

Erstellung einer Methode zur Kostenkalkulation für sensorbasierte Sortieranlagen in verschiedenen Bereichen des Recyclings

Bachelorarbeit

von

Jan Niklas Ludwig

An der KIT-Fakultät für Informatik
Institut für Anthropomatik und Robotik (IAR) -
Intelligente Prozessautomation und Robotik (IPR)

Erstgutachter:	Prof. Dr.-Ing. Thomas Längle
Zweitgutachter:	Prof. Dr.-Ing.
Erster betreuender Mitarbeiter:	M.Sc. Merle Flitter
Zweiter betreuender Mitarbeiter:	M.Sc. Georg Maier

01. Dezember 2020 – 01. Mai 2021

Institut für Anthropomatik und Robotik (IAR) -
Intelligente Prozessautomation und Robotik (IPR)
KIT-Fakultät für Informatik
Karlsruher Institut für Technologie
Engler-Bunte-Ring 8
76131 Karlsruhe

Jan Niklas Ludwig
Luise-Riegger-Straße 54
76137 Karlsruhe
uoxxa@student.kit.edu

Liste der noch zu erledigenden Punkte

■ hier Paper Vorkonditionierung Küppers und DOE Shredder zitieren	6
■ Vorgehensweise beschreiben	6
■ CCD und FCCCD erläutern	7
■ Relevante Effekte werden durch FTest ermittelt	8
■ Half Normal Plot für wahre und scheinbare Effekte und Residuen	8
■ Anova	8
■	8
■ Rewrite this section	35
■ Stuff	35
■ Rewrite this section	36
■ Rewrite this section	36
■ Stuff	36
Abbildung: Please add some figures	36
■ This I have to do	36
■ This I have to do	36
■ This I have to do	36
■ This I have to do	37
■ This I have to do	37
■ This is copied and needs to be reworded: This I have to do	37
■ This is copied and needs to be reworded:	37
■ IMPORTANT: This I have to do	37
■ IMPORTANT: This I have to do	37
■ CHECK THIS: This I have to do	37
■ CHECK THIS: This I have to do	37
■ Add citet und citep	39

Ich versichere wahrheitsgemäß, die Arbeit selbstständig angefertigt, alle benutzten Hilfsmittel vollständig und genau angegeben und alles kenntlich gemacht zu haben, was aus Arbeiten anderer unverändert oder mit Abänderungen entnommen wurde.

Karlsruhe, 29. Januar 2021

.....
(Jan Niklas Ludwig)

Add Acknowledgments if you like!

Inhaltsverzeichnis

1. Einleitung	1
1.1. Problemstellung	1
1.2. Ziel der Arbeit	1
1.3. Lösungskonzept	1
2. Stand der Wissenschaft und Technik	3
2.1. Vorgaben zu Wiederverwendungs- und Recyclingquoten	3
2.2. Statistische Versuchsplanung	6
2.3. Schüttgut im Recycling	10
2.3.1. Kunststoffsortierung, Baustoffrecycling, Glasrecycling,	10
2.4. Sensorbasierte Sortierung	10
2.5. Tablesort - Systembeschreibung	10
3. Kostenfaktoren der sensorbasierten Sortierung	11
3.1. Aufteilung der Kosten einer sensorbasierten Sortiermaschine	11
3.1.1. Fixkosten	11
3.1.2. Variable Kosten	11
3.2. Einfluss der Vorkonditionierung	11
4. Versuche	13
4.1. Statistische Versuchsplanung	13
4.2. Planung der Versuche	13
4.3. Versuchsdurchführung	13
4.4. Auswertung und Interpretation der Ergebnisse	13
5. Erstellung eines Kostenmodells	15
5.1. Kostenfunktion	15
5.2. Benutzerschnittstelle	15
6. Ergebnisse	17
7. Diskussion	19
8. Zusammenfassung und Ausblick	21
Anhang	25
A. First Appendix Section	25
Abbildungsverzeichnis	27
Tabellenverzeichnis	29
Listings	31

List of Algorithms	33
9. How to use this Template	35
9.1. Getting Started	35
9.2. Inline lists	35
9.3. Todos	35
9.3.1. User defined version of ToDos for easier usage	36
9.4. Glossaries and Acronyms	38
9.5. Nomenclature	38
9.6. SI Units	38
9.7. Tables	38
9.8. Figures	39
9.9. Subfigures	39
9.10. Citation	39
9.10.1. Multiple citations	39
9.10.2. More powerfull cite commands: \citet and \citep	39
9.11. Using Hyperlinks	40
9.12. Equations	40
9.13. Inline comments	41
9.14. After Review marking	41
9.15. Finalizing the Document	41

1. Einleitung

1.1. Problemstellung

1.2. Ziel der Arbeit

1.3. Lösungskonzept

2. Stand der Wissenschaft und Technik

2.1. Vorgaben zu Wiederverwendungs- und Recyclingquoten

Im Jahr 2018 wurden in Deutschland rund 362 Millionen Tonnen Abfälle erfasst [5]. Das sind etwa drei Millionen Tonnen Abfälle mehr als im Vorjahr und führt den seit 2012 steigenden Trend fort. Das Gesamtabfallaufkommen setzt sich zusammen aus Bau- und Abbruchabfällen, Siedlungsabfällen, gefährlichen Abfällen und Abfällen aus Produktion und Gewerbe.

Wie in Bilitewski [3] beschrieben, ist in den vergangenen 50 Jahren eines der Ziele der Abfallwirtschaft in den Vordergrund gerückt, nämlich die Entsorgungswege so zu gestalten, dass das Wohl der Allgemeinheit nicht beeinträchtigt wird.

Unter dem Begriff Abfallwirtschaft versteht man "[...] die Summe aller Maßnahmen zur Vermeidung, möglichst schadlosen Behandlung, Wieder- und Weiterverwendung, Verwertung als Ressource und endgültigen Unterbringung von Abfällen aller Art unter der Berücksichtigung ökologischer und ökonomischer Gesichtspunkte" [3].

Für die Entsorgung und die Wiederverwendung von Abfällen gelten strenge Richtlinien und Anforderungen, wie die Europäische Abfallrahmenrichtlinie und das Kreislaufwirtschaftsgesetz auf Bundesebene. Die diesbezüglich in Art. 4 Abs. 1 lit. a-e Europäische Abfallrahmenrichtlinie und in §6 KrWG festgelegte Abfallhierarchie ist eine Prioritätenfolge und dient sowohl der Abfallvermeidung, als auch der Abfallbewirtschaftung [6]. Am wichtigsten ist gemäß dieser Abfallhierarchie die Vermeidung, danach folgt die Vorbereitung zur Wiederverwendung, das Recycling, sonstige Verwertungsmaßnahmen und als letzte Stufe die Beseitigung.

Die Begriffe Verwertung, Wiederverwendung und Recycling müssen für ein besseres Verständnis voneinander abgegrenzt werden. Alle drei Begriffe sind in Abfallrahmenrichtlinie definiert.

Die Verwertung umfasst demnach „jedes Verfahren, als dessen Hauptergebnis Abfälle innerhalb der Anlage oder in der weiteren Wirtschaft einem sinnvollen Zweck zugeführt werden, indem sie andere Materialien ersetzen, die ansonsten zur Erfüllung einer bestimmten Funktion verwendet worden wären, oder die Abfälle so vorbereitet werden, dass sie diese Funktion erfüllen.“[6].

Unterteilt ist die Verwertung in drei Arten. Die rohstoffliche Verwertung, die werkstoffliche Verwertung und die energetische Verwertung [3].

Somit schließt die Verwertung Wiederverwendungs- und Recyclingverfahren, die zur roh- und werkstofflichen Verwertung gehören, mit ein. Zu beachten ist aber, dass auch die Nutzung der Abfälle als Ersatzbrennstoff oder als anderes Mittel der Energieerzeugung in bestimmten Verbrennungsanlagen als Verwertung gilt.

Als Wiederverwendung bezeichnet man „jedes Verfahren, bei dem Erzeugnisse oder Bestandteile, die keine Abfälle sind, wieder für denselben Zweck verwendet werden, für den sie ursprünglich bestimmt waren.“[6]. Auch die Vorbereitung zur Wiederverwendung ist eine Art der Abfallvermeidung und wird in den Wiederverwendungs- und Recyclingquoten berücksichtigt.

Recycling umfasst "jedes Verwertungsverfahren, durch das Abfallmaterialien zu Erzeugnissen, Materialien oder Stoffen entweder für den ursprünglichen Zweck oder für andere Zwecke aufbereitet werden. Es schließt die Aufbereitung organischer Materialien ein, aber nicht die energetische Verwertung und die Aufbereitung zu Materialien, die für die Verwendung als Brennstoff oder zur Verfüllung bestimmt sind"[6]. Diese Verfahren finden gerade bei Stoffen wie Papier, Pappe, Kunststoff, Glas, Baustoffen, Metallen und Holz Anwendung.

Der in der Abfallrahmenrichtlinie für 2020 festgelegte Mindestanteil für die Vorbereitung zur Wiederverwendung und dem Recycling von Siedlungsabfällen liegt bei 50 Gewichtsprozent. Die Vorgabe für Bau- und Abbruchabfälle, welche in Europa einen Anteil von circa 32 Gewichtsprozent des gesamten Abfallaufkommens ausmachen, liegt bei 70 Gewichtsprozent. Des Weiteren existieren europäische Vorgaben zur Wiederverwendung und dem Recycling von Siedlungsabfällen. Bis zum Jahr 2025 sollen 55 Gewichtsprozent, bis 2030 60 Gewichtsprozent und bis 2035 65 Gewichtsprozent der gesamten Siedlungsabfälle der Kreislaufwirtschaft zugeführt werden [6]. Diese beiden Vorgaben wurden aus der EU-Verordnung in das deutsche Kreislaufwirtschaftsgesetz übernommen.

Die tatsächliche Wiederwerwendungs- und Recyclingquote von Siedlungsabfällen lag 2018 in Deutschland bei 68 Gewichtsprozent [5], was im Europäischen Vergleich der höchste Wert ist [2]. Auch in Bezug auf die Wiederwerwendungs- und Recyclingquote von nicht gefährlichen Bau- und Abbruchabfällen, welche 2018 in Deutschland bei 89 Gewichtsprozent lag [5], werden die europäischen Vorgaben eingehalten.

Ein rohstoffreicher Teil der Siedlungsabfälle sind Verpackungen. Für die verschiedenen Fraktionen gelten individuelle Recyclingquoten, die in EU-Richtlinie 94/62/EG, sowie im §16 Verpackungsgesetz [14] geregelt sind (siehe 2.1). Im Jahr 2017 lag der Recyclinganteil der gesamten Kunststofffraktion bei 48,7% [1].

In der EU-Richtlinie wird die Vorgabe gemacht, bis 2025 mindestens 65 Gewichtsprozent der Verpackungsabfälle zu recyceln und dabei die folgenden Quoten zu erreichen 2.2.

Durch diese Vorgaben wird die Recyclingbranche vor neue Aufgaben gestellt und es müssen neue Technologien gefunden und bestehende Systeme verbessert werden. Ein Beispiel für eine etablierte Technologie in diesem Bereich ist die automatische optische Sortierung. Wie in Bilitewski [3] beschrieben, findet die optische Sortiertechnik in Sortieranlagen für Abfälle seit über 20 Jahren Anwendung und wird für die Sortierung von Farbglas, Verpackungs- und technischen Kunststoffen, Verbundverpackungen und Papier genutzt.

	bisher	bis 2022
Glas	80%	90%
Papier, Pappe, Karton	85%	90%
Eisenmetalle	80%	90%
Aluminium	80%	90%
Kunststoffe	65%	70%
Getränkekartonverpackungen	75%	80%
sonstige Verbundverpackungen	55%	70%

Tabelle 2.1.: Vorgaben zu Wiederverwendungs- und Recyclingquoten aus §16 Verpackungsgesetz

	bis 2025	bis 2030
Verpackungsabfälle gesamt	65%	70%
Glas	70%	75%
Papier, Pappe, Karton	75%	85%
Eisenmetalle	70%	80%
Aluminium	50%	60%
Kunststoffe	50%	55%

Tabelle 2.2.: Vorgaben zu Wiederverwendungs- und Recyclingquoten aus EU-Richtlinie 94/62/EG [7]

2.2. Statistische Versuchsplanung

Für die Planung von Versuchen lässt sich auf eine Vielzahl von Vorgehensweisen zurückgreifen. Das grundsätzliche Ziel ist jedoch meistens dasselbe, nämlich den Einfluss verschiedener Faktoren auf die relevanten Zielgrößen zu ermitteln. Vorgehen wie die Ein-Faktor-Methode sind allerdings in den meisten Fällen nicht ausreichend aufschlussreich. Bei dieser Methode wird immer nur ein Einflussfaktor variiert, während die anderen Faktoren konstant gehalten werden. Dies führt einerseits zu einer sehr hohen Anzahl an Versuchen, aber auch dazu, dass bei Wechselwirkungen unter den Einflussfaktoren falsche Schlussfolgerungen gezogen werden und ist daher nicht für jedes Szenario geeignet.

Ein Vorgehen, was nicht nur solche Wechselwirkungen erkennbar machen kann, sondern auch den Versuchsumfang überschaubar hält ist die sogenannte Statistische Versuchsplanung. Hierbei handelt es sich um ein standardisiertes Vorgehen in der Versuchsplanung und -auswertung. Die Methode unterscheidet sich dadurch vom Ein-Faktor-Verfahren, dass mehrere Faktoren gleichzeitig variiert werden. Dies sorgt dafür, dass nicht nur die einzelnen Effekte der Faktoren erkannt werden, sondern auch die Wechselwirkungen dieser untereinander.

In dieser Arbeit wird die statistische Versuchsplanung für die Planung und Auswertung der Technikumsversuche verwendet. Hierdurch wird die Vorgehensweise erläutert und kann auch für Versuche im naturgetreuen Umfang eine Hilfestellung bieten. Gerade in Bezug auf die in 2.1 beschriebenen wachsenden Anforderungen an die Recyclingbranche, sorgen dafür, dass neue Trennverfahren erprobt, oder bestehende Verfahren verbessert werden müssen

hier Paper Vorkonditionierung Küppers und DOE Shredder zitieren

. Um Versuche so realistisch wie möglich zu gestalten, reicht der Technikumsumfang meist nicht aus. Bei der Durchführung von Versuchen im naturgetreuen Umfang entstehen hohe Kosten für die Versuche, welche es aus wirtschaftlichem Aspekt zu minimieren gilt.

Vorgehensweise beschreiben

Wie in Siebertz et al. [13] beschrieben, ist die Vorgehensweise bei der statistischen Versuchsplanung weltweit standardisiert. Zunächst muss das zu untersuchende System abgegrenzt werden. Dafür werden die Parameter, Faktoren und Qualitätsmerkmale identifiziert. Als Parameter bezeichnet man laut [13] alle Eingangsgrößen. Aus diesen wählt man anschließend diejenigen aus, deren Einfluss auf die Qualitätsmerkmale untersucht werden soll. Die in dieser Teilmenge vorhandenen Parameter werden Faktoren genannt. Ergebnisse eines Systems - zum Beispiel die Sortierqualität einer Sortiermaschine - lassen sich in den meisten Fällen quantifizieren. Diese "messbaren Ergebnisse"[13] werden Qualitätsmerkmale genannt.

Die Einstellungen, welche für die verschiedenen Faktoren in den Versuchen verwendet werden, werden im Vorhinein auf verschiedene Stufen festgelegt [13]. Es ist hierbei wichtig, geeignete Stufenabstände zu wählen, da der tatsächliche Einfluss eines Faktors bei zu kleinen Abständen nicht vom Messrauschen zu unterscheiden ist.

Nachdem die Faktoren und Qualitätsmerkmale festgelegt wurden, muss ein passender Versuchsplan gefunden werden. Wie schon erwähnt zeichnet sich die statistische Versuchsplanung dadurch aus, dass sie den Versuchsaufwand überschaubar hält und trotzdem

	F1	F2	F3	F1xF2	F1xF3	F2xF3	F1xF2xF3
1	-	-	-	+	+	+	-
2	+	-	-	-	-	+	+
3	-	+	-	-	+	-	+
4	+	+	-	+	-	-	-
5	-	-	+	+	-	-	+
6	+	-	+	-	+	-	-
7	-	+	+	-	-	+	-
8	+	+	+	+	+	+	+

Tabelle 2.3.: Vollfaktorieller Versuchsplan für 3 Faktoren auf 2 Stufen mit allen Kombinationen

gute Ergebnisse liefert. Grund dafür ist der orthogonale Aufbau der Versuchspläne. Laut Siebertz et al. [13] spricht man von einem orthogonalen Versuchsplan dann, „wenn keine Kombination aus jeweils zwei Spalten miteinander korreliert.“ Dadurch hängt keines der Einstellungsmuster für einen Faktor von einem Anderen ab, wodurch diese unabhängig voneinander sind. Somit kann der jeweilige Effekt, den Faktoren auf die Qualitätsmerkmale haben, berechnet werden. Auch die Wechselwirkungen unter mehreren Faktoren können so ermittelt werden. Am anschaulichsten wird dies an einem vollfaktoriellen Versuchsplan (siehe 2.3).

Dass die oben genannten Vorteile der statistischen Versuchsplanung in fast allen Anwendungsfällen gelten liegt laut Siebertz et al. [13] an den verschiedenen Versuchsplandesigns für unterschiedliche Problemstellungen. Die Autoren sprechen hier von Screening Versuchsplänen, Versuchsplänen für ein quadratisches Beschreibungsmodell, Mischungspläne, und maßgeschneiderten Versuchsplänen.

Wie in Siebertz et al. [13] beschrieben, sind Screening Versuchspläne dann geeignet, wenn eine hohe Zahl an Faktoren vorhanden ist. Versuchspläne für ein quadratisches Beschreibungsmodell eignen sich dann, wenn nichtlineare Zusammenhänge zwischen Faktor und Qualitätsmerkmal erwartet werden. Hier reicht ein zweistufiger Versuchsplan nicht aus und es muss mindestens eine mittlere Stufe festgelegt werden. Die Autoren in Siebertz et al. [13] nennen diesbezüglich das Central-Composite-Design und das Face-Centered-Central-Composite-Design, welche auf einem zweistufigen Versuchsplan aufbauen und durch zusätzliche Versuche nichtlineare Zusammenhänge erkennbar machen. Das Vorgehen der Versuchsplanung und -Durchführung mit dem Face-Centered-Central-Composite-Design wird in Qin et al. [11] beschrieben.

CCD und FCCCD erläutern

Weitere Designs für quadratische Beschreibungsmodelle sind das Box-Behnken-Design und das Monte-Carlo-Verfahren.

Auch Beschreibungsmodelle höherer Ordnung können mithilfe der statistischen Versuchsplanung erstellt werden. Dies geht aber mit umfangreicheren Versuchsplänen einher und kann zu sogenanntem Overfitting des Modells an die Versuchsdaten führen [13]. Anomalien, welche bei der Versuchsdurchführung einmalig auftreten, könnten dadurch ein sehr feines Modell verfälschen. Daher wird in Siebertz et al. [13] auch darauf hingewiesen, dass die Nichtlinearität in den meisten Fällen überschätzt wird und somit zweistufige Ver-

suchspläne bei passend gewählten Stufenabständen zu guten Ergebnissen führen, um die Zusammenhänge im System zu ermitteln.

In der Verfahrenstechnik und der Chemie werden oft Mischungspläne eingesetzt [13]. Diese eignen sich für das Finden von optimalen Mischverhältnissen mit der Nebenbedingung, dass die Summe aller Mischanteile 100% ist.

Zuletzt besteht auch die Möglichkeit individuell erstellte Versuchspläne zu erstellen. In [8] wird dies bei Versuchen im naturgetreuen Umfang umgesetzt. Die Versuche dienen dazu, die optimalen Einstellungen für eine Zerkleinerung von gemischten Siedlungsabfällen zu finden. Hier wurde der mögliche Versuchsumfang durch Faktoren beschränkt, wie die hohen Kosten der einzelnen Versuchsläufe und der Fakt dass das Inputmaterial nicht wiederverwendet werden konnte.

Relevante Effekte werden durch FTest ermittelt

Nachdem der passende Versuchsplan für das vorliegende Szenario aufgestellt wurde, ist es wichtig, die benötigte Anzahl an Versuchswiederholungen zu berechnen. Diese ist relevant für die Auswertung der Versuchsergebnisse.

Das liegt daran, dass die Signifikanz der Effekte mithilfe der sogenannten Varianzanalyse nach Ronald Aylmer Fisher getestet wird. Ziel dieser ist es, wie auch in Siebertz et al. [13] beschrieben, „Mittelwerte in verschiedenen Gruppen [...] auf signifikante Unterschiede zu vergleichen.“ Die Gruppierung richtet sich in der statistischen Versuchsplanung nach den Stufen der Faktoren.

Wie bei jedem Hypothesentest wird eine Nullhypothese aufgestellt. Man unterstellt hierbei, dass der Faktor keinen signifikanten Effekt hat [13]. Nun bestehen zwei Risiken für ein fehlerhaftes Entscheiden. Das sogenannte α -Risiko beschreibt die Wahrscheinlichkeit für einen Fehler 1. Art. Das bedeutet, man lehnt die Nullhypothese ab, obwohl sie eigentlich wahr ist. In anderen Worten wird der Effekt als signifikant angenommen, obwohl er dies nicht ist.

Der zweite Mögliche Fehler ist der Fehler 2. Art. Dieser liegt vor, wenn die Nullhypothese nicht abgelehnt wird, obwohl sie falsch ist. In diesem Fall würde man also einen signifikanten Effekt nicht erkennen. Das Risiko hierfür wird β -Risiko genannt.

Wie auch in Siebertz et al. [13] beschrieben sinken die Risiken für eine Fehlentscheidung mit zunehmend großer Stichprobengröße.

Der richtige Versuchsumfang hängt also von verschiedenen Größen ab [13]. Zunächst ist entscheidend, wie viel Risiko für die eben genannten Fehlentscheidungen vertretbar ist. Des weiteren muss die Standardabweichung der Messgrößen miteinbezogen werden. Je höher diese Standardabweichung ist, desto mehr Versuche werden benötigt, um statistisch signifikante Effekte vom Rauschen unterscheiden zu können [13]. Die Standardabweichung kann durch Vorversuche ermittelt werden.

Zuletzt muss ein Abstand δ festgelegt werden, ab dem Effekte als praktisch signifikant gelten [13]. Aus A.1 ergibt sich die benötigte Versuchsanzahl.

Half Normal Plot für wahre und scheinbare Effekte und Residuen

Anova

Δ/σ		$\alpha=10\%$				$\alpha=5\%$				$\alpha=1\%$			
		60%	70%	80%	90%	60%	70%	80%	90%	60%	70%	80%	90%
2 Stufen	0.50	30	39	51	70	41	51	64	86	66	79	96	121
	0.75	14	18	23	32	19	23	29	39	31	36	44	55
	1.00	8	11	14	18	11	14	17	23	18	21	26	32
	1.50	5	6	7	9	6	7	9	11	9	11	13	15
	2.00	3	4	4	6	4	5	6	7	6	7	8	10
	2.50	3	3	3	4	3	4	4	5	5	5	6	7
	3.00	2	3	3	3	3	3	4	4	4	5	5	6
	3.50	2	2	3	3	3	3	3	4	4	4	4	5
	4.00	2	2	2	3	3	3	3	3	3	4	4	4
3 Stufen	0.50	39	49	63	85	51	63	79	103	80	95	113	141
	0.75	18	23	29	38	24	29	36	47	37	43	51	64
	1.00	11	13	17	22	14	17	21	27	22	25	30	37
	1.50	6	7	8	11	7	8	10	13	11	12	14	18
	2.00	4	4	5	7	5	5	6	8	7	8	9	11
	2.50	3	3	4	5	4	4	5	6	5	6	7	8
	3.00	3	3	3	4	3	3	4	5	4	5	5	6
	3.50	2	3	3	3	3	3	3	4	4	4	4	5
	4.00	2	2	3	3	3	3	3	3	3	4	4	4
4 Stufen	0.50	45	56	72	96	59	72	89	115	90	106	126	156
	0.75	21	26	33	43	27	33	40	52	41	48	57	70
	1.00	12	15	19	25	16	19	23	30	24	28	33	40
	1.50	6	7	9	12	8	9	11	14	12	13	16	19
	2.00	4	5	6	7	5	6	7	9	7	8	10	12
	2.50	3	4	4	5	4	4	5	6	6	6	7	8
	3.00	3	3	3	4	3	4	4	5	4	5	5	6
	3.50	2	3	3	3	3	3	3	4	4	4	5	5
	4.00	2	2	3	3	3	3	3	3	3	4	4	4
5 Stufen	0.50	50	62	79	104	65	79	97	125	98	115	136	168
	0.75	23	28	36	47	30	36	44	56	45	52	61	76
	1.00	13	17	21	27	17	21	25	32	26	30	35	43
	2.00	4	5	6	8	5	6	7	9	8	9	10	12
	2.50	3	4	4	5	4	5	5	6	6	6	7	9
	3.00	3	3	4	4	3	4	4	5	5	5	6	7
	3.50	2	3	3	4	3	3	4	4	4	4	5	5
	4.00	2	2	3	3	3	3	3	4	3	4	4	5

2.3. Schüttgut im Recycling

2.3.1. Kunststoffsortierung, Baustoffrecycling, Glasrecycling, ...

2.4. Sensorbasierte Sortierung

2.5. Tablesort - Systembeschreibung

3. Kostenfaktoren der sensorbasierten Sortierung

See the section 9.

3.1. Aufteilung der Kosten einer sensorbasierten Sortiermaschine

3.1.1. Fixkosten

3.1.2. Variable Kosten

3.2. Einfluss der Vorkonditionierung

4. Versuche

See the section 9.

4.1. Statistische Versuchsplanung

4.2. Planung der Versuche

4.3. Versuchsdurchführung

4.4. Auswertung und Interpretation der Ergebnisse

5. Erstellung eines Kostenmodells

See the section 9.

5.1. Kostenfunktion

5.2. Benutzerschnittstelle

6. Ergebnisse

...

7. Diskussion

...

8. Zusammenfassung und Ausblick

...

Literaturverzeichnis

- [1] Das bmu klärt auf zum thema plastikrecycling. <https://www.bmu.de/en/report/das-bmu-klaert-auf-zum-thema-plastikrecycling/>. URL <https://www.bmu.de/en/report/das-bmu-klaert-auf-zum-thema-plastikrecycling/>. Eingesehen am 03.01.2021.
- [2] Abfallwirtschaft in der eu: Zahlen und fakten (europäisches parlament). <https://www.europarl.europa.eu/news/de/headlines/society/20180328ST000751/abfallwirtschaft-in-der-eu-zahlen-und-fakten>. URL <https://www.europarl.europa.eu/news/de/headlines/society/20180328ST000751/abfallwirtschaft-in-der-eu-zahlen-und-fakten>. Eingesehen am 02.01.2021.
- [3] Bernd Bilitewski. *Abfallwirtschaft*. ISBN 9783540795308.
- [4] M. Deininger. *Studien-Arbeiten: ein Leitfaden zur Vorbereitung, Durchführung und Betreuung von Studien-, Diplom- und Doktorarbeiten am Beispiel Informatik*. vdf, 2005. ISBN 9783728130129. URL <https://books.google.de/books?id=9vmtUu-812kC>.
- [5] DESTATIS. Umwelt - Abfallbilanz. *Statistisches Bundesamt DESTATIS*, 49(0):2, 2018.
- [6] EU Richtlinie. Europäische Abfallrahmenrichtlinie 2008/98/EG. pages 3–30, 2008.
- [7] Europäische Kommission. MITTEILUNG DER KOMMISSION AN DAS EUROPÄISCHE PARLAMENT, DEN RAT, DEN EUROPÄISCHEN WIRTSCHAFTS- UND SOZIALAUSSCHUSS UND DEN AUSSCHUSS DER REGIONEN Eine europäische Strategie für Kunststoffe in der Kreislaufwirtschaft. pages 1–21, 2018.
- [8] K Khodier, C Feyerer, S Möllnitz, A Curtis, and R Sarc. Efficient derivation of significant results from mechanical processing experiments with mixed solid waste: Coarse-shredding of commercial waste. *Waste Management*, 121:164–174, 2021. ISSN 18792456. doi: 10.1016/j.wasman.2020.12.015. URL <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2020.12.015>.
- [9] Torsten Kroger and Friedrich M. Wahl. Multi-sensor integration and sensor fusion in industrial manipulation: Hybrid switched control, trajectory generation, and software development. In *2008 IEEE International Conference on Multisensor Fusion and Integration for Intelligent Systems*, pages 411–418, Aug 2008. doi: 10.1109/MFI.2008.4648030.
- [10] Tad McGeer. Passive Dynamic Walking. *The International Journal of Robotics Research*, 9(2):62–82, 1990. doi: 10.1177/0278364990000900206. URL <http://ijr.sagepub.com/content/9/2/62.abstract>.

- [11] Yufei Qin, Jiang Wu, Quan Zhou, and Zhenming Xu. Quadratic nonlinear models for optimizing electrostatic separation of crushed waste printed circuit boards using response surface methodology. *Journal of Hazardous Materials*, 167(1-3):1038–1043, 2009. ISSN 03043894. doi: 10.1016/j.jhazmat.2009.01.088.
- [12] Natalie Rudolph. *Einführung Kunststoffrecycling*. Carl Hanser Verlag München, 2020. ISBN 9783446458802.
- [13] Karl Siebertz, David van Bebber, and Thomas Hochkirchen. *Statistische Versuchsplanung*, volume 2. Springer Vieweg, 2017. ISBN 9783662557426. doi: 10.3139/9783446439924.022.
- [14] VerpackG. Gesetz über das Inverkehrbringen, die Rücknahme und die hochwertige Verwertung von Verpackungen (Verpackungsgesetz - VerpackG). (4):VerpackG, 2017. URL www.gesetze-im-internet.de.

Anhang

A. First Appendix Section

ein Bild

Abbildung A.1.: A figure

...

Abbildungsverzeichnis

A.1. A figure	25
.1. Figures have caption under. If you use figures from other work, do not forget to reference them [4].	39
.2. Pictures of Logos	39

Tabellenverzeichnis

2.1. Vorgaben zu Wiederverwendungs- und Recyclingquoten aus §16 Verpackungs- gesetz	5
2.2. Vorgaben zu Wiederverwendungs- und Recyclingquoten aus EU-Richtlinie 94/62/EG [7]	5
2.3. Vollfaktorieller Versuchsplan für 3 Faktoren auf 2 Stufen mit allen Kom- binationen	7
.1. Tables have caption on top.	38

Listings

List of Algorithms

BibTex Eintrag für dieser Arbeit

```
@mastersthesis{Jan Niklas Ludwig_01. Mai 2021,  
  author = {Jan Niklas Ludwig},  
  editor = {M.Sc. Merle Flitter, M.Sc. Georg Maier},  
  ipr-thesis = Bachelorarbeit,  
  keywords = {Keywords, of, my, Thesis, Keywords, of, my, Thesis, Keywords, of,  
my, Thesis, Keywords, of, my, Thesis, Keywords, of, my, Thesis, Keywords, of, my, The-  
sis, Keywords, of, my, Thesis},  
  location = {Karlsruhe, Germany},  
  month = ,  
  pages = ,  
  school = {Karlsruhe Institute of Technology},  
  title = {Erstellung einer Methode zur Kostenkalkulation für sensorbasierte Sortier-  
anlagen in verschiedenen Bereichen des Recyclings},  
  year = {01. Mai 2021}  
}
```

9. How to use this Template

IMPORTANT: This chapter will disappear when you add final parameter on the document. See section 9.15.

9.1. Getting Started

Initially you **should only edit** the `My_document_info.tex` with important data regarding your work.

Add **content** in files in `Content` folder.

Add **bibliography** in the file `Bibliography/my_thesis_bibliography.bib` or just add a file from your supervisor in the `Bibliography` folder and reference it in the `\mybibliographyfiles` command in the `My_document_info.tex` file.

As an useful aid in all scientific work following book is recommended: [4].

9.2. Inline lists

My robot can: (i) forward and backward movements, (ii) sideways movements, (iii) rotation along any curve in space, (iv) place of artificial forces along paths.

(1) the independently controllable wheels; (2) the rechargeable battery pack; (3) the Sick LMS100 laser range scanner; (4) the force-torque sensor; (5) the handlebar for controlling the robotic device

<https://ctan.math.illinois.edu/macros/latex/contrib/enumitem/enumitem.pdf>

9.3. Todos

Todo command can be used in multiple form and parameters set. You can set todos on the right side with commands:

```
\todo{Rewrite this section}
\todo[color=green]{Stuff}
```

which render as: _____

You can also create inline todos with command:

Rewrite
this section

Stuff

9. How to use this Template

```
\todo[inline]{Rewrite this section}  
\todo[inline,color=green]{Rewrite this section}  
\todoin{Stuff}
```

which renders as:

Rewrite this section

Rewrite this section

Stuff

One can also use command for figure placeholder with command:

```
\missingfigure{Please add some figures}
```

which renders as:



9.3.1. User defined version of ToDos for easier usage

Short for inline

```
\todoin{This I have to do}
```

This I have to do

Remember to rewrite something better

```
\todoBetter{This I have to do}
```

```
\todoBetterin{This I have to do}
```

This I
have to
do

This I have to do

Remember to add some stuff later

This I have to do

```
\todoAdd{This I have to do}
```

```
\todoAddin{This I have to do}
```

This I have to do

Remember to remove some copy-pasted text

```
\todoCopied{This I have to do}
```

```
\todoCopiedin{This I have to do}
```

This is copied and needs to be reworded:

This I have to do

This is copied and needs to be reworded: This I have to do

Remember that something is important to consider in the future

```
\todoImportant{This I have to do}
```

```
\todoImportantin{This I have to do}
```

IMPORTANT: This I have to do

IMPORTANT: This I have to do

Remember that something need to be checked

```
\todoCheckThis{This I have to do}
```

```
\todoCheckThisin{This I have to do}
```

CHECK THIS: This I have to do

CHECK THIS: This I have to do

9.4. Glossaries and Acronyms

Please use `glossaries` package for this. See *documentation*.

Example (Acronym):

```
\newacronym{ipr}{IAR-IPR}{Institute for Anthropomatics and Robotics - Intellig
```

is used by

```
\gls{ipr}
```

rendering as “Institute for Anthropomatics and Robotics - Intelligent Process Control and Robotics (IAR-IPR)”, on the first use and as “IAR-IPR” on every following use. For further feature see *documentation*.

Please keep in mind that one has to call *external commands* for glossaries to work.

9.5. Nomenclature

For more details see *example*.

Use following command: `\nomenclature{IAR-IPR}{Institute for Anthropomatics and Robotics (IAR) - Intelligent Process Control and Robotics (IPR)}`

9.6. SI Units

Please use `siunitx` package for this. See: <https://ctan.org/pkg/siunitx>

9.7. Tables

Tabelle .1.: Tables have caption on top.

Object	Speed [cm/s]	Inner LR [cm]	Inner UR [cm]
<i>Pitcher</i>	real	n/a	5.65
	4.60	3.71 ± 0.67	5.09 ± 2.23
	10.64	3.55 ± 0.57	6.14 ± 0.69
Cookie O	real	7.55	7.55
	4.60	6.98 ± 0.27	6.98 ± 0.27
	10.64	6.77 ± 0.26	6.77 ± 0.26

Use `\longtable` for tables over multiple pages. See *documentation*.

9.8. Figures



Abbildung .1.: Figures have caption under. If you use figures from other work, do not forget to reference them [4].

9.9. Subfigures



Abbildung .2.: Pictures of Logos

9.10. Citation

Add citet und citep

9.10.1. Multiple citations

Use multiple citation like this:

```
\cite{deiningner2005studien, deiningner2005studien}
```

rendered as “[4, 4]”.

9.10.2. More powerfull cite commands: \citet and \citep

For comprehensive description please check *the natbib documentation*.

Rather than using the awkward construction¹

```
\cite{deiningner2005studien} describes...
```

rendered as “[4] demonstrated...,” or the inconvenient [12]

¹The example is from the template for the conference *Robotic Science and Systems*.

Deininger \cite{deininger2005studien} describes...

rendered as “Deininger [4] demonstrated...”, one can write

\citet{deininger2005studien} describes...

which renders as “Deininger [4] demonstrated...” and is both easy to write and much easier to read.

Citing specific chapter:

Kroger and Wahl [9, sec. III]

[9, sec. III]

For more examples check *the natbib documentation*.

9.11. Using Hyperlinks

Please use the ability of PDF viewers to interpret hyperlinks², specifically to allow each reference in the bibliography to be a link to an online version of the reference. As an example, if you were to cite “Passive Dynamic Walking” [10], the entry in the bibtex would read:

```
@article{McGeer01041990,
  author = {McGeer, Tad},
  title = {\href{http://ijr.sagepub.com/content/9/2/62.abstract}{Passive Dynamic Walking}},
  volume = {9},
  number = {2},
  pages = {62–82},
  year = {1990},
  doi = {10.1177/027836499000900206},
  URL = {http://ijr.sagepub.com/content/9/2/62.abstract},
  eprint = {http://ijr.sagepub.com/content/9/2/62.full.pdf+html},
  journal = {The International Journal of Robotics Research}
}
```

and the entry in the compiled PDF would look like:

[1] Tad McGeer. Passive Dynamic Walking. *The International Journal of Robotics Research*, 9(2):62–82, 1990.

where the title of the article is a link that takes you to the article on IJRR’s website.

Also use this for adding links into text as done in the ². For more information see documentation on wikibooks. The `hyperref` package is already configured for this document in `KIT_document_setup.tex` file.

9.12. Equations

Use numbered equations:

$$m \cdot \ddot{x}(t) + d \cdot \dot{x}(t) = F(t) \tag{9.1}$$

²The example is from the template for the conference *Robotic Science and Systems*.

9.13. Inline comments

Use command `\comment{}` for inline comments.

9.14. After Review marking

Use command `\afterReview{}` for marking text parts as **changed**.

9.15. Finalizing the Document

Please check here: https://github.com/KITrobotics/Latex_Template/blob/master/README.md#finalizing-document