

Wirtschaftlichkeitsbewertung von Drohnen zum innerbetrieblichen Materialtransport

Economic evaluation of drones for inhouse material transport

Benjamin Fritsch, Antonia Namneck, Malte Stonis, Alexander Schwab, Lena Kirchner

IPH – Institut für Integrierte Produktion Hannover gGmbH

Um den Herausforderungen der Globalisierung begegnen zu können, kommt der Optimierung des innerbetrieblichen Transports eine immer größer werdende Bedeutung zu. Infolge der technischen Weiterentwicklung stellen Drohnen inzwischen eine innovative Fördertechnik dar. Gerade bei zeitkritischen Transportaufgaben stellen Drohnen eine wirtschaftliche Alternative zu konventionellen Transportsystemen dar. Drohnen zeichnen sich jedoch durch eine sehr geringe Traglast und durch sehr hohe Betriebskosten aus, weshalb sie in einzelnen Fällen zwar wirtschaftlicher sind als konventionelle Transportsysteme, dabei aber keine Universallösung für jegliche innerbetriebliche Transportaufgaben bieten.

[Schlüsselwörter: Drohnen, Transport, Transportsysteme, innerbetrieblich, Wirtschaftlichkeit]

To be able to meet the challenges of globalization, the optimization of internal transport is becoming increasingly important. Due to the further development, drones are an innovative material handling technology. The use of drones can be cost-efficient, especially for time-critical transport tasks. However, drones are characterized by a very low payload and very high operating costs. Therefore, drones are in some cases more economical than conventional means of transport, but they do not offer an universal solution for all internal transport tasks.

[Keywords: drones, transport, means of transport, inhouse, economics]

1. DROHNEN ALS INNERBETRIEBLICHE TRANSPORTMÖGLICHKEIT

Infolge der Globalisierung und der Dynamik in der Technologieentwicklung nimmt der Kostendruck in Unternehmen stetig zu [Pfo18]. Transportkosten verursachen einen erheblichen Anteil an den Materialfluss- und Logistikkosten und nehmen daher unmittelbar Einfluss auf die Wirtschaftlichkeit eines Unternehmens [Fis97]. Der Optimierung des innerbetrieblichen Transports kommt deshalb eine immer größer werdende Bedeutung zu. Um diesen

Herausforderungen begegnen zu können, sind viele Unternehmen auf der Suche nach erfolgsversprechenden Lösungen zur Optimierung ihrer Fördertechnik [Arn08]. Drohnen stellen eine innovative Fördertechnik zum innerbetrieblichen Materialtransport dar. Die Drohnentechnologie gehört zu den bedeutendsten technologischen Innovationen der vergangenen Jahre und eröffnet neue, bislang unerkannte Perspektiven in zahlreichen Anwendungsfeldern [Chr18, Mel18]. Mit der Steigerung der Produktqualität dringen Drohnen auf ein professionelles Niveau in wirtschaftlich relevanten Einsatzgebieten vor [Lan18]. Durch die Nutzung des Luftraums ergeben sich neue Transportwege, wodurch kleinere Güter schneller transportiert werden können [Wry17]. Die nachfolgende Analyse setzt sich mit der Wirtschaftlichkeitsbewertung von Drohnen gegenüber konventionellen Transportsystemen auseinander.

1.1 AUSWAHL EINER GEEIGNETEN DROHNEN-KATEGORIE

Der Begriff „Drohne“ ist die umgangssprachliche Bezeichnung für ein ferngesteuertes Luftfahrzeugsystem, welches durch Ausstattung mit Steuerungskomponenten und Sensoren über eine autonome Flugfähigkeit verfügt. Im Allgemeinen können sie entsprechend ihrer spezifischen Charakteristiken in die drei Drohnen-Kategorien

- Flächenmodelle mit starren Flügeln (Fixed-wings),
- Drehflügler mit Rotoren (Multicopter) und
- Flugfahrzeuge mit Schlagflügeln

unterteilt werden [Ver16]. Für die folgenden Betrachtungen wurde sich für einen Multicopter entschieden, da diese mehrere Vorteile gegenüber anderen Drohnentypen aufweisen. Mit Multicoptern wird sowohl ein vertikaler Start als auch eine vertikale Landung ermöglicht, welches den Platzbedarf für den Betrieb minimiert [Fri19]. Außerdem ist es mit Multirotor-Drohnen (Multicopter) möglich, stationäre oder sehr langsame Flüge auszuführen [Poz18]. Des Weiteren besitzen Multicopter eine bessere Manövrierfähigkeit und Genauigkeit beim Fliegen, wodurch sie sich für die Anwendung zum innerbetrieblichen Materialtransport ideal eignen.

1.2 ANSÄTZE ZUR WIRTSCHAFTLICHKEITS-BEWERTUNG VON TRANSPORTSYSTEMEN

In der wissenschaftlichen Literatur existieren verschiedene Ansätze zur Wirtschaftlichkeitsbewertung von Transportsystemen, wobei bei der Herangehensweise einige Ähnlichkeiten der Ansätze festzustellen sind. So greifen FRANZIUS, FISCHER UND DITTRICH, TEN HOMPEL ET AL. und die VDI-Richtlinie 2710 auf die Nutzwertanalyse zurück, um eine fundierte Entscheidung bzgl. der Transportsystemauswahl treffen zu können [Fra72, Fis97, Hom18, VDI11]. Die Kosten der Transportsysteme werden von den Autoren jedoch unterschiedlich berücksichtigt. FRANZIUS und TEN HOMPEL ET AL. lassen die Kosten als qualitatives Kriterium mit in die Nutzwertanalyse einfließen [Hom18, Fra72]. Eine weitere Methode zum Treffen fundierter Investitionsentscheidungen bei der Auswahl des wirtschaftlichsten Transportsystems für eine Transportaufgabe bietet der Ansatz der statischen Kostenvergleichsrechnung. Um noch genauere Aussagen zur Auswahl von Transportsystemalternativen zu treffen, schlagen FISCHER UND DITTRICH vor, mehrere statische sowie dynamische Investitionsrechenverfahren anzuwenden [Fis97]. Statische Investitionsrechenverfahren sind bspw. die Kostenvergleichsrechnung und die Gewinnvergleichsrechnung. Zu den dynamischen Investitionsrechenverfahren zählen die Kapitalwertmethode und die interne Zinsfußmethode. Die Rechenverfahren sind dabei als Ergänzung zu der vorangestellten Nutzwertanalyse zu verstehen. Ebenso wird von der VDI-Richtlinie 2710 die Anwendung von Investitionsrechenverfahren in Kombination mit der Nutzwertanalyse vorgeschlagen. Die Richtlinie beschränkt sich jedoch auf dynamische Rechenverfahren. *Tabelle 1* fasst die verschiedenen Bewertungsansätze aus der wissenschaftlichen Literatur zusammen und zeigt auf, dass für das weitere Vorgehen eine Kombination der Nutzwertanalyse mit der statischen Investitionsrechnung, genauer der Kostenvergleichsrechnung, gewählt wurde.

Tabelle 1: Verfahren zur Wirtschaftlichkeitsbewertung

	Nutzwert-analyse	Statische Investitions-rechnung	Dynamische Investitions-rechnung	Kombinierte Bewertung
Franzius (1972)	X			
Fischer; Dittrich (1997)	X	X	X	
VDI (2011)	X		X	X
Martin (2014)		X		
Ten Hompel et al. (2018)	X			
Ansatz dieser Arbeit	X	X		X

2. METHODE ZUR BEWERTUNG DER WIRTSCHAFTLICHKEIT VON DROHNEN

Um aufzuzeigen, inwiefern der Einsatz von Drohnen wirtschaftlich sein kann, wurde eine Methode, kombiniert aus statischer Kostenvergleichsrechnung und Nutzwertanalyse, zur Bewertung der Wirtschaftlichkeit von Drohnen zum innerbetrieblichen Materialtransport entwickelt. Zur Durchführung einer Bewertung wurden in einem ersten Schritt Einflussfaktoren des innerbetrieblichen Transports identifiziert. Des Weiteren sollte eine quantitative sowie qualitative Bewertungsmethode zur wirtschaftlichen Potenzialabschätzung des Einsatzes von Drohnen für den innerbetrieblichen Materialtransport entwickelt werden. Ziel war die Ableitung genereller Aussagen über die Wirtschaftlichkeit von Drohnen zum innerbetrieblichen Materialtransport, sowie die Formulierung von Handlungsempfehlungen zum Drohneinsatz. Für die weiteren Betrachtungen wurde die DJI Matrice 600 Pro Drohne ausgewählt, da diese in der Industrie weit verbreitet ist und einen geringen Platzbedarf sowie eine hohe Manövrierfähigkeit aufweist und somit gut für den innerbetrieblichen Gebrauch geeignet ist. Verglichen wurde die Drohne mit konventionellen Transportsystemen.

2.1 KOSTENVERGLEICHSRECHNUNG

Bei der Berücksichtigung der Kosten ist es wichtig, dass alle anfallenden Kosten, auch die indirekten, die mit der Anschaffung der Transportsysteme verbunden sind, mit in die Investitionsrechnung einfließen. Zudem müssen alle Kosten beachtet werden, die beim Betrieb der Transportsysteme anfallen. Um eine Ganzheitlichkeit der Kostenbetrachtung zu gewährleisten, ist es demnach sinnvoll eine Einteilung in Kostengruppen vorzunehmen. Es wird zwischen den Kostengruppen: Investitionskosten, Betriebskosten und Arbeitskosten unterschieden.

Die Investitionskosten inkludieren alle mit der Anschaffung des Transportsystems verbundenen Auszahlungen. Darin enthalten sind Kosten für die Fahrzeugsteuerung, Sicherheitseinrichtungen, Batterien, Batterieladegerät, Sensoren am Fahrzeug zur Standortbestimmung und Lageerfassung, Einrichtungen zur Datenübertragung am Fahrzeug, Lastaufnahmemittel und ggf. Bedienelemente. Außerdem wurden hier kalkulatorische Abschreibungen und Zinsen berücksichtigt. Dabei wurde eine lineare Abschreibung vorausgesetzt, und dass die Anschaffungskosten den Wiederbeschaffungskosten entsprechen. Im vorliegenden Fall wird das Transportsystem über die Nutzungsdauer komplett abgeschrieben und weist mit Ende der Nutzungsdauer keinen Liquidationserlös auf. Es wurde, simultan zu den Angaben des Bundesministeriums der Finanzen und dessen Aussagen bezüglich des Abschreibungszeitraums für sonstige Beförderungsmittel, ein Zeitraum von acht Jahren für die Abschreibung eines Multicopters gewählt, da hierfür keine konkreten Regelungen vorhanden sind, es sich aber auch um ein (Luft-)Fahrzeug handelt [Bun00].

Die *Betriebskosten* enthalten die Energie- und Instandhaltungskosten. Die Energiekosten beinhalten den Stromverbrauch für die Ladung der Fahrzeugbatterie. Die Instandhaltungskosten setzen sich aus den Wartungs- und Reparaturkosten des Transportsystems zusammen. Dazu zählen sowohl vorbeugende Kosten durch Inspektionen mit Reinigung und ggf. Schmierung als auch ausfallbedingte Kosten durch Instandsetzung mit Austausch, Reparatur oder Ausbesserung [VDI10].

Die *Arbeitskosten* beinhalten alle durch das Personal entstehenden Kostenarten. Dies betrifft jedoch nur das Personal, welches unmittelbar für den laufenden Betrieb des Transportsystems erforderlich ist, mit Ausnahme des Instandhaltungspersonals, welches separat berücksichtigt wurde. Diese Arbeitskosten setzen sich im Wesentlichen aus den Bruttolöhnen und -gehältern, den gesetzlichen und tariflichen sozialen Aufwendungen, den Lohnnebenkosten und den Lohngemeinkosten zusammen. Laut einer Umfrage von StepStone liegt das Durchschnittsjahresgehalt für Lagerarbeiter in Deutschland für das Jahr 2019 bei 29.200 Euro [Ste19]. Zuzüglich der Sozialversicherungsbeiträge etc. ergibt sich eine Gesamtbelastung pro Mitarbeiter für den Arbeitgeber von etwa 35.000 Euro pro Jahr [Ima19].

Neben den Kostengruppen ist auch der *kalkulatorische Zinssatz* zu betrachten. Die kalkulatorischen Zinsen sind das Ergebnis der Multiplikation aus kalkulatorischem Zinssatz und durchschnittlich gebundenem Kapital. Das durchschnittlich gebundene Kapital ist der Betrag, den das betrachtete Investitionsobjekt im Durchschnitt in den einzelnen Jahren bindet. Der kalkulatorische Zinssatz hängt davon ab, ob die Investition nur mit Eigenkapital oder mit Eigen- und Fremdkapital finanziert ist. Im vorliegenden Fall wurde davon ausgegangen, dass die Transportsysteme aus reinem Eigenkapital finanziert werden. Durch die Multiplikation mit dem durchschnittlich gebundenen Kapital und der Berücksichtigung eines Risikozuschlags ergab sich ein kalkulatorischer Zinssatz von 5,62 % [Bec16].

Da es möglich ist, dass die zu bewertenden Transportsysteme eine unterschiedliche Förderleistung aufweisen, wurde bei dem vorliegenden Bewertungsansatz zwischen den zwei Anwendungsfalltypen (Zeitkosten), den Kosten- und Dringlichkeitsfällen, unterschieden. Kostenfälle fassen die Anwendungsbeispiele zusammen, bei denen Multicopter in der regulären Fertigung eingesetzt werden. Um die Transportsystemalternativen miteinander zu vergleichen, wurde eine Kostenaussage je Transportspiel getroffen. Neben der regulären Fertigung kommt es in der Produktion zusätzlich vor, dass falsche oder beschädigte Komponenten an die Montagelinie geliefert werden. Dies führt häufig zu Wartezeiten oder gar kostenintensiven Produktionsstillständen [Wry17]. Bei diesen Dringlichkeitsfällen wurde davon ausgegangen, dass, nach Nichterfüllung der Förderaufgabe innerhalb von zwei Minuten, die Puffer der nachfolgenden Prozessschritte erschöpft sind. Dies führt

folglich zu einem Produktionsstopp. Um diesen Stillstand in Geldeinheiten umzurechnen, floss die zusätzliche Zeitaufwendung als Umsatzverlust mit in die Bewertung ein.

In *Tabelle 2* sind alle relevanten Kostenarten mit den dazugehörigen Kostengruppen, die für die vorliegende Methode genutzt werden, zusammengefasst.

Tabelle 2: Relevante Kostenarten mit Kostengruppen

Kostengruppe	Kostenart
Investitionskosten	Anschaffungskosten
	Kalkulatorische Abschreibungen
	Kalkulatorische Zinsen
Betriebskosten	Energiekosten
	Wartungskosten
	Reparaturkosten
Arbeitskosten	Personalkosten des Anlagenbetriebs
Zeitkosten	Umsatzverlust

2.2 NUTZWERTANALYSE

Für die vorliegende Nutzwertanalyse wurden die Kriterien der bestehenden Bewertungen kombiniert, um eine Ganzheitlichkeit der qualitativen Kriterien zu realisieren. Dabei wurde jedes Kriterium mit der gleichen Gewichtung bewertet, um die Objektivität der Bewertung zu gewährleisten. Es wurde eine Skalierung der Erfüllungsgrade von ein bis drei Punkten verwendet, wobei ein Punkt der niedrigsten und drei Punkte der höchsten Bewertung entsprechen. Zudem wurden die Kriterien in übergeordnete Kategorien unterteilt (siehe *Tabelle 3*).

Tabelle 3: Einteilung der Kriterien in Kategorien

Kategorie	Kriterien
Flexibilität	Automatisierungsgrad
	Integrierbarkeit in automatische Systeme
	Flexibilität bei Layoutänderung
	Flexibilität bei Änderung der Förderleistung
	Erweiterungsfähigkeit
Dispositiver Nutzen	Störbehandlung und Notbetrieb
	Ergonomie
	Pufferfähigkeit
Technisches Leistungsvermögen	Sicherheit gegen Unfall
	Flächennutzung
	Ökologische Gesichtspunkte
Sonstiger Nutzen	Überwinden von Steigungen
	Technologievorsprung

Das erste Kriterium der Kategorie **Flexibilität** ist der *Automatisierungsgrad*, welcher eine Aussage über das notwendige Maß manuellen Eingreifens und dem damit verbundenen Personalaufwand ermöglicht. Er erlaubt zudem eine Aussage über die Möglichkeiten einer kontrollierten Materialflussverfolgung der Transportgüter. Transportsysteme wie Multicopter und Fahrerlose Transportfahrzeuge haben im Vergleich zu manuell betriebenen Gabelstaplern oder Schleppern einen klaren Vorteil, weil sie vollständig automatisiert betrieben werden können. Wenn das bewertete Transportsystem vollständig manuell betrieben werden muss, wurde das Kriterium mit einem Punkt bewertet. Ist die Transportaufgabe teilweise automatisiert erfüllbar, wurden zwei Punkte vergeben. Bei vollautomatischem oder vollautonomem Betrieb, ohne jeglichen Eingriff von Menschen, wurden drei Punkte vergeben.

Für die *Integrierbarkeit in automatische Systeme* gilt: Je höher der Automatisierungsgrad, desto besser ist die Integrierbarkeit der Transportsysteme [Hom18]. Manuell bediente Transportsysteme wie Kräne oder Flurförderzeuge können teilweise integriert werden, wenn die Fahrer durch Datenkommunikation Anweisungen erhalten. Wenn das Transportsystem nicht oder nur sehr schwierig in automatische Systeme integriert werden kann, wurde der Erfüllungsgrad mit einem Punkt bewertet. Ist die Integrierbarkeit zwar realisierbar, jedoch mit mittleren Aufwendungen verbunden, ist das Kriterium mit zwei Punkten beurteilt worden. Drei Punkte wurden vergeben, wenn die Integrierbarkeit ohne große Aufwendungen möglich ist.

Das Kriterium *Flexibilität bei Layoutänderung* zeigt auf, welcher Aufwand für die Änderungen der Fahrwege oder Anordnung der Maschinen betrieben werden muss. Die Flexibilität bei Layoutänderungen von Transportsystemen, die an Schienen o. ä. gebunden sind, wie z. B. Regalbediengeräte, ist sehr gering. Da die Anpassung nur mit erheblichem Aufwand zu realisieren ist, wurde das in diesem Fall mit einem Punkt bewertet. Wenn die Anpassung an ein neues Layout mit mittleren Kosten verbunden ist, wurden zwei Punkte vergeben. Lässt sich die Layoutänderung ohne oder mit geringem Aufwand verwirklichen, erhielt das Transportsystem drei Punkte.

Die *Flexibilität bei Änderung der Förderleistung* ermöglicht eine Aussage, welche Transportsysteme problemlos, z. B. durch Zukauf eines weiteren Gerätes, auch größere Stückzahlen pro Zeiteinheit bewältigen können und welche nach Auslegung des Transportsystems nur schwierig auf Steigerungen des Güteraufkommens reagieren können. Der Erfüllungsgrad des Kriteriums entspricht einem Punkt, wenn eine Änderung der Förderleistung des Transportsystems nicht oder nur mit erheblichem Aufwand realisierbar ist. Zwei Punkte wurden für dieses Kriterium vergeben, wenn die Änderung der Förderleistung mit mittlerem Aufwand angepasst werden kann und drei Punkte, wenn die Änderung der Förderleistung mühelos durchzuführen ist.

Mit dem Kriterium *Erweiterungsfähigkeit* wird ausgesagt, wie einfach eine bestehende Fördertechnik auf angrenzende Bereiche expandiert werden kann. Zu beachten ist hierbei vor allem die Steuerungstechnik der Transportsysteme [Hom18]. Lässt sich das Transportsystem nicht oder nur durch enorme Aufwendungen realisieren, wurde ein Punkt für dieses Kriterium vergeben. Häufig ist die Erweiterung der Fördertechnik, bspw. bei einer Transportwegverlängerung, nur möglich, indem ein komplett neues Transportsystem neben dem bestehenden installiert wird. In solch einem Fall erhielt die Alternative zwei Punkte. Wenn das Transportsystem problemlos erweitert werden kann, wurde es mit drei Punkten bewertet.

Das Kriterium *Störbehandlung und Notbetrieb* sagt aus, wie viel Arbeitsaufwand eine Störung des Transportsystems verursacht und wie gut ein Notbetrieb ohne das gestörte Fahrzeug möglich ist. Wenn ein Notbetrieb bei einer Störung nicht möglich ist, wurde ein Punkt vergeben. Dies ist zum Beispiel der Fall, wenn Wege komplett durch das Transportsystem versperrt werden. Ist die Störbehebung mit größerem Aufwand verbunden, bspw. durch externe Mechaniker, wurde das Kriterium mit zwei Punkten bewertet. Kann das Transportsystem zur Beseitigung der Störung unkompliziert manuell aus dem System herausgenommen werden, erhielt diese Alternative drei Punkte.

Zu der Kategorie **Dispositiver Nutzen** zählt die *Ergonomie*. Ergonomisch gestaltete Lastübergabepattformen verringern die physische Belastung für Mitarbeiter am Arbeitsplatz und tragen zur Humanisierung der Arbeitswelt bei. Ist dies mit dem bewerteten Transportsystem nicht möglich, wurde die Alternative mit einem Punkt bewertet. Ist die Installation ergonomischer Lastübergabestationen zwar möglich, jedoch mit größeren Kosten verbunden, erhielt das Transportsystem zwei Punkte. Können die Lastübergabepattformen problemlos ergonomisch entworfen werden, erreichte das Transportsystem für das Kriterium Ergonomie drei Punkte.

Die *Pufferfähigkeit* gibt an, inwieweit ein Transportsystem als Puffer eingesetzt werden kann. Kann mit dem Transportsystem das Transportgut nicht gepuffert werden, wurde ein Punkt vergeben. Wenn mit dem Transportsystem ein Puffer geschaffen werden kann, dazu jedoch zusätzliche Maßnahmen getroffen werden müssen, wie bspw. die Installation von Pufferstationen, erhielt das Transportsystem zwei Punkte. Wenn die Ladung mit dem Transportsystem unkompliziert gepuffert werden kann, liegt der Erfüllungsgrad des Kriteriums bei drei Punkten.

Das Kriterium *Sicherheit gegen Unfall* gibt an, inwiefern Gefahren durch den Transport von Gütern für andere Verkehrsteilnehmer und Gegenstände entstehen. Dies betrifft sowohl Gefährdungen von Personen als auch Beschädigungen von Arbeitsmitteln wie z. B. Maschinen, anderen Transportsystemen oder Lagerregalen. Birgt der Betrieb des bewerteten Transportsystems schwerwiegende

Gefahren, sodass präventive Maßnahmen notwendig sind, erhielt die Alternative einen Punkt. Dies ist bspw. der Fall, wenn Auffangnetze für herabstürzende Waren installiert werden müssen, um Beschädigungen zu vermeiden, wie es beim Einsatz von Multicopter-Drohnen denkbar ist. Geht von dem Transportsystem eine geringe Gefahr für Unfälle aus wie z. B. leichte Beschädigung des Transportguts, wurde die Transportsystemalternative mit zwei Punkten bewertet. Besteht durch den Transportprozess keine Gefahr von Unfällen ist eine vollständige Sicherheit gegeben und der volle Erfüllungsgrad von drei Punkten wurde erreicht.

Die dritte Kategorie beinhaltet das **technische Leistungsvermögen**. Die Kenntnis der *Flächennutzung* ermöglicht eine Aussage, wieviel der Hallenfläche ausschließlich oder teilweise von der Fördertechnik belegt wird. Zudem wird bei diesem Kriterium der Grad der Hindernisbildung bewertet. Dieser gibt Auskunft inwieweit die Transportsysteme nicht nur auf Bodenniveau, sondern auch im Raum, Hindernisse für andere Transportsysteme bilden. Bei der Bewertung dieses Kriteriums sind flurfreie Transportsysteme im Vorteil. Sind für den Betrieb aufwendige Installationen wie Stützen, Schienen, Fundamente etc. erforderlich, die die Transportwege blockieren, wurde für dieses Kriterium ein Punkt vergeben. Zwei Punkte wurden erreicht, wenn Transportwege zeitweise durch das Transportsystem versperrt werden. Das Transportsystem wurde mit drei Punkten bewertet, wenn durch den Einsatz keine Hindernisse gebildet werden und die Transportwege gemeinsam mit anderen Verkehrsteilnehmern genutzt werden können.

Mit dem Kriterium *ökologische Gesichtspunkte* werden Energieverbrauch und Schadstoffemissionen des Transportsystems bewertet. Ebenso wird hier der Verschleiß der Bauteile des Transportsystems berücksichtigt. Sind der Energieverbrauch, Verschleiß und Emissionswert überdurchschnittlich hoch, erhielt das System einen Punkt. Bei durchschnittlichen Werten wurden zwei Punkte an die Alternative vergeben. Handelt es sich um ein ökologisch fortschrittliches Transportsystem, welches sich durch wenig Verschleiß und Schadstoffemissionen auszeichnet, wurde es mit drei Punkten bewertet.

Die Fähigkeit des Transportsystems zum *Überwinden von Steigungen* kann z. B. in mehrgeschossigen Gebäuden von großem Vorteil sein. Ansonsten häufig zusätzlich erforderliche Aufzüge o. ä., die in der Regel einen Einbruch der Systemleistung bewirken, werden überflüssig [Hom18]. Aber auch das Überwinden von mehreren Höhenniveaus innerhalb einer Halle kann vorteilig sein, wenn dadurch Hubstationen eingespart werden können. Ist das Überwinden von Steigungen mit dem bewerteten Transportsystem nicht möglich, erhielt dies einen Punkt. Werden Hubstationen benötigt, um Steigungen zu überwinden, wurde das Transportsystem mit zwei Punkten bewertet. Können Steigungen problemlos überwunden werden, liegt der Erfüllungsgrad bei drei Punkten.

Unter der Kategorie **Sonstiger Nutzen** wird der Einsatz moderner, zukunftsorientierter Technologien verstanden, welche dem Unternehmen einen *Technologievorsprung* verschafft und positive Auswirkungen auf die Wettbewerbsfähigkeit eines Unternehmens hat. Dies betrifft sowohl den betrieblichen Leistungsprozess als auch die Imagewirkung nach außen [VDI11]. Ein Punkt wurde für dieses Kriterium vergeben, wenn es sich bei der Alternative um eine Standardlösung aus der Industrie handelt. Stellt das Transportsystem eine innovative Transportlösung dar, erhielt es zwei Punkte. Erreicht die Technologie zudem Aufsehen in der Öffentlichkeit bspw. durch Veröffentlichungen von Zeitungsartikeln, wurden drei Punkte vergeben.

Im Folgenden ist beispielhaft der Vergleich eines konventionellen Transportsystems, hier eines Schleppers, mit einer Multicopter-Drohne dargestellt (siehe *Abbildung 1*). Die Gewichtung ist, wie zuvor erklärt, für jedes Kriterium gleich. Die Wertung erfolgt anhand einer Punktevergabe, welche nachfolgend erläutert wird. Mit „n“ wird der anteilige Nutzwert eines Kriteriums ausgedrückt.

Kriterium	Gewichtung	Konventionelles Transportsystem (z.B. Schlepper)		Drohne	
		Wertung	n	Wertung	n
Automatisierungsgrad	7,69%	1	2,56%	3	7,69%
Integrierbarkeit in automatische Systeme	7,69%	2	5,13%	3	7,69%
Flexibilität bei Layoutänderung	7,69%	3	7,69%	2	5,13%
Flexibilität bei Änderung der Förderleistung	7,69%	3	7,69%	2	5,13%
Erweiterungsfähigkeit	7,69%	3	7,69%	2	5,13%
Störbehandlung und Notbetrieb	7,69%	2	5,13%	3	7,69%
Ergonomie	7,69%	2	5,13%	3	7,69%
Pufferfähigkeit	7,69%	2	5,13%	1	2,56%
Sicherheit gegen Unfall	7,69%	2	5,13%	1	2,56%
Flächennutzung	7,69%	2	5,13%	3	7,69%
Ökologische Gesichtspunkte	7,69%	2	5,13%	3	7,69%
Überwinden von Steigungen	7,69%	2	5,13%	3	7,69%
Technologievorsprung	7,69%	1	2,56%	3	7,69%
Gesamtnutzwert	100,00%	69%		82%	

Abbildung 1: Nutzwertanalyse Schlepper/Drohne

Insgesamt wurden mit der Nutzwertanalyse vier verschiedene Transportsysteme betrachtet. Allgemein lässt sich über die Ergebnisse sagen, dass der Multicopter im Vergleich zu konventionellen Transportsystemen am besten abschneidet und den höchsten Nutzwert erreicht (siehe *Tabelle 4*).

Tabelle 4: Vergleich der Nutzwerte aller Transportsystemalternativen

Transportsystemalternative	Nutzwert [%]
Gabelstapler	67
Schlepper	69
Fahrerloses Transportsystem	79
Multicopter	82

Dies ist vor allem auf die Vorteile des Multicopters in Bezug auf den hohen Automatisierungsgrad, die effiziente Flächennutzung sowie den großen Technologievorsprung zurückzuführen. Der vollautomatische Betrieb des Multicopters ermöglicht neben der Einsparung von Personalkosten auch einen schnelleren, effizienteren Prozessablauf. Dieser ist vor allem bei Dringlichkeitsfällen von großem Vorteil, bei denen der Faktor Zeit eine entscheidende Rolle spielt. Zusätzlich schneidet der Multicopter im Kriterium Flächennutzung überdurchschnittlich gut ab, da er während seines Einsatzes keine Hindernisse für andere Flurfördertechniken darstellt. Ebenso ist eine Mehrfachnutzung der Wege parallel zum Drohnenbetrieb möglich. Wenn Drohnen in einem Unternehmen eingesetzt werden, auch wenn es sich nur um ein Pilotprojekt handelt, sei es zum innerbetrieblichen Materialtransport [Nör18, Löw18] oder zur Lieferung von Paketen [Nic19], wird aufgrund der Novität der Technologie sehr häufig in den Medien darüber berichtet. Des Weiteren handelt es sich bei einem Multicopter um ein ökologisch fortschrittliches Transportsystem, da die Elektromotoren sowie die anderen Komponenten des Multicopters nahezu verschleißfrei sind. Obwohl der Multicopter öfter aufgeladen werden muss, besitzt er im Vergleich zu den anderen Transportsystemen einen unterdurchschnittlichen Energieverbrauch und schneidet im Kriterium ökologische Gesichtspunkte besser ab als die konventionellen Transportsysteme. Trotz der vielen Vorteile der Drohnentechnologie besitzt diese auch einige Nachteile. So ist eine Pufferung des Transportguts mit dem Multicopter aufgrund der niedrigen Batterielaufzeit so gut wie nicht realisierbar. Ebenfalls schneidet der Multicopter schlecht beim Kriterium Sicherheit gegen Unfall ab, da beim Einsatz von Multicoptern die Gefahr eines Absturzes besteht. Demnach ist es denkbar, präventiv Auffangnetze für herabfallende Multicopter und Transportgüter über den Wegen zu installieren, auf denen sich auch Menschen bewegen.

2.3 GESAMTBEWERTUNG

Anschließend wurde auf Basis der Ergebnisse der Kostenvergleichsrechnung und der Nutzwertanalyse eine Entscheidung getroffen, welches Transportsystem für den bewerteten Anwendungsfall wirtschaftlicher ist und somit einen größeren Nutzen für das Unternehmen aufweist. Der Ablauf der so entstehenden erweiterten Wirtschaftlichkeitsbewertung ist in *Abbildung 2* zusammenfassend dargestellt.

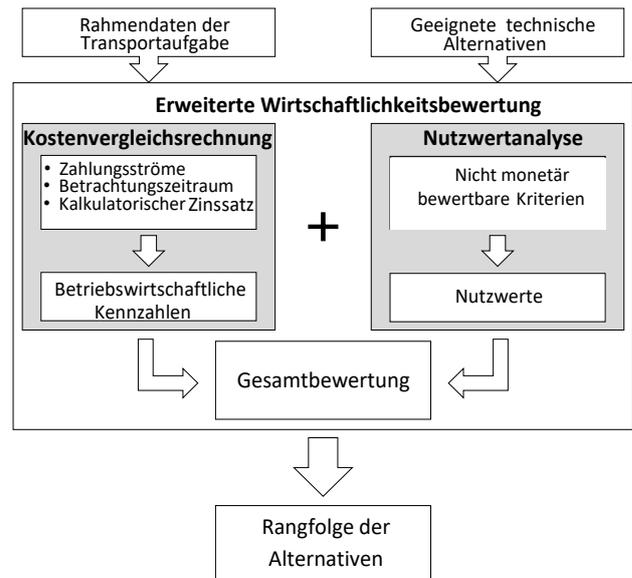


Abbildung 2: Vorgehen erweiterte Wirtschaftlichkeitsbewertung

Eingangsparameter sind die Rahmendaten der Transportaufgabe sowie geeignete technische Alternativen. Innerhalb der *Erweiterten Wirtschaftlichkeitsbewertung* wird sowohl eine *Kostenvergleichsrechnung* als auch eine *Nutzwertanalyse* durchgeführt. Im Rahmen der *Kostenvergleichsrechnung* werden Zahlungsströme, der Betrachtungszeitraum und kalkulatorische Zinsen betrachtet. Es resultieren betriebswirtschaftliche Kennzahlen. Die *Nutzwertanalyse* setzt sich mit nicht monetär bewertbaren Kriterien auseinander und hat Nutzwerte zum Ergebnis. Nach der separaten Durchführung der *Kostenvergleichsrechnung* und der *Nutzwertanalyse* werden die Ergebnisse beider Betrachtungen in einer *Gesamtbewertung* zusammengeführt, sodass eine *Rangfolge* der bestehenden *Transportsystemalternativen* gebildet wird. Dazu werden die Ergebnisse der beiden Analysen grafisch in einem Koordinatensystem dargestellt. Auf der Ordinate werden die *Kosten pro Transportspiel* und auf der Abszisse der *Nutzwert* abgetragen.

Existiert eine Alternative, die gleichzeitig den höchsten Nutzen und die niedrigsten Kosten aufweist, handelt es sich um die wirtschaftlichste Alternative. Ist dies nicht der Fall wird individuell nach Anwendungsfall entschieden.

3. ANWENDUNG DER METHODE

Für die Anwendung der Methode wurden Use Cases definiert. Hierfür wurden Transportaufgaben ausgewählt, die mit verschiedenen *Transportsystemalternativen* erledigt werden. Die konventionelle Transportlösung stellt dabei den heutigen Status-quo-Prozess mit herkömmlichen *Transportsystemen* dar. Insgesamt wurden fünf Use Cases behandelt:

- Use Case 1: Palettentransport aus Zwischenlager an Montagelinie mit Gabelstapler oder Multicopter
- Use Case 2: Überwindung von Hindernissen mit Schlepper oder Multicopter
- Use Case 3: Transport eines Bauteils zwischen zwei Fertigungsschritten mit Fahrerlosem Transportsystem oder Multicopter
- Use Case 4: Fehlteiltransport mit Umschlag Stapler und Schlepper oder Multicopter
- Use Case 5: Eiltransport eines Fehlteils aus Ersatzteillager in Produktionshalle mit Schlepper oder Multicopter

Beispielhaft wird folgend der zweite Use Case „Überwindung von Hindernissen“ (siehe *Abbildung 3*) betrachtet.

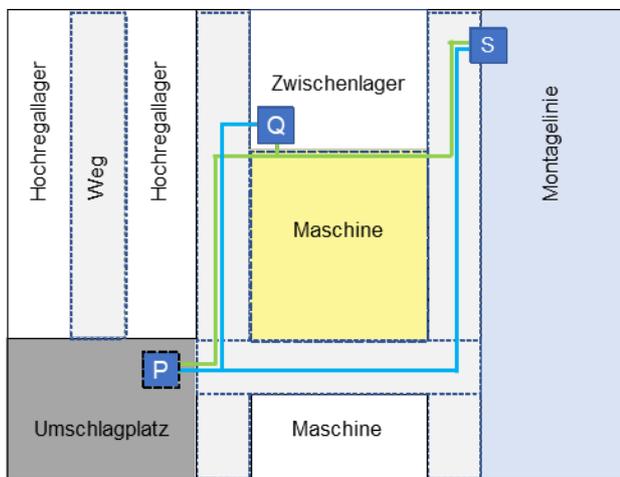


Abbildung 3: Transportwege Use Case 2

Es soll ein Bauteil mit einem Gewicht von fünf Kilogramm aus dem Zwischenlager (Quelle Q) an die Montagelinie (Senke S) befördert werden. Außerdem ist aufgrund einer weiteren Maschine (gelb) die Nutzung des direkten Wegs zwischen Maschine und Zwischenlager beschränkt, sodass das konventionelle Transportsystem einen Umweg fahren muss. Dem Multicopter hingegen ist es möglich, das Hindernis (weitere Maschine) auf dem Weg zu überfliegen, um auf dem schnellsten Weg die Senke zu erreichen. Als konventionelles Transportsystem wurde ein Schlepper verwendet. Die Kostenaussagen der konventionellen Transportsysteme basieren dabei auf Informationen von Transportsystemherstellern. Die Kosten des bewerteten Multicopters beziehen sich auf Informationen aus Experteninterviews mit Projektpartnern aus der Drohnenbranche sowie aus Preiskatalogen von Drohnenherstellern [DJI19].

Aus der Kostenvergleichsmethode ergaben sich bei einem Betrachtungszeitraum von acht Jahren Gesamtkosten von knapp 40.000 Euro pro Jahr für die Schlepper-Variante. Für die Multicopter-Alternative ergaben sich Jahresgesamtkosten von über 95.000 Euro (siehe *Tabelle 5*).

Tabelle 5: Ergebnisse der Kostenvergleichsrechnung für Use Case 2

		Multicopter	Schlepper
1	Investitionskosten		
1.1	Transportfahrzeug	4.789,08 €	15.919,00 €
1.2	Zusätzliche Hard- und Software	25.210,92 €	
1.3	Ersatzbatterie-Set	3.862,18 €	
1.4	Batterieladegerät	293,28 €	1.500,00 €
1.5	Anhänger		630,25 €
	Gesamtinvestitionssumme	34.155,46 €	18.049,25 €
2	Jährliche Kosten		
2.1	Kalkulatorische Abschreibungen	4.269,43 €	2.256,16 €
2.2	Kalkulatorische Zinsen	959,77 €	507,18 €
2.3	Betriebskosten		
2.3.1	Energiekosten	410,16 €	135,71 €
2.3.2	Instandhaltungskosten	90.000,00 €	1.591,90 €
2.4	Arbeitskosten		
2.4.1	Personalkosten des Anlagebetriebs		35.000,00 €
	Jährliche Gesamtkosten	95.639,36 €	39.490,95 €

Die Investitionskosten des Multicopters setzen sich aus den Kosten für das Transportfahrzeug, zusätzlicher Hard- und Software, Ersatzbatterien sowie einem Batterieladegerät zusammen. Den größten Anteil (73 %) macht dabei die zusätzliche Hard- und Software aus. Der kostenintensive Anteil des Multicopters besteht also aus allen Bauteilen und Programmen, wie Sensoren und Steuerungsprogrammen, die zusätzlich in den Multicopter integriert werden müssen, um einen problemlosen Transportbetrieb zu ermöglichen. Bezüglich der Anschaffungskosten schneidet der Multicopter im Vergleich zu den anderen Transportsystemen günstig ab. Nur der in *Tabelle 4* aufgeführte Schlepper kostet bei Anschaffung weniger (die Anschaffungskosten eines Schmalgangstaplers liegen bspw. bei ca. 71.500 Euro). Bei der Betrachtung der prozentualen Anteile der Jahresgesamtkosten fällt der große Anteil der Instandhaltungskosten des Multicopters auf. Dieser macht fast 95 % der Gesamtkosten pro Jahr aus. Im Vergleich zu den konventionellen Transportsystemen, bei denen die Instandhaltungskosten im Schnitt bei knapp 15 % der Gesamtkosten pro Jahr liegen, wirkt dieser Anteil immens. Die Höhe der Instandhaltungskosten des Multicopters basiert auf Aussagen aus einem Experteninterview mit einem Projektpartner aus der Drohnenbranche. Dabei belaufen sich die 90.000 Euro auf eine monatliche Servicegebühr von 7.500 Euro, die durch den Abschluss eines Servicevertrags fällig werden. Da dieser Wartungsvertrag Teil des Geschäftsmodells des Unternehmens ist, ist zu vermuten, dass dieser Kostenanteil reduziert werden kann, indem bspw. ein eigener Mitarbeiter entsprechend geschult und für die Instandhaltung der im Unternehmen eingesetzten Drohnen verantwortlich gemacht wird. Nicht explizit berücksichtigt sind eventuell benötigte Ersatzakkus sowie Zeiten für den Akkuwechsel.

Aus den technischen Datenblättern der Transportsysteme ergaben sich bei dem Anwendungsfall für die Transportlösung mit dem Schlepper eine Zeit pro Transportspiel von 3,28 Minuten. Daraus ergaben sich Transportspielkosten

von 1,35 Euro. Bei dem Multicopter liegen die Kosten pro Transportspiel etwas niedriger bei 1,20 Euro (siehe *Tabelle 6*). Aus der Nutzwertanalyse ergab sich ein Erfüllungsgrad von 69 % für den Schlepper. Der Nutzwert des Multicopters liegt bei 82 % (siehe auch *Abb. 1*).

Tabelle 6: Kosten pro Transportspiel für Use Case 2

	Schlepper	Multicopter
Zeit pro Transportspiel [min]	3,28	1,2
Anzahl Transportspiele pro Jahr	29.273	80.000
Kosten pro Jahr [€]	39.490,95	95.639,36
Kosten pro Transportspiel [€]	1,35	1,2

In *Abbildung 4* sind noch einmal die Kosten pro Transportspiel [€] über dem Nutzwert [%] des zweiten Use Cases grafisch dargestellt.

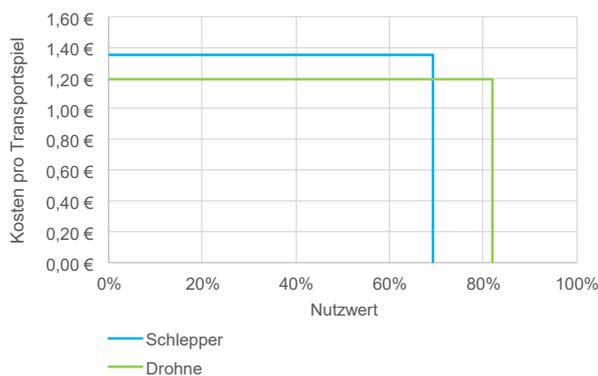


Abbildung 4: Nutzwert in Abhängigkeit der Kosten pro Transportspiel für Use Case 2

Für Use Case 2 stellt der Multicopter das wirtschaftlichere Transportsystem dar. Dieses Ergebnis lässt sich jedoch nicht auf alle Use Cases gleichermaßen übertragen (siehe *Tabelle 7*). Im Fall des ersten Use Cases sollten bspw. fünf Teile von einer Palette transportiert werden. Während die Palette mit dem konventionellen Transportsystem komplett aufgenommen werden konnte, musste die Drohne fünfmal beladen werden und den Weg öfter zurücklegen, da sie eine maximale Ladekapazität von fünf Kilogramm hat. Dadurch können die deutlich höheren Kosten pro Transportspiel für die Multicopter-Drohne im ersten Use Case erklärt werden. Use Case 4 und 5 sind in der *Tabelle* nicht aufgeführt, da es sich um Dringlichkeitsfälle bzw. Eilaufträge handelt und so keine Kosten pro Transportspiel zu berechnen waren.

Tabelle 7: Kosten pro Transportspiel und Nutzwert der Use Cases

Use Case 1		
	Kosten pro Transportspiel [€]	Nutzwert [%]
Gabelstapler	0,87	67
Multicopter	8,47	82
Use Case 2		
	Kosten pro Transportspiel [€]	Nutzwert [%]
Schlepper	1,35	69
Multicopter	1,2	82
Use Case 3		
	Kosten pro Transportspiel [€]	Nutzwert [%]
Fahrerloses Transportsystem	0,74	79
Multicopter	0,71	82

4. FAZIT

Die Wirtschaftlichkeitsbewertung hat gezeigt, dass der Einsatz von Drohnen zum innerbetrieblichen Materialtransport durchaus wirtschaftlicher sein kann als der Transport mit konventionellen Transportsystemen. Die geringe maximale Traglast des Multicopters ist jedoch ein Nachteil gegenüber den anderen Transportsystemen. Während mit herkömmlichen Transportsystemen bis zu zwei Tonnen transportiert werden können, ist mit dem Multicopter lediglich der Transport von Kleinteilen bis zu fünf Kilogramm möglich. Jedoch kann diese Last mit dem Multicopter deutlich schneller befördert werden. Die maximale Geschwindigkeit des Multicopters ist mehr als doppelt so hoch wie die des zweitschnellsten Transportsystems in der Bewertung. Vor allem bei zeitkritischen Transportaufgaben kann der Einsatz von Multicoptern wirtschaftlich sein. Gleiches gilt für Förderaufgaben, bei denen eine große Entfernung zwischen Transportursprung und -ziel liegt. Aufgrund der kleineren Akkus des Multicopters besitzt diese jedoch eine wesentlich geringere Batterielaufzeit als die herkömmlichen Transportsysteme und muss öfter aufgeladen werden. Während dies bei den konventionellen Transportsystemen im Schnitt nur einmal am Tag der Fall ist, beläuft sich die Batterielaufzeit des Multicopters auf ca. 18 Minuten bei maximaler Traglast. Daraus resultieren ca. 4800 Aufladezyklen pro Jahr, um einen durchgehenden Betrieb des Multicopters zu ermöglichen. Auf die Energiekosten hat dies jedoch keinen großen Einfluss. Diese machen bei allen Transportsystemalternativen einen sehr geringen Anteil von nur etwa einem Prozent der Jahresgesamtkosten aus.

Resümierend ist aus der Wirtschaftlichkeitsbewertung zu schlussfolgern, dass der Multicopter in einzelnen Fällen zwar wirtschaftlicher ist als konventionelle Transportsystemalternativen, der Multicopter jedoch keine Universallösung für jegliche innerbetriebliche Transportaufgaben bieten kann.

5. AUSBLICK

Obwohl die bisherigen technischen Lösungen für innerbetriebliche Transportdrohnen nur die Bewältigung von Traglasten von wenigen Kilogramm ermöglichen, ist es eine Frage der Weiterentwicklung dieser Luftfahrzeuge bis auch schwerere Ladungen auf dem Luftweg transportiert werden können [Wel19]. Ähnliches gilt für die Batterieenergiedichte. Mit der Entwicklung von immer leistungsfähigeren Akkus, auch in anderen Branchen und Technologien, wird die Batterielaufzeit und somit die Wirtschaftlichkeit der Drohnen in Zukunft erhöht werden können. Es wird zwar abzuwarten sein, inwiefern die Drohnenverordnung in der Praxis Anwendung findet, mit der technischen Weiterentwicklung ist jedoch davon auszugehen, dass auch zukünftig neue Anwendungsfälle zum innerbetrieblichen Materialtransport mit Drohnen aufkommen werden. Wenn dies der Fall ist und mehr Ausgangsdaten und bessere Angaben über den Einsatz von Drohnen vorhanden sind, sollte künftig eine dynamische Betrachtung der Kosten vorgenommen werden, um eine genauere Kostenabschätzung durchführen zu können und noch realitätsnähere Aussagen über die Wirtschaftlichkeit von Drohnen liefern zu können. Weiterführende Forschungen könnten zusätzlich die Wirtschaftlichkeit von Drohnen als Ergänzung zu konventionellen Transportsystemen analysieren.

LITERATUR

- [Arn08] Arnold, D.; Isermann, H.; Kuhn, A. et al.: Handbuch Logistik, Springer Berlin Heidelberg, Berlin, Heidelberg, 2008.
- [Bec16] Becker, H. P.: Investition und Finanzierung, Grundlagen der betrieblichen Finanzwirtschaft. 7., aktualisierte Auflage, Springer Gabler, Wiesbaden, 2016.
- [Bun00] Bundesministerium der Finanzen: AfA-Tabelle für die allgemein verwendbaren Anlagegüter, Juris, 2000.
- [Chr18] Christen, M.; Guillaume, M.; Jablonowski, M. et al.: Zivile Drohnen – Herausforderungen und Perspektiven, vdf, 2018.
- [DJI19] DJI: MATRICE 600 PRO - Unkomplizierte Professionalität. DJI (Hrsg.), 2019. Online verfügbar unter <https://store.dji.com/de/category/matrice-600?from=shop>, Zuletzt geprüft am: 13.08.2019.
- [Fis97] Fischer, W.; Dittrich, L.: Materialfluß und Logistik, Springer Berlin Heidelberg, Berlin, Heidelberg, 1997.
- [Fra72] Franzius, H.: Die methodische Zuordnung von Fördermittel und innerbetrieblicher Transportaufgabe. Dissertation Universität Hannover, Hannover, 1972.
- [Fri19] Fritzsche, B.; Stonis, M.: Drohnen zum Materialtransport. In: Zeitschrift für wirtschaftlichen Fabrikbetrieb, 114 Jg. (2019), H. 9, S. 584-587.
- [Hom18] Hompel, M. ten; Schmidt, T.; Dregger, J.: Materialflusssysteme, Springer Berlin Heidelberg, Berlin, Heidelberg, 2018.
- [Ima19] Imacc: Lohnnebenkosten Arbeitgeber 2019. Imacc (Hrsg.), 2019. Online verfügbar unter <https://www.imacc.de/arbeitsgeberanteil-rechner/#wie-hoch-ist-der-arbeitsgeberanteil-in-prozent>, Zuletzt geprüft am: 11.07.2019.
- [Lan18] Landrock, H.; Baumgärtel, A.: Die Industriedrohne - der fliegende Roboter, Professionelle Drohnen und ihre Anwendung in der Industrie 4.0, Springer Vieweg, Wiesbaden, 2018.

- [Löw18] Löwer, C.: Wege aus der Enge auf dem Shopfloor, Drohnen in der Produktion. *automotiveIT* (Hrsg.), 2018. Online verfügbar unter <https://www.automotiveit.eu/wege-aus-der-enge-auf-dem-shopfloor/blickpunkt/id-0062974>, Zuletzt geprüft am: 09.04.2019.
- [Mel18] Melcher, D.; Küster, B.; Stonis, M.; Overmeyer, L.: Optimierung von Fabrikplanungsprozessen durch Drohneinsatz und automatisierte Layoutdigitalisierung. In: *Logistics Journal: Proceedings*, Vol. 2018.
- [Nic19] Nicolai, B.: In China macht DHL die Vision von der Paket-Drohne wahr. *Welt Online* (Hrsg.), 2019. Online verfügbar unter <https://www.welt.de/wirtschaft/article193648329/DHL-In-China-liefert-die-Posttochter-schon-auf-dem-Luftweg-aus.html>, Zuletzt geprüft am: 10.07.2019.
- [Nör18] Nördinger, S.: Drohnen - So lassen sich die Flugroboter in der Industrie nutzen, Teiletransport zwischen Werken oder an der Linie - unbemannte Luftfahrtsysteme haben Potenzial. In: *Produktion, Landsberg*, 57. Jg. (2018), H. 11, S. 4–5.
- [Pfo18] Pfohl, H.-C.: *Logistiksysteme, Betriebswirtschaftliche Grundlagen*. 9., neu bearbeitete und aktualisierte Auflage, Springer Vieweg, Berlin, 2018.
- [Poz18] Poza-Luján, J.-L.; Posadas-Yagüe, J.-L.; Cristóbal, A. et al.: Indoor Drones for the Creative Industries: Distinctive Features/Opportunities in Safety Navigation. In: Santamarina-Campos, V.; Segarra-Oña, M. (Hrsg.): *Drones and the Creative Industry. Innovative Strategies for European SMEs*, Springer International Publishing, Cham 2018, S. 129–141.
- [Ste19] StepStone GmbH: Lagerarbeiter/in Gehälter in Deutschland. StepStone GmbH (Hrsg.), 2019. Online verfügbar unter <https://www.stepstone.de/gehalt/Lagerarbeiter-in.html>, Zuletzt geprüft am: 05.09.2019.
- [VDI10] VDI-Gesellschaft Produktion und Logistik: *Ermittlung der Betriebskosten für Diesel- und Elektro-Gabelstapler*, VDI Verlag GmbH, Düsseldorf. 2010.
- [VDI11] VDI-Gesellschaft Produktion und Logistik: *Analyse der Wirtschaftlichkeit Fahrerloser Transportsysteme (FTS)*, Beuth Verlag GmbH, Berlin. 2011.
- [Ver16] Vergouw, B.; Nagel, H.; Bondt, G. et al.: *Drone Technology: Types, Payloads, Applications, Frequency Spectrum Issues and Future Developments*. In: Custers, B. H. M.: *The future of drone use. Opportunities and threats from ethical and legal perspectives*, Asser Press; Springer, The Hague, Heidelberg 2016, S. 21–45.
- [Wel19] Weller, W.: *Vorschlag einer Drohnenbasierten Verkehrslösung*, 2019. Online verfügbar unter <https://edoc.hu-berlin.de/handle/18452/20560>, Zuletzt geprüft am: 12.08.2019.
- [Wry17] Wrycza, P.; Rotgeri, M.; Hompel, M.: *Spielzeitreduktion autonomer Drohnen für den Transport eiliger Güter durch den Einsatz automatisierter Lastaufnahmemittel im Kontext eines ganzheitlich automatisierten Gesamtsystems*. In: *Logistics Journal: Proceedings*, Vol. 2017.
-
- Benjamin Fritsch, M.Sc.**, Projektingenieur in der Abteilung Logistik, IPH – Institut für Integrierte Produktion Hannover gGmbH. Benjamin Fritsch wurde 1988 in Dresden geboren. Zwischen 2008 und 2016 studierte er Wirtschaftsingenieurwesen an der Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg.
- Antonia Namneck, M.Sc.**, Projektingenieurin in der Abteilung Logistik, IPH – Institut für Integrierte Produktion Hannover gGmbH. Antonia Namneck wurde 1996 in Hannover geboren. Zwischen 2015 und 2020 studierte sie Wirtschaftsingenieurwesen an der Leibniz Universität Hannover.
- Dr.-Ing. Malte Stonis**, Geschäftsführer am IPH – Institut für Integrierte Produktion Hannover gGmbH. Malte Stonis wurde 1979 in Hannover geboren. Zwischen 1998 und 2005 studierte er Maschinenbau an der Universität Hannover.
- Adresse:** IPH-Institut für Integrierte Produktion Hannover gGmbH, Hollerithallee 6, 30419 Hannover, Germany
Phone: 0511 27976 119, Fax: 0511 27976 8888,
E-Mail: info@iph-hannover.de

Förderung: Das IGF-Vorhaben 20261 N „Potenziale und Voraussetzungen für den innerbetrieblichen Einsatz von Drohnen zum Materialtransport“ der Bundesvereinigung Logistik (BVL) e. V. wird über die AiF im Rahmen des Programms zur Förderung der Industriellen Gemeinschaftsforschung (IGF) vom Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi) aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages gefördert.
Für die Förderung sei an dieser Stelle gedankt.