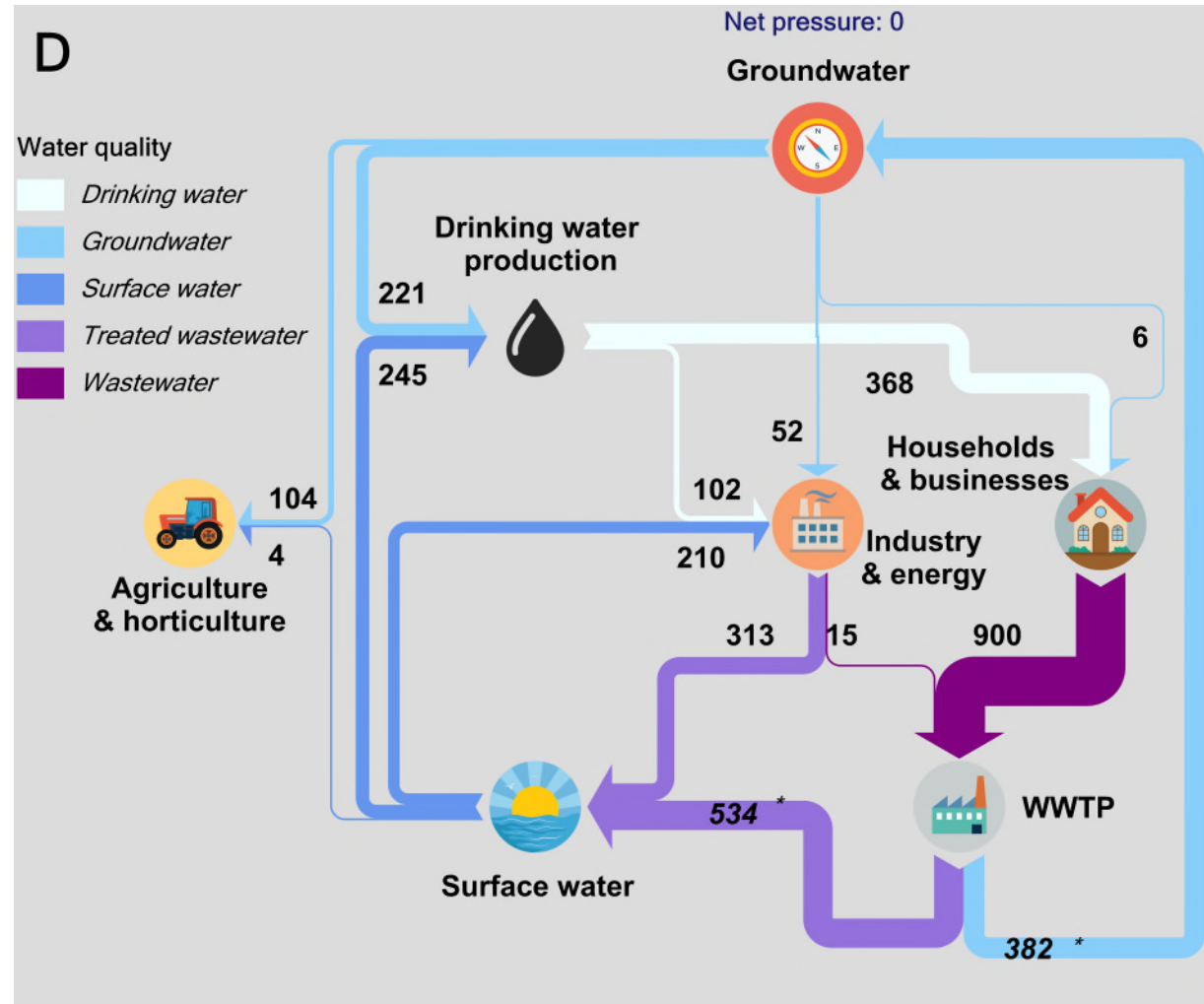


# Flanders, Reuse scenario C





# Flanders, Reuse scenario D



- Bartholomeus RP, Stofberg SF, Van den Eertwegh GAPH, Cirkel DG, . (2017) Hergebruik restwater voor zoetwatervoorziening in het landelijk gebied: Monitoring sub-irrigatie met RWZI-effluent Haaksbergen. (in Dutch).
- Beard JE, Bierkens MF, Bartholomeus RP (2019) Following the Water: Characterising de facto Wastewater Reuse in Agriculture in the Netherlands. Sustainability 11 doi: <https://doi.org/10.3390/su11215936>
- CBS Statline (2019) Zuivering van stedelijk afvalwater. CBS. <https://opendata.cbs.nl/statline/#/CBS/nl/dataset/7477/table?ts=1555321763052>
- Graveland C, Baas K, Opperdoes E (2017) Physical water flow accounts with Supply and Use and water asset/water balance assessment NL. CBS, Den Haag
- Hunink J, Delsman J, Prinsen G, Bos-Burgering L, Mulder N, Visser M (2018) Vertaling van Deltascenario's 2017 naar modelinvoer voor het Nationaal Water Model (in Dutch). Deltares, Utrecht
- Majamaa K, Aerts PE, Groot C, Paping LL, van den Broek W, van Agtmaal S (2010) Industrial water reuse with integrated membrane system increases the sustainability of the chemical manufacturing Desalination and Water Treatment 18:17-23
- Rietveld LC, Norton-Brandao D, Shang R, Van Agtmaal J, Van Lier JB (2011) Possibilities for reuse of treated domestic wastewater in The Netherlands Water Science and Technology 64:1540-1546
- Rijkswaterstaat (2016) Nationaal Water Model Uitvoer Basisprognoses 2016. Rijkswaterstaat. 2019
- Van der Aa N, Tangena B, Wuijts S, De Nijs A (2015) Scenario's drinkwatervraag 2040 en beschikbaarheid bronnen: Verkenning grondwatervoorraden voor drinkwater
- van Dooren TCGW, Zuurbier KG, Raat KJ, Hartog N, Stuyfzand PJ Enabling the reuse of industrial wastewater to meet freshwater demands of greenhouse agriculture by using aquifer storage and recovery (ASR). In: ISMAR 10th International Symposium on Managed Aquifer Recharge, Madrid, Spain, 2019.
- Van Houtte E, Cauwenberghs J, Weemaes M, Thoeye C, Kazner C, Wintgens T, Dillon P (2012) Indirect potable reuse via managed aquifer recharge in the Torreele/St-Andre project. . In: Water reclamation technologies for safe managed aquifer recharge pp P. 33-46
- Vewin (2017) Drinkwaterstatistieken 2017. Vewin, Den Haag
- VMM, 2018. Drinkwaterbalans voor Vlaanderen - 2017, Vlaamse Milieumaatschappij, Aalst.
- VMM, 2019a. Industrieel waterverbruik, Vlaamse Milieu Maatschappij, Aalst. <https://www.milieurapport.be/sectoren/industrie/brongebruik/waterverbruik>
- VMM, 2019b. Milieudata - Watergebruik in Vlaanderen, Vlaamse Milieu Maatschappij, Aalst. <https://www.milieurapport.be/milieudata/kernset>
- VMM, 2019c. Emissies bedrijven per subsector. Vlaamse Milieu Maatschappij, Aalst. <https://www.vmm.be/data/emissies-bedrijven-per-subsector>
- VMM, 2019d. Emissies RWZI. Vlaamse Milieu Maatschappij, Aalst. <https://www.vmm.be/data/emissies-rwzi>
- Wolters HA, Van den Born GJ, Dammers E, Reinhard S (2018) Deltascenario's voor de 21e eeuw, actualisering 2017 (in Dutch). Deltares, Utrecht
- Zuurbier K, Smeets P, Roest K, van Vierssen W (2018) Use of Wastewater in Managed Aquifer Recharge for Agricultural and Drinking Purposes: The Dutch Experience. . In: H. H, R. A (eds) Safe Use of Wastewater in Agriculture Springer, Cham, pp 159-175



Groningehaven 7  
3433 PE Nieuwegein  
The Netherlands

T +31 (0)30 60 69 511

E [info@kwrwater.nl](mailto:info@kwrwater.nl)

I [www.kwrwater.nl](http://www.kwrwater.nl)



@KWR\_Water



KWR



KWR\_Water



Teun van Dooren

[Teun.van.dooren@kwrwater.nl](mailto:Teun.van.dooren@kwrwater.nl)



Sija Stofberg

[Sija.stofberg@kwrwater.nl](mailto:Sija.stofberg@kwrwater.nl)



Geertje Pronk

[Geertje.pronk@kwrwater.nl](mailto:Geertje.pronk@kwrwater.nl)



Ruud Bartholomeus

[Ruud.Bartholomeus@kwrwater.nl](mailto:Ruud.Bartholomeus@kwrwater.nl)

**KWR | Maart 2020 | BTO 2020.014**

**Opdrachtnummer**  
402045/124

**Projectmanager**  
Geertje Pronk

**Opdrachtgever**  
Bedrijfstakonderzoek

**Kwaliteitsborger**  
Kees van Leeuwen

**Auteur(s)**

Teun van Dooren, Sija Stofberg, Geertje  
Pronk, Ruud Bartholomeus

**Trefwoorden**

Waterhergebruik, watersysteem

**Verzonden aan**

Dit rapport is verspreid onder de BTO-  
participanten en is openbaar.