

PlaNeT SimTech

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

 md4-3000



 COMING
2016

 MADE IN
GERMANY

Inhaltsverzeichnis

1	Zusammenfassung.....	2
2	Einleitung.....	2
3	Vorgehen.....	2
4	Praktische Überlegungen	8
5	Anhang	Fehler! Textmarke nicht definiert.

1 Zusammenfassung

Indem wir von zwei Verteilungsstationen aus, die zentral in Stuttgart liegen, mit Drohnen jeweils einen zentralen Punkt in jedem Stadtteil anfliegen, kommen wir auf einen Wert von **793 Drohnen**, die benötigt werden, um den Autolieferverkehr zur Vorweihnachtszeit signifikant zu entlasten.

2 Einleitung

Nachdem 1920 im Reichspostgebiet das Päckchen eingeführt wurde¹, steigt der jährliche Bedarf dieser Form von Post stetig.² Vor allem in der Vorweihnachtszeit erhöht sich die Anzahl der Päckchen, die die Zustellerdienste täglich abfertigen müssen exorbitant. Dies führt zu einem verdichteten Autolieferverkehr, da die Anbieter die Päckchen hauptsächlich mit Autos zu den Empfängern liefern.

Angesichts der überhöhten Feinstaubwerte der Region Stuttgart und der allgemein zunehmenden Umweltbelastung durch Kraftfahrzeug, ist es in großem Interesse der Gesellschaft, für diese Art der Lieferung eine Alternative zu finden. Eine ernstzunehmende Möglichkeit stellt dabei die Verwendung von Drohnen dar.

Im folgenden Text soll ausgehend von der Frage, wie viele Drohnen die Firma „Hermazon“ mindestens benötigt, um in der Vorweihnachtszeit den Autolieferverkehr in Stuttgart signifikant zu senken, geklärt werden, ob ein Einsatz von Drohnen zur Paketlieferung sinnvoll ist.

3 Vorgehen

Ausgehend von der Fragestellung trafen wir als erstes einige Annahmen, um die Überlegungen zu vereinfachen. Diese sind:

- Die Vorweihnachtszeit beträgt die drei Wochen vor Weihnachten.

¹ <https://de.wikipedia.org/wiki/P%C3%A4ckchen>

² <http://de.statista.com/statistik/daten/studie/154829/umfrage/sendungsmenge-von-paket-und-kurierdiensten-in-deutschland/>

- Eine signifikante Änderung des Autolieferverkehrs bedeutet für uns, dass alle Pakete, die weniger als zwei Kilogramm wiegen von Drohnen übernommen werden.
- Eine Drohne kann nur ein Paket tragen. Über einen Scanner erhält sie von diesem direkt ihre Fluginformation und muss nicht ferngesteuert werden.
- Die Reichweite von 20km bedeutet, dass sie nach dieser Strecke neu aufgeladen werden muss und dann direkt neu starten kann.

Anschließend erstellten wir eine Liste von Fragen, die es im Zusammenhang mit der Aufgabe zu klären galt. Diese waren:

- Wieviele Pakete werden um die Vorweihnachtszeit in Stuttgart geliefert und welche davon können von der Drohne übernommen werden?
- Wo müssen die Drohnen überall hin fliegen? Welche/r Standort/e als Ausgangspunkt des Drohnenflugs (=Verteilstation) ergeben sich daraus?
- Wie schnell fliegen die Drohnen, das heißt wieviele Pakete kann eine einzelne Drohne am Tag abfertigen?

Die erste Frage setzt voraus, den Prozentsatz derjenigen Pakete zu kennen, die weniger als zwei Kilogramm wiegen, da nur diese Pakete von der vorgegebenen Drohnen transportiert werden können. Da diese Information nicht direkt zu finden war, ermittelten wir diese Anzahl über verschiedene Recherchen und Annahmen. Zunächst untersuchten wir, was die Deutschen am liebsten zu Weihnachten verschenken und was davon per Post in einem unter zwei Kilogramm schweren Paket verschickt werden kann, beziehungsweise welcher Anteil der aufgeführten Geschenke unter zwei Kilogramm wiegt. Die letzteren beiden Angaben sind Schätzungen. Dabei kamen wir auf folgende Tabelle:

Produkt	Umfrageergebnisse³ in %	Versand als Paket möglich	Davon als Paket unter 2kg verschickt in %
Bücher	52	✓	100
Geld/Gutscheine	51	x	0
Kleidung	45	✓	100
Lebensmittel	39	✓	100
Spielwaren	38	✓	50
CDs/DVDs	32	✓	100
Kosmetika	32	✓	100
Events	30	x	0
Unterhaltungselektronik	28	✓	50
Schmuck	24	✓	100
Computer Hard- und Software	16	✓	90
Sportartikel	16	✓	90
Einrichtungsgegenstände	13	✓	100
Gesundheitsprodukte	12	✓	100
Reisen	11	x	0

Wenn man nun die Prozentzahlen aller als Päckchen zu verschickenden Geschenke addiert kommt man auf den Wert 347%. Die Addition aller Prozentzahlen der Päckchen unter zwei Kilogramm führt zu dem Wert 309,5%. Um nun also den Anteil der Päckchen unter zwei Kilogramm Gewicht zu bestimmen führt man folgende Rechnung aus:

$$p = \frac{309,5}{347} = 0,89193 = 89,19\%$$

Für die Anzahl der verschickten Pakete in Stuttgart zur Vorweihnachtszeit fanden wir folgende Angaben:

- Bei der DHL, Hermes und UPS werden in Deutschland in der Vorweihnachtszeit pro Tag etwa doppelt so viele Pakete abgefertigt wie im restlichen Jahr.⁴

³ In der Umfrage wurde gefragt, was die Leute zu Weihnachten verschenken. Dabei gab es mehrere Antwortmöglichkeiten. Die Werte stammen von folgender Website :
<http://www.finanzen.net/nachricht/aktien/Weihnachts-Ranking-Die-beliebtesten-Weihnachtsgeschenke-der-Deutschen-4621569>

⁴ http://www.focus.de/finanzen/deutschland-kauft-online-paketflut-bei-zustellern-allein-dhl-liefert-8-millionen-pakete-taeglich_id_4336223.html

- Die Gesamtzahl der Sendungen im Jahr 2014 in Deutschland betrug 2,78 Mrd.⁵

Daraus ergibt sich für die Anzahl a der in Deutschland verschickten Pakete pro Woche bei normaler Belastung:

$$2,78 \text{ Mrd} = a * 49 + 2a * 3$$

Es wird von 52 Wochen im Jahr ausgegangen, wobei 49 Wochen lang für die Zustellerdienste die Normalbelastung a herrscht und in den drei Wochen der Vorweihnachtszeit die doppelte Belastung $2a$. Beide Werte werden der Vereinfachung halber als konstant angenommen.

Somit ergibt sich $a = 49\,090\,909$. Damit ist die Belastung in einer Weihnachtswochen

$2a = 98181818$ und für einen Weihnachtstag $\frac{2a}{7} = 14\,025\,974$ verschickte Pakete unter zwei Kilogramm in Deutschland.

Da der Anteil der Stuttgarter Bevölkerung b_1 am Anteil der Deutschen Bevölkerung b_2

$\frac{b_1}{b_2} = \frac{592\,028}{80\,620\,000} = 0,00734$ beträgt, ergibt sich für die Anzahl der verschickten Pakete unter zwei Kilogramm in Stuttgart an einem Tag der Vorweihnachtszeit $0,00734 * 14\,025\,974 = 102\,999$.

Um die zweite Frage zu beantworten, gingen wir davon aus, dass die Drohnen ganz Stuttgart beliefern. Dabei überlegten wir uns, dass es am sinnvollsten für die Berechnung ist, wenn es in jedem Stadtteil einen zentralen Punkt gibt, zu dem die Drohnen fliegen.

Aus dem Anteil der Bevölkerung des jeweiligen Stadtteils an der Gesamtbevölkerung Stuttgarts ergibt sich dann die jeweilige Anzahl der zu liefernden Pakete, wenn vereinfacht davon ausgegangen wird, dass jeder Bewohner jedes Stadtteils im Schnitt gleich viele Pakete erhält.

Als zentralen Punkt im jeweiligen Stadtteil wählten wir das Rathaus.

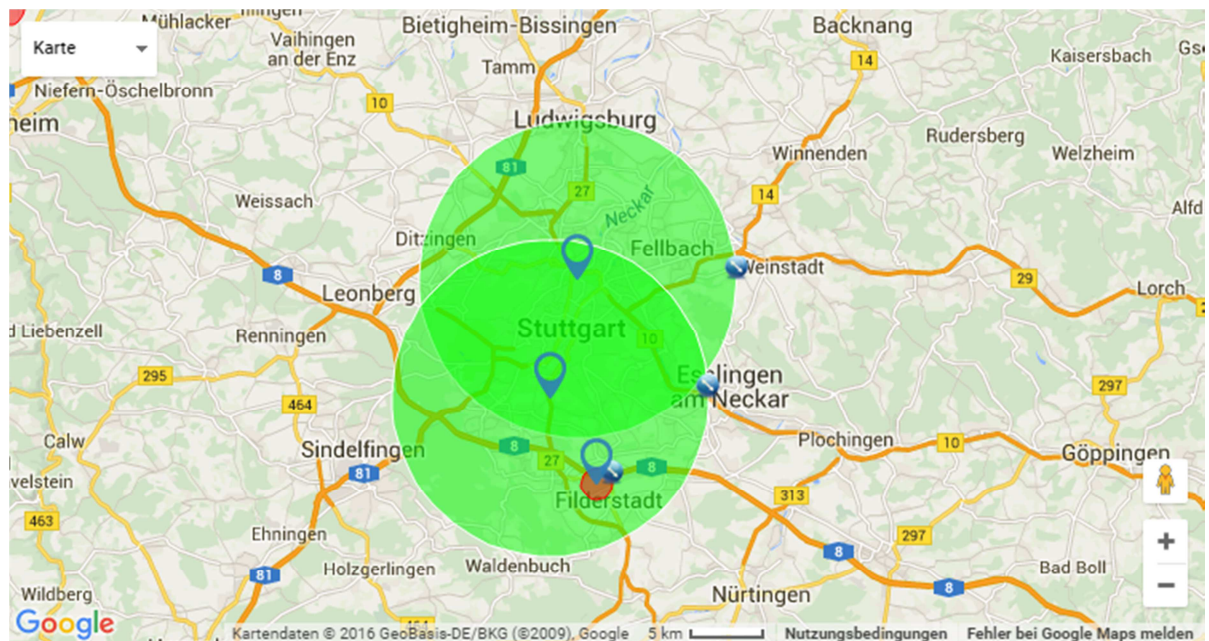
Nachdem wir alle Rathäuser auf einer Karte eingetragen wurde ersichtlich, dass es aufgrund der Größe Stuttgarts sinnvoll ist, zwei Standorte für Verteilungsstationen einzurichten. Wir

⁵ <http://de.statista.com/statistik/daten/studie/154829/umfrage/sendungsmenge-von-paket-und-kurierdiensten-in-deutschland/>

entschieden uns für eine am Nordbahnhof, erstes wegen der zentralen Lage und zweitens aufgrund der Anbindung an den Güterbahnhof. Für den zweiten Standort in der Tränkestraße 8, 70597 Stuttgart entschieden wir uns ebenfalls aufgrund der zentralen Lage und wegen der Anbindung an die Bundesstraße.

Wir entschieden uns, dass von der ersten Verteilungsstation die Stadtteile Bad Cannstatt, Botnang, Feuerbach, Hedelfingen, Mitte, Mühlhausen, Münster, S-Nord, Obertürkheim, S-Ost, Stammheim, Untertürkheim, Wangen, Weilimdorf, S-West und Zuffenhausen und der zweiten Station die Stadtteile Birkach, Degerloch, Möhringen, Plieningen, Sillenbuch, S-Süd und Vaihingen zuzuteilen.

Somit ergeben sich die zwei folgenden Einzugsgebiete:



Der kleine rote Kreis stellt dabei das Sperrgebiet um den Stuttgarter Flughafen herum dar, in dem keine Drohnen fliegen dürfen⁶. Das Gebiet schließt den 1,5 km großen Umkreis um den Flughafenzaun ein.

Um die dritte Frage zu klären galt es nun zu ermitteln, wie lange eine Drohne für die Zustellung eines Paketes in die jeweiligen Stadtteile benötigt. Da Drohnen nach aktuell geltendem Recht⁷ eine maximale Flughöhe von 30m nicht überschreiten dürfen, ist dies die vorgesehene Flughöhe.

⁶ <http://www.drohnen.de/5515/neue-aenderungen-im-luftrecht-flugrecht-fuer-drohnen-maximale-flughoehe/>

⁷ <http://www.drohnen.de/5515/neue-aenderungen-im-luftrecht-flugrecht-fuer-drohnen-maximale-flughoehe/>

Am Beispiel von Bad Cannstatt zeigen wir nun unsere Vorgehensweise.

Zunächst wurde die Entfernung und der Höhenunterschied zur näheren der beiden Verteilstationen ermittelt. In diesem Fall war es eine Entfernung von 1.870m und ein Höhenunterschied von 63m. Die Drohne steigt also zunächst auf ihre Flughöhe und beginnt erst dann mit dem eigentlichen Flug in den Stadtteil. Am Ziel angekommen müssen zur Landung die 30m wieder senkrecht nach unten geflogen werden.

Als Steigrate und Reisegeschwindigkeit wurden dabei die Werte von 10m/s beziehungsweise 16m/s einer Leistungsstärkeren Drohne angenommen⁸, wobei die Beschleunigungsphase vernachlässigt wurde.

Für die Gesamtflugzeit in beide Richtungen ergibt sich also folgender Wert für ein Paket:

$$t = 2 * \left[1870m * 16 \frac{m}{s} + (63m + 2 * 30m) * 10 \frac{m}{s} \right] = 258,4s$$

Zu der Gesamtflugzeit muss nun noch die Ladezeit des Lithiumionen-Akkumulators addiert werden. Das Laden der Akkus findet dabei immer während des Beladens mit neuen Paketen statt, sodass die Reichweite von 20km ausreicht. Aus einer ähnlichen Drohne geht eine Ladezeit von 20min bei einem 10.000mAh Akku hervor⁹. Da die von uns zum direkten Vergleich gewählte Drohne² mit 13.000mAh eine Reichweite von 50km erreicht, benötigt man pro geflogenem Meter 0,03Sekunden Ladezeit.

Für den Flug nach Bad Cannstatt und zurück wurde von der Drohne folgende Strecke zurückgelegt:

$$s = 2 * [1870m + 63m + 2 * 30m] = 3986m$$

Daraus ergibt sich nun eine Ladezeit des Akkus von $t = 3986m * 0,03 \frac{s}{m} = 119,6s$.

Die Lieferung eines Pakets mit aufladen des Akkus benötigt für Bad Cannstatt also 378s.

Somit kann eine Drohne am Tag rund 229 Pakete nach Bad Cannstatt liefern ($\frac{864000s}{378s}$).

Die bereits ermittelten 102 999 Pakete für Stuttgart verteilen sich entsprechend der Einwohner der Stadtteile, sodass auf Bad Cannstatt bei 68 001 Einwohnern von 592 028 in Gesamtstuttgart 11 831 Pakete entfallen.

Man benötigt also für den Stadtteil Bad Cannstatt folgende Anzahl an Drohnen:

$$n = \frac{11831}{229} = 51,8$$

⁸ <http://wiki.microdrones.com/index.php/md4-3000>

⁹ <http://www.drohnen.de/7512/tesla-drone-designstudie-verbindet-multikopter-mit-automobiler-technik/>

Diese Kalkulation wurde nun für alle 23 Stadtteile in Stuttgart durchgeführt. Die dazugehörige Tabelle befindet sich im Anhang.

Addiert man die benötigten Drohnen aller Stadtteile zusammen, ergeben sich rund 793 Drohnen, um den Großteil aller Pakete der Vorweihnachtszeit unter 2 Kilogramm zu verschicken.

4 Praktische Überlegungen

In unserer Simulation haben wir einige Sachen vereinfacht. Für die praktische Umsetzung ist zu überlegen, ob die Drohnen für jeden Stadtbezirk an einen zentralen Ort fliegen und danach die Pakete von Postträgern zu Fuß an die Kunden verteilt werden, was den Autolieferverkehr aber nicht belastet, oder ob die Drohnen direkt zu den Kunden fliegen. Jedoch haben wir beides in der Berechnung berücksichtigt. Wir haben zwar alles für einen zentralen Punkt berechnet, allerdings bezieht dies auch mit ein, dass, falls durchschnittlich überall hin gleich viele Pakete geliefert werden, statistisch gesehen im Schnitt der Weg zum zentralen Punkt gleich lang ist wie der Weg zu den anderen Orten des Stadtbezirkes zusammen. Auch muss man in der Umsetzung daran denken, dass die Drohnen das Paket beim abladen nur ablegen muss und deswegen dafür keine weitere Zeit benötigt. Auch muss man darauf achten, dass den Drohnen schon während der Ladezeit das Paket abflugbereit positioniert wird um den Zeitverlust zu minimieren. Es wäre optimal die Drohnen nach jedem Flug aufzuladen, da so die Zeit für das Beladen mit der Ladezeit zusammenfällt. Auch ist zu beachten, dass ein Wartungs- und Reparaturszyklus einzurichten ist und in diesem Zug auch für Ersatz zu sorgen ist, falls Drohnen ausfallen oder zerstört werden. Einige Sachen, auf die man in der Praxis achten muss haben wir allerdings verzichtet, da hierfür die Berechnungen für den gegebenen Rahmen viel zu kompliziert gewesen wären. Etwa muss noch logistisch geklärt werden, wie die Drohnen fliegen müssen um möglichst Zusammenstöße zu vermeiden. Auch muss noch beachtet werden, dass auf dem Weg der Drohne noch Hügel und sonstige Hindernisse liegen. Dies ist mit einem Entfernungssensor zum Boden dieses Problem zwar behoben ist, aber auch die Flugzeit verlängert wird. Auch sind wir davon ausgegangen, dass die Verteilung von Paketen pro Bürger in Deutschland gleich ist. Man muss jedoch annehmen, dass in Großstädten, wie Stuttgart eine ist, die Zahl der abzufertigenden Pakete höher als angenommen ist. Das Wetter spielt natürlich auch eine wichtige Rolle. Da die als Referenz dienende Drohne jedoch Temperaturen bis zu -10°C und 90% Luftfeuchtigkeit aushält und lediglich wegen aufkommendem Wind eine Verzögerung einzuberechnen ist und unsere Berechnung nur für schönes Wetter stimmt. Auch soziale Gegebenheiten müssen berücksichtigt werden. Etwa wird „Hermazon“ nicht die einzige Firma sein die Drohnen zum ausliefern anbietet. Deshalb müssen auch Absprachen mit den anderen Firmen getroffen werden. Da nicht alle Bürger mit Drohnen einverstanden wären, müssen neue Gesetze zur maximalen Flughöhe

gemacht werden, da bei größeren Höhen der Lärm verringert werden würde. Das Drohnen nicht überall herumfliegen sondern feste Routen haben und da es so einfacher wäre eine Empfangsbestätigung für Pakete zu erhalten ist es sinnvoller für die Stadtbezirke einen zentralen Punkt zu haben an den die Drohnen fliegen. Es gilt neben diesen Aspekten aus zu beachten, dass die Umstellung und die Anschaffung von Drohnen sehr teuer ist und wegen der Faktoren die Zahl der benötigten Drohnen höher ist.

Einwohner Stuttgart	Pakete gesamt	Einwohner gesamt	Pakete Stuttgart	Höhe Packstation1 in m	Höhe Packstation2 in m	Steigrate in m/s
592.028	14.025.974	80.620.000	102.999	268	445	10,0

Stadtteil	Einwohnerzahl	Pakete im Stadtteil	Entfernung Rathaus- Packstation in m	Höhe ü. NHN in m	Höhendifferenz zur Packstation in m	Flugdauer (Entfernung) in s	Flugdauer (Höhenunterschied) in s
Bad Cannstatt	68.005	11.831,3	1.870	205	63	116,875	12,300
Botnang	13.729	2.388,5	5.100	357	89	318,750	14,900
Feuerbach	28.046	4.879,3	2.400	292	24	150,000	8,400
Hedelfingen	9.428	1.640,2	6.990	231	37	436,875	9,700
Mitte	22.601	3.932,0	3.520	260	8	220,000	6,800
Mühlhausen	26.111	4.542,7	5.390	228	40	336,875	10,000
Münster	6.402	1.113,8	3.250	238	30	203,125	9,000
Nord	26.286	4.573,1	1.310	310	42	81,875	10,200
Obertürkheim	8.265	1.437,9	5.420	330	62	338,750	12,200
Ost	47.506	8.264,9	2.580	305	37	161,250	9,700
Stammheim	12.371	2.152,3	5.590	299	31	349,375	9,100
Untertürkheim	16.452	2.862,3	5.400	318	50	337,500	11,000
Wangen	8.873	1.543,7	5.400	225	43	337,500	10,300
Weilimdorf	30.798	5.358,1	5.620	320	52	351,250	11,200
West	51.439	8.949,2	3.980	386	118	248,750	17,800
Zuffenhausen	35.889	6.243,8	3.250	290	22	203,125	8,200
Birkach	6.800	1.183,0	3.670	387	58	229,375	11,800
Degerloch	17.369	3.021,8	1.150	448	3	71,875	6,300
Möhringen	30.074	5.232,2	1.870	421	24	116,875	8,400
Plieningen	12.911	2.246,2	3.670	370	75	229,375	13,500
Sillenbuch	24.374	4.240,5	3.870	412	33	241,875	9,300
Süd	43.914	7.640,0	3.020	310	135	188,750	19,500
Vaihingen	44.385	7.721,9	4.120	494	49	257,500	10,900

Reisegeschwindigkeit in m/s	Ladezeit pro m in s	1d entspricht ... s	Drohnen insgesamt
16,0	0,03	86400	792,53

Flugdauer (pro Paket) in s	Gesamtdistanz (pro Paket) in m	Ladezeit (pro Paket) in s	Gesamtzeit pro Paket (Flug&Ladezeit) in s	Pakete pro Drohen am Tag	Benötigte Drohnen
258,35	3986	119,58	377,93	228,61	51,75
667,3	10498	314,94	982,24	87,96	27,15
316,8	4968	149,04	465,84	185,47	26,31
893,15	14174	425,22	1318,37	65,54	25,03
453,6	7176	215,28	668,88	129,17	30,44
693,75	10980	329,4	1023,15	84,45	53,79
424,25	6680	200,4	624,65	138,32	8,05
184,15	2824	84,72	268,87	321,34	14,23
701,9	11084	332,52	1034,42	83,53	17,22
341,9	5354	160,62	502,52	171,93	48,07
716,95	11362	340,86	1057,81	81,68	26,35
697	11020	330,6	1027,6	84,08	34,04
695,6	11006	330,18	1025,78	84,23	18,33
724,9	11464	343,92	1068,82	80,84	66,28
533,1	8316	249,48	782,58	110,40	81,06
422,65	6664	199,92	622,57	138,78	44,99
482,35	7576	227,28	709,63	121,75	9,72
156,35	2426	72,78	229,13	377,08	8,01
250,55	3908	117,24	367,79	234,92	22,27
485,75	7610	228,3	714,05	121,00	18,56
502,35	7926	237,78	740,13	116,74	36,33
416,5	6430	192,9	609,4	141,78	53,89
536,8	8458	253,74	790,54	109,29	70,65