
Betriebsrichtung und Windverhältnisse am Flughafen Frankfurt

Untersuchung der Jahre 2015 – 2018

Dipl.-Meteorol. Thomas Hasselbeck

Frankfurt, 12.03.2019

Zielsetzung

In diesem Bericht wird die Betriebsrichtungsverteilung am Flughafen Frankfurt in den Jahren 2015-2018 dokumentiert. Für die Kalendermonate der jeweiligen Jahre wird in Zweistundenintervallen (von 5 Uhr morgens bis 23 Uhr abends) der prozentuale Anteil von Betriebsrichtung 07 (Ost) angegeben. Die Betriebsrichtungsverteilung wird mit den aufgetretenen Großwetterlagen der jeweiligen Jahre sowie Windrichtung und -geschwindigkeit historischer Flugwetterberichte abgeglichen.

Datengrundlage

Die sekundengenauen Daten zur Nutzung des Bahnsystems des Flughafens Frankfurt bei Betriebsrichtung 07 (Ost) wurden von der FRAPORT AG zur Verfügung gestellt.

Die Flugwetterberichte (METAR) wurden aus dem Internet abgerufen¹. Die insgesamt 70128 Datensätze lagen bis auf 7 vollständig vor. Windrichtung und -geschwindigkeit sind dort als Mittelwert der letzten 10 Minuten vor Erstellungstermin (für den Flughafen Frankfurt ist das die jeweils 20. und 50. Minute einer Stunde) angegeben.

Ergebnis der Auswertung

Die Betriebsrichtungsverteilung der Jahre 2015-2018 ist in den Tabellen 1-4 dokumentiert. Angegeben ist das prozentuale Auftreten von Betriebsrichtung 07 (Ost). Innerhalb der jeweiligen Kalendermonate erfolgt die Darstellung in zweistündigen Intervallen von 5-23 Uhr; dabei wurden die Zeiten, in denen Betriebsrichtung Ost auftrat, sekundengenau ausgewertet. Die unterste Zeile gibt den Jahresdurchschnittswert der Zweistundenintervalle an, die rechte Spalte den ganztägigen (d.h. von 5-23 Uhr) Durchschnittswert des jeweiligen Kalendermonats.

Mit einer Häufigkeit von 24,5 % (2017), 27,0 % (2015) und 30,9 % (2016) Betriebsrichtung 07 (Ost) liegen die ersten drei Jahre im unteren, mittleren und oberen Bereich der langjährigen Statistik der Betriebsrichtungsverteilung. Die Häufigkeit von 45,9 % Betriebsrichtung Ost im Jahr 2018 übertrifft das langjährige Mittel hingegen bei weitem. Für eine Erklärung dieses Sachverhalts ist eine Betrachtung der Großwetterlagenstatistik der Jahre 2015-2018 hilfreich.

¹ Quelle: <http://www.ogimet.com/metars.phtml.en>

	5-7	7-9	9-11	11-13	13-15	15-17	17-19	19-21	21-23	5-23
Januar	9,9	9,7	9,7	9,7	9,7	9,7	9,7	9,7	9,7	9,7
Februar	27,7	28,9	32,1	32,1	32,1	28,9	30,2	33,9	35,7	31,3
März	43,7	45,2	44,5	41,9	40,5	37,8	35,8	38,6	35,5	40,4
April	29,8	32,8	39,4	40,6	38,4	37,2	34,2	37,0	40,0	36,6
Mai	22,6	26,3	32,2	27,8	18,6	16,1	13,7	14,5	16,1	20,9
Juni	38,5	41,9	43,3	40,0	33,7	30,0	30,0	30,0	30,0	35,3
Juli	22,2	20,9	21,9	21,2	16,1	16,1	14,2	11,1	18,4	18,0
August	45,3	46,8	52,4	47,3	42,2	37,7	34,7	31,3	36,8	41,6
September	29,6	34,9	40,0	38,8	34,4	30,0	31,3	33,4	39,8	34,7
Oktober	46,2	51,6	52,4	49,8	43,1	39,7	40,9	43,9	42,7	45,6
November	2,4	6,7	9,2	8,8	3,3	2,1	3,4	2,4	0,0	4,2
Dezember	1,9	3,2	5,7	6,5	6,5	6,5	6,5	9,6	9,7	6,2
Jahr gesamt	26,7	29,1	31,9	30,3	26,5	24,3	23,6	24,5	26,1	27,0

Tabelle 1: Häufigkeit des Auftretens von Betriebsrichtung 07 (Ost, in %) am Flughafen Frankfurt im Jahr 2015 in Zweistundenintervallen, nach Kalendermonaten.
Quelle: FRAPORT AG, 2019

	5-7	7-9	9-11	11-13	13-15	15-17	17-19	19-21	21-23	5-23
Januar	16,0	17,3	16,1	17,5	16,5	15,0	20,2	22,6	22,6	18,2
Februar	20,7	20,7	22,2	24,1	27,2	27,6	27,6	27,6	27,6	25,0
März	31,7	33,9	36,2	35,0	38,5	36,7	38,8	39,2	41,9	36,9
April	33,9	32,6	30,0	32,0	30,5	28,7	30,0	27,0	26,7	30,2
Mai	44,9	51,6	51,0	48,4	45,8	36,3	35,6	40,6	37,2	43,5
Juni	15,5	19,1	19,8	26,2	20,5	21,5	19,6	18,7	24,0	20,6
Juli	6,1	8,2	9,7	12,9	12,9	10,6	9,8	7,8	9,8	9,8
August	32,3	32,3	32,3	30,6	29,4	32,3	32,3	32,3	32,3	31,8
September	36,4	45,9	43,9	44,6	40,5	34,4	37,0	39,7	40,0	40,3
Oktober	43,7	50,7	51,6	51,3	48,4	52,8	51,6	51,7	52,4	50,5
November	33,4	35,1	39,3	40,0	40,0	41,6	40,0	33,9	33,3	37,4
Dezember	26,4	28,8	29,0	28,7	24,1	25,8	25,8	25,8	28,6	27,0
Jahr gesamt	28,4	31,4	31,8	32,6	31,2	30,3	30,7	30,6	31,4	30,9

Tabelle 2: Häufigkeit des Auftretens von Betriebsrichtung 07 (Ost, in %) am Flughafen Frankfurt im Jahr 2016 in Zweistundenintervallen, nach Kalendermonaten.
Datenquelle: FRAPORT AG, 2019

	5-7	7-9	9-11	11-13	13-15	15-17	17-19	19-21	21-23	5-23
Januar	39,6	41,6	45,2	43,3	43,1	45,2	45,7	47,2	48,4	44,4
Februar	35,7	37,1	39,3	41,8	41,8	40,5	43,3	45,8	42,9	40,9
März	33,7	32,3	32,3	32,3	32,3	31,2	30,9	35,0	35,5	32,8
April	19,8	25,9	25,0	29,9	30,4	25,6	27,5	29,7	29,8	27,1
Mai	45,0	46,9	38,7	38,7	38,7	38,7	39,8	41,3	45,2	41,4
Juni	30,9	29,8	30,0	27,8	20,4	20,5	26,5	30,5	30,0	27,4
Juli	11,0	11,0	11,7	13,3	9,7	9,7	12,8	17,2	26,6	13,7
August	31,4	29,6	28,0	22,8	22,6	21,7	13,8	21,3	31,2	24,7
September	23,3	26,2	28,8	26,1	23,2	20,9	20,7	20,0	26,4	24,0
Oktober	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
November	10,0	10,0	12,2	13,0	13,3	11,7	10,0	9,1	10,0	11,0
Dezember	3,2	6,1	10,7	12,7	9,7	8,8	6,5	6,4	3,4	7,5
Jahr gesamt	23,6	24,6	25,1	25,0	23,6	22,8	23,0	25,2	27,4	24,5

Tabelle 3: Häufigkeit des Auftretens von Betriebsrichtung 07 (Ost, in %) am Flughafen Frankfurt im Jahr 2017 in Zweistundenintervallen, nach Kalendermonaten.
Datenquelle: FRAPORT AG, 2019

	5-7	7-9	9-11	11-13	13-15	15-17	17-19	19-21	21-23	5-23
Januar	19,4	19,4	19,4	21,7	22,6	23	24,6	25,8	25,9	22,4
Februar	64,3	65,3	64,3	64,3	64,3	65,6	70,1	71,4	74	67,1
März	41,7	48	43,8	41,5	42,7	47,7	47,9	45,2	45,2	44,8
April	35,6	40,9	41	38,4	37,1	36,3	31,5	26,8	30	35,3
Mai	69,6	76,2	79,4	77,4	74,4	77,6	81,2	80,5	81,2	77,5
Juni	46,3	45,6	47,8	50	47,4	46,7	43,7	46,2	52,8	47,4
Juli	49,1	59,9	54,2	46,8	45,1	46,7	46,3	48,9	49,7	49,6
August	33	39,5	37	37,2	33	26,5	23	22,5	19,4	30,1
September	43,3	44,1	46,7	41,5	33,3	33,3	32,7	33,2	35,5	38,2
Oktober	52,5	54,7	58	56,2	54,8	57,4	59,1	64	64,5	57,9
November	66	69,5	70	67,3	61,5	61,6	60,6	60,4	53,6	63,4
Dezember	19,4	19,4	18,8	16,1	18,9	19,4	19,4	19,4	19,4	18,9
Jahr gesamt	44,8	48,4	48,2	46,4	44,4	45	44,8	45,2	45,7	45,9

Tabelle 4: Häufigkeit des Auftretens von Betriebsrichtung 07 (Ost, in %) am Flughafen Frankfurt im Jahr 2018 in Zweistundenintervallen, nach Kalendermonaten.
Datenquelle: FRAPORT AG, 2019

Großwetterlagenstatistik der Jahre 2015-2018

Tabelle 5 gibt Auskunft über die Häufigkeit zonaler, gemischter und meridionaler Großwetterlagen. Die Klassifikation der Großwetterlagen dient zur Kategorisierung des großräumigen atmosphärischen Zustands. Die Unterteilung in die Großwettertypen zonal, meridional, gemischt und Übergangstyp kennzeichnet darüber hinaus den vorherrschenden Strömungstyp. Während der zonale Großwettertyp in der Regel durch eine West-Ost-Strömung gekennzeichnet ist, herrscht beim meridionalen Typ Strömung in Nord-Süd- bzw. Süd-Nord-Richtung vor. Beim gemischten Typ treten beide Strömungstypen auf, in Abhängigkeit der geographischen Lage des betrachteten Gebiets zur wetterwirksamen großräumigen Luftdruckverteilung.

	2015	2016	2017	2018
Zonal	102	102	84	89
Gemischt	108	113	141	109
Meridional	155	150	138	167
Betriebsrichtung 07 (Ost, in %)	27,0	30,9	24,5	45,9

Tabelle 5: Häufigkeit des Auftretens a) zonaler, b) gemischter und c) meridionaler Großwetterlagen in den Jahren 2015-2018. Quelle: <http://sklima.de/wetterlagen.php>

Die Tabelle zeigt eine gute Korrelation der Häufigkeit von Betriebsrichtung 07 (Ost) zum Auftreten des meridionalen Großwettertyps. Beispiele für meridionale Wetterlagen sind die weiträumigen Hochdruckgebiete über Skandinavien (Großwetterlagen *Hoch Fennoskandien* und *Hoch Nordmeer-Fennoskandien*) und Zentraleuropa (Großwetterlage *Hoch Mitteleuropa*).

Sind diese wetterwirksamen Hochdruckgebiete im Süden durch Tiefdruckgebiete flankiert, kann eine sogenannte ‚blockierende Wetterlage‘ eintreten, die oft über Wochen hinweg anhält (Omega-Wetterlage). Lang anhaltende Episoden mit Betriebsrichtung 07 treten im Regelfall bei blockierenden Hochdrucksituationen auf, so auch infolge der Skandinavienhochs in den ‚Rekordmonaten‘ Februar, Mai und November des Jahres 2018.

Die Auswirkungen des Klimawandels auf das Auftreten der verschiedenen Großwetterlagen sind noch ungeklärt. In der Klimaforschung wird jedoch die Hypothese diskutiert, dass die Erwärmung der Arktis ein vermehrtes Auftreten blockierender Wettersituationen zur Folge haben könnte².

² Vgl. Lozàn et al, Klimawandel und Wetterextreme (in: Warnsignal Klima, 2018), im Internet abrufbar unter http://www.klima-warnsignale.uni-hamburg.de/wp-content/uploads/2018/11/Wetterextreme_Ein%20Ueberblick.pdf

Bodenwindsituation der Jahre 2015-2018

Tabelle 6 zeigt die Statistik der Bodenwindverteilung der Jahre 2015-2018 auf Grundlage von METAR-Daten. Entsprechend dem Untersuchungszeitraum wurden hierfür die METARs von 4:50 bis 22:50 Ortszeit ausgewertet. Dargestellt ist die prozentuale Häufigkeit des Auftretens von Wind mit einer Komponente von 70° Ostnordost a) größer gleich 0 Knoten (d.h. der Windrichtungen von 340° bis 160° inklusive) sowie b) größer gleich 5 Knoten. Darüber hinaus ist das prozentuale Auftreten von c) Wind aus unterschiedlichen Richtungen und d) Windstille dokumentiert.

	70°-Wind \geq 0 kn	70°-Wind \geq 5 kn	variabel	Windstille
2015	30,7	16,9	11,3	0,9
2016	34,3	18,6	11,3	0,1
2017	27,1	13,5	12,3	0,1
2018	44,8	27,4	12,1	0,1

Tabelle 6: Häufigkeit des Auftretens (in %) von Wind aus 70° Ostnordost a) größer gleich 0 Knoten, b) größer gleich 5 Knoten sowie c) variable Windrichtung und d) Windstille in den Jahren 2015-2018 im Zeitraum von 4:50 bis 22:50 Ortszeit. Quelle: METAR, 2015-2018

Die Betriebsrichtung am Flughafen Frankfurt wird bekanntlich von West- auf Ostbetrieb gedreht, wenn die Windkomponente aus 70° 5 Knoten erreicht oder übersteigt. Da im Regelfall ein Wechsel zurück zu Betriebsrichtung West erst dann erfolgt, wenn der Wind wieder nachhaltig auf Westrichtung gedreht hat (d.h. eine positive Windkomponente aus 250° Westsüdwest aufweist), sollte – in grober Annäherung – die Häufigkeit des Auftretens von Betriebsrichtung 07 zwischen der prozentualen Häufigkeit einer 70°-Windkomponente größer gleich 0 Knoten und größer gleich 5 Knoten liegen. Diese Abschätzung ist für die Jahre 2015-2017 gut erfüllt, während im Jahr 2018 Betriebsrichtung 07 (Ost) mit einer Häufigkeit von 45,9 % über dem oberen Wert von 44,8 % lag. Diese Abweichung sollte sicherlich, in Hinblick auf die vergleichsweise ‚grobe‘ Auflösung der METAR-Daten, nicht überinterpretiert werden.

Betriebsrichtungsverteilung im Tagesverlauf

Bei Betrachtung der Betriebsrichtungsverteilung zu den unterschiedlichen Tageszeiten im Jahresmittel (d.h. die unteren Zeilen der Tabellen 1-4) fällt auf, dass in allen vier untersuchten Jahren am Vormittag häufiger Betriebsrichtung 07 geflogen wurde als am Nachmittag. Dieser Sachverhalt ist insbesondere im Jahr 2015 deutlich zu erkennen. Abbildung 1 veranschaulicht diesen Zusammenhang, hier ist die relative Häufigkeit

(bezogen auf das Tagesmittel des jeweiligen Jahres) des Auftretens von Betriebsrichtung 07 zu den unterschiedlichen Tageszeiten dargestellt.

Diesen Sachverhalt untermauert Tabelle 7. Zu sehen ist hier, zu welchen Zeiten im Untersuchungszeitraum Betriebsrichtungswechsel von Betriebsrichtung Ost nach West und umgekehrt stattfanden. In den Mittags- und frühen Nachmittagsstunden überwiegen dabei die Wechsel von Betriebsrichtung Ost zu West markant. Deutlich wird dies in der unteren Zeile der Tabelle, die die Differenz zwischen der Häufigkeit von Betriebsrichtungswechseln von Ost nach West und umgekehrt darstellt, d.h. den ‚Nettobetrag‘ der Betriebsrichtungswechsel von Ost nach West.

Relative Häufigkeit des Auftretens von Betriebsrichtung 07 (Ost) zu den unterschiedlichen Tageszeiten (bezogen auf das Jahresmittel)

Untersuchungszeitraum 2015-2018
Quelle: FRAPORT AG, 2019

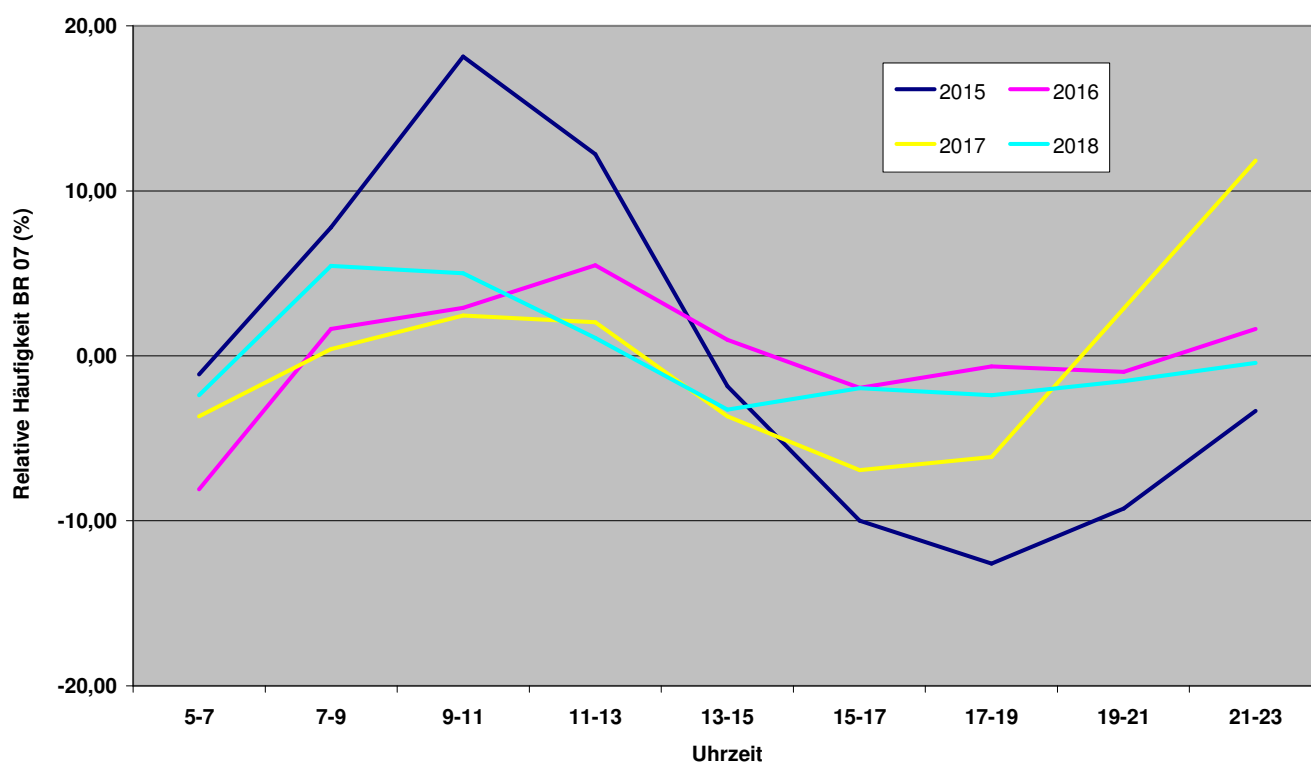


Abbildung 1: Relative Häufigkeit (bezogen auf das Jahresmittel) von Betriebsrichtung 07 (Ost) zu den unterschiedlichen Tageszeiten. Datenquelle: FRAPORT AG, 2019

Betriebsrichtungswechsel zu den unterschiedlichen Tageszeiten

nachts	5-7	7-9	9-11	11-13	13-15	15-17	17-19	19-21	21-23
Wechsel von BR25 nach BR 07									
15,3	17,2	12,8	9,3	5,7	6,3	7,9	7,4	12,0	6,3
Wechsel von BR07 nach BR 25									
26,4	9	5,7	7,6	15	10,6	9	6,3	7,4	3
Differenz (BR07->25)-(BR25->07)									
11,1	-8,2	-7,1	-1,7	9,3	4,3	1,1	-1,1	-4,6	-3,3

Tabelle 7: Häufigkeit von Betriebsrichtungswechseln (in %) zu den unterschiedlichen Tageszeiten (gesamter Zeitraum 2015-2018). Datenquelle: FRAPORT AG, 2019

Häufigkeit des Auftretens einer positiven 70°-Windkomponente zu den unterschiedlichen Tagesstunden, bezogen auf den Tagesdurchschnitt

Werte im Jahresmittel der Jahre 2015-2018

Quelle: METAR, 2015-2018

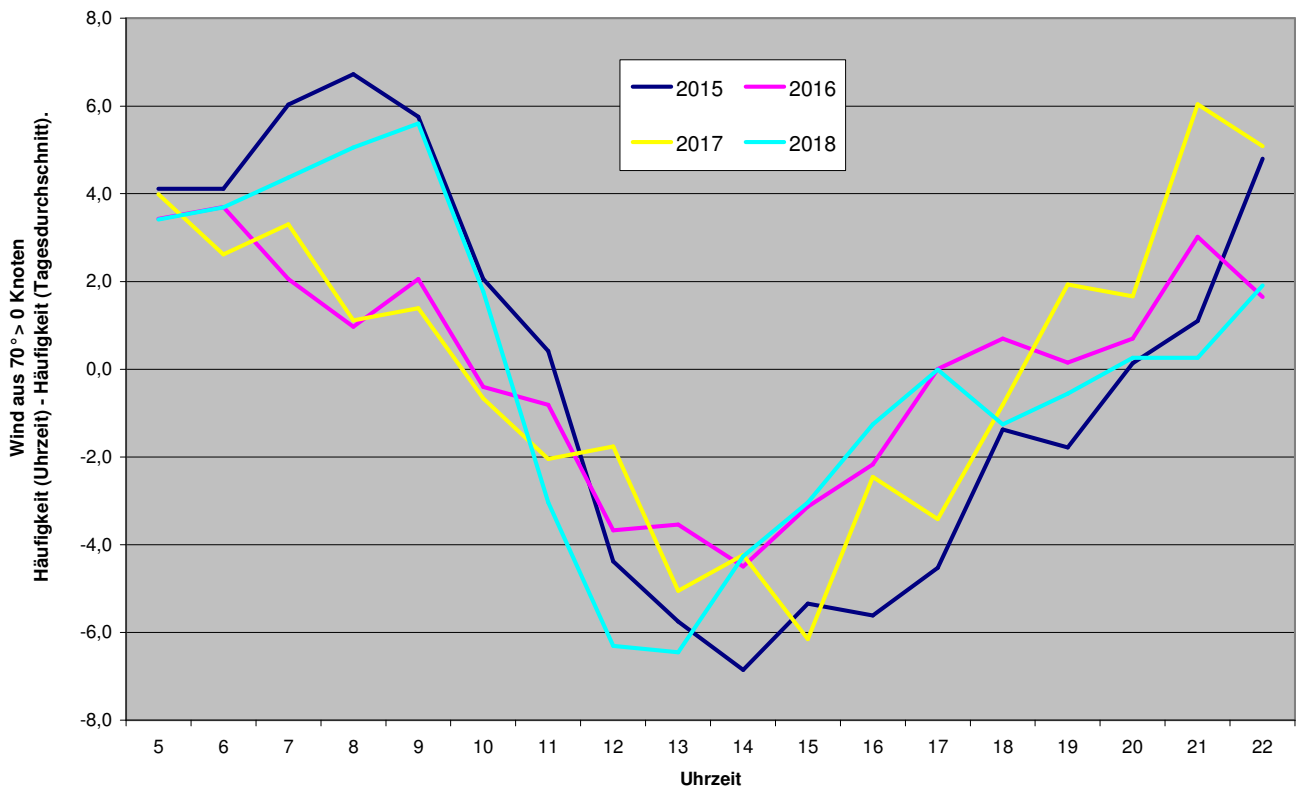


Abbildung 2: Häufigkeit des Auftretens einer positiven Windkomponente aus 70° Ostnordost im Jahresmittel der Jahre 2015-2018, stundengenau im Zeitraum 5-23 Uhr, bezogen auf den Tagesdurchschnitt (Quelle: METAR, 2015-2018)

Abbildung 2 veranschaulicht, dass der Tagesgang der Betriebsrichtungsverteilung auf Grundlage der 70°-Windkomponente nachvollzogen werden kann. Hier ist der Tagesgang in der Häufigkeit gemessener Winde mit 70°-Windkomponente als Differenz stündlich gemessener Werte vom Tagesdurchschnittswert im Mittel der untersuchten Jahre dargestellt. In allen vier untersuchten Jahren ist ein ausgeprägter Tagesgang mit Minimum in den Mittagsstunden zu erkennen.

Offensichtlich handelt es sich hier um einen lokalklimatischen Effekt. Abbildung 3 zeigt eine vergleichbare Darstellung zur Häufigkeit gemessener 70°-Winde im Tagesverlauf, hier jedoch bezogen auf den Monatsmittelwert zu den unterschiedlichen Jahreszeiten des Jahres 2016. Deutlich ist zu erkennen, dass die Amplitude der Tagesschwankungen in den strahlungsintensiven Monaten Mai und August ausgeprägter ist als in den Herbst- bzw. Wintermonaten November und Februar.

Häufigkeit des Auftretens einer positiven 70°-Windkomponente zu den unterschiedlichen Tagesstunden, bezogen auf den Tagesdurchschnitt

Werte im Monatsmittel des Jahres 2016
Quelle: METAR, 2016

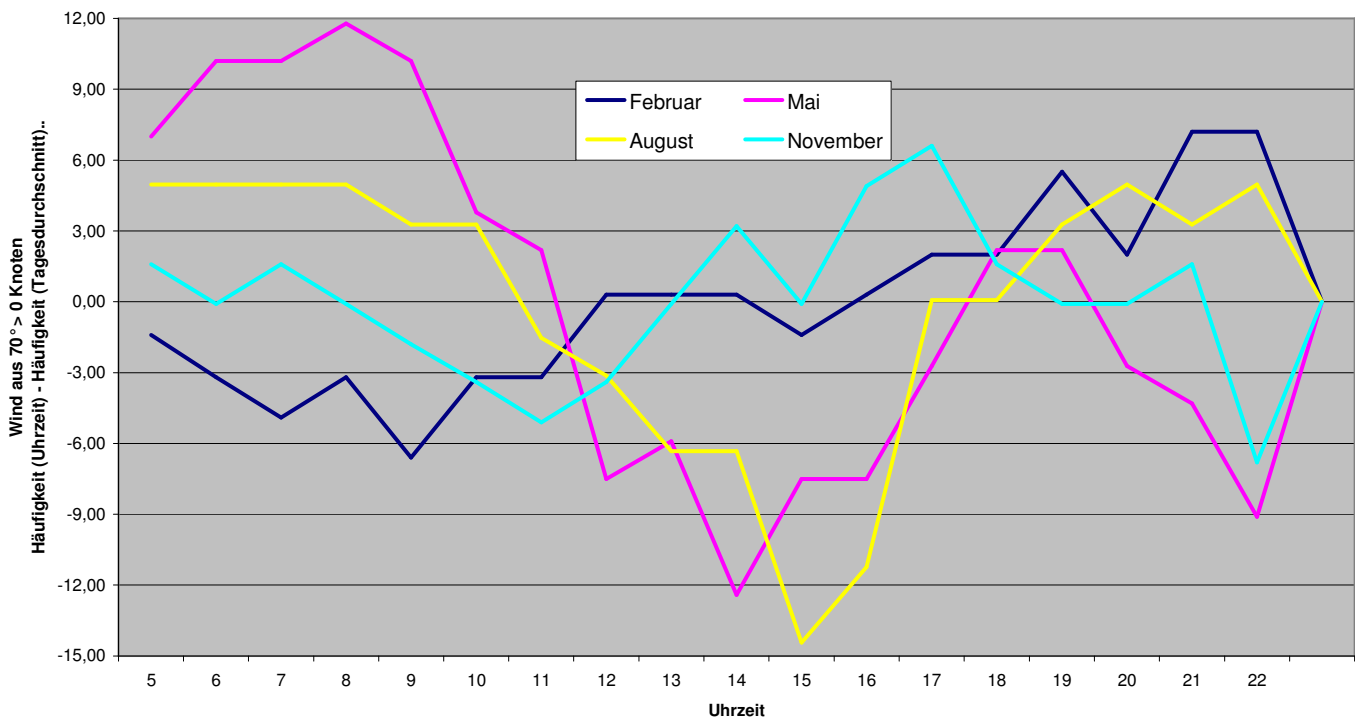


Abbildung 3: Häufigkeit des Auftretens einer positiven Windkomponente aus 70° Ostnordost im Monatsmittel des Jahres 2016, stundengenau im Zeitraum 5-23 Uhr, bezogen auf den Tagesdurchschnitt (Quelle: METAR, 2015-2018)

Im Rahmen dieser Untersuchung kann das lokalklimatische System, aus dem die oben dargestellten Tagesschwankungen resultieren, nicht ergründet werden. Als Ursache denkbar sind Kaltluftabflüsse aus den angrenzenden Mittelgebirgen bzw. der Wetterau, auch kann ein Flurwindeneffekt, induziert durch den im Osten angrenzenden Frankfurter Stadtwald, nicht ausgeschlossen werden.

Zusammenfassung

Während in den Jahren 2015 bis 2017 im Jahresmittel die Betriebsrichtungsverteilung am Flughafen Frankfurt dem langjährigen Durchschnitt von rd. 27 % Betriebsrichtung Ost (mit Streuung um den Mittelwert) entsprach, wurde im Jahr 2018 mit 45,9 % der vermutlich höchste Anteil von Betriebsrichtung Ost aller Zeiten registriert. Die Häufigkeit von Betriebsrichtung Ost ist mit dem Auftreten von Großwetterlagen insbesondere des meridionalen Typs korreliert, wobei blockierende meridionale Wetterlagen zu lang anhaltenden Episoden mit Betriebsrichtung 07 führen können. Eine Zunahme blockierender Wettersituationen in Folge des Klimawandels wird zur Zeit diskutiert.

Wie auch in der vorangegangenen Darstellung aus dem Jahr 2014 kann die Festlegung der Betriebsrichtung im Jahresmittel anhand der METAR-Winddaten, gemessen an der vergleichsweise groben Auflösung, gut nachvollzogen werden.

Die Untersuchung der Betriebsrichtungsverhältnisse im Tagesgang zeigt für den Untersuchungszeitraum ein leichtes Überwiegen von Betriebsrichtung Ost an Vormittagen und spätabends gegenüber den Nachmittags- und frühen Abendstunden. Dieser Effekt ist meteorologisch nachvollziehbar und lokalklimatischen Einflüssen geschuldet.