

Team 21

Wie viele Drohnen braucht Hermazon mindestens,
um in der Vorweihnachtszeit den Autolieferverkehr
in Stuttgart signifikant zu senken?

PlaNeT SimTech

23. April 2016

Inhaltsverzeichnis

1	Zusammenfassung	2
2	Einführung	2
3	Hauptteil	2
3.1	Annahmen	3
3.2	Pakete	3
3.3	“Basisstationen” und Bevölkerungsdichte	4
3.3.1	Lage der Basisstationen	4
3.3.2	Einwohnerdichte in den Auslieferungsgebieten	5
3.4	Drohnen und deren Auslieferungszeit	6
3.5	Diskussion	8
4	Schlussfolgerung	9
5	Abbildungsverzeichnis	10

1 Zusammenfassung

Aufgrund der hohen Feinstaub- und Stickstoffoxidwerten in Stuttgart muss über Alternativen zum Verbrennungsmotor nachgedacht werden. Zudem muss der Autolieferverkehr entlastet werden, weshalb immer wieder Drohnen zur Lieferung von Paketen ins Gespräch kommen. Da diese elektrisch angetrieben werden verursachen sie keine Schadstoffe und entlasten nebenbei die Verkehrsadern in Stuttgart.

Um auf ein Ergebnis zu kommen, wie viele Drohnen für Stuttgart in der Vorweihnachtszeit benötigt werden, wurde eine Antwort speziell auf folgende Fragen/Probleme gefunden:

- Anzahl der Pakete unter 2kg pro Person in der Vorweihnachtszeit (neben der “Grundlast”)
- Anzahl und Ort der “Basisstationen” und die Bevölkerungsdichte des Auslieferungsbereiches
- Beschaffenheit der Drohne (Geschwindigkeit, mögliche Flugzeit am Tag, etc.) und Auslieferungszeit der Drohne in Abhängigkeit des Abstandes des Empfangsortes von der “Basisstation”

Diese Antworten wurden miteinander in Relation gesetzt.

Wir kommen somit auf das Ergebnis, dass die Firma “Hermazon” **532 Drohnen** benötigt. Sie besitzt dabei die Alleinherrschaft in Stuttgart und alle Pakete unter 2kg müssen mit einer Drohne, also über Hermazon ausgeliefert werden.

2 Einführung

Seitdem bekannt ist, dass die laut EU-Richtlinie festgelegten Feinstaub- und Stickstoffdioxidgrenzwerte in Stuttgart regelmäßig überschritten werden¹, werden fieberhaft Maßnahmen gesucht, um die Feinstaubentstehung speziell durch den Kraftfahrzeugverkehr zu senken. Der bisherige Aufruf, aufgrund eines “Feinstaubalarms” freiwillig auf die öffentlichen Verkehrsmittel umzusteigen, führte noch nicht zum gewünschten Erfolg. Dies liegt unter anderem auch daran, dass der Autolieferverkehr einen großen Teil vom gesamten Kraftfahrzeugverkehr in Stuttgart ausmacht². Doch wie viele Drohnen benötigt die Firma “Hermazon”, um in der Vorweihnachtszeit den Autolieferverkehr in Stuttgart signifikant zu senken?

Im Folgenden soll auf diese Frage eingegangen werden und eine Antwort gefunden werden. Es wurde festgelegt: Wenn alle Pakete unter 2kg mit den Drohnen und nicht mit dem Autolieferverkehr verteilt werden, es zu einer signifikanten Senkung des Autolieferverkehrs kommt.

3 Hauptteil

Im folgenden Kapitel wird nun der genaue Weg der Modellierung beschrieben, mithilfe dessen wir auf das Ergebnis gekommen sind.

¹vgl. <http://www.stuttgart.de/feinstaubalarm>, zuletzt abgerufen am 23. April 2016

²vgl. https://www.stuttgart.ihk24.de/blob/sihk24/presse/Publicationen/Branchen/669346/3faea0610f6fb56755585a8b935f8f52/Innerstaedtischer_Wirtschaftsverkehr_INTERNET-data.pdf, zuletzt abgerufen am 23. April 2016

3.1 Annahmen

Um ein seriöses Ergebnis zu erhalten, wurden folgenden allgemeine Annahmen getroffen:

1. **Mittlung** Alle ermittelten Werte wurden gemittelt, vor allem die Anzahl der Pakete pro Einwohner.
2. **Drohnen** Aus der Aufgabenstellung wurde entnommen, dass die Drohnen nur 1 Paket mit einer maximalen Last von $2kg$ ausliefern kann. So hat die Drohne eine Reichweite von $20km$.

Die Energie erhält die Drohne über einen Akkumulator. Dieser wird beim Wechsel bzw. der Befestigung eines Paketes getauscht. Dieser Tauschvorgang ist kürzer wie die Befestigung des neuen Paketes, weshalb auf eine mögliche Ladedauer des Akkumulators bzw. eine Akku-Wechsel-Zeit abgesehen werden kann.

Aus Sicherheitsgründen wurde festgelegt, dass die Drohnen nur bei Tageslicht und gutem Wetter fliegen. Genaueres in Kapitel ??.

3. **Reservedrohnen** Wenn Drohnen ausfallen, werden diese mit Reservedrohnen ersetzt, bis sie wieder einsatzfähig sind. Da die Technik bei Drohnen noch nicht ganz ausgereift ist, wurde festgelegt, in jeder "Basisstation" zusätzlich ca. 5% der Anzahl der Drohnen an Reservedrohnen zu besitzen.

Des Weiteren werde bei möglichen Peaks, wie sie beispielsweise am 20. Dezember vorkommen, bei denen die zu ausliefernden Pakete die Auslieferungskapazität überschreiben, die Reservedrohnen eingesetzt, damit es zu keinen Lieferengpässen kommt.

4. **Vorweihnachtszeit** Die Definition der Vorweihnachtszeit gestaltet sich als Schwierig, besonders Frauen kaufen Weihnachtsgeschenke schon im Oktober³. Die Vorweihnachtszeit wurde von uns jedoch mit der Adventszeit gleichgesetzt, welche wir der Einfachheit halber mit dem 1. Dezember als Beginn definiert haben. Hochbetrieb im Versandgeschäft sind die zwei Wochen vor Weihnachten. Die Auslieferungskapazität der Drohnen orientiert sich am Tagesdurchschnitt dieser zwei Wochen.
5. **"Basisstationen"** Um in der ohnehin schon dicht bebauten Stadt Stuttgart nicht weitere Häuser zu bauen, von denen aus die Drohnen "aus schwirren", wird vorhandene Infrastruktur genutzt. Näheres hierzu in Kapitel 3.3.

Diese und noch weitere, kleinere Annahmen werden im jeweiligen Kapitel nochmals aufgegriffen und detailliert beschrieben.

3.2 Pakete

Laut Aufgabenstellung kann die Drohne maximal $2kg$ tragen. Um die Frage nach der Anzahl der benötigten Drohnen zu beantworten stellen sich zwei wesentliche Fragen.

³vgl. <http://www.handelsdaten.de/einkaufsverhalten/kaufzeitpunkt-von-weihnachtsgeschenken-deutsch> zuletzt abgerufen am 23. April 2016

1. Wie viele Pakete werden im Stadtgebiet ausgeliefert?
2. Wie viele davon wiegen unter 2kg ?

Im Bundesgebiet leben ca. $81,2\text{ Mio.}^4$ Menschen. Diese bestellen rund $2,78\text{ Mrd.}^5$ Pakete im Jahr. Dies entspricht $34,24$ Pakete pro Jahr und Bundesbürger. Die Stadt Stuttgart hat 573054 Einwohner.⁶ Daraus kann man schlussfolgern, dass in Stuttgart im Schnitt 53752 Pakete/Tag ausgeliefert werden.

In der Vorweihnachtszeit steigt die Zahl der versandten Pakete um mehr als das doppelte.⁷ Daher kann man annehmen, dass der Durchschnittswert von 53752 Paketen pro Tag in der Vorweihnachtszeit annähernd verdoppelt werden kann. Somit kommt man auf **107503 Pakete pro Tag** in der Vorweihnachtszeit.

86% ⁸ aller Pakete die Amazon ausliefert wiegen unter $2,25\text{kg}$. Diese Zahl gilt für die USA, man kann aber annehmen, dass dies annäherungsweise auch für die Bundesrepublik und somit auch für Stuttgart gilt. Da jedoch nicht alle Pakete bei Amazon bestellt werden und die Gewichtsgrenze hier $2,25\text{kg}$ beträgt, muss der Wert für unsere Annahmen nach unten korrigiert werden. Im weiteren Verlauf wird davon ausgegangen, dass 75% aller Pakete unter 2kg wiegen und somit von der Drohne ausgeliefert werden können. Dies bedeutet, dass im Stadtgebiet Stuttgart in der Vorweihnachtszeit 75% von 107503 Paketen gleich **80627 Pakete pro Tag** von Drohnen ausgeliefert werden können.

3.3 “Basisstationen” und Bevölkerungsdichte

3.3.1 Lage der Basisstationen

Die “Basisstationen” der Drohnen sollten schon grundlegende Voraussetzungen der Paketlogistik erfüllen, deshalb werden vorhandene Filialen bzw. Paketshops der Deutschen Post (DHL) genutzt, da diese überall in Stuttgart zu finden sind.

Noch besser wären eigentlich die großen Brief- und Paketzentren, diese liegen jedoch zu weit von Stuttgart entfernt, die Drohnen wären unnötigerweise lange in der Luft.

Standorte der Deutschen Post⁹ in Stuttgart, die als Drohnenstandpunkt genutzt werden:

⁴vgl. <http://de.statista.com/statistik/daten/studie/2861/umfrage/entwicklung-der-gesamtbevoelkerung-deutschlands/>, zuletzt abgerufen am 23. April 2016

⁵vgl. <http://de.statista.com/statistik/daten/studie/154829/umfrage/sendungsmenge-von-paket-und-kurierdiensten-in-deutschland/>, zuletzt abgerufen am 23. April 2016

⁶vgl. http://service.stuttgart.de/lhs-services/komunis/documents/6969_1_Faltblatt_Stuttgarter_Einwohnerdaten_Ausgabe_2012.PDF, zuletzt abgerufen am 23. April 2016

⁷vgl. http://www.focus.de/finanzen/deutschland-kauft-online-paketflut-bei-zustellern-allein-dhl-id_4336223.html, zuletzt abgerufen am 23. April 2016

⁸vgl. <http://cloudtweaks.com/2014/02/5-facts-amazons-delivery-drones/>, zuletzt abgerufen am 23. April 2016

⁹vgl. <http://standorte.deutschepost.de/Standortsuche>, zuletzt abgerufen am 23. April 2016

ID	r[km]	Adresse	Stadtbezirk
1	3,5	Hauptstätterstraße 35	Mitte
2	5	Robert-Leicht-Straße 29-31	Vaihingen
3	5	Birkheckenstraße 1	Birkach
4	5	Augsburgerstraße 460	Untertürkheim
5	5	Schozacherstraße 22	Rot
6	5	Bergheimerstraße 14	Weilimdorf

Diese Standorte wurden wegen ihrer verkehrstechnisch guten Lage und der optimalen Abdeckung des Stadtgebiets von Stuttgart ausgewählt.

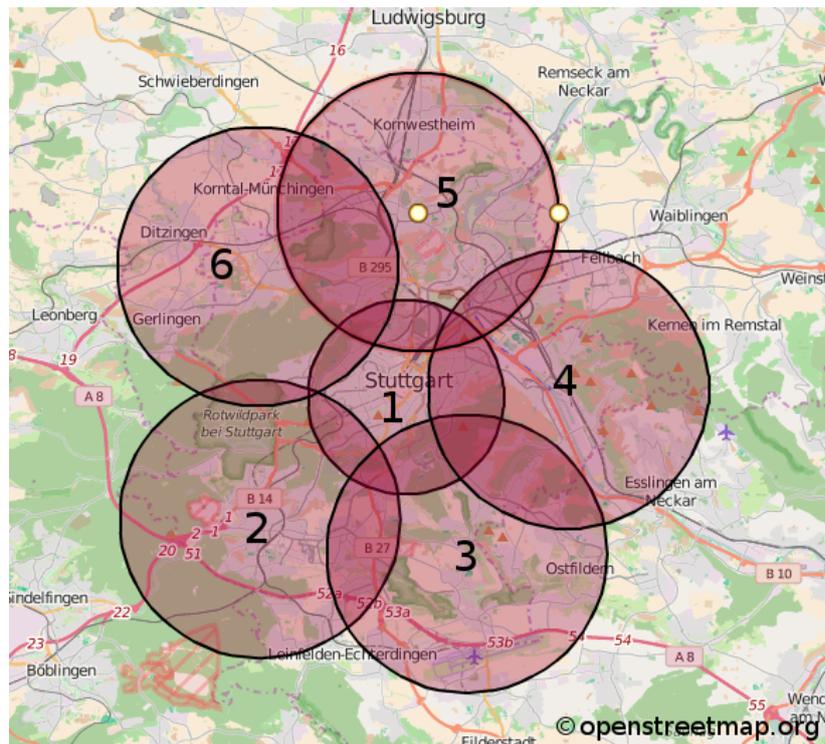


Abbildung 1: Auslieferungsgebiete der Drohnen

3.3.2 Einwohnerdichte in den Auslieferungsgebieten

Um die durchschnittliche Auslieferungsdauer für ein Paket, sprich den Hin- und Rückflug plus das Beladen der Drohne, berechnen zu können, benötigt man die Einwohnerdichte des Auslieferungsgebietes.

Dafür benötigt man die Anzahl der Einwohner und die Fläche pro Auslieferungsgebiet:

$$A_{Kreis} = r^2 * \pi \quad (1)$$

$$A_{ID1} = (3,5km)^2 * \pi \approx 38,5km^2 \quad (2)$$

$$A_{ID2-6} = (5km)^2 * \pi \approx 78,5km^2 \quad (3)$$

Die Auslieferungsgebiete ID2-6 bedecken zum Teil Flächen, die nicht Teil der Stadt Stuttgart sind. Deshalb wurde der Flächeninhalt der Auslieferungsgebiete (kreisförmig) auf die Stuttgarter Gemarkung beschränkt. Das wurde relativ genau anhand von Karten (Openstreetmap) abgeschätzt.

Diese "bereinigten" Flächen sind in der nachfolgenden Tabelle als A_{St} zu finden:

ID	K [%]	$A_K[km^2]$	$A_{St}[km^2]$
1	100	38,5	38,5
2	50	78,5	39,3
3	65	78,5	51,0
4	50	78,5	39,3
5	75	78,5	58,9
6	50	78,5	39,3

K: Anteil der Stuttgarter Gemarkung im kreisförmigen Auslieferungsgebiet

A_K : Gesamtfläche des Auslieferungsgebiet

A_{St} : Gesamtfläche des Auslieferungsgebiets in Stuttgart

Um die Einwohnerzahlen in den Auslieferungsgebieten wurden die Einwohnerzahlen der Stadtbezirke, die in dem jeweiligen Gebiet liegen, summiert. Wenn Stadtbezirke nur zum Teil in dem Gebiet liegen, wurden sie anteilig hinzu summiert (z.B. 0,5·Degerloch). Daraus lässt sich die Dichte ρ errechnen.

Einwohnerzahlen¹⁰ und Einwohnerdichte pro Auslieferungsgebiet:

ID	Stadtbezirke	Einwohner	A_{St}	ρ
1	Mitte, Süd, Ost, Nord, Degerloch	150401	38,5	3907
2	Vaihingen, Möhringen, 0,5*Degerloch	81112	39,3	2064
3	Plieningen, Birkach, Möhringen, Degerloch, Sillenbuch	87821	51,0	1722
4	Wangen, Untertürkheim, Hedelfingen, Ost, Obertürkheim, 0,75*Bad Cannstatt	137334	39,3	3495
5	Bad Cannstatt, Nord, Münster, Feuerbach, Zuffenhausen, Mühlhausen, Stammheim	197561	58,9	3354
6	Weilimdorf, Botnang, Feuerbach, 0,5*Zuffenhausen	88627	39,3	2255

ρ : Einwohnerdichte im Auslieferungsgebiet (nur Gemarkung Stuttgart)

3.4 Drohnen und deren Auslieferungszeit

Um die durchschnittliche Dauer eines Drohnenflugs zu berechnen, müssen mehrere Faktoren berücksichtigt werden:

¹⁰vgl. http://service.stuttgart.de/lhs-services/komunis/documents/6969_1_Faltblatt_Stuttgarter_Einwohnerdaten_Ausgabe_2012.PDF, zuletzt abgerufen 23. April 2016

1. Die Geschwindigkeit der Drohne
2. Die Kreisform des Auslieferungsgebiets
3. Die Einwohnerdichte im jeweiligen Auslieferungsgebiet
4. Der bewohnte Stuttgarter Anteil am Gebiet (keine Wälder etc.)

Die maximale Geschwindigkeit der Drohne wird aus Beispielwerten ermittelt und auf $70 \frac{\text{km}}{\text{h}}$ ¹¹ festgelegt. Da die Drohne allerdings auch starten und landen muss, wird auf ein Mittel von $50 \frac{\text{km}}{\text{h}}$ abgerundet. Wie lange eine Drohne in einem Gebiet durchschnittlich unterwegs ist, hängt davon ab, wie weit sie im Schnitt fliegen muss. Dadurch, dass die Drohne eine maximale Reichweite hat, entsteht eine kreisförmige Auslieferungszone. Für die Berechnung der durchschnittlichen Zeit die eine Drohne für das Ausliefern eines Pakets braucht, ist es deshalb wichtig, dass bei einem Kreis die Anzahl der Häuser nach außen hin nicht linear größer wird. Deshalb werden "Beispiellinien" eingezeichnet, aus denen ein Mittelwert berechnet wird. Die Anzahl der Einwohner wird über die Einwohnerdichte (siehe Kapitel 3.3) mal dem Umfang berechnet. Des Weiteren werden die Anzahl der Einwohner und die dazugehörige Zeit multipliziert, anschließend werden die einzelnen Linien addiert. Das Ergebnis teilt man zuerst durch die Anzahl der Linien und anschließend durch die durchschnittliche Bevölkerungsanzahl (\bar{x}):

$$2\pi \cdot r_1 \cdot \rho = x_1 \quad (4)$$

x_1 ist hierbei die Anzahl der Häuser (Personen) auf dem Beispierring, ρ die Einwohnerdichte, r_1 der Radius des Beispierrings

$$t_1 = \frac{r_1}{v} \quad (5)$$

t_1 ist die Zeit die die Drohne zu einem Haus auf dem Beispierring benötigt, v die Geschwindigkeit der Drohne

$$\bar{t} = \frac{(x_1 \cdot t_1 + x_2 \cdot t_2 + x_3 \cdot t_3 + \dots + x_n \cdot t_n)}{n \cdot \bar{x}} \quad (6)$$

Für die Anzahl benötigter Drohnen insgesamt spielen noch folgende Faktoren eine Rolle:

1. Die maximale Flugzeit einer Drohne an einem Tag
2. Die zu erreichende Menge an ausgelieferten Paketen
3. Die Anzahl an errichteten Basisstationen

Da Drohnen nur tagsüber fliegen können, muss die Sonnenzeit im Dezember berücksichtigt werden. Diese beträgt $8,5 \frac{\text{Std}}{\text{Tag}}$ ¹². Teilt man nun $\frac{8,5 \text{Std.}}{t}$, so ergibt sich die Anzahl der Pakete pro Drohne und Tag. Dies wiederholt man für jede "Basisstation". Unter Berücksichtigung der unterschiedlichen Bevölkerungsanzahl in den Bereichen um die "Basisstation", benötigt man eine unterschiedliche Anzahl an Drohnen in den verschiedenen "Auslieferungsgebieten".

¹¹vgl. <http://www.golem.de/news/prime-air-amazons-lieferdrohnen-sollen-2-5-kg-fracht-transportieren-160423.html>, zuletzt abgerufen am 23. April 2016

¹²http://www.weltzeituhr.com/cgi-local/sonnenzeit_formular.cgi, zuletzt aufgerufen am 23. April 2016

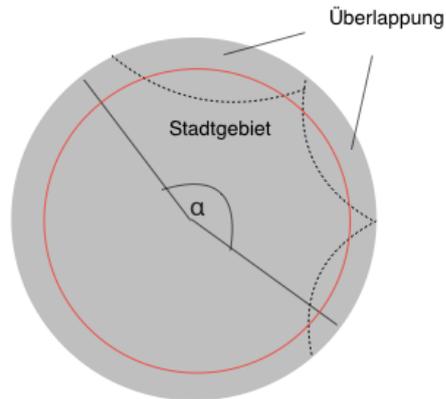


Abbildung 2: Berechnung Stadtgebiet mit Einwohner

Da nicht alle Auslieferungsgebiete ein tatsächlicher Kreis sind werden wie in Abbildung 2 ersichtlich Rundungen angenommen und über den Winkel Anteile am Gesamtkreis erschlossen. Durch die verkleinerte Fläche kann man dann erneut so vorgehen wie bereits beschrieben.

$$A_{1-3} = (0,761n \cdot 218,6) + (0,41n \cdot 139,2) + (0,45n \cdot 151,5) \quad (7)$$

$$A_{4-6} = (0,695n \cdot 157,7) + (n \cdot 141,7) + (0,45n \cdot 134,1) \quad (8)$$

$$A_{1-3} + A_{4-6} = 80627 \frac{P}{T} \quad (9)$$

n beschreibt die Anzahl der Drohnen im größten Gebiet, da dort die meisten Drohnen benötigt werden. Für die anderen Gebiete wurde anhand ihrer Größenverhältnisse der Vorfaktor angepasst. Die Zahlen dahinter sind die Anzahl der Pakete pro Drohne pro Tag und Bezirk.

Damit ergeben sich 134 Drohnen für Bereich fünf (der größte Bereich). Analog zur Beispielrechnung ergeben sich für die anderen Bereiche folgende Werte:

ID	Anzahl der Drohnen
1	102
2	55
3	60
4	94
5	134
6	61
Gesamt	506

Wie oben ersichtlich werden also für das Stadtgebiet Stuttgart insgesamt 506 Drohnen benötigt. Plus die 5% Reservedrohnen ergibt sich eine Gesamtzahl von 532 benötigten Drohnen.

3.5 Diskussion

Bei der Verwendung der Drohnen ist die Wirtschaftlichkeit dahingestellt. Es ist fraglich, ob sich die Anschaffung der Drohnen und der Ausbau der Paketstationen zu "Basisstationen" für Drohnen beim aktuellen technologischen Stand unter wirtschaftlichen

Gesichtspunkten rentiert. Des Weiteren muss hierfür speziell für die Fernsteuerung der Drohne, dass diese von der “Basisstation” zum Zielort fliegt, sowie die Befestigung und Ablieferung des Paketes an der Drohne noch einiges an Forschungs- und Entwicklungsarbeit geleistet werden.

Neben diesem Problem es rechtliche und versicherungstechnische Fragen (wer zahlt bei einem Unfall, der von der Drohne verschuldet ist?). Denn aufgrund des Fluges der Drohne über Straßen, Gärten und Häuser sind bei einem Absturz Menschenleben in Gefahr.

4 Schlussfolgerung

Über die Mittlung der Pakete in Deutschland und über die Steigerung dieser in der Vorweihnachtszeit sind wir auf 80627 Pakete pro Tag in der Vorweihnachtszeit gekommen. Über die Bevölkerungsdichte der Auslieferungsgebiete und die Gesamtanzahl der auszuliefernden Pakete sind wir auf 532 benötigte Drohnen gekommen.

Die Ergebnisse kann man in Zukunft vor allem durch genauere Angaben verbessern. So sollte man für die Präzisierung des Ergebnisses unter anderem genaue Paketdaten (Anzahl, Gewicht, Zieladresse) in Stuttgart besitzen. Über diese genauen Werte kann man dann sehr gut über Simulationen auf eine optimierte Anordnung der “Basisstationen” schließen und daraus auf eine genaue Anzahl an Drohnen. Mit der Geschwindigkeit der Drohne und dem

Zudem sollte man die Weiterentwicklung der Drohnen im Auge behalten: Es ist wahrscheinlich, dass innerhalb der nächsten Jahre Drohnen leistungsfähiger, besser zu steuern und robuster werden, woraufhin man weniger Drohnen benötigt und diese zum einen häufiger und länger fliegen können.

5 Abbildungsverzeichnis

Abb. 1 : selbst erstellte Grafik

Abb. 2 : selbst erstellte Grafik

Alle Quellen wurden zuletzt am 23. April 2016 aufgerufen.