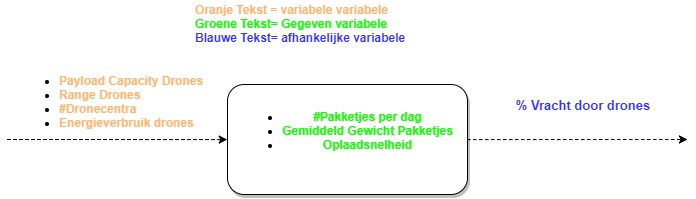
# Operationalisatie

# Verkeer en Busjes

## Vertragingen, Frequenties en Emissies

##### Aantal pakketjes gemiddeld per dag

In hoofdstuk 2 is het volgende conceptueel model voortgekomen om het percentage vracht dat vervoerd wordt door drones te bepalen:



Voor dit onderzoek zullen twee straten in Delft gekozen worden, de drukste en de minst drukke. Om te kunnen bereken hoeveel percentage vracht drones zullen overnemen in die straten, zowel nu als in de toekomst, zullen verschillende variabelen worden gebruikt. Als uitgangspunt zal het jaar 2016 gebruikt worden. Om het aantal bezorgingen per jaar in een bepaalde straat te berekenen zal het aantal inwoners bekend moeten zijn. Dit kan berekend worden met de dichtheid(in personen per kilometer). Dan kan met behulp van de lengte van de straat het geschatte aantal inwoners worden bepaald. Vanuit het aantal inwoners in Nederland en het aantal pakketjes in geheel Nederland kan het gemiddeld aantal pakketjes berekend worden. Met behulp van het gemiddeld aantal pakketjes per persoon in Nederland kan een generalisatie worden gemaakt naar de straten in Delft:

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **Variabele** | **Symbool** | **Eenheid** |
| Aantal inwoners in Nederland | I­NL | Inwoners |
| Aantal pakketjes in Nederland per jaar | P­jaar | Pakketjes/jaar |
| Aantal pakketjes per persoon | PPP | Pakketjes/persoon/inwoner |
| Dichtheid Straat | D­s | Inwoners/km² |
| Oppervlakte Straat | OPP | m² |
| Aantal Inwoners Straat | I­straat | Inwoners |
| Aantal Pakketjes per jaar | PPJ | Pakketjes/jaar |
| Aantal personen per huishouden | PPH | Inwoners/huishouden |
| Aantal bezorgingen per jaar in de straat | B­jaar | Bezorgingen/jaar |
| Aantal bezorgingen per dag in de straat | B­dag | Bezorgingen/dag |

Ten eerst moet het aantal pakketjes per jaar in Nederland per persoon worden berekend. Dat kan met de volgende formule:

Daaruit kan het aantal bezorgingen per jaar worden berekend voor een straat. Dit kan met behulp van de volgende formule:

Met behulp van het aantal bezorgingen per jaar in de straat kan, met behulp van het aantal bezorgdagen per jaar, het aantal pakketjes per dag kunnen worden bepaald. De pakketjes worden 5 dagen per week bezorgd, dus het aantal pakketjes per dag gemiddeld is(afgerond naar boven):

Hiermee kan de frequentie van de postbezorgers worden bepaald in HOOFDSTUK X.

### Busjes Frequentie en Emissies

Voor de aankomstfrequentie van postbezorgers wordt een Poisson-verdeling gebruikt. Met een Poisson-verdeling gebeurt een random event gemiddeld ‘λ’ keer in een bepaald tijdsinterval. Als een voorval bijvoorbeeld 1 keer gebeurt elke 2 minuten, en het tijdsinterval is 10 minuten, wordt λ = 5. De kans dat een ‘x’ aantal gebeurtenissen gebeuren is dan:

In het geval van de postbezorgers kan je het zo lezen. In HOOFDSTUK X is wordt berekend hoeveel pakketjes per dag er aankomen in de straat B­dag. Deze pakketjes worden 5 dagen per week bezorgd. Per tijdsinterval λ is er een kans P(x; λ) dat er een x aantal pakketjes aankomen in die tijd, waar het gemiddeld aantal pakketjes in één tijdsinterval λ is. Met de kans berekening, kan er in Excel in een dynamische tijd, op verschillende momenten een bepaald aantal pakketjes worden geleverd. Dit is een realistische weergave van de werkelijkheid.

Bovenstaande formule is in Excel geïmplementeerd met behulp van een POIS(x,y,z) verdeling.

## Vertraging, Uitstoot

De totale uitstoot, gekoppeld aan pakketjesbezorging is de som van de emissies van de busjes, plus de emissies veroorzaakt door het verkeer dat direct te maken heeft met de vertragingen rond pakketbezorging.

Met behulp van de frequenties van het verkeer en de bezorgbussen uit HOOFDSTUK X, kan er met het gemiddelde verbruik en de gemiddelde emissies uit HOOFDSTUK X een realistische berekening worden gemaakt van de hoeveelheid emissies die het verkeer en de busjes uitstoten. De totale uitstoot kan met deze variabelen worden berekend:

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **Variabele** | **Symbol** | **Eenheid** |
| Totale uitstoot | TU­totaal | CO2 gram (gr­co2 ­) |
| Totale Uitstoot bussen | ­TU­bussen | CO2 gram (gr­co2 ­) |
| Totale Uitstoot verkeer | TU­verkeer | CO2 gram (gr­co2 ­) |

Om de uitstoot door bussen en het verkeer te berekenen, moet er eerst per individuele bus(TU­bussen­) en voor het verkeer(TU­verkeer) een formule worden gemaakt om de emissies uit te rekenen. De som hiervan is de totale uitstoot.

**TU­bussen**

De totale uitstoot van de bezorgbussen(TU­bussen) kan verklaart worden door de volgende variabelen:

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **Variabele** | **Symbol** | **Eenheid** |
| Totale uitstoot bussen stilstaan | STILbus | CO2 gram per minuut(gr­co2 /min) |
| Vertraging bussen | VERTR­bus | Minuten(min) |
| Gemiddelde uitstoot bussen stilstaan | ­GUSTIL­bus | CO2 gram per gereden kilometer(gr­co2 ­/km) |
| Standaard Aflevertijd bussen(parkeren, pakketjes pakken, etc.) | AT | Seconden(s) |
| Aantal pakketjes per bezorging *k* | PPB­k | Aantal pakketjes(#) |
| Tijd per pakketje | ­TPP | Seconde per pakketje(s/pakketje) |
| Lengte straat(=oppervlakte straat/2) | LS | Meter(m) |

De totale uitstoot van bussen is een som van de uitstoot per bus tijdens het rijden en tijdens het stilstaan tijdens de vertragingen van de bezorgbussen:

De emissies die vrijkomen bij stilstaande bussen kan met de volgende formule worden berekend:

De uitstoot van een stilstaande bus wordt bepaald door de hoeveelheid tijd die stilstaat, ofwel de vertraging van de bus. De vertragingen bestaat het aantal stops in de straat. Dit is de lengte van de straat, gedeeld door 100 meter, aangezien de postbezorger niet meer dan 50 meter aan beide zijde van zijn bus zal gaan lopen. Hierbij komt een constante parkeertijd/stilstaan/wegrijd tijd en een aflevertijd er per pakketje:

Als het aantal stops meer is dan het aantal pakketjes, zal de bus niet op een extra punt stoppen, dan is het aantal stops gelijk aan het aantal pakketjes. Dan is de formule als volgt;

Als het aantal stops minder is dan het aantal pakketjes, zal er per stop meerdere pakketjes bezorgd worden. Dan zal de formule er als volgt uitzien:

Deze functies kunnen in Excel worden geformuleerd worden met een IF-statement.

**Rijden**

Voor het berekenen van de uitstoot door het rijden van de bussen, kan de rijtijd door de straat gebruikt worden die de bus zal doorrijden. Hiervoor worden de volgende variabelen gebruikt:

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **Variabele** | **Symbol** | **Eenheid** |
| Totale uitstoot door rijden bussen | RIJD­bus | CO2 gram(gr­co2­) |
| Gemiddelde snelheid | V­gem | Kilometer per uur(km/u) |
| Lengte straat | ­Mstraat | Meter(m) |
| Gemiddelde uitstoot bussen rijden | ­GUR­bus | CO2 gram per gereden kilometer(gr­co2 ­/km) |

Die rijtijd kan bepaald worden door de gemiddelde snelheid te nemen die de bus rijdt en de lengte van de straat. Dit kan vermenigvuldigd worden met de gemiddelde uitstoot per kilometer van de bus:

### Verkeer Frequentie en Emissies

##### Verkeersfrequentie

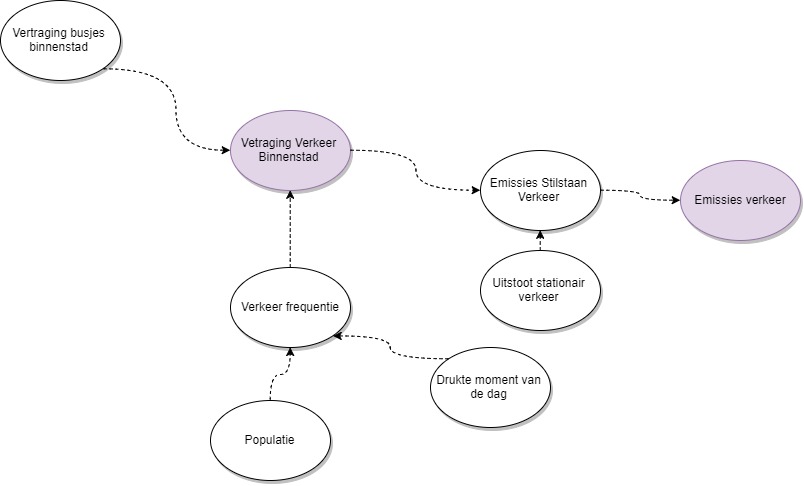
Met behulp van de gegevens van het CBS[30] kan de gemiddelde verkeersdrukte van Zuid-Holland worden gebruikt om het verkeer in de binnenstad van Delft te simuleren. In combinatie met bovenstaande Poisson-verdeling kan dan een aankomstintensiteit van het verkeer worden gesimuleerd.

Hierin zijn de volgende filters gebruikt:

|  |  |
| --- | --- |
| **Variabele** | **Gekozen Filter(s)** |
| Populatie | Totaal |
| Vervoerswijzen | Auto(bestuurder) |
| Regio’s | Zuid-Holland |
| Kenmerken dagen | * Maandag * Dinsdag * Woensdag * Donderdag * Vrijdag |
| Kenmerken Vertrektijdstip(in uur) | * Nacht(0-7) * Ochtendspits(7-9) * Ochtend(9-12) * Middag(12-16) * Avondspits(16-18) * Avond(18-24) |

Hieruit komen het aantal verplaatsingen, de gereden afstand en het aantal minuten van de reis. Met behulp van deze gegevens kan per dagdeel de λ worden bepaald in de Poisson verdeling.

De totale uitstoot door het verkeer, TUverkeer, lijkt op de totale uitstoot door bussen, alleen de uitstoot door het rijden van de auto’s niet worden meegenomen in dit onderzoek. De introductie van drones o.i.d. zou namelijk geen effecten hebben op de uitstoot van het rijden.

De totale uitstoot van het verkeer kan in het volgende diagram worden gevonden:

De totale emissies van het verkeer kan met behulp van de volgende variabelen berekend worden:

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **Variabele** | **Symbol** | **Eenheid** |
| Totale uitstoot verkeer stilstaan | STILverkeer | CO2 gram per minuut(gr­co2 /minuut) |
| Vertraging verkeer | VERTR­verkeer | Minuten(min) |
| Gemiddelde uitstoot verkeer stilstaan | ­GUSTILverkeer | CO2 gram per gereden kilometer(gr­co2 ­/km) |

Deze variabelen kunnen op de volgende manier gebruikt worden, aangezien de totale uitstoot alleen wordt bepaald door het stilstaande verkeer:

De uitstoot van stilstaand verkeer wordt bepaald door de hoeveelheid tijd het stilstaat, ofwel de vertraging van het verkeer. De vertragingen wordt bepaald door de tijd die de bussen nemen om pakketjes te bezorgen. Hoe langer de busjes vertraagd zijn, hoe langer het verkeer moet wachten en hoe langer de file wordt die ontstaat.

*­*Dit is dus een bepaalde vertraging bij een bus­i­.

De emissies die vrijkomen bij stilstaande bussen kan met de volgende formule worden berekend:

**Totale Uitstoot Bussen**

In HOOFDSTUK X is een formule opgesteld die de vertraging van een bus kan berekenen. Met behulp van deze formule kan in Excel voor elke werkdag van het jaar(maandag t/m vrijdag; 260 dagen per jaar) de vertragingen van de bussen in een jaar worden berekend. Met deze gegevens kan de gemiddelde uitstoot worden gebruikt om de totale uitstoot in twee straten in Delft te berekenen. Dit kan met de volgende variabelen berekend worden:

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **Variabele** | **Symbool** | **Eenheid** |
| Totale uitstoot bussen in een jaar | TUBUS­jaar |  |
| Gemiddelde uitstoot bussen rijden | ­GUR­bus | CO2 gram per gereden kilometer(gr­co2 ­/km) |
| Lengte straat | ­Mstraat | Meter(m) |
| Gemiddelde uitstoot bussen stilstaan | ­GUSTIL­bus | CO2 gram per minuut(gr­co2 ­/min) |
| Vertraging bussen | VERTR­bus | Minuten(min) |
| Aantal keren | AKbus | Aantal keer per dag(#/dag) |

Hiermee kan in de volgende formule de totale uitstoot in een jaar worden berekend in Delft:

De totale uitstoot per jaar TUBUSjaar, veroorzaakt door bussen, kan dus berekend worden door de som van de uitstoot van alle bussen(rijdend en stilstaand) te nemen. Met deze berekening heb je een uitgangspunt voor de experimenten, door het startpunt op 2016 te zetten.

**Totale Uitstoot Verkeer**

De totale uitstoot van het verkeer kan met de volgende variabele berekend worden:

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **Variabele** | **Symbool** | **Eenheid** |
| Totale uitstoot verkeer in een jaar | TUVERKEER­jaar | Gram CO2(gr­co2­) |
| Gemiddelde uitstoot bussen stilstaan | ­ GUSTIL­verkeer | CO2 gram per minuut(gr­co2 /min) |
| Vertraging bussen | VERTR­bus | Minuten(min) |
| Aankomst intensiteit auto’s | AI­auto | Auto’s per seconde(#/s) |
| Gemiddelde Wachttijd auto’s | GT­auto | Seconden(s) |
|  |  |  |

Om de uitstoot van het verkeer te berekenen, wordt de vertraging per dag van de bussen gebruikt. Deze vertraging wordt in 4 dagdelen opgesplitst. Dit wordt gedaan zodat per bezorging het aantal files kan worden berekend. Met deze files kan een gemiddelde wachttijd van het verkeer kunnen worden berekend. Met de gemiddelde wachttijd en de gemiddelde uitstoot per tijdseenheid kan de totale uitstoot van het verkeer worden berekend:

De gemiddelde wachttijd van een auto GT­auto­ kan je berekenen door de totale wachttijd van alle auto’s bij elkaar op te tellen en te delen door het aantal auto’s:

Geluidsoverlast

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **Variabele** | **Symbol** | **Eenheid** |
| Frequentie bussen | F­­r­bussen | Bussen per uur(bussen/uur) |
| Frequentie verkeer | Fr­verkeer | Auto’s per uur(auto’s/uur) |
| Drukte moment van de dag(Dagdeel) | Dagdeel | Nacht/Ochtend/Voormiddag/  Namiddag/Avond/ |

# Drones

Om het gebruik van drones te onderzoeken, moeten er op veel kenmerken van drones worden gelet. Zo is er een bepaald gewicht dat de drones kunnen dragen, een bepaalde range die de drones hebben en een bepaalde oplaadsnelheid die meegenomen moet worden.

Met de gegevens van HOOFDSTUK X kan het gemiddelde gebruik van drones dynamisch worden berekend. Met de volgende formule kan geëxperimenteerd worden bij ontwikkelingen in de toekomst rond drones. Het energieverbruik van drones hangt van de volgende dingen af[2]:

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| **Variabele** | **Symbol** | **Uitleg** | **Eenheid** |
| Power Consumption Drone | P­c | De afhankelijke variabele | kiloWatt |
| Gewicht Pakket | G­­­p | Het gewicht van het pakketje zal een effect hebben op het verbruik; hoe zwaarder hoe meer energie het kost. Er kan geëxperimenteerd worden met lichtere en zwaardere pakketten. | Gram(g) |
| Gewicht Drone | G­d | Het gewicht van de drone(constructie, batterij, etc.) is relevant. Deze zal constant zijn. Hiermee kan wel eventueel worden geëxperimenteerd | Gram(g) |
| Energieverbruik elektronica | EV­elec­ | Het verbruik van de drone zal effect hebben op de energieconsumptie. Er kan hier geëxperimenteerd worden met efficiëntere drones uit de toekomst. | Energieverbruik(kW) |
| Omgevingsfactoren | OMG | De omgevingsfactoren spelen een rol bij het energieverbruik. Denk aan wind, temperatuur, etc.  R= 3  N= | Constante Omgevingsfactor(OV) |
| Snelheid | v | De snelheid kan gevarieerd worden naarmate drones beter worden, dit zal effect hebben op de omgevingsfactoren | Kilometer per uur(Km/uur) |

De functie voor de power consumption(in kW) Pc wordt dan:

Met behulp van deze formule kan het verbruik *V­drone* in kiloWatt uur worden berekend. Met behulp van de maximum range *MAX­range­* en de gemiddelde(in dit onderzoek constante) tegenwind *TW­g­*, kan dit bepaald worden.

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| **Variabele** | **Symbol** | **Uitleg** | **Eenheid** |
| Power Consumption Per Hour | P­c/h | De afhankelijke variabele | KiloWatt uur(kW\*u) |
| Maximum Range | MAX­range­ | Met behulp van de maximumrange kan de vliegduur worden bepaald, waarna het verbruik kan worden berekend. | Kilometer(km) |
| Tegenwind | TWg | Het gewicht van de drone(constructie, batterij, etc.) is relevant. Deze zal constant zijn. Hiermee kan wel eventueel worden geëxperimenteerd | Kilometer/uur(km/u) |

Hieruit komt de volgende formule:

Hiermee kan de gemiddelde kosten per kilometer worden uitgerekend. De prijs per kiloWatt uur in Nederland ligt rond de €0,22. Nu kunnen de kosten per kilometer met de volgende variabelen worden berekend:

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| **Variabele** | **Symbol** | **Uitleg** | **Eenheid** |
| Eurokosten per kilometer | EURO­km | De afhankelijke variabele | Euro per kilometer(€/km) |
| Elektriciteitkosten | ELEC | Met behulp van de maximumrange kan de vliegduur worden bepaald, waarna het verbruik kan worden berekend. | Euro per kiloWatt\*uur |
| Oplaad efficiëntie | OPL | Constante | Constante |
| Batterijkosten per kilometer | BK­km | Constante | €/km |

Met de volgende formule kan de gemiddelde kosten per kilometer worden berekend:

# Modeltoepassing en Uitkomsten

In HOOFDSTUK X(operationalisatie) zijn alle relevante formules opgesteld om de onderzoeksvragen van dit rapport te beantwoorden. Door het omzetten van deze formules is Excel, kan er geëxperimenteerd worden met verschillende variabelen. In dit hoofdstuk zullen de onderzoeksvragen, met behulp van het computationele Excel model, van dit rapport beantwoord worden.

## Toekomst zonder drones

* Vertragingen
* Emissies
* Elektrische busjes

## Toekomst met Drones