

Hochschule für Angewandte Wissenschaften Hamburg
Fakultät Life Sciences

Entwicklung eines Messsystems für die Ermittlung von Turmschwingungen stehend transportierter WEA-Türme via Schiff bis zur Anwendungsreife

Bachelorarbeit

im Studiengang Umwelttechnik

vorgelegt von

Kaja Aniol

■■■■■■

Hamburg

Am 24. Juli 2017

Gutachter: Prof. Dr. Holger Schwarze (HAW Hamburg)

Gutachter: Dipl.-Ing (FH) Marten Seifert (RECASE Regenerative Energien GmbH)

Die Abschlussarbeit wurde betreut und erstellt in Zusammenarbeit mit der Firma RECASE
Regenerative Energien GmbH

Eidesstattliche Erklärung

Ich versichere hiermit, dass ich die vorliegende Bachelorarbeit mit dem o.a. formulierten Thema ohne fremde Hilfe selbstständig verfasst und nur die angegebenen Quellen und Hilfsmittel verwendet habe. Wörtlich oder dem Sinn nach aus anderen Werken entnommene Stellen sind unter Angabe der Quelle kenntlich gemacht.

Ort, Datum

Kaja Aniol

Danksagung

An dieser Stelle möchte ich allen danken, die durch ihre fachliche und persönliche Unterstützung zum Gelingen dieser Bachelorarbeit beigetragen haben.

Bedanken möchte ich mich bei der RECASE – Regenerative Energien GmbH, besonders bei Marten Seifert, für die Unterstützung bei der Themenfindung und Ausarbeitung der Bachelorarbeit.

Ebenso richtet sich mein Dank an Prof. Dr. Holger Schwarze für die Annahme meine Bachelorarbeit und die fachliche Unterstützung.

Mein besonderer Dank gilt meiner Familie, insbesondere meinen Eltern, die mir mein Studium ermöglicht und mich in all meinen Entscheidungen unterstützt haben.

Herzlich bedanken möchte ich mich auch bei meinem Freund, der mich immer wieder ermutigte und mit nützlichen Tipps einen wesentlichen Teil zur Bachelorarbeit beigetragen hat.

Schließlich danke ich meinen Freunden, die mich während der Studienzeit unterstützt haben, für vier schöne Jahre.

Zusammenfassung

Diese Bachelorarbeit behandelt die Auswahl und projektspezifische Entwicklung eines Messsystems zur Überwachung von Schwingungen von stehend auf See transportierten Windenergieanlagentürmen.

Die Überwachung der Turmschwingungen ist notwendig, da die stehenden Türme durch den Wind, den Seegang und andere Einflüsse angeregt werden. Diese Anregungen können dazu führen, dass die Türme in ihrer Eigenfrequenz schwingen und dadurch strukturell stark geschädigt werden. Alle entstehenden Schwingungen beeinflussen die Türme, so dass die dadurch entstehenden Belastungen in den Lebensdauerbetrachtungen der Türme zu berücksichtigen sind.

Auf Basis der Anforderungen des Auftraggebers an das Messsystem werden die benötigten Komponenten ausgewählt und spezifiziert. Hierbei muss sichergestellt werden, dass das in kurzer Zeit entworfene System die gewünschten Daten liefert.

Das Messsystem soll die Schwingungen des Turms mit Hilfe eines Datenloggers und Beschleunigungssensoren in drei Richtungen in Form von Zeitreihen aufnehmen. Die Zeitreihen ermöglichen eine genaue Betrachtung des Ablaufs, der bis zu 14 Tage dauern kann. Die entwickelten Messsysteme sollen die Überfahrten mehrerer Türme in einem Zeitraum von fünf Monaten überwachen.

Aus den Beschleunigungswerten werden anschließend die Frequenzen und Auslenkungen der Schwingungen berechnet. Hierbei werden die von dem Auftraggeber festgelegten Zustände untersucht, anhand derer die Belastung auf den Turm durch den Wind und den Transport auf See bestimmt werden kann. Der Turm sollte während des Transports mit einer Frequenz schwingen, die unter 0,9 Hz liegt.

Das entwickelte Messsystem erfüllt die genannten Anforderungen und nimmt die Zeitreihen vollständig auf, so dass kritische Zustände ausfindig gemacht werden können. Die aufgenommenen Beschleunigungswerte sind plausibel und können in die Frequenzen und Auslenkungen umgerechnet werden. Die Auswertungen der aus den Beschleunigungen bestimmten Frequenzen zeigen, dass die Türme während der gesamten Messdauer nicht mit der Eigenfrequenz schwingen, eine Resonanzkatastrophe ist nicht hervorgerufen worden. Bei den durchgeführten Transporten unterschritten die dauerhaften Schwingungen die erwarteten Werte. Extremlasten wurden während der gesamten Messdauer nicht hervorgerufen.

Inhaltsverzeichnis

Eidesstattliche Erklärung	I
Danksagung	II
Zusammenfassung	III
Inhaltsverzeichnis	IV
Abbildungsverzeichnis	VII
Tabellenverzeichnis	IX
Symbolverzeichnis	X
Abkürzungsverzeichnis	XII
1. Einleitung und Aufgabenstellung	1
2. Grundlagen der Windenergie	3
2.1. Leistung im Wind	3
2.2. Windverhältnisse	5
3. Aufbau einer Windenergieanlage	6
3.1. Rotor	6
3.2. Maschinenhaus	6
3.3. Turm	7
3.3.1. Beanspruchung des Turms	8
3.3.2. Eigenfrequenz des Turms	9
3.4. Fundament	10
3.5. Besonderheiten bei Offshore-WEA	10
4. Transport der Türme zum Windpark	12
4.1. Liegender Transport	12
4.2. Stehender Transport	13
4.2.1. Einflüsse auf den stehenden Turm	13
4.2.2. Scruton-Wendel	15

4.2.3.	Überwachung der Schwingung	16
5.	Anforderungen an das Messsystem und Umsetzung	17
5.1.	Rahmenbedingungen / Konzept des Messsystems.....	17
5.2.	Anforderungen an das Messsystem.....	18
5.3.	Datenlogger	19
5.3.1.	Aufbau einer gewichteten Entscheidungsmatrix.....	20
5.3.2.	Auswahl des Datenloggers mit Hilfe einer Entscheidungsmatrix	21
5.3.3.	Zeitreihen und Datenspeicherkapazität.....	26
5.4.	Sensoren	26
5.4.1.	Funktionsweise von kapazitiven Beschleunigungssensoren	27
5.4.2.	Eigenschaften des Sensors B1 der SEIKA Mikrosystemtechnik GmbH	28
5.4.3.	Positionierung und Anbringung.....	30
5.5.	Anforderungen an die Messbox	31
5.6.	Umsetzung	33
5.6.1.	Funktionen der Messbox	33
5.6.2.	Messkette	35
6.	Einbau und erste Durchführung des Messsystems	37
6.1.	Platzierung des Messkoffers im liegenden Zustand des Turms.....	37
6.2.	Anbringung der Komponenten im stehenden Turm.....	38
6.3.	Installation und Inbetriebnahme des Messsystems	40
6.4.	Demontage des Messkoffers und Sicherung der Daten nach dem Transport.....	41
6.5.	Änderungen / Anpassungen	42
7.	Auswertung und Ergebnisse	43
7.1.	Auswahl der Zeiträume für die Auswertung.....	43
7.2.	Manuelle Prüfung der Daten	44
7.3.	Datenauswertung und Ergebnisse	46
7.3.1.	Beschleunigungen	47

7.3.2.	Fast-Fourier-Transformation	48
7.3.3.	Auslenkung des Turmkopfs	52
7.3.4.	Frequenz	52
7.3.5.	Vergleich der Auswertungsergebnisse	54
7.4.	Bewertung	55
8.	Diskussion und Ausblick	56
	Literaturverzeichnis	i
	Anhang.....	v
	Anhang A – Projektplan.....	vi
	Anhang B – Technischer Anwendungsleitfaden Schutzarten (IP-Codes) nach DIN EN 60529	vii
	Anhang C – Datenblatt MAS MATCH-II-4-ADV Recorder.....	xiii
	Anhang D – Datenblatt ShockLog 298 Datenlogger	xv
	Anhang E – Datenblatt Sensor B1 SEIKA.....	xxi
	Anhang F – Datenblatt Magnete Magna-C	xxiii
	Anhang G – Bulgin 400 Series Buccaneer.....	xxiv
	Anhang H – Montageanweisung.....	xxx
	Anhang I – Datenblatt chAmp Laderegler	liii

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 3-1: Campbell-Diagramm der Tjaereborg-Versuchsanlage mit 3-Blattrotor (Luv) und weicher Turmauslegung (Betonturm); Hau, E., 2008, S. 465	8
Abbildung 4-1: Schematische Darstellung einer Kármán'schen Wirbelstraße (nach Uhrig, 1992, S.3, vereinfacht).....	14
Abbildung 4-2: Schematische Darstellung von Scruton-Wendeln (SKI - Ingenierges. mbH, 2017)	15
Abbildung 5-1: Differentialkondensator in dem Beschleunigungssensor (nach Tränkler & Obermeier, zitiert aus Watzka, et al., n.d., S. 2)	27
Abbildung 5-2: Brückenschaltung des Differentialkondensators (nach Tränkler & Obermeier, zitiert aus Watzka, et al., n.d., S.3).....	27
Abbildung 5-3: Prinzipskizze des Schiffsdecks mit Turmpositionierung und Sensorausrichtung (RECASE - Regenerative Energien GmbH, 2017, p. 3) .	30
Abbildung 5-4: Outdoor Case (B&W International GmbH special cases & bags, 2016)	33
Abbildung 5-5: Verschaltung der Komponenten im Messkoffer.....	34
Abbildung 5-6: Box mit den Magnetadaptern und den zusätzlichen Sicherungen (RECASE - Regenerative Energien GmbH, 2017, p. 8)	35
Abbildung 5-7: Messkoffer mit allen zugehörigen Komponenten (RECASE - Regenerative Energien GmbH, 2017, p. 8)	35
Abbildung 5-8: Übersicht der Messkette	35
Abbildung 6-1: Oberste Turmplattform mit der Positionierung des Messkoffers im liegenden Turm (RECASE - Regenerative Energien GmbH, 2017, p. 6)	37
Abbildung 6-2: Für die Aufrichtung befestigter Messkoffer (RECASE - Regenerative Energien GmbH, 2017, p. 6)	37
Abbildung 6-3: Anschweißbolzen als Anschlagpunkte für die Spanngurte (RECASE - Regenerative Energien GmbH, 2017, p. 7)	38
Abbildung 6-4: Anbringung der Sensoren an der linken Treppe, orange (RECASE - Regenerative Energien GmbH, 2017, p. 9)	38
Abbildung 6-5: Positionen der Magnete für die Sensoren der x- und y-Richtung (RECASE - Regenerative Energien GmbH, 2017, p. 10)	39

Abbildung 6-6: Position des Magneten für den Sensor der z-Richtung (RECASE - Regenerative Energien GmbH, 2017, p. 10)	39
Abbildung 6-7: Beschriftete Buchsen und eingesteckte Stecker (RECASE - Regenerative Energien GmbH, 2017, p. 12)	40
Abbildung 6-8: Für den Transport befestigter Messkoffer (RECASE - Regenerative Energien GmbH, 2017, p. 16)	41
Abbildung 7-1: Ausschnitt der Darstellung der resultierenden Beschleunigung (Hafen).....	45
Abbildung 7-2: Resultierende Beschleunigung für T1 (nach dem Auftraggeber).....	47
Abbildung 7-3: Amplitude und Frequenz bei der Standzeit am Hafen für T1 (nach dem Auftraggeber).....	49
Abbildung 7-4: Amplitude und Frequenz im Bereich 0,5-1,5 Hz bei der Standzeit am Hafen für T1 (nach dem Auftraggeber).....	49
Abbildung 7-5: Amplitude und Frequenz beim Schiffstransport für T1 (nach dem Auftraggeber).....	50
Abbildung 7-6: Amplitude und Frequenz im Bereich 0-2 Hz beim Schiffstransport für T1 (nach dem Auftraggeber).....	50
Abbildung 7-7: Amplitude und Frequenz am Fundament für T1 (nach dem Auftraggeber)....	51
Abbildung 7-8: Amplitude und Frequenz im Bereich 0-2 Hz am Fundament für T1 (nach dem Auftraggeber).....	51
Abbildung 7-9: Häufigkeiten der Frequenzen im Bereich 0-2 Hz am Hafen für T1 (nach dem Auftraggeber).....	53
Abbildung 7-10: Häufigkeiten der Frequenzen im Bereich 0-2 Hz beim Schiffstransport für T1 (nach dem Auftraggeber)	53
Abbildung 7-11: Häufigkeiten der Frequenzen im Bereich 0-2 Hz am Fundament für T1 (nach dem Auftraggeber).....	54

Tabellenverzeichnis

Tabelle 4-1: Zu überwachende Zustände	16
Tabelle 5-1: Anforderungen des Auftraggebers an das Messsystem	17
Tabelle 5-2: Von RECASE auszuführende Tätigkeiten	18
Tabelle 5-3: Anforderungen an das Messsystem	19
Tabelle 5-4: Aufbau einer gewichteten Entscheidungsmatrix (nach Pracht, 2010)	20
Tabelle 5-5: Entscheidungsmatrix zur Auswahl eines Datenloggers	22
Tabelle 5-5: Eigenschaften des B1 Sensors (SEIKA Mikrosystemtechnik GmbH, n.d.)	29
Tabelle 5-6: Anforderungen an die Messbox und Prüfung des Outdoor Case	31
Tabelle 5-7: Beschreibung der Messkette	36
Tabelle 6-1: Positionierung der Magnete (RECASE - Regenerative Energien GmbH, 2017)	39
Tabelle 6-2: Zugehörigkeit der Magnet-Adapter-Kombinationen und Sensoren (RECASE - Regenerative Energien GmbH, 2017, p. 10)	39
Tabelle 6-3: Zugehörigkeit Buchse und Stecker am Kabelende (RECASE - Regenerative Energien GmbH, 2017, p. 12)	40
Tabelle 7-1: Ausgewählte Perioden und berechnete Frequenzen (Hafen)	46
Tabelle 7-2 : Für die Auswertung relevante Zeiträume von Turm 1 (nach dem Auftraggeber)	47
Tabelle 7-3: Übersicht der Beschleunigungswerte der drei Zustände (nach dem Auftraggeber)	48
Tabelle 7-4: Darstellung der Eigenfrequenz, Amplitude und Auslenkung am Turmkopf (nach dem Auftraggeber)	52

Symbolverzeichnis

Symbol	Beschreibung	Einheit
E_{kin}	Kinetische Energie	Nm
v	Windgeschwindigkeit	m/s
m	Masse	kg
ρ_L	Luftdichte	kg/m^3
V	Volumen	m^3
t	Zeit	s
A	Querschnittsfläche	m^2
P	Leistung	W
P_N	Aus dem Windstrom entnehmbare Leistung	W
\dot{m}	Massenstrom	kg/s^2
v'	Durchströmgeschwindigkeit	m/s
P_0	Im Wind enthaltene Leistung	W
c_p	Leistungsbeiwert	-
p_W	Winddruck	N
c_W	Luftwiderstandsbeiwert	-
v_M	Mittlere Windgeschwindigkeit	m/s
q	Staudruck	N
Re	Reynolds-Zahl	-
d_H	Hydraulischer Durchmesser	m

η	Dynamische Viskosität	$Pa \cdot s$
f_K	Ablösefrequenz	Hz
S_r	Strouhal-Zahl	-
$D_{\dot{a}}$	Aerodynamischer Durchmesser	m
U_a	Ausgangsspannung	V
U_0	Betriebsspannung	V
C	Kapazität	F
ϵ_0	Dielektrizitätskonstante ($= 8,854 \cdot 10^{-12} C/Vm$)	C/Vm
ϵ_r	Relative Dielektrizitätskonstante	C/Vm
A_C	Kondensatorplattenoberfläche	m^2
d	Plattenabstand	m
F_t	Trägheitskraft	N
a	Beschleunigung	m/s^2
f	Frequenz	Hz
T	Periodendauer	s
a_{res}	Beschleunigung der resultierenden Schwingung	m/s^2
a_x	Beschleunigung in x-Richtung	m/s^2
a_y	Beschleunigung in y-Richtung	m/s^2
$x_{Turmkopf}$	Auslenkung des Turmkopfs	m
a_{max}	Maximale Amplitude	m/s^2
EF	Eigenfrequenz	Hz

Abkürzungsverzeichnis

Abkürzung	Beschreibung
BSH	Bundesamts für Seeschifffahrt und Hydrographie
CFK	Kohlefaserverstärkter Kunststoff
EuP	Elektrisch unterwiesenen Person
FFT	Fast-Fourier-Transformation
FWW	Faserverbundwerkstoffe
GFK	Glasfaserverstärkter Kunststoff
h	Stunde (<i>engl.</i> hour)
OWEA	Offshore-Windenergieanlage(n)
RECASE	RECASE Regenerative Energien GmbH
ShockLog (Datenlogger)	ShockLog 298 Datenlogger der Firma TCI Transport Control International GmbH
(SWIFT) Recorder	MAS MATCH-II-4-ADV Recorder der Firma SWIFT Gesellschaft für Messwerterfassungs-Systeme mbH
TP	Transition Piece
WEA	Windenergieanlage(n)

1. Einleitung und Aufgabenstellung

Windenergieanlagen (WEA), besonders Offshore-Windenergieanlagen (OWEA), sind ein entscheidender Faktor in der Planung der Energieversorgung für die nächsten Jahre.

Um unabhängig von fossilen, endlichen Energieträgern (Erdöl, Erdgas, Kohle etc.) und der steigenden Nachfrage nach Energie gerecht zu werden, muss die Energiewende vorangetrieben werden. Die Bundesregierung hat festgelegt, dass der Anteil der erneuerbaren Energien an der Stromversorgung bis 2020 mind. 35 % und bis 2050 80 % sein soll.

Um dieses Ziel erreichen zu können, ist der Ausbau der Windenergie auf See von großer Bedeutung (Presse- und Informationsamt der Bundesregierung, 2017).

OWEA, die in der Nähe der deutschen Nordseeküste installiert sind, laufen bis zu 7.500 Betriebsstunden im Jahr. Das entspricht ca. 86 % Jahresauslastung. An manchen besonders optimalen Standorten sind sogar Betriebsstunden von bis zu 8.000 Stunden möglich. Diese Zahlen zeigen, dass eine kontinuierliche Stromversorgung durch Windenergie in der Zukunft definitiv möglich ist (Rohrig, et al., 2013; Heinsohn, 2002).

Durch die hohe Anzahl der Betriebsstunden, den Seegang und den Transport sind die Bauteile der OWEA besonderen Belastungen ausgesetzt. Aus diesem Grund ist eine anforderungsgerechte Auslegung der Anlagenteile und Planung der Herstellung, des Transports und der Errichtung notwendig. Die Errichtung von WEA auf See ist ein erheblicher Kostenfaktor, ein Teil davon entfällt auf die Transportkosten und die Installationslogistik (Fichtner GmbH & Co. KG & Prognos AG, 2013).

Der Transport des Fundaments, des Turms und der Rotorblätter sind besonders aufwendig und die Bauteile können stark belastet werden. Hier wird der Turm etwas näher betrachtet, er wird in den meisten Fällen auf einem Schiff liegend in zwei Teilen zu dem Windpark transportiert. Eine andere, effizientere Variante stellt der stehende Transport des zusammengesetzten Turmes dar. Die Kapazität des Transportschiffs wird besser genutzt, daher ist diese Art des Transports durch die bessere Ausnutzung der Wetterfenster effizienter. Die Installation der OWEA kann somit schneller und kostengünstiger erfolgen (Fichtner GmbH & Co. KG & Prognos AG, 2013).

Eine der auftretenden Schwierigkeiten beim stehenden Turmtransport ist die Ausbildung von Turbulenzen hinter dem Turm, welche den Turm in Schwingung versetzen. Falls der Turm so angeregt wird, dass er in der Eigenfrequenz schwingt, ist eine konstruktive Schädigung des Turms wahrscheinlich. Dieser Vorgang wird als Resonanzkatastrophe bezeichnet. Es kann außerdem zu einem Aufschaukeln des Schiffes kommen, dies würde den Transport erheblich beeinträchtigen. Wenn mehrere Türme stehend auf einem Schiff transportiert werden,

können sie sich gegenseitig durch die entstehenden Turbulenzen beeinflussen.

Um die Entstehung von unerwünschten Schwingungen zu verhindern, werden sogenannte Scruton-Wendel an dem Turm angebracht. Diese sollen für eine veränderte Ablösung der Turbulenzen von dem Turm sorgen, so dass dieser nicht in der Eigenfrequenz schwingt. Um die unerwünschten Schwingungen und die Funktionalität der Scruton-Wendel zu analysieren, ist eine Überprüfung der Frequenz während des Transports mit Hilfe eines Messsystems notwendig. Die Überwachung der Schwingungen dient der Verhinderung von drei Zuständen:

1. Resonanzkatastrophe: Durch die Überwachung können die Frequenzen mit den Eigenfrequenzen verglichen werden. Dadurch kann abgeschätzt werden, ob neben den Scruton-Wendeln weitere Maßnahmen zur Verhinderung der Schwingung in der Eigenfrequenz getroffen werden müssen.
2. Dauerhaftes Schwingen: Während der gesamten Zeit, in der der Turm steht, wird der Turm durch andere äußere Faktoren zum Schwingen angeregt. Das dauerhafte Schwingen ist eine Belastung, die für die Berechnung der Lebensdauer betrachtet werden muss.
3. Extremereignisse: Durch das Verladen oder Befestigen kann der Turm ebenfalls angeregt werden. Die Überwachung und Analyse der Beschleunigungen kann Aufschluss über die Belastung geben.

Die Aufgabe dieser Bachelorarbeit ist die Darstellung der Anforderungen an das System, welches die Beschleunigung des Turms während der Verladung, des Transports und der Installation überwacht, und die Umsetzung des Messsystems mit den notwendigen Komponenten. Das Messsystem soll mit Hilfe von Beschleunigungssensoren die Beschleunigungen am Turmkopf einer WEA messen. Zusätzlich wäre die Messung von Biege- und Torsionsmomenten interessant, durch den beschränkten Zeitraum für die Entwicklung des Systems werden nur die Beschleunigungen betrachtet, da sie für die Berechnung kritischer Frequenzen ausreichen. Die Beschleunigungen werden in der x-, y- und z-Richtung gemessen. Die von den Sensoren aufgenommenen Werte sind als Zeitreihen zu speichern. Nachfolgend soll aus den Beschleunigungsmesswerten die Frequenz und Auslenkung des Turms bestimmt werden.

Das Ziel der vorliegenden Bachelorarbeit ist die Überprüfung, ob die gestellten Anforderungen von dem entwickelten Messsystem erfüllt und die gewünschten Ergebnisse geliefert werden.

2. Grundlagen der Windenergie

2.1. Leistung im Wind

Eine Windenergieanlage transformiert die kinetische Energie E_{kin} des Windes in mechanische Energie. Diese wird über einen Generator in elektrische Energie umgewandelt (Hau, 2008a; Kerscher, 2011). Um die Leistung im Wind zu ermitteln, ist zuerst die kinetische Energie E_{kin} des Windes zu betrachten.

$$E_{kin} = \frac{1}{2} \cdot m \cdot v^2 \quad (2-1)$$

mit: E_{kin} := Kinetische Einergie; v := Windgeschwindigkeit; m := Masse (der Luft)

Die Masse der Luft lässt sich mit Hilfe der Luftdichte ρ_L und dem Volumen V bestimmen. Es wird das Volumen des sich hinter dem Rotor ergebenden Luftzylinders berechnet. Der Rotor bestreicht die Fläche A . Die „Höhe“ des Zylinders ist die sich aus der Zeit t und der Geschwindigkeit v ergebende Strecke (Hau, 2008a; Kerscher, 2011).

$$m = \rho_L \cdot V = \rho_L \cdot v \cdot t \cdot A \quad (2-2)$$

mit: ρ_L ($\approx 1,25 \frac{kg}{m^3}$) := Luftdichte; V := Volumen ; v := Windgeschwindigkeit;
 A := Querschnittsfläche

Formel (2-2) wird in Formel (2-1) eingesetzt und für die kinetische Energie ergibt sich:

$$E_{kin} = \frac{1}{2} \cdot \rho_L \cdot A \cdot t \cdot v^3 \quad (2-3)$$

Die Leistung P ist definiert als Energiemenge pro Zeit:

$$P = \frac{E_{kin}}{t} = \frac{1}{2} \cdot \rho_L \cdot A \cdot v^3 \quad (2-4)$$

Es soll ermittelt werden, wieviel mechanische Leistung durch eine WEA aus dem Wind entnommen werden kann. Die WEA entnimmt die mechanische Leistung aus dem Luftstrom, dadurch wird die kinetische Energie geringer. Der Massenstrom bleibt gleich, das bedeutet, dass sich die Windgeschwindigkeit hinter der WEA verringert. Wenn die Windgeschwindigkeit verringert und der Massenstrom konstant ist, vergrößert sich der Querschnitt (Hau, 2008a; Kerscher, 2011). Hinter der WEA fällt der Druck ab, es bildet sich eine Schubkraft \vec{T} in Windrichtung aus (Schaffarczyk, 2012). Bei der Untersuchung der Zustände vor und hinter der WEA werden die Variablen für den Zustand vor der WEA mit einer 1 und für den dahinter mit einer 2 gekennzeichnet. Vor und hinter der WEA ist der Massenstrom gleich ($\dot{m}_1 = \dot{m}_2$).

Es wird die Differenz zwischen der Leistung vor und hinter der WEA berechnet. Diese stimmt mit der Leistung überein, die durch die WEA aus dem Luftstrom entnommen wird:

$$P_N = \frac{1}{2} \cdot \rho_L \cdot (A_1 \cdot v_1^3 - A_2 \cdot v_2^3) \xrightarrow{\rho_L \cdot A_1 \cdot v_1 = \rho_L \cdot A_2 \cdot v_2} P_N = \frac{1}{2} \cdot \dot{m} \cdot (v_1^2 - v_2^2) \quad (2-5)$$

(Hau, 2008a; Kerscher, 2011; Schaffarczyk, 2012)

Froude's Law definiert die Durchströmgeschwindigkeit v' in der Rotorebene wie folgt:

$$v' = \frac{v_1 + v_2}{2} \quad (2-6)$$

mit: $v' :=$ Durchströmgeschwindigkeit

Für den Massenstrom gilt: $\dot{m} = \rho_L \cdot A \cdot v'$ (2-7)

Formel (2-6) und (2-7) werden in Formel (2-5) eingesetzt und für die dem Wind entnommenen Leistung ergibt sich (Kerscher, 2011; Schaffarczyk, 2012):

$$P_N = \frac{1}{4} \cdot \rho_L \cdot A \cdot (v_1^2 - v_2^2) \cdot (v_1 + v_2) \quad (2-8)$$

Die Leistung P_N wird mit der im Wind enthaltenen Leistung P_0 verglichen. Das Verhältnis ist der Leistungsbeiwert c_p einer WEA. Der Leistungsbeiwert hängt von dem Verhältnis der Windgeschwindigkeit vor und hinter dem Rotor ab:

$$c_p = \frac{P_N}{P_0} = \frac{\frac{1}{4} \cdot \rho_L \cdot A \cdot (v_1^2 - v_2^2) \cdot (v_1 + v_2)}{\frac{1}{2} \cdot \rho_L \cdot A \cdot v_1^3} = \frac{1}{2} \cdot \left(1 + \frac{v_2}{v_1}\right) \cdot \left(1 - \left(\frac{v_2}{v_1}\right)^2\right) \quad (2-9)$$

mit: $c_p :=$ Leistungsbeiwert; $P_0 :=$ Im Wind enthaltene Leistung

Der ideale Leistungsbeiwert ist erreicht, wenn das Verhältnis $\frac{v_2}{v_1} = \frac{1}{3}$ ist: $c_p = \frac{16}{27} \approx 0,592$

Der ideale Leistungsbeiwert wird immer angestrebt, aber nicht erreicht. Hinter dem Rotor wird der Wind stark verwirbelt und es entstehen Turbulenzen und der genannte Nachlaufdrall. Dieser führt zu Verlusten und ist die induzierte Drehung in der Luftsäule, die hinter dem Rotor entsteht (BWE Bundesverband WindEnergie e.V., n.d. a; Hau, 2008a).

2.2. Windverhältnisse

Um eine WEA erfolgreich und gewinnbringend betreiben zu können, ist die Kenntnis über die am Standort herrschenden Windverhältnisse erforderlich. Die Windgeschwindigkeit hat einen besonders großen Einfluss auf die Leistung der WEA, laut Formel (2-4) geht die Windgeschwindigkeit mit dreifacher Potenz in die Leistung ein.

Aus diesem Grund müssen Informationen darüber vorliegen, wie häufig und wann eine bestimmte Windgeschwindigkeit an dem Standort auftritt. Die Windgeschwindigkeit wird in einer definierten Höhe (möglichst in Nabenhöhe) über ein Jahr mit Hilfe eines Schalensternanemometers in Zeiträumen von jeweils 10 Minuten gemessen. Mit dem Messgerät wird jede Sekunde die Windgeschwindigkeit gemessen und der Wert aufgezeichnet. Der Mittelwert, das Maximum, das Minimum und die Standardabweichung dieser 600 Werte werden berechnet. Die Standardabweichung kann zur Beurteilung der Turbulenz verwendet werden. Um im Vorfeld die Extremlasten der Anlage abschätzen zu können, kann das Maximum zu Rate gezogen werden (Hau, 2008b; van Radecke, 2012).

Um eine Häufigkeitsverteilung für den Standort zu erhalten, werden die Zehn-Minuten-Mittelwerte betrachtet. Die Windgeschwindigkeiten werden in bestimmte Windgeschwindigkeitsklassen, welche eine Breite von 1 m/s aufweisen, unterteilt. Anschließend wird die ermittelte Anzahl einer Klasse durch die Gesamtanzahl der Zehn-Minuten-Mittelwerte geteilt, dadurch wird die Häufigkeit einer Windgeschwindigkeit prozentual angegeben. Die Klassen werden mit der Häufigkeit (y-Achse) über die Zeit (x-Achse) aufgetragen, das sich ergebende Säulendiagramm wird Histogramm genannt. Um den Zusammenhang durch eine Funktion zu beschreiben, kann als Näherung die Rayleigh- oder die genauere Weibull-Verteilung genutzt werden. Die Funktionen werden verwendet, da nicht immer genügend Daten für den Standort existieren. In diesem Fall kann mit Hilfe dieser Funktionen die Verteilung der Windgeschwindigkeit bestimmt und für die Anlagenauslegung betrachtet werden (van Radecke, 2012).

3. Aufbau einer Windenergieanlage

Die Hauptbestandteile einer WEA sind neben dem Rotor, dem Antriebstrang, dem elektrischen System und der Regelung auch der Turm und das Fundament (BWE Bundesverband WindEnergie e.V., n.d. b).

3.1. Rotor

Der Rotor besteht aus den Rotorblättern, der Nabe und dem Blattverstellmechanismus (Hau, 2008c). In diesem Abschnitt werden besonders die Rotorblätter betrachtet.

Die Rotorblätter sind wichtige Bauteile der WEA, denn sie nehmen die Bewegungsenergie des Windes auf und geben die Leistung an den Triebstrang weiter (Hau, 2008c; Schaffarczyk, 2012). Die Rotorblattprofile sind denen von Flugzeugtragflächen nachempfunden. Wie in Kapitel 2.1 dargestellt, wird bei WEA die Auftriebskraft für die Drehbewegung des Rotors genutzt. Die Form des Blattes bestimmt die Leistungsausbeute. Es existieren unter den Herstellern viele verschiedene Konzepte für das Design des Rotorblattes. (BWE Bundesverband WindEnergie e.V., n.d. c; Dannenberg, 2012b) Damit das Rotorblatt möglichst leicht ist, sind die Querschnittsabmessungen und der Materialeinsatz zu betrachten. Rotorblätter können aus Holz, Stahl, Aluminium und Faserverbundwerkstoffe (FVW) gefertigt werden. Für große Rotorblätter eignet sich glas- oder kohlefaserverstärkter Kunststoff (GFK, CFK) am besten. Dieser weist gute Festigkeitseigenschaften auf, während die Materialkosten bei der Verwendung von GFK – relativ betrachtet – gering sind (Dannenberg, 2012b). Die Rotorblätter werden durch unterschiedliche Windgeschwindigkeiten kontinuierlich belastet (Ermüdungslasten). Zusätzlichen Belastungen sind die Blätter durch Böen oder Extremwind ausgesetzt (Extremlasten). Durch das Eigengewicht und die Drehbewegung des Rotors werden die Rotorblätter durch Beschleunigungskräfte und Biegemomente strapaziert (Dannenberg, 2012b).

3.2. Maschinenhaus

Das Maschinenhaus stellt die Verbindung zwischen dem Rotor und dem Turm dar. Hauptbestandteile sind der Turmdrehkranz und der Maschinenträger. Im Maschinenhaus ist neben der Windrichtungsnachführung der Triebstrang enthalten, welcher in der klassischen Bauform auf dem Maschinenträger gelagert ist (BWE Bundesverband WindEnergie e.V., n.d. c; Siegfriedsen, 2012). Der Triebstrang umfasst die „leistungsübertragenden drehenden Komponenten vom Rotor bis zum Generator“ (BWE Bundesverband WindEnergie e.V., n.d. c). Der Rotor überträgt die aus dem Wind aufgenommene Leistung auf die Rotorwelle (mecha-

nische Leistung). Die Welle verfügt über ein Lager und ist mit dem Getriebe (Drehzahl-Drehmoment-Wandlung) oder direkt mit dem Generator verbunden, wodurch die Drehbewegung weitergegeben wird. Der nachgeschaltete Generator transferiert die mechanische Rotorenergie in elektrische Energie, die in das Netz eingespeist wird. Die Bemessungsfrequenz und -spannung sind die bei der Auslegung des Generators entscheidenden Größen (BWE Bundesverband WindEnergie e.V., n.d. c).

Die Komponenten des Triebstrangs können unterschiedlich angeordnet sein. Es werden die folgenden Bauformen unterschieden:

- Integrierte Bauform: Tragende Zusammenkopplung mehrerer Komponenten
- Aufgelöste Bauform: Komponenten sind einzeln auf dem Maschinenträger montiert
- Teilintegrierte Bauform: Lagerung teilweise in Getriebe integriert und über Getriebegehäuse befestigt (Dreipunktlagerung)
- Getriebelose Bauform: Direkte Übertragung der Drehbewegung (Rotor) auf Generator

3.3. Turm

Der Turm einer WEA ist ein wichtiges Element der WEA, da er die Masse der Gondel mit dem Rotor trägt und zusätzlich den Lasten des Windes ausgesetzt ist. Der Aufbau eines Turms kann sich in Querschnitt, Material und Tragkonzept unterscheiden (Hau, 2008d; Faber, 2012). Es kann außerdem auch strukturell und konstruktiv unterschieden werden. Die strukturelle Unterscheidung bezieht sich auf die weiche oder steife Turmauslegung. Hierfür werden die erste Biegeeigenfrequenz des Turms mit der Gondel und die schwingungsanregende Rotordrehzahl (Umlauffrequenz) betrachtet. Bei steifen Türmen ist die Biegefrequenz größer als die Umlauffrequenz, die Turmeigenfrequenz wird beim Hochlaufen und Abschalten der WEA nicht durchfahren, so dass keine Resonanzgefahr besteht. Türme werden strukturell als weich bezeichnet, wenn die Biegefrequenz kleiner als die Umlauffrequenz ist, beim Durchfahren besteht also die Gefahr der Resonanz (Hau, 2008e; Schubert & Heilmann, 2015). Durch den Rotor werden periodische Kräfte erzeugt, die zu einer Resonanz mit der Biegeeigenfrequenz des Turms führen könnte, dadurch kann die gesamte WEA in Schwingung versetzt werden, dies gilt es zu verhindern. Die Lage der ersten Eigenfrequenz des Turms zu den Erregerfrequenzen des Rotors charakterisiert die Konzeption der WEA. Für die Beurteilung der Eigenfrequenz über den gesamten Betriebsdrehzahlbereich wird das sogenannte Campbell-Diagramm verwendet. In diesem werden die Eigenfrequenzen über der Drehzahl aufgetragen, um mögliche Resonanzen und kritische Beeinflussungen von nahe beieinander liegenden Eigenfrequenzen der Teilsysteme aufzuzeigen. Es werden drehzahlabhängige Erregerfrequenzen als Gerade durch den Ursprung eingetragen. Die

Erregerfrequenzen werden mit 1P, 2P, 3P usw. benannt. 2P gibt hierbei die doppelte Umlauffrequenz an, mit der sich das beim 2-Blattläufer entstehende Nickmoment verändert. Das Nickmoment ist jenes Moment, welches um die Querachse des Rotors entsteht und dessen Stabilität beeinflusst. Es kann als Maß für die wechselnde Belastung während des Rotorumlaufts angesehen werden. Für 3-Blattläufer liegen die kritischen aerodynamischen Rotoranregungen bei 3P. In Abbildung 3-1 wird das Campbell-Diagramm einer 2 MW Anlage mit weicher Turmauslegung gezeigt, die erste Biegeeigenfrequenz des Turms liegt unterhalb der Umlauffrequenz (3P) (Gasch, et al., 2011; Hau, 2008e).

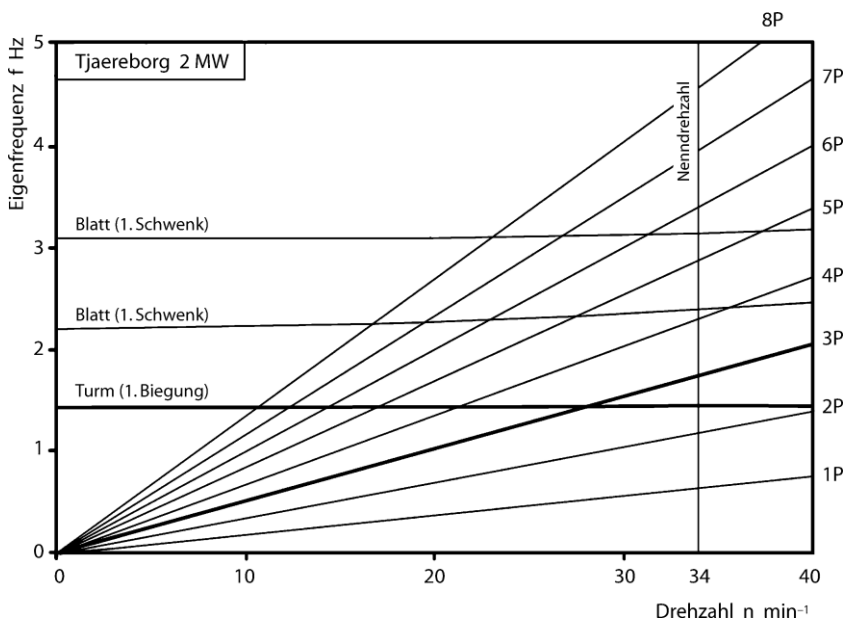


Abbildung 3-1: Campbell-Diagramm der Tjaereborg-Versuchsanlage mit 3-Blattrotor (Luv) und weicher Turmauslegung (Betonturm); Hau, E., 2008, S. 465

In der Konstruktion werden freitragende (Stahlrohrtürme, Gittermasten) und abgespannte Türme unterschieden (Schubert & Heilmann, 2015; Faber, 2012).

3.3.1. Beanspruchung des Turms

Die durch den Wind verursachten Biegemomente sind für die Auslegung der WEA maßgeblich. Die WEA ist so auszulegen, dass sie diesen dynamischen Ermüdungslasten 20 Jahre standhält. Während der Auslegung einer WEA muss durch Simulationen überprüft werden, dass die Anlage die Belastungen aushält. Durch die Simulation werden die Schnittgrößen der Komponenten der WEA ermittelt, dabei wird nicht der gesamte Zeitraum von 20 Jahren geprüft. Es werden bestimmte Ereignisse (z.B. Start- u. Stoppvorgänge, Netzausfall, Böen, offshore unregelmäßiger Seegang, Normalbetrieb), die den möglichen Lastfällen entsprechen, betrachtet. Für jedes Ereignis wird eine Zeitreihe der Belastung erstellt und diese werden miteinander verknüpft. Dafür wird betrachtet, wie häufig ein Einzelereignis auftritt. Am Ende ergibt sich für jede Komponente eine die Lebensdauer abdeckende Zeitreihe, aus der

auch die Extrem- und Gebrauchslasten ermittelt werden können. Extremlasten treten im Vergleich zu den Ermüdungslasten nur kurzfristig auf. Das entstandene Biegemoment steigt zunächst mit der Windgeschwindigkeit an. Wenn die Windgeschwindigkeit so stark ansteigt, dass die Rotorblätter aufgrund von Pitch-Regelung aus dem Wind gedreht werden, sinkt das Biegemoment. Es ist fast null, wenn die WEA ausgeschaltet ist. Eine Kombination von Extremwindereignissen kann für die WEA gefährlich werden. Es gilt, diese Ereignisse unterschiedlich miteinander zu kombinieren und dafür die Last zu ermitteln (Faber, 2012).

3.3.2. Eigenfrequenz des Turms

Der Turm einer WEA kann als schwingungsfähiges System betrachtet werden, welches mit der Eigenfrequenz schwingen kann, ohne von äußeren Kräften beeinflusst zu werden (Spektrum, 1998).

Der Turm ist an dem Fundament eingespannt und der Turmkopf befindet sich als loses Ende in dem Medium Luft. Durch den Wind kann der Turm in Schwingung versetzt werden, hierbei handelt es sich um eine erzwungene Schwingung (Schröder, 2004). Durch die Anregung des Windes wird dem Turm immer mehr Schwingungsenergie zugefügt und der Turm in Resonanz versetzt. Das bedeutet, dass die Amplitude der Schwingung ansteigt. Durch die Schwingung kommt es am Turm durch die Reibung und den Widerstand zu Schwingungsverlusten. Wenn die Schwingungsverluste so groß wie die anregende Schwingungsenergie sind, wächst die Amplitude nicht weiter an. Das System hat einen stabilen Zustand mit einer konstanten Amplitude. Dieser Zustand entspricht der technisch optimalen Resonanz. Falls die zugefügte Schwingungsenergie jedoch größer als die Schwingungsverluste ist, nimmt das System immer mehr Schwingungsenergie auf. Hierbei wächst die Amplitude immer weiter, bis das System den schwingfähigen Amplitudenbereich verlässt. Diesen Amplituden kann der Turm nicht mehr standhalten und wird zerstört, diesen Fall bezeichnet man als Resonanzkatastrophe. Dabei wird der Turm so angeregt, dass er mit der Eigenfrequenz schwingt (Schröder, 2004). Die Eigenfrequenzen sind jene Frequenzen, bei denen sich eine stehende Welle ausbildet. Wie hoch die berechnete / theoretische Eigenfrequenz ist, hängt von der Steifigkeits- und Masseverteilung des Turms ab. Die erste und zweite Eigenfrequenz des WEA-Turmes müssen bei der Planung einer WEA aus den oben genannten Gründen genau beachtet werden. Hierbei ist auch der Untergrund der Gründung einzubeziehen. Dieser beeinflusst das Schwingverhalten des Turms, er wirkt als Bodenfeder und setzt sich auf zwei Komponenten zusammen, der Drehfeder und der Translationsfeder. Flachgründungen werden durch die drehfederelastische Einspannung beeinflusst. Bei Tiefgründungen sollte der Einfluss der horizontalen Nachgiebigkeit der Gründung bedacht werden. Der Turm kann

durch Erregerfrequenzen angeregt werden, das sind jene Frequenzen, die sich aus der Multiplikation der Rotordrehzahl und der Anzahl der Rotorblätter (meistens drei) ergeben. Damit es nicht zur Resonanzkatastrophe kommt, sollten die Erregerfrequenzen mindestens fünf Prozent kleiner oder größer als der Eigenfrequenzbereich sein (Faber, 2012; Seidel & Schaumann, 2000).

3.4. Fundament

Das Fundament trägt den Turm mit dem Maschinenträger und dem Rotor, somit ist die Größe, Form und Ausführung des Fundaments von der Anlagengröße und den Bodenbeschaffenheiten abhängig (Hau, 2008d). Bei der Auslegung des Fundamentes müssen die höchsten möglich auftretenden Schubkräfte des Rotors betrachtet werden. Die größte Schubkraftbelastung während des Betriebs und die größte mögliche Windgeschwindigkeit im Stillstand (Überlebensgeschwindigkeit) sind hierfür die wesentlichen Kenngrößen. Für diese Größen sind die Bauart und die Art der Regelung entscheidend, da sie bei der Dimensionierung und Kostenabschätzung des Fundaments berücksichtigt werden müssen (Hau, 2008d). Für die Dimensionierung von Fundamenten ist der Nachweis nötig, dass der Boden die Belastung durch das Fundament und die Anlage tragen kann. Danach wird entschieden, welches Fundament für den gegebenen Standort gewählt wird. Neben der Abspannung der Türme mit Seilen kommen für Onshore-WEA Flach- oder Tiefgründungen in Frage (Schubert & Heilmann, 2015).

3.5. Besonderheiten bei Offshore-WEA

Onshore- und Offshore-WEA sind grundsätzlich ähnlich aufgebaut, denn die Rotorblätter, die Gondel und der Turm müssen den gleichen Arten von Belastung standhalten. Der Unterschied besteht darin, dass die Winde auf See stärker und stetiger als an Land sind. Somit entstehen nicht so starke Turbulenzen in der Anströmung der OWEA (Dannenberg, 2012a).

Die Volllaststunden einer WEA hängen von dem Standort ab. Aufgrund besserer Windverhältnisse offshore liegen die Volllaststunden hier bei etwa 4000 bis 4500 h jährlich und die von Onshore-Anlagen bei 1700 bis 2500 h/a. OWEA werden durch weitere Belastungen beansprucht, wobei größtenteils die Gründung belastet wird. Belastungen können durch den Seegang, die Strömungen, die Kolkbildung, die Eisbildung, den marinen Bewuchs, die Korrosion und die Alterung von Faserverbundwerkstoffe hervorgerufen werden. Zu den quasi-statischen Belastungen zählen jene, die hervorgerufen werden, wenn Strömungen durch das Meer oder den Wind entstehen. Die Belastung ist hierbei gleichbleibend und nicht veränderlich. An dem Turm kann es durch Wirbelablösungen (Kármánsche Wirbelstraße) zu dynami-

schen Belastungen kommen, dieses Phänomen wird in Abschnitt 4.2.1 genauer erläutert. Durch die Wind- und Wasserströmungen ist ein stabiles an die Belastungen angepasstes Fundament notwendig. Es gibt verschiedene Ausführungen von OWEA-Fundamenten, welches verwendet wird, hängt von der OWEA-Größe, der Wassertiefe, der Tragfähigkeit des Meeresbodens und den gegebenen Bedingungen auf See ab. Feste Gründungen stehen auf dem Meeresboden und übertragen die von der OWEA aufgenommenen Kräfte auf den Boden. Neben festen Gründungen, zu denen Monopiles, Tripods, Jacktes, Suction Buckets, und Schwergewichtsgründungen zählen, existieren auch schwimmenden Fundamente (Dannenberg, 2012a).

4. Transport der Türme zum Windpark

Offshore Windpark-Projekte werden häufig in der ausschließlichen Wirtschaftszone (AWZ) geplant, diese liegt hinter der direkt an der Küste beginnenden 12-Seemeilen-Zone (Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi), 2015). Nachdem die Planung und Genehmigung abgeschlossen sind, folgt die Errichtung der OWEA. Als Erstes müssen die einzelnen Bauteile montiert, verladen und transportiert werden. Diese Arbeiten erfordern besondere Werkzeuge und Schiffe, die den Anforderungen auf See gerecht werden. Für den Transport werden sogenannte Jack-Up Barges verwendet, die meistens über eine große Ladefläche und vier Stelzen verfügen. Wenn die Jack-Up Barge den Standort der OWEA erreicht hat, werden die an den Ecken der Barge befindlichen Stelzen, welche zuvor nach oben ragten, nach unten gefahren. Die Stelzen setzen auf dem Meeresboden auf und das Schiff wird über die Wasseroberfläche gehoben, wodurch es nicht mehr von der Seebewegung beeinflusst wird. Die auf der Jack-up Barge befindlichen Kräne können durch das „Abstellen“ auf dem Meeresboden nicht durch Neigungen, die sonst durch den Seegang entstehen, gestört werden und die schweren Bauteile heben und genau platzieren.

Die Türme einer OWEA werden ebenfalls mit der Jack-up Barge transportiert. Der Turm kann auf dem Schiff liegend oder stehend zur Gründung und zum Transition Piece (TP) befördert werden. Liegender und stehender Transport werden in Kapitel 4.1 und 4.2 beschrieben und mögliche auftretende Probleme behandelt.

4.1. Liegender Transport

Der liegende Transport von Türmen oder Turmsegmenten ist eine häufig praktizierte Variante des Turmtransports. Hierbei werden die Türme an bestimmte Transportvorrichtungen geflanscht, die an dem Schiff fest geschweißt werden. Die Türme können bei einem Transport von der Herstellungsstätte bis zu dem Basishafen, an dem die Türme zwischenzeitlich gelagert und später auf Schiffe zur Errichtung verladen werden, gestapelt transportiert werden. Es gibt speziell für die Errichtung und den Transport von OWEA konstruierte Schiffe, doch durch den Ausbau der Windenergie werden die zukünftigen OWEA über eine höhere Leistung und somit über entsprechend längere Rotorblätter und höhere Türme verfügen. Die heute verwendeten Schiffe würden an ihre Grenzen stoßen und können nicht mehr verwendet werden. Außerdem ist der Transport verschiedener Bauteile zu dem Errichtungsort bei liegenden Türmen nicht die effektivste Transportart, da dadurch viel Platz verloren geht, der anderweitig genutzt werden könnte. Durch den Transport stehender Türme wird die Turmaufrichtung offshore eingespart, dies und weitere Vorteile werden in Kapitel 4.2 aufgezeigt.

4.2. Stehender Transport

Die Installation der stehend transportierten Türme kann zügiger als die der liegend transportierten erfolgen, da der Turm am Hafen zusammengesetzt, die Inbetriebnahme der Turmkomponenten durchgeführt und grundlegende elektrische Funktionen überprüft werden. Beide Turmsegmente werden am Hafen zu Beginn liegend gelagert. Das untere Turmsegment wird am Hafen auf ein Grillage gestellt und befestigt. Ein Grillage ist ein Trägerrost, das am Hafen oder auf dem Schiff fest installiert ist und auf welches der Turm für die Lagerung und den Transport befestigt wird. Am Turmkopf des oberen Turmsegments wird ein Hebemittel angebracht und der Kranhaken angeschlagen. Mit Hilfe des Krans wird es in vertikale Stellung gehoben und auf das untere Segment gesetzt. Der gesamte Turm steht an der Hafenkante und wird mit Strom versorgt. Die Komponenten des Turms können bereits eingebaut und in Betrieb genommen werden, so dass die Installationszeit auf See verkürzt wird. Dies ist ein großer Vorteil, da für die Installation der gesamten Anlage nur kleine Wetterfenster zur Verfügung stehen. Der Turm wird anschließend auf die Jack-Up Barge gehoben und dort auf einem Grillage befestigt.

Bei dem stehenden Transport kann der Turm durch Luftströmungen und dadurch entstehende Schwingungen beeinflusst werden, die Einflussfaktoren werden in Kapitel 4.2.1 erläutert.

4.2.1. Einflüsse auf den stehenden Turm

Während den oben genannten Zuständen ist der aufgestellte Turm dem Wind ausgesetzt. Der Wind wirkt so auf den Turm, dass dieser in Schwingung versetzt werden kann, dies hätte die zuvor genannten Nachteile zur Folge. Die Ursache für die Schwingungsanregung wird anschließend erläutert.

KÁRMÁN'sche Wirbelstraße

Bei der Umströmung eines zylindrischen Körpers (des Turms) können spezielle Bedingungen zur Entstehung einer KÁRMÁN'schen Wirbelstraße hinter dem Körper führen (Peters, n.d.). Bei der stehenden Lagerung am Hafen und dem Schiffstransport der Türme wirkt der Winddruck auf die zylindrischen Türme. Der Winddruck p_W kann mit der Formel (4-1) ermittelt werden (Peters, n.d.; Slavik, n.d. a).

$$p_W = c_W \cdot \frac{\rho_L}{2} \cdot v_M^2 = c_W \cdot q \quad (4-1)$$

mit: c_W := Luftwiderstandbeiwert; v_M := Mittlere Windgeschwindigkeit;
 q := Staudruck

Bei einem Anstieg der Strömungsgeschwindigkeit wird auch die Reynolds-Zahl größer. Diese definiert, ob eine Strömung einen laminaren oder turbulenten Verlauf besitzt (Peters, n.d.). Formel (4-2) zeigt, wie sie berechnet werden kann.

$$Re = \frac{v \cdot d_H \cdot \rho_L}{\eta} \quad (4-2)$$

mit: d_H := Hydraulischer Durchmesser; η := Dynamische Viskosität

Die Wirbel lösen sich an den Rändern des Turms abwechselnd (oben und unten) ab, wenn die Reynolds-Zahl im unterkritischen bis kritischen Bereich ($40 \leq Re \leq 2 \cdot 10^5$) liegt (Peters, n.d.; Uhrig, 1992). In der Zeit des Ablösens auf der einen Seite bildet sich auf der anderen Seite der nächste Wirbel, so dass die Wirbel immer abwechselnd und in unterschiedlicher Drehrichtung hinter dem Körper entstehen und sich so zwei Reihen von Wirbeln bilden. Die Strömungsrichtung wird durch die Ablösungen der Wirbel verändert. Durch die Wirbelstraße wird eine „quasi-periodische Querkrafterregung“ (Slavik, n.d. b) erzeugt. Die in Längsrichtung entstanden Kräfte können im Vergleich zu den Querkräften vernachlässigt werden (Peters, n.d.; Slavik, n.d. b). In Abbildung 4-1 ist die Wirbelstraße schematisch dargestellt. Die Entdeckung und den Beweis lieferte der Ingenieur und Mathematiker Theodore von Kármán 1911 (Peters, n.d.).

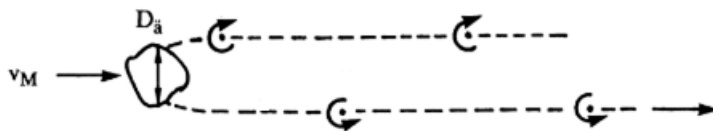


Abbildung 4-1: Schematische Darstellung einer Kármán'schen Wirbelstraße (nach Uhrig, 1992, S.3, vereinfacht)

Die Wirbel lösen sich mit der von Strouhal 1878 berechneten Ablösefrequenz f_K ab (Uhrig, 1992). Mit Hilfe der Strouhal-Zahl und dem aerodynamischen Durchmesser wird die Ablösefrequenz f_K berechnet:

$$f_K = S_r \cdot \frac{v_M}{D_a} \quad (4-3)$$

mit: S_r := Strouhal – Zahl (0,125 – 0,200); D_a := Aerodynamischer Durchmesser

Wenn die Ablösefrequenz f_K und die Eigenfrequenz konsistent sind, ist die Wirbelresonanz die Folge. Hierbei würde es zu einer gefährlichen Anregung des Turms kommen, der Turm kann strukturell schwer geschädigt werden (Uhrig, 1992).

Der Turm einer vollständigen OWEA ist der Schwingungsanregung ebenfalls ausgesetzt, wird durch die dämpfende Wirkung der Gondel und Rotorblätter jedoch nicht zu kritischen Frequenzen angeregt. Der stehende Turm verfügt über keine Dämpfung am losen Ende und

wird durch die Anregung stärker beeinflusst, so dass der periodischen Wirbelablösung entgegengewirkt werden muss, eine mögliche Maßnahme wird in Kapitel 4.2.2 erläutert.

4.2.2. Scruton-Wendel

Damit der Turm durch den Wind nicht angeregt und in gefährliche Schwingungen versetzt wird, werden Wirbelgeneratoren, wie z.B. Scruton-Wendel, an der Oberfläche des Turms montiert. Durch die Veränderung der Oberfläche wird der Windwiderstand erhöht und die Luftströmung fast vollständig verwirbelt (Peters, n.d.; Uhrig, 1992).

Bei dem Transport mehrerer Türme auf einem Schiff muss außerdem auf Interferenzerscheinungen geachtet werden. Wenn die Türme zu nahe beieinander stehen, kann sich zwischen den Türmen eine erhöhte Windgeschwindigkeit ausbilden und so zu zyklischen Wirbelablösungen führen. Dies muss bei der Auslegung der Scruton-Wendel bedacht werden (Uhrig, 1992). Die Scruton-Wendel können unterschiedlich ausgeführt sein, es unterscheiden sich Material, Anbringung und Form. An Kaminen von Fabriken befinden sich fest angebrachte Wendel, diese bestehen meist aus dem Material des Schornsteins. Die für den Schiffstransport von OWEA verwendeten Scruton-Wendel können aus einem Seil, an dem dreieckige Schaumstoffkörper in einem gewissen Abstand angebracht sind, aufgebaut sein. Diese werden an dem Turm angebracht, wenn dieser am Hafen aufgestellt wurde. An der am Turmkopf angebrachten Abdeckung werden meistens drei Scruton-Wendel montiert und helixartig um den Turm gelegt (vgl. Abbildung 4-2). Nach dem Transport zum Windpark werden die Wendel entfernt und können bei nachfolgenden Überfahrten genutzt werden.

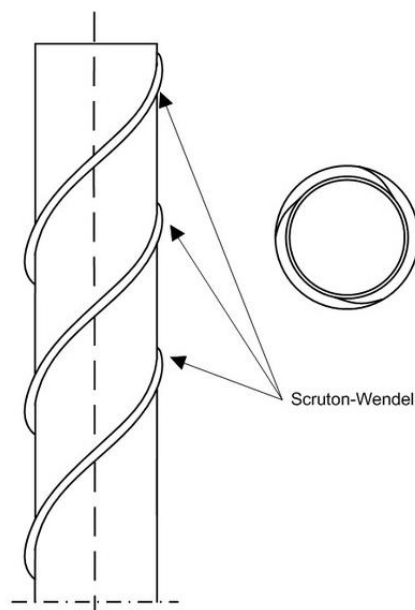


Abbildung 4-2: Schematische Darstellung von Scruton-Wendeln (SKI - Ingenierges. mbH, 2017)

4.2.3. Überwachung der Schwingung

Um kritische Phasen für die Turmstruktur zu finden und bei nachfolgenden Transporten verhindern zu können, sind die Turmschwingungen während des gesamten Ablaufs zu überwachen. Die Überwachung ist aufgrund / während der drei nachfolgenden Zustände notwendig:

Tabelle 4-1: Zu überwachende Zustände

Nr.	Zustand
1	Die in Kapitel 4.2.1 benannte Resonanzkatastrophe soll wegen der starken Belastungen des Turms vermieden werden. Hierfür sind die entstehenden Frequenzen zu beobachten und mit der Eigenfrequenz des Turms zu vergleichen. Sind die ermittelten Frequenzen nahe der Eigenfrequenz oder stimmen mit dieser überein, sollten die nächsten Türme mit weiteren Wirbelgeneratoren (Scruton-Wendel) ausgestattet sein oder andere Maßnahmen zur Vermeidung der Resonanzkatastrophe veranlasst werden.
2	Während der Zeit, in der der Turm stehend gelagert oder auf dem Schiff transportiert wird, ist eine Observation des dauerhaften Schwingens notwendig. Die Überwachung sollte beginnen, wenn die Turmsegmente an der Hafenkante zusammengesetzt werden. Die Standzeit am Hafen schließt die Phasen ein, in denen der Turm ohne und mit den Scruton-Wendel ausgestattet ist. Dadurch können die Frequenzen ermittelt werden, mit denen der Turm während der verschiedenen Zustände schwingt. Außerdem kann die Funktionalität der Wendel überprüft werden. Dauerhaftes Schwingen muss für die Lebensdauerbetrachtung herangezogen werden. Bei den Belastungen handelt es sich um Ermüdungsbelastungen (siehe Kapitel 3.3.1).
3	Beim Verladen, Befestigen oder Aufsetzen des Turms kann es zu Extremereignissen kommen. Die Ereignisse führen nicht sofort zu einem Schaden, belasten jedoch die Turmstruktur, daher müssen sie in die Lebensdauerberechnung einfließen. Durch die Aufnahme von Beschleunigungen können sie kontrolliert und analysiert werden.

Die ermittelten Daten sollen dabei helfen zu entscheiden, ob die bisher getroffenen Maßnahmen zur Reduzierung der Eigenfrequenzentstehung ausreichen und wie stark der Turm beschädigt werden könnte.

5. Anforderungen an das Messsystem und Umsetzung

5.1. Rahmenbedingungen / Konzept des Messsystems

Die RECASE – Regenerative Energien GmbH (RECASE) wurde damit beauftragt ein Messsystem zu konzipieren, um die entstehenden Schwingungen stehend transportierter WEA-Türme zu bestimmen.

Folgend werden die vom Auftraggeber benannten Rahmenbedingungen des Projekts dargestellt:

Tabelle 5-1: Anforderungen des Auftraggebers an das Messsystem

Nr.	Anforderung
1	Das Messsystem soll innerhalb von 20 Tagen fertig für die Anwendung im Basishafen sein. Der Transport aller Türme zum Windpark umfasst einen Zeitraum von ca. fünf Monaten.
2	Die Beschleunigungen sollen während der Turm am Hafen steht, der Überfahrt aus dem Basishafen und der Installation im Windpark gemessen werden.
3	Die Beschleunigungen sollen mit einer Abtastfrequenz von 30 Hz in drei Richtungen gemessen werden: In Fahrtrichtung (x-Achse), quer zur Fahrtrichtung (y-Achse) und in Richtung der Turmlänge (z-Achse).
4	Das Messsystem soll die Beschleunigungen über einen Zeitraum von bis zu 14 Tagen aufzeichnen. Diese 14 Tage umfassen die Messdauer und die Wartezeiten für einen Umlauf. Die Wartezeiten sind die Zeiten, in denen das System ein- und ausgebaut und für den nächsten Einsatz vorbereitet wird (Daten sichern, Speicherplatz freigeben).
5	Die Beschleunigungswerte sollen als Zeitreihen ausgegeben werden.
6	Es werden mind. vier Messsysteme für die Überwachungen benötigt, da zwei Systeme bei einer Überfahrt im Einsatz sind und zwei weitere für die Überwachung der Standzeit am Hafen zur Verfügung stehen sollen.
7	Am Hafen und auf dem Schiff ist die Stromversorgung nur bedingt vorhanden, das System muss in der Lage sein, die Messdauer von 14 Tagen ohne Stromversorgung zu gewährleisten.
8	Das Messsystem soll einfach zu installieren und zu bedienen sein.

Die Anforderungen an das Messsystem und die einzelnen Komponenten werden in Kapitel 5.2 beleuchtet.

Aus den genannten Anforderungen an das Messsystem gehen die in Tabelle 5-2 aufgezeigten Tätigkeiten hervor, die von RECASE durchzuführen sind:

Tabelle 5-2: Von RECASE auszuführende Tätigkeiten

Nr.	Auszuführende Tätigkeiten
1	Erstellen einer Spezifikation mit den Komponenten des Messsystems.
2	Auswahl eines geeigneten Datenloggers für das Messsystem.
3	Prüfen, ob neben dem Datenlogger weitere Komponenten (z.B. für die Stromversorgung, Anbringung, Transportverpackung) benötigt werden.
4	Planen des Aufbaus und der Ausführung in Ansprache mit den Zulieferern.
5	Erstellen einer Montageanweisung für den Ein- und Ausbau des Messsystems.
6	Durchführen der Erstinbetriebnahme, um mögliche Fehler im Konzept zu finden, zu beheben und die Dokumentation anzupassen / zu verbessern.

In Anhang A ist der erstellte Projektplan dargestellt, dieser führt die Tätigkeiten mit den gesetzten Fristen auf. Für die Planung, Erstellung und Umsetzung des Projekts ist eine kurze Zeitspanne vorgesehen, so dass für einzelne Aufgaben, wie z.B. die Auswahl des Messsystems, nur wenig Zeit zur Verfügung steht.

5.2. Anforderungen an das Messsystem

Der Fokus dieser Arbeit liegt auf der Erläuterung des Aufbaus und der Verwendung des Messsystems einschließlich Komponenten. Der in Kapitel 5.1 vorgestellte Auftrag liefert hierfür die Rahmenbedingungen. Dieser Abschnitt benennt die Anforderungen an das Messsystem, die sich aus den Anforderungen des Auftraggebers und den zusätzlich dazu entstehenden Anforderungen zusammensetzt (siehe Tabelle 5-3).

Tabelle 5-3: Anforderungen an das Messsystem

Nr.	Anforderung
1	Das System soll eine geringe Anzahl an Komponenten aufweisen, damit der Aufbau einfach und reproduzierbar ist.
2	Das Messsystem soll so beschaffen sein, dass die genannten Tätigkeiten von einer elektrisch unterwiesenen Person (EuP) ausführbar sind und keine weiteren Kenntnisse erfordern.
3	Durch die Handhabung ist eine Schutzart von mind. IP 44 notwendig. Nach DIN EN 60529 müssen elektrische Betriebsmittel nach Beanspruchung durch Fremdkörper und Wasser durch eine Schutzart (IP-Code) kategorisiert werden, siehe hierzu Anhang B (OSRAM GmbH, 2012).
4	Der Einbau des Systems soll innerhalb kurzer Zeit am Einbauort durchführbar sein und nach dem Aufrichten des Turms stattfinden. Neben dem Aufstellen und Aufeinandersetzen der Turmsegmente wird auch die Prüfung der Betriebsbereitschaft der eingebauten Komponenten des Turms, dies umfasst die Fahrstuhl- und Leiterabnahme, durchgeführt.
5	Das Messsystem muss von einem Akkumulator 14 Tage kontinuierlich für einen unterbrechungsfreien Betrieb mit Strom versorgt werden.
6	Der Ausbau des Systems erfolgt vor der Gondelinstallation, wenn diese direkt nach der Turmmontage erfolgt. Falls es jedoch zu einer Unterbrechung zwischen der Installation kommt, z.B. durch störende Wetterereignisse, wird das Messsystem erst nach der Gondelinstallation entfernt.
7	Die zugehörige Software sollte einfach zu bedienen sein, damit das Starten und Beenden der Messung nicht zu viel Zeit in Anspruch nimmt.

In den Kapiteln 5.3 und 5.4 werden die Anforderungen an die einzelnen Bestandteile des Messsystems aufgeführt und die Auswahl dieser erläutert.

5.3. Datenlogger

Um die Beschleunigung messen und die Daten speichern zu können, ist die Verwendung eines Datenloggers erforderlich. Um einen geeigneten Datenlogger für die Anwendung auszuwählen, der die Anforderungen und Kriterien erfüllt, wird mit einer gewichteten Entscheidung

dungsmatrix gearbeitet. Wie diese aufgebaut ist und welcher Datenlogger ausgewählt wurde, wird in den nachfolgenden Kapiteln 5.3.1 und 5.3.2 dargestellt.

5.3.1. Aufbau einer gewichteten Entscheidungsmatrix

Eine Entscheidungsmatrix wird verwendet, um aus verschiedenen Optionen die am besten zu den Kriterien passende ausfindig zu machen. Hierfür werden die Optionen im Hinblick auf die aufgestellten Kriterien bewertet, für jede Option ergibt sich ein Ergebnis, dieses kann mit den anderen verglichen und eine Entscheidung getroffen werden. Im Folgenden werden die Bestandteile einer gewichteten Entscheidungsmatrix näher erläutert, um die im Kapitel 5.3.2 gezeigte Matrix und deren Ergebnisse nachvollziehen zu können (Pracht, 2010).

Tabelle 5-4: Aufbau einer gewichteten Entscheidungsmatrix (nach Pracht, 2010)

Kriterien			Option A		Option B	
		Summe Gewichtung	Ergebnis A		Ergebnis B	
Kriterium 1	Definition 1	Gewichtung 1	Erfüllungsgrad	Beschreibung A 1	Erfüllungsgrad	Beschreibung B 1
Kriterium 2	Definition 2	Gewichtung 2	Erfüllungsgrad	Beschreibung A 2	Erfüllungsgrad	Beschreibung B 2
Kriterium 3	Definition 3	Gewichtung 3	Erfüllungsgrad	Beschreibung A 3	Erfüllungsgrad	Beschreibung B 3

In der ersten Spalte werden die zu erfüllenden Kriterien untereinander aufgeführt und kurz und eindeutig benannt. Um die Kriterien genauer zu definieren, kann eine kurze Beschreibung der Anforderung in der zweiten Spalte („Definition“) eingetragen werden. So kann besser entschieden werden, wie sehr eine Option das Kriterium erfüllt. In der dritten Spalte wird die jeweilige Gewichtung des Kriteriums eingetragen, die Kriterien stehen in einem Verhältnis, welches ihrer Wichtigkeit betrifft, zueinander. Zuerst werden die Gewichtungen festgelegt, dem wichtigsten Kriterium wird der höchste Wert zugewiesen. Die Gewichtungen der anderen Kriterien werden zu diesem in Relation gesetzt. Darüber wird die Summe aller Gewichtungen angegeben, die für die Errechnung des Ergebnisses benötigt wird (Pracht, 2010).

Auf der rechten Seite befinden sich die Optionen, die zur Auswahl stehen und miteinander verglichen werden. Für jede Option wird geprüft, inwieweit ein bestimmtes Kriterium erfüllt wird. Dies wird mit Hilfe des Erfüllungsgrades angegeben, der Erfüllungsgrad kann einen Wert zwischen 0 und 10 annehmen. „0“ bedeutet, dass das Kriterium überhaupt nicht erfüllt wird und „10“ steht für die vollständige Erfüllung des gegebenen Kriteriums. Für jedes Kriterium kann bei einer Option zusätzlich zum Erfüllungsgrad eine Beschreibung angegeben werden, die Details zu der jeweiligen Option liefert (Pracht, 2010).

Aus diesen Angaben wird das Ergebnis gebildet, welches angibt, wie gut eine Option zu der

Gesamtheit der Kriterien passt. Hierbei wird die Summe der Produkte, die sich aus der Multiplikation der jeweiligen Gewichtung und des jeweiligen Erfüllungsgrades ergeben, gebildet. Das Ergebnis des Summenprodukts wird mit dem optimalen Ergebnis, Summe der Gewichtungen multipliziert mit dem maximalen Erfüllungsgrad (10), ins Verhältnis gesetzt und das Endergebnis prozentual angegeben. Wenn eine Option die hoch gewichteten Kriterien zu einem hohen Maß erfüllt, beeinflusst dies das Endergebnis besonders (Pracht, 2010).

In Kapitel 5.3.2 wird die Entscheidungsmatrix zur Auswahl des Datenloggers verwendet.

5.3.2. Auswahl des Datenloggers mit Hilfe einer Entscheidungsmatrix

Für die Auswahl eines geeigneten Datenloggers wird eine Entscheidungsmatrix verwendet, diese wurde nach der Vorlage von Pracht (2010) angefertigt und um eine Spalte für die Bewertung ergänzt.

Zur Auswahl stehen der MAS MATCH-II-4-ADV Recorder der Firma SWIFT Gesellschaft für Messwerterfassungs-Systeme mbH (SWIFT Recorder) und der ShockLog 298 Datenlogger der Firma TCI Transport Control International GmbH (ShockLog Datenlogger). Die Anforderungen und ihre Wichtigkeit werden einzeln erklärt und die Eignung der beiden Systeme wird geprüft. Die Daten und Informationen der Datenlogger sind den beiden Datenblättern in Anhang C und D entnommen worden.

Tabelle 5-5: Entscheidungsmatrix zur Auswahl eines Datenloggers

Anforderungen an den Datenlogger		SWIFT MAS MATCH-II-4-ADV Recorder	TCI ShockLog 298 Datenlogger	Bewertung
		208	64,86%	
Verfügbarkeit	Lieferzeit max. 2 Wochen	4 Lieferzeit ca. 3 Wochen	9 Lieferzeit sofort (Ware auf Lager)	Für die Ausführung des Projekts stehen vier Wochen zur Verfügung, deshalb darf die Lieferzeit maximal zwei Wochen betragen. Die übrige Zeit ist für die Überprüfung der Funktionen, die Vorbereitung für den Einsatzzweck, das Konstruieren und Herstellen von projektspezifischen Applikationen (Sensoren, Spannungsversorgung, Einhausung) und die Dokumentation vorgesehen. Der SWIFT Recorder hat eine Lieferzeit von ca. 3 Wochen, danach würde maximal eine Woche für die oben genannten Tätigkeiten bleiben, die Umsetzung wäre aber möglich. Der ShockLog 298 Datenlogger kann sofort geliefert werden, für die Tätigkeiten, die für die Ausstattung des Datenloggers notwendig sind, stünden somit drei bis vier Wochen zur Verfügung.
Erfahrung	Handhabung der Hard- u. Software ist bekannt.	8 Erfahrungen vorhanden	6 Keine Erfahrungen vorhanden	Die Erfahrungen des Auftraggebers und RECASE mit dem Datenlogger sind ein wichtiges Entscheidungskriterium. Wenn der Datenlogger und die zugehörige Software bereits bekannt sind, kann das System besser und schneller für die Anwendung vorbereitet werden. Der MAS MATCH-II-4-ADV Recorder wurde in der Ausführung mit zwei statt drei Sensoren zuvor von dem Auftraggeber verwendet, deshalb liegen Informationen zur Stromversorgung und Handhabung vor. Der ShockLog Datenlogger ist speziell für die Messung von Beschleunigungen der Güter beim Transport vorgesehen. Er wurde jedoch nicht von RECASE oder dem Auftraggeber verwendet oder erprobt.
Beschleunigungsmessung	Beschleunigungsmessung in drei Richtungen möglich	9 4 Kanäle für Beschleunigungssensoren	9 3-achsige piezoelektrische Stoß- u. Beschleunigungsmessung	Für die Anwendung ist es erforderlich, dass der Datenlogger die Beschleunigungen in drei Richtungen messen und aufnehmen kann. Sowohl der SWIFT Recorder als auch der ShockLog erfüllen diese Anforderung. Der SWIFT Recorder ist mit vier Analogkanälen, an die kapazitive Beschleunigungssensoren angeschlossen werden können, ausgestattet. In dem ShockLog Datenlogger sind drei piezoelektrische Sensoren eingebaut, die senkrechte Stöße, horizontale Stöße in Fahrtrichtung und horizontale Stöße von rechts und links aufnehmen.

Anforderungen an den Datenlogger		SWIFT MAS MATCH-IL4-ADV Recorder	TCI ShockLog 298 Datenlogger	Bewertung
Abtastrate	Bis zu 100 Hz	16 9 bis zu 2000 Hz je Kanal (per Software einstellbar)	8 bis zu 4096 Hz je Kanal	Die Beschleunigungen sollen mit einer Abtastrate von bis zu 100 Hz aufzunehmen sein, so könnte die Beschleunigung mit der definierten Abtastrate von 30 Hz aufgenommen und bei Bedarf erhöht oder erniedrigt werden. Beide zur Auswahl stehenden Datenlogger erfüllen diese Anforderung.
Messbereich	Entsprechend der Erfassungsmethode	17 8 Von ± 1 mV bis ± 10 V (per Software einstellbar)	6 Stoßwerte bis 200 g messbar	Für die Anwendung istes erforderlich, dass der Datenlogger die Beschleunigungen in drei Richtungen messen und aufnehmen kann. Sowohl der SWIFT Recorder als auch der ShockLog erfüllen diese Anforderung. Der SWIFT Recorder ist mit vier Analogkanälen, an die kapazitive Beschleunigungssensoren angeschlossen werden können, ausgestattet. In dem ShockLog Datenlogger sind drei piezoelektrische Sensoren eingebaut, die senkrechte Stöße, horizontale Stöße in Fahrtrichtung und horizontale Stöße von rechts und links aufnehmen.
Aufnahme von Zeitreihen	Datum, Uhrzeit (hh:mm:ss.ms); Beschleunigungswert	20 9 DTRC-Software: Aufzeichnen von Zeitreihen, Speichern auf SD-Karte	0 Aufnahmen signifikanter Stoßereignisse, Datum- und Uhrzeitangabe pro Ergebnis	Die Daten sollen in Form von Zeitreihen aufgenommen und gespeichert werden, um den Ablauf des Turmtransports mit den aufzeichneten Beschleunigungsdaten abzubilden. In definierten Zeitabschnitten sollen aus den Daten die Frequenzen der Turmschwingungen berechnet werden, um die Beanspruchung des Turms abzuschätzen. Falls der Datenlogger dieses Kriterium nicht erfüllt, kann er für die Anwendung nicht verwendet werden, da das Ziel der Frequenzbestimmung während des Transports und der Lagerung nicht erreicht werden kann. Der Recorder der Firma SWIFT kann mit Hilfe der DTRC-Software (Direct To Card Recording) für beliebig viele Kanäle Zeitreihen (Datums- und Uhrzeitangabe) aufnehmen. Der ShockLog Datenlogger nimmt signifikante Stoßereignisse zusammen mit der jeweiligen Datums- und Uhrzeitangabe auf, bei starken Stößen werden Zeitabschnitte gespeichert. Der ShockLog Datenlogger nimmt über die gesamte Zeit extreme Ereignisse auf, aber es werden keine Zeitreihen aufgezeichnet, so dass der ShockLog für diese Anwendung nicht eingesetzt werden kann.

Anforderungen an den Datenlogger		SWIFT MAS MATCH- II-4-ADV Recorder	TCI ShockLog 298 Datenlogger	Bewertung
Datenspeicher-kapazität	Speichern der Zeitreihen der drei Sensoren über 14 Tagen	15 8 Messdaten-speicher: 1,88 MB; SD-Kartenunterstützung (32 GB)	5 Aufzeichnen von bis zu 870 signifi-kanten Stoßereig-nissen (SD-Kartenerweiterung)	Bei dem SWIFT Recorder werden die Beschleunigungsdaten auf einer SD-Karte (32 GB) gespeichert, die einfach gewechselt werden kann. Die Datenspeicherkapazität des SWIFT Geräts ist bei Verwendung der SD-Kartenunterstützung für die Turmschwingungsmessung vollkommen ausreichend, da der Speicherbedarf bei drei Sensoren für die Dauer von 14 Tagen 210 MB beträgt. Von den detaillierten Aufzeichnungen des ShockLogs können auf dem Speicher 870 Stück abgelegt werden, auch hier ist eine Speicherplatzweiterung durch eine SD-Karte möglich.
Datenschnitt-stelle	USB (Daten-übertragung Computer)	12 7 Schnittstelle RS 232, USB-Adapter notwendig	9 USB-Schnittstelle vorhanden	Um die Daten für die Auswertung von dem Datenlogger auf einen Laptop oder Computer zu übertragen, ist eine USB-Datenschnittstelle notwendig. Beide Datenlogger können die Daten über eine USB-Schnittstelle übertragen.
Stromversor-gung	Stromversor-gung für 14 Tage Betrieb	9 5 Externe Strom-versorgung mög-lich (Spannungs-bereich: 6,5 V - 26 V)	5 Externe Strom-versorgung mög-lich (Spannungs-bereich: 4,5 V - 30 V)	Der Turm soll während der Hafenanstandzeit, des Beladens und der Überfahrt überwacht werden, diese Abläufe können insgesamt bis zu 14 Tage dauern, daher muss das System über die gesamte Zeit mit Strom versorgt werden. Bei beiden Datenlogger besteht die Möglichkeit, sie an eine externe Stromversor-gung anzuschließen
Batterie (In-tern)	Für den Daten-erhalt	10 8 Lithiumbatterie	8 Lithiumbatterie	Eine interne Batterie wird bei dem Datenlogger für die Datenerhaltung benötigt und ist bei beiden Datenloggern in Form einer Lithiumbatterie vorhanden.
Anzeige Be-triebs-zustand	Anzeige-ele-ment für Be-triebs-bereitschaft	14 9 Zustands-LED	9 LED-Statusanzeige für Warn- und Alarm-werte	Der Datenlogger soll über ein Anzeigeelement verfügen, an dem der Zustand des Datenloggers eindeutig erkennbar ist. Beiden Datenlogger verfügen über solche Anzeigen in Form von LEDs.

Anforderungen an den Datenlogger		SWIFT MA S MATCH- II-4-ADV Recorder	TCI ShockLog 298 Datenlogger	Bewertung
Anbringung	13 An die Struktur, einfache Installation u. Austausch	5 Anbringung über M3-Gewindebohrungen, Messbox notwendig	5 Anbringung über vier Durchgangsbohrungen o. mit beidseitigen Klebeband	Die Anbringung des Datenloggers direkt an der Struktur, ohne diese zu schädigen, ist gewünscht. Die Datenlogger müssen sicher befestigt werden, damit es nicht zu fehlerhaften Messungen kommt. Die Installation und Demontage sollen einfach und schnell durchführbar sein. Das Anbringen mit Hilfe von Schrauben, wie es die Gewindebohrungen der beiden Datenlogger vorsehen, ist nicht möglich. Die Sensoren der SWIFT Recorders können mit Hilfe von Magnetaußen angebracht werden. Für die Stromversorgung ist ein zusätzlicher Akkumulator erforderlich, so dass eine Messbox notwendig ist. Diese muss ebenfalls auf der Plattform befestigt werden. Der ShockLog Datenlogger kann laut Herstellerangaben auch mit Hilfe von Klebeband befestigt werden. Die Oberfläche ist vorher und nachher gründlich zu reinigen, dies könnte eine gewisse Zeit in Anspruch nehmen. Das Befestigen mit stark haftendem beidseitigen Klebeband ist nicht besonders gut geeignet, da einerseits die Haftkraft des Klebebands mit der Zeit nachlassen und das System könnte herunterrutschen oder durch Vibrationen selbst in Schwingung geraten kann, so dass die Messung Fehler aufweisen. Andererseits kann die Oberfläche bei zu stark haftendem Klebeband beschädigt werden, wenn dieses wieder entfernt werden soll.
Schutzart	15 Mind. IP44	9 IP 65	4 IP 67; SD-Karten-Verwendung: IP 60	Der Datenlogger sollte für diese Anwendung eine Schutzart von mindestens IP 44 aufweisen. Das Gerät von SWIFT erfüllt dieses Kriterium mit der Schutzart von IP 65. Bei der Verwendung einer Messbox muss diese die genannte Schutzklasse aufweisen. Der ShockLog hat eine Schutzart von IP 67, bei der Verwendung einer SD-Karte, reduziert sich die Schutzart jedoch auf IP 60 und der Datenlogger wäre nicht gegen Wasser geschützt.
Temperaturbereich	11 -20°C bis +60°C	9 -30°C bis +85°C	9 -40°C bis +85°C	Das Messsystem wird auf der oberen Plattform des Turms verwendet, hier können Temperaturen von -20°C bis +60°C herrschen. Beide Datenlogger können in diesem Temperaturbereich arbeiten.
Preis	7 2.000,00 €	4 5.490,00 €	8 2.485,00 €	Der Preis wird wegen der Dringlichkeit geringer gewichtet als die Verfügbarkeit. Der SWIFT Recorder ist mit 5.490,00 € relativ teuer und der ShockLog mit 2.485,00 € günstiger.

Durch die in der Entscheidungsmatrix genannten Punkte und Vorteile des SWIFT Recorders wurde dieser ausgewählt. Der SWIFT Recorder erfüllt besonders die hoch gewichteten Anforderungen besser als der ShockLog Datenlogger, dieser scheidet wegen der fehlenden dauerhaften Aufzeichnung von Zeitreihen aus. Zusätzlich zu dem bestehenden System mit zwei Sensoren sollen vier weitere Recorder mit drei Sensoren bestellt werden. Der erste Recorder kann innerhalb von zwei Wochen geliefert werden. Die Recorder sind so auszustatten, dass sie für die Messung ausreichend mit Strom versorgt werden und die Sensoren an die Struktur angebracht werden können, dies wird in Kapitel 5.5 erläutert.

5.3.3. Zeitreihen und Datenspeicherkapazität

Das Messsystem soll die Beschleunigung für jeden Kanal mit einem Zeitstempel aufnehmen, das Intervall bestimmt sich aus der Abtastrate. Im Nachhinein kann die Beschleunigung dadurch bei bestimmten Ereignissen, wie z.B. der Standzeit am Hafen oder dem Schiffftransport, genau betrachtet werden. Die Sensoren des SWIFT Recorders nehmen die Daten mit der eingestellten Abtastfrequenz von 30 Hz auf, daraus ergibt sich ein Datenspeicherbedarf von 5 MB pro Sensor (=Kanal) und Tag. Diese Daten werden von dem Recorder auf der externen Speicherkarte gespeichert. Für jeden Kanal wird beim Beginn der Messung eine sogenannte Messdatei angelegt, diese kann maximal 2 GB groß werden. Falls dieses Maximum bei jedem Kanal erreicht wird, kann der Speicherbedarf von 6 GB von einer 32 GB Speicherkarte gedeckt werden. Es sind sogar mehrere Messungen möglich, da genügend Speicherplatz vorhanden ist. Für den Regelfall wird angenommen, dass eine Messung maximal 14 Tage dauert, wenn hierbei die Beschleunigung in drei Richtung gemessen werden soll, ist der Speicherbedarf für einen Tag 15 MB und für 14 Tage 210 MB. Die Daten einer Messung können problemlos auf einer 32 GB Speicherkarte gespeichert werden.

5.4. Sensoren

Zu dem ausgewählten Messrecorder MAS MATCH-II-4-ADV werden für die Aufnahme der Beschleunigung Beschleunigungssensoren des Typs B1 der Firma SEIKA Mikrosystemtechnik GmbH verwendet. Die Sensoren des Typs B sind kapazitiv wirkende Feder-Masse-Beschleunigungssensoren, welche über eine integrierte Sensorelektronik verfügen. Diese können für Messungen an Fahrzeugen, Maschinen und Anlagen zur Prozesssteuerung und -regelung, für seismische Messungen, Neigungsmessungen und andere Messungen eingesetzt werden (SEIKA Mikrosystemtechnik GmbH, n.d.).

Nachfolgend wird die Funktionsweise eines kapazitiven Beschleunigungssensors erläutert, um die anschließend aufgeführten Eigenschaften des Sensors von SEIKA besser einzuordnen.

5.4.1. Funktionsweise von kapazitiven Beschleunigungssensoren

Die Sensoren nutzen die Abhängigkeit der Kapazität vom Kondensatorplattenabstand. Das Sensorgehäuse bildet den Rahmen für die Messanordnung, an diesem ist ein Biegebalken angebracht. An dem Biegebalken ist ein Probekörper (=Mittelkondensatorelektrode) angebracht, dieser befindet sich zwischen zwei Kondensatorelektroden. Es bildet sich ein Dreiplattenkondensator, dadurch können Temperatureinflüsse kompensiert werden. Wenn diese Anordnung beschleunigt wird, führt dies zu einer Auslenkung des Probekörpers und die Kapazitäten der Kondensatoren werden verändert. In Abbildung 5-1 wird der beschriebene Differentialkondensator prinzipiell dargestellt.

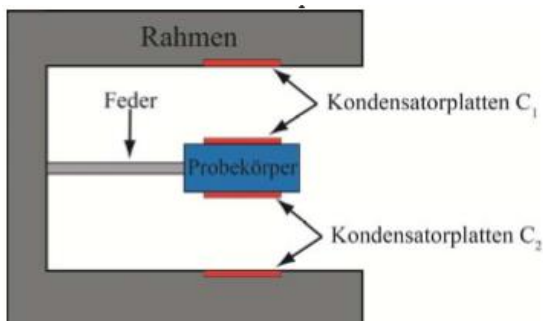


Abbildung 5-1: Differentialkondensator in dem Beschleunigungssensor (nach Tränkler & Obermeier, zitiert aus Watzka, et al., n.d., S. 2)

Wenn der Probekörper ausgelenkt wird, kommt es zu einer Verschiebung des Körpers um Δd von der Ausgangslage d_0 . Die beiden Kapazitäten C_1 und C_2 ändern sich beide gleich um $\pm \Delta C$. Analysiert wird diese Differenz mit Hilfe einer Brückenschaltung, wie sie in Abbildung 5-2 gezeigt wird (Watzka, et al., n.d.).

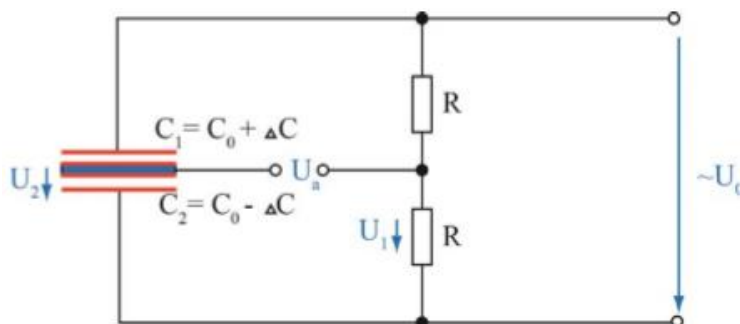


Abbildung 5-2: Brückenschaltung des Differentialkondensators (nach Tränkler & Obermeier, zitiert aus Watzka, et al., n.d., S.3)

Wenn eine Wechselspannung U_0 angelegt wird, ergibt sich für die Ausgangsspannung:

$$U_a = U_1 - U_2 = \frac{U_0}{2} \cdot \left(\frac{C_2 - C_1}{C_2 + C_1} \right) \quad (5-1)$$

mit: U_0 := Betriebsspannung; C := Kapazität

Für die Kapazitäten gelten die Formeln (5-2) und (5-3):

$$C_1 = C_0 + \Delta C = \frac{\varepsilon_0 \varepsilon_r A_c}{d - \Delta d} \quad (5-2)$$

$$C_2 = C_0 - \Delta C = \frac{\varepsilon A_c}{d + \Delta d} \quad (5-3)$$

mit: ε_0 := Dielektrizitätskonstante ; ε_r := relative Dielektrizitätskonstante;
 A_c := Kondensatorplattenoberfläche; d := Plattenabstand

Formel (5-2) und (5-3) werden in Formel (5-1) eingesetzt und umgeformt:

$$U_a = \frac{U_0}{2} \cdot \frac{\Delta d}{d} \quad (5-4)$$

Die Ausgangsspannung des Differentialkondensators ist somit proportional zur Auslenkung Δd . Diese ist wiederum proportional zur Trägheitskraft, bei bekannter seismischer Masse m ist die Beschleunigung ausrechenbar.

$$F_t = m \cdot a \quad (m = \text{const.}) \quad (5-5)$$

mit: F_t := Trägheitskraft; a := Beschleunigung

(Watzka, et al., n.d.; Schmidt, 2007)

5.4.2. Eigenschaften des Sensors B1 der SEIKA Mikrosystem- technik GmbH

Für das Messsystem wurde ein Sensor B1 der SEIKA Mikrosystemtechnik GmbH verwendet, dieser weist einen Durchmesser von 24 cm und die in Anhang E genannten Maße auf, mit dieser handlichen Größe ist der Sensor genau positionierbar.

Der Sensor verfügt über die in Tabelle 5-6 aufgeführten Eigenschaften, die aus dem zugehörigen Datenblatt (Anhang E) stammen.

Tabelle 5-6: Eigenschaften des B1 Sensors (SEIKA Mikrosystemtechnik GmbH, n.d.)

Eigenschaft	Wert
Messbereich	$\pm 3 \text{ g}$ (ca. $\pm 30 \text{ m/s}^2$)
Auflösung	$< 10^{-3}$
Messsignalfrequenzbereich	0 ... 160 Hz
Linearitätsfehler	$< 0,5 \%$
Querempfindlichkeit	$< 1 \%$
Empfindlichkeit (für analogen Spannungsausgang bei $U_{bN} = 5 \text{ V}$)	ca. 140 mV/g
Mech. Überlastfestigkeit in Messrichtung	10 000 g (ca. 100 000 m/s ²)
Norm-Arbeitsspannung (stabilisiert)	$U_{bN} = 5 \text{ V}$
Zulässiger Arbeitsspannungsbereich	$U_{bz} = 3 \text{ V} \dots 6 \text{ V}$
Stromaufnahme bei $U_b = 5 \text{ V}$	ca. 1 mA
Ausgangswiderstand	10 kΩ
Schutzart	IP 65
Arbeitstemperatur	-40°C bis + 85°C
Lagertemperatur	-45°C bis + 90°C
Masse (im Metallgehäuse ohne Kabel)	ca. 23 g
Elektrischer Standardanschluss	3 hochflexible, farbige Einzel- litzen \varnothing 1mm ca. 18 cm lang
Alternativer elektrischer Standardanschluss	Hochfestes, flexibles, ge- schirmtes Rundkabel \varnothing 2,1 mm, 0,5 m

Der Sensor verfügt über einen Messbereich von $\pm 3 \text{ g}$, das bedeutet, dass der Sensor Beschleunigungswerte von ungefähr $+30 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$ bis $-30 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$ angeben kann. Die Werte können mit einer Auflösung von $< 10^{-3}$ gemessen werden. Er ist in der Lage Messsignale aufzunehmen, die in einem Frequenzbereich von 0 ... 160 Hz liegen, dies ist für geplante Turmschwingungsmessung ausreichend, da diese eine Frequenz von 1 Hz nicht überschreiten sollte. Der Sensor kann in einem Spannungsbereich von 3 V ... 6 V arbeiten und bei einer Spannung von $U_b = 5 \text{ V}$ kommt es zu einer Stromaufnahme von 1 mA. Dies ist für die Planung der Strom-

versorgung ein wichtiger Parameter. Durch die gegebene Schutzart IP 65, (Bedeutung siehe Kapitel 5.1) und den Temperaturbereich von -40°C bis $+85^{\circ}\text{C}$ sollte die Anwendung des Sensors auf der obersten Turmplattform innerhalb des Temperatureinsatzbereichs des Sensors liegen.

Die Eigenschaften des Sensors zeigen, dass dieser für die Messung der Turmschwingungen in Form von Beschleunigungen geeignet ist.

5.4.3. Positionierung und Anbringung

Die Schwingungen des Turms sollen in drei Richtungen aufgenommen werden. Die Beschleunigungen sind in Fahrtrichtung des Schiffs (x-Richtung), horizontal zur Fahrtrichtung (y-Richtung) und vertikal zur Fahrtrichtung (z-Richtung) zu messen. In Abbildung 5-3 ist das Schiffdeck mit dem Turm und den Sensorausrichtungen dargestellt. Der Turm ist so zu positionieren, dass es einen Bezugspunkt gibt, an den die Ausrichtung der Sensorpositionen anzupassen ist. In diesem Fall zeigte die Befahranlage und die Leiter in die Fahrtrichtung (in Abbildung 5-3 als roter Kasten dargestellt), auf der Plattform ist diese Position erkennbar und die Sensoren können entsprechend angebracht werden.

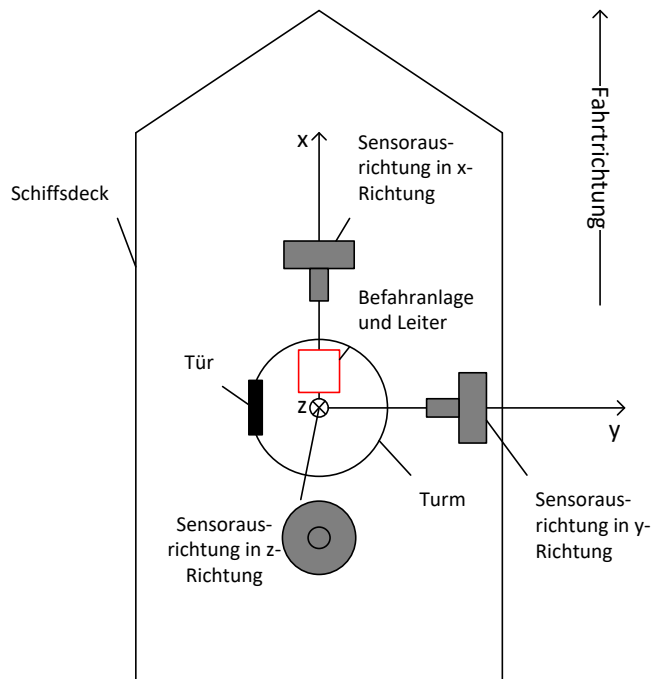


Abbildung 5-3: Prinzipskizze des Schiffdecks mit Turmpositionierung und Sensorausrichtung (RECASE - Regenerative Energien GmbH, 2017, p. 3)

Für die Beschleunigungsmessung müssen die Sensoren an der Turmhülle oder an einer mit dieser fest verbundenen Struktur angebracht werden. Diese Strukturen dürfen gegenüber der Turmhülle keine dämpfenden oder verstärkenden Wirkungen aufweisen.

Die Sensoren können mit Magnetfüßen auf ebenen magnetischen Metalloberflächen ange-

bracht werden. In der Mitte der obersten Plattform befindet sich ein Podest, welches über zwei kleine Treppen erreicht werden kann und über eine glatte Oberfläche verfügt (siehe Abbildung 6-1). An der Turmhülle oder der Struktur ist Bohren oder Schweißen für die Anbringung nicht möglich.

Für diesen Zweck wurde ein Neodym-Flachgreifer der Firma Magna-C GmbH ausgewählt, dieser verfügt über eine Haftkraft von 500 N. Die Haftkraft ist für die beschriebene Anwendung ausreichend und durch das Aufkleben eines Antirutschfilms ist der Magnet kaum zu verschieben (Magna-C GmbH, n.d.). Dies ist unerlässlich, da die Magneten und damit auch die Sensoren bei Stößen oder Vibrationen während der Messung ihrer Position nicht verändern dürfen. Der Magnet und das Metallgehäuse haben insgesamt einen Durchmesser von 40 mm und eine Höhe von 8 mm, dies ermöglicht eine präzise Anbringung der Magnete an der Treppenstruktur (Anhang F). Damit die Sensoren auf den Magnetfüßen befestigt werden können, ist ein Gewintheadapter von M4 auf M5 erforderlich. Dieser wurde spezifiziert und entsprechend verwendet.

Die exakten Positionen der Sensoren und Magnet-Adapter-Kombinationen werden in Kapitel 6.2 benannt.

5.5. Anforderungen an die Messbox

Für den Einsatz auf der Baustelle müssen die Stromversorgung und die Sensorkabel eingehaust werden, damit sie einfach zu handhaben sind und dem rauen Einsatz auf der Baustelle standhalten. Nachfolgend werden die Anforderungen an die Messbox und ihre Ausführung in Form eines Messkoffers (Outdoor Case) dargestellt. In Tabelle 5-7 sind die Anforderungen und die Eigenschaften des Outdoor Case aufgeführt, dadurch kann die Eignung des Outdoor Case für die Anwendung geprüft werden.

Tabelle 5-7: Anforderungen an die Messbox und Prüfung des Outdoor Case

Anforderung	Outdoor Case
Die Messbox sollte mindestens eine Schutzart IP 54 aufweisen, da es während der Installation zu Verschmutzungen und Wassereinwirkungen kommen kann.	Das Outdoor Case besteht aus Polypropylen (PP), ist staub- und wasserdicht nach IP 67 und von -30°C bis +80°C temperaturstabil (B&W International GmbH special cases & bags, 2016).
An der Rückseite und den beiden Seiten sind zusätzlich Laschen anzubringen, mit denen der Schrank befestigt werden kann.	Mit Hilfe von Spanngurten kann das Outdoor Case an der Struktur der Turmplattform befestigt werden.

<p>Damit die Messbox während der Messung nicht zu sehr vibriert und die Messung beeinflusst, sollte diese mit vibrationsdämpfenden Standfüßen ausgestattet sein</p>	<p>Das Outdoor Case wird nicht auf den Boden der Plattform abgestellt, sondern durch Spanngurte fest mit der Struktur verbunden.</p>
<p>Die Messbox sollte eine handliche Größe aufweisen, damit sie umstandslos auf die oberste Plattform gebracht werden kann.</p>	<p>Mit den Maßen von 551 x 216 x 419 mm wird diese Anforderung von dem Outdoor Case erfüllt (B&W International GmbH special cases & bags, 2016).</p>
<p>Eine Stromversorgung muss den Messbetrieb für 20 Tage gewährleisten, damit die Beschleunigungen auch bei einem längeren Transport gemessen werden. Dafür wird eine Batterie mit einer Kapazität von 48 Ah benötigt.</p> <p>Stromaufnahme (Datenlogger): 0,090 mA</p> <p>Stromaufnahme (Sensoren): 0,003 mA</p> <p>Zeitraum (20 d): 480 h</p> <p>$(0,090 \text{ mA} + 0,003 \text{ mA}) \cdot 480 \text{ h} = 44,64 \text{ Ah}$ $\approx 48 \text{ Ah}$</p> <p>Hierfür eignen sich Bleigelakkumulatoren, da sie eine niedrige aber ausreichende Zyklenzahl aufweisen. Nach den geplanten Messungen sind die Akkumulatoren zu ersetzen.</p>	<p>Es wird der entsprechende Bleigelakkumulator eingebaut.</p>
<p>An die Bleigelakkumulatoren soll ein Ladegerät mit Entladeschutz angeschlossen werden, welches mit einer 230 V Versorgung verbunden wird und die Batterie während der Standzeit am Hafan mit 12 V versorgen kann.</p>	<p>Der chAmp-Laderegler erfüllt die Anforderungen. Wenn die Batterie vollgeladen und das Ladegerät angeschlossen ist, wird die Batterien mit einer reduzierten Spannung auf vollem Ladestand gehalten, eine Überladung ist ausgeschlossen. Außerdem ist das verbaute chAmp-Batterieladegerät wassergeschützt nach IP 65.</p>
<p>Ein 230 V-Anschlusskabel ist ausgehend vom Ladegerät notwendig. Es führt aus der Messbox heraus und soll eine Länge von ca. 8 m aufweisen.</p>	<p>Der Netzstecker für die 230 V Versorgung wird aus der Box so herausgeführt, dass an der Wand des Koffers eine Steckverbindung angebracht ist.</p>

Das Kabel muss während des Transports auf die Plattform so verstaut sein, dass es nicht beschädigt wird.	Das Kabel kann in dem Outdoor Case untergebracht werden, so dass es geschützt ist.
Die Messleitungen der Sensoren werden aus dem Schrank herausgeführt, dafür sind Öffnungen vorzusehen, die die Schutzart von IP 54 einhalten.	Die Sensorkabel werden über Steckverbinder nach draußen geführt, hierfür werden an die Kabelenden der Sensoren „Pre Wired Flex Cable Connector“ (PX0400) und an die Kabelenden von den Eingängen des Messrecorders „Rear Panel Mounting Connector“ (PX0413) angebracht. Die „Rear Panel Mounting Connector“ sind in der Wandung des Koffers eingebaut und halten die Schutzart von IP 68 ein (Anhang G).
An der Vorderseite sind zwei Anzeigen anzubringen: Eine Anzeige gibt den Netz- oder Akkubetrieb und die andere die Betriebsbereitschaft bzw. den Messbetrieb an.	Der SWIFT Recorder zeigt den Betriebszustand über eine LED an. Außen an dem Outdoor Case ist kein Anzeigeelement verbaut.

Das ausgewählte Outdoor Case erfüllt die wichtigsten der genannten Anforderungen und kann für die Beschleunigungsmessung eingesetzt werden.

5.6. Umsetzung

In diesem Kapitel werden die Funktionen des Messkoffers (5.6.1) und der Ablauf der Messung (0) dargestellt.

5.6.1. Funktionen der Messbox

Das Messsystem besteht aus den oben erläuterten Komponenten und erfüllt die Anforderungen. In diesem Abschnitt werden die Funktionen der Komponenten und die Anordnung dieser in der Messbox vorgestellt. In dem Outdoor Case werden alle Komponenten untergebracht, Abbildung 5-4 zeigt es im geschlossenen Zustand.



Abbildung 5-4: Outdoor Case (B&W International GmbH special cases & bags, 2016)

In das Outdoor Case wird eine Metallplatte eingebaut, die als Erdung des eingebauten Systems dient. Auf der Metallplatte werden der Datenlogger, der Bleigelakkumulator und der Laderegler angebracht und miteinander verschaltet, siehe Abbildung 5-5.

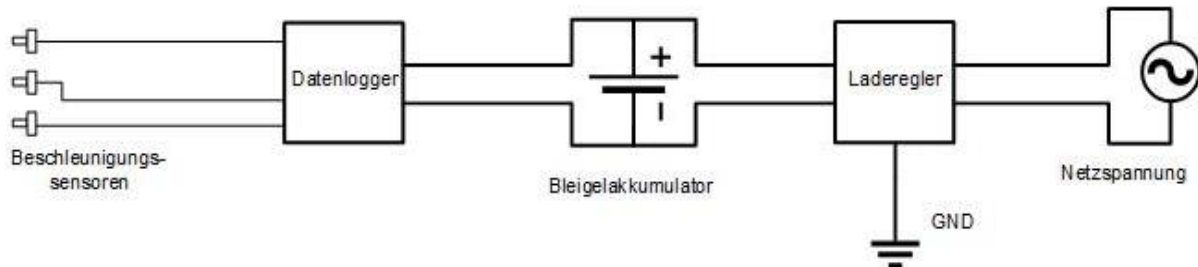


Abbildung 5-5: Verschaltung der Komponenten im Messkoffer

Der Laderegler wird mit 230 V versorgt und lädt die Batterie, wenn der Turm in diesem Moment mit Strom versorgt wird. Der chAmp-Laderegler verfügt über zwei LEDs, die den Betriebszustand des Ladereglers anzeigen. Wenn nur die gelbe LED leuchtet, bedeutet es, dass die Batterie automatisch geladen wird. Falls beide LEDs leuchten, sinkt der Ladestrom unter 15 % des Maximalwertes ab, da die Batterie fast vollständig geladen ist. Nach zwei Stunden leuchtet nur die grüne LED, der Ladevorgang ist beendet. Die Batterie ist vollgeladen und der Zustand wird über die Erhaltungsladung gehalten (Anhang I).

Die Batterie wird mit dem Messrecorder über eine Steckverbindung verbunden. Mit Hilfe des USB-Adapters wird der Recorder an einen Laptop angeschlossen und die Software „MAS Terminal Programm“ gestartet. Über die Software wird eine Verbindung zwischen dem Laptop und dem Recorder hergestellt, die Zeit des Laptops mit der des Messgeräts synchronisiert und die Messung gestartet. Das „Logbook“ des Systems zeigt die unterschiedlichen Stati des Recorders mit einem Zeitstempel an, dies kann als Überprüfung der Zeiteinstellung des Recorders dienen. Über die Darstellung der momentanen Aufnahmewerte in einem Zeitfenster werden darüber hinaus die Funktionalität der Sensoren und der Aufzeichnung kontrolliert (Anhang I). Nach der Überprüfung wird der Recorder von dem Laptop getrennt und das Messsystem ist aktiv. Am Messrecorder blinkt eine grüne LED zyklisch, die Daten werden gemessen, ausgewertet und gespeichert.

Für die Verwendung des Systems auf der obersten Turmplattform werden neben den fest installierten Komponenten auch die Sensoren, Magnete und das 230 V-Kabel in dem Messkoffer untergebracht (siehe Abbildung 5-7). Die Sensoren werden mit den aufgewickelten Kabeln jeweils einzeln im Koffer gelagert. Die Magnetadapter werden separat in einer Box zusammen mit jeweils zwei Ersatzsicherungen (3 A, 10 A) aufbewahrt, siehe Abbildung 5-6.



Abbildung 5-6: Box mit den Magnetadaptern und den zusätzlichen Sicherungen (RECASE - Regenerative Energien GmbH, 2017, p. 8)



Abbildung 5-7: Messkoffer mit allen zugehörigen Komponenten (RECASE - Regenerative Energien GmbH, 2017, p. 8)

5.6.2. Messkette

In diesem Kapitel wird die Messkette von der Turmschwingung bis zur Berechnung der Frequenz und der Auslenkung erklärt, siehe Abbildung 5-8.

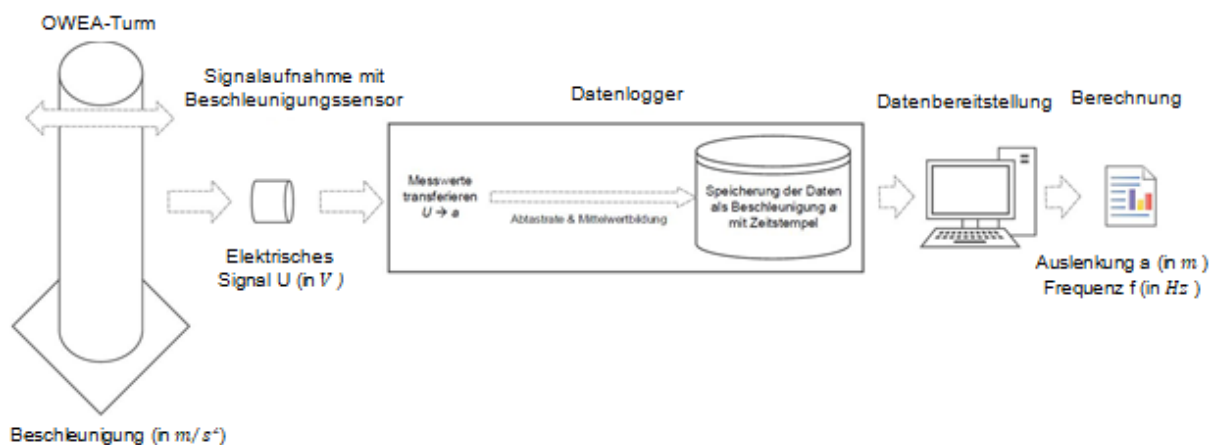


Abbildung 5-8: Übersicht der Messkette

In Tabelle 5-8 werden die einzelnen Bestandteile der Messkette unter dem Ziel der Ermittlung der Auslenkung und Frequenz des Turmes benannt. Zusätzlich werden die gemessenen Größen angegeben.

Tabelle 5-8: Beschreibung der Messkette

Nr.	Beschreibung	Symbol	Einheit
1	Der Turm wird durch den Wind, den Seegang und das Verladen angeregt und schwingt je nach Anregung mit unterschiedlichen Beschleunigungen in verschiedenen Richtungen.	$a = \dot{v}$	$\frac{m}{s^2}$
2	Die Beschleunigungen werden durch die Sensoren in Form elektrischer Signale aufgenommen. Wie in Kapitel 5.4.1 erklärt, wird die Beschleunigung des Turms auf eine seismische Masse innerhalb des Sensors übertragen und die Masse wird von ihrer Ausgangslage bewegt. Die Änderung der Auslenkung ist proportional zur der Ausgangsspannung, die an den Datenlogger weitergegeben wird. Die Sensoren wurden vor der ersten Messung kalibriert und der Datenlogger wurde auf diese eingestellt.	U	V
3	Der Datenlogger wandelt das eingehende Signal des Sensors, die Spannung, über einen Umrechnungsfaktor (die seismischen Masse) in einen Beschleunigungswert um.	$U \rightarrow a$	$V \rightarrow \frac{m}{s^2}$
4	Mit Hilfe der Software wird die Abtastfrequenz auf 30 Hz, bei diesem Datenlogger auf 30,303 Hz, eingestellt. Dadurch wird festgelegt wie viele Werte pro Sekunde gespeichert werden, der Datenlogger bildet einen Mittelwert für die kontinuierlich eingehenden Werte. Die so entstehenden 30 Mittelwerte pro Sekunde werden zusammen mit dem jeweiligen Zeitstempel auf der SD-Karte des Recorders gespeichert.		
5	Die Daten können direkt von der SD-Karte auf den Laptop übertragen werden.		
6	Mit Hilfe der Fourier-Transformation kann die Frequenz der Beschleunigung ermittelt werden (siehe Kapitel 7.3). Bevor die Frequenz und die Auslenkung bestimmt werden, wird eine Auswahl der Zeiträume, in denen die Betrachtung entscheidend ist, getroffen (siehe Kapitel 7.1).	s, f	m, Hz

6. Einbau und erste Durchführung des Messsystems

Der Messkoffer mit dem enthaltenen Messsystem ist am Hafen in den bereits aufgestellten Turm einzubauen. Die hier genauer erläuterten Abläufe leiten sich aus der erstellten Dokumentation, der Montageanweisung (Anhang H), und den Beobachtungen der ersten Durchführung ab, dies wird durch Abbildungen belegt.

6.1. Platzierung des Messkoffers im liegenden Zustand des Turms

Der ausgestattete Messkoffer wiegt 23 kg und sollte vor der Aufrichtung des Turms im liegenden Turm montiert werden. Um eine Behinderung der Leiter und Gehwege zu verhindern, muss der Messkoffer an der Struktur der Plattform befestigt werden. Der Platz unter dem Kabelgitter ist im liegenden und stehenden Zustand des Turms gut zu erreichen, zur Sicherung des Messkoffers ist dieser mit Spanngurten zu befestigen. Abbildung 6-1 stellt die oberste Plattform dar, der grüne Kasten zeigt die Position des Messkoffers.

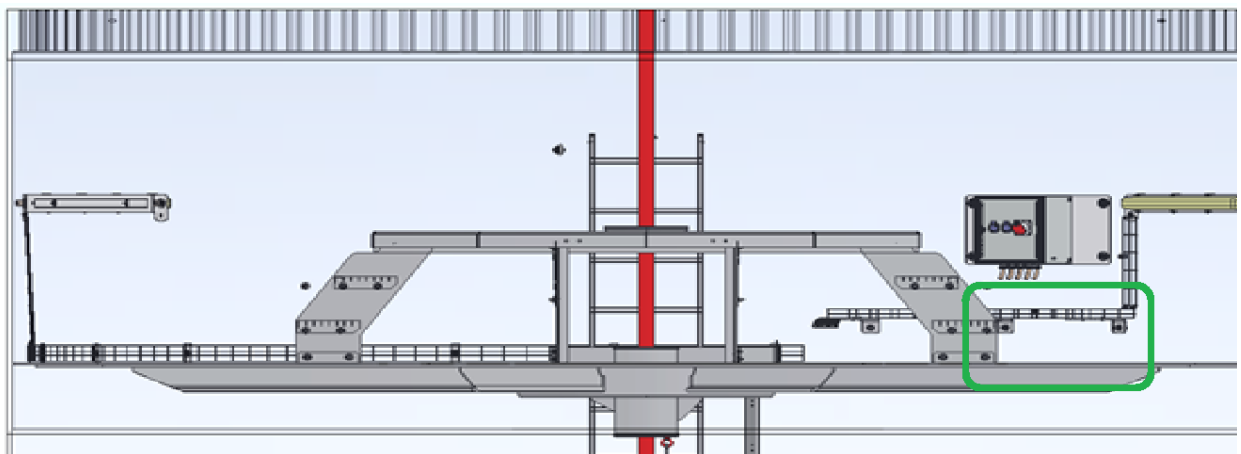


Abbildung 6-1: Oberste Turmplattform mit der Positionierung des Messkoffers im liegenden Turm (RECASE - Regenerative Energien GmbH, 2017, p. 6)

Abbildung 6-2 zeigt den Installationsort des Messkoffers unterhalb des Kabelgitters.



Abbildung 6-2: Für die Aufrichtung befestigter Messkoffer (RECASE - Regenerative Energien GmbH, 2017, p. 6)

Die Befestigung erfolgt mittels Spanngurten an den Anschweißbolzen des Gitters, dies ist in Abbildung 6-3 dargestellt.



Abbildung 6-3: Anschweißbolzen als Anschlagpunkte für die Spanngurte (RECASE - Regenerative Energien GmbH, 2017, p. 7)

6.2. Anbringung der Komponenten im stehenden Turm

Nach der Aufrichtung müssen die Spanngurte entfernt und der Messkoffer unter dem Kabelgitter herausgezogen werden. Der Messkoffer wird neben die rechte Treppe gestellt und geöffnet. Als erstes werden das Netzspannungskabel und die Magnet-Adapter-Box aus dem Messkoffer herausgenommen. Die drei Magnet-Adapter-Kombinationen werden an dem PoDEST und der Struktur der linken Treppe (orangefarbene Markierung in Abbildung 6-4) angebracht.

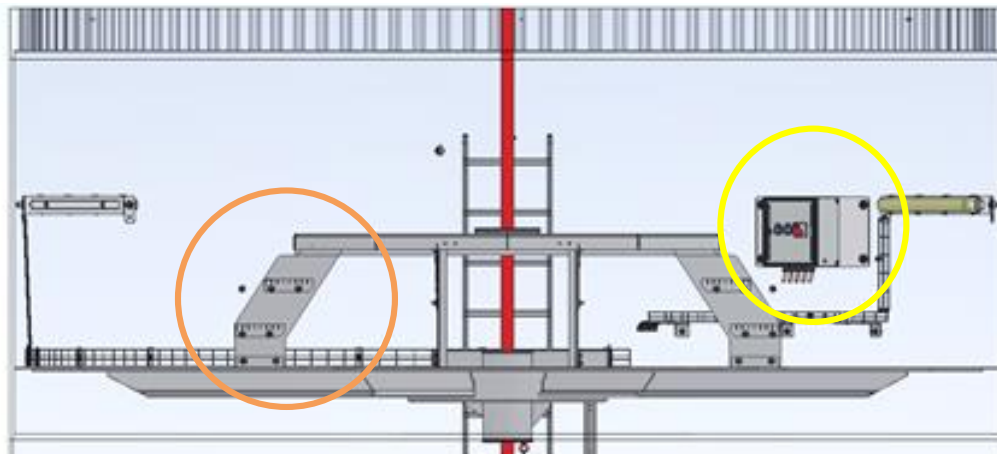
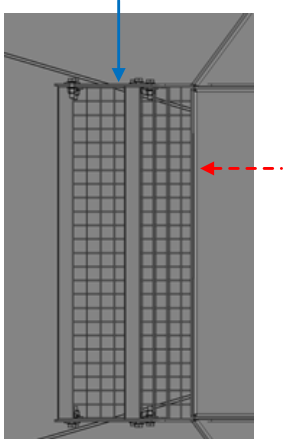
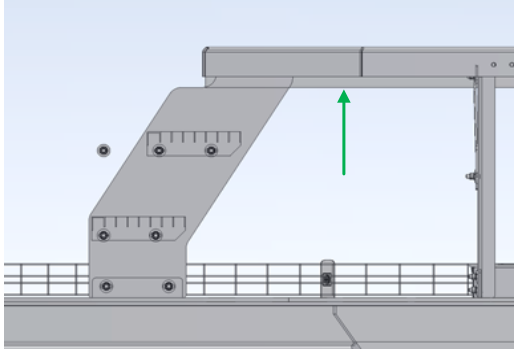


Abbildung 6-4: Anbringung der Sensoren an der linken Treppe, orange (RECASE - Regenerative Energien GmbH, 2017, p. 9)

Die Magnet-Adapter-Kombinationen werden ohne die Sensoren angebracht, sie sind entsprechend ihrer Position beschriftet. Tabelle 6-1 führt die Positionen der Magnete auf und gibt die Messrichtung der Sensoren an.

Tabelle 6-1: Positionierung der Magnete (RECASE - Regenerative Energien GmbH, 2017)

Messrichtung	Beschreibung
x-Richtung (in Fahrtrichtung)	<p>Der Magnet wird an der in Fahrtrichtung liegenden Seitenfläche der Treppe angebracht. In Fehler! erweisquelle konnte nicht gefunden werden. symbolisiert der rote Pfeil den Magnet und den Sensor in x-Richtung.</p> 
y-Richtung (horizontal zur Fahrtrichtung)	<p>Der Magnet wird an die nach innen gerichtete Fläche unter das Podest nahe der Treppe befestigt. Der blaue Pfeil stellt den Magnet und den Sensor in y-Richtung dar.</p> <p><i>Abbildung 6-5: Positionen der Magnete für die Sensoren der x- und y-Richtung (RECASE - Regenerative Energien GmbH, 2017, p. 10)</i></p>
z-Richtung (vertikal zur Fahrtrichtung)	<p>Der Magnet wird an der Unterseite der Podestfläche in der Nähe der Treppe angebracht, dies ist in Abbildung 6-6 gezeigt (grüner Pfeil).</p>  <p><i>Abbildung 6-6: Position des Magneten für den Sensor der z-Richtung (RECASE - Regenerative Energien GmbH, 2017, p. 10)</i></p>

Anschließend werden die Sensoren entsprechend ihrer Beschriftung (siehe Tabelle 6-2) in die Magnet-Adapter-Kombinationen eingedreht. Hierbei muss vorsichtig vorgegangen und darauf geachtet werden, dass die Kabel nicht unter Zugspannung stehen, da es sonst zu einer Beschädigung der Kabel und möglicherweise zu einem Ausfall der Sensoren kommt.

Tabelle 6-2: Zugehörigkeit der Magnet-Adapter-Kombinationen und Sensoren (RECASE - Regenerative Energien GmbH, 2017, p. 10)

Beschriftung Magnet-Adapter-Kombination	Beschriftung Sensor
X Ch1	Ch1
Y Ch2	Ch2

Z Ch3

Ch3

Die Sensorkabel werden zum Messkoffer geführt und an der Podeststruktur befestigt, um die Gefahren des Stolperns, Stürzens und Herausreißen der Kabel zu verringern.

Die an den Kabelenden befindlichen Stecker werden in die an dem Messkoffer vorgesehenen Buchsen gesteckt. Die Stecker und Buchsen sind jeweils beschriftet und werden entsprechend Tabelle 6-3 miteinander verbunden.

Tabelle 6-3: Zugehörigkeit Buchse und Stecker am Kabelende (RECASE - Regenerative Energien GmbH, 2017, p. 12)

Beschriftung Buchse	Beschriftung Stecker Kabelende
X = Ch1	Ch1
Y = Ch2	Ch2
Z = Ch3	Ch3

In Abbildung 6-7 ist die Beschriftung der Buchsen an dem Messkoffer dargestellt und rechts sind die eingesteckten Stecker zu erkennen.



Abbildung 6-7: Beschriftete Buchsen und eingesteckte Stecker (RECASE - Regenerative Energien GmbH, 2017, p. 12)

6.3. Installation und Inbetriebnahme des Messsystems

Dieses Kapitel behandelt die Vorgehensweise bei der Installation und Inbetriebnahme. Für die Inbetriebnahme des Messsystems muss die Zeit des Recorders mit der aktuellen Zeit synchronisiert werden. Dafür ist neben der Messbox ein Laptop mit entsprechend synchronisierter Zeit und mit der Software „MAS Terminal Programm“ erforderlich.

1. Zu Beginn wird der Netzstecker an die 230 V Versorgung angeschlossen, diese befindet sich über dem Kabelgitter (siehe gelbe Umrandung in Abbildung 6-4). Bei der ersten Durchführung fiel auf, dass das Kabel für die Stromversorgung mit 2 m zu kurz war, um

es von dem unter der Treppe stehenden Messkoffer so zu der Steckdose zu führen, dass es keine Stolpergefahr bedeutet.

2. Der SWIFT Recorder wird mit der Batterie verbunden.
3. Die Zeit des Recorders wird mit Hilfe des Laptops synchronisiert und die Messung über die Software gestartet.
4. Der Messkoffer wird geschlossen und unter die rechte Treppe des Podests gestellt. An diesem Ort wird er mit Hilfe von Spanngurten befestigt (siehe Abbildung 6-8), so dass er sich während des Verladens, der Überfahrt und der Turminstallation nicht bewegt.

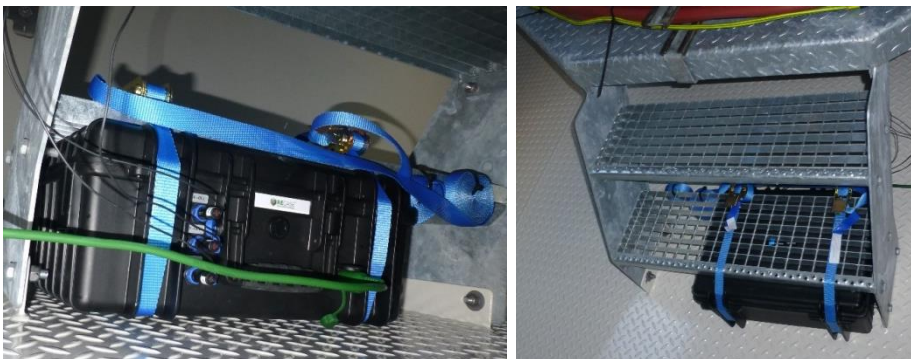


Abbildung 6-8: Für den Transport befestigter Messkoffer (RECASE - Regenerative Energien GmbH, 2017, p. 16)

6.4. Demontage des Messkoffers und Sicherung der Daten nach dem Transport

Nach der Überfahrt und dem Installieren des Turms auf dem TP wird das Hebemittel demon-
tiert, im Zuge dessen wird auch das Messsystem entfernt. Es ist entscheidend, die Reihen-
folge der Tätigkeiten einzuhalten, da es sonst zu einer fehlerhaften Messung kommen kann.
Nachfolgend wird die Vorgehensweise dargestellt:

1. Die 230 V-Versorgung wird getrennt, damit während der folgenden Arbeiten keine Stol-
pergefahr besteht.
2. Es werden die Spanngurte gelöst und der Messkoffer wird vorsichtig, damit die Kabel
nicht beschädigt werden, unter der Treppe hervorgezogen.
3. Der Messkoffer wird geöffnet und die Verbindung zwischen der Batterie und dem Recor-
der getrennt, dadurch wird die Datenaufzeichnung unterbrochen und die Aufzeichnung
nicht plausibler Daten verhindert.
4. Die Sensorkabel werden gelöst und die Sensoren aus den Adaptern gedreht, die Kabel
sind aufzuwickeln und mit den Sensoren in der Messbox zu verstauen.
5. Die Magnet-Adapter werden abgenommen und in der Adapter-Box untergebracht.

6. Die drei Sensoren, die Magnet-Adapter-Box und das 230 V-Kabel werden im Koffer verstaut und dieser geschlossen.
7. Wenn wieder ein Laptop zur Verfügung steht, können die gespeicherten Daten von dem internen Speicher und der SD-Karte auf dem Laptop gespeichert werden.

6.5. Änderungen / Anpassungen

In diesem Abschnitt werden die Änderungen und Anpassungen erläutert, die sich aufgrund der Erfahrungen beim ersten Einbau ergeben haben.

1. Durch den ersten Einbau wurde festgelegt, dass der Messkoffer in den liegenden Turm gebracht und dort für die Aufrichtung befestigt wird. Im stehenden Turm wird das Messsystem vollständig installiert und in die Position gebracht, in der die Messungen aufgenommen werden.
2. Die Position des Messkoffers im liegenden Zustand unter dem Kabelgitter wurde ausgewählt und für die nachfolgenden Durchführungen in der Montageanweisung festgelegt. An dieser Stelle kann der Messkoffer von einer Person in dem liegenden Turm gut und einfach befestigt und im stehenden Turm wieder demontiert werden.
3. Die Sensoren wurden, wie in der Montageanweisung beschrieben, angebracht und die Positionen bestätigt.
4. Für den Schiffstransport wird der Messkoffer, wie beim ersten Einbau, unter der Treppe positioniert und befestigt. Der Messkoffer stellt an diesem Ort kaum eine Behinderung auf der Plattform dar und schränkt den Zugang nicht ein.
5. Das Kabel (Heavy Duty) für die 230 V Versorgung muss mindestens eine Länge von 5 m aufweisen, da andernfalls keine Montage möglich ist, die eine Stolpergefahr ausschließt. Die nächsten Koffer wurden mit einem solchen Kabel ausgestattet und die zwei bereits ausgelieferten Koffer wurden nach ihrem ersten Einsatz ergänzt.

Durch die genannten Punkte konnten die Komponenten des Messkoffers an die tatsächlichen Bedingungen angepasst und die Durchführung verbessert werden.

7. Auswertung und Ergebnisse

Die aufgenommenen Beschleunigungswerte müssen in die Frequenzen und Auslenkungen umgerechnet werden. Anhand dieser ist eine Abschätzung der Belastung und der Auswirkung auf die Lebensdauer des Turms möglich. In diesem Kapitel werden die erste Datensichtung und die Ergebnisse der vollständigen Auswertung beschrieben, die Auswertung wurde nach Anleitung von RECASE durchgeführt. Bei der ersten Datensichtung werden die Daten von RECASE auf Qualität und Integrität geprüft. Es wird ein sehr kleiner Zeitabschnitt ausgewählt und analysiert (Kapitel 7.2). Die durchgeführte Auswertung wird in ihren Einzelheiten in Kapitel 7.3 beschrieben und die Ergebnisse dargestellt.

7.1. Auswahl der Zeiträume für die Auswertung

Die Beschleunigungen werden in allen drei Richtungen über die gesamte Zeit von der Standzeit am Hafen bis zur Installation des Turms gemessen und gespeichert. Dadurch entstehen sehr große Messdateien mit einigen Millionen Wertepaaren (aus Zeitangabe und Beschleunigungswert). Um die Auswertung der Daten zu verkürzen, werden für den Ablauf drei Zeitabschnitte definiert, für jene die Frequenzen und die Auslenkungen berechnet werden. Falls es während der Messung zu unerwarteten Ereignissen kommt, sind diese bei der Auswertung ebenfalls zu berücksichtigen. Die zu untersuchenden Zeitabschnitte sind:

1. Die Zeit, in der der Turm aufgerichtet am Hafen steht. Die Bestimmung dieser Frequenzen ist wichtig, da der Turm in dieser Zeit überwiegend durch den Wind angeregt wird. Dadurch kann der Turm zu dauerhaftem Schwingen angeregt werden, dies muss in der Lebensdauerbetrachtung einbezogen werden.
2. Der nächste zu überprüfende Zeitraum ist die Überfahrt, diese beginnt mit dem Ablegen des Schiffs und endet bei der Installation der Türme. Dieser Abschnitt ist sehr wichtig, da der Turm durch die Summe aus Wind und Fahrtwind und den Seegang angeregt wird. Die Scruton-Wendel sollen die schädlichsten Anregungen verhindern, dies wird anhand der Frequenzen überprüft.
3. Die Zeit für die Turminstallation ist für die Bewertung der Belastungen des Turms wichtig, weil es bei Aufsetzen auf die Unterkonstruktion zu Vibrationen und Schwingungen des Turms kommen kann. Die Überwachung der Beschleunigungen endet mit der Hebemitteldemontage und bis zu diesem Zeitpunkt werden bei der Auswertung die Frequenzen und Auslenkungen bestimmt.

Um die oben beschriebenen Abschnitte für jede Messung festlegen zu können, ist die genaue Aufzeichnung der Tätigkeiten am Hafen und während der Überfahrt wichtig. Anhand

der Datums- und Zeitangaben können die Daten aus der großen Datenmenge extrahiert und ausgewertet werden. Wie die ausgewählten Daten ausgewertet werden und was die Auswertung beinhaltet, wird in Abschnitt 7.3 erläutert.

7.2. Manuelle Prüfung der Daten

Bevor alle Daten vollständig ausgewertet werden, sind die Daten von der ersten Messung auf Richtigkeit und Qualität zu prüfen. Es werden kurze Zeitabschnitte aus der gesamten, großen Datenmenge extrahiert und mit Hilfe von Excel wird die Frequenz bestimmt. Falls hierbei Fehler innerhalb der Daten erkennbar sind, können diese bei nachfolgenden Messungen möglicherweise verhindert werden. Die Funktion des Messsystems kann hiermit überprüft und bestätigt werden.

Zu Beginn wurden zwei geeignete Zeiträume für die Überprüfung ausgewählt, dazu wurden die Berichte der Tätigkeiten vom Hafen und vom Schiff betrachtet. Es wurde ein Zeitraum ausgewählt, in dem sich der stehende Turm am Hafen befindet und eine Windgeschwindigkeit von durchschnittlich 5 m/s herrschte. Der ausgewählte Zeitraum umfasst ca. 10 min (von 5:10:39 Uhr bis 5:21:07 Uhr), in diesen 10 min steht der Turm am Hafen und es wirkt lediglich der Wind auf den Turm ein. Der zweite Zeitraum umfasst eine ca. 8-minütige Beschleunigungsmessung, als der Turm bereits auf dem Fundament aufgesetzt wurde. Hierbei herrschten Windgeschwindigkeiten von $5 - 11 \text{ m/s}$.

Es wurden die Beschleunigungswerte für die x- und y-Achse mit der jeweiligen Zeitangabe aus dem großen Datensatz entnommen und in eine Excel-Tabelle eingefügt. Aus den Beschleunigungswerten für die x- und y-Richtung wurden die resultierenden Beschleunigungen mit Hilfe des Satzes des Pythagoras berechnet. Die Darstellung der Zeit und des Datums in Excel wurde durch eine Nummerierung vereinfacht, da die Darstellung der Beschleunigung (Excel: y-Achse) über die Zeit (Excel: x-Achse) nur schwierig umsetzbar wäre. Die Zeitangaben wurden durch eine Nummerierung beginnend bei „1“ ersetzt. Die resultierenden Beschleunigungen werden über die (vereinfachte) Zeit aufgetragen. Um die grafische Darstellung der Beschleunigung so darzustellen, dass ein periodischer Verlauf der Beschleunigung erkennbar wird, wurde das Diagramm optisch gestreckt. Anhand der Grafik kann die Frequenz bestimmt werden, nachfolgend wird die Vorgehensweise erläutert.

Innerhalb des definierten Abschnitts wurden in Bereichen mit einer deutlich zu erkennenden, gleichmäßigen Schwingung jeweils zehn Periodenlängen betrachtet. Es wurde die Länge des Schwingvorgangs über den Abstand von einem zum nächsten Maximum manuell ausgemessen. Der nummerierte Zeitwert des vorderen Maximums und des hinteren Maximums wurde aufgenommen, dies wurde zehnmal wiederholt. Anschließend wurde der Sekunden-

und Millisekundenanteil des Zeitstempels für die aufgenommenen Zeitwerte aufgelistet. Die Zeitangaben des hinteren und vorderen Maximums wurden für die jeweilige Periodenlänge subtrahiert, so dass das Ergebnis die Zeit angibt, die für eine Periodenlänge benötigt wird. Aus der Periodenlänge T kann mit Hilfe der Formel (7-1) die Frequenz berechnet werden.

$$f = \frac{1}{T} \quad (7-1)$$

mit: $T :=$ Periodendauer

In Abbildung 7-1 ist ein kleiner Abschnitt der resultierenden Beschleunigung gezeigt, welche sich aus den Beschleunigungswerten bei der Messung am Hafen ergibt.

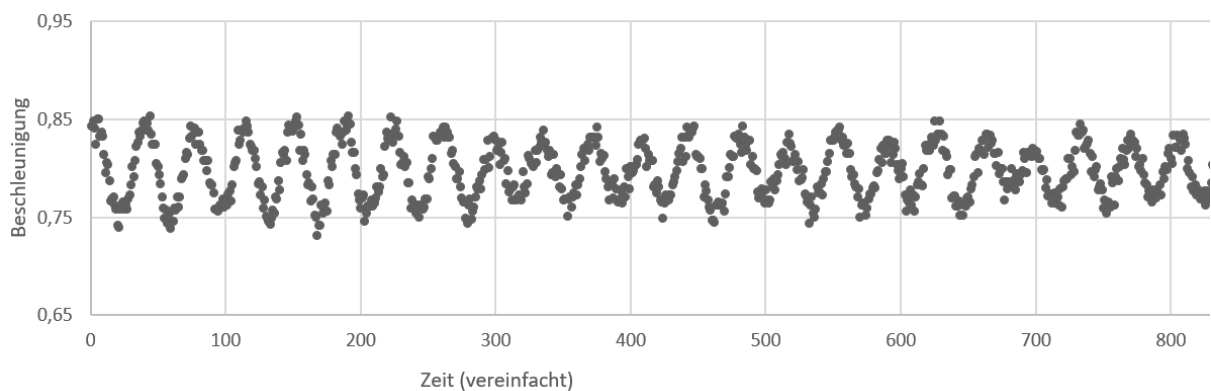


Abbildung 7-1: Ausschnitt der Darstellung der resultierenden Beschleunigung (Hafen)

In Tabelle 7-1 werden die Werte der zehn ausgewählten Perioden aufgelistet. Für jede Periode ist der vereinfachte Zeitwert des Periodenanfangs und -endes dargestellt, dazu werden die Sekundenanteile des Zeitstempels angegeben. Es wird jeweils die Differenz zwischen Anfang und Ende der Periode gebildet. Aus der Differenz des Zeitanteils wird die Frequenz bestimmt. Aus den zehn Frequenzwerten kann der Mittelwert gebildet werden, dieser beträgt für den hier gewählten Zeitabschnitt am Hafen 0,820 Hz.

Tabelle 7-1: Ausgewählte Perioden und berechnete Frequenzen (Hafen)

Ausgewählte Periode	Periodenfangwert	Periodenfangzeitwert	Periodenfangzeitanteil (s)	Periodenendewert	Periodenendzeitanteil (s)	Differenzzeitwert	Differenzzeitanteil (s)	Frequenz (Hz)
1	115		43,149	153	44,403	38	1,254	0,797
2	2300		55,254	2338	56,508	38	1,254	0,797
3	5024		25,146	5062	26,400	38	1,254	0,797
4	6655		18,969	6693	20,223	38	1,254	0,797
5	8633		24,243	8670	25,464	37	1,221	0,819
6	9258		44,868	9294	46,056	36	1,188	0,842
7	10169		14,931	10206	16,152	37	1,221	0,819
8	14111		25,017	14148	26,238	37	1,221	0,819
9	14516		38,382	14551	39,537	35	1,155	0,866
10	15649		15,771	15685	16,959	36	1,188	0,842
								0,820

Aus den Beschleunigungswerten der x- und y-Achse, die beim installierten Turm aufgenommen wurden, wurden ebenfalls die resultierenden Beschleunigungen berechnet. Für die Frequenz der Turmschwingung beim Schiffstransport hat sich ein Wert von 0,894 Hz ergeben.

Die beiden ermittelten Frequenzwerte liegen unter dem benannten Grenzwert von 0,9 Hz. Sie zeigen, dass die aufgenommenen Daten für die Frequenzberechnung verwendbar sind und die Beschleunigungswerte sinnvolle Ergebnisse liefern. Durch die nachfolgende Auswertung aller Daten werden die Frequenzwerte in Kapitel 7.3 berechnet und mit diesen verglichen.

7.3. Datenauswertung und Ergebnisse

Nach der Plausibilisierung der Daten wurden die erforderlichen Auswertungen spezifiziert und an die Auswertestelle des Auftraggebers übergeben. Die entstandenen Ergebnisse wurden einmalig an RECASE zurückgegeben.

In Kapitel 7.3 werden Graphiken und Berechnungen aus der Auswertung des Auftraggebers verwendet, diese werden durch die Angabe „nach dem Auftraggeber“ gekennzeichnet. In die zugehörige Quelle kann zur Überprüfung der akademischen Qualität auf Nachfrage Einsicht gewährt werden.

Die Auswertung der drei ausgewählten Zeiträume und anderer auffälliger Ereignisse, die während der Messung stattfanden, werden in ihrem gesamten Umfang mit Hilfe der Fast-Fourier-Transformation (FFT) ausgewertet. Dies wird anhand der Auswertung des ersten Turms (T1) durchgeführt und veranschaulicht.

7.3.1. Beschleunigungen

Zu Beginn wurden die genauen Zeiträume für die zu untersuchenden Zeiträume durch die Tagesberichte der Ereignisse vom Hafen und auf dem Schiff bestimmt. Die entsprechenden Ausschnitte aus den Zeitreihen wurden aus den Messdateien extrahiert. Für T1 ergeben sich die in Tabelle 7-2 dargestellten zu analysierenden Zeiträume.

Tabelle 7-2 : Für die Auswertung relevante Zeiträume von Turm 1 (nach dem Auftraggeber)

Tätigkeit	Beginn		Ende	
Hafenstandzeit	24.02.2017	23:00 Uhr	01.03.2017	21:50 Uhr
Schiffstransport	02.03.2017	03:00 Uhr	04.03.2017	11:00 Uhr
Installierter Turm	04.03.2017	16:00 Uhr	08.03.2017	04:28 Uhr

Aus den Beschleunigungswerten, die in x- und y-Richtung aufgenommen wurden, werden mit Formel (7-2) die Werte für die daraus resultierende Beschleunigung berechnet.

$$a_{res} = \sqrt{a_x^2 + a_y^2} \quad (7-2)$$

mit: a_{res} := Beschleunigung der resultierenden Schwingung;

a_x := Beschleunigung in x – Richtung; a_y := Beschleunigung in y – Richtung

Für T1 wurden die Werte der resultierenden Beschleunigung über die Zeit aufgetragen, dies in Abbildung 7-2 dargestellt.

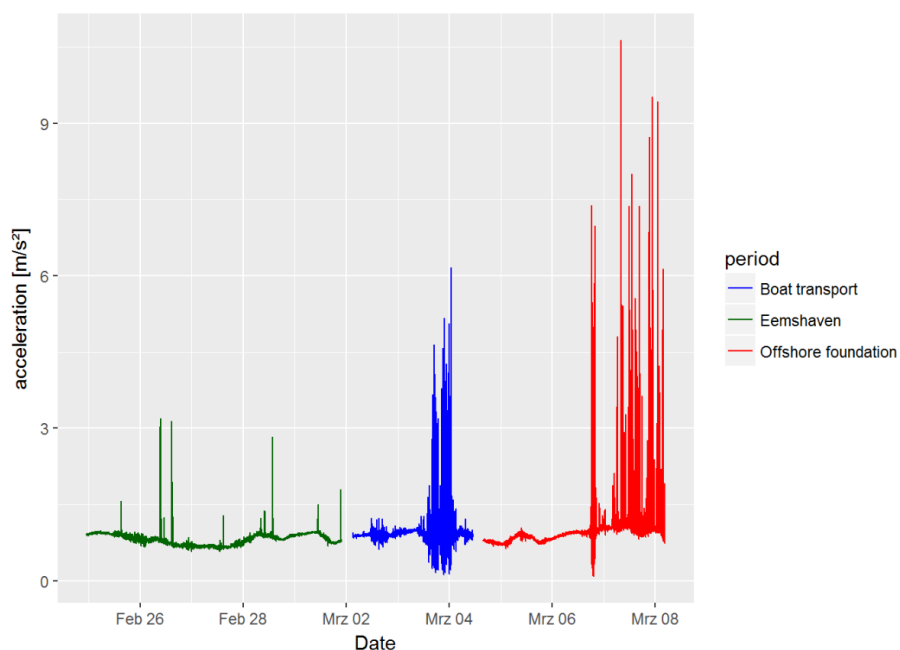


Abbildung 7-2: Resultierende Beschleunigung für T1 (nach dem Auftraggeber)

Die am Hafen auftretenden Beschleunigungen werden durch den an der Küste herrschenden Wind ausgelöst. Beim folgenden Schiffstransport der Türme sind die maximalen Beschleunigungen 6 m/s^2 , die durch den Wind und den Seegang bedingt werden. Auf See herrschen Windgeschwindigkeiten von $6 - 12 \text{ m/s}^2$, die den Turm in stärkere Schwingung als am Hafen versetzen. Es ist ersichtlich, dass die Beschleunigungen beim Stehen auf dem Offshore-Fundament, hier rot dargestellt, am höchsten sind.

In Tabelle 7-3 werden die Minimal-, Maximal- und Mittelwerte der resultierenden Beschleunigungen bei den drei Zustände aufgelistet.

Tabelle 7-3: Übersicht der Beschleunigungswerte der drei Zustände (nach dem Auftraggeber)

	Minimalwert (m/s^2)	Mittelwert (m/s^2)	Maximalwert (m/s^2)
Hafenstandzeit	0,27	0,82	3,19
Schiffstransport	0,00	0,91	6,16
Offshore-Fundament	0,00	0,93	10,63

Die Tabelle zeigt, dass es während der Messung zu sehr hohen Beschleunigungswerten kommt. Dies sind jedoch nur Ausnahmen, die Mittelwerte der definierten Zeiträume liegen in einem Bereich von $0,82 - 0,93 \text{ m/s}^2$, somit sind die Beschleunigungen und damit auch die Belastungen auf den Turm gleichbleibend.

7.3.2. Fast-Fourier-Transformation

Mit Hilfe der FFT werden die Zeitreihen in Frequenzspektren umgewandelt, die Zeitreihen können in eine Summe von Sinusfunktionen mit unterschiedlichen Frequenzen und Amplituden zerlegt werden (Böhme, 2005; Schulz, 2012) Für die einzelnen Abschnitte wurde die Amplitude über die Frequenz aufgetragen, nachfolgend werden die erstellten Graphiken aufgeführt. Die auf der x-Achse aufgetragene Frequenz wird in Hz und die Amplitude (y-Achse) durch eine dimensionslose Zahl angegeben.

Standzeit am Hafen (Onshore)

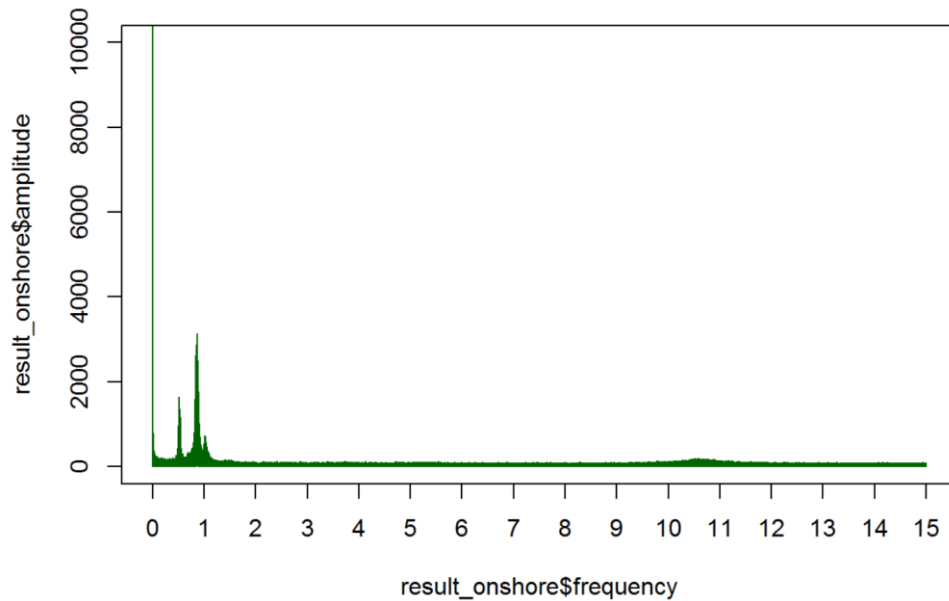


Abbildung 7-3: Amplitude und Frequenz bei der Standzeit am Hafen für T1 (nach dem Auftraggeber)

Abbildung 7-3 zeigt, dass bei Frequenzen bis 1 Hz die großen Amplituden auftreten, deshalb wird dieser Bereich in Abbildung 7-4 genauer betrachtet.

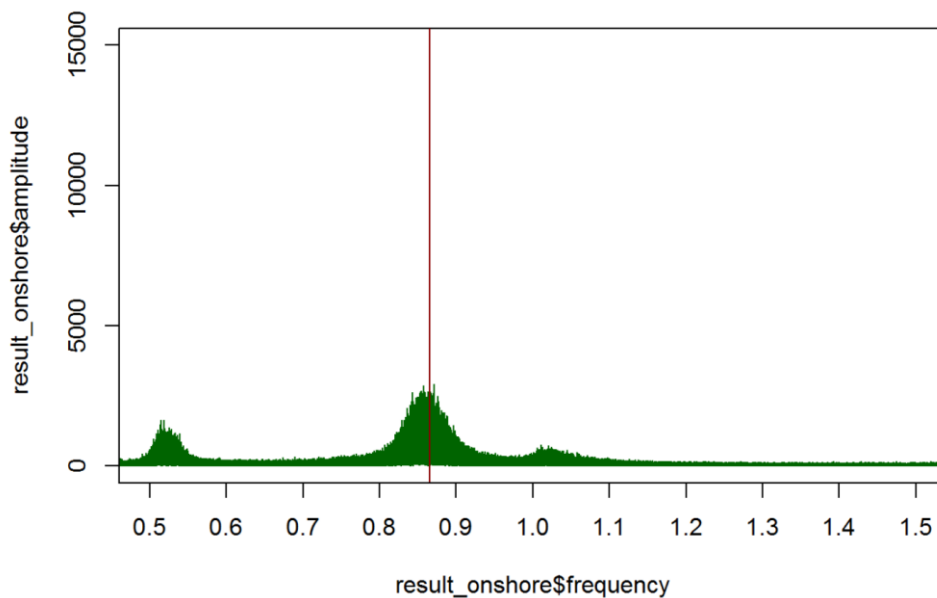


Abbildung 7-4: Amplitude und Frequenz im Bereich 0,5-1,5 Hz bei der Standzeit am Hafen für T1 (nach dem Auftraggeber)

Zwischen 0,8 und 0,9 Hz treten die Schwingungen mit den größten Amplituden auf, die Amplitude wird in der Eigenfrequenz maximal. Die erste Eigenfrequenz mit einem Wert von 0,865 Hz wird bestimmt und durch die rote senkrechte Linie gekennzeichnet.

Schiffstransport (Offshore)

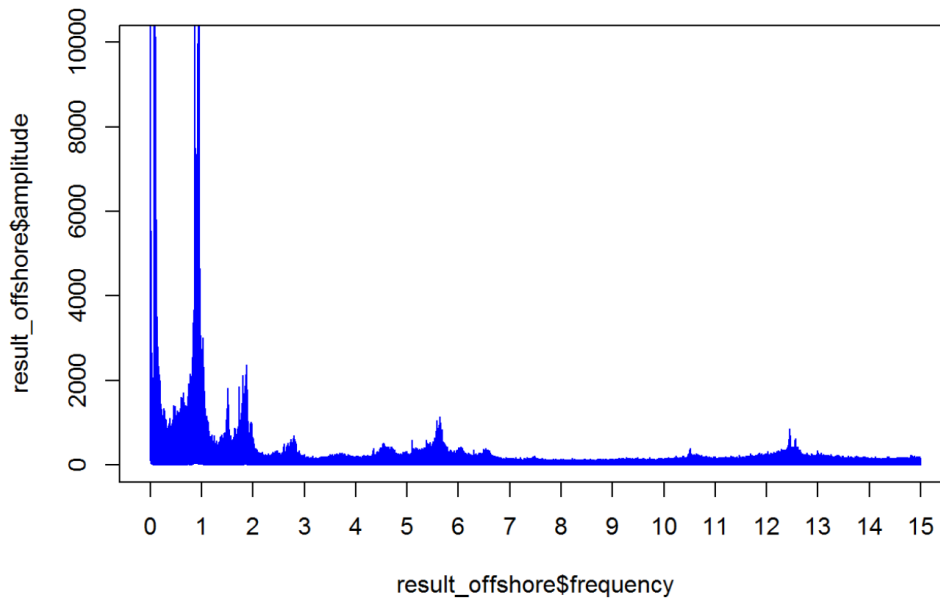


Abbildung 7-5: Amplitude und Frequenz beim Schiffstransport für T1 (nach dem Auftraggeber)

Die größten Amplituden sind in dem Frequenzbereich von 0-2 Hz zu erkennen, dieser ist in Abbildung 7-6 vergrößert dargestellt.

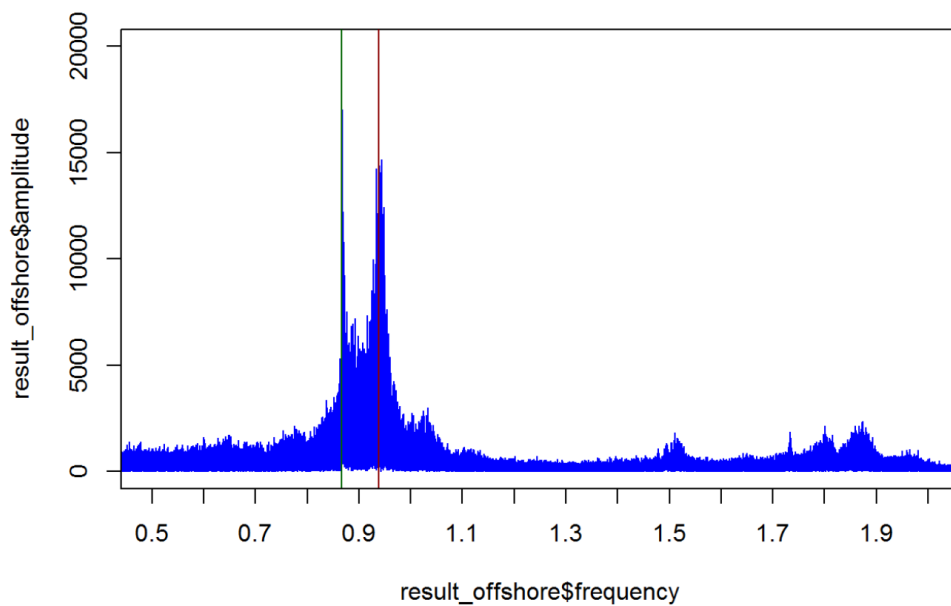


Abbildung 7-6: Amplitude und Frequenz im Bereich 0-2 Hz beim Schiffstransport für T1 (nach dem Auftraggeber)

In Abbildung 7-6 ist zu erkennen, dass die Amplituden in einem Frequenzbereich von 0,85 Hz bis 0,95 Hz liegen. Die erste Eigenfrequenz beträgt 0,938 Hz und wird durch die rote Linie gekennzeichnet. Die grüne senkrechte Linie stellt eine weitere auffällige Frequenz bei 0,867 Hz dar.

Fundament (Offshore)

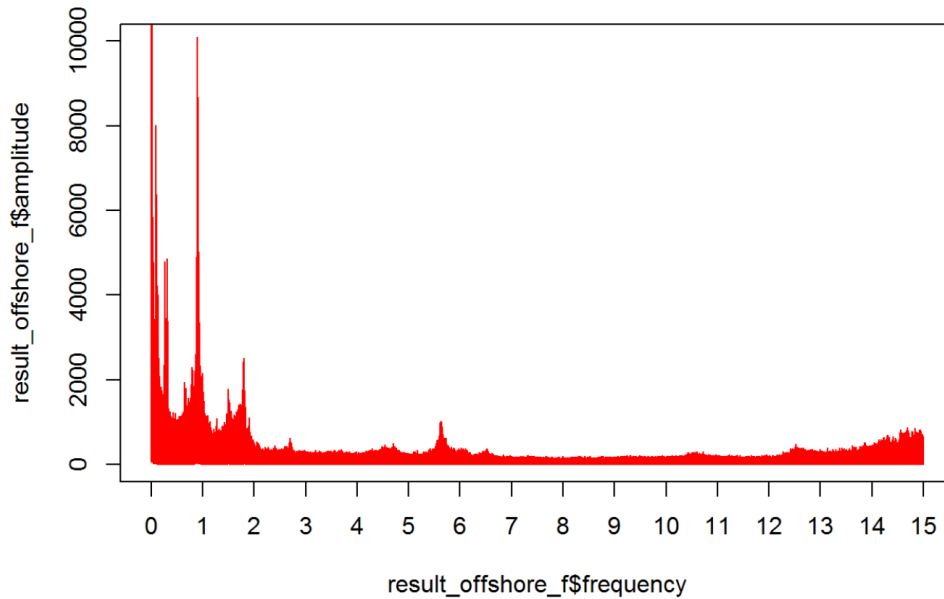


Abbildung 7-7: Amplitude und Frequenz am Fundament für T1 (nach dem Auftraggeber)

Auch bei den Frequenzen, mit denen der auf das Fundament aufgesetzte Turm schwingt, sind die höchsten Amplituden bei Frequenzen von 0-2 Hz zu erkennen, Abbildung 7-8 zeigt diesen Ausschnitt.

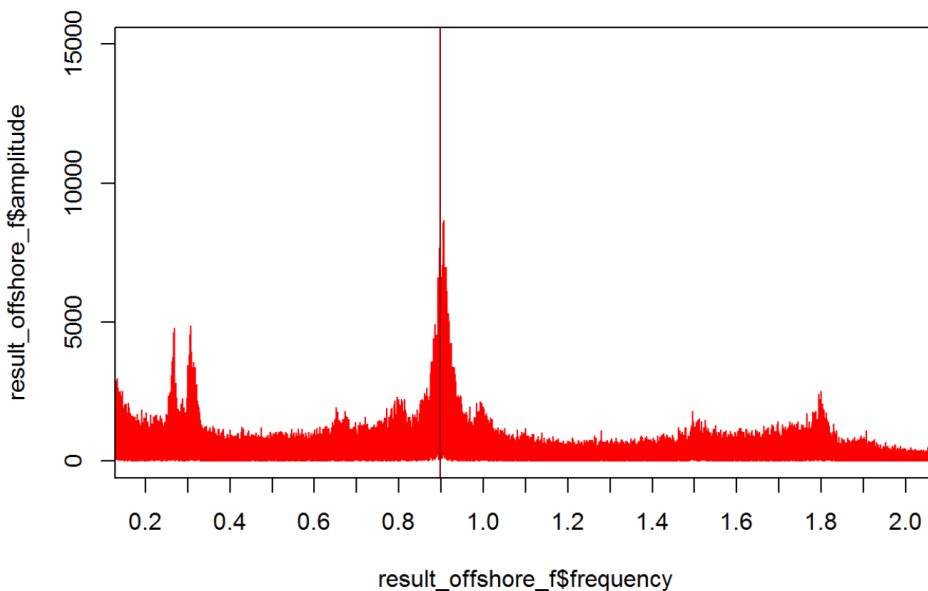


Abbildung 7-8: Amplitude und Frequenz im Bereich 0-2 Hz am Fundament für T1 (nach dem Auftraggeber)

Die Eigenfrequenz beträgt in diesem Bereich 0,899 Hz, dies entspricht der genannten Grenze für die Eigenfrequenz.

7.3.3. Auslenkung des Turmkopfs

Durch die ermittelten Eigenfrequenzen und maximalen Amplituden in den drei Abschnitten können die Auslenkungen des Turmkopfs mit Formel (7-3) ermittelt werden.

$$x_{Turmkopf} = \frac{a_{max}}{(2\pi EF)^2} \quad (7-3)$$

mit: $x_{Turmkopf}$:= Auslenkung des Turmkopfs; a_{max} := Max. Amplitude;
 EF := Eigenfrequenz

Tabelle 7-4 zeigt die Eigenfrequenzen, Amplituden und die daraus errechneten Auslenkungen am Turmkopf.

Tabelle 7-4: Darstellung der Eigenfrequenz, Amplitude und Auslenkung am Turmkopf (nach dem Auftraggeber)

Zustand	EF (Hz)	a_{max} (m/s^2)	$x_{Turmkopf}$ (m)
Hafenstandzeit	0,865	0,17	0,006
Schiffstransport	0,938 / 0,867	0,225 / 0,18	0,006 / 0,006
Offshore-Fundament	0,899	1,089	0,034

Tabelle 7-4 zeigt, dass die Auslenkung am Turmkopf bei der Hafenstandzeit und beim Schifftransport 6 mm beträgt. Wenn der Turm auf das Fundament aufgesetzt wurde, beträgt die Auslenkung 34 mm. Dieser Wert ist sehr viel größer als die anderen, bei den nachfolgenden Messungen muss besonders die Auslenkung dieses Abschnitts betrachtet werden.

7.3.4. Frequenz

Für die drei Zustände wird jeweils ein Histogramm gezeigt, in dem die Häufigkeiten der Frequenzen unter 2 Hz dargestellt werden. Die Frequenzen werden in Klassen mit einer Breite von 0,1 Hz aufgeteilt und die Säulenhöhe gibt an, wie oft eine Frequenz vorkommt.

Standzeit am Hafen (Onshore)

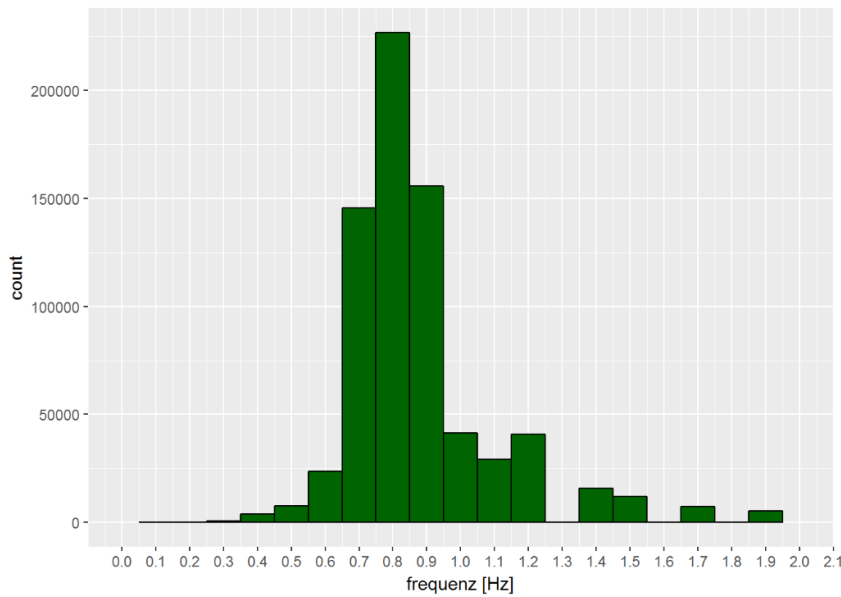


Abbildung 7-9: Häufigkeiten der Frequenzen im Bereich 0-2 Hz am Hafen für T1 (nach dem Auftraggeber)

Bei der Standzeit am Hafen bewegte sich der Turm am häufigsten mit einer Frequenz der Klasse 0,8 Hz. Weitere häufig auftretende Frequenzen sind 0,7 Hz und 0,9 Hz.

Schiffstransport (Offshore)

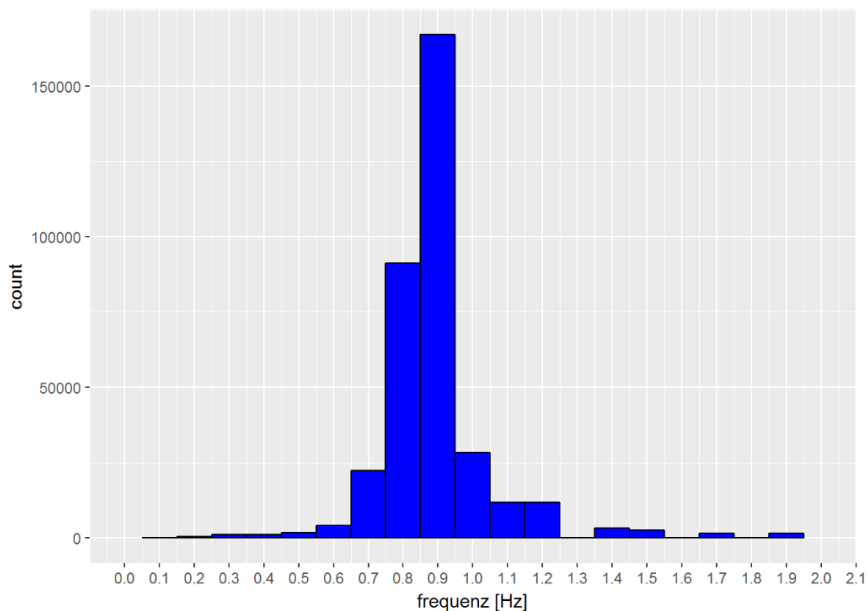


Abbildung 7-10: Häufigkeiten der Frequenzen im Bereich 0-2 Hz beim Schiffstransport für T1 (nach dem Auftraggeber)

Beim Schifftransport weist der Turm häufiger Frequenzen der Klasse 0,9 Hz auf, der Turm wird durch den Seetransport also stärker angeregt.

Fundament (Offshore)

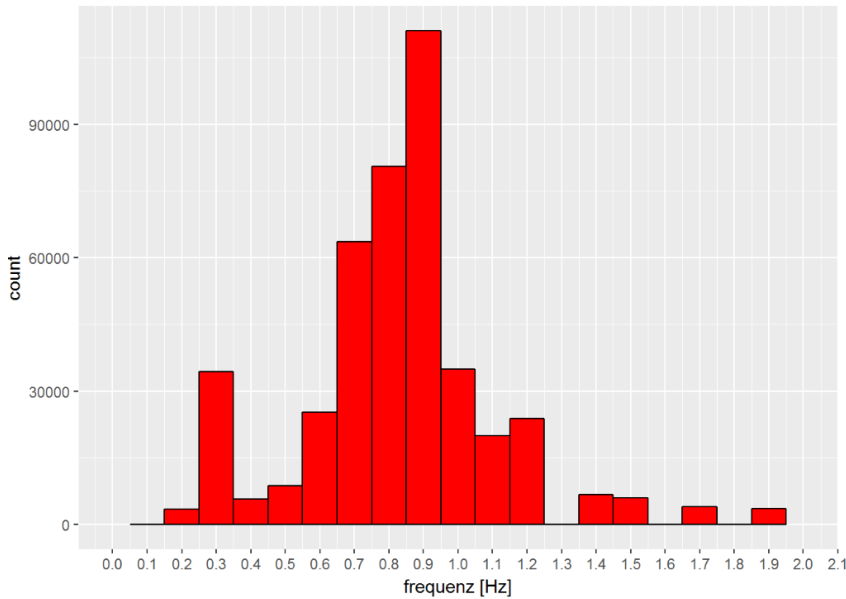


Abbildung 7-11: Häufigkeiten der Frequenzen im Bereich 0-2 Hz am Fundament für T1 (nach dem Auftraggeber)

Wenn der Turm auf das Fundament gesetzt wurde, wird er beschleunigt und schwingt am häufigsten mit Frequenzen im Bereich von 0,9 Hz. Außerdem sind Frequenzen von 0,7 Hz bis 0,8 Hz sehr oft aufgetreten.

Der Turm schwingt primär mit einer Frequenz im Bereich von 0,9 Hz, dies ist laut Auftraggeber die einzuhaltende Grenze und beeinflusst den Turm, schädigt ihn jedoch nicht.

7.3.5. Vergleich der Auswertungsergebnisse

In Kapitel 7.3 wurden die Ergebnisse des ersten Turms (T1) ausführlich vorgestellt und die einzelnen Schritte genau erläutert. In diesem Abschnitt werden die Ergebnisse der nachfolgend transportierten Türme zusammenfassend dargestellt. Diese wurden RECASE von dem Auftraggeber zur Verfügung gestellt, da RECASE an weiteren Auswertungen nicht beteiligt war. Durch das Messen der Beschleunigung sollten die Schwingungen bei drei Zuständen überwacht werden. Hinsichtlich dieser drei Zustände ergab sich das Folgende:

1. Resonanzkatastrophe: Während der nachfolgenden Messungen wurden keine Ereignisse beobachtet, die innerhalb der Eigenfrequenz liegen und so eine Resonanzkatastrophe hervorgerufen hätten.
2. Dauerhaftes Schwingen: Die aufgenommenen Messdaten wurden für die Lebensdauerbetrachtung herangezogen und es zeigt sich, dass die Dauerlasten, welche für den Transport beabsichtigt waren, bei den tatsächlich stattgefundenen Transporten unterschritten wurden.

3. Extremereignisse: In den Daten zeigten sich keine Extremereignisse, so dass die Türme beim Verladen oder Aufsetzen auf das Fundament nicht belastet wurden.

Bei den durchgeführten Transporten herrschten nur geringe Windgeschwindigkeiten, so dass die Windlasten, die für die stehend gelagerten und transportierten Türme kritisch sind, nicht auftraten. Das wird durch die Ergebnisse des ersten Turms bestätigt, da dieser während der drei ausgewählten Abschnitte keine Auffälligkeiten zeigte und nicht dauerhaft mit einer Frequenz, die der Eigenfrequenz entspricht, schwang.

7.4. Bewertung

Die in Kapitel 7 dargestellten Ergebnisse (manuelle Stichprobe und PC gestützte Analyse aller Daten) der beiden unterschiedlichen Auswertungsmethoden liefern für die auftretenden Frequenzen ähnliche Ergebnisse.

Die erste Auswertung dient der Prüfung der aufgenommenen Daten und Abschätzung der Frequenzen. Die aus den Beschleunigungswerten ermittelten Frequenzen liefern sinnvolle Werte, so dass die Daten für die umfangreiche Auswertung verwendet und weitere Messungen mit dem Messsystem durchgeführt werden können.

Bei der zweiten Auswertung werden die Daten der drei festgelegten Abschnitte im Gesamten in die Rechnung mit einbezogen. Durch die FFT werden für die drei Zustände die Frequenzverläufe ermittelt. Für jeden Zustand wird die erste Eigenfrequenz bestimmt, die Eigenfrequenzen unterscheiden sich aufgrund der Untergründe voneinander (siehe Kapitel 3.3.2). Wenn der Turm auf dem Grillage am Hafen steht, wird die Eigenfrequenz durch den starren, unnachgiebigen Untergrund kaum beeinflusst. Beim Schiffstransport und beim auf das TP gesetzten Turm steht der Turm auf einem Untergrund mit einer höheren Nachgiebigkeit, wodurch sich auch die Eigenfrequenz des Turms erhöht (Seidel & Schaumann, 2000).

Die Eigenfrequenz des Turms darf nicht erreicht werden, da es sonst zur Resonanzkatastrophe kommen kann. Wie in Kapitel 3.3.2 erläutert, soll die Frequenzen des Turms mindestens 5 % von der Eigenfrequenz entfernt sein. Die erstellten Histogramme bilden das Spektrum der Frequenzen ab, der Turm schwingt also nicht dauerhaft mit einer bestimmten Frequenz. Dies ist gegenüber der Abschätzung (erste Auswertung) von Vorteil, da eine Frequenz für die Gesamtheit der Daten als Aussage nicht ausreicht.

Die Ergebnisse des ersten Turms und die Ergebnisse der nachfolgenden Türme zeigen, dass die Türme durch die entstehenden Frequenzen angeregt werden. Der Auftraggeber muss bewerten, wie sehr die Lebensdauer von diesen Schwingungen beeinträchtigt wird. Laut Auftraggeber liegen die Belastungen im erwarteten Bereich und führen zu keinen Überschreitungen der Lastreserven.

8. Diskussion und Ausblick

In dieser Arbeit wurden die Anforderungen des Messsystems, welches für die Ermittlung der Beschleunigungen eines OWEA-Turms während des stehenden Schifftransports entwickelt wurde, dargestellt und erläutert. Es wurde geprüft, ob die gestellten Anforderungen von dem entwickelten Messsystem erfüllt werden und ob die ermittelten Daten für die Auswertung verwendbar sind.

Das Messsystem wurde gemäß der Anforderungen des Auftraggebers und den sich daraus abgeleiteten, weiteren Anforderungen umgesetzt. Bei Beauftragung mit der Entwicklung des Messsystems standen nur 20 Tage bis zum ersten Messeinsatz bei der Verschiffung des Turms zur Verfügung. Dies ist bei der Auswahl der Komponenten und Lieferanten ein entscheidender Faktor.

Das Messsystem ist den Anforderungen gerecht geworden, da auf einen beim Auftraggeber bereits bewährten Datenlogger zurückgegriffen wurde und die wichtigsten Eigenschaften und Handhabungen bekannt waren. Das Messsystem besteht aus dem genannten Datenlogger, welcher die Beschleunigungen in den drei gewünschten Richtungen mit Hilfe von Sensoren aufnimmt. Damit der Datenlogger die geforderte Zeit von 14 Tagen arbeiten kann, wird dieser über eine Batterie mit Strom versorgt. Die Batterie kann über einen Laderegler aufgeladen werden, wenn der Turm mit Strom versorgt wird. Diese und weitere notwendige Komponenten werden in einem handlichen Messkoffer untergebracht. Der Koffer kann von einer Person in den liegenden Turm gebracht werden, hierfür ist kein Kran notwendig. Der Messkoffer schützt die Komponenten bei der Installation und dem Transport auf die oberste Plattform vor Einwirkungen durch Wasser und Schmutz, so dass die geforderte Schutzart IP 44 eingehalten wird.

Das zusammengestellte Messsystem wird für die Ermittlung der Turmschwingung in den stehend transportierten Türmen angebracht und nimmt die Beschleunigungen mit der geforderten Abtastrate in den drei Richtungen auf und gibt die gewünschten Zeitreihen aus. Die von dem Messsystem aufgenommenen Daten sind für die Analyse verwendbar, damit erfüllt das Messsystem die Anforderungen.

Durch die stichprobenartige Untersuchung konnte nachgewiesen werden, dass die aufgezeichneten Beschleunigungswerte plausibel und für die Frequenzbestimmung geeignet sind. Die bei der vollständigen Auswertung bestimmten Frequenzen zeigen, dass die Türme durch die auf sie wirkenden Windgeschwindigkeiten und durch die anderen Faktoren mit Frequenzen angeregt werden, die unterhalb der kritischen Frequenzen liegen. Während der Messungen traten keine Resonanzkatastrophen oder Extremlasten auf, für den Turm besteht also

nicht die Gefahr der unmittelbaren Strukturschädigung. Die Schwingungen beeinflussen die Türme und müssen daher in die Lebensdauerbetrachtung einbezogen werden.

Das Messsystem erfüllt die wichtigsten Anforderungen, doch einige Eigenschaften und Handhabungen können verbessert werden.

Der Datenlogger verfügt über eine Anzeige für die Betriebsbereitschaft, diese ist bei einem geöffneten Messkoffer zu sehen. Die Anforderung, den Betriebszustand des Systems auch von außen zu erkennen, ist hiermit nicht vollständig erfüllt. Diese kann in Form von LEDs bei den bereits verwendeten Messköffern ergänzt und bei neuen eingebaut werden.

Die Zeitreihen sind für die Auswertung in Form der Ermittlung der Frequenzen geeignet. Für die genauere Bestimmung der zu betrachtenden Abschnitte sollten die Zustände des Turms am Hafen, auf dem Schiff und auf dem Fundament präziser dokumentiert werden. Bei der Auswertung können kritische Zustände besser erkannt und anschließend vermieden werden. Die Betrachtung und detaillierte Aufnahme der herrschenden Windverhältnisse ist sinnvoll, da die Entstehung von hohen Frequenzen möglicherweise durch starken Wind hervorgerufen wird.

Das Messsystem kann darüber hinaus für die Aufnahme von Beschleunigungen bei der Errichtung von WEA an Land oder für andere beschleunigte Bauteile außerhalb der Windenergie verwendet werden.

Die Überprüfung hat gezeigt, dass die Entwicklung eines Messsystems für die Turmschwingungsermittlung innerhalb kurzer Zeit möglich ist und die Anforderungen erfüllt werden. Die aus den Daten abgeleiteten Ergebnisse sind plausibel und für die Lebensdauerbetrachtung verwendbar. Das Messsystem kann für weitere Beschleunigungsmessungen eingesetzt werden.

Literaturverzeichnis

B&W International GmbH special cases & bags, 2016. *Outdoor.Cases type 6000*. [Online]
Available at: <http://www.b-w-international.com/de/product/type-6000/>

[Zugriff am 14 07 2017].

Böhme, A., 2005. *Fast FOURIER-Transformation*. [Online]

Available at: <https://www-user.tu-chemnitz.de/~benner/Lehre/top10/ready/FFT.pdf>

[Zugriff am 14 07 2017].

Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi), 2015. *Offshore-Windenergie - Ein Überblick über die Aktivitäten in Deutschland*, Blomberg: Druckhaus Rihn.

BWE Bundesverband WindEnergie e.V., n.d. a. *Aerodynamik / Rotorblätter*. [Online]

Available at: <https://www.wind-energie.de/infocenter/technik/funktionsweise/aerodynamik-rotorblaetter>

[Zugriff am 14 07 2017].

BWE Bundesverband WindEnergie e.V., n.d. b. *Konstruktiver Aufbau*. [Online]

Available at: <https://www.wind-energie.de/themen/technik/konstruktiver-aufbau>

[Zugriff am 14 07 2017].

BWE Bundesverband WindEnergie e.V., n.d. c. *Maschinenhaus / Antriebsstrang*. [Online]

Available at: <https://www.wind-energie.de/infocenter/technik/konstruktiver-aufbau/maschinenhaus-antriebstrang>

[Zugriff am 14 07 2017].

Dannenberg, L., 2012a. Offshore-Windenergie. In: A. Schaffarczyk, Hrsg. *Einführung in die Windenergietechnik*. München: Carl Hanser Verlag, p. 434 ff..

Dannenberg, L., 2012b. Rotorblätter. In: A. Schaffarczyk, Hrsg. *Einführung in die Windenergietechnik*. München: Carl Hanser Verlag, p. 185 ff..

Faber, T., 2012. Trum und Gründung. In: A. Schaffarczyk, Hrsg. *Einführung in die Windenergietechnik*. München: Carl Hanser Verlag, p. 277 ff..

Fichtner GmbH & Co. KG & Prognos AG, 2013. *Kostensenkungspotenziale der Offshore-Windenergie in Deutschland (Kurzfassung)*, s.l.: Stiftung OFFSHORE-WINDENERGIE.

Gasch, R., Kühn, M. & Sundermann, B., 2011. Strukturodynamik. In: R. Gasch & J. Twele, Hrsg. *Windkraftanlagen - Grundlagen, Entwurf, Planung und Betrieb*. Berlin: Vieweg + Teubner Verlag, p. 304 ff..

- Hau, E., 2008a. Physikalische Grundlagen der Windenergieumwandlung. In: E. Hau, Hrsg. *Windkraftanlagen - Grundlagen, Technik, Einsatz, Wirtschaftlichkeit*. Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag, pp. 79-84.
- Hau, E., 2008b. Windverhältnisse. In: E. Hau, Hrsg. *Windkraftanlagen - Grundlagen, Technik, Einsatz, Wirtschaftlichkeit*. Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag, pp. 512-514.
- Hau, E., 2008c. Rotorblätter. In: E. Hau, Hrsg. *Windkraftanlagen - Grundlagen, Technik, Einsatz, Wirtschaftlichkeit*. Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag, pp. 239-244.
- Hau, E., 2008d. Der Turm. In: E. Hau, Hrsg. *Windkraftanlagen - Grundlagen, Technik, Einsatz, Wirtschaftlichkeit*. Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag, pp. 473-503.
- Hau, E., 2008e. Schwingungsverhalten. In: E. Hau, Hrsg. *Windkraftanlagen - Grundlagen, Technik, Einsatz, Wirtschaftlichkeit*. Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag, pp. 459-467.
- Heinsohn, R., 2002. *Strom aus Windenergie an bis zu 8.000 Stunden pro Jahr*. [Online] Available at: <http://www.innovations-report.de/html/berichte/umwelt-naturschutz/bericht-14579.html>
[Zugriff am 14 07 2017].
- Kerscher, T. F., 2011. *Nachhaltige Energiegewinnung ohne die heiße Luft - Daten für Deutschland*. 2. Auflage Hrsg. s.l.:Wang.
- Magna-C GmbH, n.d.. *Selbstklebender Antirutschfilm*. [Online] Available at: <https://www.magna-c.de/Magnetsysteme-und-Zubehoer/Zubehoer-fuer-Magnetsysteme/Selbstklebender-Antirutschfilm.html>
[Zugriff am 14 07 2017].
- OSRAM GmbH, 2012. *Technischer Anwendungsleitfaden - Schutzarten (IP-Codes) nach DIN EN 60529*, München: s.n.
- Peters, J. H., n.d.. *Kármán'sche Wirbelstraße*. [Online] Available at: <http://www.philippi-trust.de/hendrik/braunschweig/wirbeldoku/karman.html>
[Zugriff am 14 07 2017].
- Pracht, U., 2010. *Gewichtete Entscheidungsmatrix*. [Online] Available at: <https://menschenundit.wordpress.com/2010/11/10/gewichtete-entscheidungsmatrix/>
[Zugriff am 14 07 2017].
- Presse- und Informationsamt der Bundesregierung, 2017. *Energiewende*. [Online] Available at:

https://www.bundesregierung.de/Webs/Breg/DE/Themen/Energiewende/Fragen-Antworten/1_Allgemeines/1_warum/_node.html

[Zugriff am 14 07 2017].

RECASE - Regenerative Energien GmbH, 2017. *Montageanweisung* - , Busdorf: s.n.

Rohrig, K. ; Richts, Christopf; Bofinger, Stefan; Jansen, Malte; Siefert, Malte; Pfaffel, Sebastian; Durstewitz, Michael, 2013. *Energiewirtschaftliche Bedeutung der Offshore-Windenergie für die Energiewende - Kurzfassung (IWES Fraunhofer)*. [Online]

Available at:

<https://www.fraunhofer.de/content/dam/zv/de/forschungsthemen/energie/Energiewirtschaftliche-Bedeutung-von-Offshore-Windenergie.pdf>

[Zugriff am 18 07 2017].

Schaffarczyk, A., 2012. Aerodynamik und Blattentwurf. In: A. Schaffarczyk, Hrsg. *Einführung in die Windenergietechnik*. München: Carl Hanser Verlag, p. 153 f..

Schmidt, W.-D., 2007. *Sensorschaltungstechnik*. 3. Auflage Hrsg. Würzburg: Vogel Buchverlag.

Schröder, C., 2004. *Schwingung und Resonanzphänomene*. [Online]

Available at: <http://ti.fh-bielefeld.de/pv/vorlesung/an/schwingungen.pdf>

[Zugriff am 13 06 2017].

Schubert, M. & Heilmann, C., 2015. Konstruktiver Aufbau von Windkraftanlagen. In: R. Gasch & J. Twele, Hrsg. *Windkraftanlagen - Grundlagen, Entwurf, Planung und Betrieb*. Berlin: Springer Vieweg, p. 51 ff..

Schulz, R., 2012. *Fourier-Transformation: Grundlagen*. [Online]

Available at: [http://wwwmath.uni-](http://wwwmath.uni-muenster.de/u/raimar/lehre/WS12/Integraltransformationen/Vortrag_Fourier-Transformation.pdf)

[muenster.de/u/raimar/lehre/WS12/Integraltransformationen/Vortrag_Fourier-Transformation.pdf](http://wwwmath.uni-muenster.de/u/raimar/lehre/WS12/Integraltransformationen/Vortrag_Fourier-Transformation.pdf)

[Zugriff am 14 07 2017].

Seidel, M. & Schaumann, P., 2000. *Eigenschwingungsverhalten von Windenergieanlagen - Berechnung und Messung*, Hannover: s.n.

SEIKA Mikrosystemtechnik GmbH, n.d.. *B1, B2, B3*. [Online]

Available at: <http://www.seika.de/deutsch/index.htm>

[Zugriff am 14 07 2017].

Siegfriedsen, S., 2012. Der Triebstrang. In: A. Schaffarczyk, Hrsg. *Einführung in die Windenergietechnik*. München: Carl Springer Verlag, p. 224 ff..

SKI - Ingenierges. mbH, 2017. *Wirbelerregte Querschwingungen*. [Online]
Available at: <http://www.ski-consult.de/berechnungen/wirbelerregte-querschwingung.html>
[Zugriff am 18 07 2017].

Slavik, M., n.d. a. *Baudynamik und Zustandsanalyse - 21.7 Beschreibung des Winddruckes*. [Online]
Available at: https://www.htw-dresden.de/fileadmin/userfiles/biw_arch/bauing/baumech/Slavik/a21_7_43.pdf
[Zugriff am 14 07 2017].

Slavik, M., n.d. b. *Baudynamik und Zustandsanalyse - 21.9 KÄRMÄnsche Querschwingungen*. [Online]
Available at: https://www.htw-dresden.de/fileadmin/userfiles/biw_arch/bauing/baumech/Slavik/a21_9_43.pdf
[Zugriff am 14 07 2017].

Spektrum, 1998. *Eigenfrequenzen*. [Online]
Available at: <http://www.spektrum.de/lexikon/physik/eigenfrequenzen/3689>
[Zugriff am 18 07 2017].

Uhrig, R., 1992. Übersicht über kinetische Phänomene im Bauwesen. In: *Kinetik der Tragwerke: Baudynamik*. Mannheim, Leipzig, Wien, Zürich: BI-Wissenschaftsverlag, p. 1 ff..

van Radecke, H., 2012. Windressourcen, Standortbewertung, Ökologie. In: A. Schaffarczyk, Hrsg. *Einführung in die Windenergietechnik*. München: Carl Hanser Verlag, p. 115 ff..

Watzka, B., Scheler, S. & Wilhelm, T., n.d.. *Beschleunigungssensoren*. [Online]
Available at: http://www.thomas-wilhelm.net/veroeffentlichung/Beschleunigungssensoren_PdN.pdf
[Zugriff am 14 07 2017].

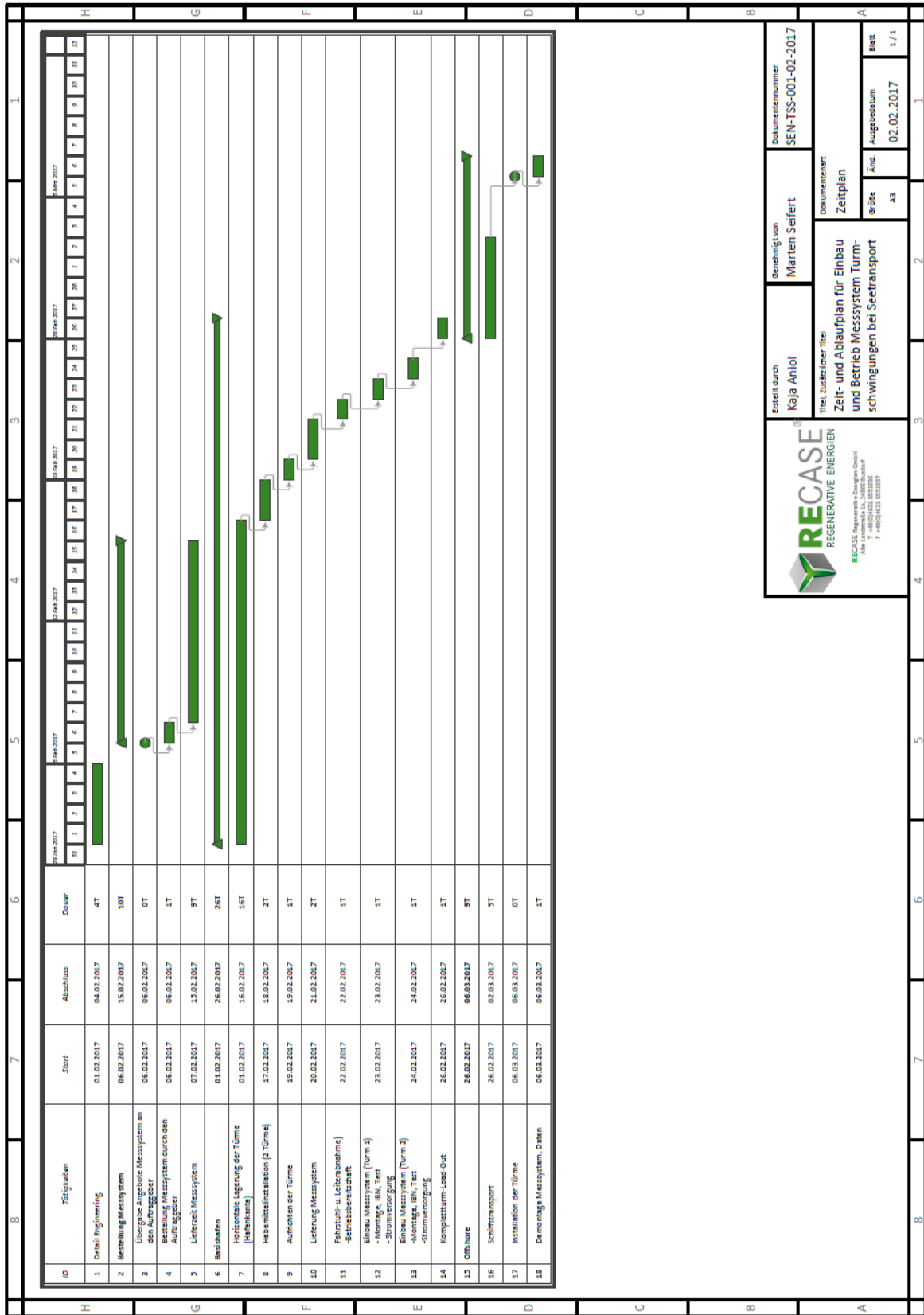
Alle hier nicht eigens nachgewiesenen Abbildungen stammen von der Autorin.

Alle hier nicht eigens nachgewiesenen Tabellen stammen von der Autorin.

Anhang

Anhang A	Projektplan
Anhang B	Technischer Anwendungsleitfaden Schutzarten (IP-Codes) nach DIN EN 60529
Anhang C	Datenblatt MAS MATCH-II-4-ADV Recorder
Anhang D	Datenblatt ShockLog 298 Datenlogger
Anhang E	Datenblatt Sensor SEIKA
Anhang F	Datenblatt Magnete Magna-C
Anhang G	Bulgin 400 Series Buccaneer
Anhang H	Montageanweisung
Anhang I	Datenblatt chAmp Laderegler

Anhang A – Projektplan



RECASE
REGENERATIVE ENERGIEN

RECASE Regenerative Energien GmbH
Alte Lohsestraße 2a, 22609 Hamburg
T +49(0)4103 1003330
F +49(0)4103 1003320

Erstellt durch: **Kaja Aniol**

Genehmigt von: **Marten Seifert**

Dokumentnummer: **SEN-TSS-001-02-2017**

Titel Zusatzlicher Titel: **Zeit- und Ablaufplan für Einbau und Betrieb Messsystem Turmschwingungen bei Seetransport**

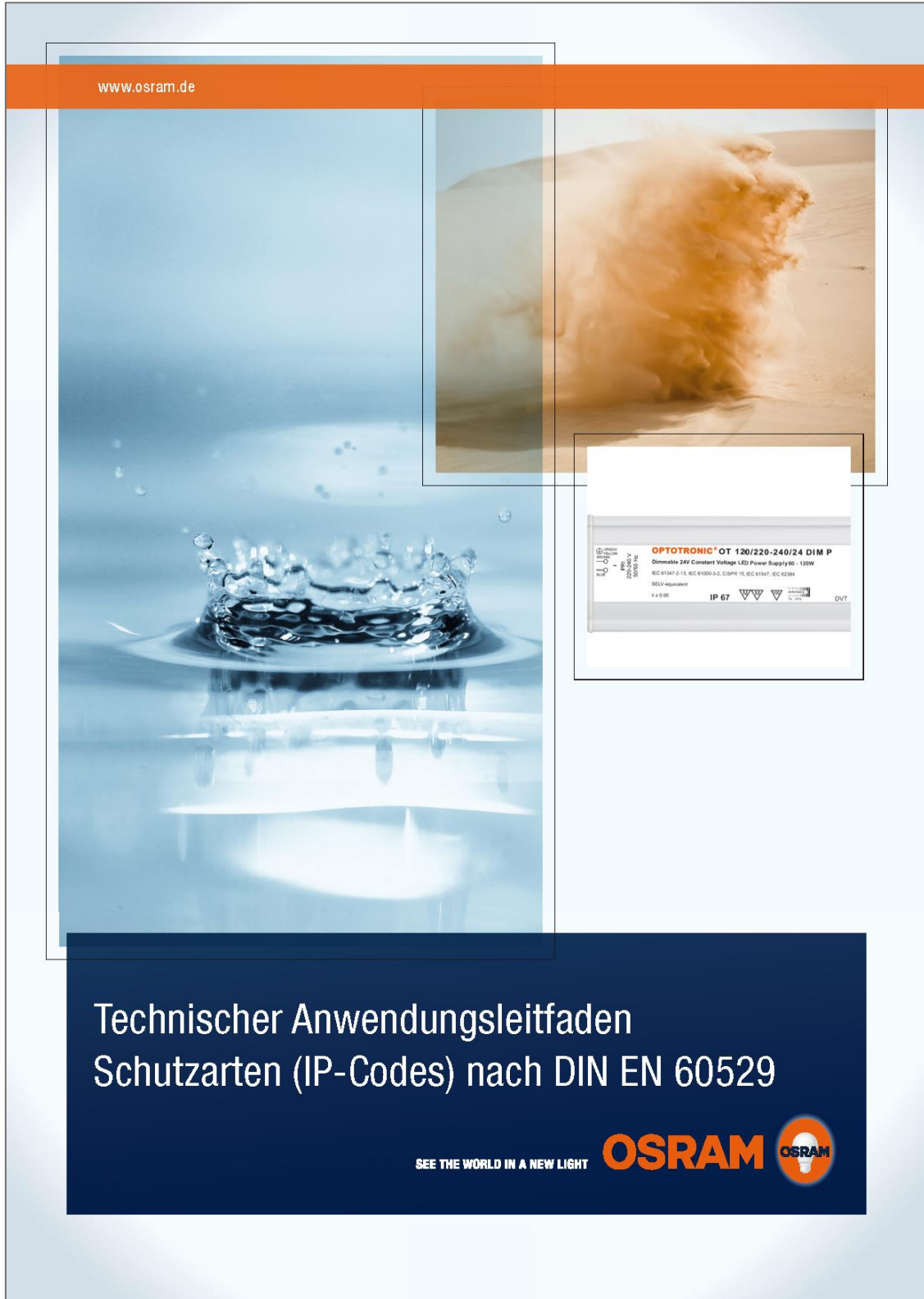
Dokumentent: **Zeitplan**

Größe: **A3**

Änd.: **02.02.2017**



Blatt: **1/1**

Anhang B – Technischer Anwendungsleitfaden Schutzarten (IP-Codes) nach DIN EN 60529




The advertisement features a large background image of a water splash on a reflective surface. An inset image shows a sandstorm. A technical specification label for an OSRAM LED light fixture is overlaid on the right side of the splash image.

www.osram.de

OPTOTRONIC[®] OT 120/220-240/24 DIM P
Dimmable 24V Constant Voltage LED Power Supply 60 - 120W
LED 61347-0-13, IEC 61000-3-2, CDMRE 15, IEC 61587, IEC 61349
SELV-equivalent
A x 0,95 **IP 67**   DVT

**Technischer Anwendungsleitfaden
Schutzarten (IP-Codes) nach DIN EN 60529**

SEE THE WORLD IN A NEW LIGHT **OSRAM** 

SCHUTZARTEN

Was sind Schutzarten?

Elektrische Betriebsmittel (z. B. Leuchten, LED-Module und Betriebsgeräte) müssen nach DIN EN 60529 entsprechend ihrer Beanspruchung durch Fremdkörper und Wasser einer bestimmten Schutzart angehören. Die Schutzarten werden auch IP-Codes genannt. Die Abkürzung IP steht für „Ingress Protection“ (dt. Schutz gegen Eindringen).

Die Schutzarten beziehen sich ausschließlich auf den Schutz gegen Berührung und das Eindringen von festen Fremdkörpern und Staub (gekennzeichnet durch die erste Kennziffer des IP-Codes) sowie gegen schädliches Eindringen von Wasser (gekennzeichnet durch die zweite Kennziffer des IP-Codes).

Über den Schutz gegen äußere Einflüsse sagen die Schutzarten nichts aus. Zudem dürfen die Schutzarten auch nicht mit den elektrischen Schutzklassen verwechselt werden, die sich auf Schutzmaßnahmen zur Verhinderung eines elektrischen Schlags beziehen.

Die geringste Schutzart ist IP00, d. h. das elektrische Betriebsmittel ist weder gegen feste Fremdkörper noch gegen schädliches Eindringen von Wasser geschützt. Die Schutzart IPXX bedeutet, dass die Schutzart nicht definiert ist, da das elektrische Betriebsmittel keinem Test unterzogen wurde. Wird die Schutzart nicht angegeben, ist das elektrische Betriebsmittel gemäß IP20 geschützt.

Wichtiger Hinweis:

Zusätzlich zur Schutzart müssen immer auch die äußeren Einflüsse und Bedingungen berücksichtigt werden (siehe dazu Seite 7)!

Die Schutzarten betreffen ausschließlich:

Feste Fremdkörper und Staub



Wasser und Feuchtigkeit

IP-CODE








Anordnung des IP-Codes.



Sind eine oder beide der Ziffern mit einem „X“ deklariert, konnte das Produkt nicht dem entsprechenden Test unterzogen werden. Die Deklaration „X“ kann jedoch nicht für eine beliebige Einstufung der Schutzart herangezogen werden.

Erste Kennziffer

Die erste Kennziffer des IP-Codes hat zwei Bedeutungen. Zum einen bestimmt sie, inwieweit das elektrische Betriebsmittel gegen das Eindringen fester Fremdkörper (einschließlich Staub) geschützt ist. Zum anderen gibt sie auch den Grad des Berührungsschutzes von Personen an.

Schutzgrade nach der ersten Kennziffer			
Erste Kennziffer		Schutzgrad	
		Kurzbeschreibung	Kurze Einzelheiten, welche Fremdkörper nicht in das Gehäuse eindringen dürfen
0		Ungeschützt	Kein besonderer Schutz
1		Geschützt gegen feste Fremdkörper größer als 50 mm	Große Körperoberfläche, z. B. eine Hand (jedoch keine Schutzmaßnahme gegen absichtliches Berühren). Feste Fremdkörper über 50 mm Durchmesser.
2		Geschützt gegen feste Fremdkörper größer als 12 mm	Finger oder Ähnliches bis 80 mm Länge. Feste Fremdkörper über 12 mm Durchmesser.
3		Geschützt gegen feste Fremdkörper größer als 2,5 mm	Werkzeuge, Drähte usw. mit Durchmesser oder Dicke größer als 2,5 mm. Feste Fremdkörper über 2,5 mm Durchmesser.
4		Geschützt gegen feste Fremdkörper größer als 1 mm	Drähte oder Streifen dicker als 1 mm. Feste Fremdkörper über 1 mm Durchmesser.
5		Staubgeschützt	Eindringen von Staub ist nicht völlig verhindert, aber Staub dringt nicht in solchen Mengen ein, dass ein ordnungsgemäßer Betrieb des Betriebsmittels behindert wird.
6		Staubdicht	Kein Eindringen von Staub

Wiedergegeben nach DIN EN 60529 (VDE 0470-1):2000-09. Maßgebend ist die neueste Ausgabe der Originalfassung der Norm, welche über den VDE VERLAG bezogen werden kann (www.vde-verlag.de).

IP-CODE

Zweite Kennziffer

Die zweite Kennziffer des IP-Codes bestimmt den Schutz des elektrischen Betriebsmittels gegen schädliche Einwirkung durch das Eindringen von Wasser.

Schutzgrade nach der zweiten Kennziffer			
Zweite Kennziffer		Schutzgrad	
		Kurzbeschreibung	Einzelheiten zur Schutzmaßnahme durch das Gehäuse
0		Ungeschützt	Kein besonderer Schutz
1		Geschützt gegen Tropfwasser	Herabtropfendes Wasser (senkrecht fallende Tropfen) darf keine schädliche Wirkung haben.
2		Geschützt gegen Tropfwasser unter 15°	Senkrecht fallende Tropfen dürfen keine schädliche Wirkung haben, wenn das Gehäuse bis zu 15° aus seiner bestimmungsgemäßen Gebrauchslage geneigt wird.
3		Geschützt gegen Sprühwasser	Sprühendes Wasser darf aus einer Neigung bis zu 60° gegen die Senkrechte keine schädliche Wirkung haben.
4		Geschützt gegen Spritzwasser	Aus beliebiger Richtung gegen das Gehäuse gespritztes Wasser darf keine schädliche Wirkung haben.
5		Geschützt gegen Strahlwasser	Aus beliebiger Richtung gegen das Gehäuse mit einer Düse gespritztes Wasser darf keine schädliche Wirkung haben.
6		Geschützt gegen schwere See	Wasser von schwerer See oder Strahlwasser unter hohem Druck darf nicht in schädlicher Menge in das Gehäuse eindringen.
7		Geschützt gegen die Folgen von Eintauchen	Eindringen von Wasser in schädlicher Menge darf nicht möglich sein, wenn das Gehäuse in Wasser unter vorgegebenen Bedingungen hinsichtlich Druck und Zeit eingetaucht ist.
8		Geschützt gegen Untertauchen	Das Gerät ist für dauerndes Untertauchen in Wasser geeignet. Die Bedingungen sind vom Hersteller anzugeben. ANMERKUNG: Üblicherweise bedeutet dies, dass das Gerät vollständig abgedichtet ist. Jedoch kann dies bei bestimmten Geräten auch bedeuten, dass Wasser zwar eindringt, jedoch keine Schädigung verursacht.

Reinigungstechniken, die von einem Fachmann durchgeführt werden, sind durch die IP-Bemessungsdaten nicht abgedeckt. Wenn notwendig, wird Herstellern empfohlen, entsprechende Hinweise bezüglich Reinigungstechniken zur Verfügung zu stellen. Dies ist mit den Empfehlungen von DIN EN 60529 für Reinigungstechniken in Einklang, die vom Fachmann ausgeführt werden.

Wiedergegeben nach DIN EN 60529 (VDE 0470-1):2000-09. Maßgebend ist die neueste Ausgabe der Originalfassung der Norm, welche über den VDE VERLAG bezogen werden kann (www.vde-verlag.de).

IP-CODE

Ein nur mit der zweiten Kennziffer 7 oder 8 bezeichnetes Gehäuse wird als ungeeignet betrachtet für eine Beanspruchung durch Strahlwasser (bezeichnet mit der zweiten Kennziffer 5 und 6) und braucht die Anforderungen der Ziffern 5 oder 6 nicht zu erfüllen, es sei denn, es wird mit einer Doppelbezeichnung nach folgender Tabelle versehen:

Das Gehäuse erfüllt die Prüfung für			
Strahlwasser, zweite Kennziffer	zeitweiliges/dauerndes Untertauchen, zweite Kennziffer	Bezeichnung und Aufschrift	Anwendungsbereich
5	7	IPX5/IPX7	vielseitig*
6	7	IPX6/IPX7	vielseitig*
5	8	IPX5/IPX8	vielseitig*
6	8	IPX6/IPX8	vielseitig*
–	7	IPX7	eingeschränkt**
–	8	IPX8	eingeschränkt**

* Gehäuse für „vielseitige“ Anwendung, wie in der letzten Spalte angegeben, müssen die Anforderungen erfüllen, sowohl wenn sie Strahlwasser als auch wenn sie zeitweiligem oder dauerndem Untertauchen ausgesetzt sind.

** Gehäuse für „eingeschränkte“ Anwendung, wie in der letzten Spalte angegeben, werden als nur für zeitweiliges oder dauerndes Untertauchen geeignet angesehen und als ungeeignet, wenn sie Strahlwasser ausgesetzt sind.

Wiedergegeben nach DIN EN 60529 (VDE 0470-1):2000-09. Maßgebend ist die neueste Ausgabe der Originalfassung der Norm, welche über den VDE VERLAG bezogen werden kann (www.vde-verlag.de).

IP-CODE

Zusätzlicher Buchstabe (optional)

Ein zusätzlicher Buchstabe kann den Schutz von Personen gegen den Zugang zu gefährlichen Teilen des elektrischen Betriebsmittels bestimmen (Berührungsschutz). Die Angabe des zusätzlichen Buchstabens ist freiwillig.

Ergänzender Buchstabe (optional)

Ein ergänzender Buchstabe hinter der zweiten Kennziffer oder dem zusätzlichen Buchstaben kann eine ergänzende Information angeben. Bislang wurden die unten aufgeführten Buchstaben festgelegt. Wenn mehr als ein ergänzender Buchstabe verwendet wird, ist die alphabetische Reihenfolge anzuwenden. Die Angabe des ergänzenden Buchstabens ist freiwillig.

Zusätzlicher Buchstabe	Schutzgrad	Ergänzender Buchstabe	Bedeutung
A	Geschützt gegen den Zugang mit dem Handrücken	H	Hochspannungs-Betriebsmittel
B	Geschützt gegen den Zugang mit dem Finger	M	Geprüft auf schädliche Wirkungen durch den Eintritt von Wasser, wenn die beweglichen Teile des Betriebsmittels in Betrieb sind
C	Geschützt gegen den Zugang mit Werkzeug	S	Geprüft auf schädliche Wirkungen durch den Eintritt von Wasser, wenn die beweglichen Teile des Betriebsmittels im Stillstand sind
D	Geschützt gegen den Zugang mit Draht	W	Geeignet zur Verwendung unter festgelegten Wetterbedingungen und ausgestattet mit zusätzlichen schützenden Maßnahmen oder Verfahren

Wiedergegeben nach DIN EN 60529 (VDE 0470-1):2000-09. Maßgebend ist die neueste Ausgabe der Originalfassung der Norm, welche über den VDE VERLAG bezogen werden kann (www.vde-verlag.de).

Anhang C – Datenblatt MAS MATCH-II-4-ADV Recorder

	MAS MATCH-II MAS MATCH-II-4	<div style="text-align: center;">   </div>	
MAS MATCH-II MAS MATCH-II-4	Kompaktes Datenerfassungssystem für Diagnose und Monitoring		
MAS MATCH-II MAS MATCH-II-4	Technische Daten	<p>Allgemeines</p> <ul style="list-style-type: none"> • Analoge Eingänge 2 [4] • Digitale Eingänge 2 • CPU 168K @ 20MHz • FLASH ROM, im System programmierbar 64K/128K • Messdaten-Speicherkapazität 884K/16K • Logbuch mehr als 16.000 Einträge • Datennutzung 3V Lithiumbatterie • Sensorversorgung 2 x 5V (4 x 5V), je 50mA, unabhängig voneinander; geringere Ausgangsspannung auf Anfrage • Datenerfassung 128K Analog/Digital-Wandler, 2000 [1000] Abtastungen pro Sekunde je Kanal <p>Analoger Eingang</p> <ul style="list-style-type: none"> • Messbereich von ±1mV bis ±10V (Vollauschlag), per Software einstellbar • Verstärkung 6 Hardwarestufen und Software-Finabstimmung • Offset-Einstellung Software-gesteuert, maximal das 7-fache des Messbereichs • Eingangsfilter 100Hz Butterworth, 80dB/Dekade; andere Filter auf Anfrage • Eingangswiderstand > > 100KΩ (± 1mV bis ± 100mV), 10KΩ ± 0,2% (± 100mV bis ± 10V) • Gleichstromrückmeldung > 90dB (hohe Verstärkung), > 60dB (niedrige Verstärkung) • Shuntwiderstand 100KΩ ± 0,2%, dedizierte Shuntleitung, Software-gesteuert (keine) <p>Digitaler Eingang</p> <ul style="list-style-type: none"> • Ansprechwert ~2,1V • Hysterese ~0,05V • Bandbreite > 8kHz • Eingangsspannungsbereich ±50V • Eingangswiderstand 92KΩ <p>Umweltbedingungen</p> <ul style="list-style-type: none"> • Temperatur -30°C...+65°C • Luftfeuchtigkeit 0%...80%, nicht kondensierend <p>Getriebe</p> <ul style="list-style-type: none"> • Abmessungen in mm 80 x 50 x 25 (B x H x T) • Befestigung vier M3 Gewinde, vier Befestigungsbohrungen 4,2mm (100 x 65 x 42) • Gewicht 170g, (400 g) • Material Aluminium • Schutzklasse IP65 <p>Verschiedenes</p> <ul style="list-style-type: none"> • Status-LED: Betriebsart / Betrieb • Energieversorgung 6,5V bis 26V • Stromaufnahme weniger als 50mA, zusätzlich Sensorstrom • Verpolungsschutz ja (bis zu -15V) <p>Werte für MAS MATCH-II-4 sind in Klammern [] angegeben.</p> <p style="text-align: right; font-size: small;">Technische Änderungen vorbehalten (Rev. 1.0, 29/05)</p>	SWIFT GmbH ist zertifizierter Betrieb für Umfahrsysteme
MAS MATCH-II MAS MATCH-II-4	Technische Ausstattung	<ul style="list-style-type: none"> • 2 oder 4 integrierte DMS-Signalkonditionierer und Sensistornungswahl • Verstärkung und Offset per Software einstellbar • 2 Digitaleingänge • Rainflow (RF), Level Crossings (LC), Range Pairs (RP) • ein- und mehrdimensionale Verweildauer (TaL, TaLnd) • Transientenrecorder-Betrieb (TM) • Sequentielle Extremas (SCTMS) • alle Auswertungsmethoden mit bis zu 2 MHz Abtastrate je Kanal • fernsteuer- und austauschbar über Modem und drahtlos per GSM • Kleines, robustes Aluminiumgehäuse <p>Typische Anwendungen</p> <ul style="list-style-type: none"> • Langzeitmessungen • Produktlebensdauerprüfungen • Beschleusdauer-Abschätzung • Produktlebensdauerprüfung • Profildurchwächung • Qualitätsicherung • Fernüberwachung schwer zugänglicher Geräte via GSM <p>Einsatz in Industrie, Forschung und Lehre</p> <ul style="list-style-type: none"> • PKW und LKW • Motorräder • Bagger und Baumaschinen • Windkrafttrailer • Schweißpressen • landwirtschaftliche Maschinen 	SWIFT GmbH ist zertifizierter Betrieb für Umfahrsysteme



**MAS MATCH-II
MAS MATCH-II-4**

Kurzbeschreibung der Auswertungsmethoden
für das MAS-MATCH-II System



Software-Auswertungsmethoden für analoge Kanäle

Rainflow - RF

Bei der Methode Rainflow werden online die Umkehrpunkte im Datensatz erkannt und falls es sich um sog. geschlossene Hystereseschleifen handelt, als Maxima- und Minima-Werte in der Ergebnismatrix abgelegt. Umkehrpunkte, die keine geschlossenen Hysteresen ergeben (Halbschwingung), werden im Residuum abgelegt. Die einstellbare Amplitudenunterdrückung gewährleistet, dass kleine Lastspitze (evtl. Störungen) herausgefiltert werden.

Level Crossing - LC

Das Ergebnis der Methode Level-Crossings (Klassengrenzen-Durchgangsverfahren) wird online aus Rainflow gewonnen. Es wird die Überschreitungsfrequenz von Klassengrenzen ermittelt und das Ergebnis der Zählung als Summenhäufigkeitskollektiv dargestellt.

Range Pairs - RP

Das Ergebnis der Methode Range-Pairs (Bereichs paar-Zählung) wird online aus Rainflow gewonnen. Es werden Bereichspaare, welche sich aus einem Lastanstieg (über eine bestimmte Anzahl von Klassen) und dem entsprechenden Lastabfall (über die gleiche Anzahl von Klassen) zusammensetzen, gezählt und als Summenhäufigkeitskollektiv dargestellt.

Time at Level - TAL

Bei der Methode Time-at-Level (Verweildauer) wird online die Zeit ermittelt, die das Messsignal in einer Klasse verweilt. Wird eine Klasse während einer Messung mehrfach durchlaufen, werden die einzelnen Verweilzeiten dieser Klasse aufaddiert.

Time at Level multidimensional - TALnD

Bei der Methode Time at Level multidimensional (Verweildauer mehrdimensional) werden bis zu 3 Kanäle simultan jede 1/1000 Sekunde abgelesen und als n-dimensionale Matrix abgelegt. Auf diese Weise kann eine statistische Aussage über die Wahrscheinlichkeit des Auftretens von Signalen getroffen werden. Verschiedener Größe in den bis zu 3 Kanälen getroffen werden.

Transienmodus mit Trigger - TM

Bei der Methode Transienmodus mit Trigger werden die Messwerte nach der Klassierung in vom Benutzer für jeden Kanal getrennt definierten Zeitintervallen (bis max. 2.000 Hz pro Kanal)

Im Speicher abgelegt. Da die Messmethode sehr speicherplatzintensiv ist, wird der Benutzer durch verschiedene Triggermethoden unterstützt.

Sequentielle Extrema mit Zeit- und Master/Slave-Funktion - SOTWS

Bei der Methode Sequentiale Peaks and Troughs with Time and Master/Slave concept (Sequentielle Extrema mit Zeitinformation und Master/Slave-Funktion) werden die Umkehrpunkte eines Masterkanals, die dazugehörige Absolutzeit und die Momentanwerte der Slavekanäle (Zeitkorrektur zum Umkehrpunkt des Masterkanals) sequentiell im Speicher abgelegt. Jeder mögliche Kanal kann als Master definiert werden und jeder andere Kanal als Slave zu diesem Master. Die einstellbare Amplitudenunterdrückung gewährleistet, dass kleine Lastspitze nicht erfasst werden.

RF+TM+TAL

Die Kombimethode RF+TM+TAL erlaubt die gleichzeitige Auswertung der Methoden RF, TM und TAL (siehe auch Methodenbeschreibungen). Üblicherweise werden für Langzeitaufzeichnungen die Methoden RF und TAL eingesetzt, da sie bei minimalem Speicherbedarf die maximale Information über die Beanspruchung des untersuchten Messobjekts ermitteln. Jedoch gehen durch diese Methoden wichtige Informationen über die Signalform verloren. Insbesondere bei Lastspitzen besteht jedoch die Möglichkeit, möglichst detaillierte Informationen über den Zeit-Laufverlauf zu bekommen. Durch die Erweiterung von RF+TAL um die Methode TM ist dies nun möglich. Mittels der Triggerfunktion von TM lässt sich für jeden Kanal individuell ein Grenzwert für die TM-Aufzeichnung definieren. Durch Pre- und Post-Trigger kann zusätzlich die Vorgeschichte und der Abklingvorgang aufgezeichnet werden.

RF+TM

Die Kombination von RF+TM erlaubt das gleichzeitige Ausführen beider Methoden. Dadurch ergibt sich die Möglichkeit beliebige Kanäle permanent für Rainflowmessungen zu benutzen, während parallel dazu der getriggerte Transienmodus nur signifikante Signalpegele aufzeichnet. Durch die Kombination von RF+TM erhöht sich die mögliche Messdauer erheblich, gleichzeitig wird der anschließende Auswertungsaufwand der Messdaten minimiert.

RF+TM ist eine kostengünstige Alternative zu RF+TM+TAL, wenn die Verweildauer eines Signals nicht von Interesse ist.

Virtual Analog Channel

virtuelle Kanäle sind Messkanäle, die nicht direkt einem physikalischen Sensor zugeordnet sind, sondern den aktuellen Messwert aus der Verrechnung von analogen und digitalen Kanälen bestimmen. Die Quellkanäle (analog und digital) sind frei wählbar. Bei einigen Formeln können zusätzliche Koeffizienten (Konstanten) angegeben werden. Die Berechnung erfolgt auf der Basis der eingestellten physikalischen Skalierung der zu verrechnenden Kanäle. Dabei ist der tatsächlich genutzte Wertebereich vom Benutzer in gewissen Grenzen einstellbar. Wie ein realer Kanal auch, kann das Ergebnis eines virtuellen Kanals ebenfalls durch Angabe von Empfindlichkeit und Offset in eine andere physikalische Größe überführt werden. Schließlich sollte noch erwähnt werden, dass das Ergebnis eines virtuellen Kanals einem weiteren virtuellen Kanal zur Verrechnung zugeführt werden kann. Dadurch sind auch komplexe Formeln realisierbar.

Software-Auswertungsmethode für digitale Kanäle

Digital Time - DT

Die bisher beschriebenen Methoden beziehen sich auf die Analyse und Speicherung von Analogmesswerten. Die Methode Digital Time wertet im Gegensatz dazu digitale Eingangssignale aus (im KHz z. B. Kupplung ausbreitet, Schalenwischer an/aus etc.). Sie kann in den Digitalkanälen kombiniert mit allen erwähnten Auswertungsmethoden für die Analogkanäle benutzt werden. Diese Methode, die digitale Eingangssignale auswertet, wird dazu benutzt, um den zeitlichen Ablauf der Digitalsignale aufzuzeichnen.

Hard- / Software-Optionen

Netzwerk

Das RS-485 Netzwerk erlaubt mit einem Terminal bis zu 15 MAS MATCH-II (-4) Boxen und/oder MAS MICRO-II Boxen anzuschließen. Die Spannungsversorgung der angeschlossenen MAS MATCH-II und MAS MICRO-II erfolgt ebenfalls über das Netzwerk, d. h. für die Kommunikation und die Versorgungsstromversorgung ist nur eine Leitungsführung nötig.

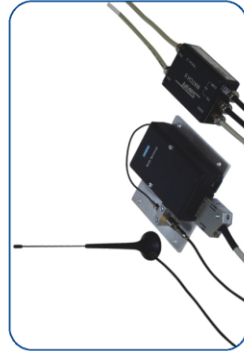
Das Netzwerk ist jederzeit durch Einstecken eines weiteren Recorders erweiterbar. Die "Mischung" von MAS MATCH-II Boxen und MAS MICRO-II Boxen in einem Netzwerk ist jederzeit

möglich. Das gesamte Netzwerk kann dabei eine Länge von mehreren hundert Metern überbrücken. Die Befehle "Start", "Pause", "Transfer" und "Clear" können vom Terminal aus gemeinsam für alle am Netzwerk angeschlossenen Boxen ausgeführt werden. Mit jeder Box kann zum Einstellen von individuellen Parametern auch getrennt kommuniziert werden. Die Kommunikation des Terminals mit einer der Netzwerk-Boxen unterbricht den Messvorgang an den anderen Boxen nicht. Der Anschluss an den PC erfolgt über einen USB-RS485-Konverter, der aufgrund seiner robusten Bauweise auch für den Einsatz im Feld geeignet ist.

Remote Link

Die Remote Link Option erlaubt die Fernsteuerung und das Fernlesen eines oder mehrerer Recorder mittels Modem über das Telefon und/oder GSM Mobilfunknetz.

Die erweiterte Terminalsoftware verfügt dabei über eine Datenbank zur Verwaltung verschiedener Recorder. Sie speichert zu jedem Recorder (Klartextuell) eine Telefonnummer. Durch Auswahl des Recorders wird automatisch über das Modem eine Verbindung zum Recorder hergestellt. Danach ist das Modem für den Benutzer transparent, d. h. es ist kein Unterschied zu einer direkten Verbindung erkennbar. Alle Funktionen stehen uneingeschränkt zur Verfügung. Zusätzlich besteht jedoch bei einem Datentransfer die Möglichkeit, im Fehlerfall diesen Transfer später fortzuführen. Dies ist unabhängig für jeden Recorder der Datenbank möglich. Die Datenbank informiert über den jeweils letzten Transferstatus.



Weitere Hard- / Software-Optionen siehe Einlegeblatt

Anhang D – Datenblatt ShockLog 298 Datenlogger

ELEKTRONISCHE TRANSPORTÜBERWACHUNG

Elektronische Transportüberwachung
für höchste Ansprüche

SHOCKWATCH[®] ShockLog Datenlogger ShockLog 298



Der ShockLog 298 mit verschiedenen Ausstattungsvarianten gehört zur neuesten Generation der SHOCKWATCH Datenlogger. Sie ermitteln kritische Ereignisse während des Transportes, der Lagerung oder des Gebrauchs von empfindlichen Produkten. Stöße, Vibrationen und Umwelteinflüsse wie Temperatur, Luftfeuchtigkeit und Luftdruck können erhebliche Schäden verursachen. Die Ermittlung bestimmter Werte sowie die mögliche Feststellung der Ursachen sind erste erfolgversprechende Maßnahmen zur Reduzierung von Transportschäden und den damit verbundenen Kosten. Der präventive Einsatz der ShockLog 298-Geräte zur Risikobegrenzung und Schadensvermeidung stehen bei der Anwendung im Vordergrund.

Typische Einsatzgebiete sind:

Überwachung von Containertransporten
Satelliten- und Raumfahrttechnik
Flugzeugindustrie
Schwerindustrie
Transformatorn
Generatoren

Windkraftanlagen
Ölplattformen / technische Ausstattung
Maschinenbau
Fahrzeugbau
Medizintechnik
... und viele andere mehr



**ShockLog 298
ShockLog 298T&R**



ShockLog 298HT



ShockLog 298GPS



ShockLog 298RF

ELEKTRONISCHE TRANSPORTÜBERWACHUNG

Sicherer transportieren durch lückenlose Überwachung

ShockLog Datenlogger

ShockLog können Sie
auch mieten.
Unsere Mietkonditionen
erhalten Sie auf Anfrage



Sie wollen wissen, was mit Ihrer Ware während des Transportes und der Lagerung bis hin zum Verkauf passiert? ShockLog Datenlogger werden eingesetzt, um bei Schäden den Verursacher nachweisbar feststellen zu können und in Zusammenarbeit mit Versicherern Regressfragen zu klären.

Oder um Transportwege und Verpackungen zu optimieren, damit innerhalb der Logistikkette eine durchdachte Schadensprävention erreicht werden kann.

Für diese Anforderungen sind ShockLog Datenlogger die erste Wahl.



Den ShockLog 298 gibt es als Basismodell und in 4 Ausstattungsvarianten (s. rechts). Durch den Einsatz der unterschiedlichen Gerätevarianten mit optionalem Zubehör (z. B. der Tilt & Roll-Einheit oder dem eTrak-Standortverfolgungs-Modul) können mit dem ShockLog 298 alle relevanten Daten für die Sicherheit Ihres Transportgutes aufgezeichnet werden.

Eine umfangreiche windowsbasierte Software bietet dem Anwender die Möglichkeit, die ShockLog-Geräte mit gewünschten individuelle einzustellenden Grenzwerten zu programmieren.

Bei Überschreitung der vorprogrammierten Parameter erfolgt eine Datenspeicherung der tatsächlich aufgetretenen Werte in Verbindung mit Datum und Uhrzeit.

Das spätere Auslesen und Speichern der Daten ermöglicht dem Anwender eine genaue Auswertung und Analyse des Transportes und bietet die Grundlage zur Ermittlung von Schwachstellen während des Transportes sowie deren Beseitigung.

Vorteile der ShockLog Datenlogger

- Reduzierung/Vermeidung von Transportschäden während des Betriebes, des Transportes, des Handlings oder der Lagerung empfindlicher Produkte
- unterstützt die Ermittlung optimaler Transportanforderungen, Transportwege, Verpackungen, Lagerbedingungen sowie Betriebsbedingungen durch detaillierte Erstellung von entsprechenden Transportprofilen
- stellt unsachgemäßes Handling fest
- ermöglicht dem Versender bei Verdacht auf entstandene Schäden während des Transportes zu reagieren, bevor die Ware den Empfänger erreicht
- weist den Empfänger bzw. Anwender darauf hin, die Ware auf mögliche Schäden zu untersuchen
- grenzt ein, wann und wo unzulässige Transportbedingungen aufgetreten sind und hilft bei der Identifizierung der dafür verantwortlichen Transportbeteiligten
- ermöglicht sofortige Korrekturmaßnahmen im Falle von extremen Stößen, Vibrationen sowie unzulässigen Luftfeuchtigkeits-, Luftdruck- und Temperaturwerten
- fokussiert potentielle Bereiche für mögliche Verbesserungen im operativen Bereich, in Transport oder Handling-Prozessen
- Nachweis über akzeptable Bedingungen während des Gebrauchs, des Transportes und der Lagerung

UNTERSCHIEDLICHE AUSFÜHRUNGEN

ShockLog 298

ShockLog 298



3-achsige piezo-elektronische Stoß- und Beschleunigungsmessung
 (X, Y und Z-Achse)
 Abtastrate: 4.096 Messpunkte pro Sekunde pro Achse
 Stoßwert bis 200 g messbar
 Wählbare Frequenzfilter innerhalb der Software:
 10 Hz, 40 Hz, 50 Hz, 90 Hz, 120 Hz und 250 Hz
 detaillierte Aufzeichnung von bis zu 870 signifikanten Stoßereignissen
 GPS/GPRS-Zusatzgerät als Option erhältlich (e-Track), gsmG-Standard
 Angabe von Datum und Uhrzeit pro Ereignis
 Aufzeichnungsparameter:
 Stoße mit Grafik, TimeSlots/Höchstwerte, Summen-Perioden-Daten
 abgeschirmt und CE-zertifiziert
 Kommunikation über USB und/oder iButton-Datenschlüssel
 einstellbare Warn- und Alarmwerte
 LED-Statusanzeige für Warn- und Alarmwerte
 bis zu 12 Monate Batterielebensdauer (mit Lithium-Batterie)
 Batteriebetrieb mit 2 kostengünstigen 3,6 V AAA Lithium oder 15 V Alkaline-Batterien
 manipulationssicher und passwortgeschützt
 komplette Datenabspeicherung
 nichtflüchtiger Speicher
 interner Temperatursensor
 Temperaturbereich: -40 °C bis +85 °C
 optional: externer Luftfeuchtigkeits- und Temperatursensor (HT-Version)
 optional: externer Luftfeuchtigkeits-, Luftdruck- und Temperatursensor (HPT-Version)
 IP 67
 Toleranz: ± 2% bei 5 g
 Messdauer pro Stoß: 1 - 128 s
 Wake-up-time: 0,25 ms
 externe Stromversorgung: 4,5 V / 30 V max.
 Auflösung der Beschleunigungsmessers: 0,1% der Skala
 Befestigung: 4 Durchgangsbohrungen
 Gewicht: 550 g inkl. Batterien
 Maße: 123 x 78 x 55 mm (L x B x H)
 Gehäuse: Aluminium

Konformität:
 EMC: ETSI EN 301489-17 v1.21 (2002-08)
 ETSI EN 301489-1 v1.6.1 (2005-09)
 EN 61326-1:1997 + A1:2000 + A2:2001 + A3:2003
 FCC RULES CFR 47, PARTS 15.109 SEPTEMBER 2007
 RTCA DO-160D Section Radiated Emissions Category B
 DIN EN - 15433-6
 CE
 RoHS

ShockLog 298



FÜR UNTERSCHIEDLICHE TRANSPORTGÜTER

Ausstattungsvarianten

ShockLog 298 HT

ShockLog 298 Basismodell zusätzlich mit

- externem Sensor am Gerät zur Messung von Luftfeuchtigkeit und Temperatur (-40 °C - +85 °C, 0 - 100 % RH)

ShockLog 298 TR

ShockLog 298 Basismodell zusätzlich mit

- interner Tilt & Roll Einheit zur Messung von Neigungs- und Kippwinkeln

Einsatzzweck Schiffstransporte, Range: +/- 180°

ShockLog 298 GPS

ShockLog 298 Basismodell zusätzlich mit

- integrierter GPS-Tracking Technologie
- Speicherung der GPS-Koordinaten von jedem Ereignis zum Zeitpunkt der Stoßmessung
- 5 m Kabelmagnetantenne zur Anbringung außen am Transportmittel, um den Empfang der GPS-Daten sicherzustellen

Mit eTrak (Zubehör, s. Rückseite) können die Daten in Echtzeit übermittelt werden.

ShockLog 298 RF

ShockLog 298 Basismodell zusätzlich mit

- integriertem RF 2,4 GHz ZigBee Funkmodul, das über eine externe aufgeschraubte Antenne eine drahtlose Echtzeitübermittlung von Daten an die mit einem PC verbundene RF Basis ermöglicht
- Programmierung des ShockLog 298 RF kann über die Basisstation erfolgen.

Die Highlights

piezo-elektronische Stoßmessung in der Z-Achse

piezo-elektronische Stoßmessung in der Y-Achse

piezo-elektronische Stoßmessung in der X-Achse

Stöße können erfasst und im nichtflüchtigen Speicher komplett abgespeichert werden

Angabe von Datum und Uhrzeit pro Ereignis

Antenne an Bord zur Speicherung der GPS Koordinaten zum Zeitpunkt der Stoßmessung

Über Radiowellen zugreifen und den Speicher auslesen oder neu programmieren

Optionaler Luftfeuchtigkeitssensor

Optionale externe Sensoren für Luftdruck

Interner Temperatursensor für einen Temperaturbereich von -40°C bis +85°C



ZUBEHÖR

ShockLog 298 Zubehör

eTrak



Das eTrak-Standortverfolgungs-Modul liefert per E-Mail Echtzeit-Ereignis-Meldungen sowie Status-Updates. Eine entsprechende Software speichert Nachrichten in einer Datenbank zur Analyse und Berichterstattung. Solarbetrieb und Batterieunterstützung nutzt das Modul die GPS und Quad-Band GSM/GPRS-Technologie. Die Berichte enthalten Datum, Zeit und Anzahl der Ereignisse seit dem letzten Report in Verbindung mit GPS-Koordinaten sowie Google Maps-Hyperlinks für die klickbare Anzeige von Nachrichten-Standorten.

Arbeitstemperatur:	-40 °C bis +65 °C
Abmessungen:	250 x 160 x 40 mm (L x B x H)
Gewicht:	696 g
Stromversorgung:	Solar-Panel, Puffertladung bis 680mA/h, Li-Ion-Batterie
Gehäuse:	ABS
Regionen:	Globales GSM-Netzwerk, GPRS-Technologie

RD 401 - Externe Anzeige-Bedieneinheit

(Remote Indicator Unit)



Die RD 401-Einheit ermöglicht das Auslesen von gespeicherten ShockLog 298-Daten, wenn kein direkter Zugriff auf den ShockLog 298 möglich ist. Die Statusanzeige der vom ShockLog 298 aufgezeichneten Warn- und Alarmwerte an der RD 401-Einheit ermöglicht eine Bewertung der bis zum jeweiligen Zeitpunkt ausgeführten Transportqualität. Die Verbindung zwischen der RD 401 und dem ShockLog 298 erfolgt über eine RS 232-Kabelverbindung. Eine RESET-Faste ermöglicht das Löschen der Alarmanzeige, ohne die aufgezeichneten Daten im ShockLog zu verändern.

HPT-Sensor



Der externe HPT-Sensor misst die Luftfeuchtigkeit, den Luftdruck sowie die externe Temperatur. Die Daten werden in Time-Slots gespeichert und ermöglichen eine einfache Auswertung und Analyse. Der Anschluss erfolgt direkt am ShockLog 298.

Temperaturbereich:	-40 °C bis +65 °C
Luftfeuchtigkeit:	0 - 100 % RH
Luftdruck-Messbereich:	0 - 11 bar (Standard) 0 - 21 bar (Optional)

ShockLog Warnaufkleber

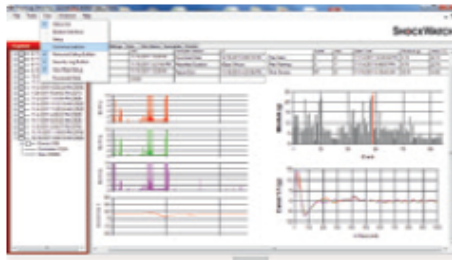


Zu jedem ShockLog Datenreorder gehören die ShockLog-Aufkleber da mit jedem innerhalb der Logistikkette bekannt ist, dass der Transport überwacht wird. Abweichungen von den Vorschriften sofort erkannt werden und genau zuzuordnen sind. Die Anbringung erfolgt gut sichtbar an der Außenverpackung des Versandgutes.

ELEKTRONISCHE TRANSPORTÜBERWACHUNG

ShockLog 298 Software / Zubehörkit

Vollständiges Transportprofil



Die ShockLog-Report Anzeige bietet eine Übersicht des gesamten Transportes sowohl im Text- als auch im Graphik-Format. Die Informationen beinhalten eine Ereigniszusammenfassung, detaillierte Ereignisinformationen sowie Zeit- und Slot-Informationen. Für eine spezielle Analyse einzelner Daten ist ein „Zoom-In“ zur detaillierteren Darstellung möglich.

Die Daten können nach Excel zur individuellen Verarbeitung oder Analyse exportiert werden.

Neben der Software enthält das Zubehörkit USB-Kabel, zwei Lithium-Batterien, spezielle Befestigungstaschen sowie 1Button-Datenschlüssel mit Lese- und Programmierereinheit.

Die ShockLog Produktfamilie



Weitere Modelle der ShockLog Reihe zur Vermeidung bzw. Reduzierung von Transportschäden sind die Ausführungen „Shocklog 248“, „Shocklog 208“ sowie „Shockwatch g-view“. Detaillierte Informationen zu den Geräten entnehmen Sie bitte dem entsprechenden Produktprospekt oder besuchen Sie uns auf www.transportcontrol.de/Rubrik_Datenlogger.

Sehr gerne stehen wir Ihnen auch telefonisch oder per E-Mail zur Verfügung. Wir freuen uns auf Sie.

ShockLog mieten

So einfach geht's:



Der Shocklog 298 mit definierten Ausstattungsvarianten kann wochenweise von Ihnen gemietet werden. Eine individuelle Programmierung, Auswertung oder Hilfestellung bei Ihrem Projekt wird sehr gerne von uns gegen Berechnung übernommen. Ebenfalls bieten wir „Vor-Ort-Tests“ bei Ihnen im Hause im Rahmen einer Beratungs-/Tagespauschale an. Für nähere Informationen rufen Sie uns einfach an. Wir freuen uns auf Sie.



Sie sind an weiteren Informationen zu unseren Produkten der Transportüberwachung interessiert?

Für eine einfache Überwachung Ihrer stab- und kippenempfindlichen Produkte helfen Ihnen Shockwatch® Stoßindikatoren sowie Tiltwatch®XTR / Tiltwatch®Plus-Kippindikatoren sicher weiter. Zum Thema Temperaturüberwachung Ihrer empfindlichen Produkte bieten Ihnen unsere Indikatoren WarmMark®, ColdMark®, BloodTemp, Seafood und der Temperaturlogger TrekView® umfangreiche Möglichkeiten.

Besuchen Sie uns auf www.transportcontrol.de, schicken Sie uns eine E-Mail oder rufen Sie uns ganz einfach an.

INNOVATIV VERPACKEN · KONTROLLIERT TRANSPORTIEREN · WELTWEIT



Ein Unternehmen der Schwering-Gruppe

TRANSPORT CONTROL INTERNATIONAL GMBH
 Am Klück 9 · D- 22113 Oststeinbek
 Tel: +49 (0)40- 714874 9-0
 Fax: +49 (0)40- 714874 9-25
 E-Mail: info@transportcontrol.de
 Internet: www.transportcontrol.de



Anhang E – Datenblatt Sensor B1 SEIKA

seika.de[®]

B1, B2, B3



Accelerometers of high overload resistance with integrated electronics for measurement of acceleration in the frequency range 0 to several 100 Hz

Features

- very high overload resistance
- insensitive to interference by magnetic and electric fields
- lower cut-off frequency is zero, hence suitable for measuring static acceleration, such as gravity (inclinations) or radial acceleration (centrifugal force)
- linear frequency response with little or no resonant peak at upper cut-off frequency
- low non-linearity
- high signal-to-noise ratio
- no measurable hysteresis of signal
- hermetically sealed
- high long-term stability
- small temperature drift
- integrated sensor electronics
- low power consumption
- very short on-transition delay
- multiple housing options

Description

The sensors B1, B2 and B3 are capacitive spring-mass accelerometers with integrated electronics. Resonant peaks are minimized by special gas-dynamic damping in the primary transformer. The sensors are manufactured with an analog DC output. The sensor electronics require only small amounts of power and are in conjunction with the capacitive primary transformer characterized by low error and high long-term stability.

Application

The accelerometers B1, B2 and B3 are used for applications requiring high overload tolerance, high long-term stability, small lower cut-off frequency down to measurement of static acceleration, very short on-transition delay and low power consumption. Typical applications include:

- measurements on vehicles, machinery, buildings and plants for process control and error diagnosis
- seismic measurements
- inclination measurements
- safety engineering
- dynamic measurement of position and velocity

Technical Specifications

Type:	B1	B2	B3
Measuring range	±3g (ca. ±30m/s ²)	±10g (ca. ±100m/s ²)	±50g (ca. ±500m/s ²)
Resolution	<10 ⁻³ g	<5·10 ⁻³ g	<2·10 ⁻² g
Frequency range	0...160Hz	0...350Hz	0...550Hz
Linearity deviation	<0,5%		
Transverse sensitivity	<1%		

SEIKA Mikrosystemtechnik GmbH - Ellharter Str.10 - D-87435 Kempten - Tel: 0831-25532 Fax: 0831-25534
 Internet: <http://www.seika.de> - <http://www.seika.net> - Email: seika@seika.de

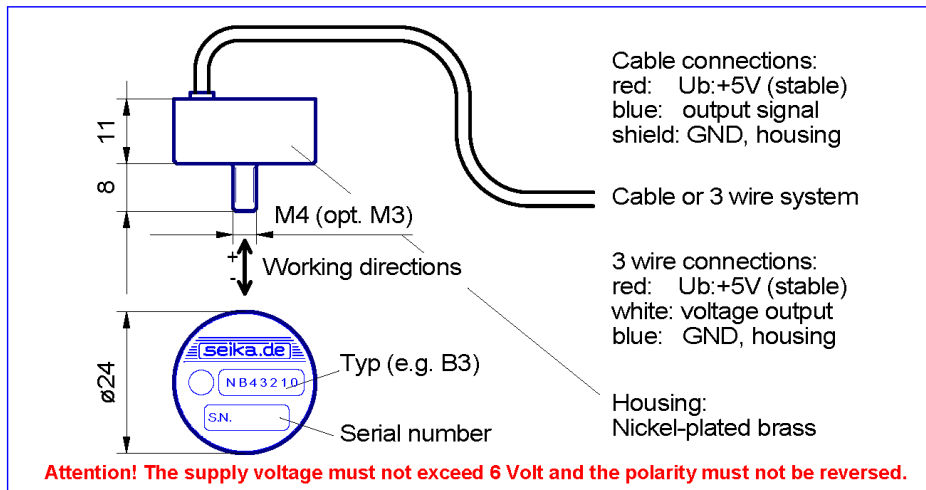
seika.de[®]

B1, B2, B3

Mechanical overload resistance in direction of measurement	10 000 g (approx. 100 000 m/s ²)		
Nominal supply voltage (regulated)	5Volt		
Permissible range of supply voltage	3Volt ... 6Volt		
Current drawn at U _b = 5V	approx.1mA		
Degree of protection	IP65		
Operating temperature	-40°C to +85°C (optional 125°C)		
Storage temperature	-45°C to +90°C (optional 125°C)		
Weight (in metal housing without cable)	approx. 23 grams		
Standard electrical connection	3 highly flexible, color-coded wires ø1mm, length approx. 18 cm (special lengths on request)		
Alternative electrical connection	0.5m strong, flexible, shielded cable ø2.1mm (special lengths on request) 3 flexible, color-coded wires with Teflon insulation for extended temperature range		
Sensitivity*	approx.140mV/g	approx.30mV/g	approx.7.5mV/g
Temperature drift of sensitivity	<+6·10 ⁻² % / K		
Temperature drift of zero point	<±0.1mV/K		
Zero offset at U _b =5V	(2.5±0.1)Volt - generally: 0.5U _b ±4%		
Output impedance	10 kΩ		

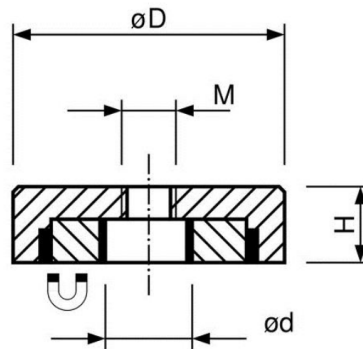
* Each sensor will be delivery with individual calibration dates (offset and sensitivity) *on request: PWM-output

Dimensions (in mm) and Connections



SEIKA Mikrosystemtechnik GmbH - Eilharter Str.10 - D-87435 Kempten - Tel: 0831-25532 Fax: 0831-25534
Internet: <http://www.seika.de> - <http://www.seika.net> - Email: seika@seika.de

Anhang F – Datenblatt Magnete Magna-C

Magna-C
2017
Neodym-Flachgreifer mit Gewindebohrung;


Art.Nr.	D mm	d mm	H mm	Gewinde M	Haftkraft N	Gewicht g	Temp. °C
37625	25 ±0,1	4,5	7 ±0,2	M4	160	24	80
37632	32 ±0,1	5,5	7 ±0,2	M5	330	40	80
37640	40 ±0,1	10,5	8 ±0,2	M5	500	74	80
37650	50 ±0,1	10,5	10 ±0,2	M8	800	140	80
37663	63 ±0,1	11,7	14 ±0,2	M10	1100	315	80
37675	74,6 ±0,1	13	15 ±0,2	M10	1750	479	80

Die Kräfte sind bei Raumtemperatur an einer polierten Platte aus Stahl (S235JR nach DIN 10 025) mit einer Stärke von 10 mm bestimmt worden (1kg ~10N). Eine Abweichung von bis zu -10% gegenüber den angegebenen Wert ist in Ausnahmefällen möglich. Im allgemeinen wird der Wert überschritten.

Bosslerstr. 35 73240 Wendlingen Tel.: 07024/4057-0 info@magna-c.de Seite 1 von 1


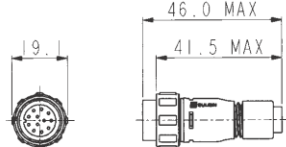

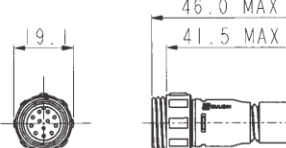

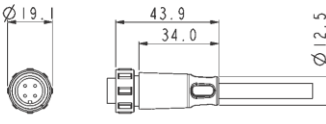

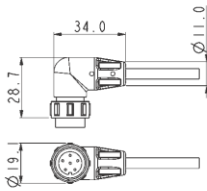

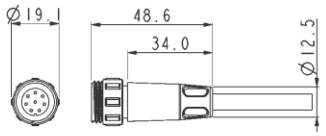
Anhang G – Bulgin 400 Series Buccaneer

BUCCANEER FOR POWER 400 Series Buccaneer



- ⊗ Sealed to IP68 when mated
- ⊗ IP68 rating tested at 1.054kg/sq cm (15lb/sq in) 10m depth for 2 weeks
- ⊗ 2 and 3 pole - 8A, 250V rating
- ⊗ 4, 6 and 8 pole - 5A, 125V rating
- ⊗ 10 and 12 pole - 1A, 50V rating
- ⊗ 2.5mm contact engagement for electrical integrity 'Scoop proof' contacts
- ⊗ Contact inserts are part of body moulding
- ⊗ Cable range from 3 to 7mm
- ⊗ Overall length (flex + flex in-line) 80mm
- ⊗ Gold plated contacts
- ⊗ Diameter over coupling ring 19.1mm
- ⊗ Pre-wired, overmoulded cable assemblies
- ⊗ Flex, Flex In-Line, Front Panel, Rear Panel and PCB mounting body styles
- ⊗ Plug and Socket versions in all body styles
- ⊗ Flame Retardant moulding material - Polyamide UL94-V0
- ⊗ Contacts supplied separately (except PCB versions)
- ⊗ Sealing caps available to maintain IP68 rating
- ⊗ Secure sealing system
- ⊗ Crimp and solder contacts
- ⊗ PCB mounting connector supplied with contacts pre-loaded
- ⊗ Front and rear panel mounting panel connectors
- ⊗ CCC, UL, CSA and VDE approvals
- ⊗ EN60068-2-52 Test Kb Salt Mist (Cyclic) Marine Severity Level 1

BUCCANEER FOR POWER
 400 Series Buccaneer


<p>Flex Cable Connector</p>  <p>PX0410</p>	<ul style="list-style-type: none"> ○ Mates with Flex In-line or Panel mounting versions PX0401, PX0411, PX0412 & PX0413 ○ Pin or socket ○ 2, 3, 4, 6, 8, 10 or 12 pole ○ Screw locking ring ○ Contacts supplied separately 	
<p>Inline Flex Cable Connector</p>  <p>PX0411</p>	<ul style="list-style-type: none"> ○ Mates with Flex Cable connectors PX0400, PX0402 & PX0410 ○ Pin or socket ○ 2, 3, 4, 6, 8, 10 or 12 pole ○ For in-line cable connection ○ Contacts supplied separately 	
<p>Pre Wired Flex Cable Connector</p>  <p>PX0400</p>	<ul style="list-style-type: none"> ○ Overmoulded Flex connector for pre-wired cable assemblies ○ Pin or socket ○ Cable range 2.5 -9.0mm o/d ○ 2, 3, 4, 6, 8, 10 or 12 pole ○ Mates with PX0401 & PX0411 Flex In-Line connectors and PX0412 & PX0413 panel mounting connectors 	
<p>Pre Wired Flex Cable Connector</p>  <p>PX0402</p>	<ul style="list-style-type: none"> ○ Right-angled overmoulded Flex connector for pre-wired cable assemblies ○ Pin or socket ○ Cable range 2.5 -9.0mm o/d ○ 2, 3, 4, 6, 8, 10 or 12 pole ○ Mates with PX0401 & PX0411 Flex In-Line connectors and PX0412 & PX0413 panel mounting connectors 	
<p>Pre Wired Inline Flex Connector</p>  <p>PX0401</p>	<ul style="list-style-type: none"> ○ Overmoulded Flex connector for pre-wired cable assemblies ○ Pin or socket ○ Cable range 2.5 -9.0mm o/d ○ 2, 3, 4, 6, 8, 10 or 12 pole ○ Mates with PX0400, PX0402 & PX0410 Flex connectors 	

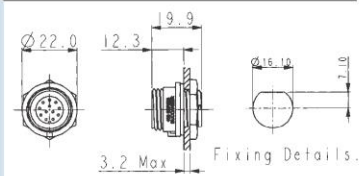
BUCCANEER FOR POWER
 400 Series Buccaneer


Front Panel Mounting Connector



PX0412

- Mates with Flex Cable connectors PX0410, PX0400 & PX0402
- Front Panel mounting
- Single hole fixing
- Contacts supplied separately
- 2, 3, 4, 6, 8, 10 or 12 pole

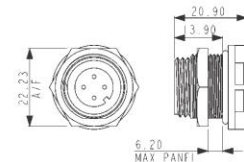


Rear Panel Mounting Connector



PX0413

- Mates with Flex Cable connector PX0410, PX0400 & PX0402
- Rear Panel mounting
- Single hole fixing
- Contacts supplied separately
- 2, 3, 4, 6, 8, 10 or 12 pole

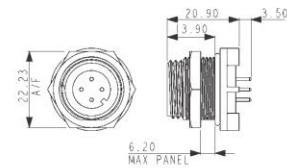


PCB Mounting Connector



PX0413

- Mates with Flex Cable connector PX0410, PX0400 & PX0402
- PCB Rear Panel mounting
- Straight PC spills
- Supplied with pre-loaded gold plated contacts
- 2, 3, 4, 6, 8, 10 or 12 pole



Sealing Caps and Accessories



PX0480 PX0480/1 PX0481 PX0484

- Maintains IP68 Rating of Unmated Connectors
- PX0480: Fits PX0412 (panel mounting)
- PX0480/1: Fits PX0401 & PX0411 (flex in-line)
- PX0481: Fits PX0400, PX0402 & PX0410 (flex connector)
- PX0484: Fits PX0413 (PCB and rear panel mount)

Gland Packs

Part No	Description
PX0482	Pack of 4 pairs cable glands and collets to suit cables from 3.0 to 5.0mm diameter.
PX0483	Pack of 4 pairs cable glands and collets to suit cables from 5.0 to 7.0mm diameter.

BUCCANEER FOR POWER
400 Series Buccaneer
 Specifications

Crimp Contacts

Pole	Current Rating	Pin	Socket	Pack Qty	Cable Acceptance (dia)
2, 3	8A	SA3350	SA3349	10	20 - 24 AWG
4, 6, 8	5A	SA3348	SA3347	10	22 - 26 AWG
10, 12	1A	SA3180	SA3179	10	24 - 28 AWG

Solder Contacts

Pole	Current Rating	Pin	Socket	Pack Qty	Cable Acceptance (dia)
2, 3	8A	SA3350/1	SA3349/1	10	20 - 24 AWG
4, 6, 8	5A	SA3348/1	SA3347/1	10	22 - 26 AWG
10, 12	1A	SA3180/1	SA3179/1	10	24 - 28 AWG

Insertion / Extraction

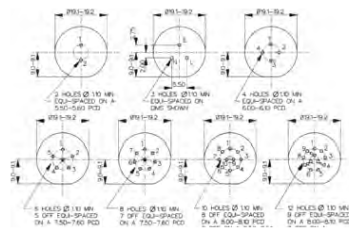
	Poles	Contact Rating	Colour	Part No
Insertion/Extraction Tool	2,3	8A	Blue	13027/2
Insertion/Extraction Tool	4,6,8	5A	Red	13027/1
Insertion/Extraction Tool	10,12	1A	Green	13027

Crimp tools

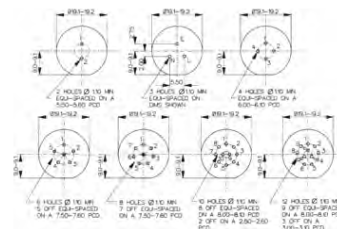
	Poles	Contact Rating	Colour	Part No
Positioner	2,3	8A	Blue	14025/8AMP
Positioner	4,6,8	5A	Red	14025/5AMP
Positioner	10,12	1A	Green	14025/1AMP
8 Indent Crimp Tool for use with positioners				14025

PX0413 PCB Contact Layout
Sockets

Contact numbers viewed from rear of panel


Plugs

Contact numbers viewed from rear of panel


 2 pole
(8 Amp)

 3 pole
(8 Amp)

 4 pole
(5 Amp)

 6 pole
(5 Amp)

 8 pole
(5 Amp)

 10 pole
(1 Amp)





 12 pole
(1 Amp)

BUCCANEER FOR POWER
400 Series Buccaneer
 Specifications


Electrical:

No. Poles:	2, 3	4, 6, 8	10, 12
Current Rating:	8A	5A	1A
Voltage Rating (ac/dc):	250Vac/dc	125Vac/dc	50Vacc
Contact Resistance:	<5mΩ		
Insulation Resistance:	>10 ⁹ MΩ (@ 500V d.c.)		
AC Breakdown voltage:	2.5kV		

Operating Temperature:	
Flex and panel types	-40°C to +80°C
Overmoulded	-20°C to +60°C

Approvals:	
 UL	E214972
 CSA	1273303
 VDE	40002226
 CCC	
	2011010203500398 – 1 Amp Rated
	2011010203500399 – 5 Amp Rated
	2011010203500400 – 8 Amp Rated
	Overmoulded cable assemblies approvals to customer requirements.

Material:

Flex and panel types:	
Body Mouldings:	Polyamide
Flammability Rating:	UL94V-0
UV Resistance:	To EN 50021:1999
Overmoulded types:	
Body Mouldings:	Polyurethane
Flammability Rating:	UL94V-HB
Contacts:	Copper alloy, Gold plated
O Rings:	Nitrile
Panel Sealing O Ring:	Nitrile
 RoHS	Compliant

Mechanical:

Sealing:	IP68, EN60529:1992+A2:2013 tested @ 1.054kg/sq.cm (15lb/sq.in) 10m depth for 2 weeks
Salt Mist:	EN60068-2-52 Test Kb Salt Mist (Cyclic) Marine Severity Level 1
Cable Acceptance:	3.0 - 7.0mm
Contact Accommodation:	2, 3 pole, 20 - 24 AWG 4, 6, 8 pole, 22 - 26 AWG 10, 12 pole, 24 - 28 AWG
Termination:	Crimp, solder and PCB
Insertion/Withdrawal Force:	
No. poles:	2 3 4 6 8 10 12
Insertion Force (typ):	19N 25N 27N 27N 28N 55N 62N
Withdrawal Force (typ):	12N 17N 17N 21N 22N 25N 29N
Tightening Torques:	
Panel mount (PX0412)	1.0-1.1Nm (9lbf.in.)
Rear fixing nut:	
Panel mount (PX0413)	1.0-1.1Nm (9lbf.in.)
Front fixing nut:	
Cable Retention force:	
3.0mm dia	60N
4.0 to 7.0mm dia	80N
Rear panel thread PX0412:	M16x1.5
Panel thread PX0413:	18.97x26TPI Whitworth form to BS84 med fit

Dimensions:

Overall dimensions of connectors when mated together	
Flex + Flex In-Line	80mm
Dia. over coupling ring	19.1mm

BUCCANEER FOR POWER
400 Series Buccaneer
 Specifications


PX04 xx	/	XX	X	/	XXXX
Body Styles PX0410 = Flex body PX0411 = Flex in-line body PX0412 = Front panel mounting body PX0413 = Rear panel/PCB mounting body		Number Contacts 02 = 2 pole, 03 = 3 pole, 04 = 4 pole, 06 = 6 pole, 08 = 8 pole, 10 = 10 pole, 12 = 12 pole	Contact Type P = Pin, S = Socket		For PX0410 and PX0411 cable connectors - Cable Entry Size: 3036 = 3,0 - 3,5mm (Light Grey) 3640 = 3,5 - 4,0mm (Grey) 4046 = 4,0 - 4,5mm (Green) 4660 = 4,5 - 5,0mm (Red) 6066 = 5,0 - 5,5mm (Yellow) 6660 = 5,5 - 6,0mm (Blue) 6066 = 6,0 - 6,5mm (White) 6670 = 6,5 - 7,0mm (Black)
Examples: PX0410/10S/4046 = Flex cable connector, 10 socket contacts with gland and collet for cables between 4,0 and 4,5mm diameter (supplied less contacts). PX0412/06P = Front panel mounting connector, 6 pin contacts (supplied less contacts). PX0413/06P = Rear panel mounting connector, for 6 pin contacts (supplied less contacts). PX0413/04P/PC = Rear panel/PCB connector, 4 pin contacts, PCB mounting (supplied with contacts loaded).					Cable gland and collet supplied in colour coded pairs. For PX0413 PCB/Rear Panel Mount: PC = Pre-loaded PC pins Blank = no pins supplied For PX0412 Front Panel Mount: Suffix not required - leave blank

Anhang H – Montageanweisung



Ingenieurbüro für Regenerative Energien

Montageanweisung: Messsystem zur Ermittlung von Turmschwin- gungen

Dokument Nr.: SEN-TSS-002-02-2017 Version 5

Busdorf, den 14.03.2017

Erstellt: Kaja Aniol _____
Mitja Klatt _____

Geprüft: Marten Seifert _____

Geprüft und freigegeben:

Auftraggeber: _____

Datum: _____

Name(Druckbuchstaben): _____

Unterschrift: _____

RECASE Regenerative Energien GmbH · Alte Landstraße 1a · 24866 Busdorf
Amtsgericht Flensburg HRB 10232 FL
Vertreten durch den Geschäftsführer Marten SeifertBankverbindung:
Sparkasse Mittelholstein · BLZ 214 500 00 · Konto Nr. 105118590
BIC NOLADE21RDB · IBAN DE37 2145 0000 0105 1185 90
USt.-IdNr. DE291857170 · Steuer Nummer : 15/293/05425



Ingenieurbüro für Regenerative Energien

Inhaltsverzeichnis

1	Aufgabenstellung.....	3
2	Lieferumfang	3
3	Gefahrenhinweis	5
4	Platzierung der Messbox im liegenden Turm.....	5
5	Installation der Messbox im aufgerichteten Turm.....	7
5.1	Installation der Sensoren	8
5.1.1	Positionierung der Magnet-Adapter-Kombination	8
5.1.2	Verbinden der Sensoren mit den Magnet-Adapttern	10
5.2	Kabelverlegung.....	11
5.3	Inbetriebnahme.....	13
5.4	Montage der Messbox	16
6	Demontage der Messbox nach dem Seetransport.....	17
7	Sicherung der Daten im Basishafen.....	18
8	Überprüfung der Messbox auf Vollständigkeit	19
9	Troubleshooting	20
9.1	Laderegler.....	20
9.2	SWIFT MATCH MAS-II-4-ADV Recorder.....	20
9.3	Software „MAS Terminal Programm“	21
10	Anhang	22

RECASE Regenerative Energien GmbH · Alte Landstraße 1a · 24866 Busdorf
 Amtsgericht Flensburg HRB 10232 FL
 Vertreten durch den Geschäftsführer Marten Seifert

Bankverbindung:
 Sparkasse Mittelholstein · BLZ 214 500 00 · Konto Nr. 105118590
 BIC NOLADE21RDB · IBAN DE37 2145 0000 0105 1185 90
 USt.-IdNr. DE291857170 · Steuer Nummer : 15/293/05425



1 Aufgabenstellung

Bei dem geplanten Schiffstransport der WEA-Türme zu dem Windpark sollen die auftretenden Schwingungen mittels Beschleunigungsmessungen im oberen Turmbereich durch ein Messsystem aufgenommen werden.

Das Ziel der Messung ist die Darstellung der Beschleunigungen in der X-, Y- und Z-Richtung in Form von Zeitreihen. Abbildung 1-1 zeigt eine Prinzipskizze des Schiffsdecks sowie der Positionierung des Turms und der Sensorausrichtung (Mitja Klatt). Die Sensorpositionierung erfolgt in Kapitel 5.1.

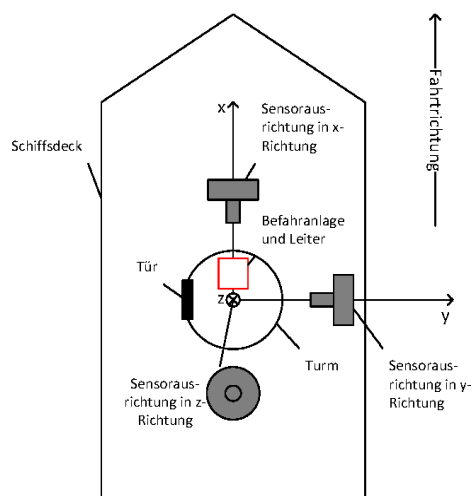


Abbildung 1-1: Prinzipskizze des Schiffsdecks mit Positionierung des Turms und Sensorausrichtung (Mitja Klatt)

2 Lieferumfang







Für die Beschleunigungsmessung wird ein MAS-MATCH-II-4-ADV Recorder der Firma SWIFT Gesellschaft für Messwerterfassungs-Systeme mbH als Haupteinheit vorgesehen. An dem Recorder werden drei Beschleunigungssensoren der Firma SEIKA Mikrosystemtechnik GmbH angeschlossen. Die Beschleunigungsdaten werden aufgezeichnet und als Zeitreihen auf einer SD-Karte gespeichert.

Das Messsystem wird in eine Messbox integriert. Die Messbox verfügt außerdem über eine Batterie, die den Recorder während des Transports mit Strom versorgt und damit eine kontinuierliche Datenaufzeichnung gewährleisten soll. Die Batteriekapazität ist für eine Messdauer von ca. 14 Tagen ausreichend.

In der Box ist ein Ladegerät des Typs chAmp verbaut, welches die Batterie während der Standzeit am Hafen über den Turmstrom versorgt. Die Batterie wird durch das Ladegerät automatisch geladen, wenn das Ladegerät mit einer Eingangsspannung von 230 V mit 50 Hz versorgt wird. Unmittelbar bevor der Turm vom Grillage am Hafen auf das Transportschiff gehoben wird, erfolgt die Trennung der Stromversorgung des Turmes. Die Batterie ist zu diesem Zeitpunkt vollständig geladen, wenn für mind. 8 h eine ununterbrochene 230 V-Versorgung stattgefunden hat. Der Batteriebetrieb des Messsystems ist also nur während des Seetransports erforderlich.

In Tabelle 2-1 werden die einzelnen Komponenten einer vollständig ausgestatteten Messbox aufgeführt. Die zusätzlich benötigten Materialien werden in Tabelle 2-2 aufgelistet.

Tabelle 2-1: Auflistung der Komponenten der Messbox

Nr.	Anzahl	Name	Beschreibung	Beispiel
1	1	SWIFT MAS-MATCH-II-4-ADV Recorder		
2	1	Adapter Serielle Schnittstelle - USB		
3	1	Gelbatterie	50 Ah	
4	1	chAmp 1217	230 V, 50 Hz, IP65	
5	1	Anschlusskabel (230 V)	Heavy Duty, 5 m, Eingang: Schuko-Stecker, Ausgang: DEFA-Minikupplung, IP44	
6	3	Beschleunigungssensor Seika	D:24 mm, H:19 mm, Kabellänge: 10 m, mit Steckverbindung	
7	3	Neodymflachgreifermagnet mit Adapter	F: 500 N, D: 40 mm, H: 35 mm, M5; vorkonfektioniert mit einem Antirutschfilm	
8	2	Sicherung 3A		
9	2	Sicherung 10 A		
10	1	Magnet-Adapter-Box (Inhalt: Positionen 7-9)	175x45x180mm	 4
11	1	Outdoor Case (Inhalt: Positionen 1-10)	551x216x419 mm (BxTxH), schwarz, Buchsen für Sensorkabel, DEFA-Buchse	

Datum: 14.03.2017

Dokumenten Nr. SEN-TSS-002-02-2017 Version 5

4

Tabelle 2-2: Auflistung der zusätzlich benötigten Materialien

Nr.	Anzahl	Name	Beschreibung	Beispiel
1	500 ml	Bremsenreiniger		
2	6	Textiltuch		
3	1	Laptop	Ausgestattet mit der Software „MAS Terminal Program“	
4	2	Spanngurt mit Ratsche	Breite: 25-40 mm, Länge: mind. 3 m	
5	1 Satz	Kabelbinder		
6	1	Klebebandrolle		

Die Messbox mit dieser Ausstattung hat ein Gewicht von ca. 23 kg.

3 Gefahrenhinweis

Die Montageanleitung weist an bestimmten Stellen auf mögliche Beschädigungen durch fehlerhaften Umgang mit Komponenten hin (Mitja Klatt). Diese sind durch das folgende Schema gekennzeichnet:

ACHTUNG

Gefahr oder fehlerhafter Umgang

Folge des fehlerhaften Umgangs

➔ Maßnahme zum Umgehen einer Beschädigung

4 Platzierung der Messbox im liegenden Turm

Die Messbox soll auf der obersten Plattform an einem geeigneten Ort in der Nähe der Stromverbindung montiert werden.

Im liegenden Zustand der Türme wird die Messbox auf die oberste Plattform gebracht und wie in der Abbildung 4-2 dargestellt montiert, damit sie sich während des Aufrichtens nicht bewegt und die Arbeitswege nicht behindert. Die Messbox wird unter das Kabelgitter gestellt, dieser Standort wird in Abbildung 4-1 durch einen grünen Kasten dargestellt (Mitja Klatt).

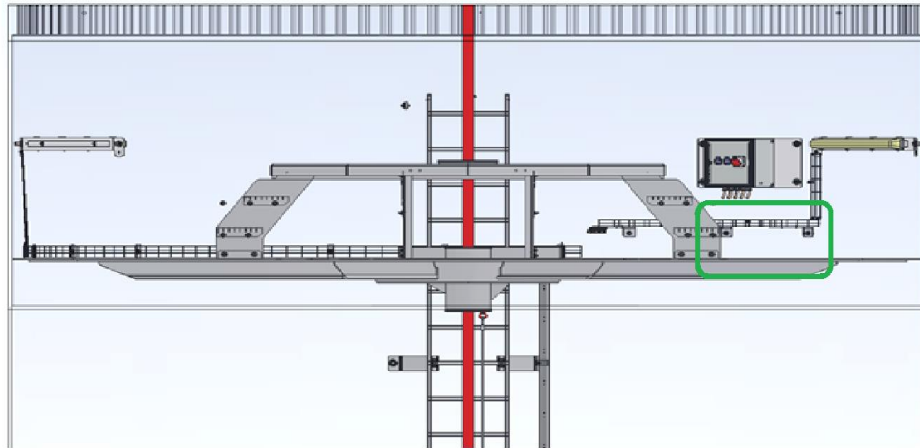


Abbildung 4-1: Platzierung des Messkoffers im liegenden Turm auf der obersten Plattform (Mitja Klatt)



Abbildung 4-2: Montierter Messkoffer

Die Messbox wird zwischen Kabelgitter und Plattformboden gestellt und mit einem Spanngurt festgespannt. Der Gurt wird an der Vorderseite um die Box gelegt und die Anschweißbolzen dienen als Anschlagpunkte, dies ist in Abbildung 4-3 und Abbildung 4-4 zu erkennen.

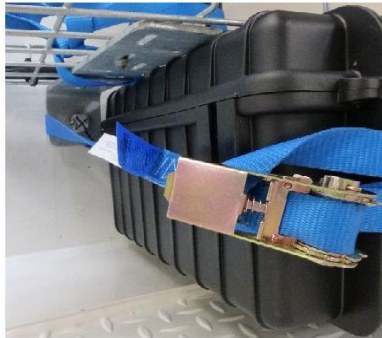


Abbildung 4-3: Befestigung an dem Anschweißbolzen



Abbildung 4-4: Befestigung an dem Anschweißbolzen

5 Installation der Messbox im aufgerichteten Turm

Die Messbox ist von ihrer Position unter dem Kabelgitter zu entfernen und zu öffnen.

In der Messbox befinden sich neben den fest installierten Komponenten (Batterie, Ladegerät, Messsystem) auch die drei Magnet-Adapter-Kombinationen, die drei Sensoren mit den Kabeln (mit Steckverbindung) und das Kabel für die 230 V-Versorgung. Diese müssen aus der Messbox herausgenommen werden. In Abbildung 5-1 ist der Inhalt der Messbox zu sehen. Die Sensoren sind separat in Luftpolsterfolie verpackt. Die Magnet-Adapter-Kombinationen sind zusammen mit den Ersatz-Sicherungen in einer Box verstaut (Abbildung 5-2).



Abbildung 5-1: Komponenten der Messbox



Abbildung 5-2: Box mit Magnet-Adapter-Kombinationen und Ersatz-Sicherungen

Das Kabel ist an der Messbox und der 230 V Schuko-Steckdose anzuschließen. Wenn der Turm bereits mit Strom versorgt ist, kann die Batterie, falls sie nicht vollständig geladen ist, durch den Laderegler aufgeladen werden. Der automatische Ladevorgang wird durch das Leuchten der gelben LED angezeigt. Nachfolgend werden die möglichen an dem Laderegler angezeigten Zustände dargestellt.

LED

Gelbe LED	Automatischer Ladevorgang
Gelbe und grüne LED	Ladestrom sinkt unter 15% des Maximalwertes ab
Grüne LED	Nach ca. 2 h erlischt die gelbe LED und das grüne Leuchten bedeutet, dass der Ladevorgang abgeschlossen ist. Die Erhaltungsladung ist aktiv und die Batterie vollgeladen.

Es wird nun mit der Anbringung der Sensoren begonnen, dies wird im folgenden Kapitel 5.1 erläutert.

5.1 Installation der Sensoren

5.1.1 Positionierung der Magnet-Adapter-Kombination

Die Anbringung der Magnet-Adapter-Kombination für die Sensoren findet auf der obersten Plattform des Turms statt.

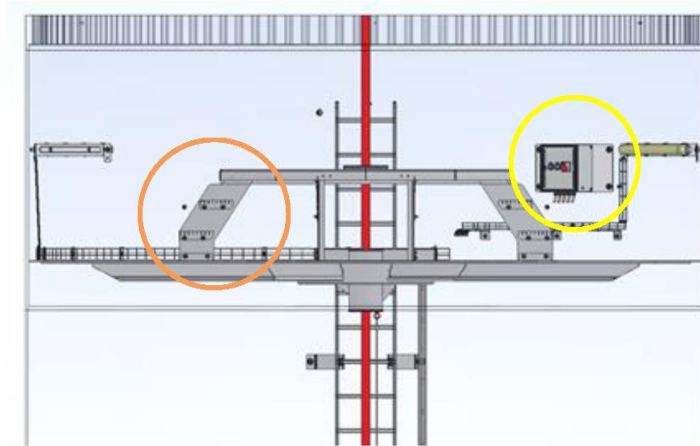


Abbildung 5-3: Oberste Plattform des Turmes mit Blick in Fahrtrichtung (Mitja Klatt)

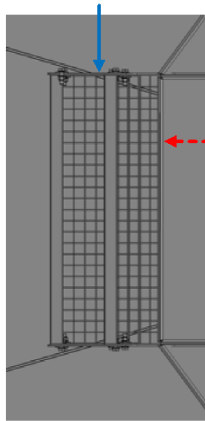
Für die Referenzierung der Messrichtungen (X, Y, Z) wird die genaue Aufstellung des Turmes auf dem Deck des Schiffes benötigt. Zur Orientierung wird angenommen, dass die Leiter in Fahrtrichtung vorne liegt. Die Magnet-Adapter sind entsprechend der Messrichtung mit *X Ch1*, *Y Ch2* und *Z Ch3* beschriftet. Für den Transport der Messbox auf die oberste Plattform sind zwischen den Magnet-Adapter-Kombinationen Zwischenlegeplatten, diese dienen der leichteren Trennung der Adapter voneinander. Die Platten können während der Messung in der Aufbewahrungsbox gelagert werden. In Abbildung 5-4 ist eine Zwischenlegeplatte (violett) zu erkennen.



Abbildung 5-4: Magnet-Adapter-Kombination mit Zwischenlegeplatten

In Abbildung 5-3 ist der Bereich orange umrandet, in dem die Magnet-Adapter-Kombinationen angebracht werden. Die vorgesehenen Flächen werden mit Bremsreiniger gesäubert und die zugehörigen Magnet-Adapter-Kombinationen angebracht (Mitja Klatt).

Die Pfeile in den folgenden Abbildungen entsprechen den Magnet-Adapter-Kombinationen. Die vorgesehenen Positionen sind:



- **X-Richtung:** die in Fahrtrichtung liegende Seitenfläche der linken Treppe (Abbildung 5-5)
- **Y-Richtung:** die nach innen gerichtete Fläche der linken Treppe unter der Plattform (Abbildung 5-5)

Abbildung 5-5: Draufsicht der linken Podesttreppe mit der Sensorpositionierung (X-, Y-Richtung)

- **Z-Richtung:** die nach unten gerichtete Podestfläche, in unmittelbarer Nähe zur linken Treppe (Abbildung 5-6)

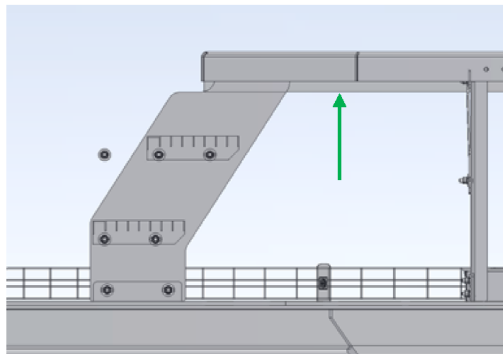


Abbildung 5-6: Seitl. Detailansicht der linken Podesttreppe mit der Sensorpositionierung (Z-Richtung)

Hinweis: Ein Abweichen von dieser Positionierung führt zu nicht verwertbaren Messergebnissen. Dies muss unbedingt vermieden werden.

5.1.2 Verbinden der Sensoren mit den Magnet-Adaptern

Die Sensoren werden unter Berücksichtigung der Beschriftung an den Sensoren (*Ch1*, *Ch2*, *Ch3*) in die zugehörigen Magnet-Adapter eingedreht. Tabelle 5-1 zeigt die Kombination der Sensoren und Adapter.

Tabelle 5-1: Zugehörigkeit Magnet-Adapter-Kombinationen und Sensoren

Beschriftung Magnet-Adapter-Kombination	Beschriftung Sensor
X Ch1	Ch1
Y Ch2	Ch2
Z Ch3	Ch3



Abbildung 5-7: Beispiel für die Kombination von Adapter und Sensor für die X-Richtung (Ch1)

Die Kabel der Messsensoren dürfen beim Eindrehen unter keinen Umständen Zugspannungen oder großen Biegekräften ausgesetzt werden.

ACHTUNG
Sensorkabel stehen unter Zugspannung

Beschädigen der Sensorkabel an den Verbindungsstellen der Sensoren

→ Achtsames Vorgehen bei der Montage

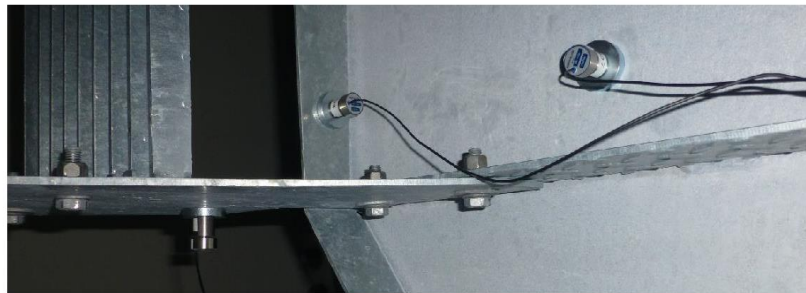


Abbildung 5-8: Sensorpositionierung

5.2 Kabelverlegung

Die Kabelverlegung erfolgt auf dem kürzesten Weg von den Sensoren zur Messbox. Die Verlegung muss so erfolgen, dass Stolper-, Rutsch- und Sturzunfälle verhindert werden. Die zur Verfügung stehenden Kabelbinder und das Klebeband sind zu verwenden, um die Kabel provisorisch zu befestigen.

ACHTUNG
Sensorkabelverlegung

Stolper-, Rutsch- und Sturzgefahr

→ Geh- und Arbeitswege während der Befestigung beachten

Ebenfalls ist zu beachten, dass mechanische Beanspruchungen der Kabel durch Biegung oder Zug verhindert werden, um Beschädigungen am Kabel und somit einem möglichen Ausfall von Sensoren vorzubeugen.



Abbildung 5-9: Kabelanbringung

Die Kabelenden der Sensoren sind an die an der Messbox vorgesehenen Kabelverschraubungen anzubringen.

Tabelle 5-2: Zugehörigkeit Kabelverschraubungen und Sensorkabelenden

Beschriftung Kabelverschraubung	Beschriftung Sensorkabelende
X=Ch1	Ch1
Y=Ch2	Ch2
Z=Ch3	Ch3

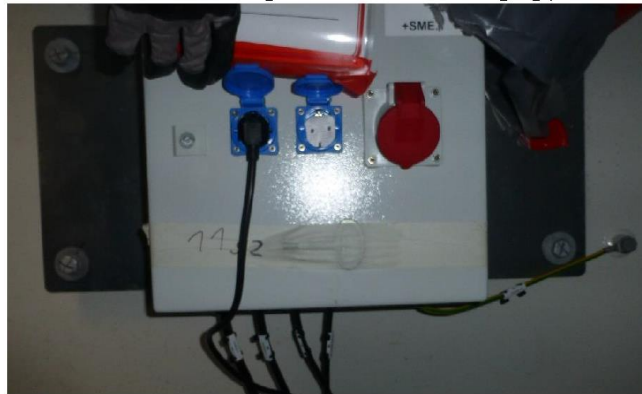


Abbildung 5-10: Beschriftete Kabelverschraubung an der Messbox, eingesteckte Kabelenden in die Kabelverschraubungen

5.3 Inbetriebnahme

Nach Platzierung der Messbox und der Installation der Sensoren sowie der Kabelverlegung sind die folgenden Schritte durchzuführen, um die Messbox zu starten und insbesondere die Systemzeit mit der aktuellen Uhrzeit zu synchronisieren.

1. Anschließen des Batterieladegeräts an die 230 V-Versorgung (in Abbildung 5-3 gelb umrandet)



2. Anschließen der Batterie an den MAS-MATCH-II-4-ADV Recorder

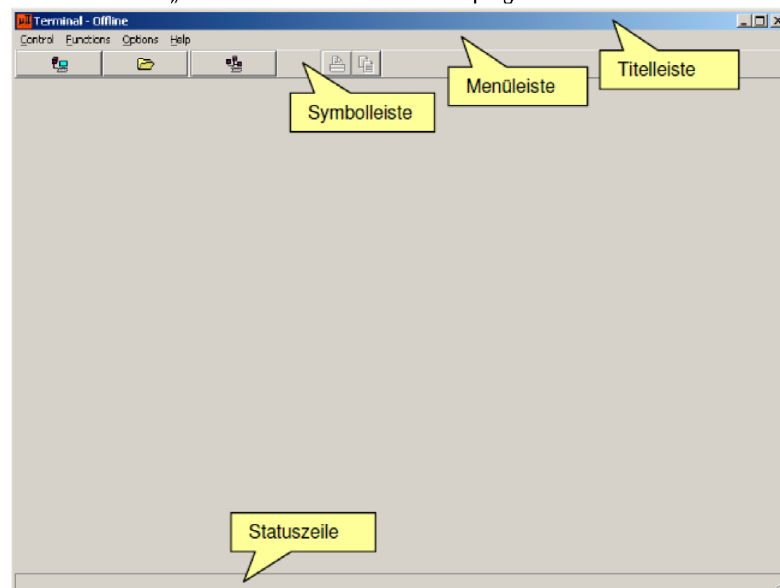


3. Starten des Laptops
4. Anschließen des Recorders an den Laptop über den Adapter

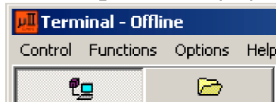


5. Starten der Software „MAS Terminal Program“ (Terminal Offline Startbildschirm)

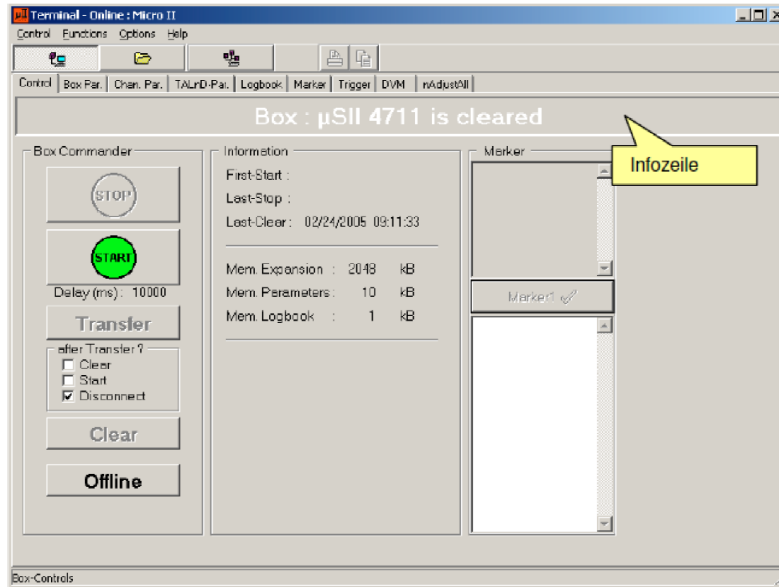
Hinweis: Nachfolgende Abbildungen zur Funktionsweise des „MAS Terminal Program“ entstammen dem „Benutzerhandbuch zum Terminalprogramm V3.xx“ der Firma SWIFT.



6. Verbindung zwischen Laptop und Recorder herstellen: Schaltfläche *Online* betätigen.



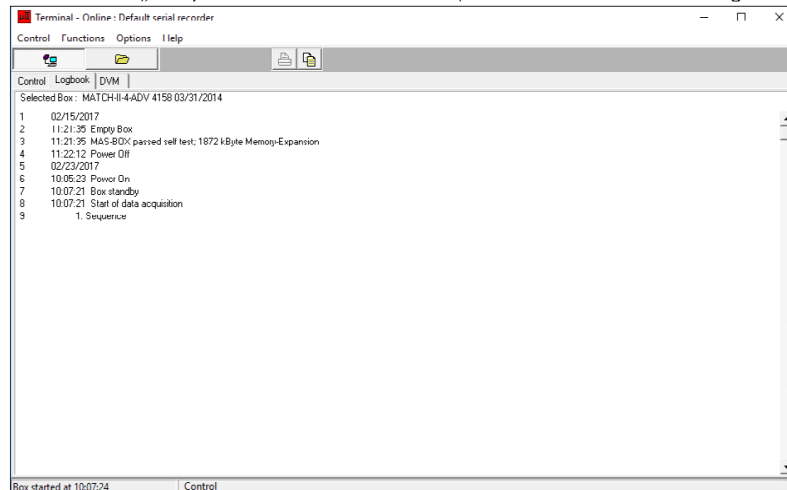
7. Es erscheint der folgende Bildschirm. Der Recorder befindet sich in dem „geclearten“ Status. Das bedeutet, dass momentan keine Werte aufgenommen werden, der Speicher gelöscht ist und die Zeit eines Rechners für die Zeit im System übernommen wurde.



8. Die Schaltfläche *START* betätigen. Die Messung wird gestartet.
9. Überprüfen, ob die Zeit des Systems mit der des Rechners übereinstimmt und ob die Messung begonnen hat:

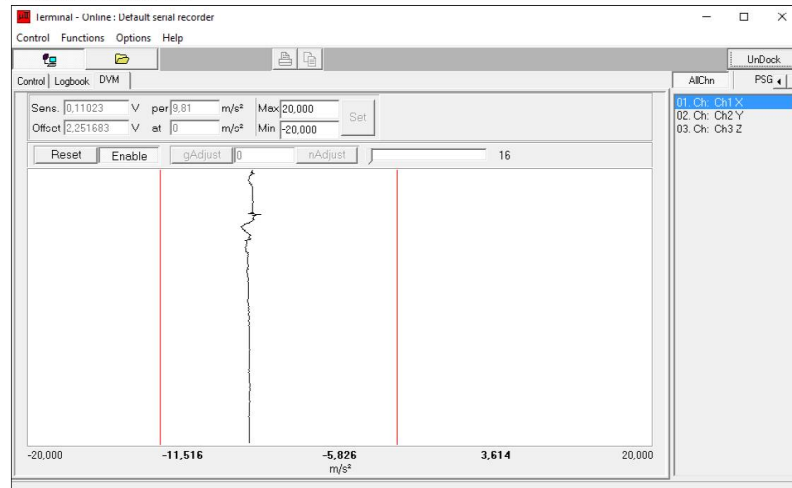
Hierfür die Registerkarte *Logbook* öffnen. An Position 1 steht das Datum. Zudem werden die stattgefundenen Ereignisse mit der Zeit aufgelistet. Es werden die Positionen 2 und 3 wie in der untenstehenden Abbildung aufgelistet.

Jetzt müssen die Zeitpunkte des Batterieanschlusses und des Beginns der Messung angezeigt werden. Dies wird mit „*Start of data acquisition*“ angegeben, die nachfolgenden Position lautet „*1.Sequence*“. Wenn dies der Fall ist, findet eine Datenaufzeichnung statt.



10. Durchführen einer Funktionskontrolle der am Recorder angeschlossenen Sensoren: Hierfür die Registerkarte *DVM* öffnen. Das anliegende Signal wird mit Hilfe der Messbereichsparametern *Minimum* und *Maximum* skaliert und laufend auf dem Bildschirm gra-

fisch dargestellt. Die Anzeige wird kontinuierlich aktualisiert, so dass Messsignaländerungen mitverfolgt werden können. Zusätzlich werden zwei Schleppzeiger für das bisherige Messwertminimum und -maximum mitgeführt. Ist im DVM-Fenster ein leichter Signalausschlag für alle Kanäle (an der rechten Seite auswählbar) zu erkennen, funktionieren die Sensoren.



11. Zur Registerkarte *Control* zurückkehren. Den Recorder von dem Laptop trennen und das Programm schließen. Die begonnene Datenaufzeichnung wird jetzt fortgesetzt.
12. Die Messbox verschließen.

Hinweis: Weitere Informationen sind in dem „Benutzerhandbuch zum Terminalprogramm V3.xx“ der Firma SWIFT zu finden.

5.4 Montage der Messbox

Die Messbox wird unter die rechten Podesttreppe gestellt und mit zwei Spanngurten an der ersten Stufe befestigt. Die Spanngurte werden an beiden Seiten entlanggeführt und mit Hilfe der Ratschen so festgezogen, dass sich die Messbox bei dem Schiffstransport und den dabei auftretenden Schwingungen nicht von ihrer Position bewegen kann. Die Position und Montage ist in Abbildung 5-11 zuerkennen.

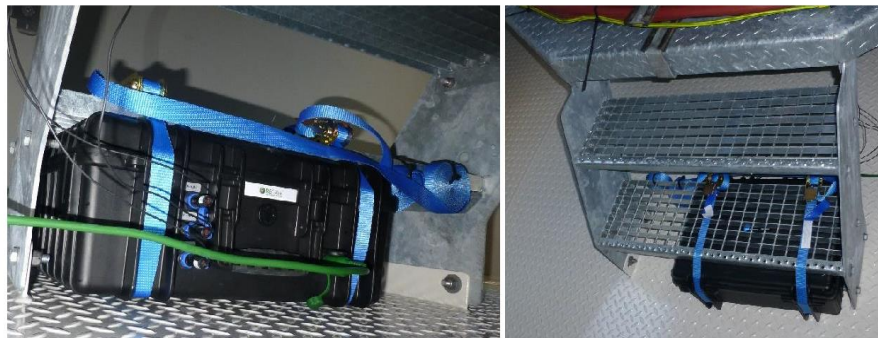


Abbildung 5-11: Positionierung und Anbringung der Messbox für den Schiffstransport

Bei der Anbringung der Gurte muss auf die Kabelausgänge der Sensoren an der Seite der Messbox und die Sensorkabel geachtet werden. Die in den Kabelausgängen angebrachten Sensorkabel dürfen nicht eingeschnürt, beschädigt oder herausgerissen werden. Bei einer Störung der Verbindung zwischen SWIFT Recorder und Sensoren kann es zu Fehlmessungen kommen, die die Datenaufzeichnung verfälschen.

ACHTUNG
Zu starkes Festziehen der Spanngurte

Beschädigung der Messbox

→ Angepasstes Festziehen der Gurt

ACHTUNG
Beschädigung der Sensorkabel bei der Anbringung der Spanngurte

Verfälschte Datenaufzeichnung

→ Achtsames Vorgehen bei der Montage

Das Stattfinden der Messung ist durch ein Schild an einem geeigneten Ort zu kennzeichnen. Die Vorlagen (deutsch und englisch) für dieses Schild sind im Anhang zu finden.

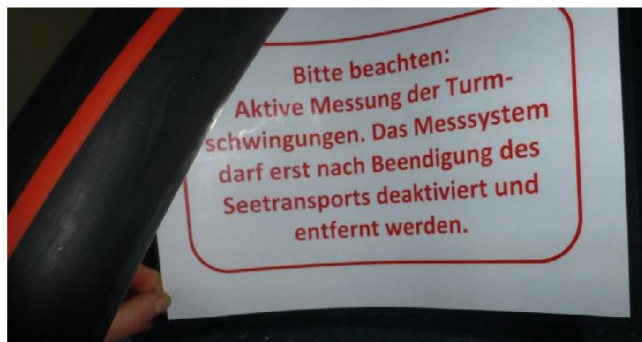


Abbildung 5-12: Anbringung des Schilds an der Kabelumlenkung des Loop-Kabels

6 Demontage der Messbox nach dem Seetransport

Die Demontage der Messbox mit den zugehörigen Sensoren und Magneten soll bei der bei der Hebe-
mitteldemontage erfolgen.

Die Verbindung zur 230 V-Versorgung wird als erstes getrennt, damit keine weitere Stolpergefahr besteht.

Danach erfolgt das Entfernen und Aufrollen der Spanngurte. Es ist dabei darauf zu achten, dass die Sensorkabel und Sensoren noch nicht entfernt werden dürfen.

ACHTUNG
Vor dem Abziehen der Sensorkabel ist die Messung zu beenden

Gefahr von Aufzeichnung nicht plausibler Daten!

→ Zuerst die Spanngurte lösen, die Messbox öffnen, die 12 V Versorgung vom Messsystem trennen. Erst dann dürfen die Sensorkabel entfernt werden.

Nach der Demontage der Messbox wird diese geöffnet und die Batterie von dem Recorder getrennt, dadurch ist die Datenaufzeichnung unterbrochen.

Anschließend sind die Sensorkabel von der Plattform zu lösen und an der Steckverbindung abzunehmen. Die Sensoren werden vorsichtig aus den Schraubverbindungen des jeweiligen Adapters gedreht.

Die Sensorkabel sind aufzuwickeln und mit Kabelbindern zu umschließen. Jeder Sensor wird mit den Kabeln in die dafür vorgesehene Luftpolsterfolie in der Messbox verstaut. Die Magnet-Adapter-Kombinationen werden abgenommen und zusammen mit den Zwischenlegeplatten in die dafür vorgesehene Box gelegt und neben dem Laderegler in der Messbox untergebracht. Zwischendurch auf einen ausreichenden Abstand zwischen Sensoren und Magneten achten, damit die Sensoren nicht beschädigt werden. Der 230 V-Stecker und das zugehörige Kabel werden ebenfalls in die Messbox gelegt, diese wird anschließend verschlossen.

ACHTUNG
Geringer Abstand zwischen den Sensoren und Magneten

Mögliche Beschädigung der Sensoren

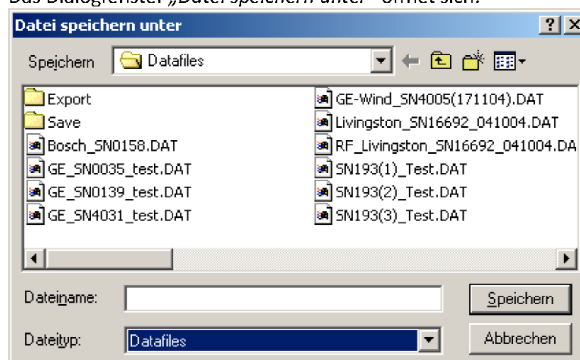
→ Ausreichenden Abstand zwischen Sensoren und Magneten einhalten

Anschließend kann die Messbox an Deck gebracht werden.

7 Sicherung der Daten im Basishafen

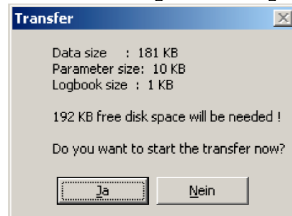
Die aufgenommenen Zeitreihen der Beschleunigungsdaten werden auf der externen SD-Karte des Recorders gespeichert. Die Daten der Auswertmethoden *Rainflow (RF)* und *Time at Level (TaL)* werden auf dem internen Speicher des Recorders gespeichert. Die Daten von dem internen Speicher des Recorders erhält man über die Software. Folgende Schritte sind auszuführen:

1. Anschließen der Batterie an den MAS-MATCH-II-4-ADV Recorder.
2. Starten des Laptops.
3. Anschließen des Recorders an den Laptop über den Adapter.
4. Starten der Software „MAS Terminal Program“.
5. Verbindung zwischen Laptop und Recorder herstellen: Schaltfläche *Online* betätigen.
6. In der Infozeile sollte „Box: ... is paused“ stehen. Die Messung ist durch das Trennen von der Batterie angehalten worden. Auf dem Speicher des Recorders befinden sich Daten, die ausgelesen oder gelöscht werden können.
7. Im dem Feld *Box-Commander* soll durch Betätigen des *STOP*-Buttons die Messung angehalten werden.
8. Betätigen des *Transfer*-Buttons, um die Daten aus dem Recorder auszulesen.
9. Das Dialogfenster „Datei speichern unter“ öffnet sich.



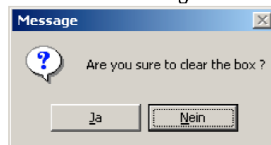
10. Einen eindeutigen Dateinamen (Seriennummer des Turms / der Anlage und Datum) und Speicherort (USB-Stick) für die Daten wählen und mit *Speichern* bestätigen.
 Speicherort: C:\Tower Oscillation Measurement\2017_Monat_Tag\Turm-SN (einzutragen)

11. Es öffnet sich folgendes Dialogfenster:



Mit *Ja* bestätigen, wenn ausreichend Speicherplatz vorhanden ist.

12. Dieser Vorgang kann einige Minuten dauern.
 13. Die Daten können nach erfolgreichem Transfer von dem Speicher gelöscht werden. Hierfür den *Clear*-Button betätigen und folgende Sicherheitsabfrage mit *Ja* bestätigen.



Es werden alle Messdaten und *Logbook*-Einträge gelöscht. Die eingestellten Parameter werden nicht verändert. Durch das „Clearen“ wird die interne Uhr des Recorders mit der des Laptops synchronisiert.

14. Um die Kommunikation zwischen Software und Recorder zu beenden, den *Offline*-Button betätigen.
 15. Der Recorder vom Laptop trennen und die Software beenden.
 16. Den Recorder von der Batterie trennen.

Um die Daten der Zeitreihen von der SD-Karte zu erhalten, sind folgende Schritte durchzuführen:

1. Lösen des Spanngurtes, welcher um den Recorder gelegt ist.
2. Entfernen des Deckels (Schrauben lösen).
3. Vorsichtiges Herausnehmen der SD-Karte.
4. Mit Hilfe des Laptops die Daten von der SD-Karte herunterladen und unter geeignetem Name (Seriennummer des Turms / der Anlage und Datum) an einem geeigneten Speicherort (USB-Stick) speichern.
 Speicherort: C:\Tower Oscillation Measurement\2017_Monat_Tag\Turm-SN (einzutragen)
5. Speicherkarte wieder in den Recorder stecken.
6. Recorder mit dem Deckel verschließen.
7. Recorder durch den Spanngurt befestigen.

8 Überprüfung der Messbox auf Vollständigkeit

Der Inhalt der Messbox sollte überprüft werden:

1. Ist der Recorder ausreichend durch den Spanngurt befestigt?
2. Ist der Recorder von der Stromversorgung über die Batterie getrennt?
3. Sind die drei Sensoren mit ihren Kabeln in den dafür vorgesehenen Luftpolsterfolien verstaut?
 Sind die Kabel ordentlich aufgewickelt?
4. Sind die Deckel auf die Buchsen für die Sensorkabel geschraubt?
5. Sind die Magnet-Adapter-Kombinationen in der dafür vorgesehenen Box mit den Zwischenleplatten untergebracht? Ist diese gut verschlossen?
6. Ist das 230 V-Kabel in der Messbox?

Nach der Überprüfung kann die Messbox verschlossen werden.

Hinweis:

Damit die Batterie vor dem nächsten Einsatz wieder vollständig geladen ist, muss diese über das 230 V-Kabel mindestens 8 h geladen werden.

9 Troubleshooting

9.1 Laderegler

Der verwendete Laderegler chAmp ist zu Beginn der Messung wichtig, da die Batterie während der Standzeit am Hafen geladen wird. Wenn der Laderegler angeschlossen wird, beginnt die automatische Ladung, die durch das Leuchten der gelben LED angezeigt wird. Im Folgenden sind LED-Signale mit ihren möglichen Ursachen aufgelistet:

LED

Gelbe LED blinkt	Die Batterieanschlüsse sind evtl. nicht korrekt. → Die Batteriekabel und -anschlüsse überprüfen. Die Spannung an der Batterie und dem Ladegerät überprüfen.
Gleichzeitiges Blinken der gelben und grünen LED	Die Ladespannung ist zu gering.
Abwechselndes Blinken der gelben und grünen LED	Die Gerätetemperatur ist zu hoch. → Die Anschlüsse sind zu überprüfen. → Falls der Regler trotz richtigem Anschließen der Anschlüsse nicht geht, ist zu folgendem Fachhändler Kontakt aufzunehmen: LEAB Automotive GmbH +49 (0) 4621 978 60-0

9.2 SWIFT MATCH MAS-II-4-ADV Recorder

Der SWIFT Recorder wird gestartet und direkt über die Batterie oder indirekt über den Turmstrom mit Strom versorgt. Die an den Eingängen anliegenden Signale werden nun gemessen, ausgewertet und gespeichert. Die Betriebsbereitschaft bzw. die Versorgung des Systems mit Strom ist durch das zyklische Blinken einer grünen „Status“-LED an der Frontseite des SWIFT Recorders abzulesen.

Wenn die Messbox auf die oberste Plattform des Turms gebracht, geöffnet und der Recorder mit der Batterie verbunden wurde, ist die Betriebsbereitschaft des SWIFT Recorders anhand der „Status“-LED zu überprüfen.

„Status“-LED
Grünes Blinken

Stromversorgung über die Batterie und Datenaufzeichnung weiterhin gewährleistet.

→ Einbau der Messbox und der zugehörigen Komponenten kann erfolgen.

Kein Blinken

Überprüfung und ggf. Wiederherstellen der Verbindung zwischen Batterie und Messsystem

→ Einbau der Messbox und der zugehörigen Komponenten kann erfolgen, wenn LED blinkt.

Anschließen des Ladegeräts an die 230 V-Versorgung (Entladung der Batterie möglich)

→ Einbau der Messbox und der zugehörigen Komponenten kann erfolgen, wenn LED blinkt.

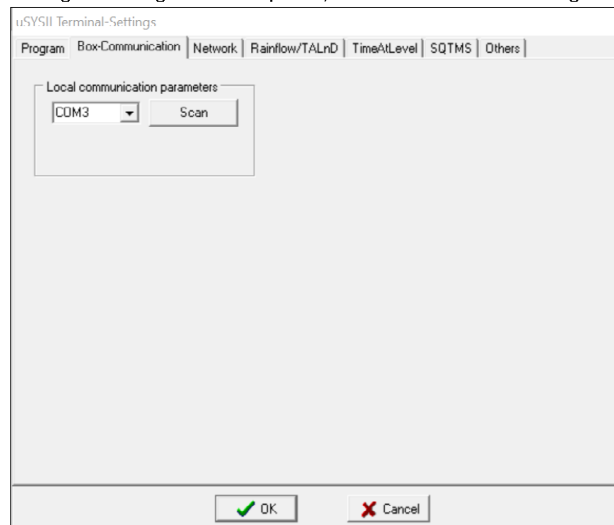
Beide Möglichkeiten sind erfolglos. (Anderer Fehler im Messsystem)

→ Messbox kann für die Messung nicht verwendet werden

9.3 Software „MAS Terminal Programm“

Der SWIFT Recorder wird an den Laptop angeschlossen und das MAS Terminal Programm gestartet. Wenn das Terminal Programm keine Verbindung zu dem Messrecorder aufbauen kann (Fehlermeldung: „Failed to open the COM device“), kann dies an der Auswahl des Kanals liegen. Es ist dann wie folgt vorzugehen:

1. Betätigen der Registerkarte *Options*, dadurch öffnet sich das folgende Fenster:



2. Es ist über den Pfeil ein anderer Kanal auszuwählen.
3. Die Schaltfläche *Scan* betätigen und mit *OK* bestätigen.
4. Die Verbindung zum Recorder sollte über die Registerkarte *Control* auszuwählen sein. Es kann der Anweisung in Kapitel 5.3 weiter gefolgt werden.

10 Anhang

**Bitte beachten:
Aktive Messung der
Turmschwingungen.
Das Messsystem darf erst
nach Beendigung des See-
transports deaktiviert und
entfernt werden.**

Notice:
Tower Oscillation
Measurement.
The measurement system
can be deactivated and
removed upon comple-
tion of the see transport.

Anhang I – Datenblatt chAmp Laderegler



chAmp III



EINBAU- / BEDIENUNGSANLEITUNG

LEAB chAmp III Batterieladegeräte
mit IU₀U-Kennlinie

12V / 7A DC (100 Watt)

Manual	(EN)	2
Handbuch	(DE)	5

Manual

- Read this instruction before the charger is taken into use.
- Keep this manual within easy reach for the user of this battery charger
- Hydrogen gas will be produced when charging lead-acid batteries and hydrogen gas is explosive.
- Open flames and sparks should be kept away from batteries they may produce explosions.
- The charger should be switched off before the charger/battery plug is disconnected.

General

The LEAB chAmp III Charger is suitable both for Freely Ventilated- (Wet) and Valve Regulated- (Dry) lead/acid batteries.

The charger is small and very compact and can therefore easily be fitted close to the battery.

The charger operates in high frequency and should be connected to a standard 230V mains connection with ground. The built in micro controller controls the charging process according to the chosen charging algorithm.

During charging the charging progress is displayed with status indicator LED on the front panel. The micro-controller is also controlling the charging progress with regards to temperature in the charger and time. If a fault occurs in some cells or the temperature rises the charging current will be limited. If you have a special requirement of charging algorithm or application, please contact LEAB Automotive GmbH.

Installation

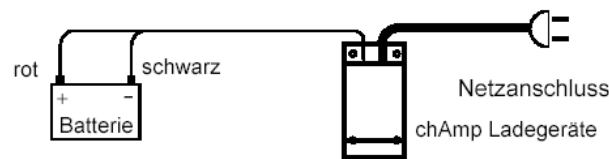
The LEAB chAmp III Charger is suited for indoor and outdoor use.

It can be used positioned horizontally on a table or a shelf, hang on a wall or as a built-in charger in the vehicle or machinery.

The charger can be with fixed connection to the battery or with conventional connectors.

Position the charger in such a way that the air supply will not be obstructed.

When the charger is fitted on a wall or mounted in a vehicle it should be vertical mounted for optimal cooling.



Function

Check that the polarity between the charger and the battery is right. Positive + to positive + and negative – to negative -. Red cable is plus and black cable is minus.

The charging starts after a few seconds and the status indicator, Yellow LED, will light up.

Yellow LED remains on until the battery is fully charged. If the charger is connected to a fully charged battery the charger will be charging for 1 hour. This is the minimum charging time. During this phase the green led will be illuminated. When only green LED is on the charger is kept in maintenance charge and ready to be used.

Maintenance charging will continue as long as the battery is connected.

The charger will be reset as soon as the charger is switched off and on, or if the battery is disconnected.

The charging time depends on the size of battery and the depth of discharge.

A freely ventilated battery (Wet) can be discharged to max. 80% and a valve regulated (Dry) with max 70%.

Note:

Switch off the charger before the battery is disconnected. If the battery is disconnected without switching off the charger, sparks may be produced.

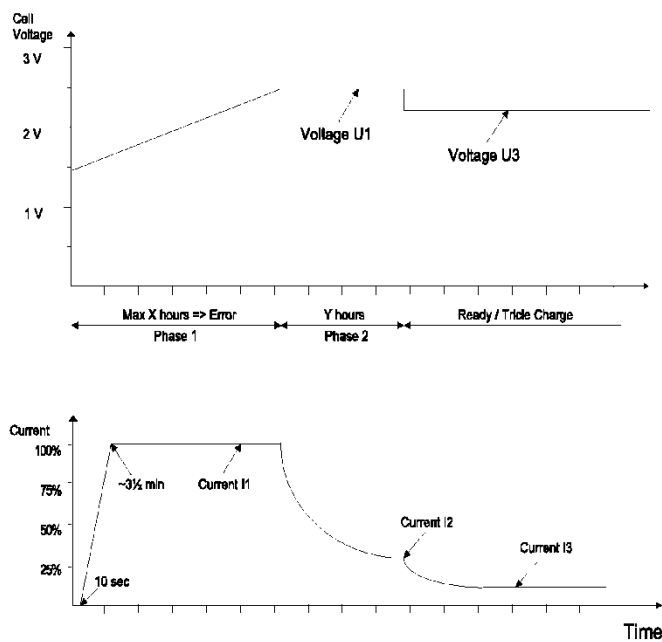
Trouble shooting champ 1207

- Yellow blinking LED** May mean that the battery is not properly connected.
Check cables, connection terminals, plugs and other connections to the battery.
Measure the voltage at the battery and at the charger.
- Yellow and green LED simultaneously flashing** The charging voltage is low, <1,8V/cell.
- Yellow and green LED flashing alternately** Internal temperature is too high.

Charging algorithms

The champ II charger is designed for freely ventilated and valve regulated batteries. All chargers are equipped with app. charging curves. When LEAB Automotive GmbH is informed of battery capacity and type the charger will be delivered with the correct setting.

Standard, IUoU



(The above values are for symbolic use only.)

Technical data

Measurements:	155 x 80 x 43 mm
Weight:	0.8 kg
Ambient Temperature:	-25 °C - +40 °C
Mains Voltage:	230 Volt AC, 50 Hz (<200V will mean limited effect)
Rated Voltage/Current:	12 V / 7 A
Ripple:	< 100mV
Secondary Cables:	1.5 m x 1.5 mm ²
Protection:	class 1, IP 67
General:	Protected against wrong polarity (fuse) and short circuit CE-certified in accordance with valid EN-standards.
Output fuse:	10 A
Norms:	EN 60 335-1, EN 60 335-2-29(1991), EN 55104, EN 60 555-2, EN 60 555-3, 2004/104/EC
Mark:	CE

LEAB article numbers for chAmp III chargers

chAmp 1207 III, 12V/7A - 14.1V/13.5V	Coiled Cable, Lead Acid	Art.-Nr.: 01.010.33312
chAmp 1207 III, 12V/7A - 14.4V/13.8V	DEFA Input	Art.-Nr.: 01.010.33315
chAmp 1207 III, 12V/7A - 14.1V/13.5V	DEFA Input	Art.-Nr.: 01.010.33316
chAmp 1207 III, 12V/7A - 14.1V/13.5V	Standard, Lead Acid	Art.-Nr.: 01.010.33319
chAmp 1207 III, 12V/7A - 14.4V/13.8V	115VAC input, Gel Battery	Art.-Nr.: 01.010.33326
chAmp 1207 III, 12V/7A - 14.4V/14.4V	Standard, Gel Battery	Art.-Nr.: 01.010.33330

Handbuch

- Lesen Sie die Anleitung durch, bevor das Ladegerät angeschlossen und eingeschaltet wird.
- Bewahren Sie die Anleitung in greifbarer Nähe des Ladegerätes auf.
- Beim Laden der Batterie können explosive Gase entstehen.
- Offenes Feuer und Funken in der Nähe der Batterie vermeiden.
- Ziehen Sie den Netzstecker, bevor Sie die Batterie an- oder abklemmen.

Allgemein

Das LEAB chAmp III Ladegerät ist für alle Blei- und Blei-Säurebatterien geeignet, für Nass- und Gel- sowie AGM-Batterien gibt es Ausführungen mit unterschiedlichen Ladespannungen.

Kontrollieren Sie, ob Sie für die zu ladende Batterie das korrekte Ladegerät besitzen.

Schließen Sie zuerst die beiden Ladekabel rot (+) und schwarz (-) an die Pole der zu ladenden Batterie an. Werden die Anschlüsse vertauscht, löst die Flachsicherung 10A im roten Ladekabel aus und schützt das Ladegerät vor Beschädigung. Sicherung nur durch gleiche Sicherungen (Typ und Stromstärke) ersetzen.

Falls Sie das ChAmp nicht fest im Fahrzeug verbauen, legen Sie es zum Laden so ab, dass es nicht unbeabsichtigt verrutschen kann und Schäden verursacht. Achten Sie insbesondere darauf, dass kein Kurzschluss an den Batteriepolen entstehen kann.

Stecken Sie den Netzstecker in eine 230V Schuko Steckdose (ausgenommen 115V-Varianten und Festeinbaugeräte mit DEFA-Eingang), der Ladevorgang startet automatisch, was durch Leuchten der gelben LED signalisiert wird.

Abhängig vom Ladezustand der Batterie und ihrer Größe (Kapazität) wird mehrere Stunden lang geladen. Sobald der Ladestrom unter 15% des Maximalwertes absinkt, beginnt zusätzlich die grüne LED zu leuchten

Nach etwa 2 Stunden erlischt die gelbe LED, die grüne LED signalisiert, dass der Ladevorgang abgeschlossen ist und die Erhaltungsladung aktiv ist. Die Batterie ist vollgeladen und kann jetzt vom Ladegerät getrennt werden. So lange die Batterie am chAmp angeschlossen bleibt, wird sie auf vollem Ladezustand mit einer reduzierten Spannung gehalten, eine Überladung ist somit ausgeschlossen.

Möchten Sie den Ladevorgang erneut starten, muss der Netzstecker gezogen und wieder eingesteckt werden.

Die chAmp III Batterieladegeräte sind wassergeschützt nach IP65.

Einbauanleitung

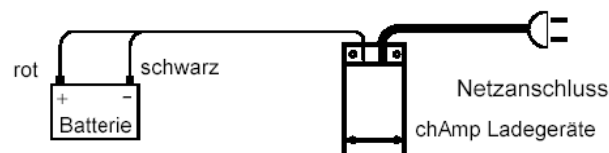
Soll das chAmp-Batterieladegerät fest im Fahrzeug montiert werden, gehen Sie wie folgt vor:

Das LEAB chAmp III Batterieladegerät wird mit 4 Stück M5-Schrauben auf einer ebenen, wärmebeständigen Fläche befestigt.

Die Einbaulage ist für den Betrieb nicht entscheidend, ideal ist eine senkrechte Montage, damit die Kühlluft an den Kühlrippen entlang aufsteigen kann.

Wichtig ist ausreichende Frischluftzufuhr, um ein Überhitzen des Geräts zu vermeiden. Andauernder Betrieb unter sehr hohen Temperaturen kann die Lebensdauer der elektrischen und elektronischen Bauteile reduzieren und zu vorzeitigem Ausfall führen.

Der elektrische Anschluss erfolgt gemäß nachfolgender Zeichnung:



Fehlersuche champ 1207

Gelbe LED blinkt: Batterieanschlüsse evtl. nicht korrekt. Batteriekabel und –anschlüsse überprüfen. Spannung an der Batterie und am Ladegerät überprüfen.

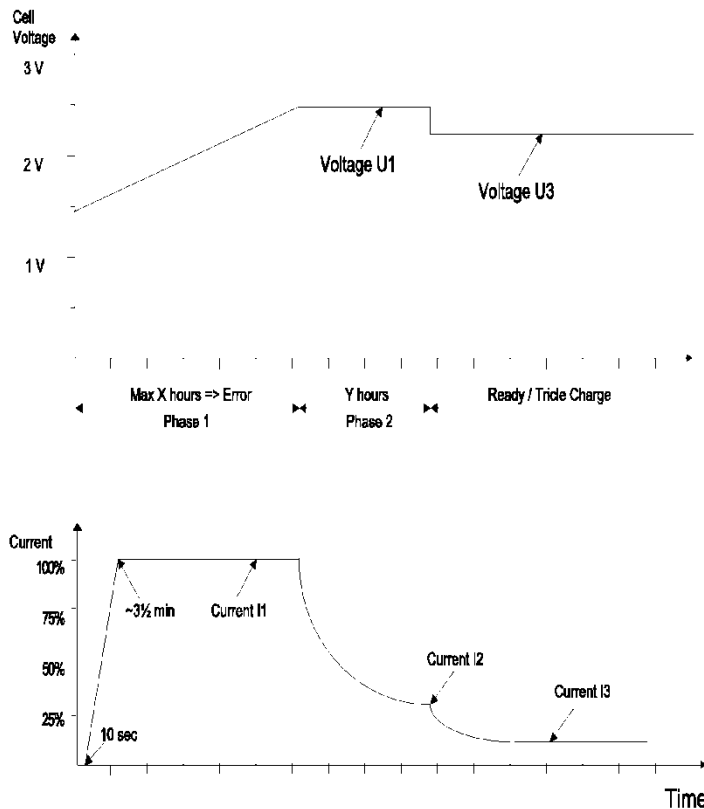
Gelbe u. grüne LED blinken gleichzeitig: Die Ladespannung ist zu gering, <1,8 V / Zelle.

Gelbe u. grüne LED blinken abwechselnd: Gerätetemperatur ist zu hoch. Sind alle Anschlüsse korrekt und der Lader funktioniert trotzdem nicht, nehmen Sie bitte Kontakt mit Ihrem Fachhändler auf.

Ladekennlinie

Das LEAB chAmp Ladegerät ist geeignet, offene und ventilgeregelte (verschlossene) Blei-, Bleisäure- und Blei-Gel- sowie AGM-Batterien zu laden. Die Ladegeräte sind mit verschiedenen Ladekennlinien ab Werk lieferbar, eine spätere Änderung ist nicht möglich. Geben Sie daher bei der Bestellung des chAmps die vorhandene Batterietype an. Bei einer eventuellen Ersatzbeschaffung der Batterie orientieren Sie sich bitte an der Ladekennlinie Ihres vorhandenen Ladegeräts.

Standard, IUoU



Technische Daten

Abmessungen (LxBxH):	80 x 155 x 43 mm
Gewicht:	0,8 kg
Arbeitstemperaturbereich:	-30 °C - +85 °C
Eingangsspannung:	230 Volt AC, 50 Hz (<200 V verringerte Ausgangsleistung)
Nom. Spannung / Strom:	12 V / 7 A
Welligkeit/Ripple:	<100mV
DC-Leitung:	1,5 m x 1,5 mm ² mit Kabelschuhen
AC-Leitung:	1,5 m mit Schukostecker
Schutzklasse/ Schutzart:	Klasse 1/ IP 67
Allgemein:	kurzschlussfest / Verpolungsschutz (Sicherung) CE- in Übereinstimmung mit den gültigen Euronormen.
Ausgangssicherung:	10 A
Normen:	EN 60 335-1, EN 60 335-2-29(1991), EN 55104, EN 60 555-2, EN 60 555-3, 2004/104/EC
Prüfzeichen:	CE

LEAB Artikel-Nummern für chAmp Batterieladegeräte

chAmp 1207 III, 12V/7A - 14,1V/13,5V	Spiralkabel, Blei-Säure	Art.-Nr.: 01.010.33312
chAmp 1207 III, 12V/7A - 14,4V/13,8V	DEFA Eingang	Art.-Nr.: 01.010.33315
chAmp 1207 III, 12V/7A - 14,1V/13,5V	DEFA Eingang	Art.-Nr.: 01.010.33316
chAmp 1207 III, 12V/7A - 14,1V/13,5V	Standard, Blei-Säure	Art.-Nr.: 01.010.33319
chAmp 1207 III, 12V/7A - 14,4V/13,8V	115VAC Eingang, Gel	Art.-Nr.: 01.010.33326
chAmp 1207 III, 12V/7A - 14,4V/14,4V	Standard, Gel Batterie	Art.-Nr.: 01.010.33330

LEAB Automotive GmbH

Thorshammer 6

24866 Busdorf

Germany

Tel.: +49-(0)4621-97860-0

Fax: +49-(0)4621-97860-260

E-Mail: info@leab.eu

Internet: www.leab.eu