



# LEISE, ENERGIEEFFIZIENT, WIRTSCHAFTLICH

BMVI-Forschungsprojekt  
„Aufbau und Erprobung von Innovativen Güterwagen“

Energieverbrauchsmessung  
PROSE

Auftraggeber:



Bundesministerium  
für Verkehr und  
digitale Infrastruktur

Hauptauftragnehmer  
(Arge):



Auftragnehmer  
für Energie- und  
Lärmmessungen:



## Innovative Güterwagen

## Energieverbrauchsmessung

*Report 02-01389 2.00*



**Auftraggeber: BMVI**

*Projektnummer: PDE.508*

Druckdatum: 29. März 2019

**PROSE Berlin GmbH**

Colditzstraße 28 Geb. 7  
Aufg. C  
12099 Berlin  
Deutschland

[www.prose.one](http://www.prose.one)

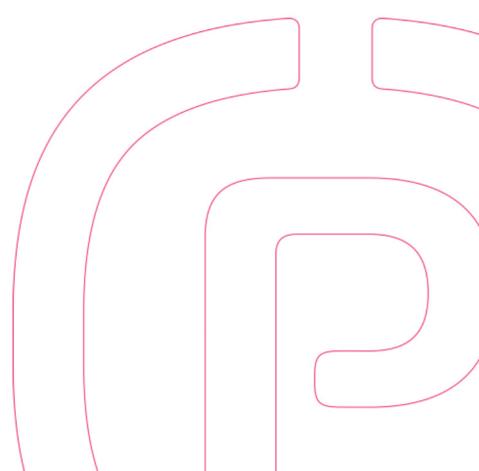
Tel +49 30 75 44 90 8-10  
Fax +49 30 75 44 90 8-99  
[info.berlin@prose.one](mailto:info.berlin@prose.one)

**PROSE AG**

Zürcherstrasse 41  
8400 Winterthur  
Schweiz

[www.prose.one](http://www.prose.one)

Tel +41 52 262 74 00  
Fax +41 52 262 74 01  
[info.winterthur@prose.one](mailto:info.winterthur@prose.one)





Erstellt	Geprüft	Freigeben	
S. Huijbers	A. Wolf	K. Born	
Ausgabedatum	Revision	Revisionsdatum	Status
08.03.2019	<b>2.00</b>	29.03.2019	Released

### Verteiler

Firma/Abteilung/Name	Bemerkungen

### Revisionsindex

	Ersteller	Prüfer	Freigebender	Datum
<b>Rev.</b>	S. Huijbers	A. Wolf	K. Born	08.03.2019
<b>Rev. 1.00</b>	S. Huijbers	A. Wolf	K. Born	14.03.2019
<b>Rev. 2.00</b>	S. Huijbers	A. Wolf	K. Born	29.03.2019
<b>Rev.</b>				
<b>Rev.</b>				
<b>Rev.</b>				

### Modifikationen

Revision	Beschreibung
1.00	Abgleich der Tabellen 1-1 und 9-2 mit Anhang K
2.00	Kap. 3.1, 3.5, 9.1, 9.2 und Abb. 7-7, 9-12 angepasst



# Inhaltsverzeichnis

1 Zusammenfassung	9
2 Einleitung	11
3 Fahrzeugbeschreibung	12
3.1 Zugverband	12
3.2 Lokomotive Typ BR120 während PCW I	12
3.3 Lokomotive Typ TRAXX während PCW II	12
3.4 Messwagen während PCW I	12
3.5 Prüflinge	13
3.5.1 Kesselwagen	13
3.5.1.1 Referenzwagen	13
3.5.1.2 Innovativer Kesselwagen	13
3.5.2 Containerwagen	15
3.5.2.1 Referenzwagen	15
3.5.2.2 Innovativer Containerwagen	15
3.5.3 Autotransportwagen	16
3.5.3.1 Referenzwagen	16
3.5.3.2 Innovativer Autotransportwagen	16
3.5.4 Flachwagen	17
3.5.4.1 Referenzwagen	17
3.5.4.2 Innovativer Flachwagen	17
3.6 Beladungszustände	19
4 Teststrecke	20
5 Messaufbau	21
5.1 PCW I - Januar/Februar 2018	21
5.2 PCW II - Oktober 2018	22
5.3 Wettermessung	22
6 Durchführung	23
7 Auswerteverfahren	24
7.1 Energieverbrauchsmessung	24
7.2 Virtuelle Fahrt	27

7.3 Lenkverhalten der Radsätze	30
8 Messunsicherheit der Energiemessungen	32
9 Ergebnisse	33
9.1 Energieverbrauchsmessung im PCW	33
9.2 Virtuelle Fahrt	40
9.3 Lenkverhalten der Radsätze und Drehgestelle	41
9.3.1 Containertragwagen	41
9.3.2 Kesselwagen	41
9.3.3 Ergänzung zum Lenkverhalten Y-25 Drehgestell	43
10 Literatur	44
A Koordinatensystem	45
B Messprotokolle	46
B.1 Messprotokoll PCW I	46
B.2 Übersicht aller Messtage PCW I	50
B.3	50
B.4 Messprotokoll PCW II	51
C Messausrüstung PCW I	55
C.1 Messgrößen PCW I	55
C.2 Sensoren PCW I	56
C.3 Aufzeichnung PCW I	60
D Messausrüstung PCW II	61
D.1 Messgrößen PCW II	61
D.2 Signallaufplan PCW II	62
D.3 Sensoren PCW II	63
D.4 Aufzeichnung PCW II	66
E Verwiegung PCW II	67
F Streckentopographie PCW	68
F.1 Testring 1	68
F.2 Testring 2	70
G Wetterdaten	71

G.1 Wetterdaten während PCW I	71
G.2 Wetterdaten während PCW II	73
H Zeitschriebe PCW I	75
I Zeitschriebe PCW II	93
J Abgleich PCW I mit PCW II	114
K Ergebnisse virtuelle Fahrt	162



## 1 Zusammenfassung

Der vorliegende Bericht fasst die Ergebnisse der Energieverbrauchsmessungen im Rahmen des Programms „Zukunftsinvestitionen insbesondere für öffentliche Infrastruktur und Energieeffizienz“ (ZIP) zusammen, welche im Januar und Februar 2018 (Messkampagne PCW I) sowie im Oktober 2018 (Messkampagne PCW II) auf dem Testring Wildenrath der Siemens AG durchgeführt wurden.

Im Rahmen dieses Projekts wurde der Energieverbrauch von vier innovativen Güterwagentypen (Containertragwagen und Kesselwagen der Firma VTG, sowie Flachwagen und Autotransporter der Firma DB Cargo) mit dem Energieverbrauch von Referenzwagen derselben Gattung verglichen.

Dazu wurde die mechanische Zugkraft der untersuchten Wagen mit Hilfe einer instrumentierten Messschraubenkupplung während der beiden Testkampagnen im PCW ermittelt. Aus der Zugkraft und der gefahrenen Geschwindigkeit wurde der Energieverbrauch der Wagen bei konstanter Fahrt in der Ebene berechnet. Dabei wurde der Energieverbrauch in der Geraden und im Bogen gesondert betrachtet. Für die Containertragwagen und die Kesselwagen wurde zusätzlich das Lenkverhalten untersucht, da diese innovativen Wagentypen über Drehgestelle mit einstellbaren Radsätzen verfügen, welche das Laufverhalten begünstigen und den Energieverbrauch im Bogen reduzieren.

In der Geraden ist der innovative Kesselwagen geringfügig effizienter als der Referenzwagen (-1.7% bezogen auf maximaler Zuladung) und im Bogen deutlich effizienter (-6.7%). Der innovative Containerwagen (Gerade -6.2%, Bogen -9.2%) und der innovative Flachwagen (Gerade -9.1%, Bogen -7.2%) haben eine deutlich bessere Energieeffizienz als deren Referenzfahrzeuge, bezogen auf die maximale Zuladung. Dabei profitiert der innovative Flachwagen besonders von seiner hohen Zuladungskapazität.

Der innovative Autotransporter hingegen hat eine schlechtere Energieeffizienz als der Referenzautotransporter (Gerade +2.1%, Bogen +6.5% bezogen auf maximaler Zuladung). Der Grund dafür liegt in der längeren und damit auch schwereren Ausführung des innovativen Autotransporters. Dafür kann der innovative Autotransporter variabler (mit mehreren verschiedenen Autotypen) beladen werden, sodass mit dem innovativen Autotransporter eine höhere Auslastung der Beladung und weniger Leerfahrten zu erwarten sind. Eine Wirtschaftlichkeitsbetrachtung wird zeigen, ob der innovative Autotransporter schlussendlich nicht doch effizienter ist als der Referenzwagen.

Bezogen auf das Gesamtgewicht bei maximaler Zuladung ist der absolute Energieverbrauch des innovativen Flachwagens und des innovativen Autotransporters deutlich höher als bei deren Referenzwagen, aufgrund des höheren Gesamtgewichts dieser beiden innovativen Wagentypen.

Da die Messergebnisse aus dem PCW nur Fahrten mit konstanter Geschwindigkeit beinhalten, wurde mit Hilfe der ermittelten Fahrzeugwiderstände für jeden Wagentyp eine virtuelle Fahrt mit einem realen Fahrprofil simuliert, um die Beschleunigungsenergie und die Auslastung ebenfalls in der Energieberechnung zu berücksichtigen. Wenn die Wagen weniger stark ausgelastet sind, wird prozentual ein größerer Anteil der Traktionsenergie für die Fortbewegung der Eigenmasse des Wagens benötigt. Dies verursacht eine Abnahme der Energieeffizienz bei geringerer Auslastung (siehe Tabelle 1-1).

Tabelle 1-1: Energieersparnis (Referenz - IGW) berechnet aus virtueller Fahrt in Relation zum Gewicht des transportieren Guts

Wagengattung (Vergleich in % von kWh/tkm)	100% Auslastung			50% Auslastung			Mittelwert
	10% Bögen	50% Bögen	Mittelwert	10% Bögen	50% Bögen	Mittelwert	
Containertragwagen	-2.3	-2.7	-2.5	-1.9	-2.3	-2.1	-2.3
Kesselwagen	-2.2	-2.9	-2.6	-1.2	-1.7	-1.4	-2.0
Flachwagen/BraCoil*	-3.5	-3.1	-3.3	-0.2	0.2	0.0	-1.7
Autotransporter	4.3	5.3	4.8	7.8	8.9	8.3	6.6

## 2 Einleitung

Auf Grundlage des Programms „Zukunftsinvestitionen insbesondere für öffentliche Infrastruktur und Energieeffizienz“ (ZIP) der Bundesregierung sollen die Möglichkeiten der Migration lärmindernder und energieeffizienzsteigernder Technologien untersucht werden. Hierzu wurde durch das BMVI ein Projekt im Rahmen der Auftragsforschung zu „Aufbau und Erprobung von innovativen Güterwagen“ ausgeschrieben und im September 2016 an eine Arbeitsgemeinschaft vergeben.

Im Rahmen dieses Projektes sollen vorhandene Komponenten und Technologien zu neuen und innovativen Güterwagen konzipiert, aufgebaut und erprobt werden. Die Ergebnisse des Projektes sollen den Einsatz von innovativen Güterwagen beschleunigen, die leiser, energieeffizienter und gleichzeitig wirtschaftlicher als die bisher eingesetzten sind. Das Projekt „Aufbau und Erprobung von innovativen Güterwagen“ soll durch eine unabhängige Untersuchung zum Energieverbrauch und zu den Geräuschemissionen der IGW begleitet werden.

Die Untersuchungen sollen dem Auftraggeber Aufschluss darüber geben, unter welchen Rahmenbedingungen welche Effekte in Bezug auf Energieverbrauchs- und Lärmreduzierung durch die IGW erzielt werden können. Weiterhin dienen die Untersuchungen dazu, der Arge IGW Informationen und Daten zur Verfügung zu stellen, die dazu dienen, zum einen das akustische Verhalten der IGW zu optimieren und zum anderen Input für die Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen zu liefern.

### 3 Fahrzeugbeschreibung

#### 3.1 Zugverband

Der vermessene Zugverband bestand während der Messkampagne PCW I aus einer Lokomotive des Typs BR120, einem Messwagen und zwei Wagen des jeweils untersuchten Wagentyps. Während der Messkampagne PCW II bestand der Zugverband aus einer Lokomotive des Typs TRAXX und zwei Wagen des jeweils untersuchten Wagentyps.

#### 3.2 Lokomotive Typ BR120 während PCW I

Während der ersten Messkampagne wurde der Zugverband von einer E-Lok BR 120 der DB Systemtechnik GmbH gezogen. Tabelle 3-2 enthält die relevanten technischen Daten

Technisches Merkmal	Wert
Fahrzeughalter	DB Systemtechnik GmbH
Kategorie	Lok
LüP	19,2m
Dienstmasse	84,0t
Höchstgeschwindigkeit	200km/h
Anzahl Fahrmotoren:	4
Bremse:	Elektrisch: KE-GPR, mehrlösig, mit Putzbremse; Mechanisch: Federspeicherbremse

Tabelle 2: Technische Daten BR120 (Quelle: Wikipedia Stand 10.04.2018)

#### 3.3 Lokomotive Typ TRAXX während PCW II

Während der zweiten Messkampagne wurde der Zugverband von einer E-Lok TRAXX F 140 MS der MRCE gezogen. Tabelle 3-2 enthält die relevanten technischen Daten

Technisches Merkmal	Wert
Fahrzeughalter	MRCE
Kategorie	Lok
Fahrzeughersteller	Bombardier
LüP	18.9 m
Dienstmasse	84,0 t
Höchstgeschwindigkeit	140 km/h
Dauerleistung	5600 kW
Anfahrzugskraft	300 kN
Dauerzugskraft	300 kN bei 70 km/h
Elektrische Bremskraft	150 kN

Tabelle 3-2: Technische Daten TRAXX F140 MS (Quelle: MRCE, <http://www.mrce.eu/de/bombardier-traxx-f140-2>, 11.02.2018)

#### 3.4 Messwagen während PCW I

Als Messwagen wurde ein Standardreisezugwagen (Speisewagenkonfiguration) der Centralbahn GmbH verwendet. Dieser diente unter anderem während der Akustik Messungen als Abstandswagen zwischen Lokomotive und Prüflingen. Dieser kam aber nur während der ersten Messkampagne im PCW zum Einsatz (siehe Kapitel 5.1), um bei der zweiten Messkampagne die Dynamik des Zugverbands zu verringern.

### 3.5 Prüflinge

Die Messungen wurden für vier verschiedene Wagentypen.

- Vierachsiger Kesselwagen Zacens
- 80 ft Containertragwagen Sggns
- Zweigliedriger Autotransport-Wagen Laaers561
- Sechssachsiger Flachwagen „BraCoil“ Sahmmnps

Von jedem Wagentyp wurden zwei Referenzwagen und zwei innovative Wagen untersucht und miteinander verglichen. Die innovativen Wagen beinhalten folgende Neuerungen, von denen ein Einfluss auf den Energieverbrauch erwartet wird:

- innovative Drehgestelle (nur Kessel- und Containertragwagen)
- innovative Scheibenbremsen (nur Kessel- und Containertragwagen)
- innovative Radsätze
- Verhältnis Leergewicht zu maximaler Zuladung

Auch das aerodynamische Design der Wagen hat einen Einfluss auf den Energieverbrauch. Dies stand bei der Entwicklung jedoch nicht im Vordergrund.

Die Wagen werden nachfolgend näher beschrieben. Die Referenzwagen dienen zum Vergleich des Energieverbrauchs der innovativen Wagen mit zugelassenen Fahrzeugen unter den gegebenen Messbedingungen auf dem PCW. Sie sind eine Stichprobe aus dem Wagenpool.

#### 3.5.1 Kesselwagen

##### 3.5.1.1 Referenzwagen

Bei den untersuchten vierachsigen Referenzwagen vom Typ Zacens handelte es sich um die Wagen mit den Seriennummern 3780 793 1 363-1 und 3387 793 2 172-2.

##### 3.5.1.2 Innovativer Kesselwagen

Bei den geprüften innovativen Fahrzeugen handelt es sich um die vierachsigen Kesselwagen vom Typ Zacens. Die Konfiguration für PCW I ist in Abbildung 3-1 abgebildet und für PCW II in Abbildung 3-2, die Typenzeichnung in Abbildung 3-3 und die technischen Parameter sind in Tabelle 3-4 aufgelistet.

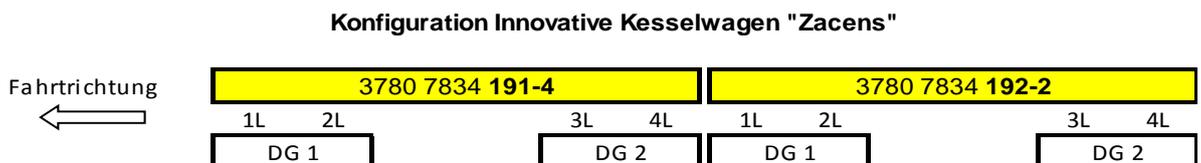


Abbildung 3-1: Konfiguration Kesselwagen Zacens PCW I

Konfiguration Innovative Kesselwagen "Zacens"

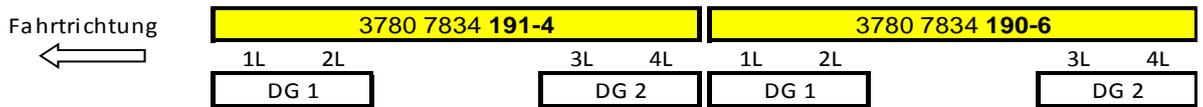


Abbildung 3-2: Konfiguration Kesselwagen Zacens PCW II

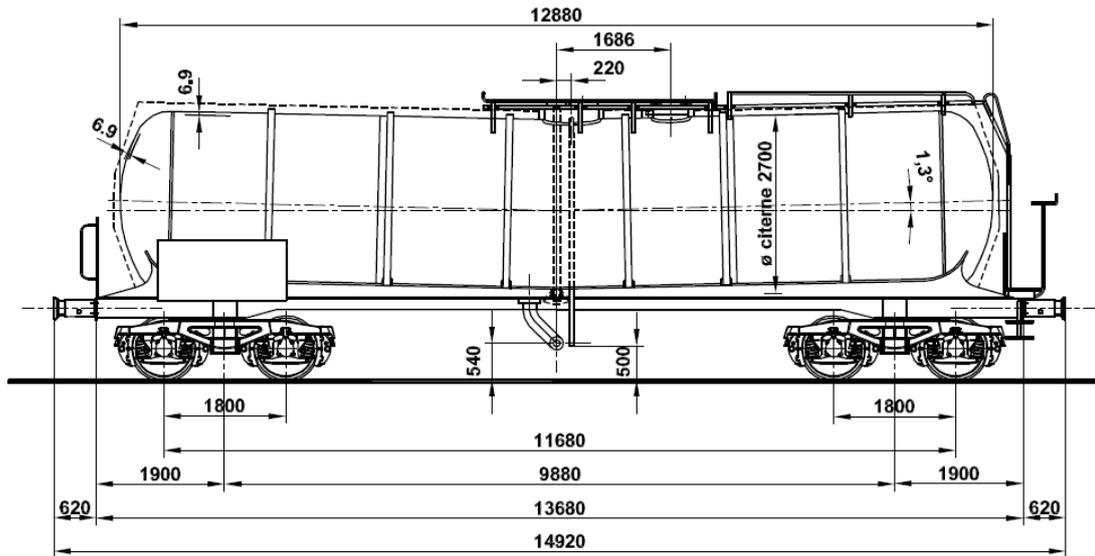


Abbildung 3-3: Typenzeichnung Kesselwagen Zacens

Technisches Merkmal	Wert
Wagenhalter	VTG Rail Europe
Kategorie	IG
Wagengattung	Zacens
Lüpf	14,4 m
Leergewicht	23,7 t
Zuladung	66,3 t
Drehgestell	Eisenbahnlaufwerke Halle RC25NT
Bremssystem	Faiveley Scheibenbremse, gemäß BoM FZ0280600-F02, Declaration of Conformity K305 501
Radsatz	Lucchini mit Syope-Absorber
Telematik-Ausrüstung	Nexiot, Zürich, ETP 17 ATEX 2663X
Digitale Bremsanzeige	Asto Telematics gemäß Systembeschreibung Version 1.1 vom 21.04.2017
Strom-/Datenbusleitung	Aspöck 110 V
ep-Bremsventil	Faiveley, Magnet Ventil 21 C
Automatische Pufferschmiereinrichtung	Faiveley, gem. Basiszeichnung 700-00914
Kupplungstyp	Schraubekupplung
Drehzapfenabstand	9360 mm
DG Achsabstand	1800 mm
Abstand zwischen erster und letzter Achse	11,16 m

Tabelle 3-4: Zusammenfassung der technischen Parameter Kesselwagen Zacens

### 3.5.2 Containerwagen

#### 3.5.2.1 Referenzwagen

Bei den am getesteten Referenzwagen vom Typ Sggns handelt es sich um die Wagen mit den Seriennummern 3780 456 1 185-2 und 3780 456 1 184-5.

#### 3.5.2.2 Innovativer Containerwagen

Bei den geprüften Fahrzeugen handelt es sich um die vierachsigen 80 ft Containertragwagen Sggns. Die Konfiguration ist in Abbildung 3-4 dargestellt, die Typenzeichnung in Abbildung 3-6 und die technischen Parameter sind in Tabelle 3-5 aufgelistet.

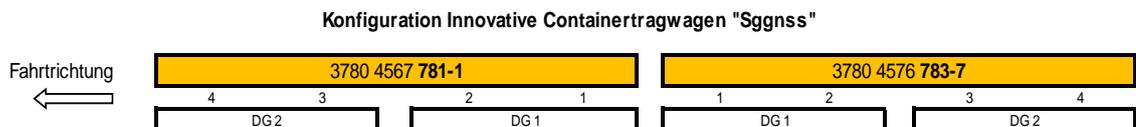


Abbildung 3-4: Konfiguration Containerwagen Sggns PCW I

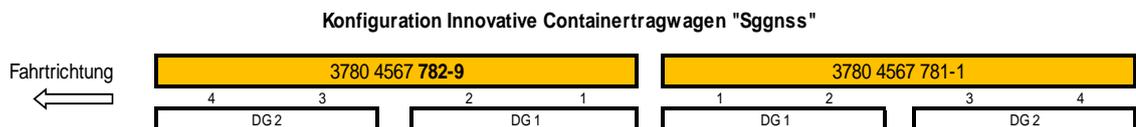


Abbildung 3-5: Konfiguration Containerwagen Sggns PCW II

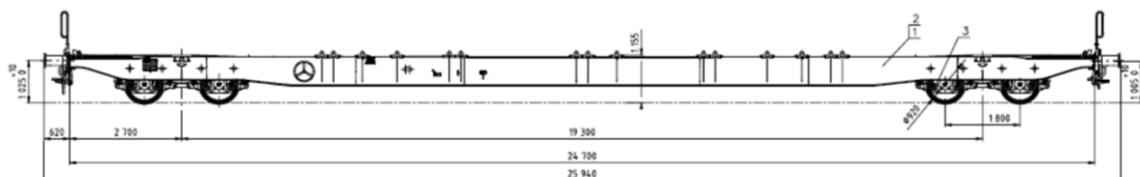


Abbildung 3-6: Typenzeichnung Containerwagen Sggns

Technisches Merkmal	Wert
Wagenhalter	VTG Rail Europe
Kategorie	IG
Wagengattung	Sggnss
Lüp	25,94 m
Leergewicht	22,32 t
Zuladung	67,68 t
Drehgestell	WBN Waggonbau Niesky DRRS25
Bremssystem	Faiveley Scheibenbremse, gemäß BoM FZ0280600-F01, Declaration of Conformity K305 501
Radsatz	Bonatrans mit Ringelement
Telematik-Ausrüstung	Nexiot, Zürich, ETP 17 ATEX 2663X
Digitale Bremsanzeige	Asto Telematics gemäß Systembeschreibung Version 1.1 vom 21.04.2017
Strom-/Datenbusleitung	Aspöck 110 V
ep-Bremsventil	Faiveley, Magnet Ventil 21 C
Automatische Pufferschmiereinrichtung	Faiveley, gem. Basiszeichnung 700-00916
Kupplungstyp	Schraubenkupplung
Drehzapfenabstand	19300 mm
DG Achsabstand	1800 mm
Abstand zwischen erster und letzter Achse	21,10 m

Tabelle 3-5: Zusammenfassung der technischen Parameter Containerwagen Sggnss

### 3.5.3 Autotransportwagen

#### 3.5.3.1 Referenzwagen

Bei den getesteten Referenzwagen vom Typ Laaers 560 handelte es sich um die Wagen mit den Seriennummern 2580 4371372-0 und 2580 4371415-7.

#### 3.5.3.2 Innovativer Autotransportwagen

Bei den geprüften Fahrzeugen handelt es sich um die vierachsigen Autotransportwagen Laaers 561. Die Konfiguration ist in Abbildung 3-7 abgebildet, die Typenzeichnung in Abbildung 3-3 und die technischen Parameter sind in Tabelle 3-6 aufgelistet.

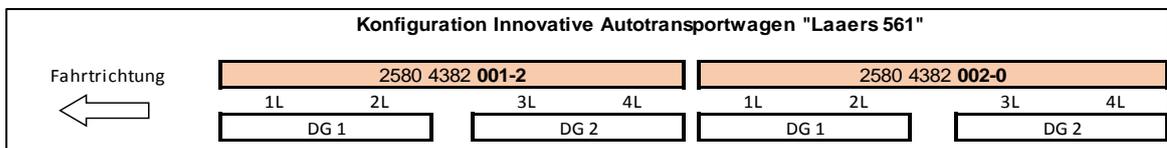


Abbildung 3-7: Konfiguration Autotransportwagen Laaers 561 PCW I (Wagenreihung bei PCW 2 umgekehrt)

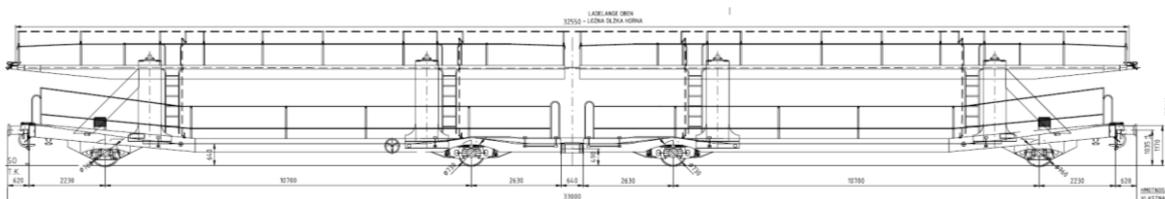


Abbildung 3-8: Typenzeichnung Autotransportwagen Laaers 561

Technisches Merkmal	Wert
Wagenhalter	DB Cargo
Kategorie	IG
Wagengattung	Laaers 561
Lüpf	33 m
Leergewicht	36 t
Zuladung	36 t
Drehgestell	Einzelachsfahrwerk
Bremssystem	Standardbremse nach TLH-Knorr-Bremse J816M
Radsatz	Bonatrans mit Ringelement
Telematik-Ausrüstung	Siemens
Digitale Bremsanzeige	Asto Telematics
Strom-/Datenbusleitung	Aspöck 110 V
ep-Bremsventil	Knorr-Bremse
Automatische Pufferschmiereinrichtung	Faiveley
Kupplungstyp	Schraubenkupplung
Achsabstand	10,7 m
Abstand zwischen erster und letzter Achse	27,3 m

Tabelle 3-6: Zusammenfassung der technischen Parameter Autotransportwagen Laaers 561

### 3.5.4 Flachwagen

#### 3.5.4.1 Referenzwagen

Bei den getesteten Referenzwagen vom Typ Sahnms 711 handelte es sich um die Wagen mit den Seriennummern 3180 4868 218-7 und 3180 4868 524-8.

#### 3.5.4.2 Innovativer Flachwagen

Bei den geprüften Fahrzeugen handelt es sich um die Flachwagen „BraCoil“ Shammnps. Die Konfiguration ist für PCW I in Abbildung 3-9 und für PCW II in Abbildung 3-10 abgebildet, die Typenzeichnung in Abbildung 2 und die technischen Parameter sind in Tabelle 1 aufgelistet.

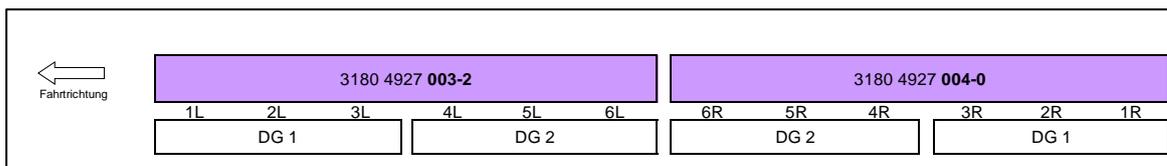


Abbildung 3-9: Konfiguration Flachwagen „BraCoil“ Shammnps PCW I

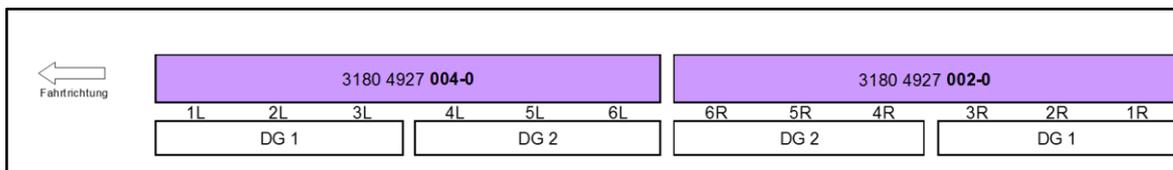


Abbildung 3-10: Konfiguration Flachwagen „BraCoil“ Shammnps PCW II

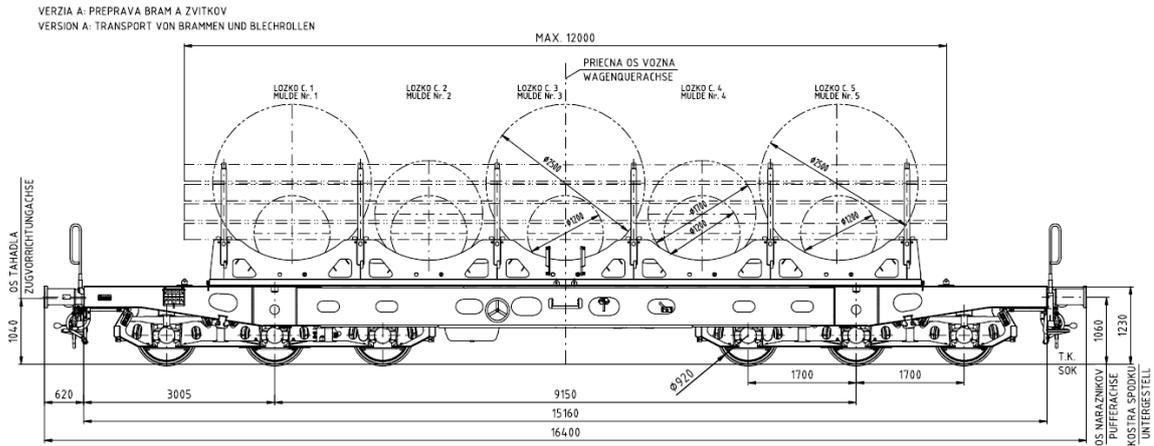


Abbildung 3-11: Aufbau Flachwagen „BraColi“ Shammnps

Technisches Merkmal	Wert
Wagenhalter	DB Cargo
Kategorie	IG
Wagengattung	BraCoil Shammnps
Lüp	16,4 m
Leergewicht	35 t
Zuladung	100 t
Drehgestell	3-achs. DG TVP
Bremssystem	Klotzbremse K-Sohle 2-seitige Abbremsung Knorr-Bremse C810
Radsatz	Bonatrans mit Ringelement BA320 (920mm)
Telematik-Ausrüstung	Siemens
Digitale Bremsanzeige	Asto Telematics
Strom-/Datenbusleitung	Aspöck 110 V
ep-Bremsventil	Knorr-Bremse
Automatische Pufferschmiereinrichtung	Faiveley
Kupplungstyp	Schraubekupplung
Drehzapfenabstand	9150 mm
DG Achsabstand	1700 mm
Abstand zwischen erster und letzter Achse	12,55 m

Tabelle 3-7: Zusammenfassung der technischen Parameter des Testfahrzeugs

### 3.6 Beladungszustände

In Tabelle 3-8 sind Leergewicht, maximale Zuladung, maximales Gesamtgewicht sowie Zuladung und Gesamtmasse während der zweiten Messkampagne im PCW im Oktober 2018 für jeweils zwei Wagen angegeben, da immer mit zwei Wagen gleichen Typs gefahren wurden, diese aber nicht zwangsläufig identisch beladen waren. Während der ersten Messkampagne PCW I im Januar/Februar 2018 waren alle Wagen unbeladen (Masse PCW I = Leergewicht). Beim innovativen Flachwagen „BraCoil“ war das Ladegestell montiert.

Alle Wagen außer den Kesselwagen hatten während der Messungen PCW II zwischen Referenz- und innovativem Güterwagen eine vergleichbare Zuladung. Das Leergewicht und die Gesamtmasse im PCW II war nur bei den Containerwagen vergleichbar zwischen Referenz- und innovativem Güterwagen. Beim Autotransporter war der Unterschied in der Gesamtmasse trotz ähnlicher Zuladung besonders groß, da das Leergewicht des innovativen Autotransporters deutlich größer ist als das Leergewicht des Referenzwagens. Das Leergewicht des innovativen Flachwagens wurde inkl. Zusatzaufbau berechnet. Für Fahrten ohne Ladegestell erhöht sich die maximale Zuladung um 7.5 t.

Die Ergebnisse der Verwiegung am 5. Oktober 2018 sind in Anhang E aufgelistet.

Tabelle 3-8: Beladungszustände (Wagenpaare)

Wagen	Leergewicht [t]	max. Zuladung [t]	max. Gesamtgewicht [t]	Zuladung PCW II [t]	Masse PCW II [t]
CTW Ref	44.0	136.0	180.0	134.1	178.1
CTW IGW	44.6	135.4	180.0	133.7	178.4
FW Ref	62.7	178.0	240.7	142.5	205.2
FW IGW	70.0 *	200.0	270.0	141.4	211.4
KW Ref	51.0	129.0	180.0	120.1	171.1
KW IGW	47.4	132.6	180.0	128.6	176.0
AT Ref	59.2	68.0	127.2	55.2	114.4
AT IGW	72.0	72.0	144.0	53.4	125.4

\* inkl. Ladegestell

## 4 Teststrecke

Die Energiemessungen wurden im Prüf- und Validationscenter Wegberg-Wildenrath der Siemens AG durchgeführt (Abbildung 4-1). Die Versuche fanden sowohl auf dem Testring 1 als auch auf dem Testring 2 statt. Die Topographien der Testringe sind in Anhang F zu finden.

Der Bogenradius im Testring 1 betrug 700 m und im Testring 2 war dieser 300 m.

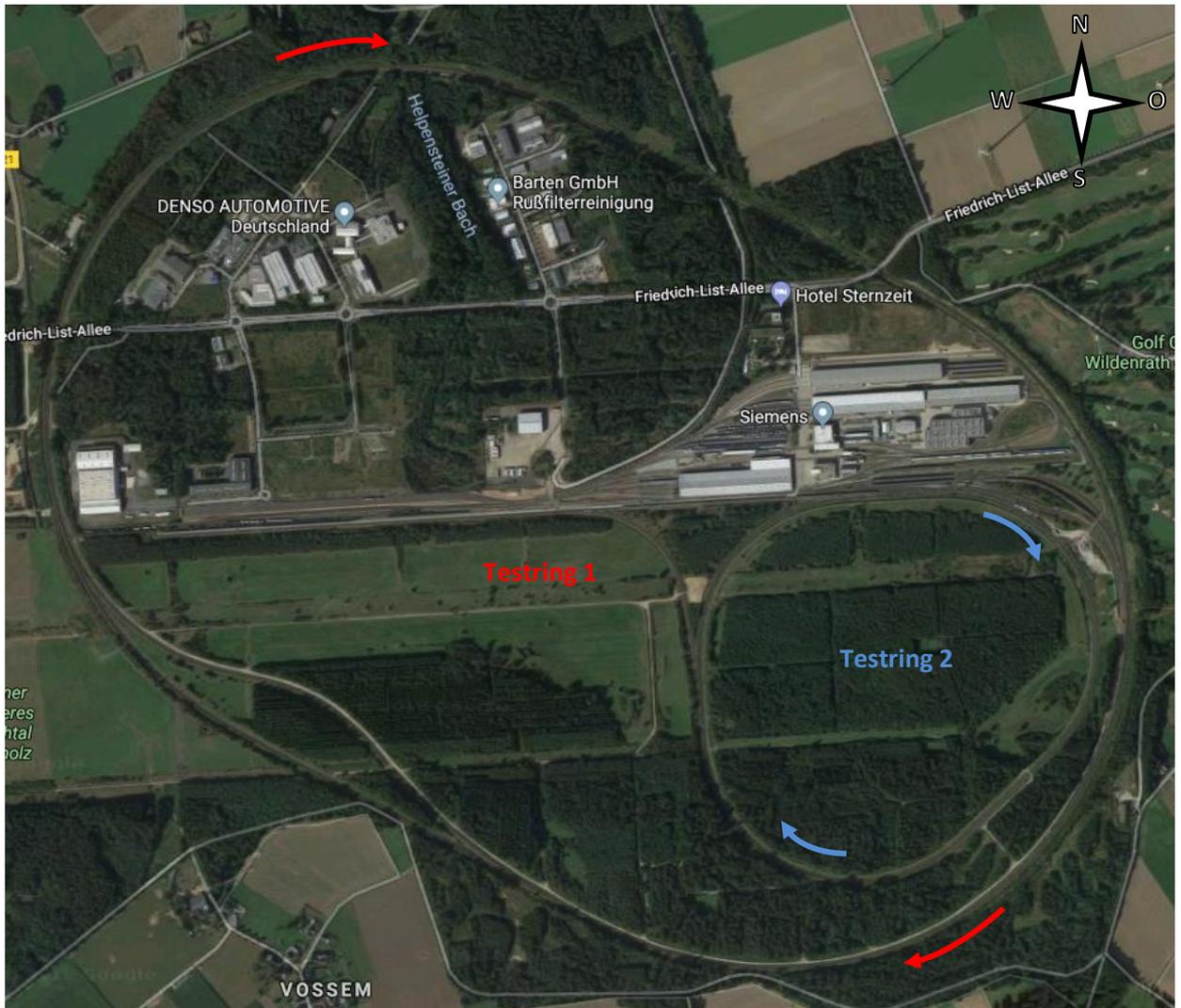


Abbildung 4-1: Testcenter Wegberg-Wildenrath der Siemens AG (Quelle: Google Maps, 51.116395, 6.218753)

## 5 Messaufbau

### 5.1 PCW I – Januar/Februar 2018

Der Messaufbau für die in Kapitel 3 genannten Wagentypen war für sämtliche Messkonfiguration identisch: Hinter der Lok BR120 folgte der Messwagen, mit den Datenerfassungssystemen und einem GPS Empfänger. Weiterhin waren auf diesem Wagen ein Radarsystem zur Messung der aktuellen Geschwindigkeit und zwei Drehratengeber zur Messung von Gleiskrümmung und Längsneigungsänderung montiert, sowie ein Beschleunigungssensor in Längsrichtung und eine Lichtschranke als Rundenzähler.

Anschließend folgten zwei Testwagen der jeweils untersuchten Konfiguration. Die Kraftübertragung zwischen Lok und Messwagen bzw. Messwagen und erstem Testwagen wurde mittels Messschraubenkupplungen erfasst. Zusätzlich befand sich ein weiterer Beschleunigungssensor in Längsrichtung auf dem ersten Testwagen.

In der Lok BR120 war eine sogenannte TEMA-Box verbaut, in welche die aktuell aus der Oberleitung abgerufene Leistung (Aufgeschlüsselt nach Spannung  $U$  und Stromstärke  $I$ ) gemessen wurden. Die TEMA-Box dient dem Betreiber als Energiezähler zur Abrechnung des Energieverbrauchs. Netzspannung und Netzstrom wurden vor der TEMA-Box abgegriffen. Hierbei ist zu beachten, dass mittels dieser Messmethode der Gesamtenergieverbrauch der Lokomotive inkl. Nebenverbrauchern wie z.B. Heizung, Kompressoren, Traktionskühlung, Trafo, Ölpumpe, etc. ermittelt wurde. Die Nebenverbraucher wurden für die Messung so weit möglich abgeschaltet bzw. in einen konstanten Betriebsmodus gebracht. Eine Messung der reinen Traktionsenergie per Leittechnikzugriff bzw. direkter Messung zwischen Motorstromwandlern und Motoren war an der Lokomotive Baureihe 120 nicht möglich. Für eine erste grundsätzliche Untersuchung hinsichtlich der Energieverbräuche ist diese Messmethode aber ausreichend, da die Bewertungsgrößen der Zugkräfte und spezifischen Widerstandswerte von größerer Relevanz hinsichtlich der Bewertung sind. Schließlich soll der Energieverbrauch der Waggons ermittelt werden, der sich am besten durch die mechanische Leistung beschreiben lässt, welche an der Schraubenkupplung zwischen Messwagen und erstem Testwagen übertragen wird.

Alle erhobenen Messdaten wurden zeitsynchron über das Datenerfassungssystem aufgezeichnet.

Alle Informationen zur Datenerfassung und Sensorik im PCW II sind in Anhang C aufgelistet.

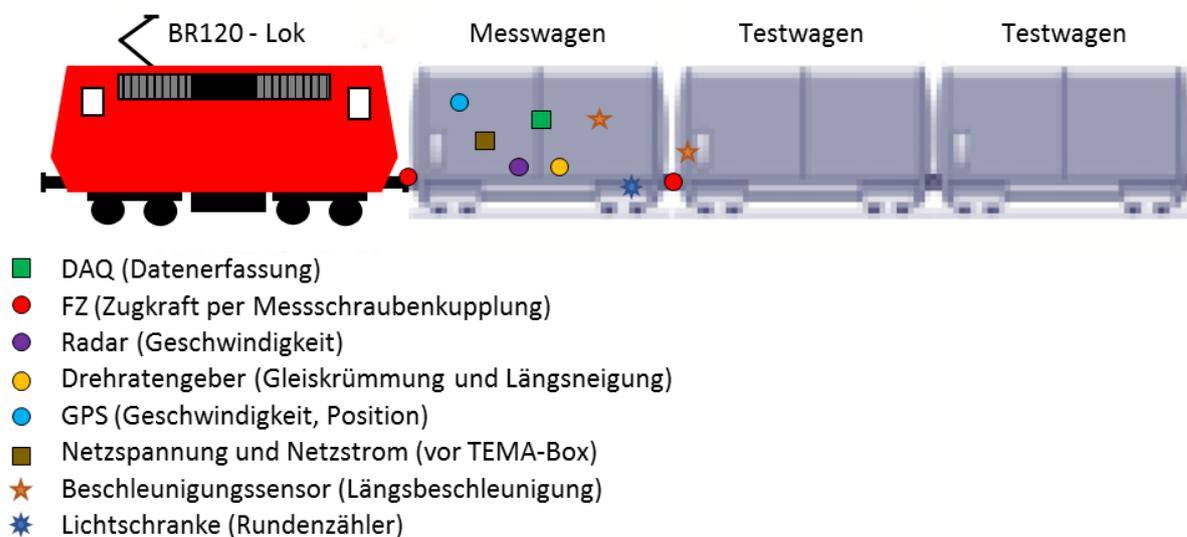


Abbildung 5-1: Allgemeiner Messaufbau PCW I

## 5.2 PCW II – Oktober 2018

Da sich während der ersten Messkampagne im PCW herausgestellt hat, dass die Geschwindigkeitsregulierung der BR120 unzureichend ist, um eine gleichmäßige und konstante Zugkraft in Beharrung zu erreichen, wurde für die zweite Messkampagne eine Bombardier TRAXX Lokomotive von MRCE gemietet. Diese verfügte über eine automatische Zugkraftregulierung.

Während PCW II wurde im Gegensatz zu PCW I auf einen Messwagen verzichtet, um die Längsdynamik des Zugverbands zu minimieren. Ansonsten ähnelt der Messaufbau für PCW II dem Messaufbau aus PCW I (Abbildung 5-2).

Auf der Lokomotive waren die Datenerfassung, ein optischer Geschwindigkeitssensor (imc Luxact) mit integriertem Drehrate- und Beschleunigungsmesser sowie ein Inklinometer zur Messung der unausgeglichene Querschleunigung und ein GPS Empfänger montiert. Der elektrische Energieverbrauch wurde wie bei PCW I in Form von Netzspannung und Netzstrom mit Hilfe eines imc NEMO Messgeräts vor der TEMA-Box gemessen. Die mechanische Zugkraft zwischen Lokomotive und erstem Testwagen wurde mit Hilfe einer Messschraubenkupplung gemessen. Für Kessel- und Containerwagen wurden zusätzlich am ersten Drehgestell die Längswege der Radsätze und der Ausdrehwinkel des Drehgestells aufgezeichnet.

Bei Streckenkilometer Null wurde ein Reflektor montiert, welcher mit Hilfe einer Lichtschranke an der Lokomotive ausgelesen wurde. Auf diese Weise wurde ein Rundenzähler implementiert und die gefahrene Strecke ab km 0 mit dem Streckenmesser des Luxact ermittelt.

Alle erhobenen Messdaten wurden zeitsynchron über das Datenerfassungssystem aufgezeichnet.

Alle Informationen zur Datenerfassung und Sensorik im PCW II sind in Anhang D aufgelistet.

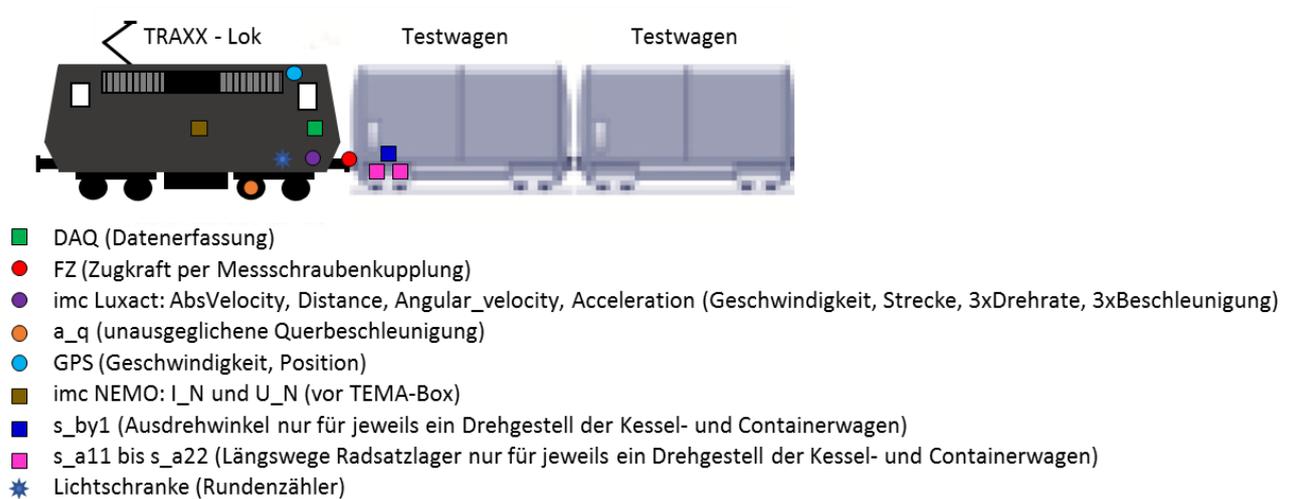


Abbildung 5-2: Allgemeiner Messaufbau PCW II

## 5.3 Wettermessung

Die Umgebungsbedingungen (Windgeschwindigkeit, Windrichtung, Temperatur, Luftdruck, Luftfeuchte) wurden mit zwei Wetterstationen aufgezeichnet. Eine Wetterstation war am Testring 1 an der nördlichen Geraden bei km 4.6 und die zweite am Testring 1 im südwestlichen Bogen bei km 2.6 aufgestellt. Alle Wetterdaten wurden mit einem gleitenden Mittelwert gemäß Warnecke [1] über 10 Minuten gemittelt.

Die Wetterdaten sind in Anhang G graphisch dargestellt.

## 6 Durchführung

Für jeden Wagentyp wurde auf dem Testring eine bestimmte Anzahl Runden pro Geschwindigkeitsstufe in Beharrung gefahren. Dazu war die Leistungsregelung der Lokomotive aktiviert, sodass die Traktionsleistung konstant blieb. Die Messungen fanden im Januar/Februar 2018 leer (Kampagne PCW I) und im Oktober 2018 beladen (Kampagne PCW II) auf dem Testring des PCWs statt. In der Kampagne PCW I lag der Fokus auf Akustikmessungen, sodass nur auf dem Testring 1 gefahren wurde und die im nachfolgenden Abschnitt beschriebene Anzahl gefahrene Runden für die Energiemessungen nicht immer erreicht wurden.

Auf dem Testring 1 betrug die maximale Geschwindigkeit 120 km/h. Diese wurde stufenweise um 20 km/h bis auf 60 km/h reduziert. Auf dem Testring 2 betrug die maximale Geschwindigkeit 80 km/h. Diese wurde stufenweise um 20 km/h bis auf 40 km/h reduziert. Aus Zeitgründen wurden bei höheren Geschwindigkeiten mehr Runden gefahren als bei tieferen Geschwindigkeiten. Die minimale Anzahl gefahrener Runden pro Geschwindigkeitsstufe und Testring sind in Tabelle 6-1 aufgelistet.

Das Messprotokoll ist in Anhang B zu finden.

Tabelle 6-1: Minimale Anzahl Runden pro Geschwindigkeit und Testring PCW II

Geschwindigkeit [km/h]	Anzahl Runden auf Testring 1	Anzahl Runden auf Testring 2
40	-	3
60	3	8
80	5	10
100	5	-
120	10	-

## 7 Auswerteverfahren

### 7.1 Energieverbrauchsmessung

Der Energieverbrauch ist abhängig vom Zugwiderstand, welcher sich aus verschiedenen Größen zusammensetzt. Der Gesamtwiderstand ist die Summe von Rollwiderstand, Stoßwiderstand, Luftwiderstand, Steigungswiderstand, Krümmungswiderstand und Beschleunigungswiderstand [2].

$$F_{tot} = F_{Roll} + F_{Stoß} + F_{Luft} + F_{Steigung} + F_{Bogen} + F_{Beschl}$$

Formel 7-1

mit  $F_{tot}$  = Gesamt-Fahrwiderstand

$F_{Roll}$  = Rollwiderstand

$F_{Stoß}$  = Stoßwiderstand

$F_{Luft}$  = Luftwiderstand

$F_{Steigung}$  = Steigungswiderstand

$F_{Bogen}$  = Krümmungswiderstand (Bogenwiderstand)

$F_{Beschl}$  = Beschleunigungswiderstand

Da in Beharrung gefahren wurde, ist der Beschleunigungswiderstand Null. Ferner wurden nur Abschnitte ausgewertet, in denen die Steigung Null ist, sodass auch der Steigungswiderstand entfällt. Aufgrund des Krümmungswiderstands ist der Gesamtwiderstand im Bogen größer als in der Geraden. Deshalb wurden die im PCW gefahrenen Runden aufgeteilt in Streckensektionen in der Geraden und in Bogenabschnitten, sodass der Gesamtwiderstand in der Geraden und im Bogen getrennt ermittelt wurden.

Für die Auswertung in der Geraden wurde am Testring 1 nur der Streckenabschnitt der südlichen Geraden ausgewertet (km 1.51912 bis km 2.21605), da hier auch die Steigung Null ist. Für die Auswertung des Widerstands im Bogen wurde nur der nordöstliche Bogen (ohne Übergangsbögen) ausgewertet (km 5.40210 bis km 5.77212), da hier keine Steigung bzw. kein Gefälle vorhanden ist.

Für jeden auszuwertenden Streckenabschnitt wurden die gemessene Zugkraft und die Geschwindigkeit mit einem 10 Sekunden Glättungsfilter geglättet. Anschließend wurden für jeden Abschnitt und jede Geschwindigkeitsstufe die mittlere Zugkraft und die mittlere Geschwindigkeit berechnet. Diese wurden dann als Punkte im Fahrwiderstandsdiagramm eingetragen.

Durch diese Punktwolke wurde mit Hilfe der Methode der kleinsten Quadrate ein Polynom zweiten Grades gelegt. Dieser Fit beschreibt den Fahrwiderstand in Abhängigkeit der Geschwindigkeit für den Beladungszustand im PCW. Als Beispiel sind in Abbildung 7-1 die Punktwolke und der zugehörige Fit für den Autotransporter (Referenz und IGW) dargestellt. Der Fahrwiderstand ist hier für zwei Autotransporter angegeben, da im PCW immer zwei Wagen gleichen Typs im Zugverband getestet wurden.

Aufgrund der unterschiedlichen Beladungszustände wurde die ermittelte Fahrwiderstandskurve auf das maximale Gesamtgewicht umgerechnet und mit der maximalen Zuladung skaliert (Abbildung 7-2), um eine objektive Grundlage für einen Vergleich zu erhalten.

Ebenfalls wurde die Fahrwiderstandskurve für unbeladene Güterwagen berechnet (Abbildung 7-3) und mit den Messungen aus dem Januar 2018 abgeglichen (Abbildung 7-4 und Anhang J).

**Hinweis:** Beim innovativen Flachwagen wurde das Leergewicht inkl. Zusatzaufbau berechnet.

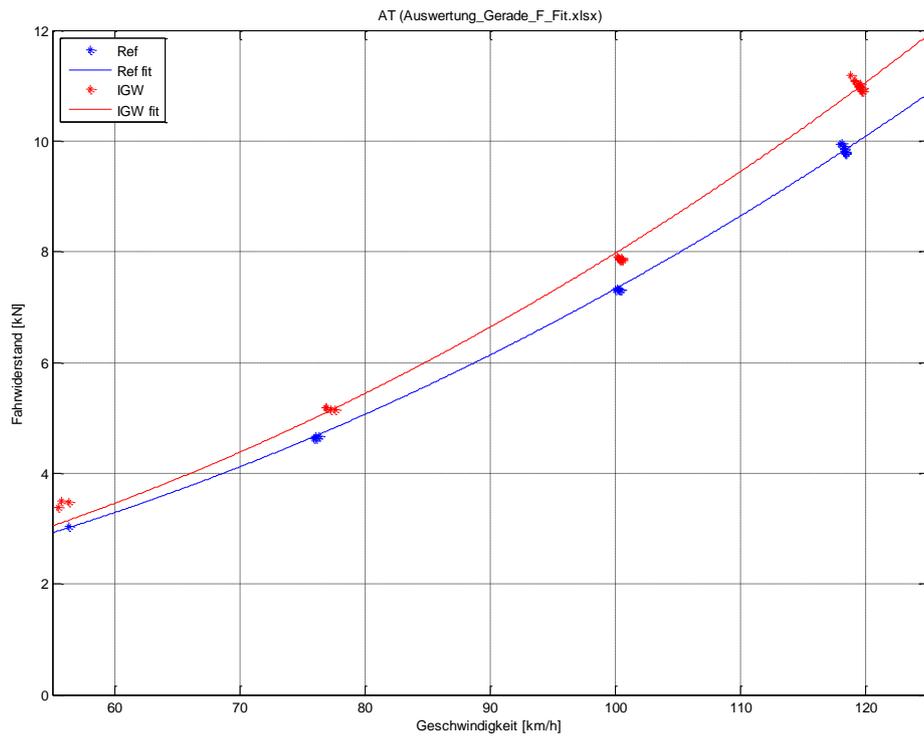


Abbildung 7-1: Fit Autotransporter

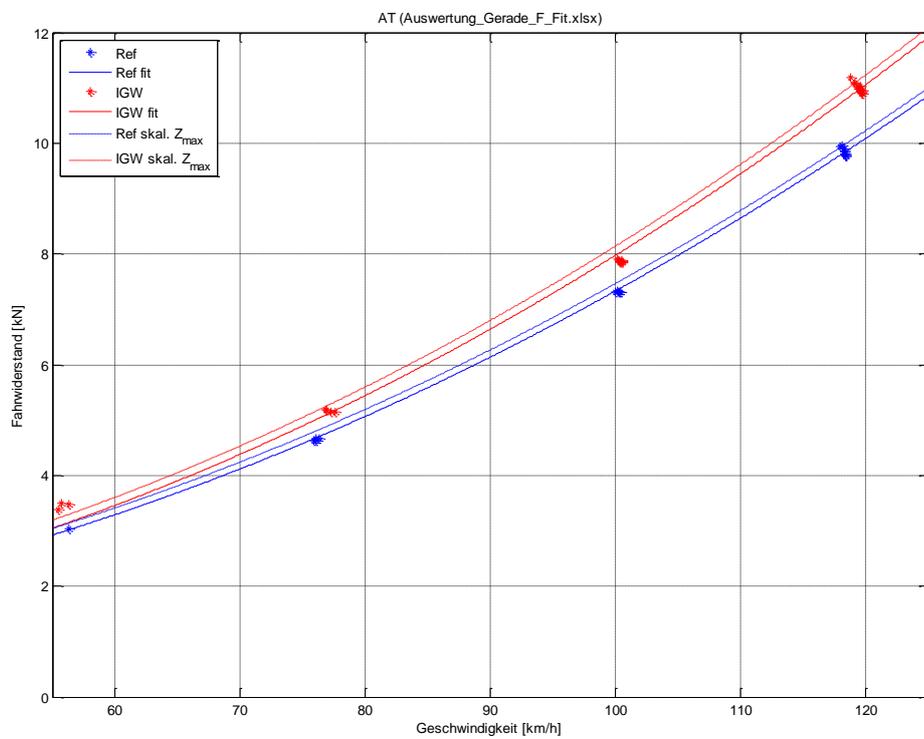


Abbildung 7-2: Fit Autotransporter mit Skalierung auf maximalem Gesamtgewicht (max. Zuladung  $Z_{max}$ )

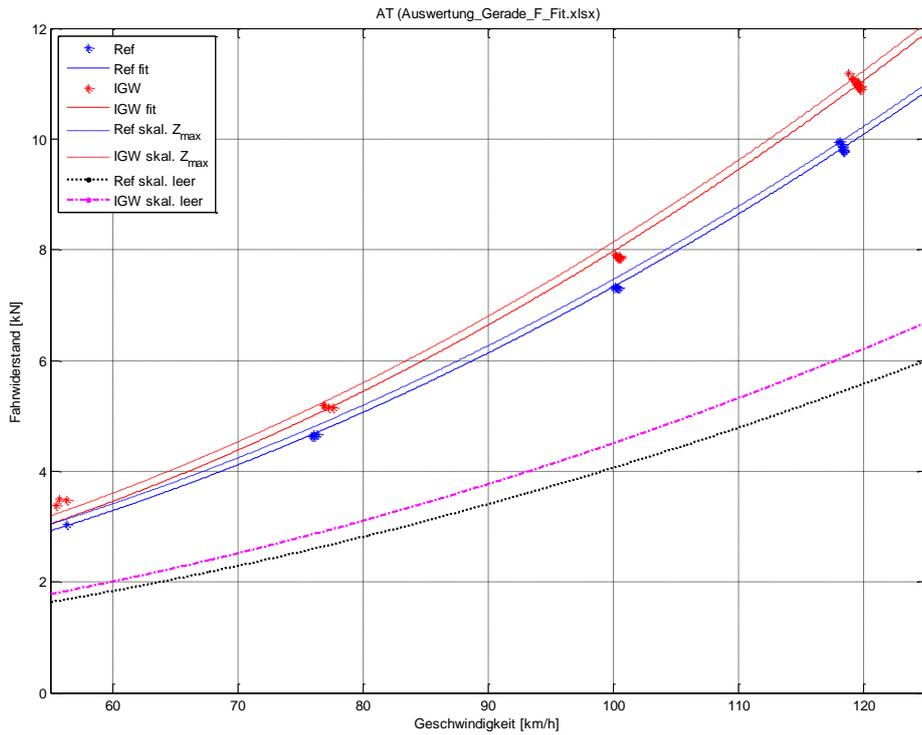
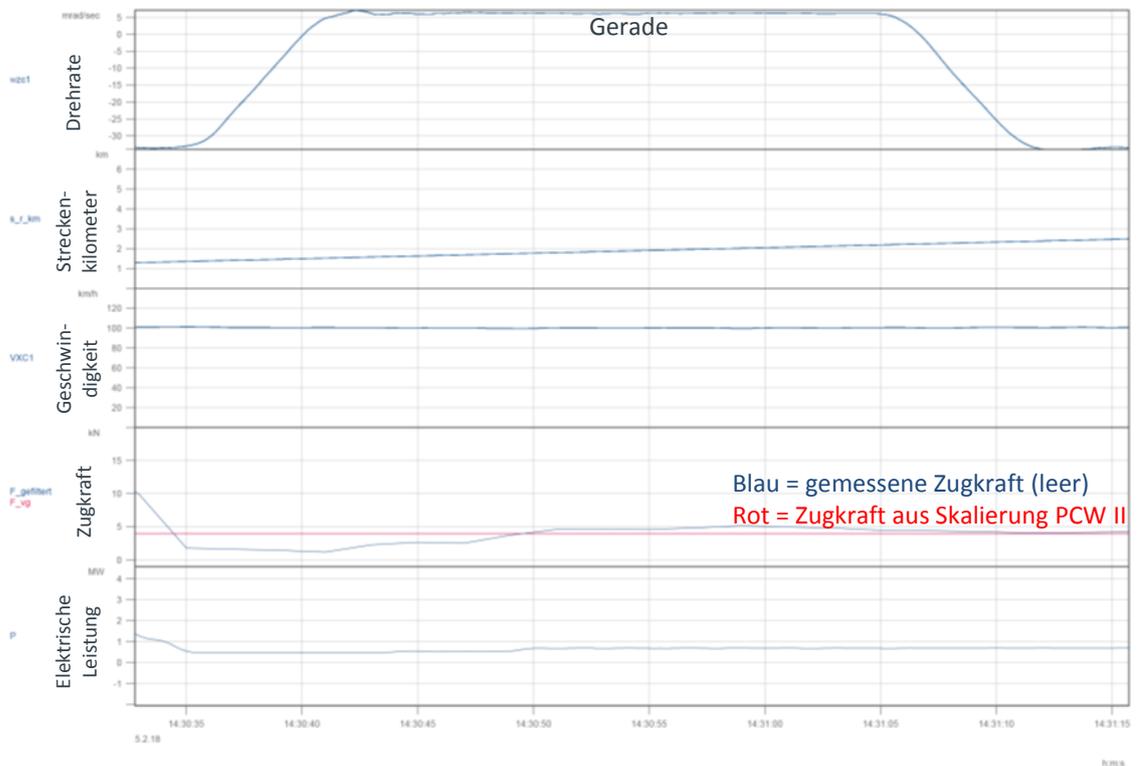


Abbildung 7-3: Fit Autotransporter mit Skalierung auf Leergewicht



File Nr.: A100002	PCW1-T1 , AT-IGW	Datum: 05.02.2018 14:06:17
-------------------	------------------	----------------------------

Abbildung 7-4: Abgleich der auf Leergewicht skalierten Ergebnisse aus PCW II mit den Messergebnissen aus PCW I am Beispiel des innovativen Autotransporters bei 100 km/h in der Geraden.

Um den Energieverbrauch zwischen innovativem Güterwagen und Referenz-Güterwagen zu vergleichen, wurde die mechanische Antriebsleistung aus dem Produkt der Zugkraft und der Geschwindigkeit ermittelt. Anschließend wurde die Leistung des Referenzgüterwagens bei 120 km/h als 100% festgelegt. Dies ist als spezifische Leistung in Abbildung 7-5 (oben) dargestellt. Danach wurde die relative Leistungsdifferenz  $\Delta P_{rel}$  berechnet:

$$\Delta P_{rel} = (P_{IGW} - P_{REF})/P_{REF}$$

Formel 7-2

mit  $P_{IGW}$  = mechanische Leistung des innovativen Güterwagens  
 $P_{REF}$  = mechanische Leistung des Referenz-Güterwagens

Die relative Leistungsdifferenz ist in Abbildung 7-5 (unten) dargestellt. Auf diese Weise wurde eine Leistungsdifferenz in der Geraden und im Bogen ermittelt.

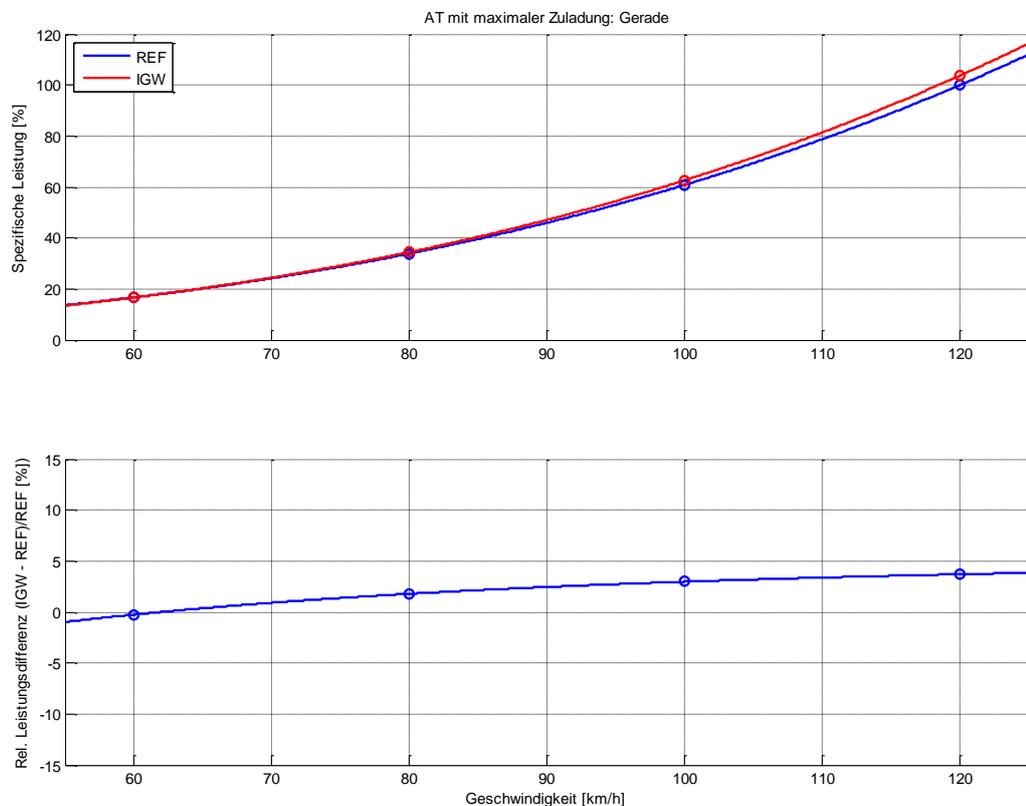


Abbildung 7-5: Spezifische Leistungskurve und rel. Leistungsdifferenz für den Autotransporter mit maximaler Zuladung

## 7.2 Virtuelle Fahrt

Der Zugwiderstand im PCW wurde nur für Gerade und Bogen ohne Steigung/Gefälle und ohne Beschleunigungswiderstand ermittelt. Bei einer realen Fahrt haben Streckentopographie und Fahrprofil allerdings einen großen Einfluss auf den Energieverbrauch. Da das Steigungsprofil der „Nordschleife“ nicht repräsentativ ist für eine Fahrt über die Alpen und keine repräsentativen Steigungsdaten vorlagen, wurde die virtuelle Fahrt ohne Steigung modelliert.

Das Fahrprofil wurde aus den EP-Light-Betriebsmessungen während der „Nordschleife“ (Abbildung 7-6) ermittelt und als Grundlage für eine virtuelle Fahrt verwendet. Das Fahrprofil einer solchen Referenzfahrt ist in Abbildung 7-7 dargestellt. Die „Nordschleife“ wurde insgesamt sechs Mal gefahren, sodass die virtuelle Fahrt der Aneinanderreihung dieser sechs Fahrten mit sehr

ähnlichem Fahrprofil entspricht. Das Geschwindigkeitshistogramm über alle sechs Fahrten ist in Abbildung 7-8 dargestellt. Dabei wurde die Geschwindigkeit in Intervallen à 10 km/h zusammengefasst. Die Beschriftung der x-Achse markiert dabei den Anfang des Intervalls. Der Großteil der Fahrten lag zwischen 90 km/h und 100 km/h.

Aus dem Fahrprofil wurde der Beschleunigungswiderstand berechnet. Dazu wurde das Geschwindigkeitssignal abgeleitet und mit der beschleunigten Masse multipliziert. Die beschleunigte Masse beinhaltet die Gesamtmasse der Waggons und die rotierenden Massen der Räder und Scheibenbremsen (falls vorhanden). Der simulierte Fahrwiderstand war dann der im PCW ermittelte Fahrwiderstand in der Ebene zuzüglich des berechneten Beschleunigungswiderstands.

Für die während der „Nordschleife“ gemessene Fahrt wurde die relative Leistungsdifferenz zwischen Referenz- und innovativem Güterwagen unter Berücksichtigung der Beschleunigungsvorgänge für voll beladene Güterwagen berechnet. Dazu wurden zuerst die Ergebnisse der Geraden aus den Messungen im PCW verwendet (die virtuelle Strecke entspricht dann einer Geraden mit dem Fahrprofil aus der Referenzfahrt). Anschließend wurde dieselbe Berechnung für die Ergebnisse der Energieersparnis im Bogen berechnet (die virtuelle Strecke entspricht dann einem einzigen langen Bogen). Danach wurden die aus den beiden virtuellen Fahrten ermittelten Energieverbräuche auf eine Strecke mit 10% Bögen und eine Strecke mit 50% Bögen umgerechnet (anteilige Summierung der virtuellen Fahrt in der Geraden und der virtuellen Fahrt im Bogen). Zum Schluss wurde diese Berechnung für leere Güterwagen wiederholt. Die Energieeffizienz bei einer Auslastung von 50% ist dann die anteilige Summe der Energieeffizienz aus der virtuellen Leerfahrt und der virtuellen Fahrt mit maximaler Zuladung.

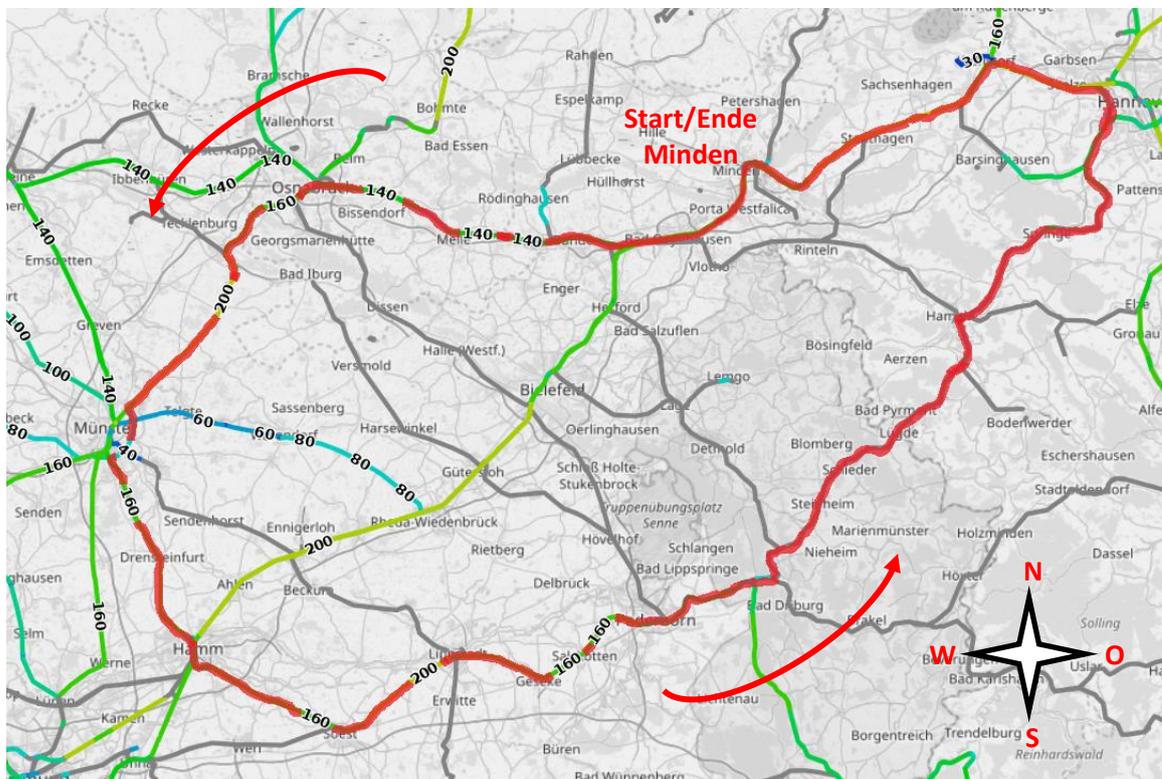
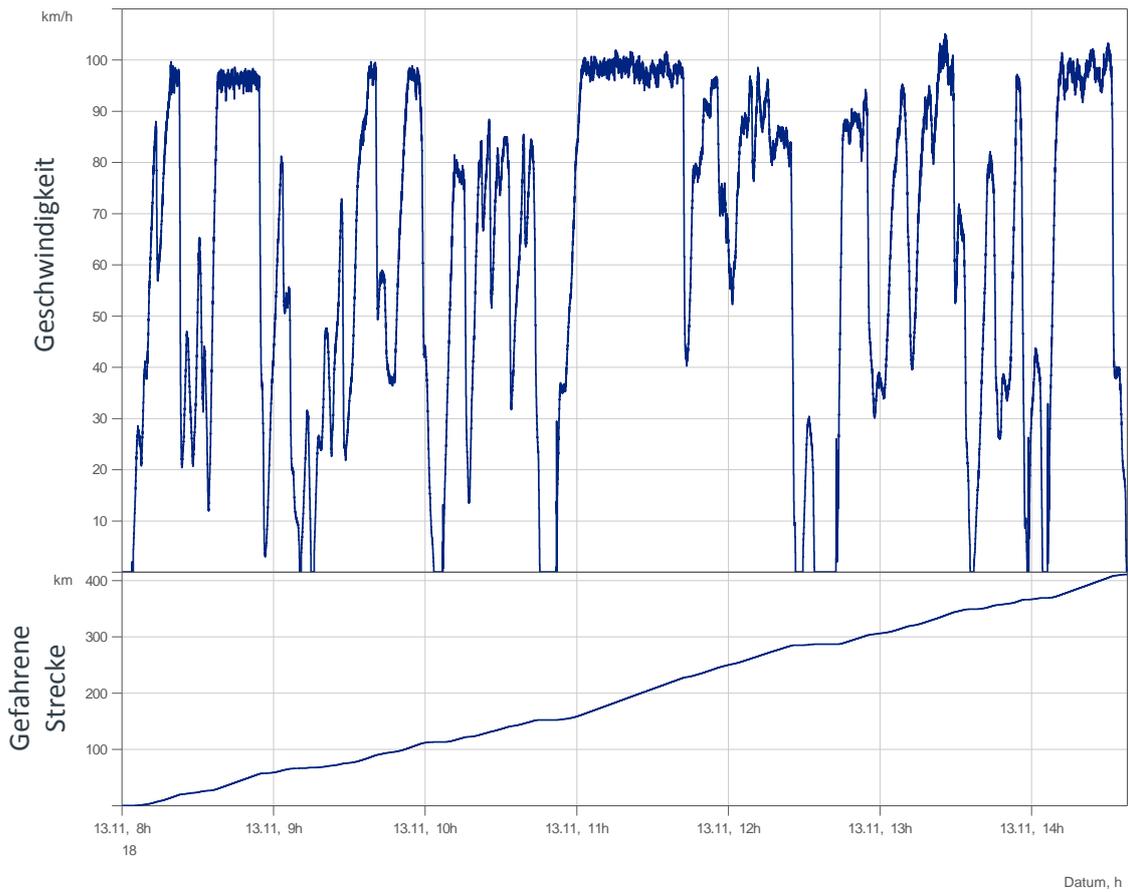


Abbildung 7-6: Nordschleife (Quelle: www.openrailwaymap.org)



13.11.18 07:47:10 PROSE  
Abbildung 7-7: Fahrprofil für virtuelle Fahrt

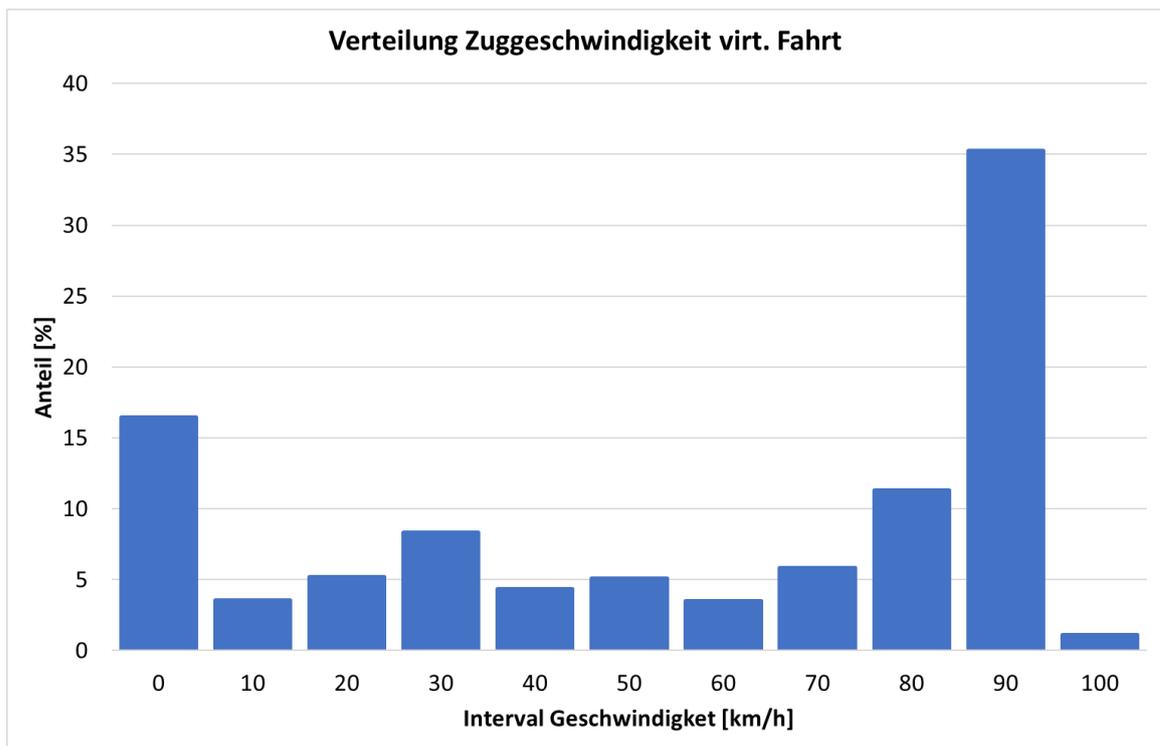


Abbildung 7-8: Geschwindigkeitshistogramm über alle sechs gefahrenen „Nordschleifen“

### 7.3 Lenkverhalten der Radsätze

Es ist ein grundlegender Systemvorteil der Eisenbahn, dass die Reibung zwischen Rad und Schiene insbesondere verglichen mit der Reifen/Fahrbahn-Reibung von Kraftfahrzeugen sehr gering ist. Dies bedeutet über einen geringeren Fahrwiderstand einen entsprechend niedrigeren Energieverbrauch. Trotzdem rollen die Räder eines realen Radsatzes – auch ohne Brems- oder Antriebsvorgänge – nicht ideal schlupffrei auf der Schiene ab, sondern verursachen Gleitvorgänge im Kontakt zwischen Rad und Schiene sowie damit einhergehend eine Reibarbeit, die letztlich als Bogenwiderstand einen Teil des Fahrwiderstands ausmacht, siehe Abschnitt 7.1. Diese Reibvorgänge sind in aller Regel im Bogen gegenüber der Geradenfahrt deutlich größer und werden fahrzeug- wie streckenseitig von vielen Parametern wie den fahrtechnischen Eigenschaften der Fahrzeuge und vor allem ihrer Drehgestelle, aber auch der Rad/Schiene-Reibungszahl, der Radsatzlast, den Rad- und Schienenquerprofilen, der Trassierung und der Fahrgeschwindigkeit, der Gleisbettung und den Gleislagefehlern sowie durch Bremsvorgänge beeinflusst. Der Bogenwiderstand ist also nicht für alle Fahrzeugtypen gleich sondern unterscheidet sich insbesondere je nach Ausführung bzw. Bogengängigkeit des Drehgestells.

Das in diesem Vorhaben als Referenzdrehgestell eingesetzte Standardgüterwagendrehgestell Y25 wird allgemein der Kategorie der Starrachsdrehgestelle zugeordnet [4]. Bei Starrachsdrehgestellen werden die Radsätze längsstarr im Drehgestellrahmen geführt. Im Bogen verbleibt der sogenannte Schräglaufwinkel  $\alpha$ , unter dem der führende Radsatz an die bogenäußere Schiene anfährt (siehe Abbildung 7-9) und dadurch Reibvorgänge verursacht.

Sogenannte Lenkachsdrehgestelle erlauben eine radiale Einstellbewegung der Radsätze über eine entsprechend elastische Anbindung an den Drehgestellrahmen. Dabei geschieht die Lenkbewegung bei der Eisenbahn und insbesondere bei Güterwagen passiv, also ohne Aktuatoren wie z.B. Hydraulikzylinder, und allein durch eine Rollradiendifferenz zwischen rechtem und linken Rad des klassischen Radsatzes. Dies setzt eine entsprechend geeignete Ausprägung von Rad- und Schienenprofilen voraus. Die Rollradiendifferenz ergibt sich für die hier analysierten Versuchsfahrten exemplarisch durch den Zustand der bereitgestellten Versuchsfahrzeuge und die spezifischen Bögen des Testgeländes Wildenrath (Ring 1 und 2, siehe Kapitel 4). Im gewöhnlichen Güterzugbetrieb ändern sich die Eigenschaften der Rad/Schiene-Paarung laufend entsprechend der sich verändernden Verschleißkonturen von Rädern und örtlichen Schienen. Insofern geben die im vorliegenden Bericht analysierten Zustände ein nur exemplarisches aber untereinander gut vergleichbares Bild, weil die äußeren Randbedingungen nahezu identisch sind.

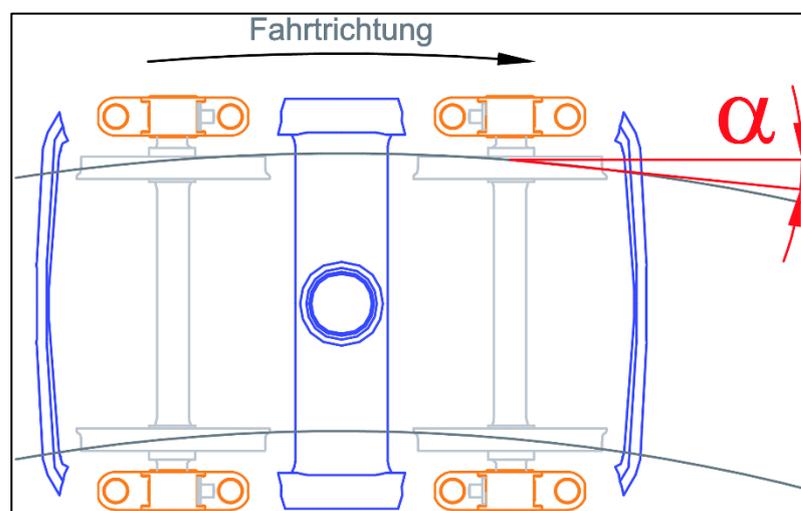


Abbildung 7-9: Definition des Schräglaufwinkels  $\alpha$  zwischen Gleistangente und Abrollrichtung des Radsatzes

Der individuell je Fahrzeug resultierende Schräglaufwinkel ist ein Maß für die Rad/Schiene-Reibarbeit und damit für den Bogenwiderstand bzw. den entsprechenden Anteil am Energieverbrauch (siehe Abschnitt 7.1) wie auch des zu erwartenden Verschleißes an Rad und Schiene.

Daher wurden abstimmungsgemäß jeweils am vorlaufenden Drehgestell Wegaufnehmer installiert, um die Bewegungen zwischen Drehgestellrahmen und Fahrzeugaufbau sowie zwischen Radsätzen und Drehgestellrahmen messtechnisch zu erfassen. Der Messaufbau ist in Kapitel 5 dokumentiert und bezieht sich auf die beiden Fahrzeugtypen Containertragwagen sowie Kesselwagen, jeweils in den Ausführungen mit dem Referenzdrehgestell (Y25) sowie einem innovativen Drehgestell IGW (RC25NT bzw. Niesky DRRS).

Die gemessenen Längs- bzw. Querwege werden über die zugehörigen Abstandsmaße in resultierende Ausdrehwinkel der Radsätze bzw. des Drehgestells verrechnet. Ausgehend von der Annahme, dass der Fahrzeugaufbau aufgrund seiner Länge trotz eines vorhandenen Spurspiels in guter Näherung tangential zum Gleisbogen steht, können die tatsächlich gemessenen Ausdrehwinkel je Bogenradius dem für eine vollradiale Stellung notwendigen Ausdrehwinkel gegenübergestellt werden, siehe Abbildung 7-10. Die Bogenradien der beiden Testringe 1 und 2 sind bekannt und in Kapitel 4 dokumentiert.

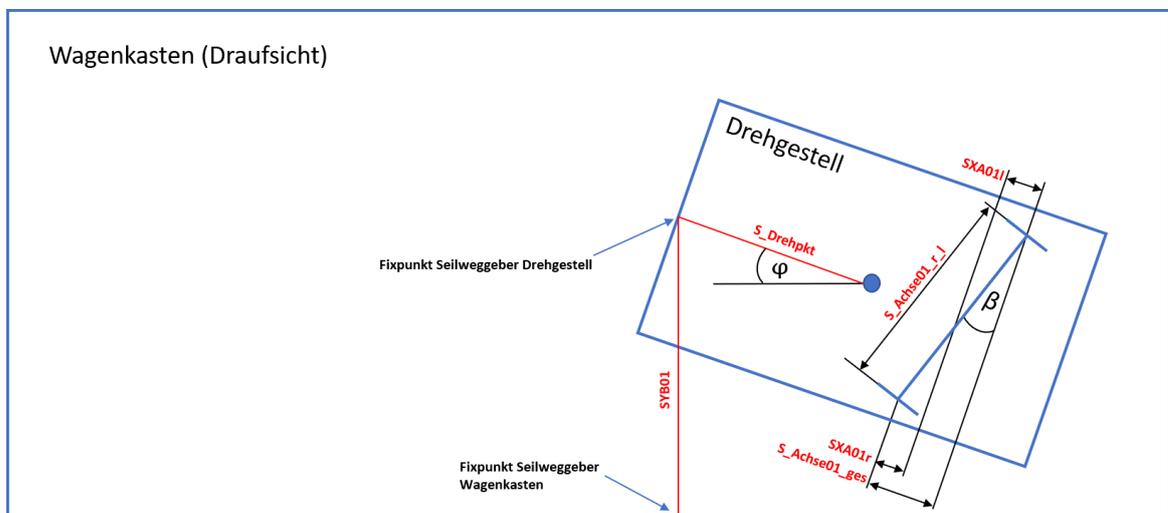


Abbildung 7-10: Prinzip des tatsächlichen Ausdrehwinkels des vorlaufenden Radsatzes relativ zum Wagenkasten

## 8 Messunsicherheit der Energiemessungen

Die Messunsicherheit der mechanischen Leistung für die Messungen im PCW wurde gemäß GUM entsprechend ISO/IEC Guide 98-4:2012-11 [3] ermittelt. Diese setzt sich zusammen aus der Messunsicherheit der Geschwindigkeit und der Messunsicherheit der Zugkraft.

Die erweiterte Messunsicherheit  $U$  der mechanischen Leistung ergibt sich aus der kombinierten Standardunsicherheit multipliziert mit dem Erweiterungsfaktor  $k = 2$ . Je höher die Geschwindigkeit, desto geringer wird die Messunsicherheit, da die Zugkraft mit zunehmender Geschwindigkeit steigt und somit der prozentuale Anteil der Unsicherheit sinkt. Die über alle Wagen maximale erweiterte Messunsicherheit für Fahrt in Beharrung ist in Abbildung 8-1 in Abhängigkeit der Geschwindigkeit dargestellt.

Aus der Messunsicherheit für die Leistung in Abhängigkeit der Geschwindigkeit und dem Geschwindigkeitshistogramm (Abbildung 7-8) wurde die maximale erweiterte Unsicherheit für die Energieberechnung der virtuellen Fahrt ermittelt. Diese beträgt 1.1% ( $k=2$ ).

Insgesamt ist festzuhalten, dass die Unsicherheit für den Kesselwagen am größten ist, da dieser am leichtesten ist. Demnach hat der Autotransporter die geringste Unsicherheit.

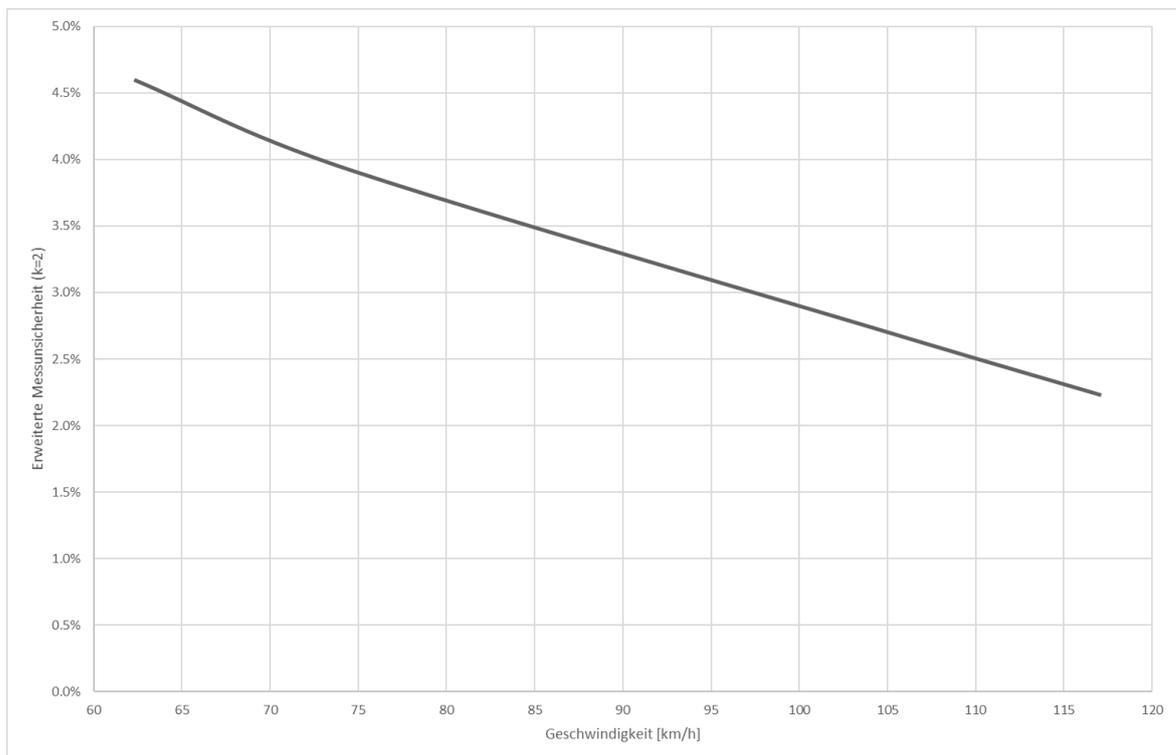


Abbildung 8-1: Erweiterte Messunsicherheit (in Prozent vom Leistungsmesswert) in Abhängigkeit der Geschwindigkeit für Fahrt in Beharrung

## 9 Ergebnisse

### 9.1 Energieverbrauchsmessung im PCW

In Abbildung 9-1 ist der Zeitverlauf einer Messung im PCW am Beispiel des Referenz-Autotransporters dargestellt. Die Zeitschriebe für PCW I sind in Anhang H und für PCW II in Anhang I aufgeführt. Die gemäß Kapitel 7.1 aus PCW II berechnete spezifische Leistung und die relative Leistungsdifferenz sind für jeden Wagentyp für Gerade und Bogen in Abbildung 9-2 bis Abbildung 9-9 dargestellt. Für 60, 80, 100 und 120 km/h ist die relative Leistungsdifferenz zwischen Referenz- und innovativem Güterwagen für jeden Wagentyp in der Geraden und im Bogen in Tabelle 9-1 aufgelistet. Dabei ist die relative Leistungsdifferenz angegeben pro Kilometer bezogen auf die maximale Zuladung (= maximal zulässiges Gewicht des transportierten Gutes) sowie bezogen auf das Gesamtgewicht während der Messkampagne PCW II. Demnach ist die relative Leistungsdifferenz ein Prozentwert von Energieverbrauch pro Masse und pro Strecke (% von kWh/tkm). Zusätzlich ist die relative Leistungsdifferenz für einen unbeladenen Wagen aufgeführt. Eine negative Leistungsdifferenz bedeutet, dass der innovative Güterwagen effizienter ist als der Referenzwagen. Es wurden nur ebene Gerade- und Bogenabschnitte ausgewertet.

**Hinweis:** Diese Ergebnisse beinhalten keinen Beschleunigungs- oder Steigungswiderstand. Der Effekt des Beschleunigungswiderstands wird im nächsten Kapitel im Rahmen der virtuellen Fahrt berücksichtigt.

Der innovative Kesselwagen ist im Bogen deutlich energieeffizienter als der Referenzwagen. Vermutlich ist dieser Effekt direkt auf die Radialeinstellung zurückzuführen, da auch der innovative Containerwagen im Bogen deutlich effizienter ist als in der Geraden. In der Geraden ist der innovative Kesselwagen geringfügig effizienter (-1.7%) als der Referenzwagen, wenn man die spezifische Leistung auf die maximale Zuladung bezieht, da der innovative Kesselwagen einen etwas größeren Kessel hat, sodass die maximale Zuladung größer ist als beim Referenzwagen. Bezogen auf das Gesamtgewicht ist der innovative Kesselwagen demnach 1% weniger effizient als der Referenzwagen. Allerdings sollte die Energieersparnis auf die Zuladung bezogen werden, da dies die Masse ist, die transportiert werden muss.

Bezogen auf die maximale Zuladung haben der innovative Containerwagen (Gerade -6.2%, Bogen -9.2%) und der innovative Flachwagen (Gerade -9.1%, Bogen -7.2%) eine deutlich bessere Energieeffizienz als deren Referenzfahrzeuge. Da beim Flachwagen die maximale Zuladung des innovativen BraCoils deutlich größer ist als beim Referenzwagen, profitiert der BraCoil von der hohen Zuladungskapazität. Bezogen auf die Gesamtmasse ist der BraCoil weniger effizient (Gerade +2.2%, Bogen +4.2%) als der Referenzflachwagen.

Der innovative Autotransporter hingegen hat eine schlechtere Energieeffizienz als der Referenzautotransporter (Gerade +2.1%, Bogen +6.5%, bezogen auf die maximale Zuladung). Der Grund dafür liegt in der längeren und damit auch schwereren Ausführung des innovativen Autotransporters. Bezogen auf das Gesamtgewicht ist die Energieeffizienz des innovativen Autotransporters sogar noch schlechter (Gerade +8.1%, Bogen +12.7%). Dafür kann der innovative Autotransporter variabler (mit mehreren verschiedenen Autotypen) beladen werden, sodass mit dem innovativen Autotransporter eine höhere Auslastung der Beladung und weniger Leerfahrten zu erwarten sind. Eine Wirtschaftlichkeitsbetrachtung wird zeigen, ob der innovative Autotransporter schlussendlich nicht doch effizienter ist als der Referenzwagen.

Bezogen auf das Gesamtgewicht bei maximaler Zuladung ist der absolute Energieverbrauch vor allem des innovativen Flachwagens und des innovativen Autotransporters deutlich höher als bei deren Referenzwagen, aufgrund des höheren Gesamtgewichts dieser beiden innovativen Wagengattungen.

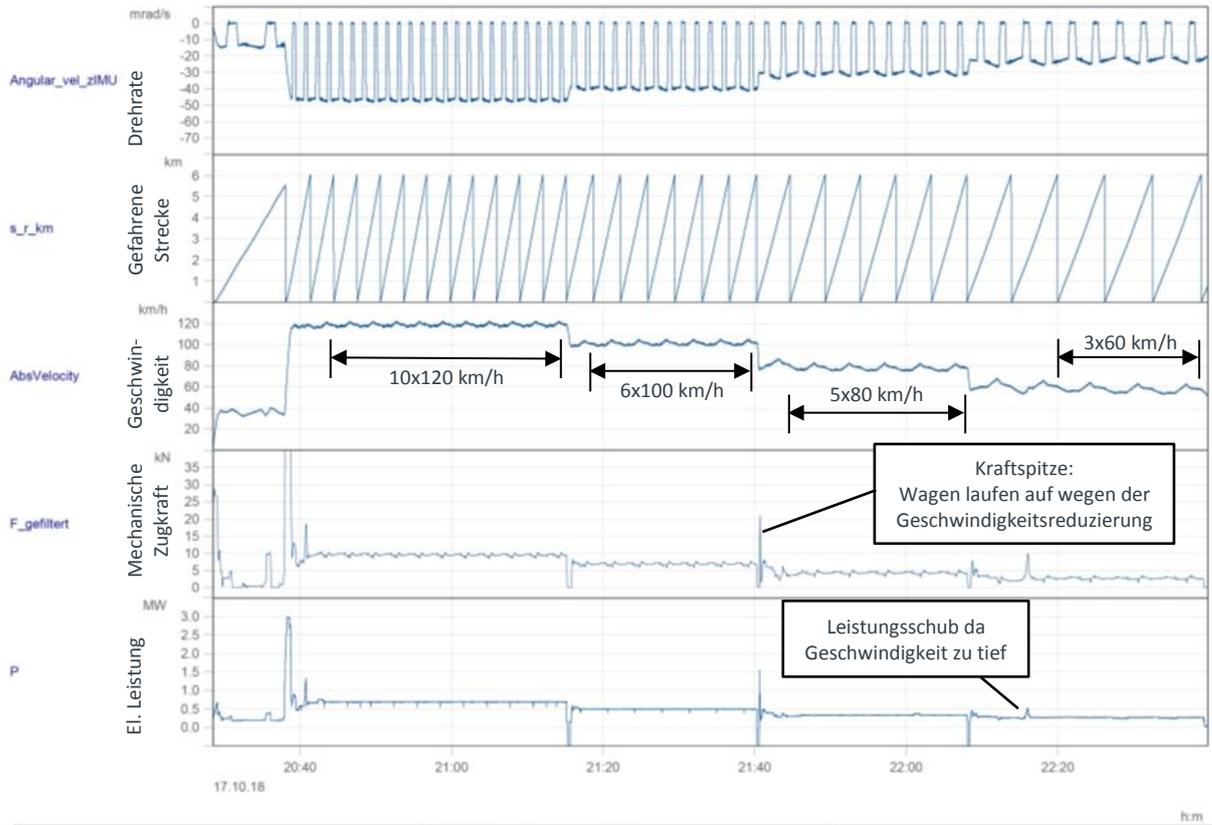
Die Leistungsdifferenz für unbeladene Wagen wird maßgeblich bestimmt durch das Gewichtsverhältnis zwischen leerem Referenz- und leerem innovativem Wagen. Wenn der

Referenzwagen ein geringeres Leergewicht als der innovative Wagen hat, hat der Referenzwagen im unbeladenen Zustand in der Regel auch einen tieferen Energieverbrauch als ein schwerer innovativer Wagen und umgekehrt. Da der innovative Flachwagen (BraCoil) und der innovative Autotransporter ein deutlich höheres Leergewicht haben als die Referenzwagen, haben diese innovativen Wagen im unbeladenen Zustand einen höheren Energieverbrauch als die Referenzwagen. Der Flachwagen profitiert aber von der höheren Zuladungskapazität und der Autotransporter hat Vorteile bei der Vielseitigkeit der Beladungsmöglichkeiten. Der innovative Kesselwagen hat eine etwas größere Stirnfläche als der Referenzwagen, sodass sich der etwas größere aerodynamische Widerstand im unbeladenen Zustand bei hohen Geschwindigkeiten bemerkbar macht.

Es ist anzumerken, dass der absolute Energieverbrauch im unbeladenen Zustand geringer ist als im beladenen Zustand, sodass eine verhältnismäßig hohe relative Leistungsdifferenz im unbeladenen Zustand nicht so große Auswirkungen auf den Energieverbrauch hat wie dieselbe relative Leistungsdifferenz im beladenen Zustand.

Tabelle 9-1: Rel. Leistungsdifferenz (% von kWh/tkm) aus Energieverbrauchsmessung PCW (ohne Beschleunigungs- und Steigungswiderstand)

v [km/h]	Kesselwagen						Containertragwagen					
	Gerade			Bogen			Gerade			Bogen		
	max. Zuladung	Gesamtgewicht	unbeladen	max. Zuladung	Gesamtgewicht	unbeladen	max. Zuladung	Gesamtgewicht	unbeladen	max. Zuladung	Gesamtgewicht	unbeladen
60	-6.9%	-4.3%	2.9%	-20.2%	-18.0%	-2.2%	-8.9%	-9.4%	-5.5%	-17.2%	-17.6%	-10.1%
80	-2.6%	0.1%	6.4%	-8.4%	-5.9%	4.7%	-6.8%	-7.2%	-3.7%	-10.3%	-10.8%	-5.4%
100	0.3%	3.1%	8.4%	-1.2%	1.5%	8.1%	-5.1%	-5.6%	-2.6%	-6.0%	-6.4%	-2.9%
120	2.4%	5.2%	9.6%	3.2%	6.1%	10.1%	-3.9%	-4.4%	-1.9%	-3.2%	-3.7%	-1.5%
<b>Mittelwert</b>	<b>-1.7%</b>	<b>+1.0%</b>	<b>+6.8%</b>	<b>-6.7%</b>	<b>-4.1%</b>	<b>+5.2%</b>	<b>-6.2%</b>	<b>-6.6%</b>	<b>-3.4%</b>	<b>-9.2%</b>	<b>-9.6%</b>	<b>-5.0%</b>
v [km/h]	Flachwagen / BraCoil						Autotransporter					
	Gerade			Bogen			Gerade			Bogen		
	max. Zuladung	Gesamtgewicht	unbeladen	max. Zuladung	Gesamtgewicht	unbeladen	max. Zuladung	Gesamtgewicht	unbeladen	max. Zuladung	Gesamtgewicht	unbeladen
60	-11.5%	-0.6%	6.3%	-4.5%	7.3%	10.6%	-0.3%	5.6%	9.3%	3.4%	9.5%	11.8%
80	-9.6%	1.5%	7.0%	-7.2%	4.3%	8.0%	1.8%	7.8%	10.4%	6.5%	12.8%	14.4%
100	-8.1%	3.2%	7.3%	-8.4%	2.9%	6.8%	3.0%	9.0%	10.9%	7.7%	14.1%	15.2%
120	-7.0%	4.5%	7.5%	-8.9%	2.4%	6.3%	3.7%	9.8%	11.3%	8.2%	14.6%	15.5%
<b>Mittelwert</b>	<b>-9.1%</b>	<b>+2.2%</b>	<b>+7.0%</b>	<b>-7.2%</b>	<b>+4.2%</b>	<b>+7.9%</b>	<b>+2.1%</b>	<b>+8.1%</b>	<b>+10.5%</b>	<b>+6.5%</b>	<b>+12.7%</b>	<b>+14.2%</b>



File Nr.: 00000002	PCW2-T1 , AT-REF	Datum: 17.10.2018 20:28:31
--------------------	------------------	----------------------------

Abbildung 9-1: Zeitverlauf für die gefahrenen Runden im PCW am Beispiel des Referenz-Autotransporters

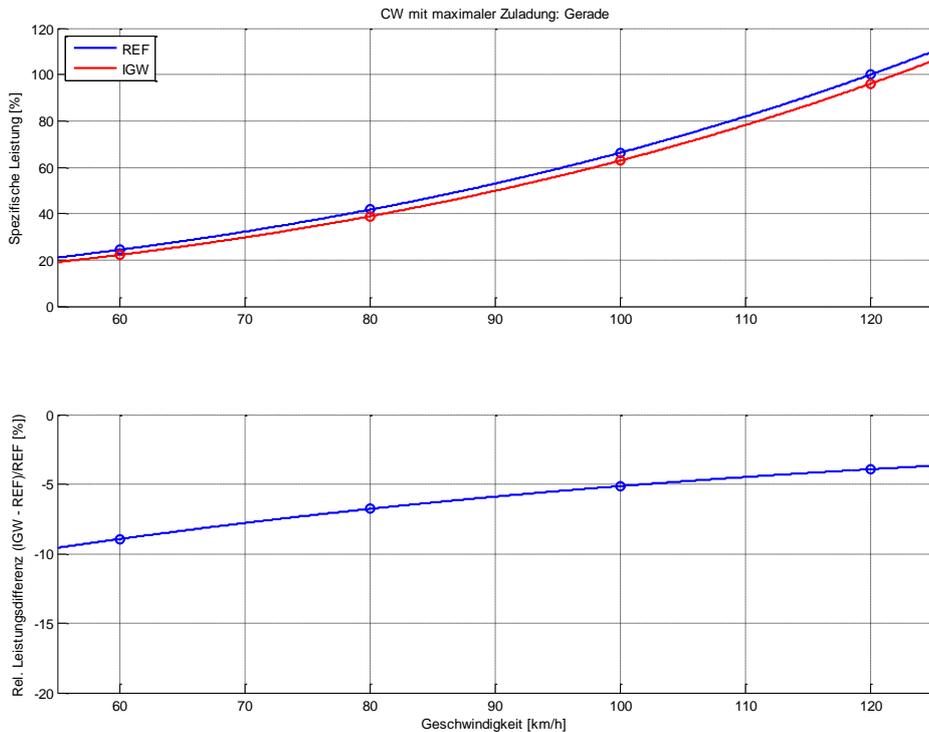


Abbildung 9-2: Spezifische Leistungskurve und rel. Leistungsdifferenz für den Containerwagen mit maximaler Zuladung (Gerade)

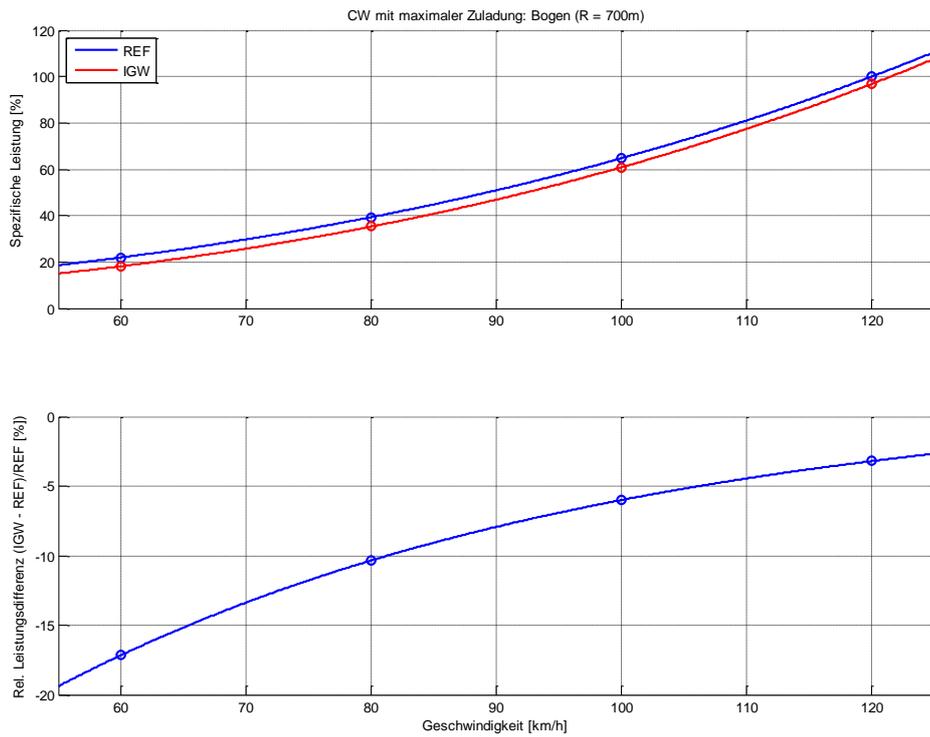


Abbildung 9-3: Spezifische Leistungskurve und rel. Leistungsdifferenz für den Containerwagen mit maximaler Zuladung (Bogen)

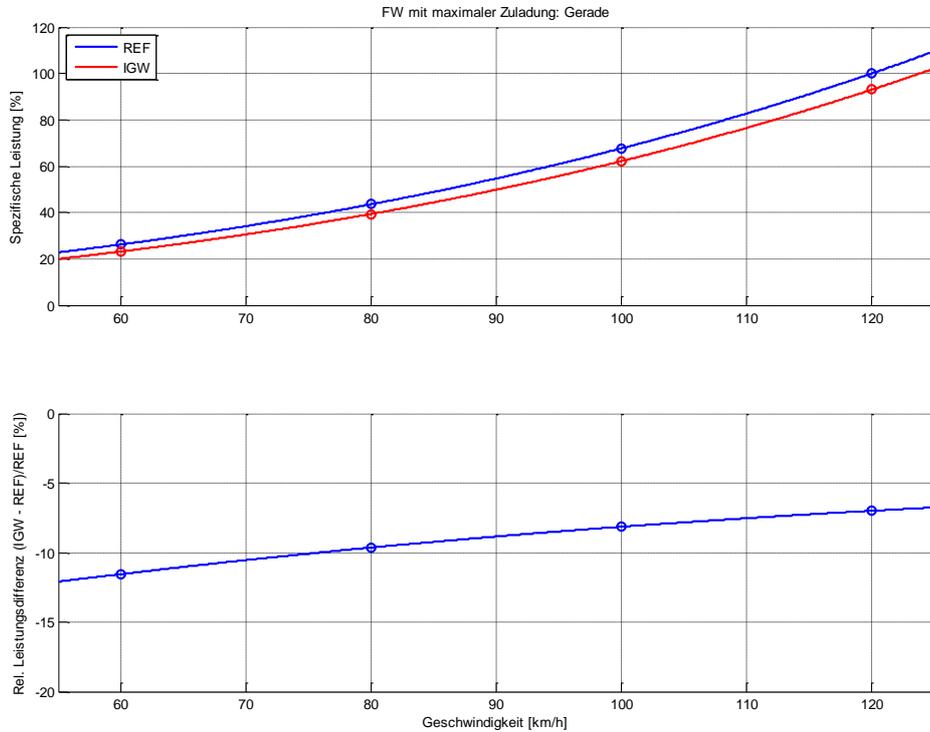


Abbildung 9-4: Spezifische Leistungskurve und rel. Leistungsdifferenz für den Flachwagen mit maximaler Zuladung (Gerade)

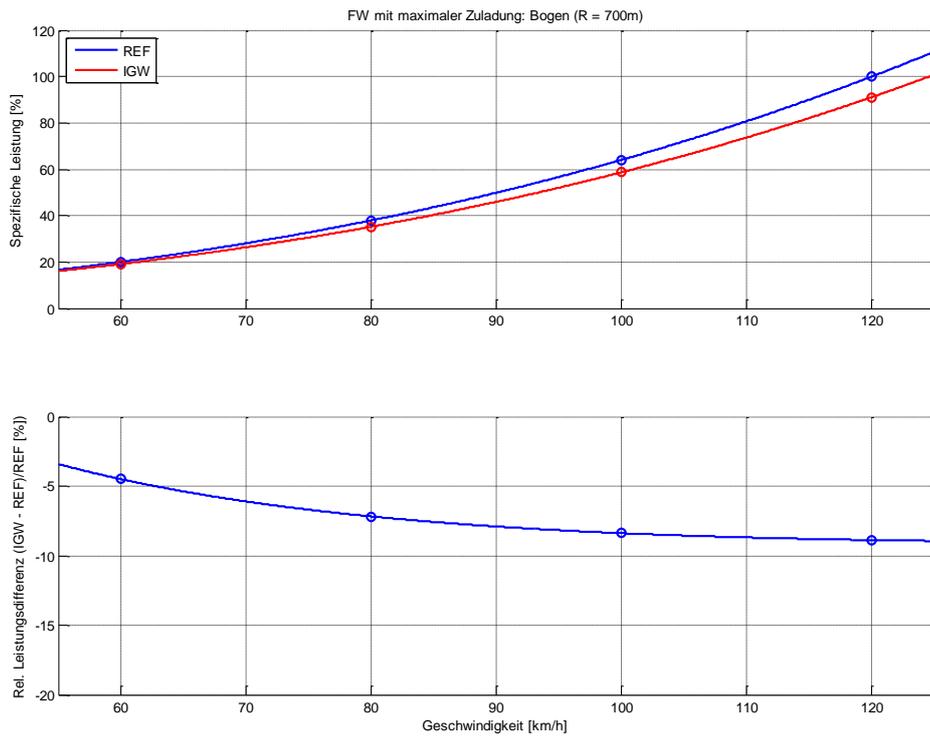


Abbildung 9-5: Spezifische Leistungskurve und rel. Leistungsdifferenz für den Flachwagen mit maximaler Zuladung (Bogen)

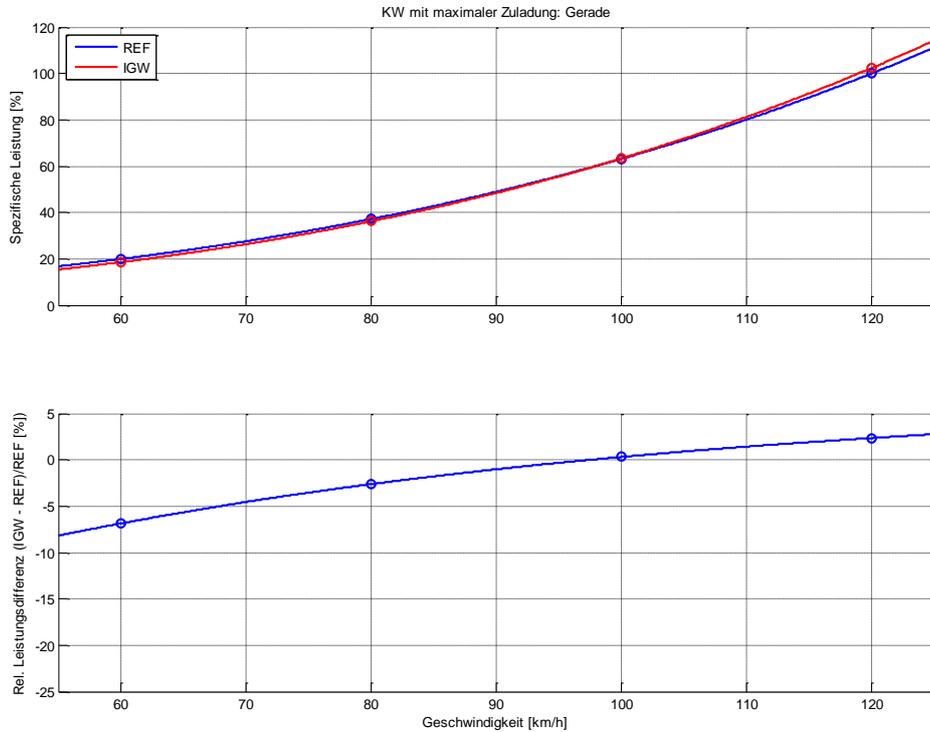


Abbildung 9-6: Spezifische Leistungskurve und rel. Leistungsdifferenz für den Kesselwagen mit maximaler Zuladung (Gerade)

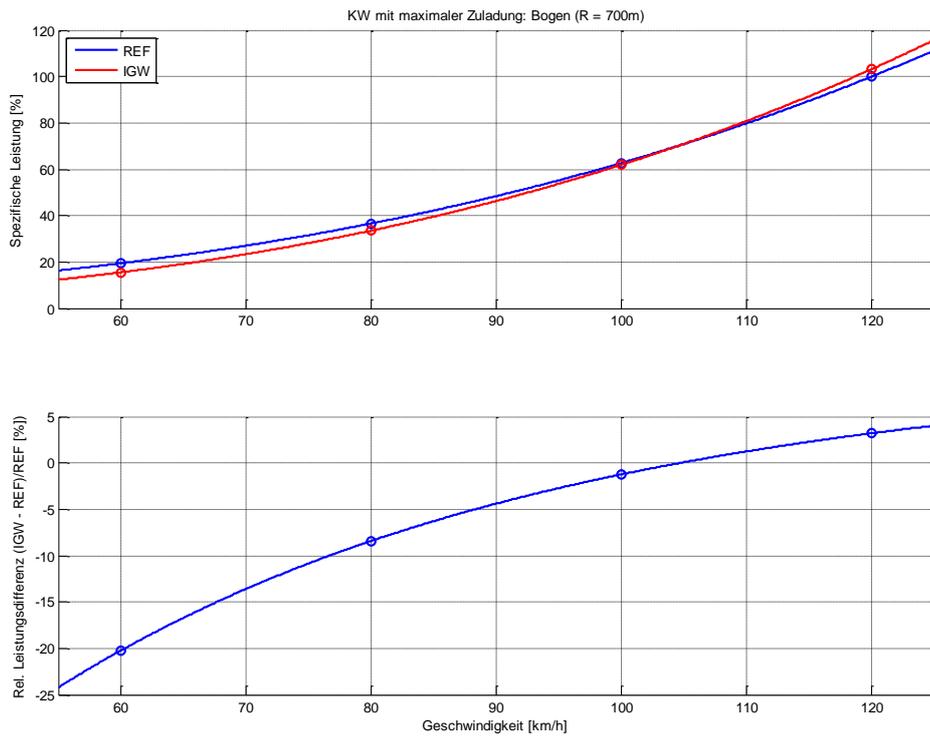


Abbildung 9-7: Spezifische Leistungskurve und rel. Leistungsdifferenz für den Kesselwagen mit maximaler Zuladung (Bogen)

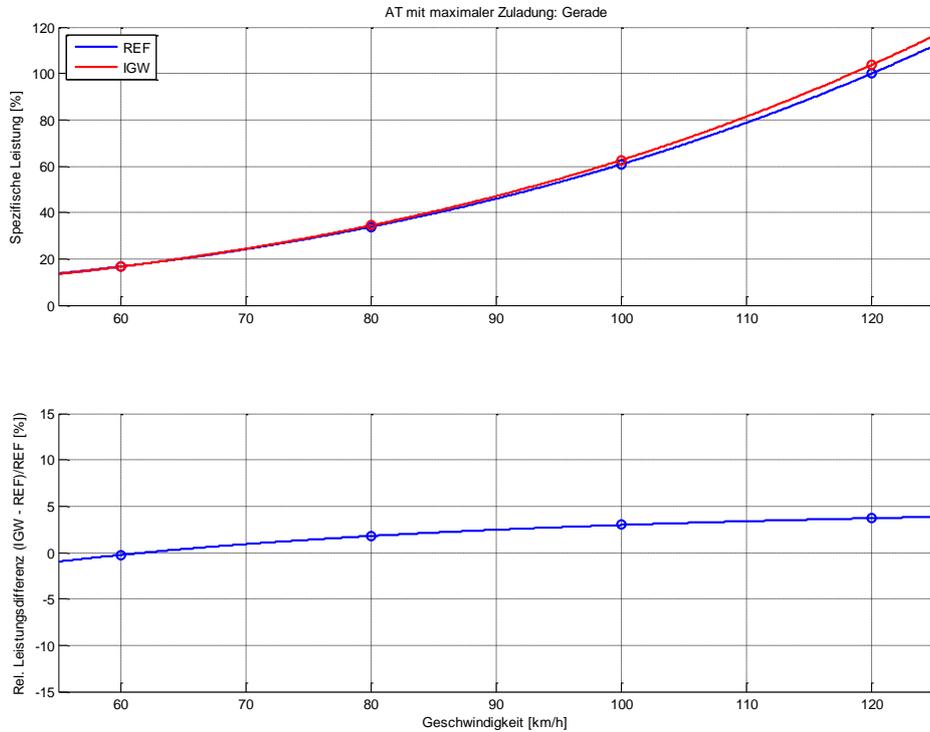


Abbildung 9-8: Spezifische Leistungskurve und rel. Leistungsdifferenz für den Autotransporter mit maximaler Zuladung (Gerade)

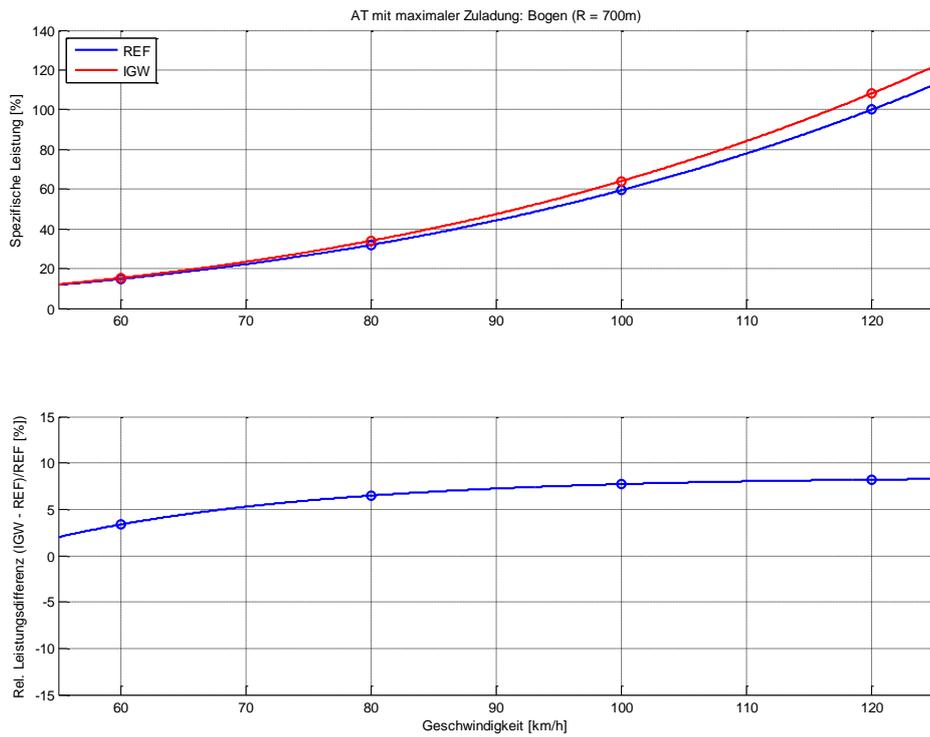


Abbildung 9-9: Spezifische Leistungskurve und rel. Leistungsdifferenz für den Autotransporter mit maximaler Zuladung (Bogen)

## 9.2 Virtuelle Fahrt

Die Ergebnisse der virtuellen Fahrt sind in Tabelle 9-2 dargestellt. Eine ausführlichere Tabelle befindet sich im Anhang K. Alle Werte sind bezogen auf die maximale Zuladung (=maximal zulässiges Gewicht der transportierten Ladung) und die zurückgelegte Strecke. Damit ist die Einheit Prozent von Kilowattstunden pro Tonne Zuladung bei maximaler Beladung und pro Kilometer.

Bei voller Auslastung liegt die Energieersparnis der innovativen Container-, Kessel- und Flachwagen auf einem ähnlichen Niveau (zwischen 2.5% und 3.3%). Der innovative Autotransporter hingegen ist aufgrund seiner größeren Länge und dem höheren Eigengewicht deutlich weniger energieeffizient als der Referenz-Autotransporter (+4.8% bei voller Beladung). Wie bereits im Abschnitt 9.1 erwähnt wird die Wirtschaftlichkeitsbetrachtung zeigen, ob der innovative Autotransporter nicht doch effizienter ist als der Referenzwagen, da er mit diversen Autotypen beladen werden kann.

Es fällt erneut auf, dass Containerwagen und Kesselwagen energieeffizienter sind, sobald die Strecke mehr Bögen beinhaltet, was vermutlich auf die Radialeinstellung zurückzuführen ist. Flachwagen und Autotransporter sind auf einer Strecke mit höherem Bogenanteil weniger effizient als auf einer Strecke mit überwiegend Geraden.

Bei geringerer Auslastung sinkt die Energieeffizienz, da die Effizienzwerte auf die Zuladung bezogen sind. Wenn die Wagen weniger stark ausgelastet sind, wird prozentual ein größerer Anteil der Traktionsenergie für die Fortbewegung der Eigenmasse des Wagens benötigt. Dies verursacht die Abnahme der Energieeffizienz bei geringerer Auslastung.

Beim Containerwagen fällt die Auslastung bei der Betrachtung der Energieeffizienz nicht so stark ins Gewicht wie bei den anderen Fahrzeugen, da die Containerwagen ein verhältnismäßig geringes Eigengewicht haben und das Verhältnis zwischen Leergewicht und maximaler Zuladung am besten ist (geringste Wagenmasse pro Tonne Zuladung). Da der Einfluss der Masseneffekte aus Beschleunigung und Steigungswiderstand größer ist als die Energieersparnis durch die innovativen Maßnahmen, wirkt sich das höhere Fahrzeugleergewicht für den innovativen Flachwagen und den innovativen Autotransporter bei niedriger Auslastung besonders negativ auf die Energieeffizienz aus. Während bei voller Auslastung der BraCoil im Schnitt 3.3% effizienter ist als der Referenzwagen, liegt bei 50% Auslastung keine Energieersparnis mehr vor. Beim Autotransporter ist der prozentuale Mehrverbrauch bei halber Auslastung fast doppelt so hoch wie bei voller Beladung.

Insgesamt ist festzuhalten, dass eine Energieersparnis nicht nur durch eine Verringerung des Laufwiderstands, sondern vor allem auch durch ein geringeres Eigengewicht und eine höhere Auslastung erreicht wird.

Tabelle 9-2: Energieersparnis (Referenz - IGW) berechnet aus virtueller Fahrt

Wagengattung (Vergleich in % von kWh/tkm)	100% Auslastung			50% Auslastung			Mittelwert
	10% Bögen	50% Bögen	Mittelwert	10% Bögen	50% Bögen	Mittelwert	
Containertragwagen	-2.3	-2.7	-2.5	-1.9	-2.3	-2.1	-2.3
Kesselwagen	-2.2	-2.9	-2.6	-1.2	-1.7	-1.4	-2.0
Flachwagen/BraCoil*	-3.5	-3.1	-3.3	-0.2	0.2	0.0	-1.7
Autotransporter	4.3	5.3	4.8	7.8	8.9	8.3	6.6

### 9.3 Lenkverhalten der Radsätze und Drehgestelle

Für die beiden untersuchten Wagentypen Containertragwagen und Kesselwagen (siehe Kapitel 3) ergeben sich für den exemplarisch untersuchten Beladungszustand nachfolgend dargelegte Ergebnisse in Bezug auf das Lenkverhalten.

Abbildung 9-10 und Abbildung 9-11 zeigen den resultierenden Schräglaufwinkel  $\alpha$  (Definition siehe Abbildung 7-9) des führenden Radsatzes am vorlaufenden Drehgestell in Abhängigkeit vom Bogenradius. Niedrigere Werte bedeuten weniger Fehlwinkel und damit ein besseres Lenkverhalten. Die durchgezogenen Verläufe in rot und grün deklarieren den Bereich, der von einem starrachsigen Drehgestell mit 1.8 m Radsatzstand und einem Spurspiel von 12 mm erreicht werden kann: rot im schlechtesten Fall bei Spießgangstellung, grün im bestmöglichen Fall bei äußerer Sehnenstellung. Punkte und Kreuze repräsentieren die Auswertung der Messung. Jeder Punkt bzw. jedes Kreuz beinhalten dabei den Mittelwert eines Vollbogens. Entsprechend den beiden Testringen T1 und T2 des Testgeländes liegen Ergebnisse für die beiden Bogenradien 700 und 300 m vor. Symbole gleicher Farbe unterscheiden sich in der Fahrgeschwindigkeit bzw. der resultierenden freien Seitenbeschleunigung, die nahezu über den gesamten betrieblich relevanten Bereich variiert wurde (siehe Kapitel 6).

#### 9.3.1 Containertragwagen

Beim untersuchten Containertragwagen liegen die resultierenden Schräglaufwinkel des Referenzdrehgestells, dargestellt durch Punkte in Abbildung 9-10, in der unteren Hälfte des starrachsigen möglichen Bereichs.

Die Ergebnisse des innovativen Drehgestells „Niesky DRRS“ unter dem Containertragwagen sind in Abbildung 9-10 durch Kreuze gekennzeichnet. Für den 700m-Bogen zeigt sich mit Kreuzen unterhalb der grünen Kurve ein deutlich besseres Lenkverhalten gegenüber den Punkten des Referenzdrehgestells. Im 300m-Bogen ist zwischen den Kreuzen des Niesky DRRS und den Punkten des Referenzdrehgestells kein nennenswerter Unterschied im Lenkverhalten auszumachen.

Die Ergebnisse der Messungen hinsichtlich des Lenkverhaltens am innovativen und Referenz-Containertragwagen bestätigen somit qualitativ die Erkenntnisse aus den parallel durchgeführten Fahrwiderstands- bzw. Energieverbrauchsmessungen, da die innovativen Containertragwagen im Bogen einen geringeren Energieverbrauch aufweisen.

#### 9.3.2 Kesselwagen

Beim Kesselwagen liegen einige Punkte des Referenzdrehgestells unterhalb der grünen Kurve und damit deutlich besser, als dies ein starrachsiges Drehgestell selbst in äußerer Sehnenstellung erreichen könnte (siehe Kapitel 9.3.3).

Die Kreuze in Abbildung 9-11 beinhalten die Messergebnisse des innovativen Drehgestells „RC25NT“ unter dem Kesselwagen. Sowohl für den 700m- als auch den 300m-Bogen liegen die erzielten Ergebnisse deutlich unterhalb der grünen Kurve und damit besser, als dies mit einem starrachsigen Drehgestell bestenfalls möglich wäre.

Für den 300m- wie auch den 700m-Bogen erzielt das RC25NT ein nahezu vollradiales Lenkverhalten und lenkt damit deutlich besser als das Referenzdrehgestell.

Somit bestätigen die Messungen hinsichtlich des Lenkverhaltens auch für den Kesselwagen qualitativ die Erkenntnisse aus den parallel durchgeführten Fahrwiderstands- bzw. Energieverbrauchsmessungen, da auch die Kesselwagen im Bogen einen geringeren Energieverbrauch aufweisen (bezogen auf die Zuladung).

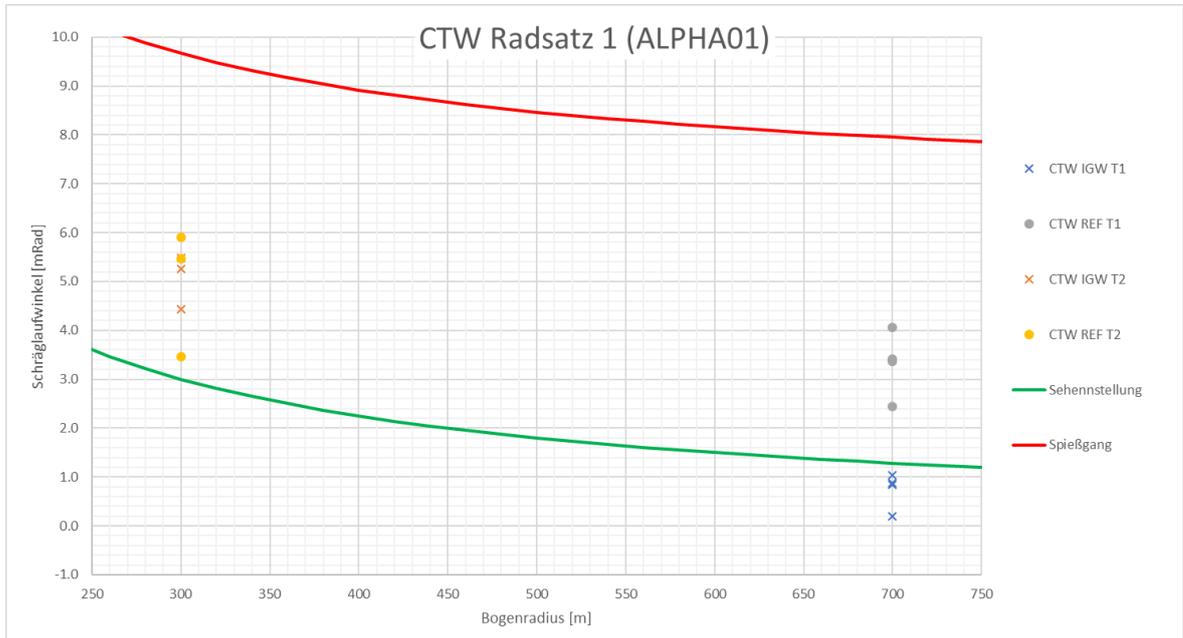


Abbildung 9-10: Schräglaufwinkel  $\alpha$  des vorlaufenden Radsatzes am vorlaufenden Drehgestell für den Containertragwagen

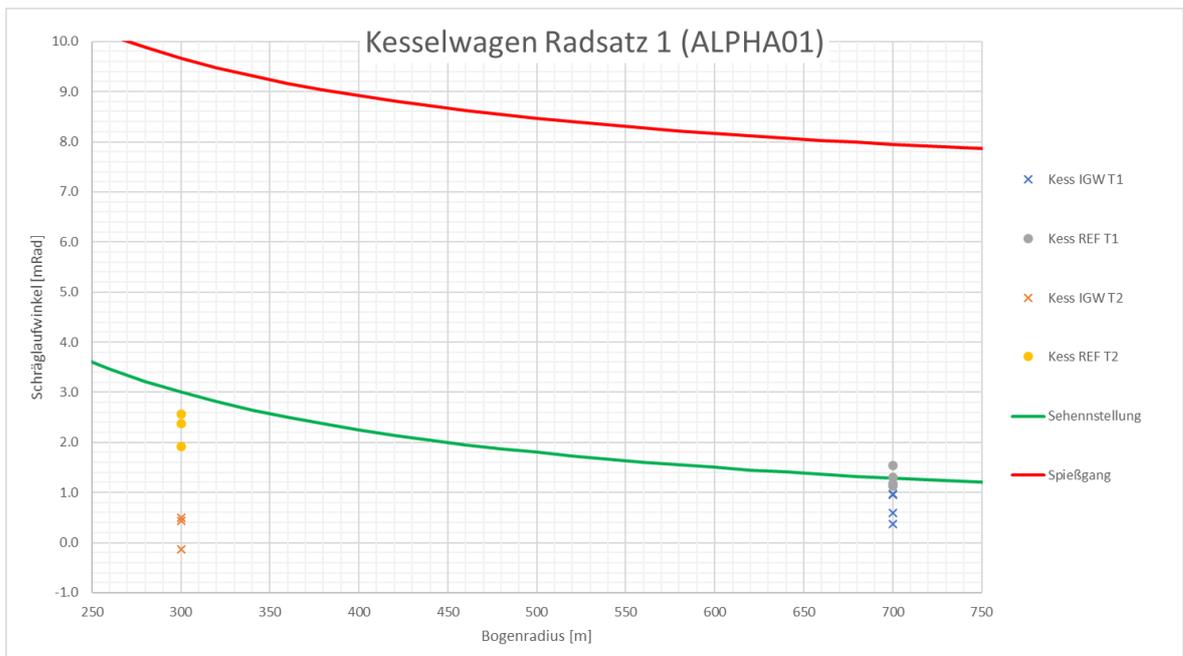


Abbildung 9-11: Schräglaufwinkel  $\alpha$  des vorlaufenden Radsatzes am vorlaufenden Drehgestell für den Kesselwagen

### 9.3.3 Ergänzung zum Lenkverhalten Y-25 Drehgestell

Die Messergebnisse von Referenz-Kessel- und Containertragwagen mit ihrem jeweiligen Referenzdrehgestell (Y25) zeigen, dass die Achsführung des Y25-Drehgestells entgegen ihrer Einordnung als Starrachsdrehgestelle (siehe z.B. Madeyski, Eschenauer und Möller [4]) im Rahmen der konstruktiven Möglichkeiten doch ein bemerkenswertes Lenken zeigen können. Diese Beobachtung deckt sich z.B. mit der Untersuchung von Keudel [5]. Das Konstruktionsprinzip des Y25 lässt bei Anliegen einer entsprechend großen Längskraft konstruktiv ein Rückschieben des Lenoir-Stößels in der Achsführung von bis zu 4 mm nach drehgestellinnen zu. Mit dem Betrieb bzw. Verschleiß des Fahrzeugs kann dieser Wert anwachsen. So zeigt Abbildung 9-12 im roten Verlauf der oberen Grafik ein Rückschieben der Achsführung von ca. 2 mm bei der Einfahrt in den 300m-Bogen. In der Gegenrichtung ist konstruktiv keine Bewegung möglich, was der blaue Verlauf in der oberen Grafik von Abbildung 9-12 bestätigt. 2 mm Längsweg über einen Querabstand der Achsführung von 2 m bedeuten einen Lenkwinkel des Radsatzes gegenüber dem Drehgestellrahmen von 1 mrad. Zur Einschätzung des damit erreichten Lenkens ist anzuführen, dass für die Einzelbetrachtung eines Drehgestells mit 1.8 m Radsatzstand im 300m-Bogen ein Lenkwinkel von 3 mrad vollradiales Lenken bedeutet.

Die vorgenannte Erkenntnis lässt folgenden Rückschluss zu: Der Schienenzustand bzw. die Schienenprofile in den Bögen der Teststringe ermöglichten im Zusammenspiel mit den Radprofilen der Referenzdrehgestelle eine entsprechend große Rollradiendifferenz, die den Aktuator der Lenkbewegung darstellt. Dies ist im gewöhnlichen Gleisnetz nicht jederzeit gegeben.



Abbildung 9-12: Exemplarischer Messausschnitt – Längsweg der Achsführung eines Referenzdrehgestells – Einfahrt in 300m-Bogen

## 10 Literatur

- [1] *Meteorologie und Umwelt*  
G. Warnecke, Springer Verlag, 1991, ISBN 978-3-450-54481-4
  
- [2] *Schienefahrzeugtechnik*  
J. Ihme, Springer Verlag, 2016, Kapitel 2, ISBN 978-3-658-1354C-9
  
- [3] *ISO/IEC Guide 98-3:2008-09*  
*Messunsicherheit - Teil 3: Leitfaden zur Angabe der Unsicherheit beim Messen (GUM)*
  
- [4] *Bewegliche oder in Fahrzeuglängsrichtung starre Radsätze für Güterwagen-Drehgestelle?*  
T. von Madeyski, P. Eschenauer, K. Möller in *Eisenbahningenieur* Nr. 25 (1974) 12
  
- [5] *Untersuchung der lauftechnischen Potentiale von LEILA- gegenüber Y25-Güterwagendrehgestell*  
J. Keudel, 2008, ISBN 978-3-8322-7761-1

## A Koordinatensystem

**Regel 1:** Das untergeordnete Element wird auf das übergeordnete Element bezogen:

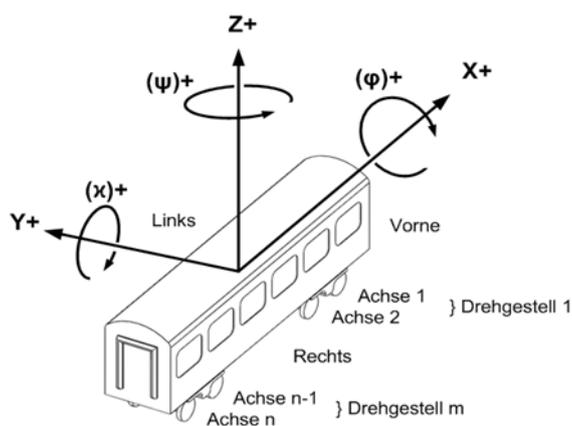
<b>Schiene</b>	bezogen auf	<b>Achse</b>
<b>Achse</b>	bezogen auf	<b>Drehgestell</b>
<b>Achse</b>	bezogen auf	<b>Motor</b>
<b>Motor</b>	bezogen auf	<b>Drehgestell</b>
<b>Motor</b>	bezogen auf	<b>Wagenkasten</b>
<b>Drehgestell</b>	bezogen auf	<b>Wagenkasten</b>

**Regel 2:** Bei der Messung von Wegen zwischen zwei Elementen der gleichen Hierarchiestufe wird das in positiver Richtung liegende Element auf das in negativer Richtung liegende Element bezogen.

**Regel 3:** Kräfte in Koppellementen (Dämpfer, Federn, Rad-Schiene-Kontakt) sind positiv, wenn die Geschwindigkeit bzw. der Weg des Elements positiv ist.

**Regel 4:** Beschleunigungen und Kräfte, die nicht im Zusammenhang mit einem Koppellement stehen, sind positiv, wenn sie das gemessene Objekt in positiver Richtung beschleunigen. Eine Wagenkastenbeschleunigung ist z.B. positiv, wenn der Wagenkasten nach links beschleunigt wird.

Für alle Koordinaten wird ein Fahrzeugfestes Koordinatensystem benutzt. Die x-Achse zeigt dabei nach vorne (Fahrzeugseite 1) und die z-Achse nach oben.



PROSE hat sich aus Gründen der Minimierung von Verwechslungsrisiken (Vorzeichen-fehlern) entschieden, für alle Messungen das gleiche Koordinatensystem zu verwenden. Das Koordinatensystem, das in der PROSE AG für alle Messungen verwendet wird,

basiert auf der EN 12663:2010. Dieses Koordinatensystem entspricht dem im BOStrab Bereich angewendeten System nach VDV Empfehlung 152 vom 9/92. Ebenfalls deckt es sich mit allgemeinen Fahrzeug-Koordinatensystemen, wie sie in DIN 70000 und ISO 8855 festgelegt sind. Abweichend dazu sind einzig die Koordinatensysteme in UIC 518 und EN 14363.

## **B Messprotokolle**

### **B.1 Messprotokoll PCW I**

Energiemessung BMVI - Innovativer Güterwagen	
Thema:	BMVI - Energiemessung
Kunde:	BMVI
Projektnummer:	PDE.508.00

Laufnummerdefinition: TUVWXYZ													
T	U		V		W		X		Y		Z		
Wagengattung	Referenz / Innovativ		Radsatz		Absorber		Ringelement		Lärmschürze		Versuchsart		
Autotransportwagen	A	Referenz	0	Bonatrans	0	ohne Absorber	0	ohne Ringelement	0	ohne Lärmschürze	0	Einfahrt	0
BraCoil S- - Flachwagen	B	IGW	1	Luccini	1	mit Absorber	1	mit Ringelement	1	mit Lärmschürze	1	Einführungsrunde	1
Containertragwagen	C			GHH	2							Akustik	2
Kesselwagen	D											Energie	3
Containert. DG ELH - E	E											Zusatz Akustik - multiple Geschwindigkeiten	4
												Zusatz Akustik - eine Geschwindigkeit	5
												Zusatz Energie	6
												Einführungsrunde 2. Teil	9

Datum	Wagen + Konfiguration	Wagen 1	Wagen 2	LNR	Beschreibung Testablauf	IMC-Exp-Nr.	IMC-Dat-file
Dienstag, 09. Januar 2018	Referenz BraCoil	3180 4868 218-7	3180 4868 524-8	B000003	Umlauf v = 10 km/h Rollwiderstand + 40 km/h	BMVI_AP3_180109-1226	2018-01-09 13-16-42 (1)
				B000002	1x 60 km/h / 3x 80 / 100 / 120 km/h		2018-01-09 13-43-41 (3)
				B000005	1x 80 km/h		2018-01-09 14-55-47 (1)
				B000004	1x 100 / 120 km/h		2018-01-09 15-03-58 (2)
Mittwoch, 10. Januar 2018	Referenz Kesselwagen (GG Sohle)	37 80 7834 191-4	37 80 7834 192-2	K000003	Umlauf v = 10 km/h Rollwiderstand + 40 km/h	BMVI_AP3_180110-0910	2018-01-10 10-38-01 (1)
				K000004	1x 40 / 60 km/h		2018-01-10 11-05-09 (1)
				K000002	3x 80 / 100 / 120 km/h		2018-01-10 11-46-14 (2)
				A000003	Umlauf v = 10 km/h Rollwiderstand + 40 km/h		2018-01-11 10-30-29 (6)
Donnerstag 11. Januar 2018	Referenz Autotransporter Laaers 560	2580 4371372-0	2580 4371415-7	A000002	1x 60 km/h / 3x 80 / 100 / 4x 120 km/h	BMVI_AP3_180111-1019	2018-01-11 11-24-23 (8)
				A000004	1x 80 / 100 / 120 km/h		2018-01-11 12-45-42 (9)
				B100002	3x 80 / 100 / 120 km/h		2018-01-12 11-06-26 (3)
				B100003	Umlauf v = 10 km/h Rollwiderstand + Akustik V = 120 km/h		2018-01-12 11-49-48 (4)
Montag, 15. Januar 2018	IGW Kesselwagen Zacens Konfig 1: RS Lucchini mit Syope-Absorber	37 80 7834 191-4	37 80 7834 192-2	D111002	3x 80 / 100 / 120 km/h	BMVI_AP3_180115-1112	2018-01-15 11-34-15 (2)
				D111003	Umlauf v = 10 km/h Rollwiderstand + 40 km/h		2018-01-15 12-09-47 (3)
				D111004	1x je 80 / 100 / 120 km/h		2018-01-15 12-34-47 (4)
				D110002	2x 80 / 100 / 120 km/h		2018-01-16 13-08-45 (6)
Dienstag, 16. Januar 2018	IGW Kesselwagen Zacens Konfig 2: RS Lucchini ohne Syope-Absorber	37 80 7834 191-4	37 80 7834 192-2	D110003	Umlauf v = 10 km/h Rollwiderstand + 40 km/h	BMVI_AP3_180116-1009-K	2018-01-16 13-37-39 (7)
				D110004	1x 80 / 100 / 120 km/h		2018-01-16 14-05-04 (8)
				----	Einfahrt T1 , 1 Runde V=40 + 1 Runde v=60 km/h		
				B100103	Umlauf v = 10 km/h Rollwiderstand + 40 km/h		2018-01-19 11-49-05 (1)
Freitag, 19. Januar 2018	IGW BraCoil Shammnps Konfig 2: Bonatrans BA320 + Ringelement	3180 4927 003-2	3180 4927 004-0	B100105	3x 120 km/h	BMVI_AP3_180119-1147-BC	2018-01-19 12-08-30 (2)
				B100102	3x 80 / 100 / 120 km/h		2018-01-19 12-23-44 (3)
				B100106	Umlauf v = 10 km/h Rollwiderstand + 40 km/h		2018-01-19 12-59-42 (4)
				B100104	1x 80 / 100 km/h		2018-01-19 13-29-59 (5)
				D100000	Einfahrt T1		2018-01-22 10-42-41 (2)
Montag, 22. Januar 2018	IGW Kesselwagen Zacens Konfig 3: RS Bonatrans/Graf "Glockenrad" R38	37 80 7834 191-4	37 80 7834 192-2	D100001	Einführungsrunde	BMVI_AP3_180117-1200-Kessel	2018-01-22 10-53-07 (3)
				D100005	3x 120 km/h		2018-01-22 11-27-39 (2)
				D100002	3x 80 / 120 / 100 km/h + 1x 60 / 100 km/h		2018-01-22 11-40-50 (1)
				D100003	Umlauf v = 10 km/h Rollwiderstand + 40 km/h		2018-01-22 12-27-07 (2)
				D100004	1x 80 / 100 / 120 km/h		2018-01-22 12-52-09 (3)
				C000000	Einfahrt T1		2018-01-23 13-24-54 (2)
Dienstag, 23. Januar 2018	Referenz Containerwagen SggnS	3780 456 1 185-2	3780 456 1 184-5	C000001	Einführungsrunde + 1x 120 km/h	BMVI_AP3_180117-1200-Container	2018-01-23 13-34-47 (3)
							2018-01-23 14-15-38 (4)
				C000005	2x 120 km/h		2018-01-23 14-33-49 (7)
				C000002	3x 80 / 100 / 120 km/h		2018-01-23 14-44-03 (8)

Datum	Wagen + Konfiguration	Wagen 1	Wagen 2	LNR	Beschreibung Testablauf	IMC-Exp-Nr.	IMC-Dat-file	
Mittwoch, 24. Januar 2018	IGW Kesselwagen Zacens Konfig 4: RS Bonatrans + Ringelement + Absorber	37 80 7834 191-4	37 80 7834 192-2	C000003	Umlauf v = 10 km/h Rollwiderstand + 40 km/h	BMVI_AP3_180123-1000-Kessel	2018-01-23 15-19-16 (9)	
				C000004	2x 80 km/h + 1x 60 km/h		2018-01-23 15-37-18 (10)	
				0	Einfahrt T1		2018-01-24 10-55-01 (4)	
				1	Einführungsrunde		2018-01-24 11-03-44 (5)	
				4	Einführungsrunde + 1.5x 120 km/h		2018-01-24 11-17-37 (2)	
	BraCoil IGW Shammnps Konfig 3: RS GHH + Absorber	31 80 4927 003-2	31 80 4927 004-0	5	3x 120 km/h	BMVI_AP3_180124-1100-Kessel	2018-01-24 11-44-54 (3)	
				B121000	Einfahrt T1	BMVI_AP3_180124-1100-Kessel	2018-01-24 12-27-23 (4)	
				B121001	Einführungsrunde	2018-01-24 12-34-09 (5)		
				B121005	3x 120 km/h	2018-01-24 12-43-11 (6)		
				B121002	3x 80 / 100 / 120 km/h	2018-01-24 12-54-18 (7)		
Donnerstag, 25. Januar 2018	Referenz BraCoil	3180 4868 218-7	3180 4868 524-8	B121004	1x 60 km/h	BMVI_AP3_180124-1100-Kessel	2018-01-24 13-30-31 (8)	
				B121003	Umlauf v = 10 km/h Rollwiderstand + 40 km/h	2018-01-24 13-38-58 (9)		
				8000001	Einfahrt T1 / Einführungsrunde	BMVI_AP3_180117-1200-Container	2018-01-25 13-02-12 (3)	
				8000005	3x 120 km/h	2018-01-25 13-27-32 (4)		
				8000002	3x 80 / 100 / 120 km/h	2018-01-25 13-40-51 (5)		
	Referenz Kesselwagen Zacens	3387 793 2 172-2	3780 793 1 363-1	8000004	1x 60 km/h	BMVI_AP3_180117-1200-Container	2018-01-25 14-21-21 (7)	
				8000003	Umlauf v = 10 km/h Rollwiderstand + 40 km/h	2018-01-25 14-30-58 (8)		
				D000001	Einführungsrunde	BMVI_AP3_180117-1200-Container	2018-01-26 11-38-45 (1)	
				D000005	3x 120 km/h	2018-01-26 12-00-14 (2)		
				D000002	2x 80 / 100 / 120 km/h	2018-01-26 12-15-09 (3)		
Montag, 29. Januar 2018	IGW Kesselwagen Zacens Bonatrans mit Ringelement + Absorber	3780 7834 191-4	3780 7834 192-2	D000003	Umlauf v = 10 km/h Rollwiderstand + 40 km/h	BMVI_AP3_180117-1200-Container	2018-01-26 12-40-31 (4)	
				D000004	1x 80 / 100 / 120 / 60 km/h	2018-01-26 12-59-47 (5)		
				D101100	Einfahrt T1	BMVI_AP3_180124-1100-Kessel	2018-01-29 10-34-18 (8)	
				D101101	Einführungsrunde	2018-01-29 10-41-36 (9)		
				D101105	3x 120 km/h	2018-01-29 11-04-25 (10)		
	IGW CTW Bonatrans mit Ringelement + Absorber	37 80 4576 781-1	37 80 4576 783-7	D101102	2x 80 / 100 / 120 km/h	BMVI_AP3_180124-1100-Kessel	2018-01-29 11-21-34 (11)	
				D101103	Umlauf v = 10 km/h Rollwiderstand + 40 km/h	2018-01-29 11-45-58 (12)		
				D101104	1x 80 / 100 / 120 / 60 km/h	2018-01-29 12-04-06 (13)		
				C101100	Einfahrt T1	BMVI_AP3_180124-1100-Kessel	2018-01-29 13-27-02 (17)	
				C101101	Einführungsrunde	2018-01-29 13-34-54 (18)		
Dienstag, 30. Januar 2018	IGW CTW Bonatrans mit Ringelement OHNE Absorber	37 80 4576 781-1	37 80 4576 783-7	C101102	3x 80 / 100 / 120 km/h	BMVI_AP3_180124-1100-Kessel	2018-01-29 13-45-31 (20)	
				C101103	Umlauf v = 10 km/h Rollwiderstand + 40 km/h	2018-01-29 14-20-59 (21)		
				C100100	Einfahrt T1	BMVI_AP3_180124-1100-Kessel	2018-01-30 10-37-21 (1)	
				C100101	Einführungsrunde	2018-01-30 10-44-06 (3)		
				C100102	3x 80 / 100 / 120 km/h + 1x 60 km/h	2018-01-30 11-06-53 (4)		
	Donnerstag, 01. Februar 2018	IGW CTW Bonatrans mit Ringelement OHNE Absorber + Lärmschürze	37 80 4576 781-1	37 80 4576 783-7	C100103	Umlauf v = 10 km/h Rollwiderstand + 40 km/h	BMVI_AP3_180124-1100-Kessel	2018-01-30 11-55-53 (5)
					C100104	1x 80 / 100 / 120 km/h + Zusatzumlauf	2018-01-30 12-14-29 (6)	
					C100110	Einfahrt T1	BMVI_AP3_180124-1100-Kessel	2018-02-01 10-17-22 (2)
					C100111	Einführungsrunde	2018-02-01 10-22-44 (3)	
					C100112	3x 80 / 100 / 120 km/h + 1x 60 km/h	2018-02-01 10-48-03 (4)	
Freitag, 02. Februar 2018	IGW Kesselwagen "Zacens" - Bonatrans + Lärmschürze	37 80 7834 192-2	37 80 7834 191-4	C100114	1x 80 / 100 / 120 km/h + Zusatzumlauf wegen DG Sinuslauf	BMVI_AP3_180124-1100-Kessel	2018-02-01 11-51-57 (7)	
				C100113	Umlauf v = 10 km/h Rollwiderstand + 40 km/h	2018-02-01 12-10-37 (8)		
				D100110	Einfahrt T1	BMVI_AP3_180124-1100-Kessel	2018-02-02 10-17-01 (3)	
				D100111	Einführungsrunde	2018-02-02 10-26-57 (4)		
				D100113	Umlauf v = 10 km/h Rollwiderstand + 40 km/h	2018-02-02 10-47-28 (5)		
	Referenz BraCoil "Sahmms 711"	3180 4868 524-8	3180 4868 218-7	D100112	3x 80 / 100 / 120 km/h + 2x 100 / 80 km/h	BMVI_AP3_180124-1100-Kessel	2018-02-02 11-22-54 (6)	
				D100114	1x 60 / 80 / 100 / 120 km/h	2018-02-02 12-23-43 (7)		
				8000000	Einfahrt T1	BMVI_AP3_180205-1047-BC		
				8000001	Einführungsrunde	2018-02-05 11-31-40 (4)		
				8000002	6 x 120 / 100 / 80 km/h + 1x 60 / 120 km/h	2018-02-05 12-49-24 (5)		
Montag, 05. Februar 2018	Referenz BraCoil "Sahmms 711"	3180 4868 524-8	3180 4868 218-7	8000003	Umlauf v = 10 km/h Rollwiderstand + 40 km/h	BMVI_AP3_180205-1047-BC	2018-02-05 12-49-24 (5)	

Datum	Wagen + Konfiguration	Wagen 1	Wagen 2	LNR	Beschreibung Testablauf	IMC-Exp-Nr.	IMC-Dat-file
Montag, 05. Februar 2018	IGW Autotransporter "Laers 561 (4 RS)", RS Bonatrans (TVP- Standard)	25 80 4382 001-2	25 80 4382 002-0	A100000	Einfahrt T1	BMVI_AP3_180205-1047-BC	
				A100001	Einführungsrunde		
				A100002	Einführungsrunde + 4 x 120 / 3x 100 / 3x 80 km/h		2018-02-05 14-06-17 (1)
				A100003	Umlauf v = 10 km/h Rollwiderstand + 40 km/h		2018-02-05 14-55-00 (2)
Dienstag, 06. Februar 2018	IGW Autotransporter "Laers 561 (4 RS)", RS Bonatrans mit Ringelement "BA 370"	25 80 4382 001-2	25 80 4382 002-0	A100101	Einführungsrunde	BMVI_AP3_180206-1040	2018-02-06 11-08-48 (3)
				A100102	6x 120 / 100 / 80 / 60 km/h		2018-02-06 11-25-33 (4)
				A100103	Umlauf v = 10 km/h Rollwiderstand + 40 km/h		2018-02-06 13-12-34 (5)
					Foto halt + 1x 120 km/h		2018-02-06 13-42-20 (6)
				A111001	Einführungsrunde		2018-02-09 11-09-59 (4)
				A111002	6x 120 / 100 / 80 km/h		2018-02-09 11-23-47 (5)
Freitag, 09. Februar 2018	IGW Autotransporter "Laers 561 (4 RS)", RS Luccini mit Absorber "BA 371"	25 80 4382 001-2	25 80 4382 002-0	A111003	Umlauf v = 10 km/h Rollwiderstand + 40 km/h	BMVI_AP3_180209-0900	2018-02-09 12-39-06 (7)
							2018-02-09 13-38-22 (8)
	Referenz BraCoil "Sahmms 711"	3180 4868 524-8	3180 4868 218-7	1	Einführungsrunde	BMVI_AP3_180209-0900	2018-02-09 13-55-23 (9)
				B000004	2x 120 km/h + 1x 100 km/h + 3x 80 km/h		
Dienstag 13. Februar 2018	IGW Containertragwagen "Sggss (4RS)", DG "ELH" RS Bonatrans mit Ringelement mit Absorber "BA 371"	3780 4576 781-1	3780 4576 783-7	E101100	Einfahrt T1	BMVI_AP3_180209-0900	2018-02-13 12-48-43 (3)
				E101101	Einführungsrunde - erste Messung		2018-02-13 12-55-54 (4)
				E101109	Einführungsrunde - Neustart		2018-02-13 13-01-52 (1)
				E101102	6x 120 /100 / 80 km/h		2018-02-13 13-12-08 (2)
				E101103	Umlauf v = 10 km/h Rollwiderstand + 40 km/h		2018-02-13 14-30-33 (3)

## B.2 Übersicht aller Messtage PCW I

KW	Datum	Wagentyp	Konfiguration	Bemerkung
2	09.01.2018	Flachwagen „BraCoil“	Referenzwagen	(Flachstellen)
	10.01.2018	Kesselwagen	Referenzwagen	(Graugusssohlen)
	11.01.2018	Autotransport-Wagen	Referenzwagen	
	12.01.2018	Flachwagen „BraCoil“	RS Bonatrans „BA 303“	
3	15.01.2018	Kesselwagen	RS Luccini „R60“ mit Syope-Absorber	
	16.01.2018	Kesselwagen	RS Luccini „R60“ ohne Syope-Absorber	
	16.01.2018	Containertragwagen	Referenzwagen	(Flachstellen)
	19.01.2018	Flachwagen „BraCoil“	RS Bonatrans „BA 320“ mit Ringelement	
4	22.01.2018	Kesselwagen	RS Bonatrans „R38“	
	23.01.2018	Containertragwagen	Referenzwagen	
	24.01.2018	Kesselwagen	RS Bonatrans „R61“ mit Ringelement und Absorber	(Aufkleber auf den Laufflächen)
	24.01.2018	Flachwagen „BraCoil“	RS GHH „BA 308“ mit Absorber	
	25.01.2018	Flachwagen „BraCoil“	Referenzwagen	(Flachstellen)
	26.01.2018	Kesselwagen	Referenzwagen	neue Bremssohlen
5	29.01.2018	Kesselwagen	RS Bonatrans „R61“ mit Ringelement und Absorber	
	29.01.2018	Containertragwagen	RS Bonatrans „R61“ mit Ringelement und Absorber	
	30.01.2018	Containertragwagen	RS Bonatrans „R61“ mit Ringelement ohne Absorber	
	01.02.2018	Containertragwagen	RS Bonatrans „R61“ mit Ringelement ohne Absorber + Lärmschürze (Stahl)	
	02.02.2018	Kesselwagen	RS Luccini „R61“ mit Syope-Absorber + Lärmschürze	
6	05.02.2018	Flachwagen „BraCoil“	Referenzwagen	
	05.02.2018	Autotransport-Wagen	RS Bonatrans „BA 375“	
	06.02.2018	Autotransport-Wagen	RS Bonatrans „BA 370“ mit Ringelement	
	09.02.2018	Autotransport-Wagen	RS Lucchini „BA 371“ mit Absorber	
	09.02.2018	Flachwagen „BraCoil“	Referenzwagen	Wiederholung 80 km/h vom 05.02.18 mit gedrehtem Wagen
7	13.02.2018	Containertragwagen	DG ELH (RS Bonatrans „R61“ mit Ringelement))	
	16.02.2018	Autotransport-Wagen	RS Bonatrans „BA 370“ mit Ringelement + Lärmschürze	

## B.4 Messprotokoll PCW II

Datum	Testring	Wagen	Beschreibung Testablauf	IMC-Exp-Nr.	IMC-Dat-file	Auswertehinweise
12.10.2018	T1	AT Ref	Plausibilisierung	BMVI-2018-10-12_a		
			Plausibilisierung	BMVI-2018-10-12_b	2018-10-12 12-51-13 (1)	40 km/h, 130 km/h
			Plausibilisierung	BMVI-2018-10-12_b	2018-10-12 14-08-56 (1)	110 km/h, 130 km/h, Ausrollversuch
			Plausibilisierung	BMVI-2018-10-12_c		
			Plausibilisierung	BMVI-2018-10-12_d	2018-10-12 15-53-48 (1) 2018-10-12 16-03-42 (1)	32 km/h und 120 km/h
			Plausibilisierung	BMVI-2018-10-12_e		
16.10.2018	T2	KW Ref	IBN Messaufbau T2	BMVI-2018-10-16_c	1	
			IBN Messaufbau T3	BMVI-2018-10-16_e	1	am km 0,6 T2 Abgleich s_a und Fz, Wag. Gerade
			IBN Messaufbau T2	BMVI-2018-10-16_e	2	
				BMVI-2018-10-16_f	1	FZ MB reduziert. Auf 200kN, erneut Abgleich
			80 km/h, 60 km/h, 40 km/h	BMVI-2018-10-16_f	3	10kN/80km/h , 9kN/60km/h
17.10.218	T1	KW Ref	Kalibrierung /tarrierung Stand	BMVI-2018-10-17_a	1	
			Ausfahrt zum Schlüsselpkt T1	BMVI-2018-10-17_a	2	
			11* 120km	BMVI-2018-10-17_b	1	12 kN@120,
			6*100km , 6*80 , 5*60	BMVI-2018-10-17_b	2	10kN@100, 8kN@80 , 7 kN@60
			Ausrollversuch ab 2.8 km SR aus	BMVI-2018-10-17_b	3	V_ini=115 km/h bis 2.6 40 km/h
			Rollwiderstand	BMVI-2018-10-17_b	4	Start 1.6 km, max 10 km/h
			Ruckfahrt Abstellung	BMVI-2018-10-17_b	5	relevant für s_a
			Tarrirerung	BMVI-2018-10-17_b	6	Stand Ausstellgleis
			11*120, 6*100km , 6*80 , 5*60	BMVI-2018-10-17_b	12	zusammengefasst aus File 1 und 2
			Eigengewicht Messkupplung	BMVI-2018-10-17_b	7	Stand Ausstellgleis
17.10.2108	T1	AT Ref	im Stillstand. Wagen aufgelaufen	BMVI-2018-10-17_c	1	im stand
			1x40 km/h, 10x120 km/h, 6x100 km/h, 5x80km/h, 3x60km/h	BMVI-2018-10-17_c	2	17.5 kN@120km/h, 14 kN@100 km/h, 9.5 kN@80 km/h, 7 kN@60 km/h
			Rollwiderstand	BMVI-2018-10-17_c	3	start 1.6 km, max 10 km/h, 8kN@4 km/h
18.10.2108	T1	KW IGW	Ausfahrt zum Schlüsselpkt T1	BMVI-2018-10-18_a	3	a_q tarriert im Stand
			120/100/80/60	BMVI-2018-10-18_a	4	12 kN@120km/h, 9 kN@100 km/h, 6,5kN@80 km/h, 6 kN@60 km/h
			Ausrollversuch ab 2.8 km SR aus	BMVI-2018-10-18_a	5	
			10 km/h test bis Schlüsselpkt.	BMVI-2018-10-18_a	6	strakes schwappen des Wassers
			Ruckfahrt Abstellung	BMVI-2018-10-18_a	7	
18.10.2108	T1	AT IGW	Kupplung Eigengewicht	BMVI-2018-10-18_a	8	
			Abgleich Fz und Tarierung s_k_m	BMVI-2018-10-18_b	1	Kupplung hängt durch
			10x120km/h, 6x100km/h,4x80km/h	BMVI-2018-10-18_b	2	18 kN@120km/h, 14kN@100km/h, 9 kN@80 km/h
			Abgleich Fz und Tarierung s_k_m	BMVI-2018-10-18_b	3	Stillstand. Kupplung entlastet
			3x60 km/h	BMVI-2018-10-18_b	4	7 kN
			10 km/h test + Ausrollversuch	BMVI-2018-10-18_b	5	

Datum	Testring	Wagen	Beschreibung Testablauf	IMC-Exp-Nr.	IMC-Dat-file	Auswertehinweise
			Abgleich Fz und Trierung s_k_m + Eigengewicht	BMVI-2018-10-18_b	6	Eigengewicht am Filenede nach dem Abgleich
			10x120km/h, 6x100km/h,4x80, 3x60 km/h	BMVI-2018-10-18_b	24	zusammengefügt aus File 2 und 4
19.10.2108	T2	KW IGW	Abstellung Kessel IGW	BMVI-2018-10-19_a		Trierung s_a und FZ zuvorerfolgt
			Abstellung Kessel IGW	BMVI-2018-10-19_b	2	
			T2 10x 40km/h	BMVI-2018-10-19_b	7	
			T2 10x 80, 10x60 ; 3x40, 25kV aus wahren 40 km/H Fahrt	BMVI-2018-10-19_b	8	
			T2 10x 80, 10x60 ; 13x40	BMVI-2018-10-19_b	78	zusammengefügt aus File 7 und 8
22.10.2108	T1	CTW IGW	CTW IGW IBN Stand Aufstellung	BMVI-2018-10-22_a	2	
			CTW IGW IBN Stand Aufstellung / Trierung	BMVI-2018-10-22_a	3	
			CTW IGW T1	BMVI-2018-10-22_a	4	
			CTW IGW Ausfahrt Aufstellung / Schluselpkt.	BMVI-2018-10-22_b	1	
				BMVI-2018-10-22_b	2	
			CTW IGW 10x 120 / 6x100 / 5x80 / 3X 60	BMVI-2018-10-22_b	3	Schiene feucht nach 5 Runden trocken gefahren
			CTW IGW 10km/h + Ausrollversuch	BMVI-2018-10-22_b	4	Schiene trocken
CTW IGW von Schluselpkt ruckwärts geschoben	BMVI-2018-10-22_b	5				
23.10.2018	T1	FW Ref	Bracoil ref	BMVI-2018-10-23_a	1	Schiene trocken
			Bracoil ref Einfahrt + EinfuhrungsrundeT1	BMVI-2018-10-23_a	2	windig
			Bracoil ref 2x 120 ;	BMVI-2018-10-23_a	3	sonnig
			Bracoil ref 10x 120km/h ;8x 100 ; 6x 80 , 5x 60	BMVI-2018-10-23_a	4	vor start s_k_m Magnet nach unten versetzt
			Anfahrt 1.6 10kN + Ausrollversuch	BMVI-2018-10-23_a	5	
			Bracoil ref	BMVI-2018-10-23_a	6	
			Bracoil ref	BMVI-2018-10-23_a		
23.10.2018	T1	FW IGW	Bracoil IGW	BMVI-2018-10-23_b	2	trocken
			Bracoil IGW Ausfahrt T1	BMVI-2018-10-23_b	3	trocken
			Bracoil IGW 10x120, 8x100, 6x80,5x60	BMVI-2018-10-23_b	5	
			Bracoil IGW 10km/h + Ausrollversuch	BMVI-2018-10-23_b	6	
			Bracoil ref	BMVI-2018-10-23_b		
24.10.2018	T2	CTW IGW	CTW IGW Abstellung Trierung	BMVI-2018-10-24_a	1,2,3	Niesel , Nebel, Schiene feucht
			CTW IGW Rangierfahrt Abstellung zu T2	BMVI-2018-10-24_a	4	bei Wiedereinschalten der Lok Offset neustart IMC danach ok
			CTW IGW Zufahrt T2 + Einfuhrungsrunde	BMVI-2018-10-24_a	5	
			CTW IGW 10x80 km/h , 8x 60 , 5x40	BMVI-2018-10-24_a	6	Schiene nass , Nieselregen
	T1	CTW Ref	CTW REF Abstellung stand Tarr	BMVI-2018-10-24_b	2	leichter Niesel, Schiene feucht
			CTW Ref T1 Ausfahrt Abstellung zu T2	BMVI-2018-10-24_b	3	
			CTW Ref T1 Beschleunigung auf 120km , 10x 120, 5x100, 5x80, 3x60	BMVI-2018-10-24_b	4	Schiene trocken, bedeckt, kein Regen

Datum	Testring	Wagen	Beschreibung Testablauf	IMC-Exp-Nr.	IMC-Dat-file	Auswertehinweise
			CTW REF T1 10km/h +Ausroll	BMVI-2018-10-24_b	5	nach 2.Runde 100 setzt Nieselregen ein, Runden mit 80 km/h Schiene noch feucht, 60km/h Runden Schiene trocken
				BMVI-2018-10-24_b		Schiene trocken, bedeckt, kein Regen
25.10.2018	T2	CTW Ref	CTW Ref T2 stand Aufstellung + Rangierfahrt zu T2	BMVI-2018-10-25_a	2	bedeckt, Schiene trocken
			CTW Ref T2 Auffahrt zu T2 + Einführungsrunde	BMVI-2018-10-25_a	4	bedeckt, Schiene trocken
			CTW Ref T2 10x 80km/h, 8x 60 , 5x 40	BMVI-2018-10-25_a	5	bedeckt, Schiene trocken
			CTW Ref T2 keine Messfahrt	BMVI-2018-10-25_a	6	bedeckt, Schiene trocken

## C Messausrüstung PCW I

Die eingesetzten Messgeräte unterliegen einem Prüfmittelmanagement entsprechend den Vorgaben der Norm DIN EN ISO / IEC 17025.

### C.1 Messgrößen PCW I

Abbildung C-1 zeigt schematisch die Messgrößen und Messpositionen während der ersten Messkampagne im PCW. In Anhang C.2 sind alle Messgrößen aufgelistet.

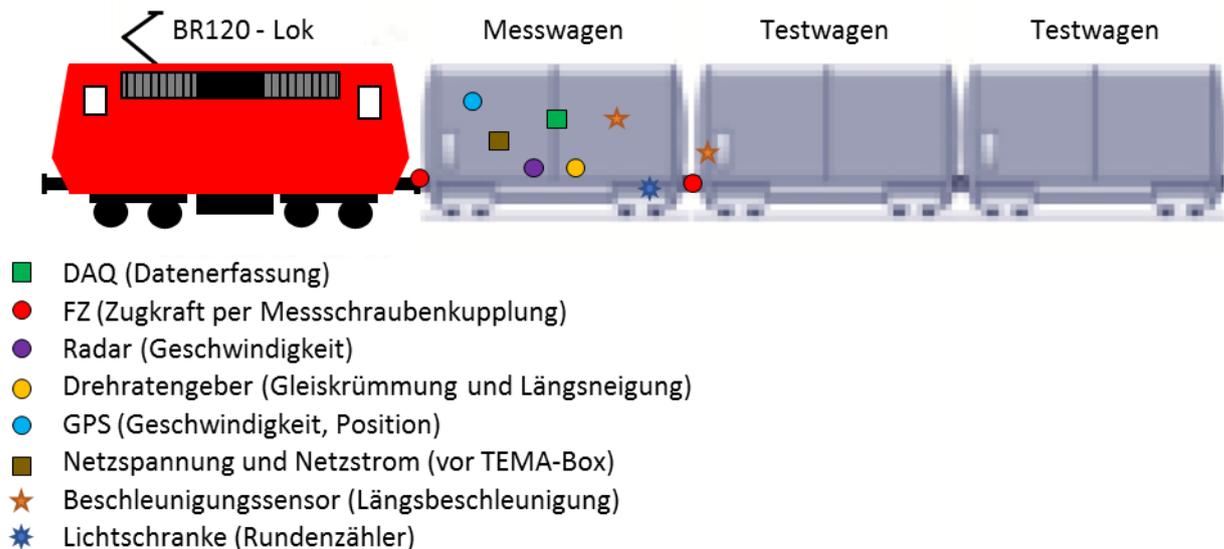


Abbildung C-1: Schematische Messpositionen PCW I

Der zurückgelegte Weg wurde online aus der Integration des Radargeschwindigkeitssignals (VXC1) berechnet.

```
v_r=(Median5(VXC1))/3.6 ; v Radar geglättet 5 Werte in m/s  
s_r=Integral(v_r)
```

Die Berechnung wurde mittels Infrastrukturdaten vom PCW verifiziert

## C.2 Sensoren PCW I

Signal Name	Benennung	Anschluss per Modul	Skalierungs faktor	Kopplung	Filter	Filtertyp	Abtastzeit	Mess-Modul Serien-Nr.	Sensor Typ	Sensor Serien-Nr.	Kalibriert bis
AXC1	Längsbeschleunigung (X) am Messwagen Ende 2 mitte	[01] IN05	48.947626040137052 m/s <sup>2</sup> /V	DC	20 Hz	Tiefpass	1 ms	154708	Kistler / Typ: KI 8310A10	2010269	02.07.2019
AXC2	Längsbeschleunigung (X) am 1. Güterwagen Ende 1 mitte	[01] IN06	48.97159647404505 m/s <sup>2</sup> /V	DC	20 Hz	Tiefpass	1 ms	154708	Kistler / Typ: KI 8310A10	2004060	02.07.2019
GPS_height	Koordinate Height	RS232					1 ms		Garmin / Typ: GPS18x-5Hz	190037	N/A
GPS_latitude	Koordinate Latitude	RS232					1 ms		Garmin / Typ: GPS18x-5Hz	190037	N/A
GPS_longitude	Koordinate Longitude	RS232					1 ms		Garmin / Typ: GPS18x-5Hz	190037	N/A
GPS_speed	GSP Geschwindigkeit	RS232					1 ms		Garmin / Typ: GPS18x-5Hz	190037	N/A
I_Netz	Netzstrom Lok TEMA-Box	[03] IN02	120 A/V	DC		AAF	1 ms	150332	direkt		N/A
IEff	RMS Netzstrom Lok	virtuell					250 ms				N/A
KMK1	Zugkraft zw. Lok - Messwagen	[02] IN01	204.91803278688525 kN/"mV/V"	Vollbrücke	20 Hz	Tiefpass	1 ms	151260	Typ: 350 Ohm (CEA-06-125UT-350)	MK003	23.11.2020
KMK2	Zugkraft zw. Messwagen - Güterwagen	[02] IN02	-203.41741253051259 kN/"mV/V"	Vollbrücke	20 Hz	Tiefpass	1 ms	151260	Typ: 350 Ohm (CEA-06-125UT-350)	MK002	15.12.2020
Lichtschrank	Lichtschranke für Erkennung km-Marke Null am Testring	[01] IN07	-1 V/V	DC		AAF	0.5 ms	154708	SICK / Typ: WL12L-2B530	50433	N/A
LS_0km_STR	Marker Strecken-km 0	virtuell					0.5 ms				N/A
P	Wirkleistung Lok	virtuell					250 ms				N/A
Pft	Momentanleistung Lok	virtuell					1 ms				N/A
s_r_km	Lfd. Strecken Km Testring	virtuell					1 ms				N/A
U_Netz	Netzspannung Lok TEMA-Box	[03] IN01	100 V/V	DC		AAF	1 ms	150332	dierkt		N/A
UEff	RMS Netzspannung Lok	virtuell					250 ms				N/A
VXC1	Fahrzeuggeschwindigkeit über Grund	[02] IN05	15 km/h/V	DC	20 Hz	Tiefpass	1 ms	151260	Datron / Typ: Microstar	21.0339	10.04.2019
WYC1	Drehrate um Y- Achse	[00] IN07	785 mrad/sec/V	DC	20 Hz	Tiefpass	1 ms	155571	Systron Donner / Typ: HZ1-90-100A	0074820	20.04.2023
WZC1	Drehrate um Z- Achse ( Bogenerkennung)	[00] IN08	780.454 mrad/sec/V	DC	20 Hz	Tiefpass	1 ms	155571	Systron Donner / Typ: HZ1-90-100A	79215	21.04.2021

Abbildung C-2 bis Abbildung C-8 zeigen die Sensoren im eingebauten Zustand.



Abbildung C-2: Messkonfiguration Lok + Messwagen + 1. Güterwagen + 2. Güterwagen



Abbildung C-6: Fahrzeuggeschwindigkeitssensor Radar



Abbildung C-3: TEMA Box Anschluß für U\_Netz + I\_Netz

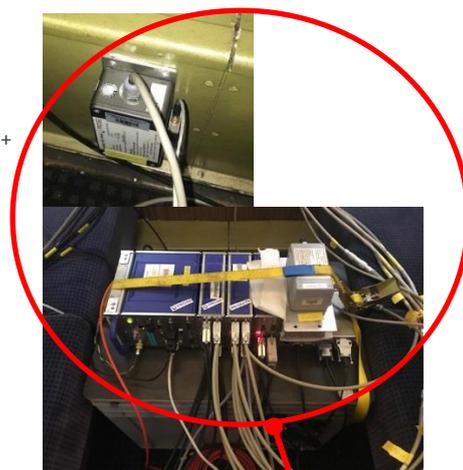


Abbildung C-7: Aufzeichnungssystem incl. Drehtatengeber im Innenraum des Messwagens



Abbildung C-4: Lichtschranke am Messwagen Ende 2



Abbildung C-5: a\_q (Inklinometer)

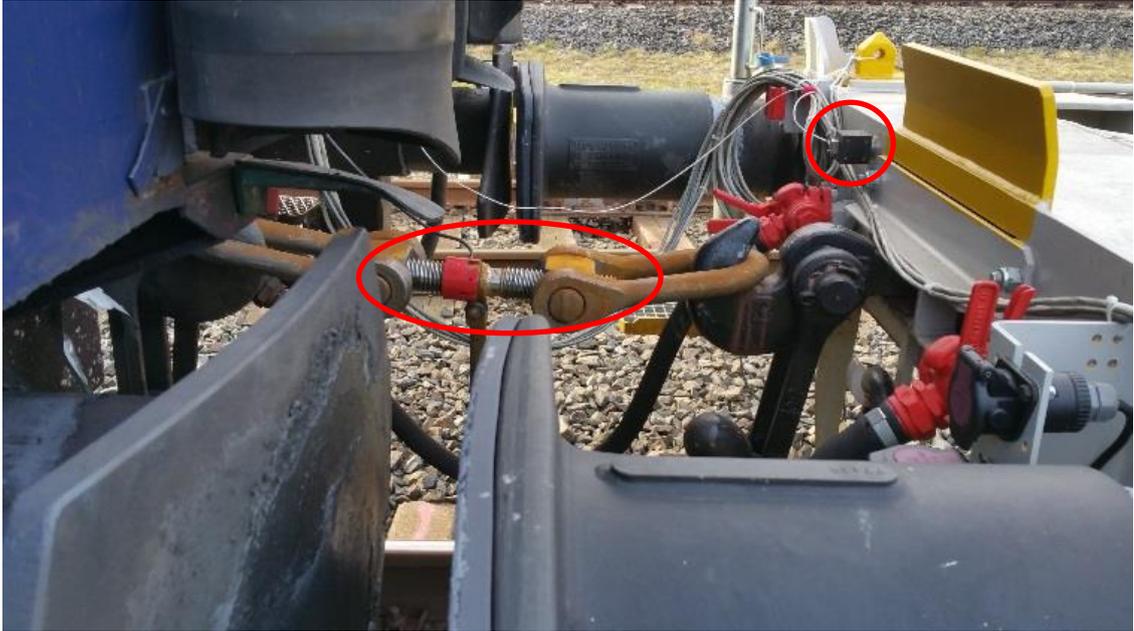


Abbildung C-8: Beschleunigung (AXC2) und Messschraubenkupplung (KMK)

### C.3 Aufzeichnung PCW I

Alle Daten wurden mit dem modularen Messsystem imc Cronos Flex 2000G, S-Nr. 190037, aufgezeichnet. Die verwendeten Messkarten sind in Tabelle C-1 aufgelistet.

Tabelle C-1: Datenerfassung PCW I

Signalname	Sensortyp	Seriennummer	Kalibriert bis:
Datenerfassung:	Hersteller: IMC Typ: CRFX/UNI2-8	151260	11.02.2019
Datenerfassung	Hersteller: IMC Cronos Flex - Modul	154708	01.12.2018
Datenerfassung	Hersteller: IMC Typ: CRFX/DCB2-8	155571	22.06.2019
Datenerfassung	Hersteller: IMC Typ: CRONOSflex 2000G	190037	30.06.2019

## D Messausrüstung PCW II

Die eingesetzten Messgeräte unterliegen einem Prüfmittelmanagement entsprechend den Vorgaben der Norm DIN EN ISO / IEC 17025.

### D.1 Messgrößen PCW II

Abbildung D-1 zeigt schematisch die Messgrößen und Messpositionen während der zweiten Messkampagne im PCW. In Tabelle D-1 sind alle Messgrößen aufgelistet.

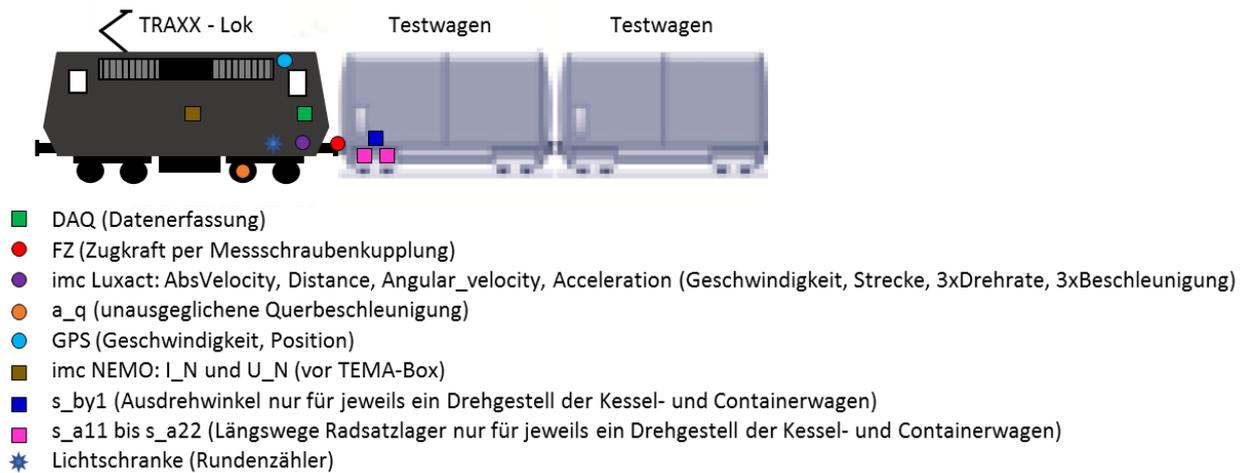
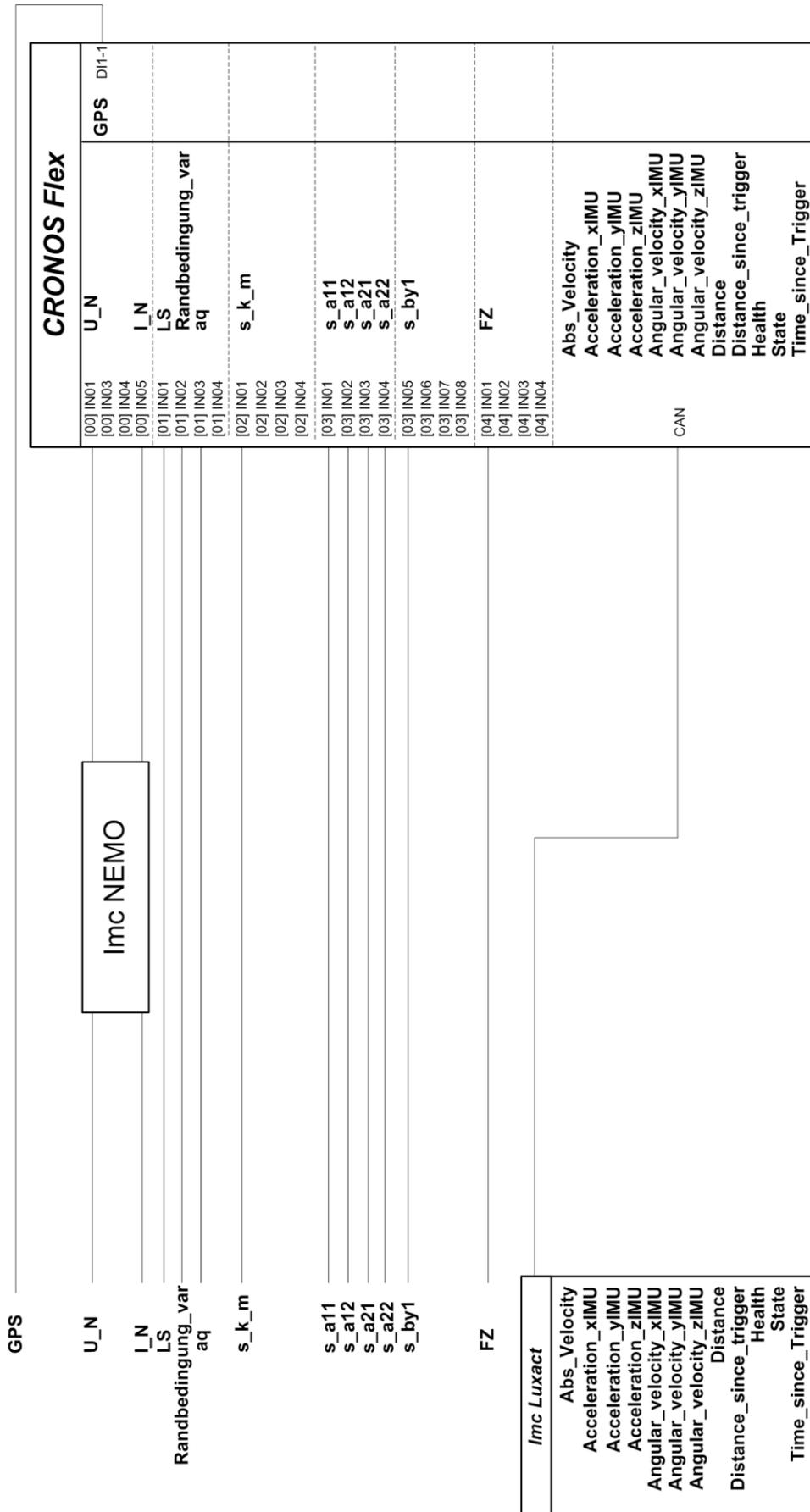


Abbildung D-1: Schematische Messpositionen PCW II

Tabelle D-1: Messgrößen PCW II

Signalname	Beschreibung	Messposition
a_q	unausgeglichene Querb beschleunigung	Lokomotive, 1. Achse DG2, rechts
AbsVelocity	Geschwindigkeit	Lokomotive, Fußtritt am Puffer hinten rechts
Acceleration_xIMU	Beschleunigung x-Richtung	integriert in Geschwindigkeitssensor
Acceleration_yIMU	Beschleunigung y-Richtung	integriert in Geschwindigkeitssensor
Acceleration_zIMU	Beschleunigung z-Richtung	integriert in Geschwindigkeitssensor
Angular_velocity_xIMU	Drehrate um x-Achse	integriert in Geschwindigkeitssensor
Angular_velocity_yIMU	Drehrate um y-Achse	integriert in Geschwindigkeitssensor
Angular_velocity_zIMU	Drehrate um z-Achse	integriert in Geschwindigkeitssensor
Distance	zurückgelegte Strecke	integriert in Geschwindigkeitssensor
Distance_since_trigger	zurückgelegte Strecke ab Lichtschranke	integriert in Geschwindigkeitssensor
FZ	mechanische Zugkraft	Messschraubenkupplung zwischen Lokomotive und erstem Wagen
Health	Signalqualität des Geschwindigkeitssensors	integriert in Geschwindigkeitssensor
I_N	Oberleitungsstrom	aus der TEMA-Box
LS	Lichtschranke (Sender und Empfänger)	Lokomotive, Fußtritt am Puffer hinten rechts
Randbedingung_var	logische Wettersituation	Umschalter
s_a11	Seilweggeber Längsweg Radsatzlager x-Richtung	Radsatzlager 1.Achse DG1, rechts
s_a12	Seilweggeber Längsweg Radsatzlager x-Richtung	Radsatzlager 1.Achse DG1, links
s_a21	Seilweggeber Längsweg Radsatzlager x-Richtung	Radsatzlager 2.Achse DG1, rechts
s_a22	Seilweggeber Längsweg Radsatzlager x-Richtung	Radsatzlager 2.Achse DG1, links
s_by1	Seilweggeber y-Richtung (Ausdrehung im Bogen)	Ende DG1
s_k_m	Seilweggeber Kupplungslänge x-Richtung	über Messschraubenkupplung
State	Status des Geschwindigkeitssensors	integriert in Geschwindigkeitssensor
Time_since_trigger	Zeit ab Lichtschranke	integriert in Geschwindigkeitssensor
U_N	Oberleitungsspannung	aus der TEMA-Box
GPS	GPS Signale (Länge, Breite, Höhe, Geschwindigkeit)	Lokomotive hinten rechts oberhalb vom Fenster

## D.2 Signallaufplan PCW II



Aufnahmegerät

Verstärkung

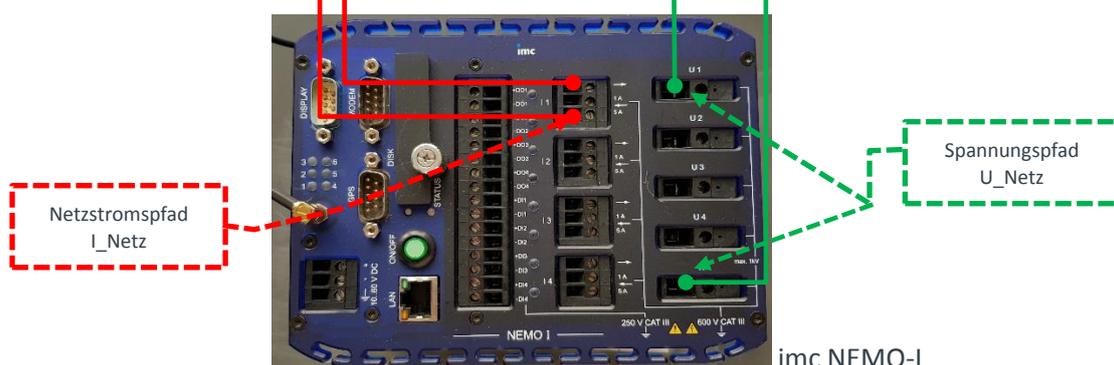
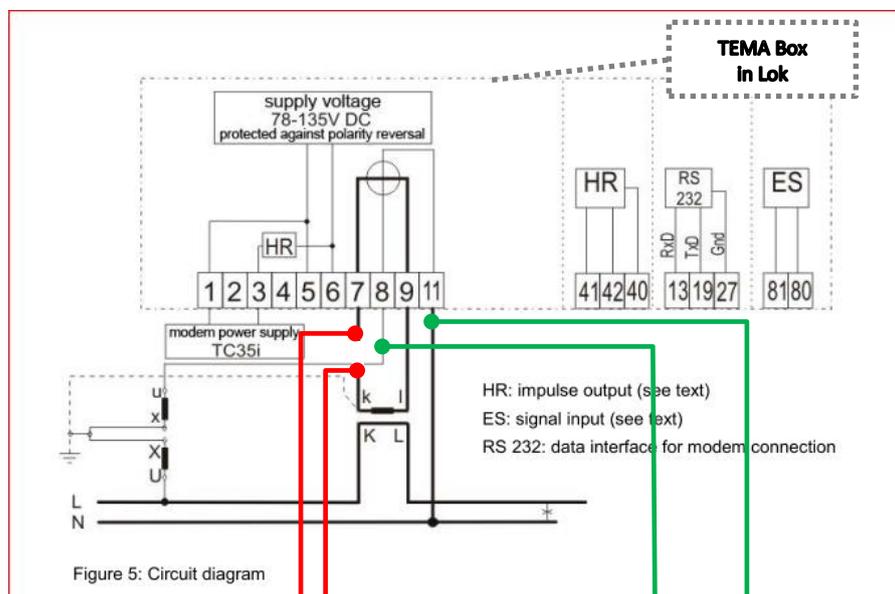
Sensoren

### D.3 Sensoren PCW II

Die verwendeten Sensoren sind in Tabelle D-2 aufgeführt. Abbildung D-2 bis Abbildung D-8 zeigen die Sensoren im eingebauten Zustand.

Tabelle D-2: Sensoren PCW II

Signalname	Sensor	Seriennummer	Kalibriert bis
a_q	Inklinometer Midori PMP-15TA-V07	022373017	13.09.2021
AbsVelocity, Acceleration, Angular Velocity, Distance	imc Luxact 1D	LXTNF-064	09.04.2023
FZ	PROSE Messschraubenkupplung	MK002	23.11.2020
U_N, I_N	imc NEMO-I	140998	26.03.2023
LS	SICK WL12L-2B530	1018252	N/A
Randbedingung_var	PROSE Wettersituationssimulator	20121025-01	N/A
s_a11	Kuebler D5.3502.A221.0000	527649	15.04.2022
s_a12	Kuebler D5.3502.A221.0000	527645	15.04.2022
s_a21	Kuebler D5.3502.A221.0000	527642	15.04.2022
s_a22	Kuebler D5.3502.A221.0000	527648	15.04.2022
s_by1	Kuebler D5.3502.A221.0000	527641	15.04.2022
s_k_m	ASM WS10-500-R1K-L10-SBO-KAB3M	WS0910263662	N/A
GPS	Garmin GPS 18-5Hz	19P002128	N/A



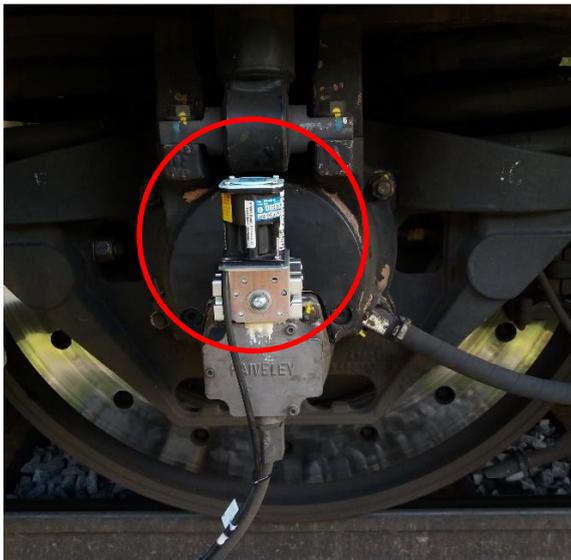


Abbildung D-2: a\_q (Inklinometer)



Abbildung D-3: Luxact und Lichtschranke

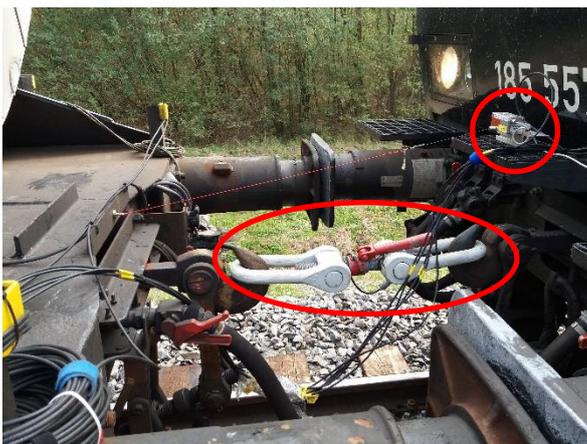


Abbildung D-4: Seilweggeber ASM und  
Messschraubenkupplung



Abbildung D-5: GPS

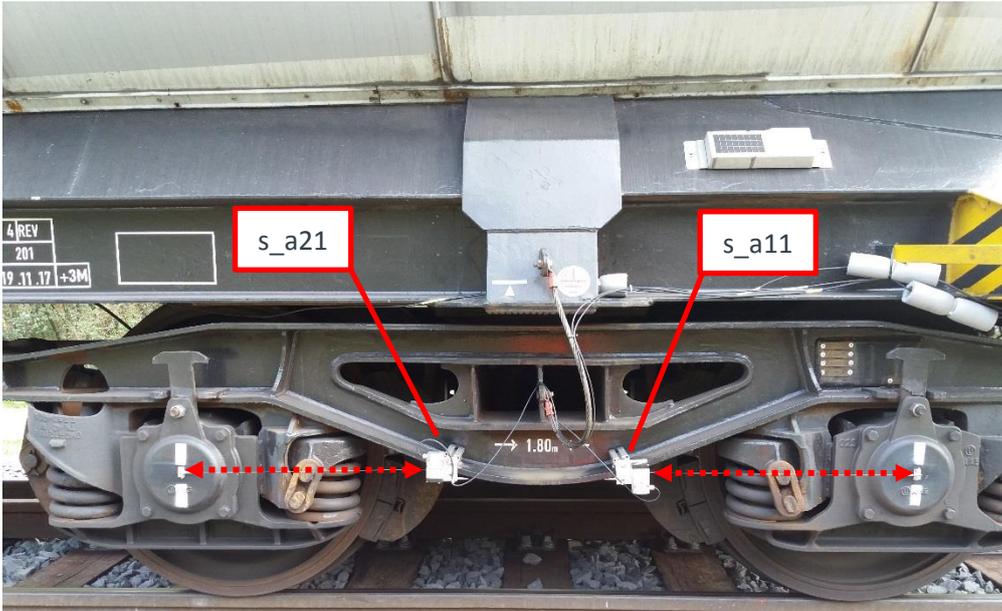


Abbildung D-6: Seilweggeber Längsweg Radsatzlager x-Richtung, rechts

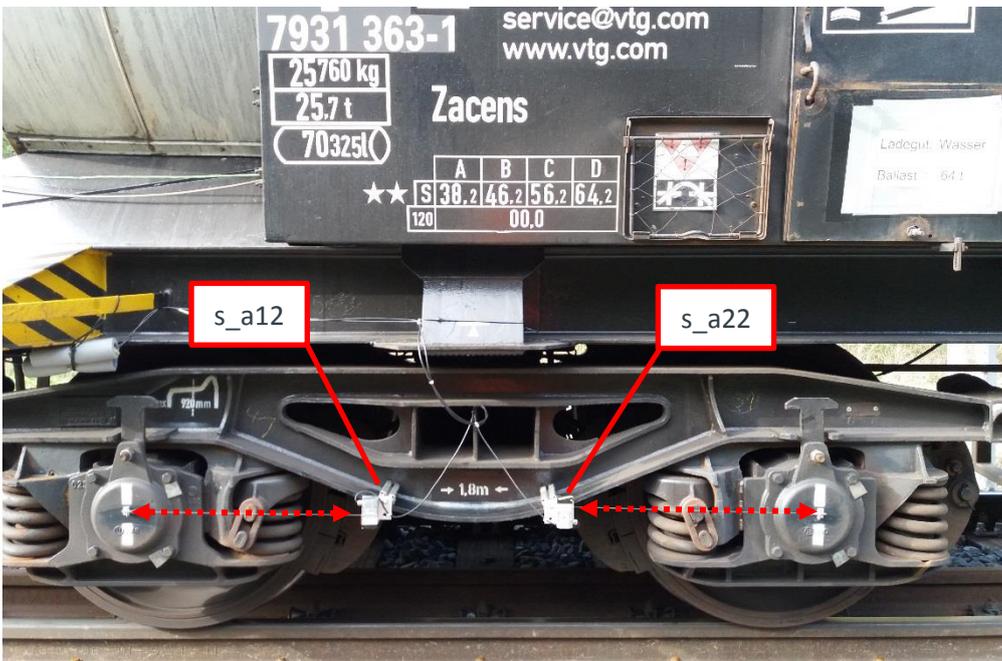


Abbildung D-7: Seilweggeber Längsweg Radsatzlager x-Richtung, links



Abbildung D-8: Seilweggeber y-Richtung (Ausdrehung im Bogen)

## D.4 Aufzeichnung PCW II

Alle Daten wurden mit dem modularen Messsystem imc Cronos Flex 2000GPI, S-Nr. 191048, aufgezeichnet. Die verwendeten Messkarten sind in Tabelle D-3 aufgelistet. Die Kanaleinstellungen sind in Tabelle D-4 zu finden.

Tabelle D-3: Datenerfassung PCW II

Gerät	Modulnr.	Serien-Nr.	Kalibrierdatum
imc Cronos Flex 2000GPI		191048	28.03.2018
imc Cronos Flex DCB2-8	[03]	155136	11.03.2016
imc Cronos Flex DCB2-8	[02]	154115	19.06.2015
imc Cronos Flex DCB2-8	[04]	158826	03.07.2018
imc Cronos Flex UNI-4	[01]	151989	30.06.2016

Tabelle D-4: Einstellungen Signalaufzeichnung PCW II

Signalname	Skalierungsfaktor	Kopplung	Grenzfrequenz Tiefpassfilter	Abtastrate
a_q	1.2903 (m/s <sup>2</sup> )/V	DC	10 Hz	100 Hz
AbsVelocity	0.01 (km/h)/V	Digital		100 Hz
Acceleration_xIMU	0.01 (m/s <sup>2</sup> )/V	Digital		100 Hz
Acceleration_yIMU	0.01 (m/s <sup>2</sup> )/V	Digital		100 Hz
Acceleration_zIMU	0.01 (m/s <sup>2</sup> )/V	Digital		100 Hz
Angular_velocity_xIMU	0.01 deg/s/V	Digital		100 Hz
Angular_velocity_yIMU	0.01 deg/s/V	Digital		100 Hz
Angular_velocity_zIMU	0.01 deg/s/V	Digital		100 Hz
Distance	0.001 m/V	Digital		100 Hz
Distance_since_trigger	0.001 m/V	Digital		100 Hz
FZ	203.4174 kN/(mV/V)	DC Vollbrücke	10 Hz	100 Hz
Health		Digital		100 Hz
I_N	600 A/A	AC		10 kHz
LS	1 V/V	DC		1 kHz
Randbedingung_var	1 V/V	DC		100 Hz
s_a11	200 mm/V	DC	10 Hz	100 Hz
s_a12	200 mm/V	DC	10 Hz	100 Hz
s_a21	200 mm/V	DC	10 Hz	100 Hz
s_a22	200 mm/V	DC	10 Hz	100 Hz
s_by1	200 mm/V	DC	10 Hz	100 Hz
s_k_m	52.6316 mm/V	DC	10 Hz	100 Hz
State		Digital		100 Hz
Time_since_trigger	1E-05 s/V	Digital		100 Hz
U_N	150 V/V	DC		10 kHz
GPS		Digital		5 Hz

## E Verwiegung PCW II

Ergebnis der Verwiegung um 5. Oktober 2018 für PCW II.

Wagen	Kategorie	Unternehmen	Wagengattung	Wagennummer	Gewicht [t]
1	Referenzwagen	DB Cargo	Laaers 560	2580 4371 415-7	56,21
2	Referenzwagen	DB Cargo	Laaers 560	2580 4371 372-0	58,16
3	IG	DB Cargo	Laaers 561	2580 4382 001-2	61,01
4	IG	DB Cargo	Laaers 561	2580 4382 002-0	64,43
5	Referenzwagen	DB Cargo	Sahmms 711	3180 4868 524-8	104,77
6	Referenzwagen	DB Cargo	Sahmms 711	3180 4868 218-7	100,44
7	IG	DB Cargo	BraCoil Shammnps	3180 4927 002-4	106,05
8	IG	DB Cargo	BraCoil Shammnps	3180 4927 004-0	105,32
9	Referenzwagen	VTG Rail Europe	Sggns	3780 4561 184-5	89,31
10	Referenzwagen	VTG Rail Europe	Sggns	3780 4561 185-2	88,77
11	IG	VTG Rail Europe	Sggns	3780 4576 781-1	89,23
12	IG	VTG Rail Europe	Sggns	3780 4576 782-9	89,13
13	Referenzwagen	VTG Rail Europe	Zacens	3387 7932 172-2	86,64
14	Referenzwagen	VTG Rail Europe	Zacens	3780 7931 363-1	84,43
15	IG	VTG Rail Europe	Zacens	3780 7834 190-6	89,83
16	IG	VTG Rail Europe	Zacens	3780 7834 191-4	86,18
<b>Summe</b>					<b>1359,9</b>

Quelle: DB Systemtechnik

## F Streckentopographie PCW

### F.1 Testring 1

Die maximale Geschwindigkeit auf dem Testring 1 beträgt 120 km/h. Die Strecke ist 6.0821 km lang. In Abbildung F-1 sind die Streckeninformationen dargestellt. Abbildung F-2 zeigt den Verlauf der Streckentopographie.

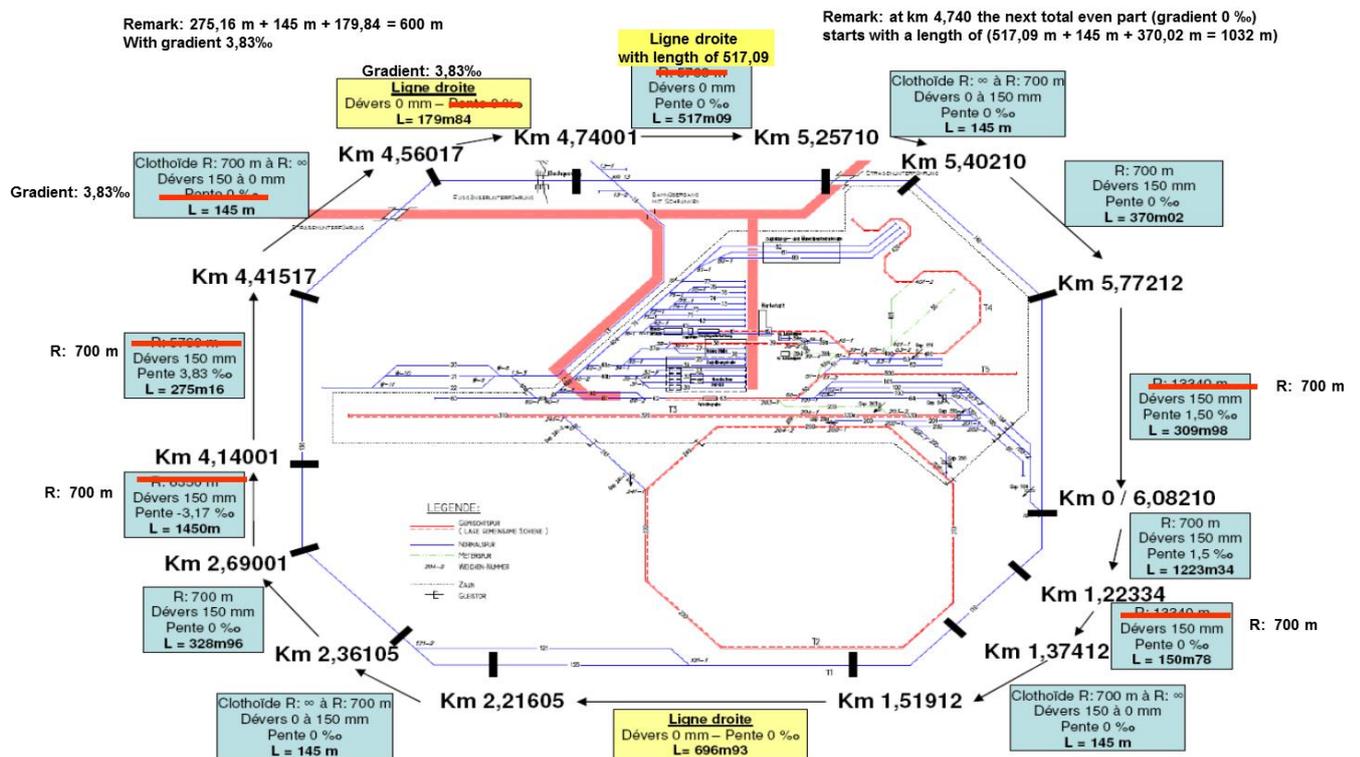
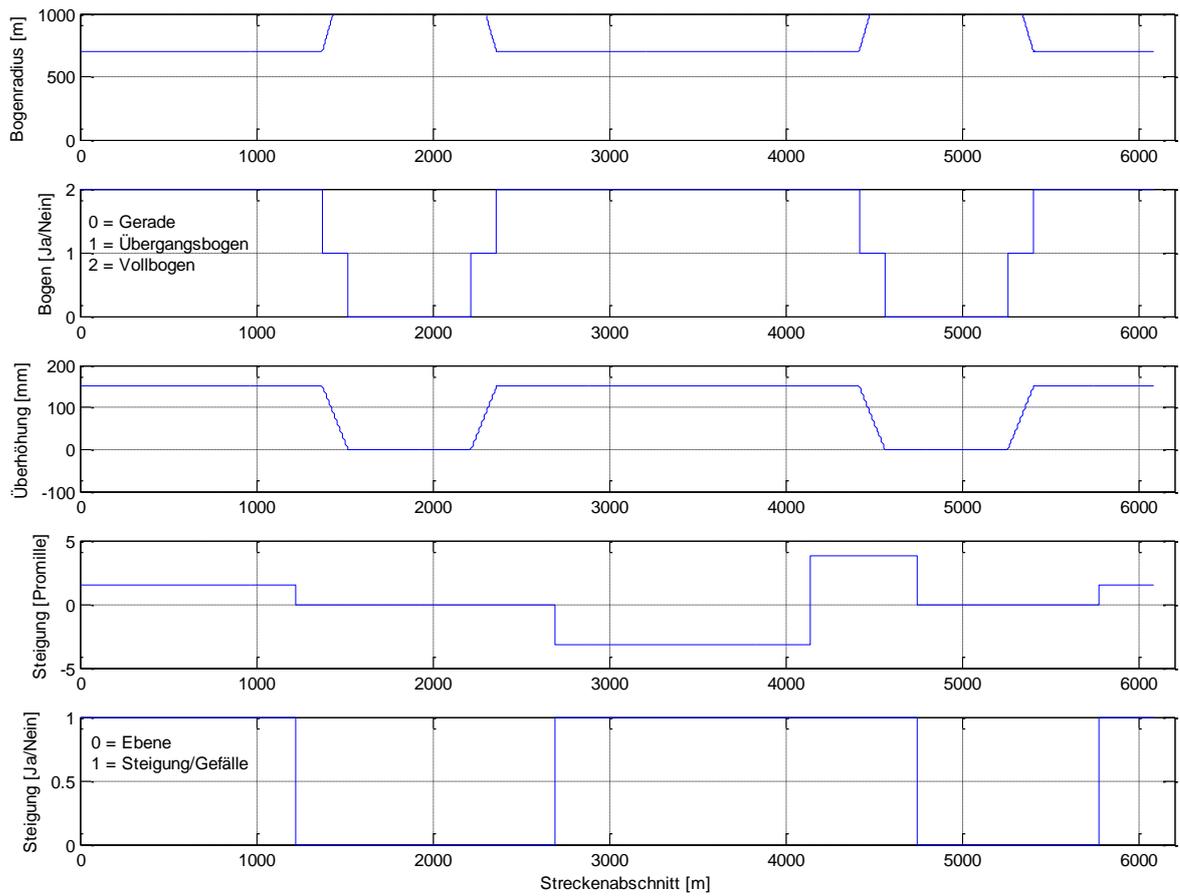


Abbildung F-1: Streckendaten Testring 1 (Quelle: Siemens)

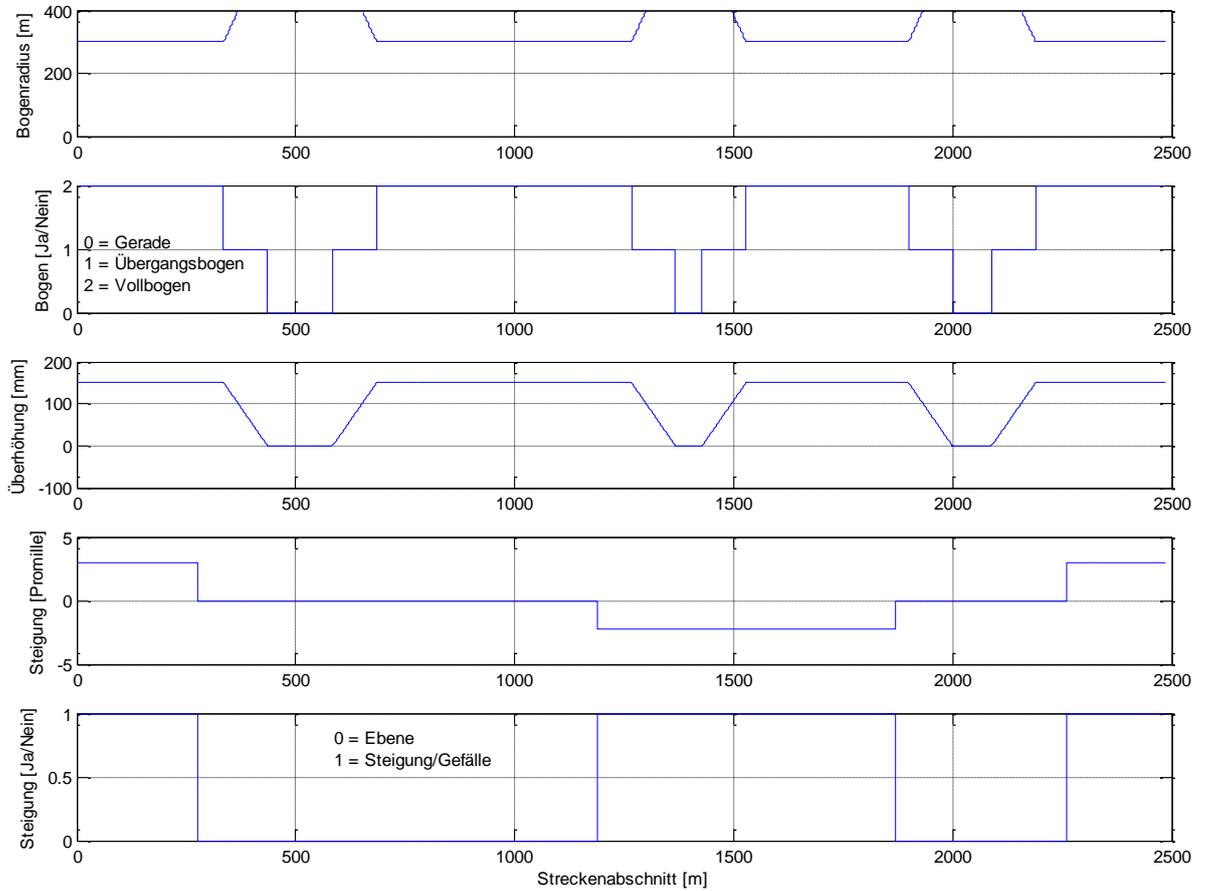


SJH22227.fig 19-Feb-2019 17:26:43

Abbildung F-2: Streckentopographie Testring 1

## F.2 Testring 2

Die maximale Geschwindigkeit auf dem testring 2 beträgt 80 km/h. Die Strecke ist 2.48521 km lang. Der Verlauf der Streckentopographie ist in Abbildung F-3 dargestellt.



SJH22228.fg 19-Feb-2019 17:24:14

Abbildung F-3: Streckentopographie Testring 2

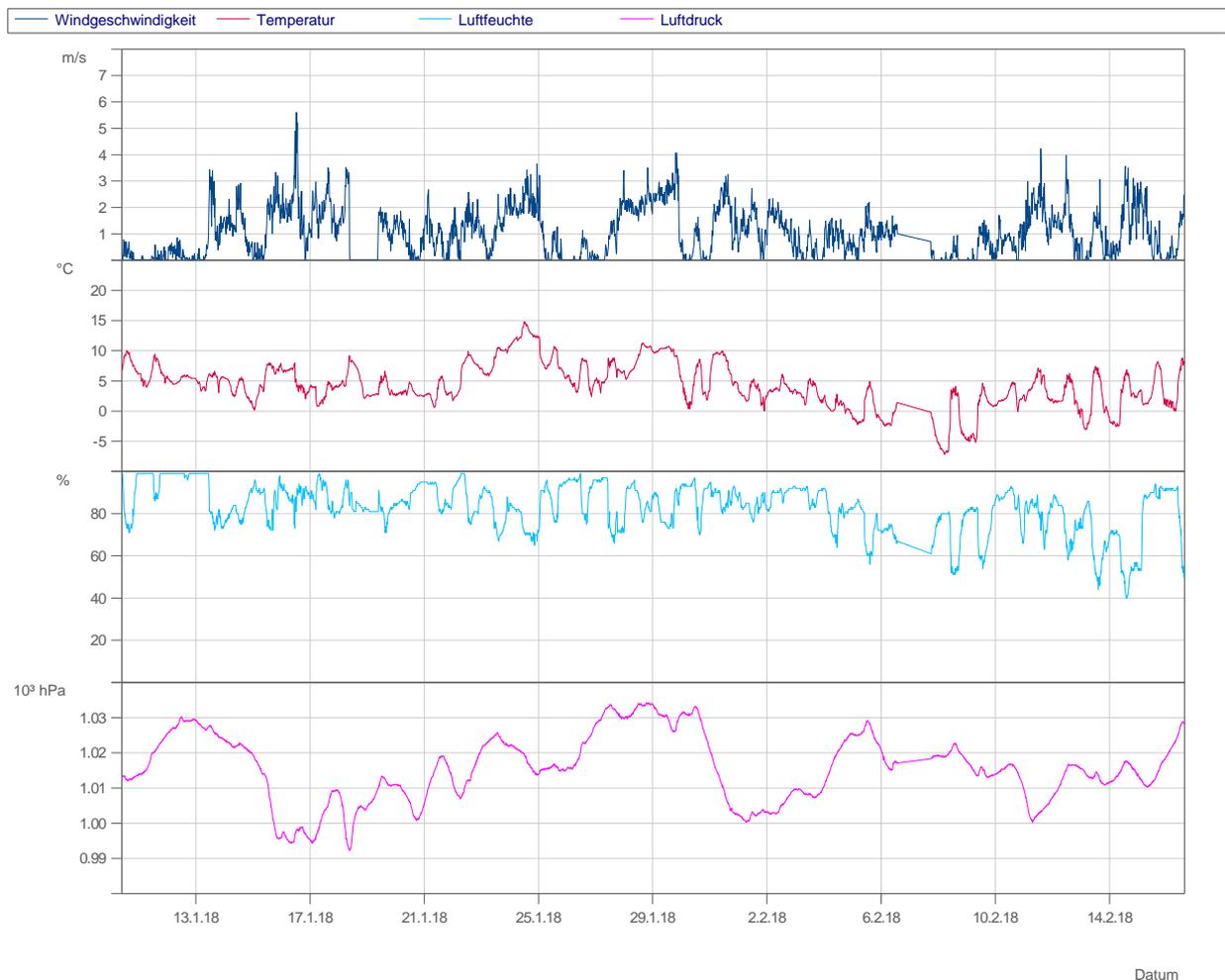
## G Wetterdaten

### G.1 Wetterdaten während PCW I

Die Wetterdaten wurden mit einer Renkforce Funkwetterstation an zwei verschiedenen Orten entlang Testring 1 aufgezeichnet, nämlich an der TSI Noise Messstelle bei Streckenkilometer 4.6 (Abbildung G-3) und im südwestlichen Bogen an der Lärmmessstelle bei Streckenkilometer 2.9 (Abbildung G-4). Die Wetterdaten im Bogen wurden nicht kontinuierlich aufgezeichnet, sondern nur dann, wenn Messungen stattfanden.

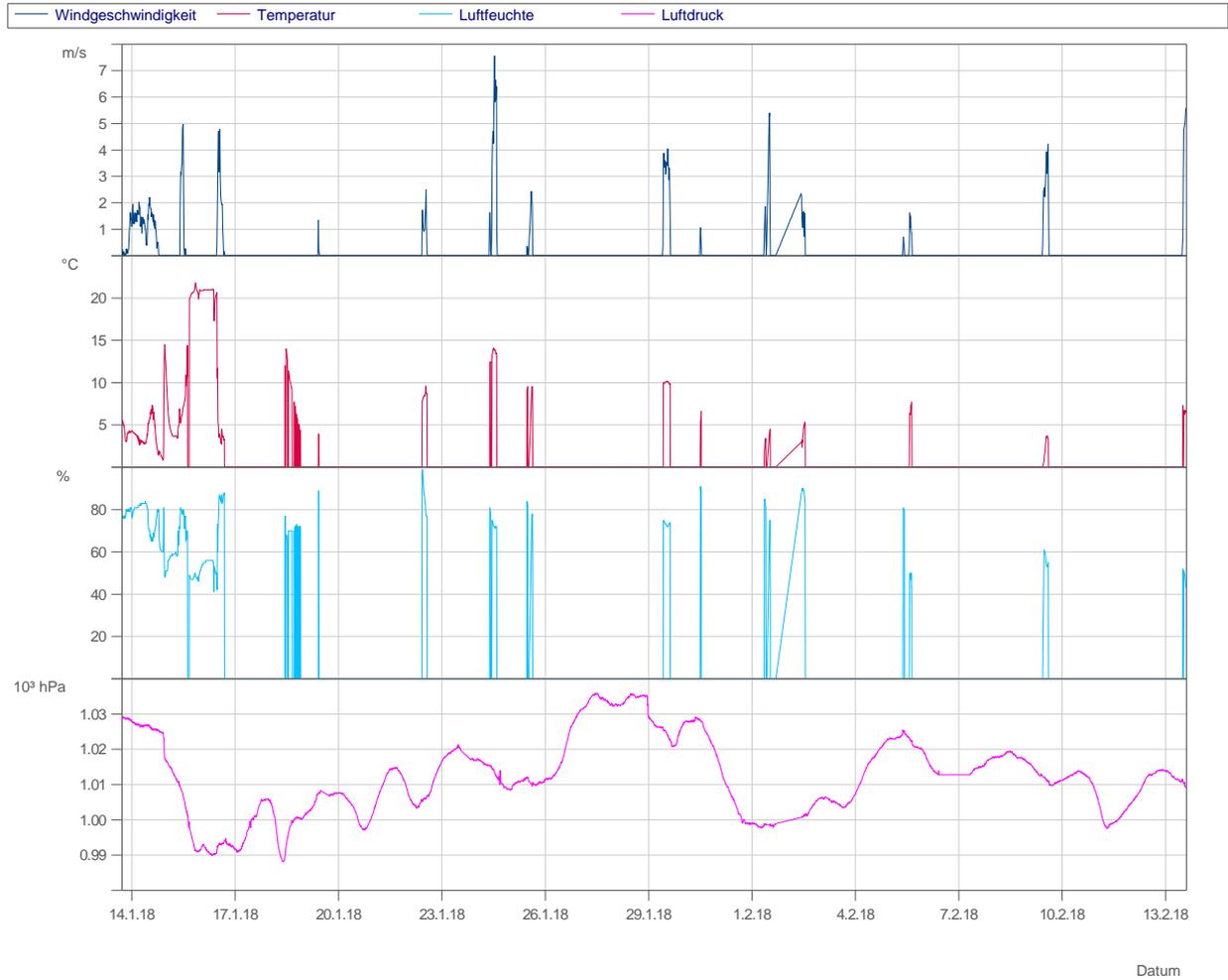
Tabelle G-1: Verwendete Wetterstationen PCW I

Typ	Serien-Nr.	Messposition
Renkforce WH2315	WH 2315-01	km 2.9
Conrad WH2080	WH 2080-01	km 4.6



10.01.18 09:42:00 PROSE

Abbildung G-1: Wetterdaten (Testring 1, km 4.6)



13.01.18 17:12:00 PROSE

Abbildung G-2: Wetterdaten (Testring 1, km 2.9)

## G.2 Wetterdaten während PCW II

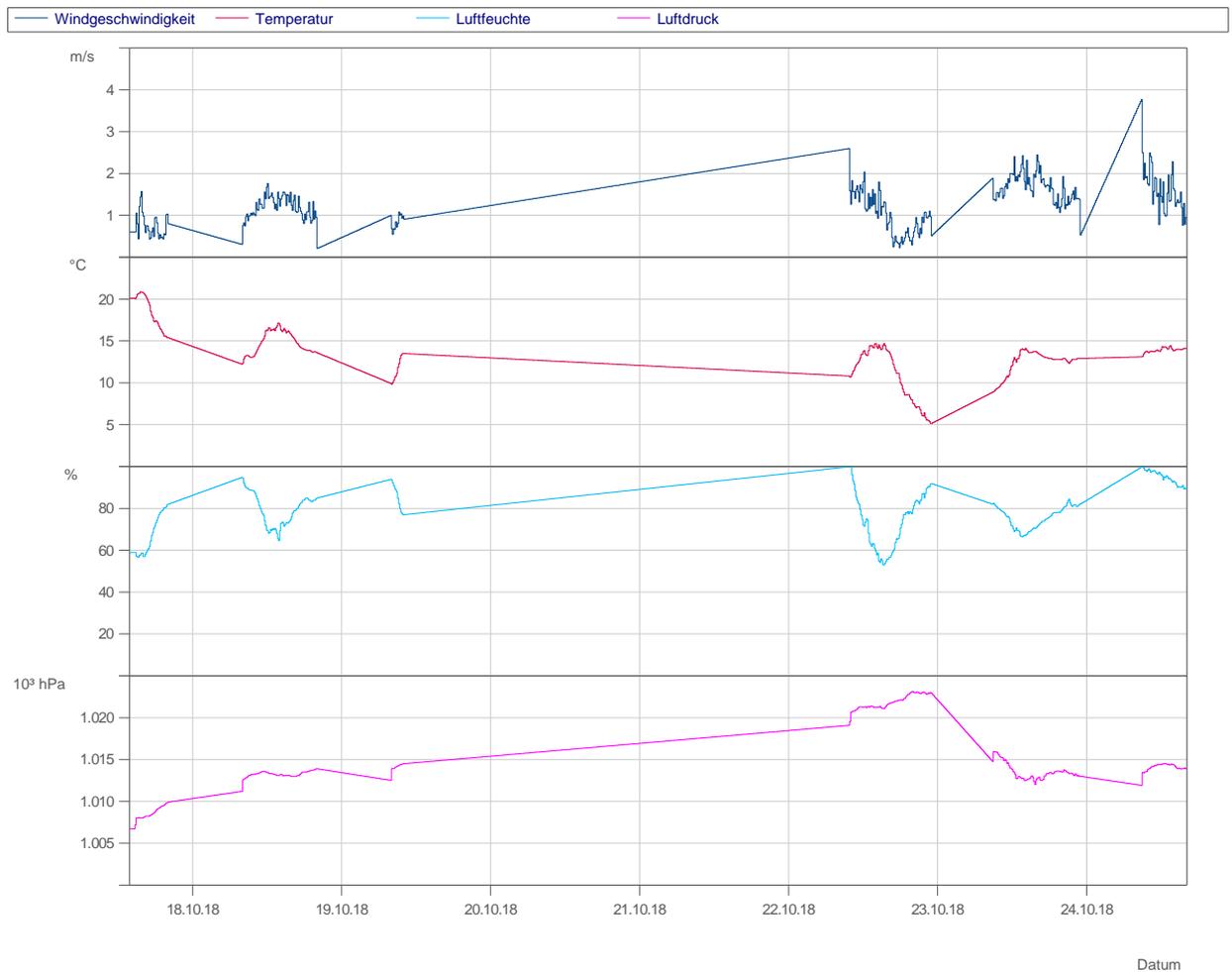
Die Wetterdaten wurden mit einer Thies Wetterstation und einem Ammonit Datenlogger an zwei verschiedenen Orten entlang Testring 1 aufgezeichnet. Die Aufzeichnung war automatisiert und erfolgte täglich zwischen 8 Uhr und 24 Uhr, sofern Testfahrten stattfanden.

Abbildung G-3 und Abbildung G-4 zeigen Windgeschwindigkeit, Temperatur, Luftfeuchte und Luftdruck an den beiden Messorten entlang dem Testring 1 während der Messkampagne PCW II im Oktober 2018.

Bei km 4.6 (TSI Lärmmessstelle) betrug die Windgeschwindigkeit maximal 2.5 m/s. Im Bogen bei km 2.6 lag diese bei maximal 6 m/s.

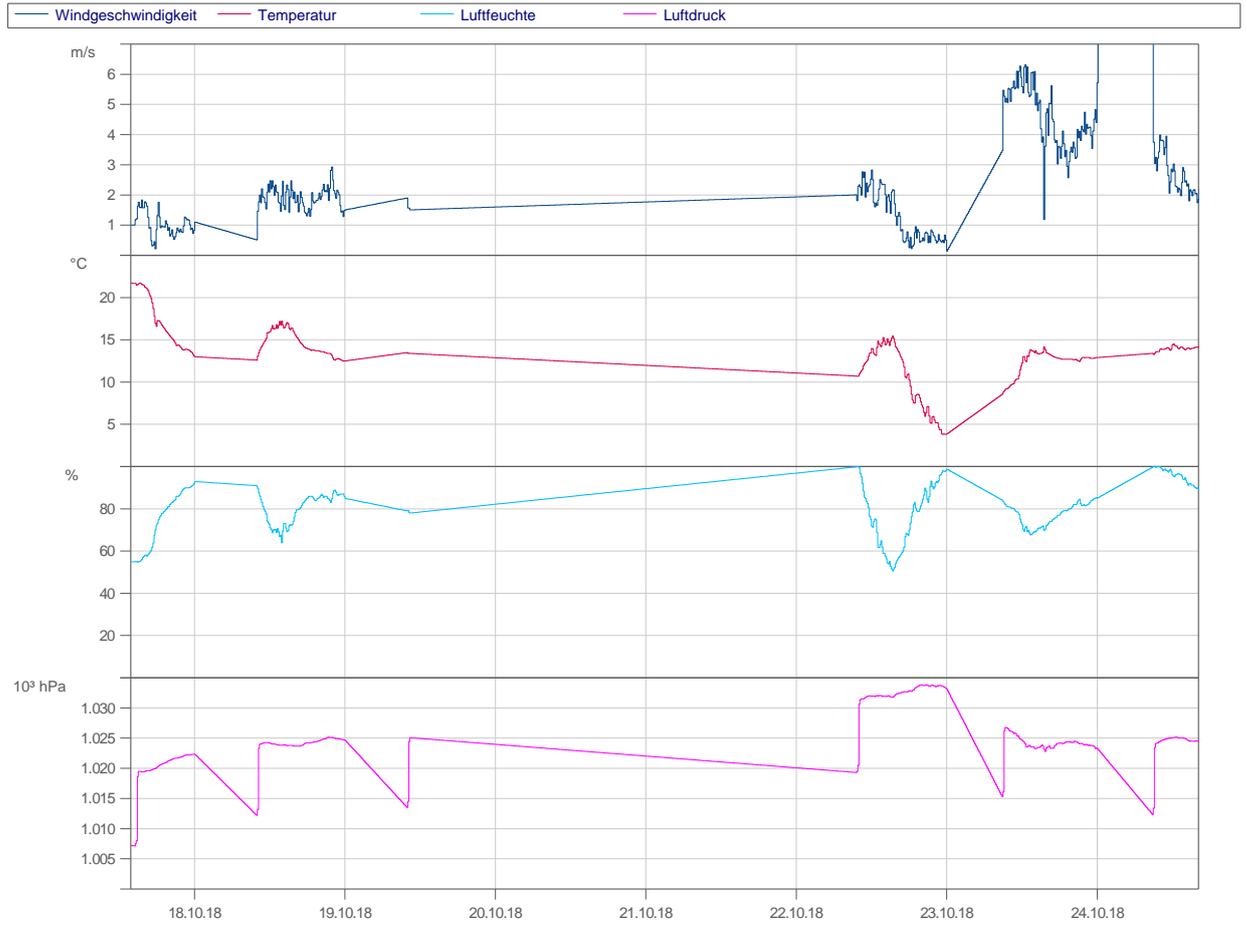
Tabelle G-2: Verwendete Wetterstationen PCW II

Typ	Serien-Nr.	Datenlogger	Messposition
Thies Clima US 4.9200.00.000	03180051	Ammonit Meteo-40S D180027	km 2.6
Thies Clima US 4.9200.00.000	03180050	Ammonit Meteo-40S D180026	km 4.6



08.10.18 13:50:03 PROSE AG

Abbildung G-3: Wetterdaten Logger D180026 (Testring 1, km 4.6)

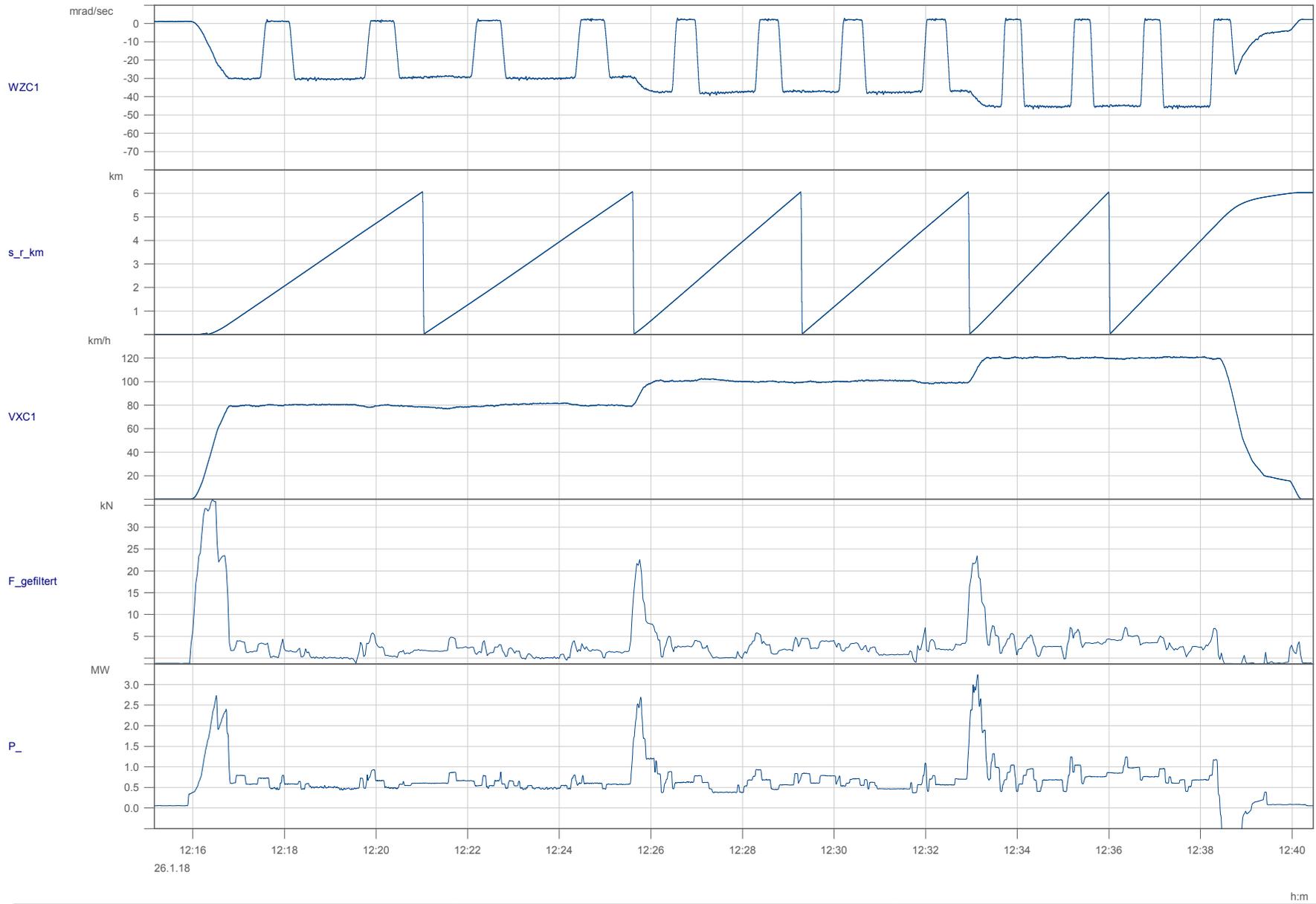


Datum

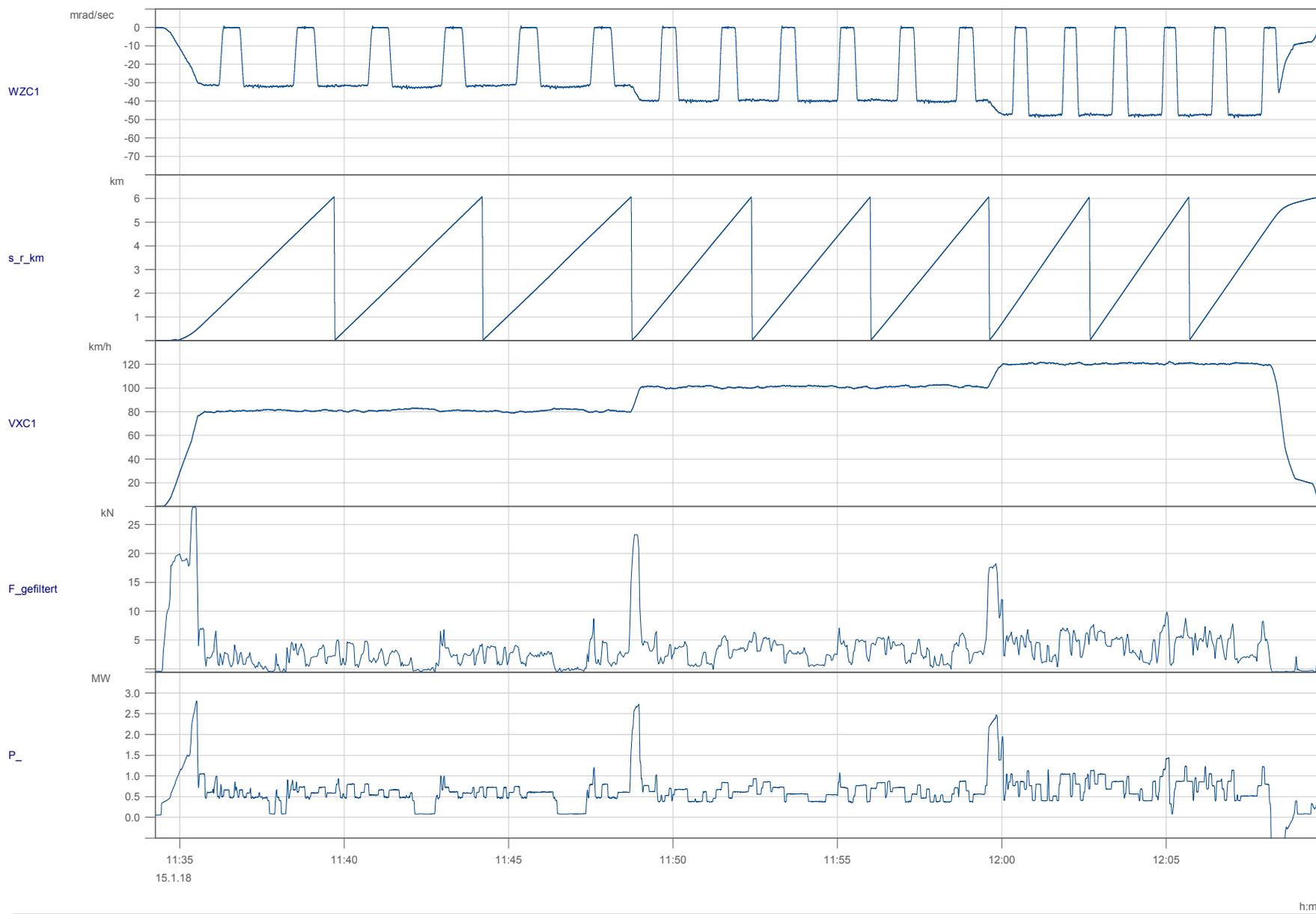
09.10.18 13:40:03 PROSE AG

Abbildung G-4: Wetterdaten Logger D180027 (Testring 1, km 2.6)

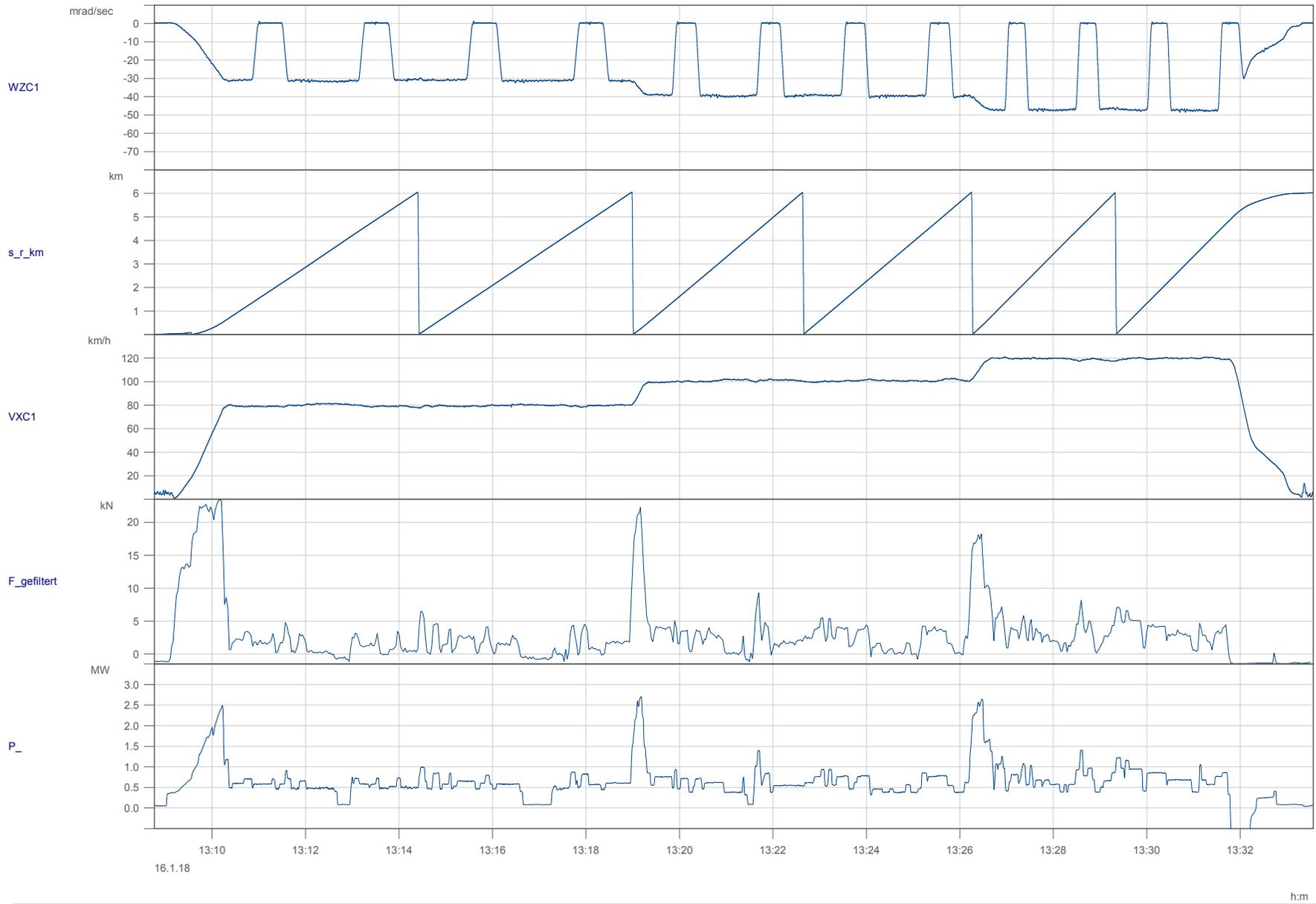
## H Zeitschriebe PCW I



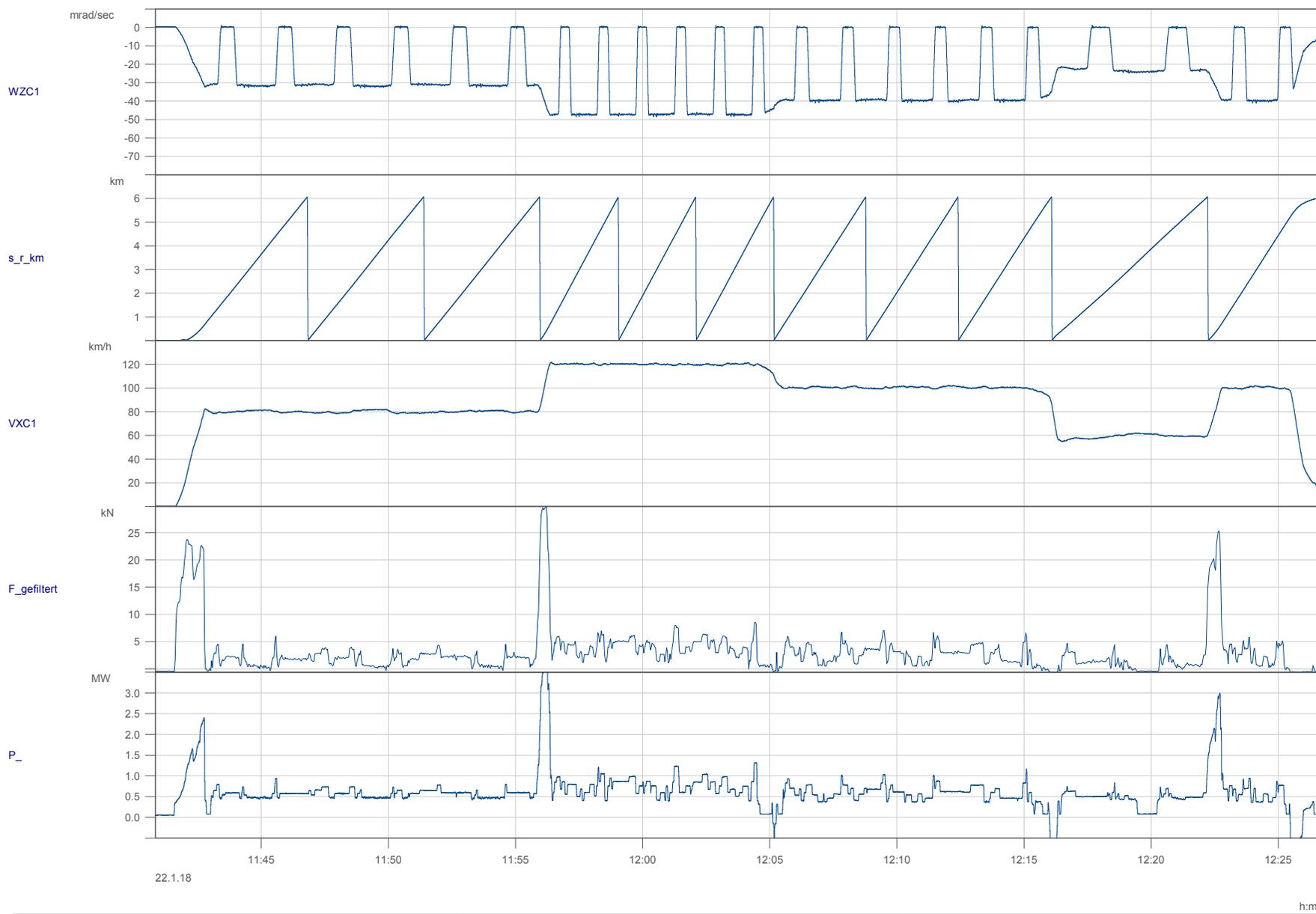
File Nr.: 2018-01-26 12-15-09 (3)	PCW1-T1 , KW-REF-1	Datum: 26.01.2018 12:15:09
-----------------------------------	--------------------	----------------------------



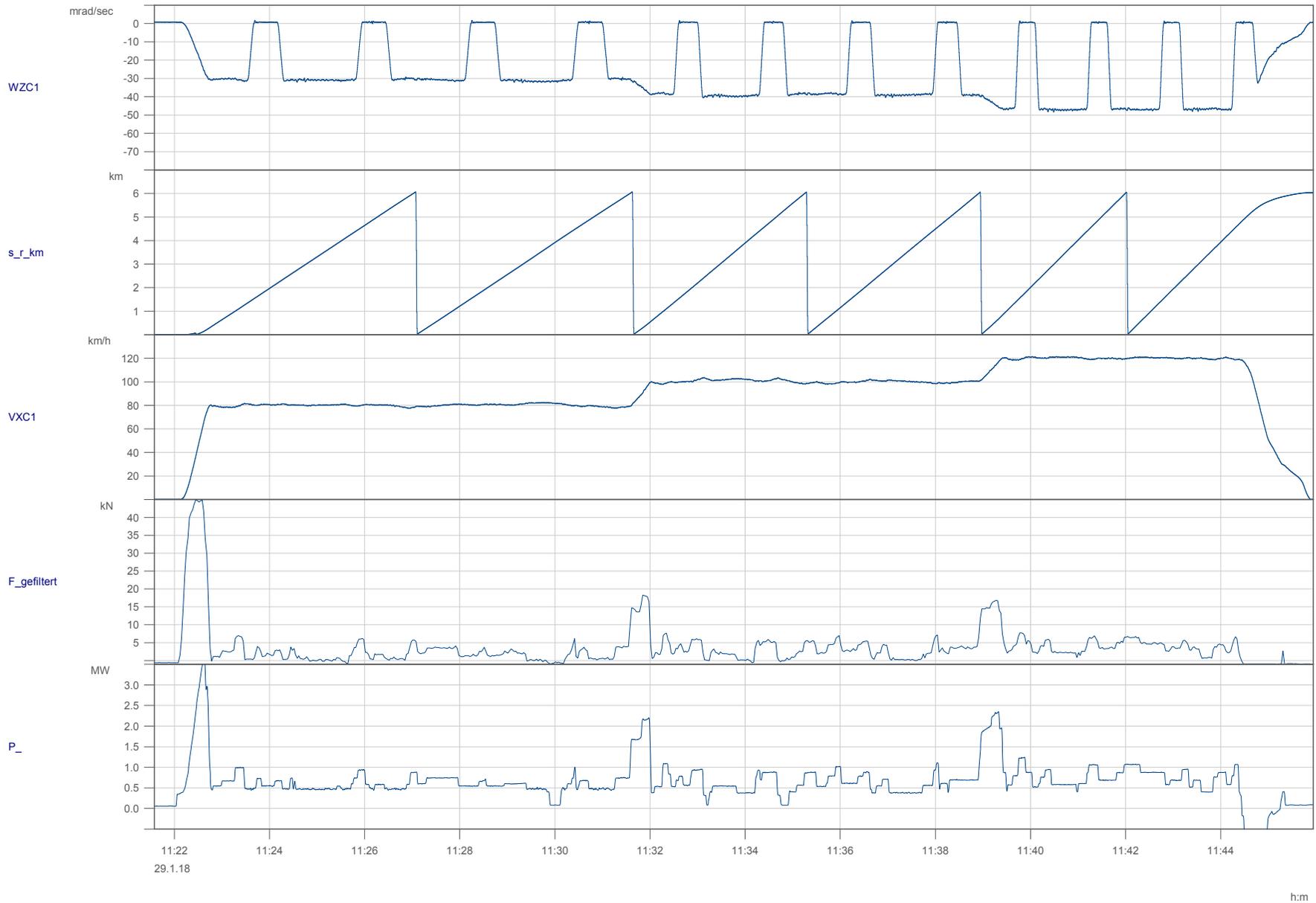
File Nr.: 2018-01-15 11-34-15 (2)	PCW1-T1 , KW-IGW-1	Datum: 15.01.2018 11:34:15
-----------------------------------	--------------------	----------------------------



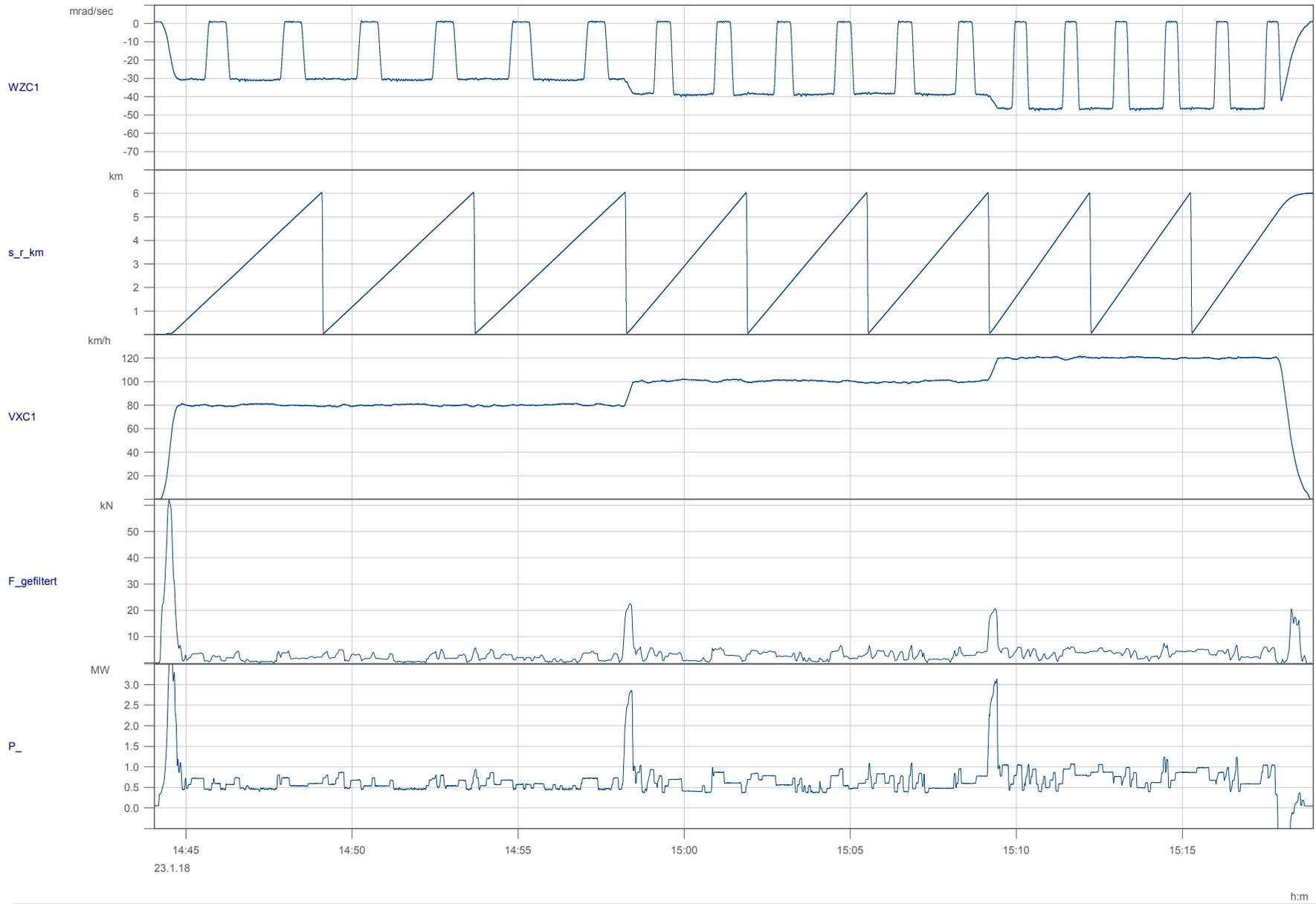
File Nr.: 2018-01-16 13-08-45 (6)	PCW1-T1 , KW-IGW-2	Datum: 16.01.2018 13:08:45
-----------------------------------	--------------------	----------------------------



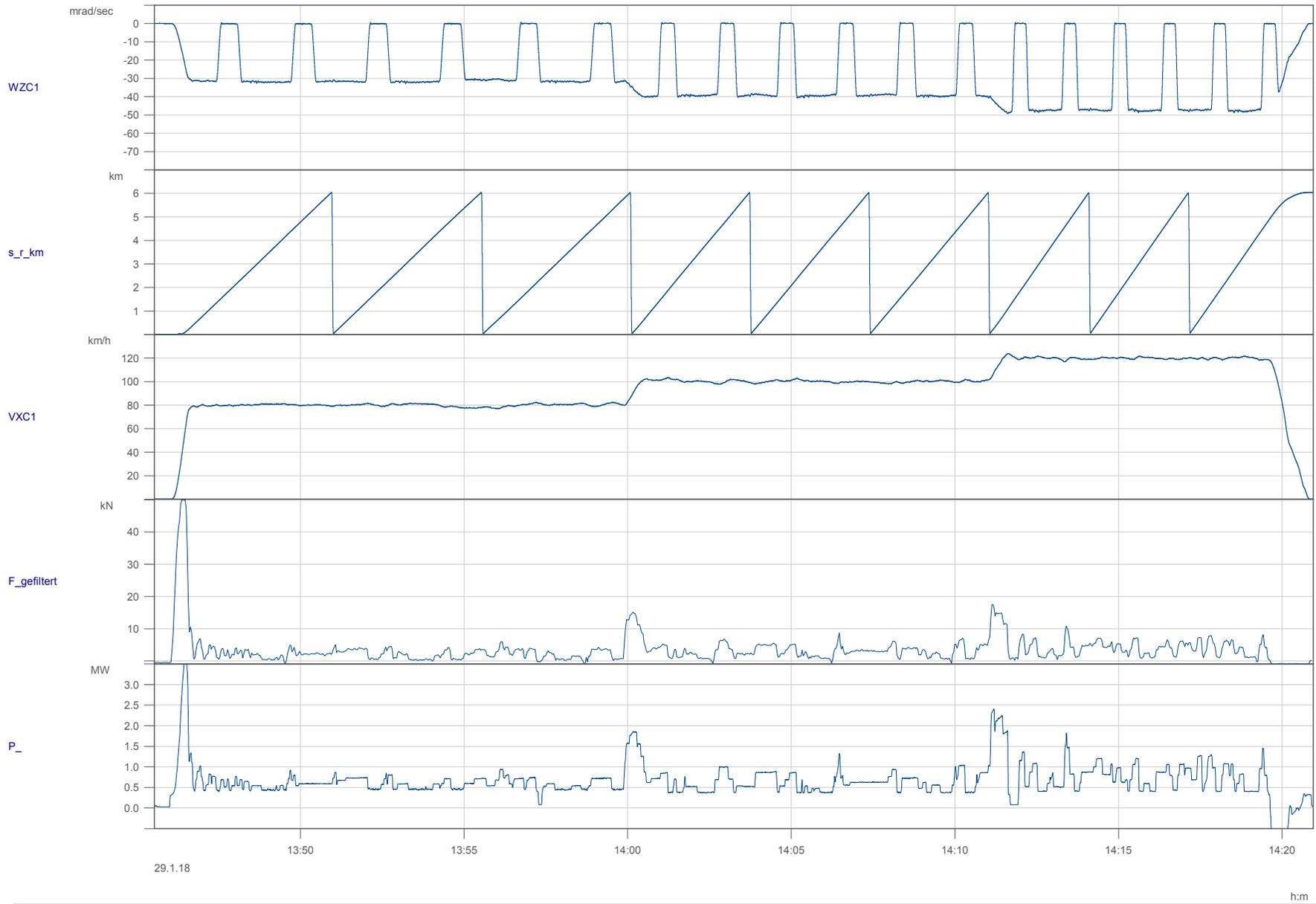
File Nr.: 2018-01-22 11-40-50 (1)	PCW1-T1 , KW-IGW-3	Datum: 22.01.2018 11:40:50
-----------------------------------	--------------------	----------------------------



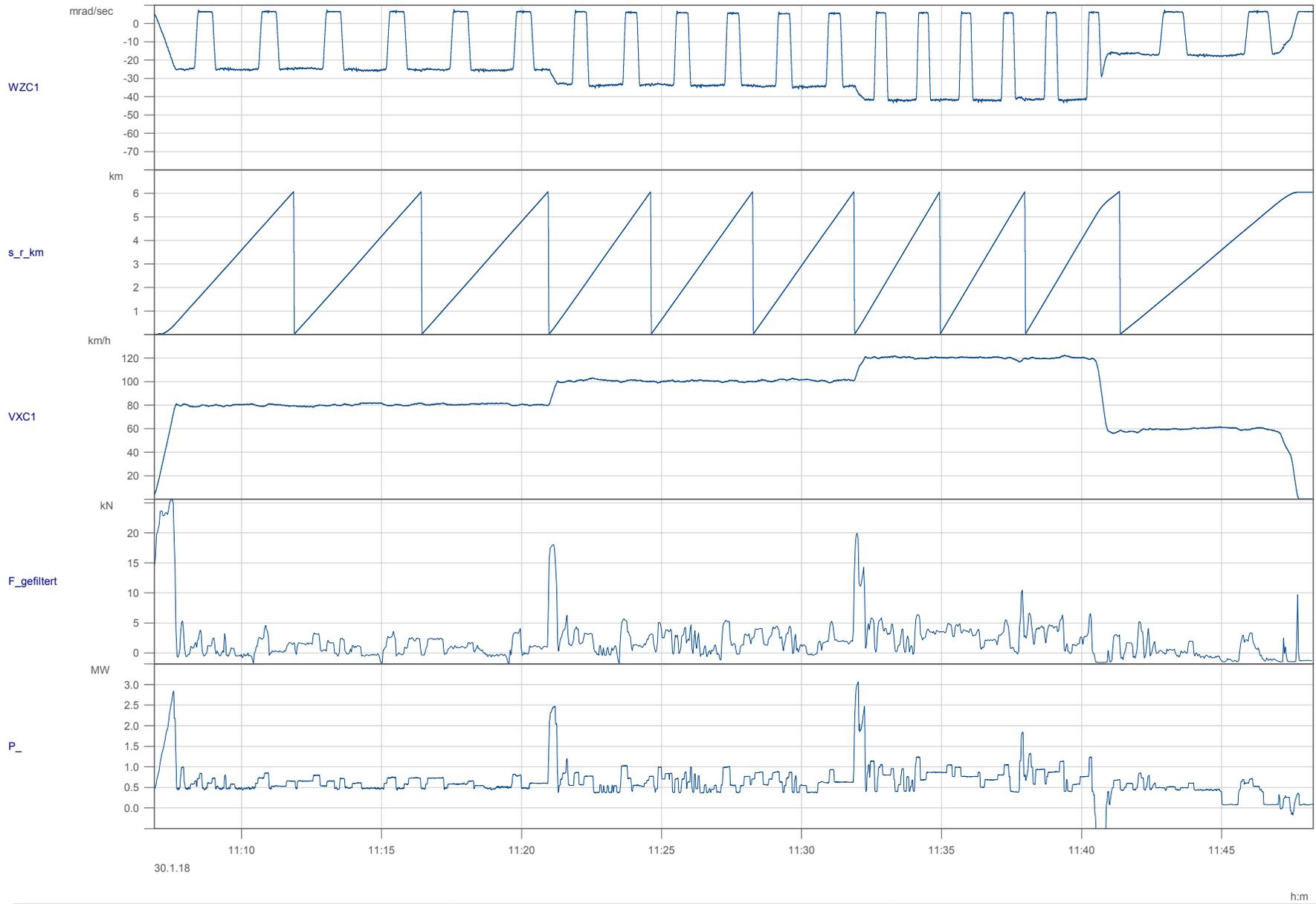
File Nr.: 2018-01-29 11-21-34 (11)	PCW1-T1 , KW-IGW-4	Datum: 29.01.2018 11:21:34
------------------------------------	--------------------	----------------------------



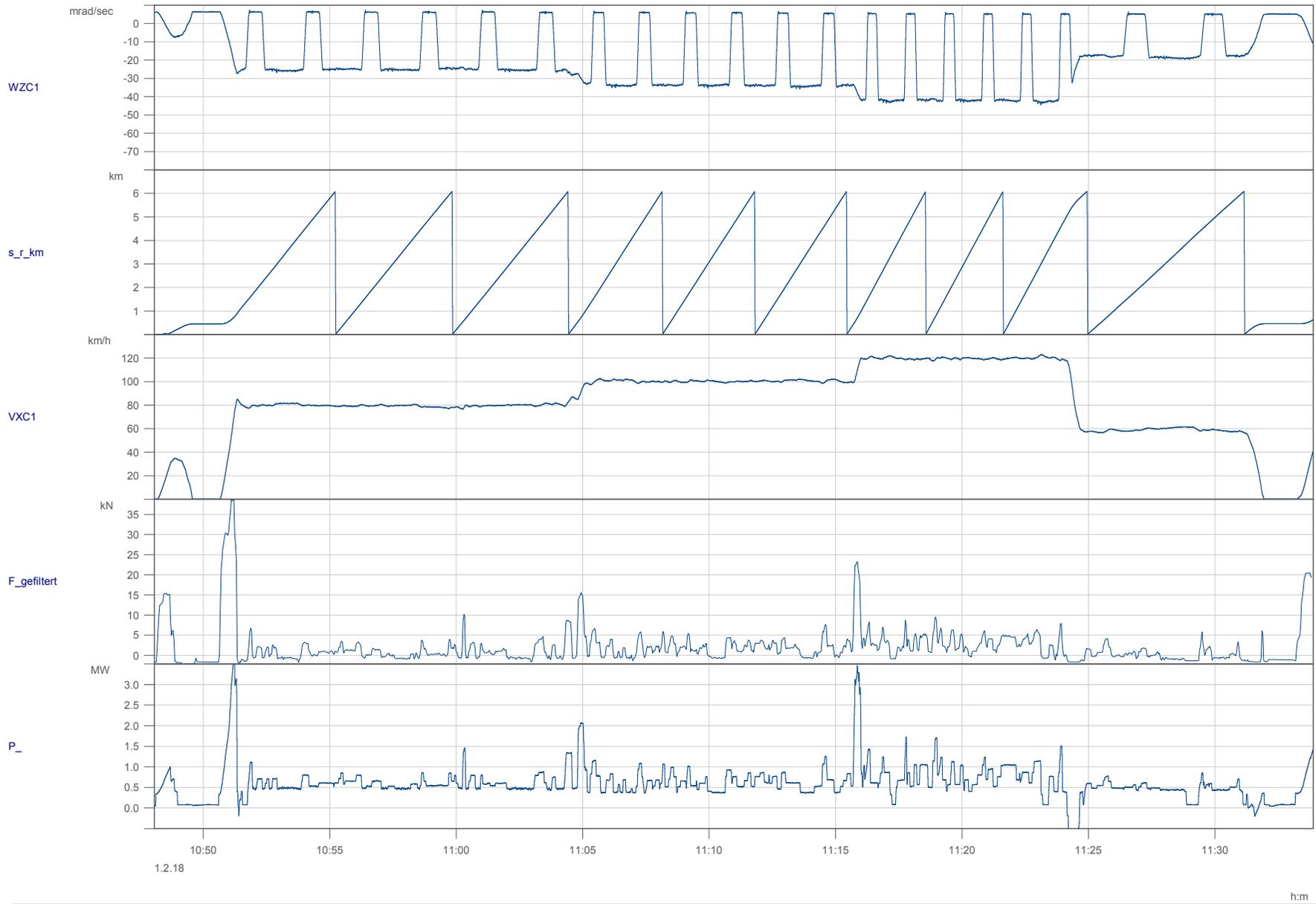
File Nr.: 2018-01-23 14-44-03 (8)	PCW1-T1 , CW-REF-1	Datum: 23.01.2018 14:44:03
-----------------------------------	--------------------	----------------------------



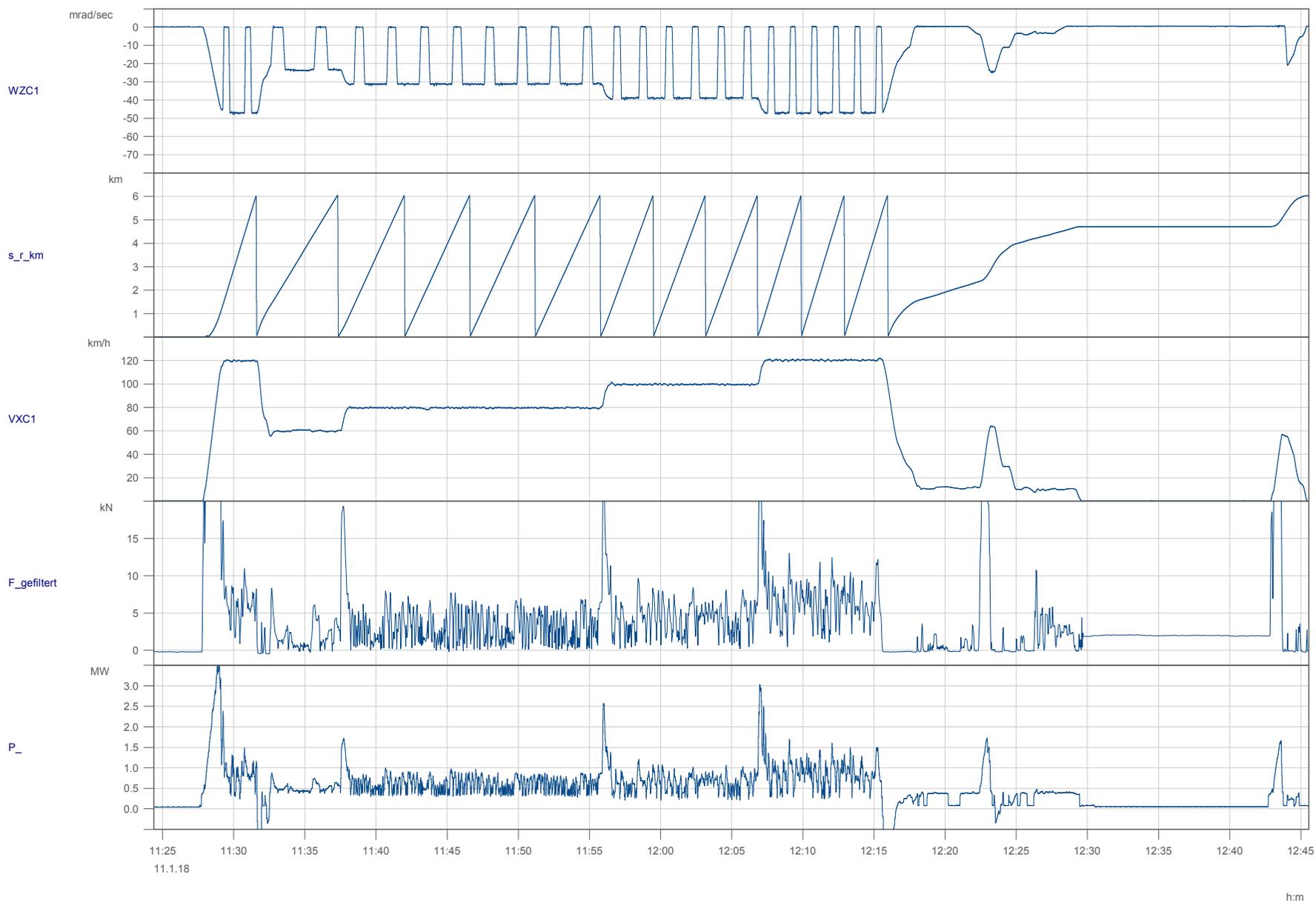
File Nr.: 2018-01-29 13-45-31 (20)	PCW1-T1 , CW-IGW-1	Datum: 29.01.2018 13:45:31
------------------------------------	--------------------	----------------------------



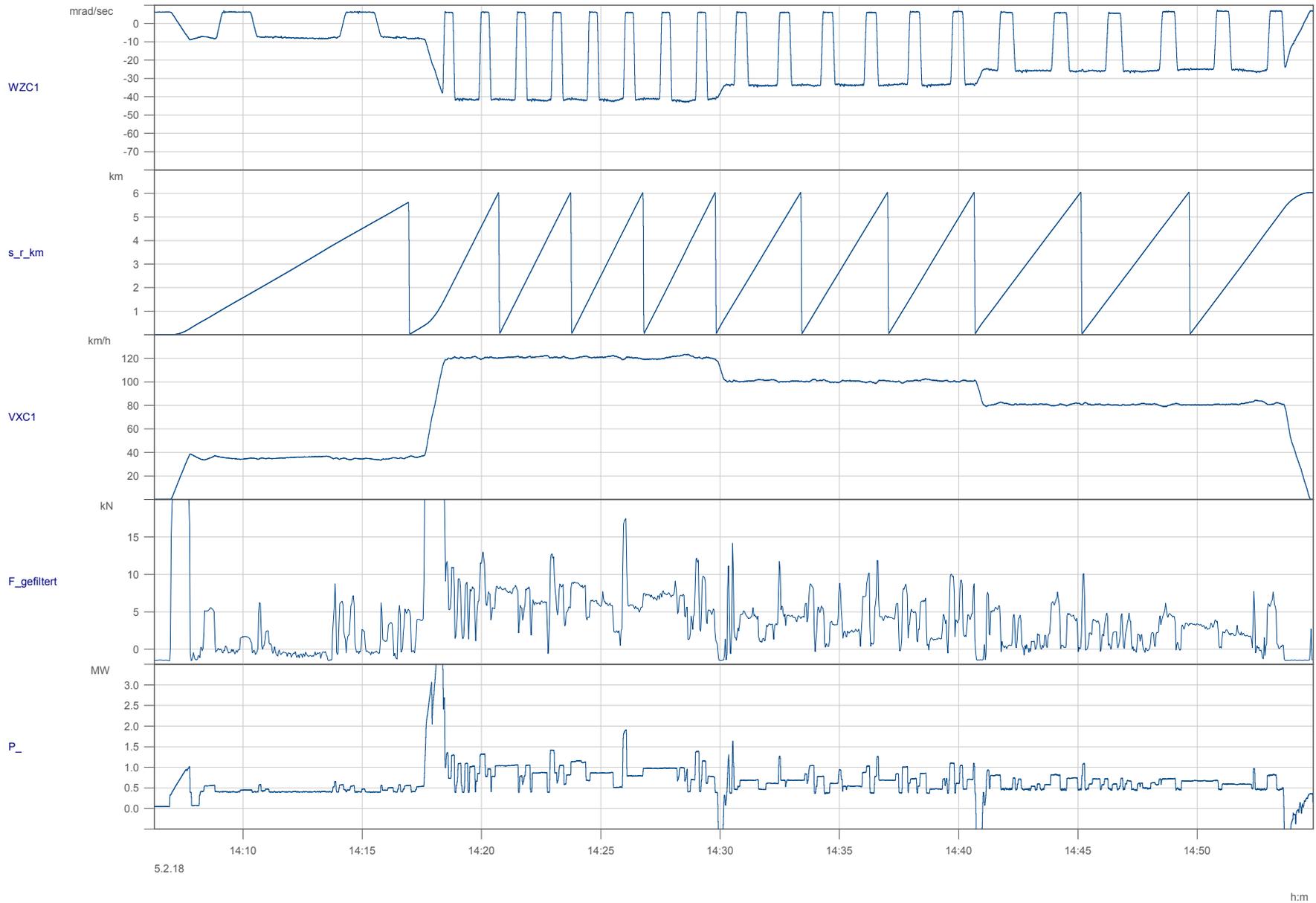
File Nr.: 2018-01-30 11-06-53 (4)	PCW1-T1 , CW-IGW-2	Datum: 30.01.2018 11:06:53
-----------------------------------	--------------------	----------------------------



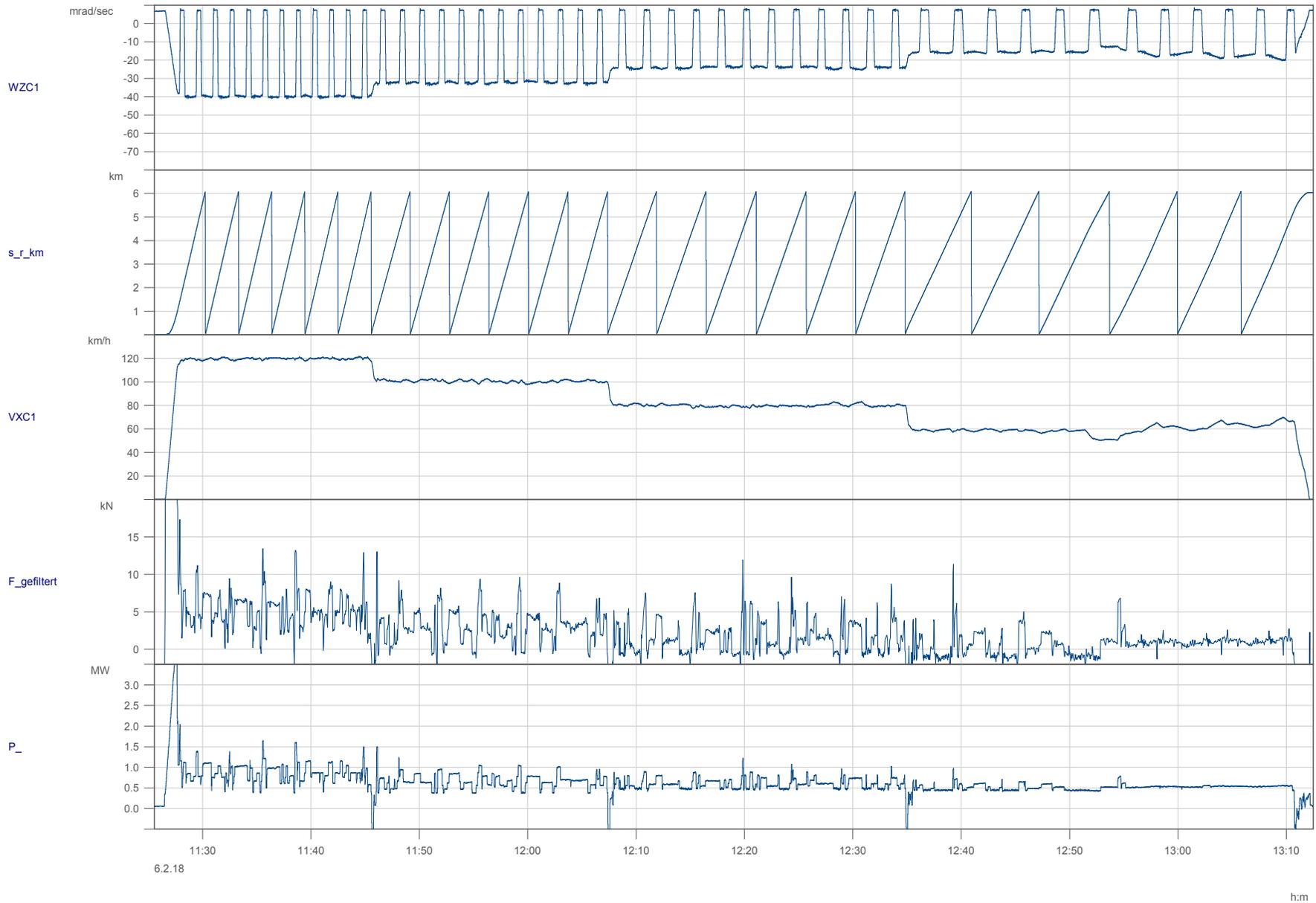
File Nr.: 2018-02-01 10-48-03 (4)	PCW1-T1 , CW-IGW-3	Datum: 01.02.2018 10:48:03
-----------------------------------	--------------------	----------------------------



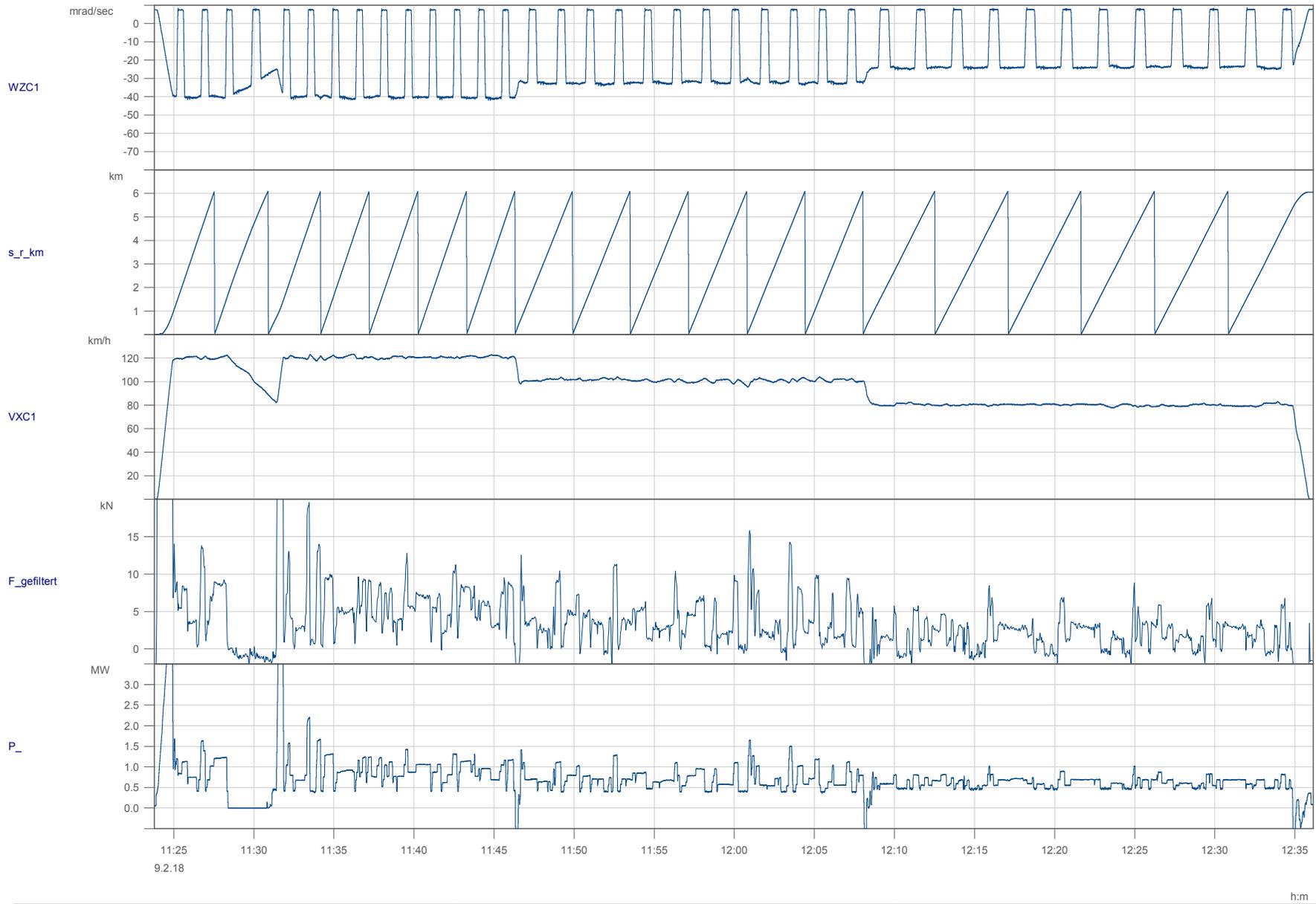
File Nr.: 2018-01-11 11-24-23 (8)	PCW1-T1 , AT-REF-1	Datum: 11.01.2018 11:24:23
-----------------------------------	--------------------	----------------------------



File Nr.: 2018-02-05 14-06-17 (1)	PCW1-T1 , AT-IGW-1	Datum: 05.02.2018 14:06:17
-----------------------------------	--------------------	----------------------------

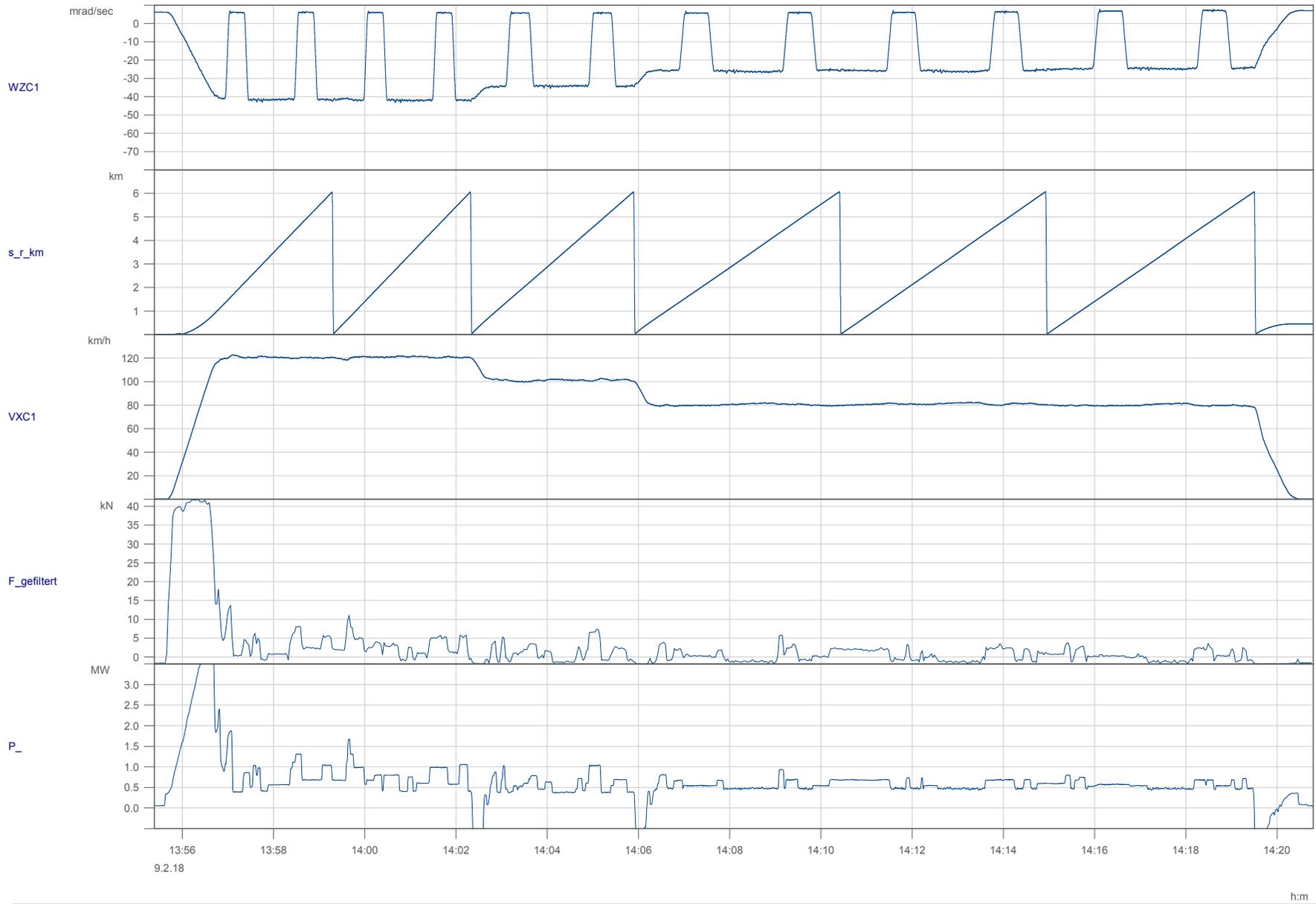


File Nr.: 2018-02-06 11-25-33 (4)	PCW1-T1 , AT-IGW-2	Datum: 06.02.2018 11:25:33
-----------------------------------	--------------------	----------------------------

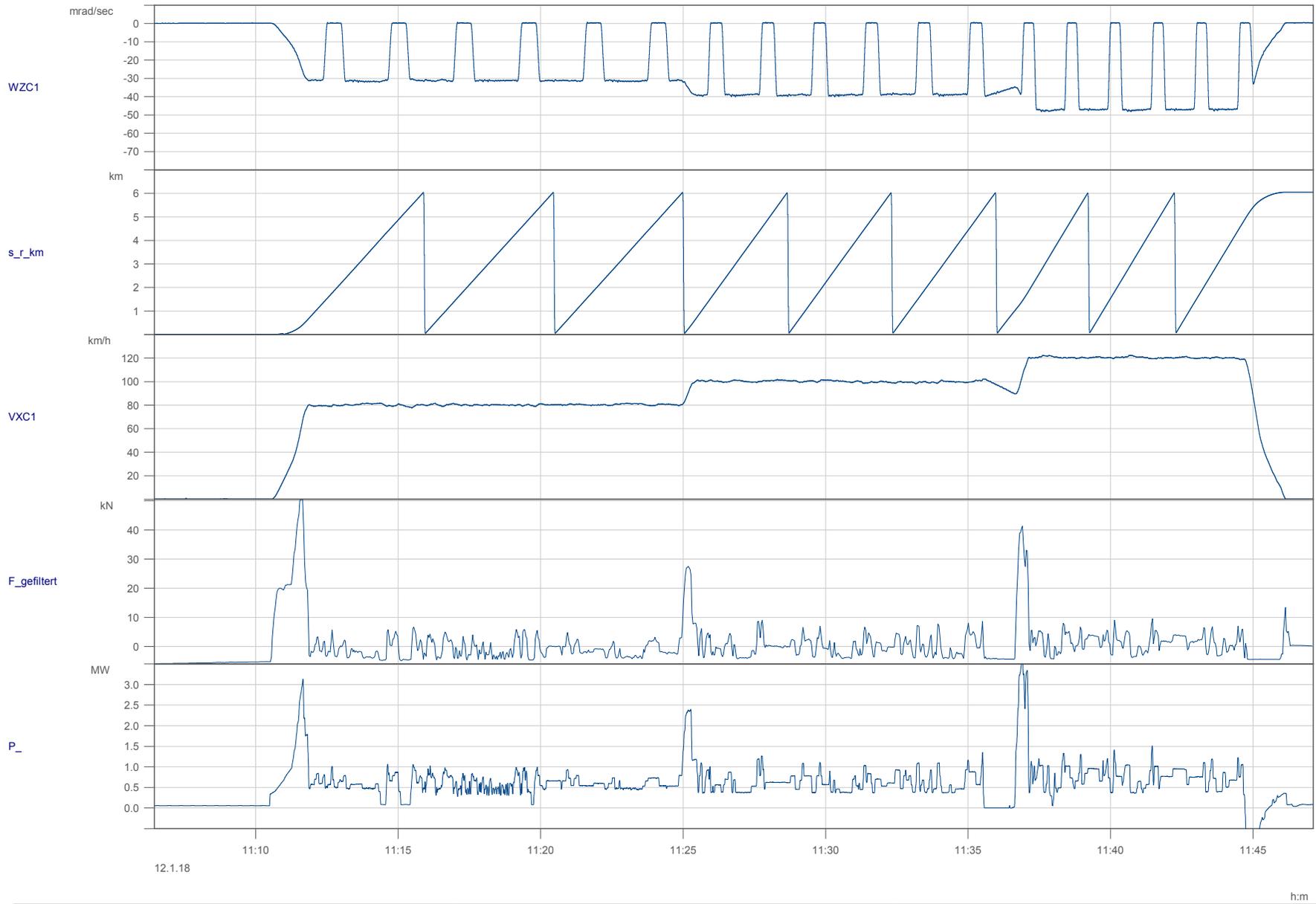


File Nr.: 2018-02-09 11-23-47 (5)	PCW1-T1 , AT-IGW-3	Datum: 09.02.2018 11:23:47
-----------------------------------	--------------------	----------------------------

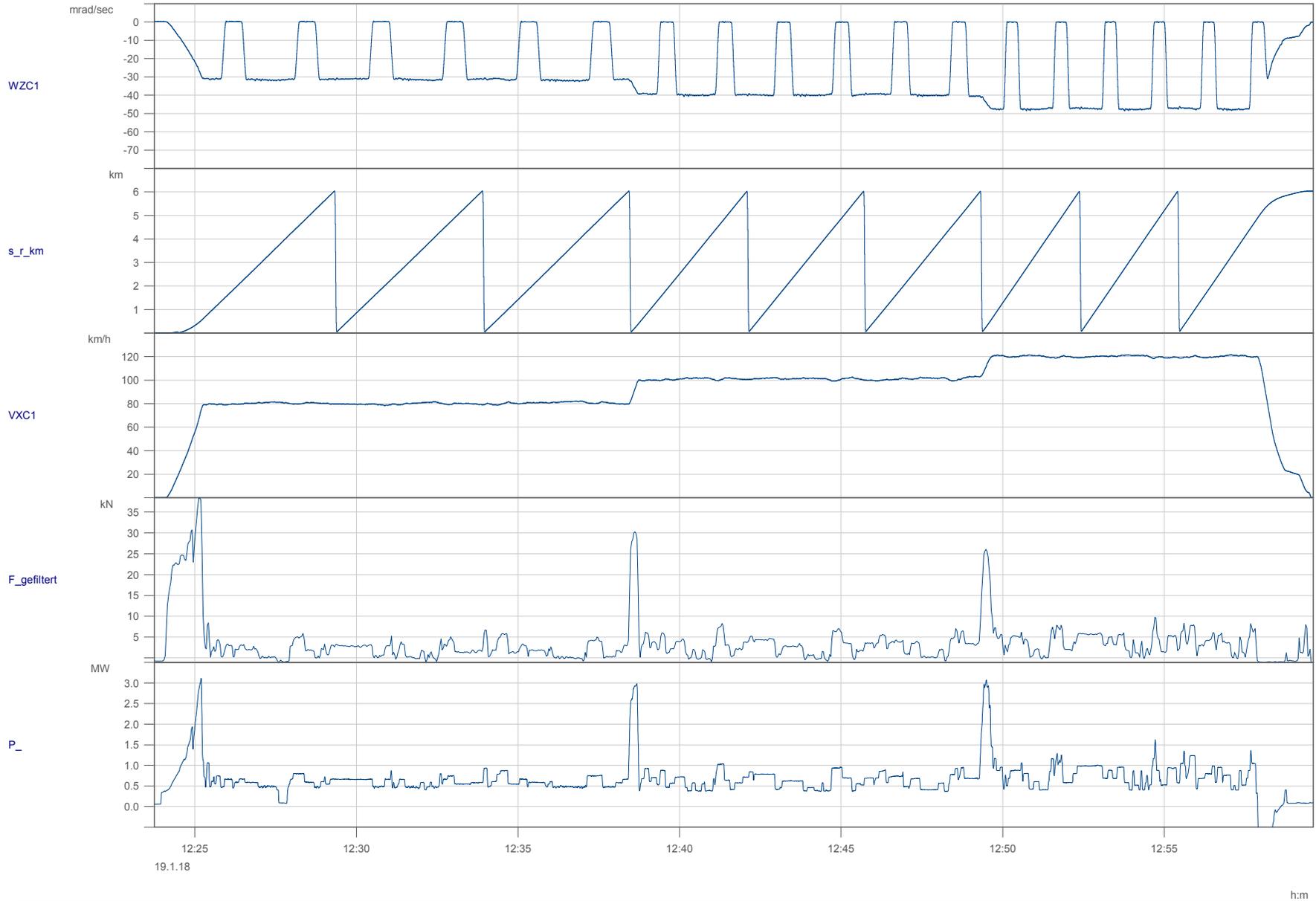




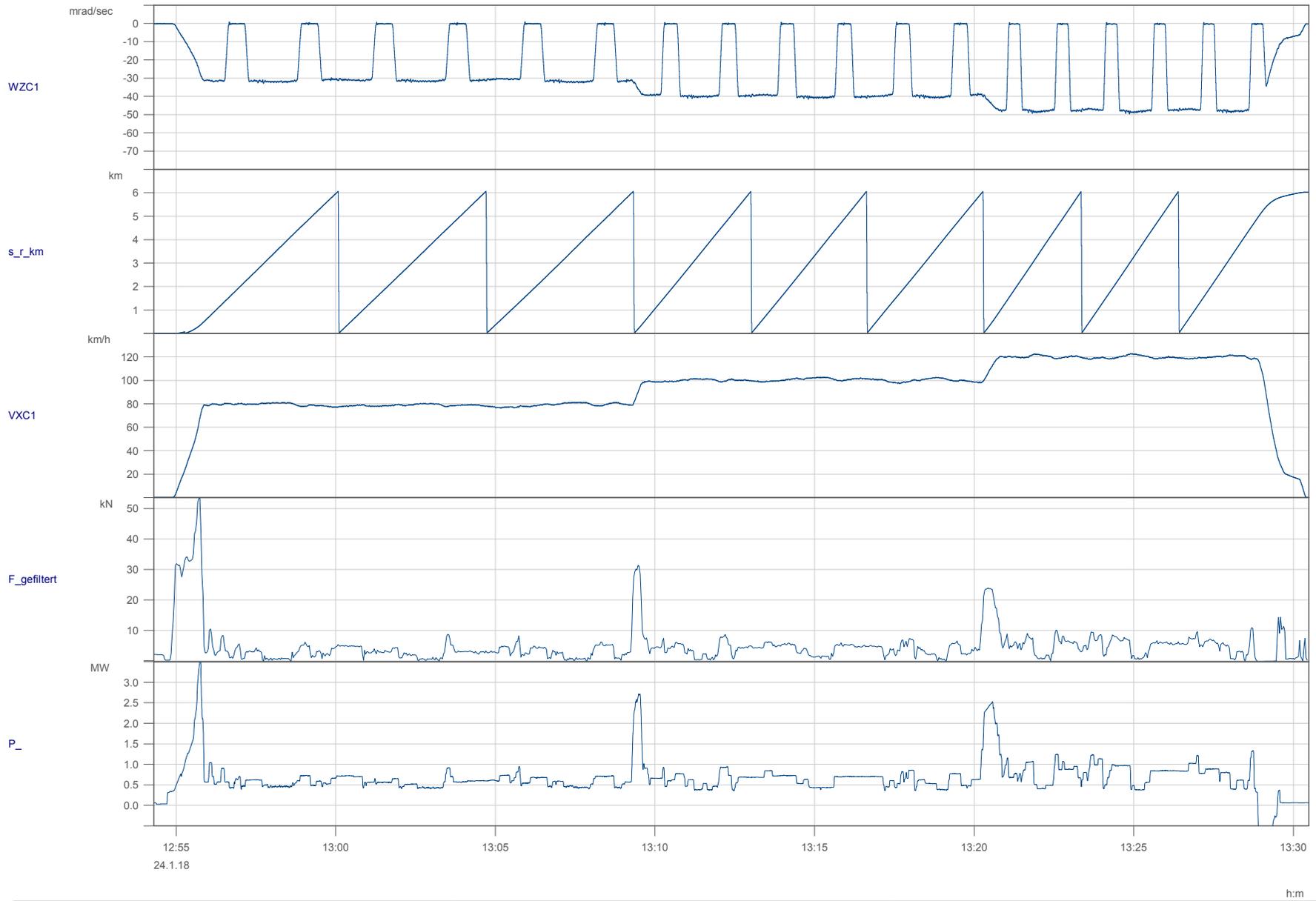
File Nr.: 2018-02-09 13-55-23 (9)	PCW1-T1 , FW-REF-1	Datum: 09.02.2018 13:55:23
-----------------------------------	--------------------	----------------------------



File Nr.: 2018-01-12 11-06-26 (3)	PCW1-T1 , FW-IGW-1	Datum: 12.01.2018 11:06:26
-----------------------------------	--------------------	----------------------------

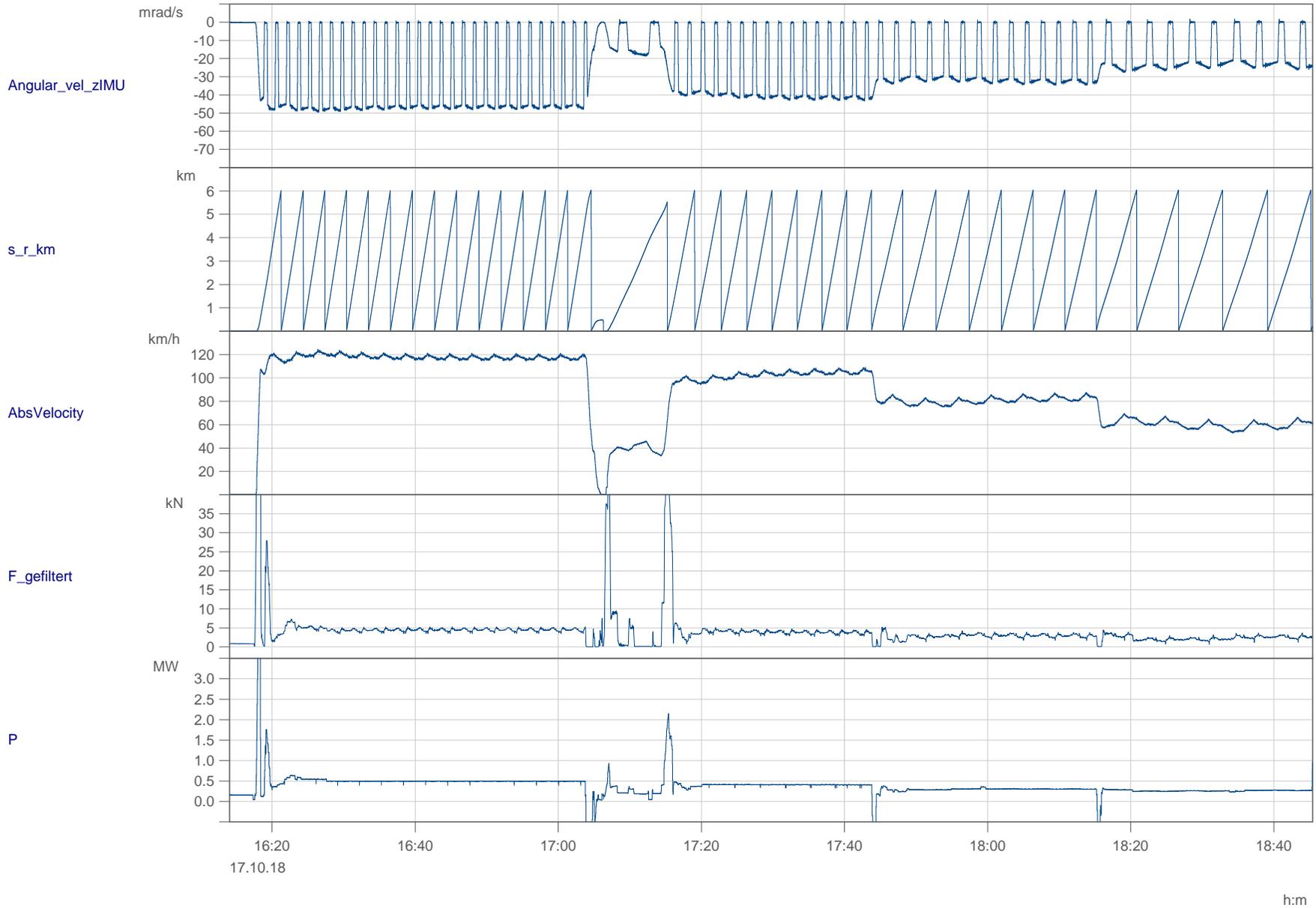


File Nr.: 2018-01-19 12-23-44 (3)	PCW1-T1 , FW-IGW-2	Datum: 19.01.2018 12:23:44
-----------------------------------	--------------------	----------------------------



File Nr.: 2018-01-24 12-54-18 (7)	PCW1-T1 , FW-IGW-3	Datum: 24.01.2018 12:54:18
-----------------------------------	--------------------	----------------------------

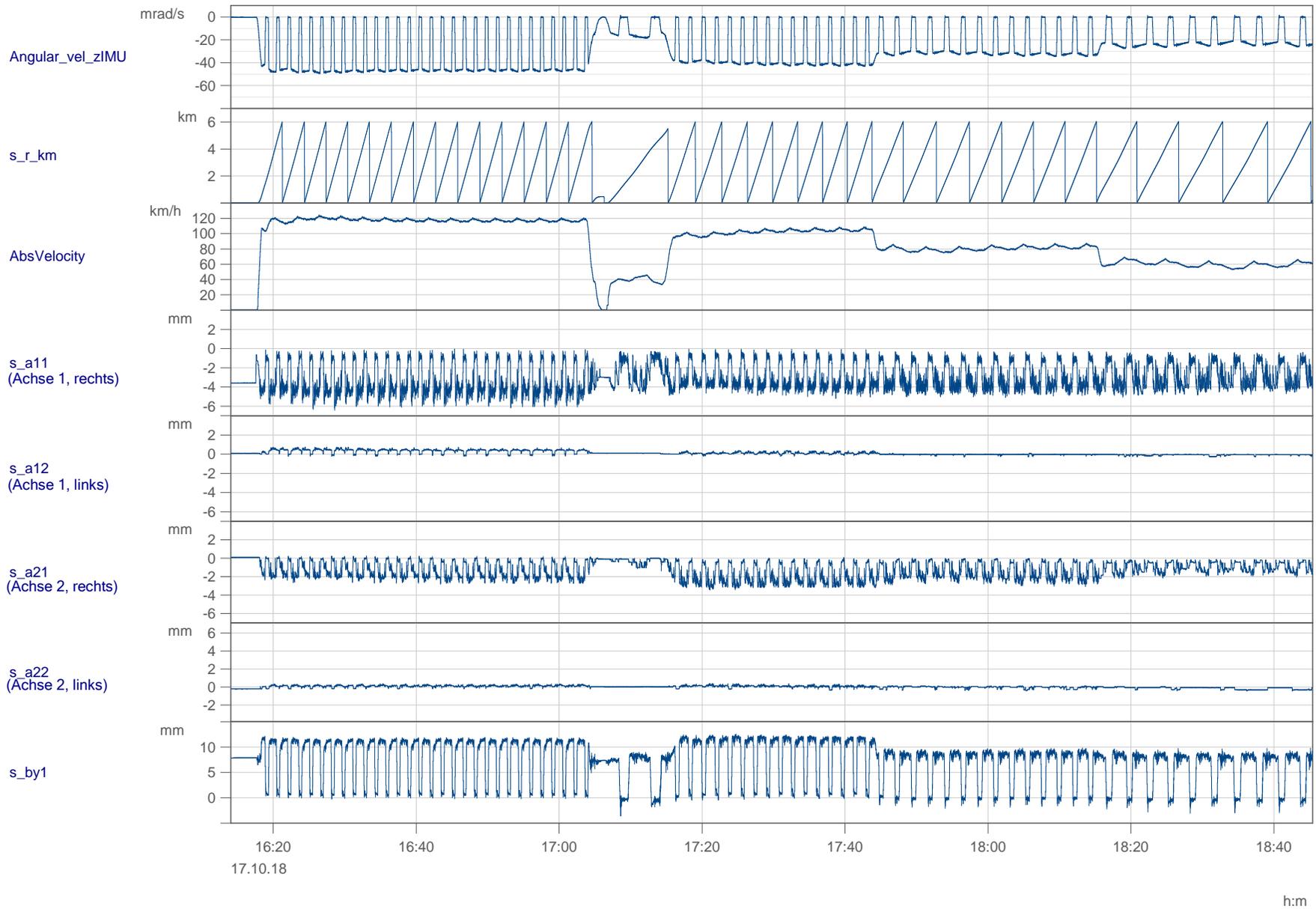
## I Zeitschriebe PCW II



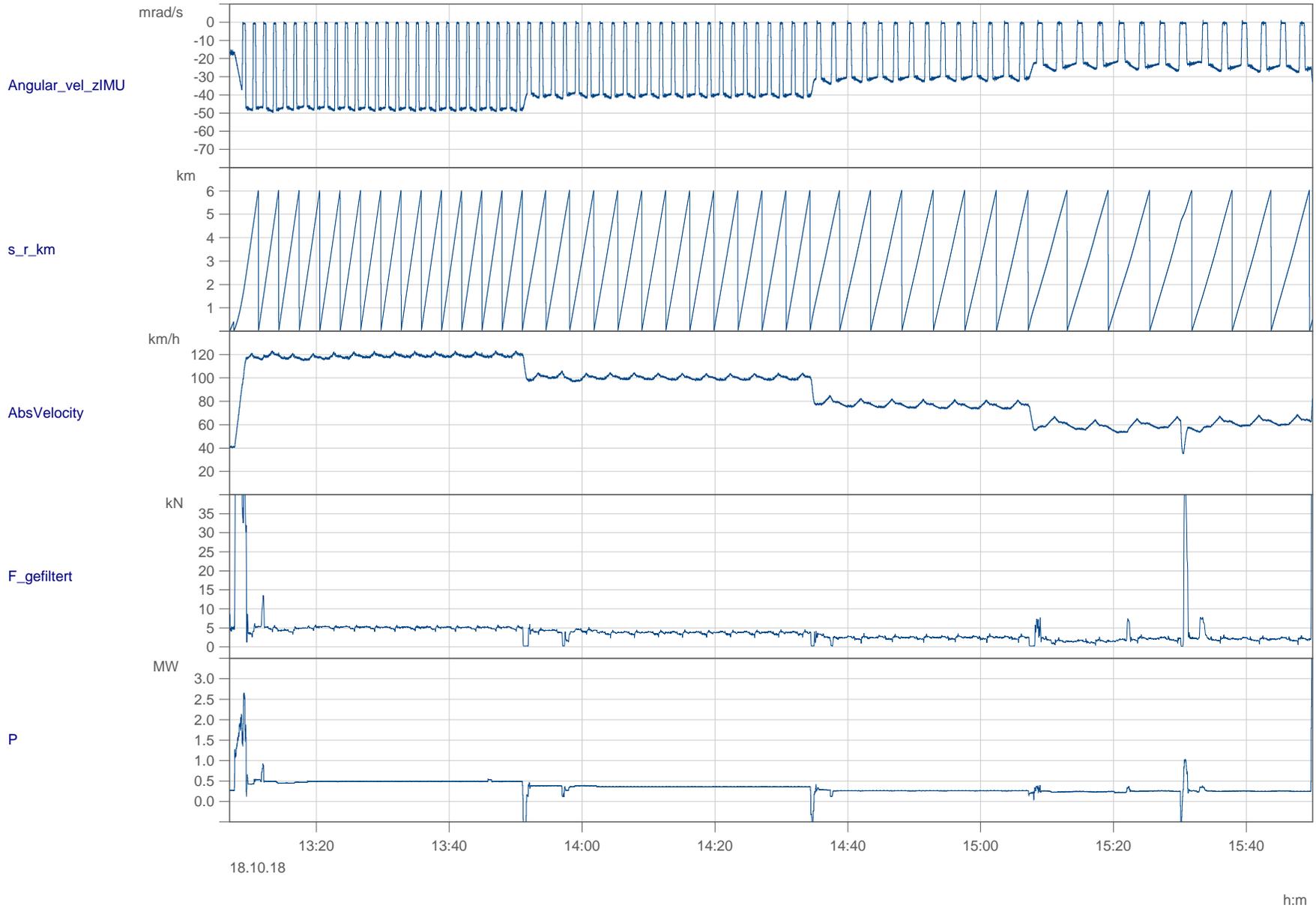
File Nr.: 0000012

PCW2-T1 , KW-REF

Datum: 17.10.2018 16:14:04



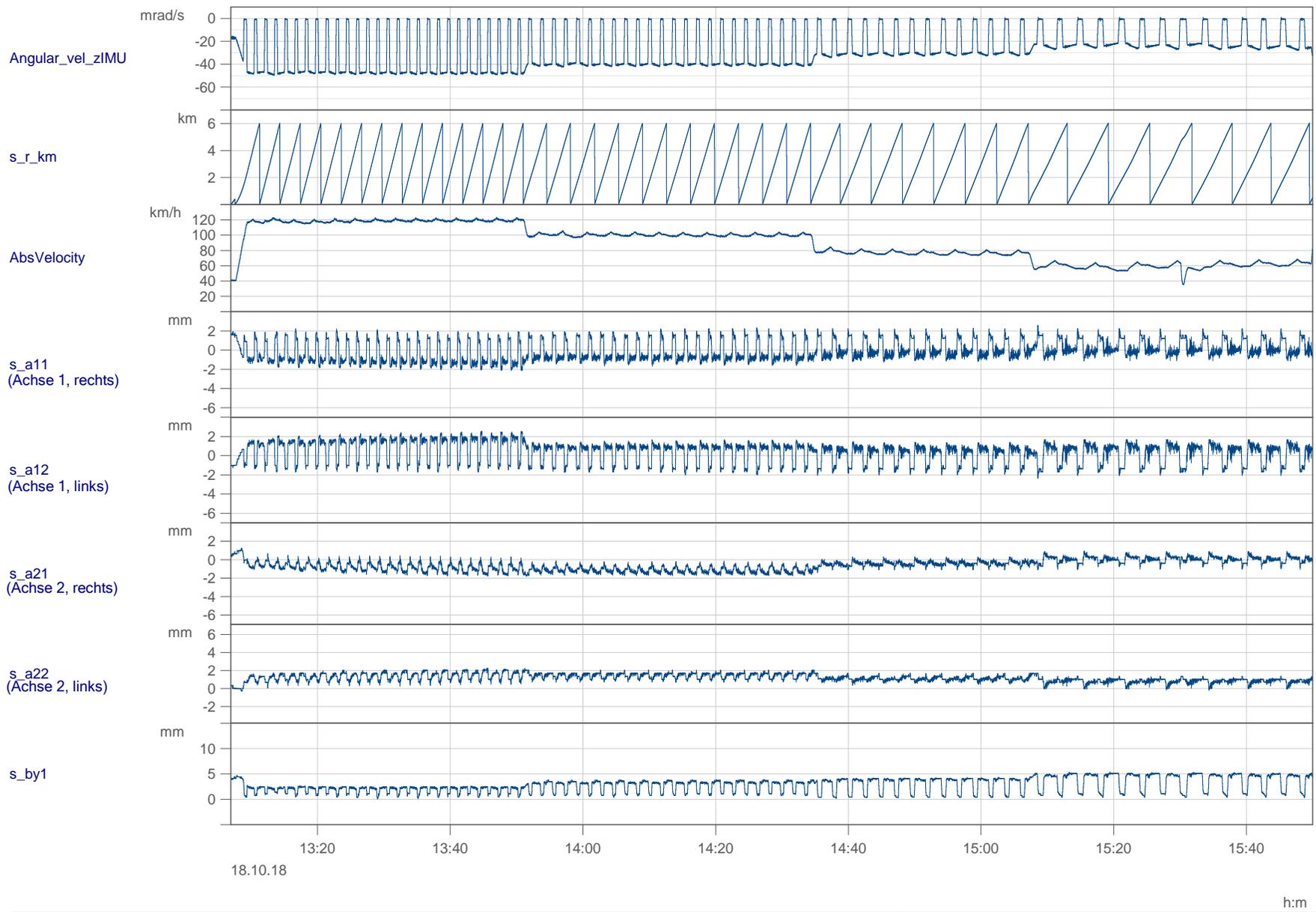
File Nr.: 0000012	PCW2-T1 , KW-REF	Datum: 17.10.2018 16:14:04
-------------------	------------------	----------------------------



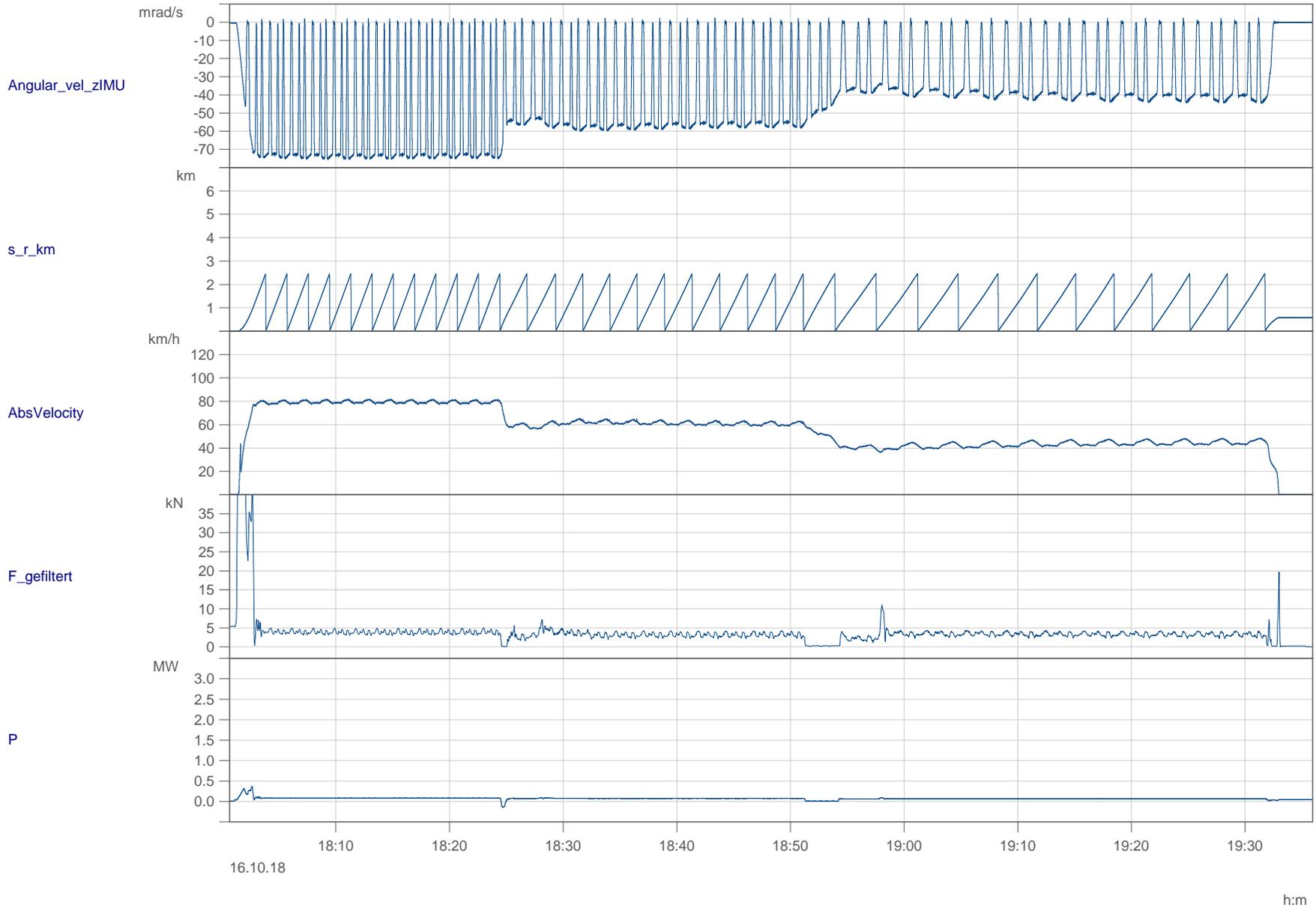
File Nr.: 00000004

PCW2-T1 , KW-IGW

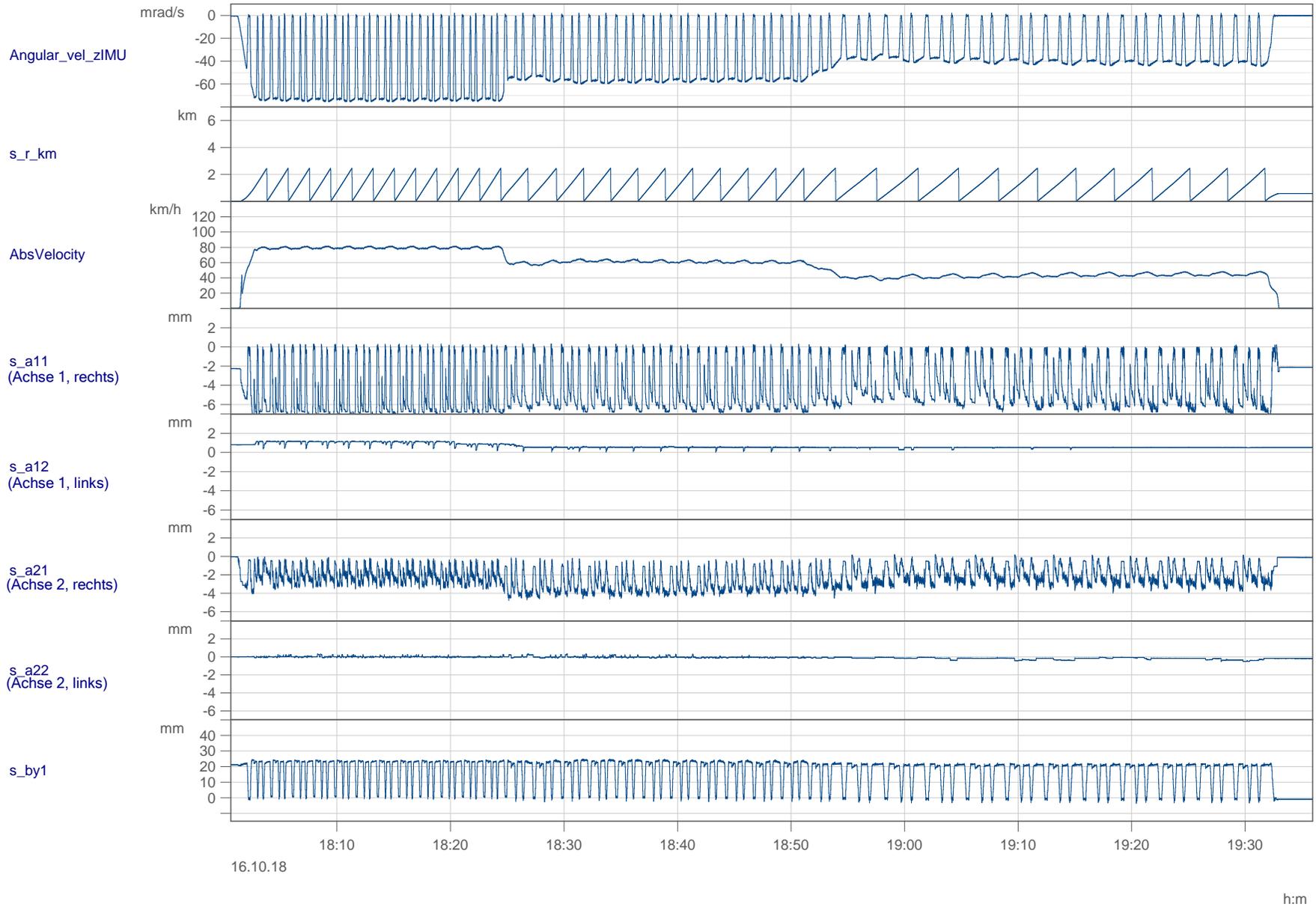
Datum: 18.10.2018 13:06:55



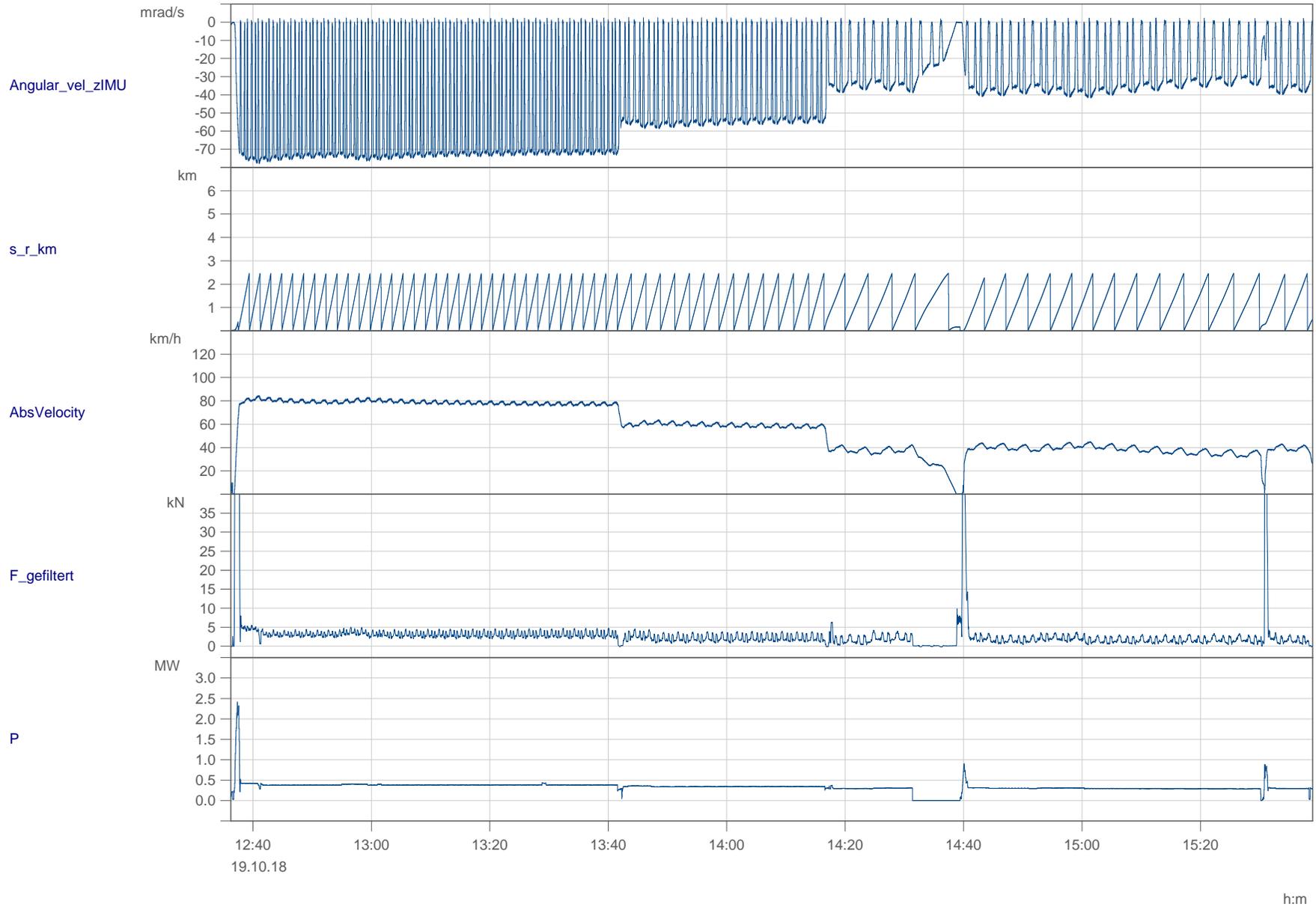
File Nr.: 00000004	PCW2-T1 , KW-IGW	Datum: 18.10.2018 13:06:55
--------------------	------------------	----------------------------



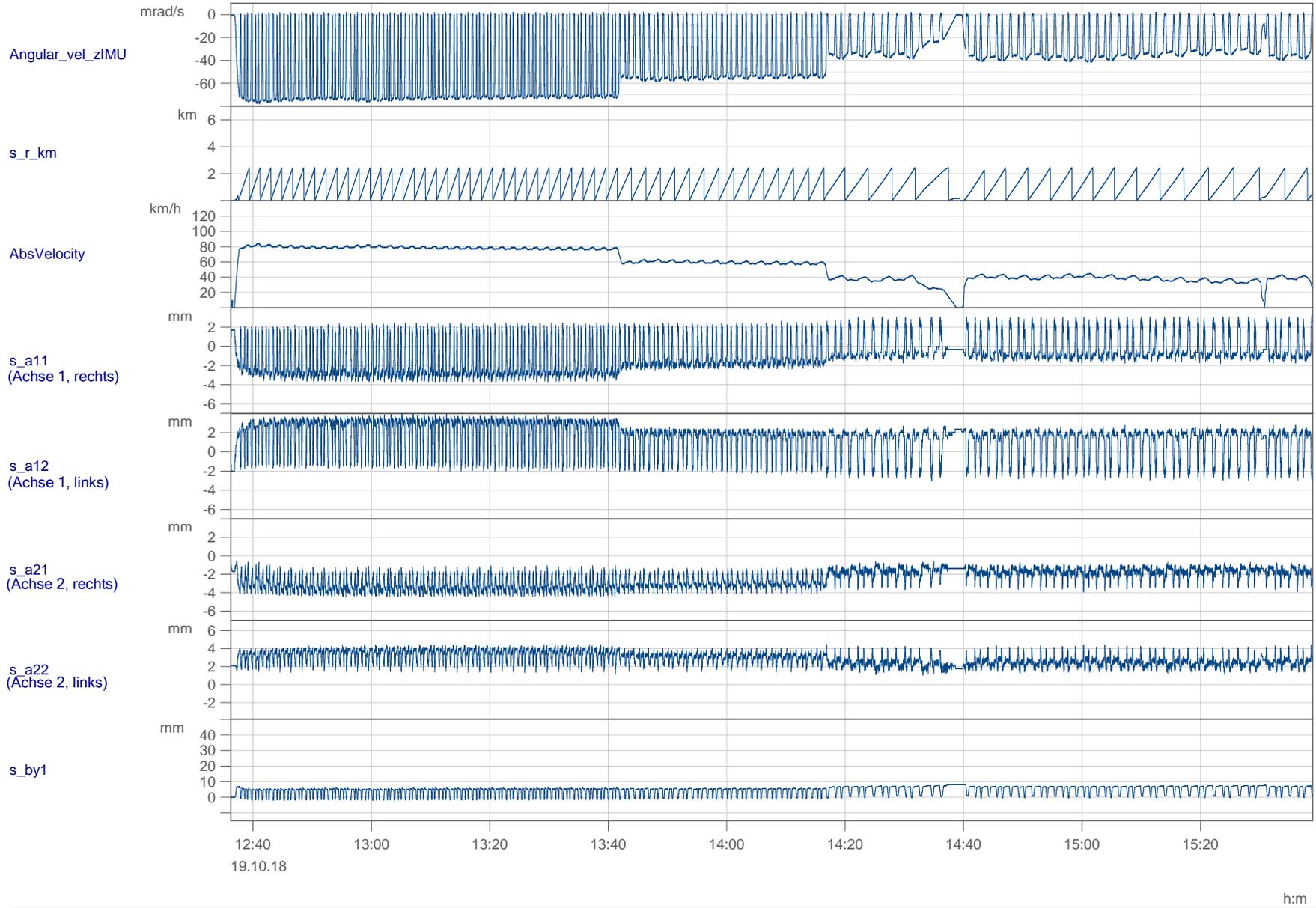
File Nr.: 00000003	PCW2-T2 , KW-REF	Datum: 16.10.2018 18:00:38
--------------------	------------------	----------------------------



File Nr.: 00000003	PCW2-T2 , KW-REF	Datum: 16.10.2018 18:00:38
--------------------	------------------	----------------------------

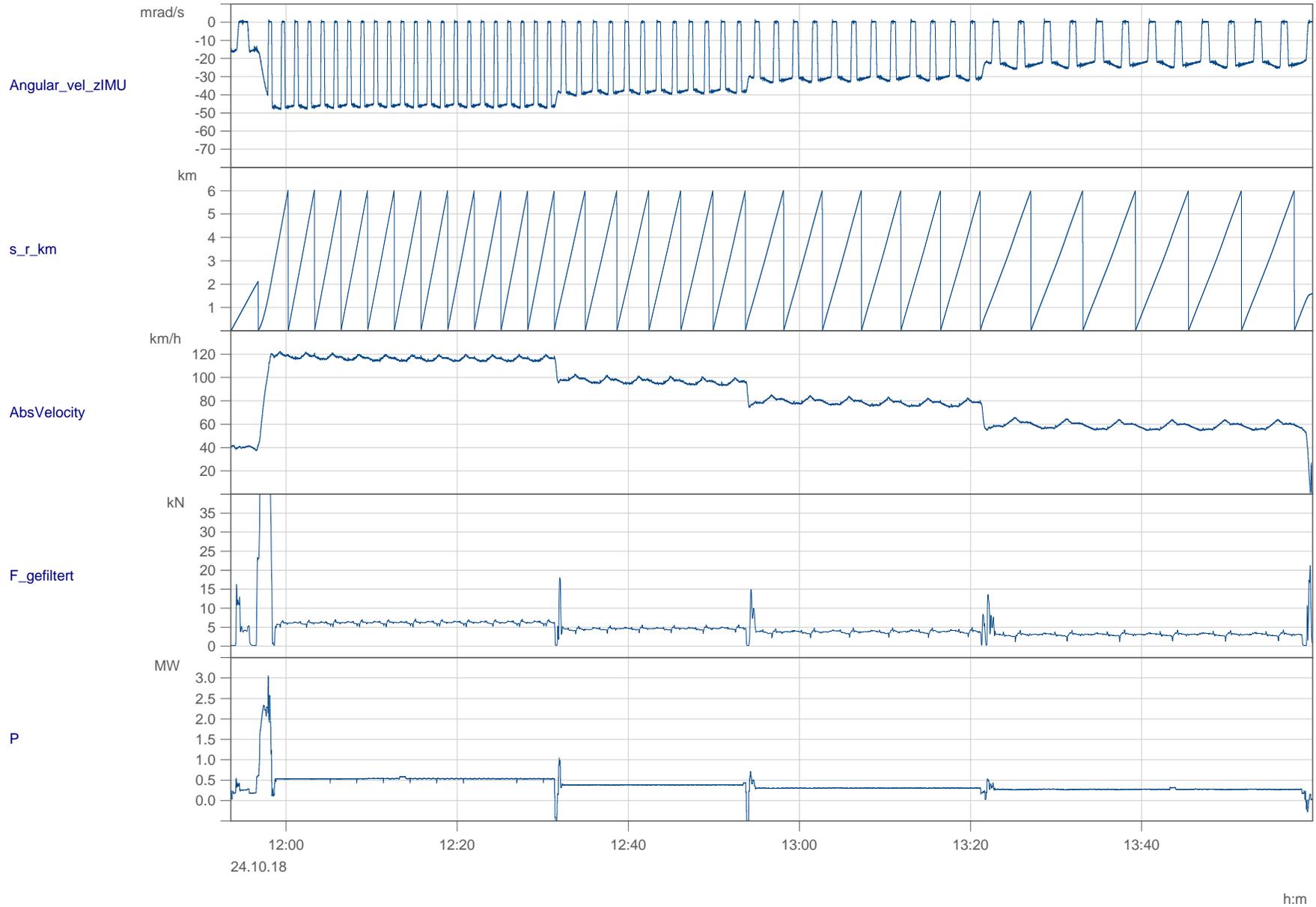


File Nr.: 0000078	PCW2-T2 , KW-IGW	Datum: 19.10.2018 12:36:15
-------------------	------------------	----------------------------

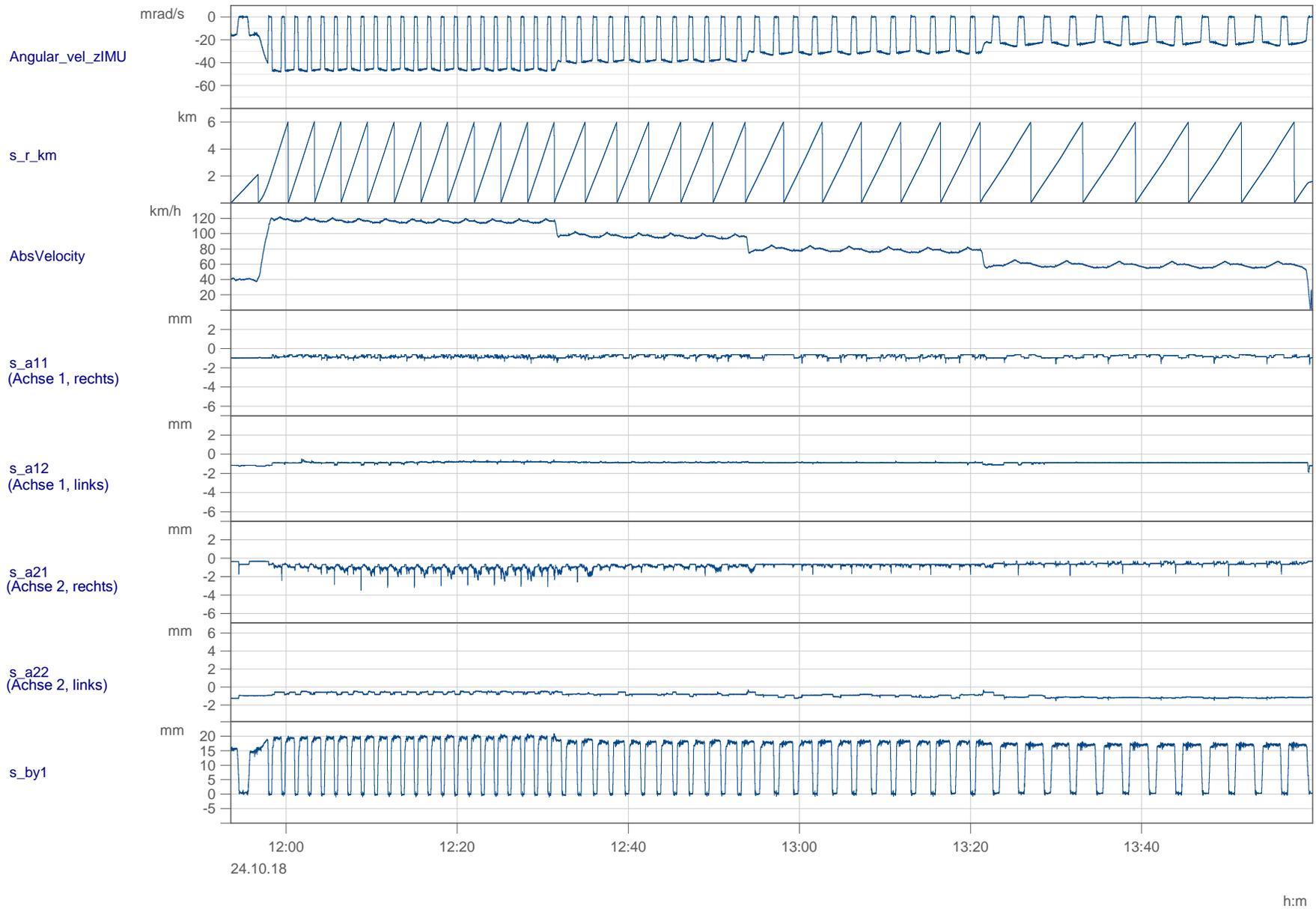


File Nr.: 0000078	PCW2-T2 , KW-IGW	Datum: 19.10.2018 12:36:15
-------------------	------------------	----------------------------

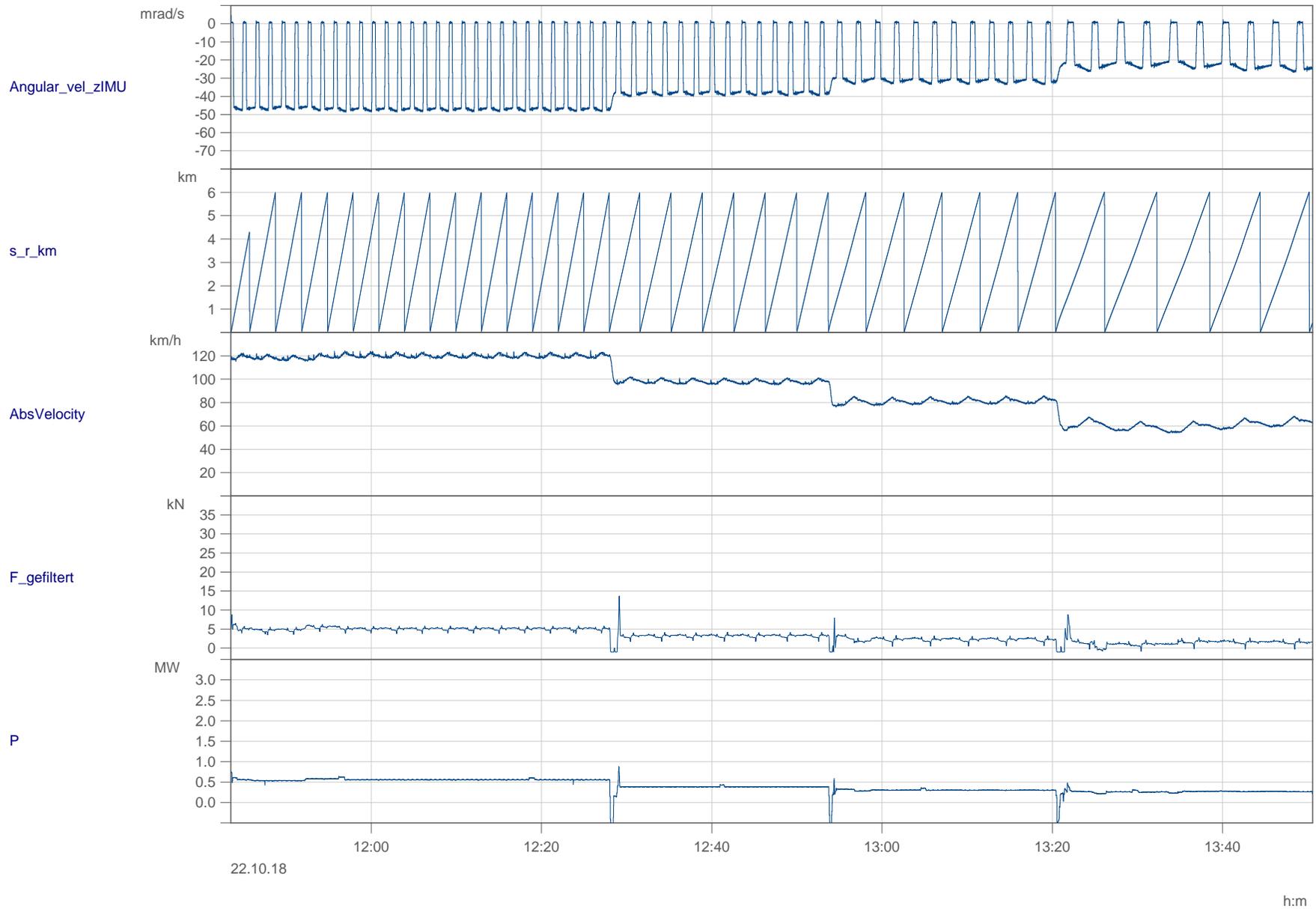




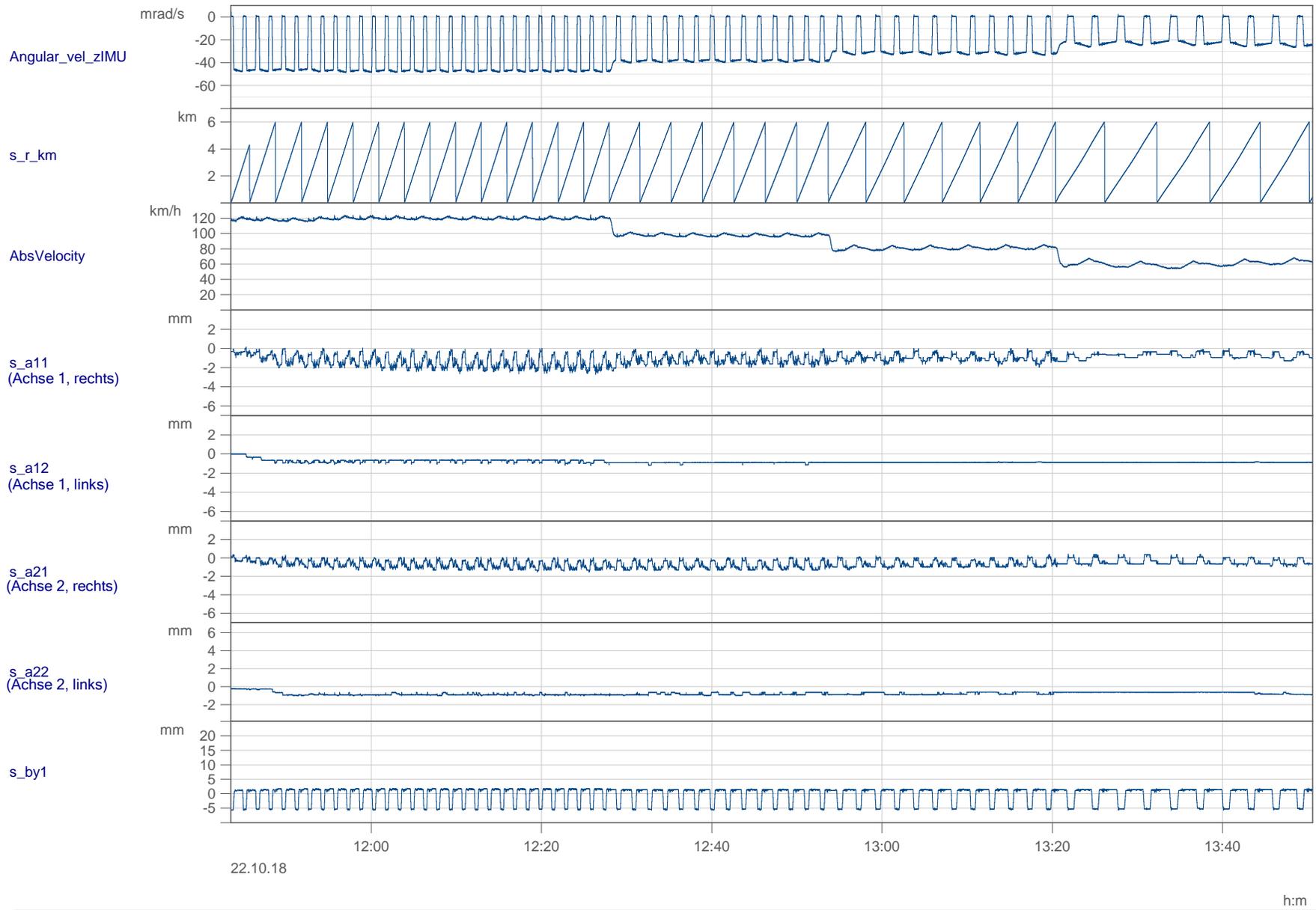
File Nr.: 00000004	PCW2-T1 , CW-REF	Datum: 24.10.2018 11:53:32
--------------------	------------------	----------------------------



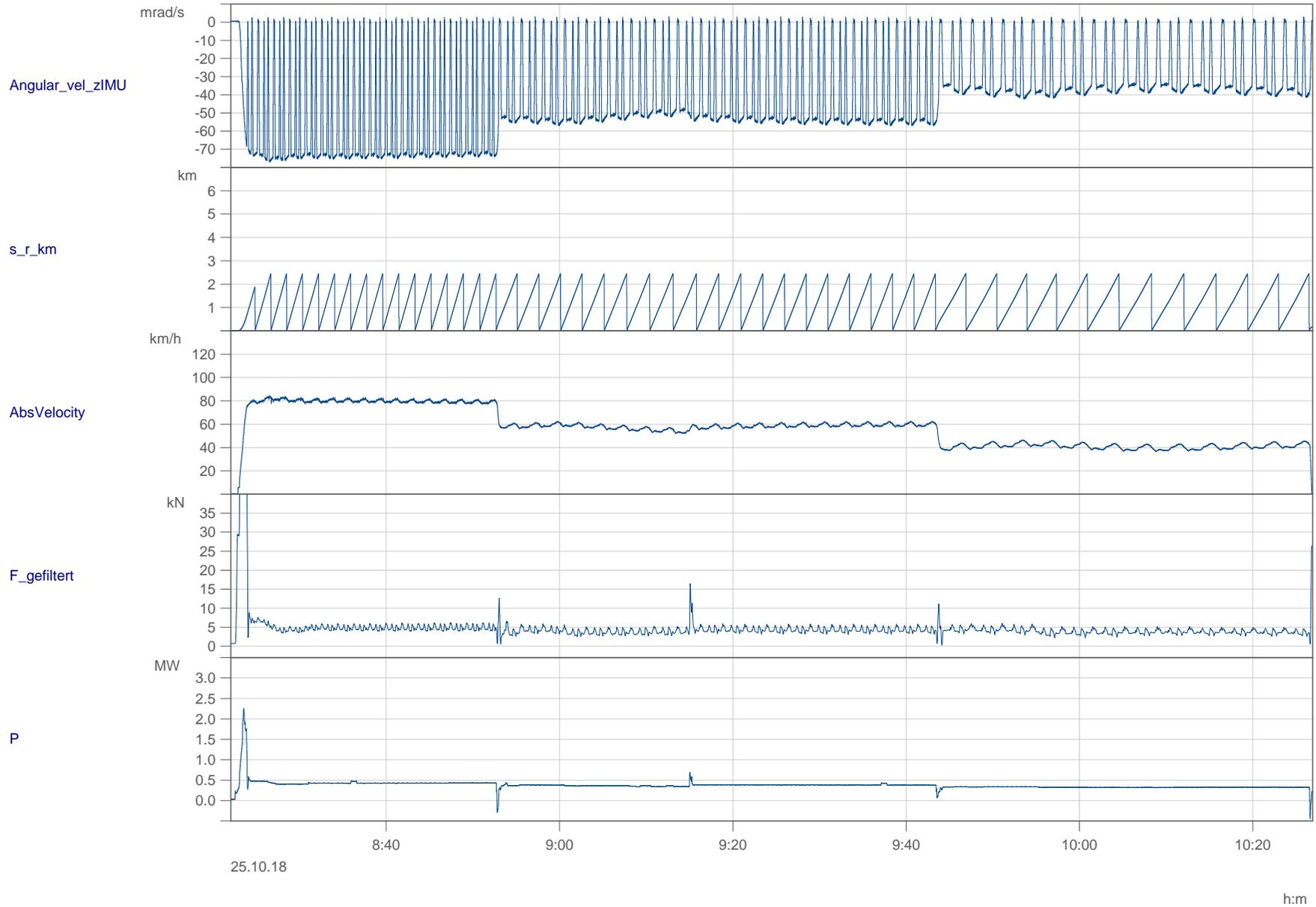
File Nr.: 00000004	PCW2-T1 , CW-REF	Datum: 24.10.2018 11:53:32
--------------------	------------------	----------------------------



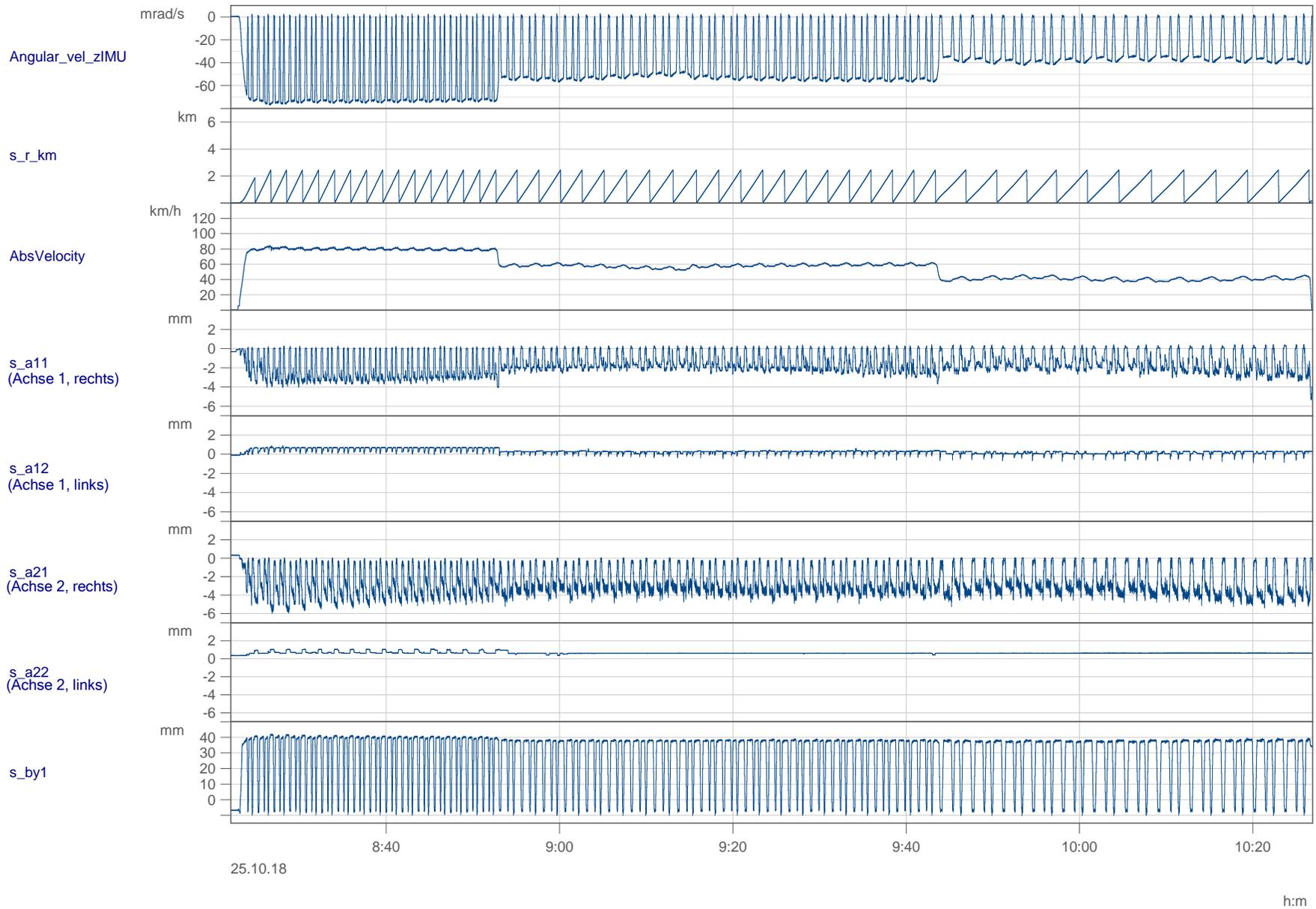
File Nr.: 00000003	PCW2-T1 , CW-IGW	Datum: 22.10.2018 11:43:30
--------------------	------------------	----------------------------



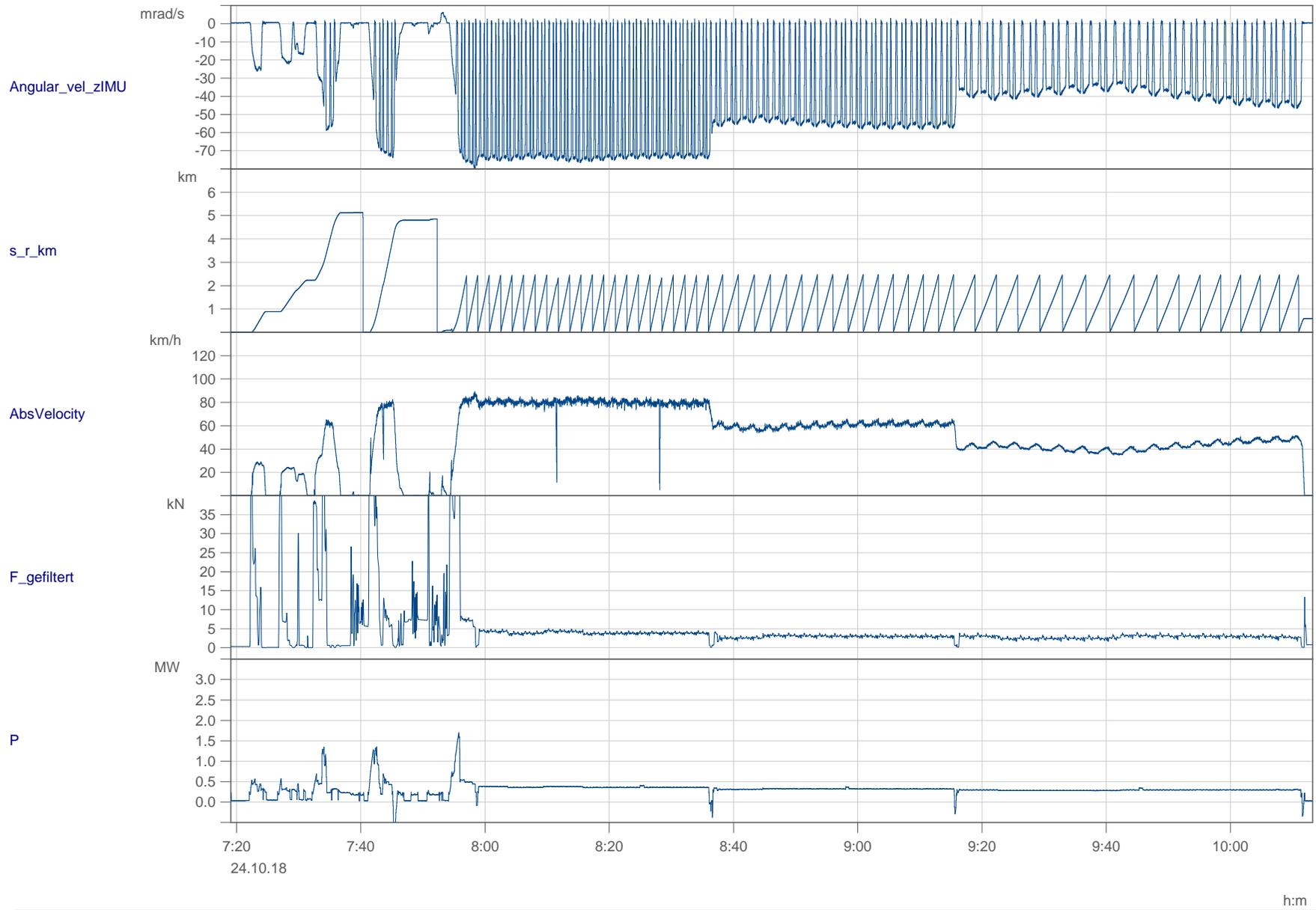
File Nr.: 00000003	PCW2-T1 , CW-IGW	Datum: 22.10.2018 11:43:30
--------------------	------------------	----------------------------



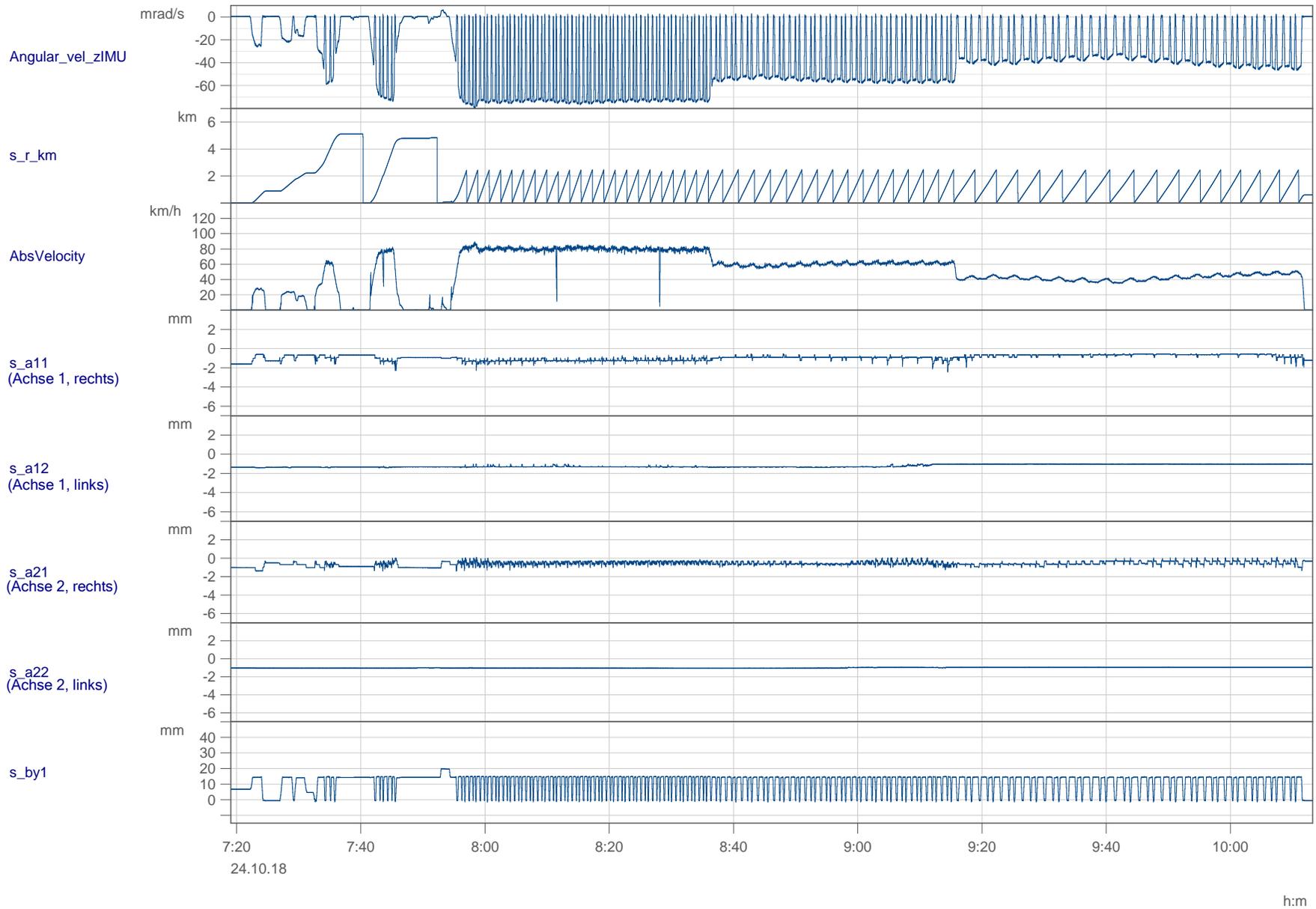
File Nr.: 00000005	PCW2-T2 , CW-REF	Datum: 25.10.2018 08:22:04
--------------------	------------------	----------------------------



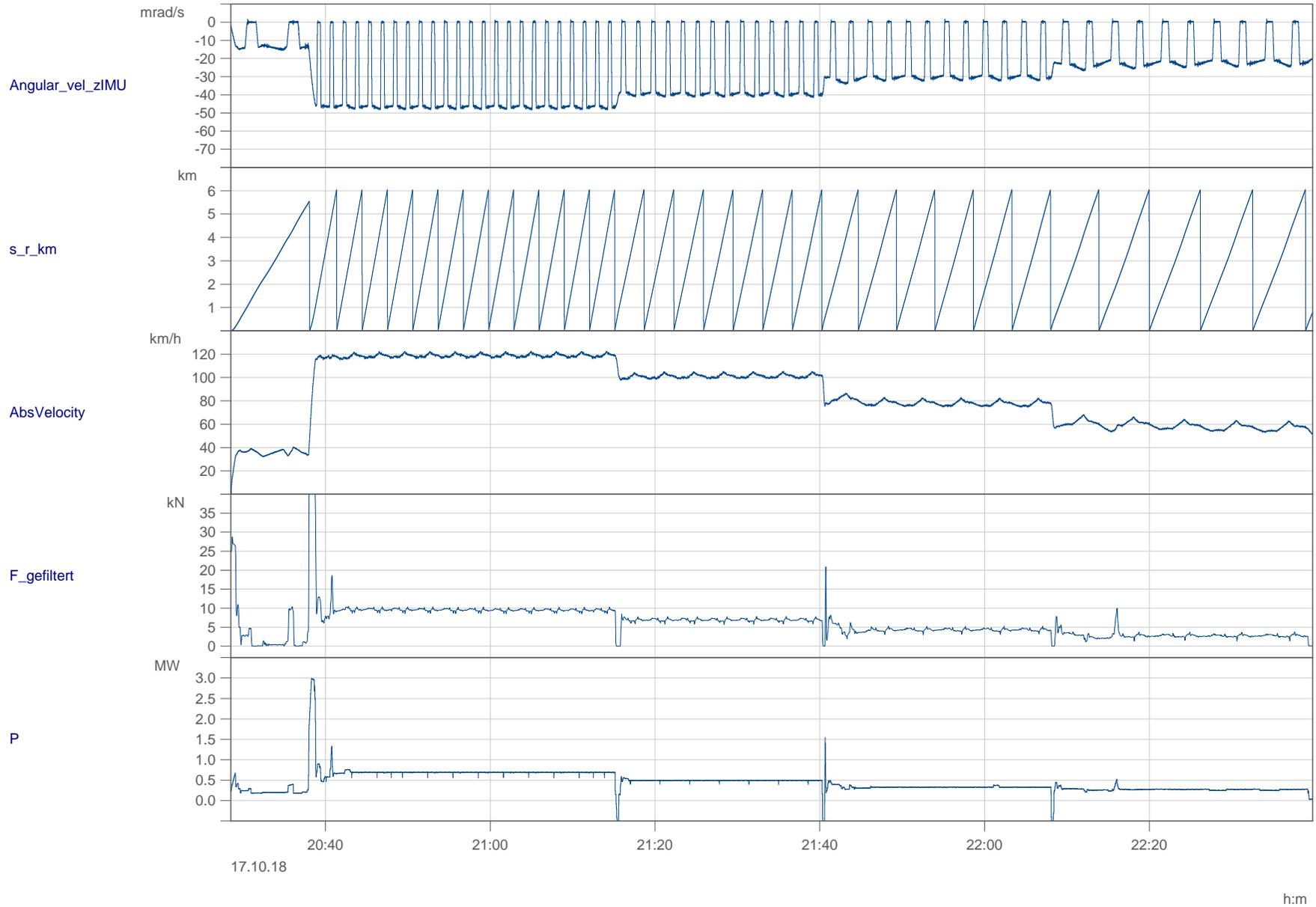
File Nr.: 0000005	PCW2-T2 , CW-REF	Datum: 25.10.2018 08:22:04
-------------------	------------------	----------------------------



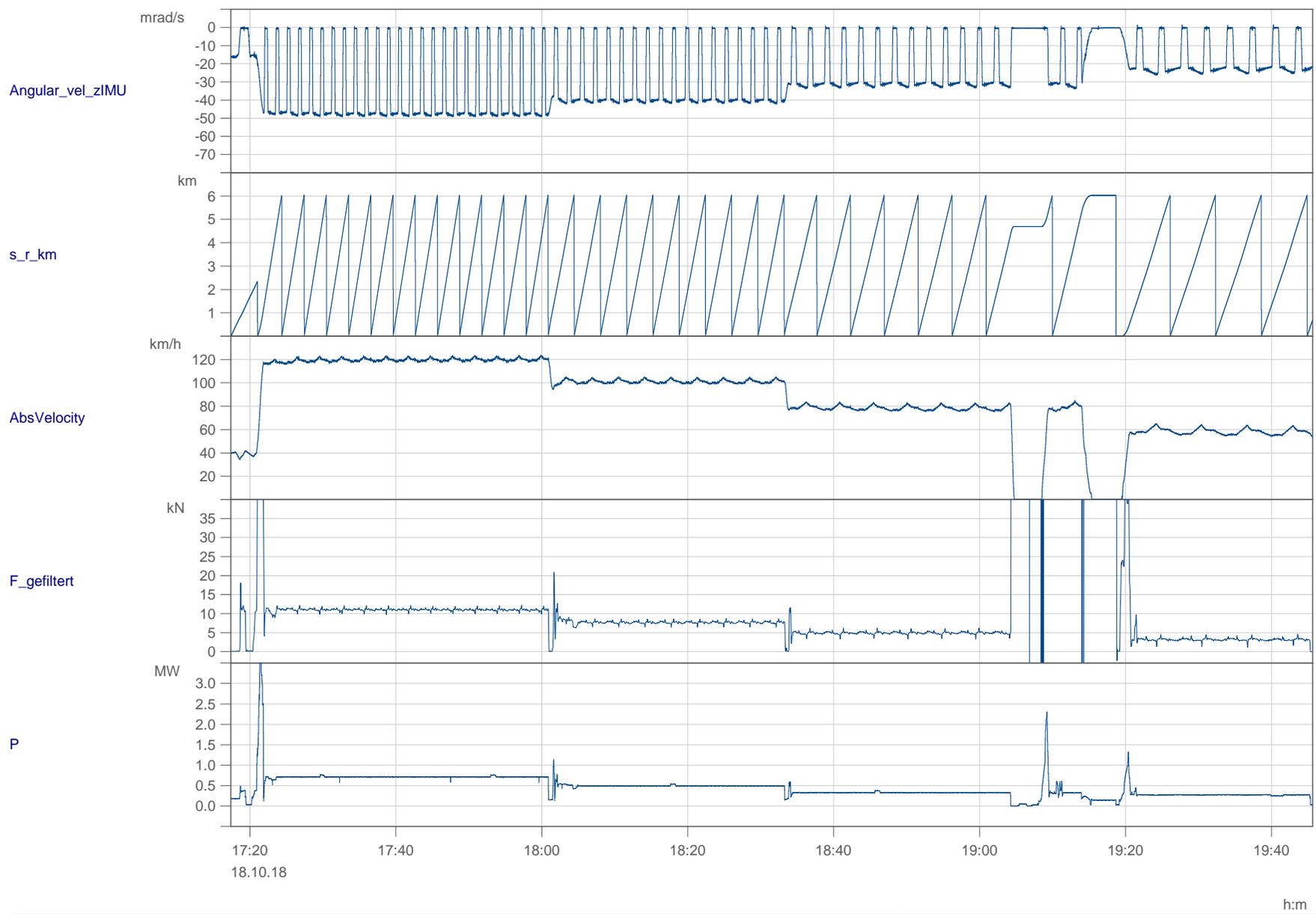
File Nr.: 0000006	PCW2-T2 , CW-IGW	Datum: 24.10.2018 07:19:04
-------------------	------------------	----------------------------



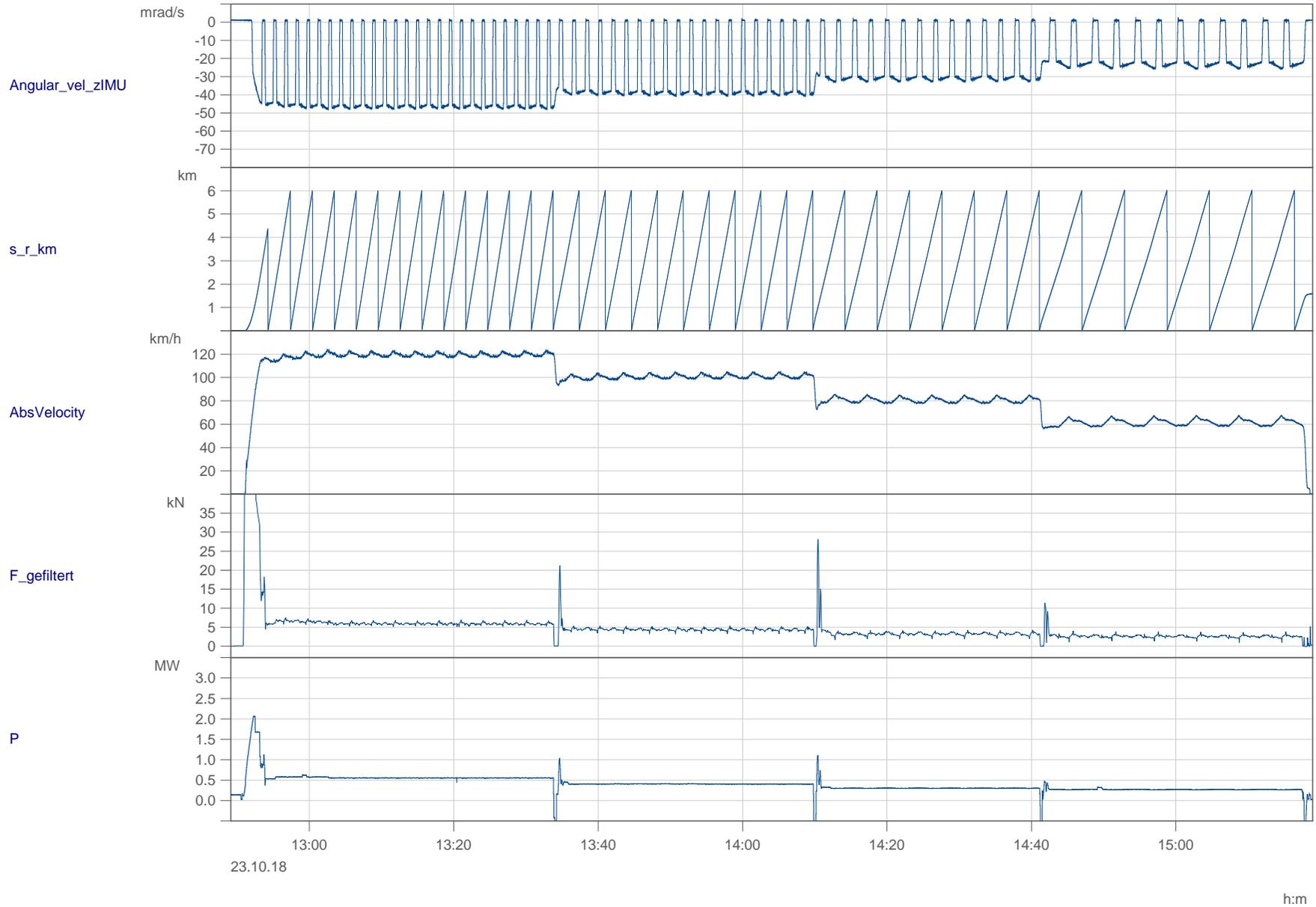
File Nr.: 0000006	PCW2-T2 , CW-IGW	Datum: 24.10.2018 07:19:04
-------------------	------------------	----------------------------



File Nr.: 00000002	PCW2-T1 , AT-REF	Datum: 17.10.2018 20:28:31
--------------------	------------------	----------------------------



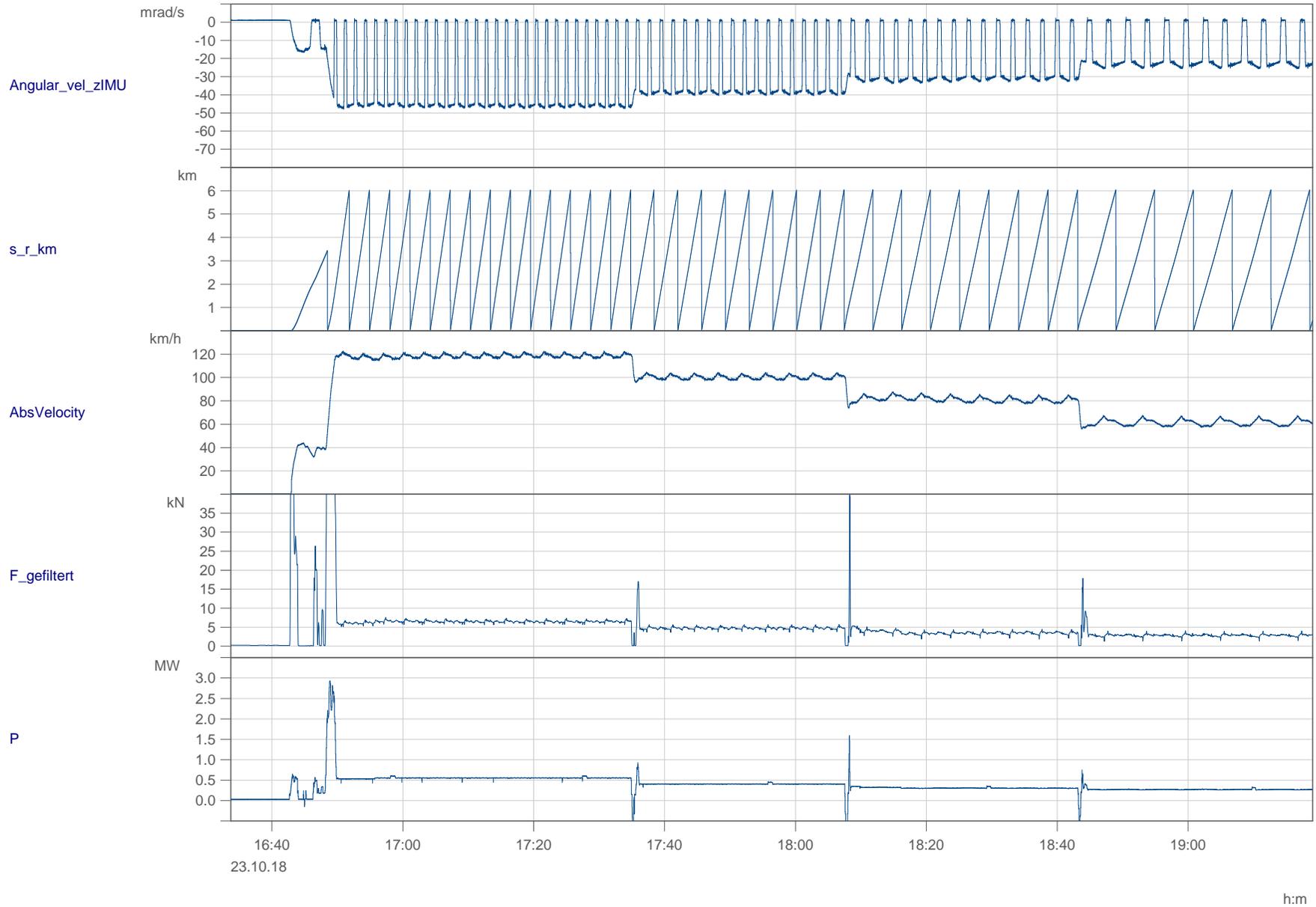
File Nr.: 0000024	PCW2-T1 , AT-IGW	Datum: 18.10.2018 17:17:23
-------------------	------------------	----------------------------



File Nr.: 00000004

PCW2-T1 , FW-REF

Datum: 23.10.2018 12:49:07

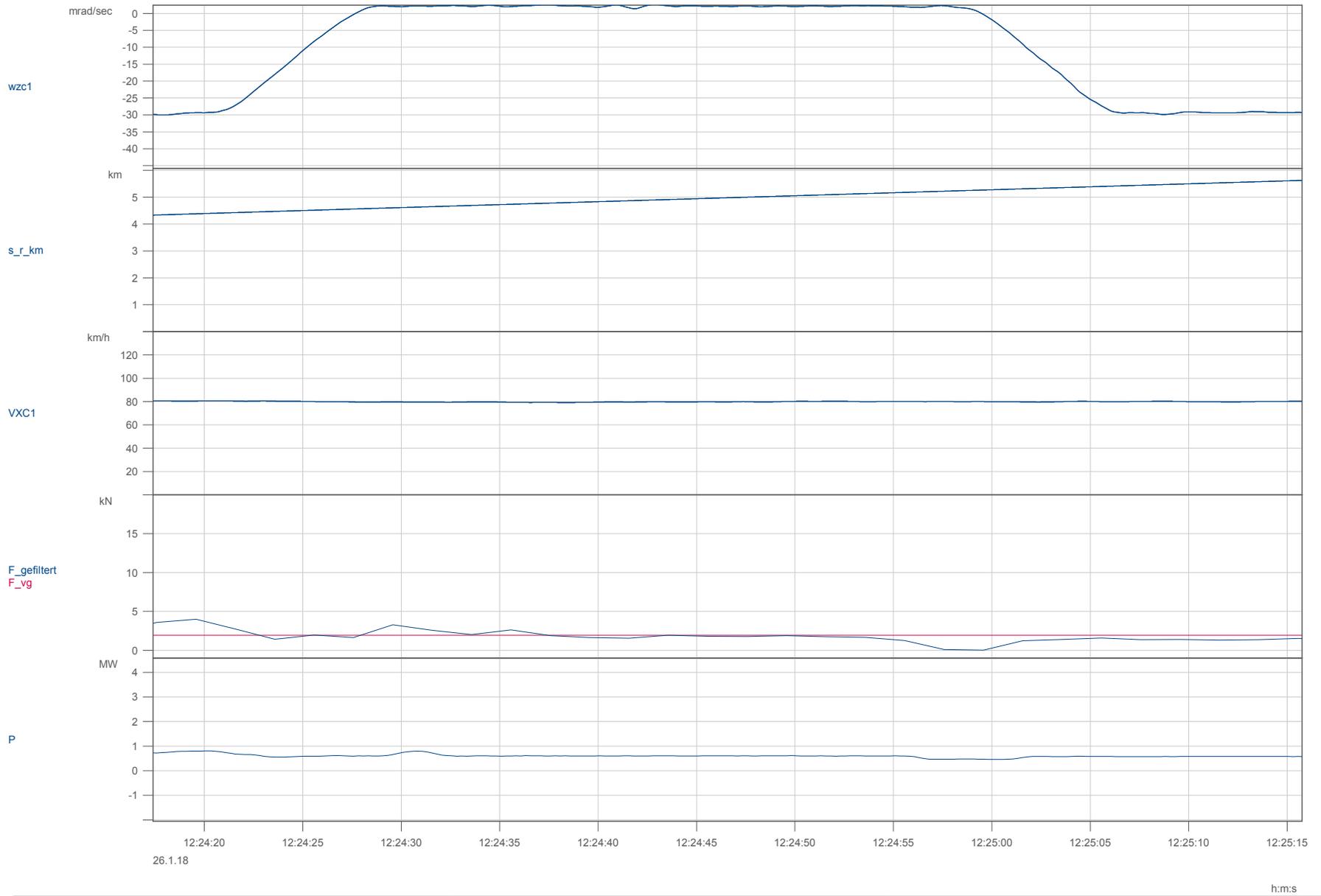


File Nr.: 00000005	PCW2-T1 , FW-IGW	Datum: 23.10.2018 16:33:43
--------------------	------------------	----------------------------

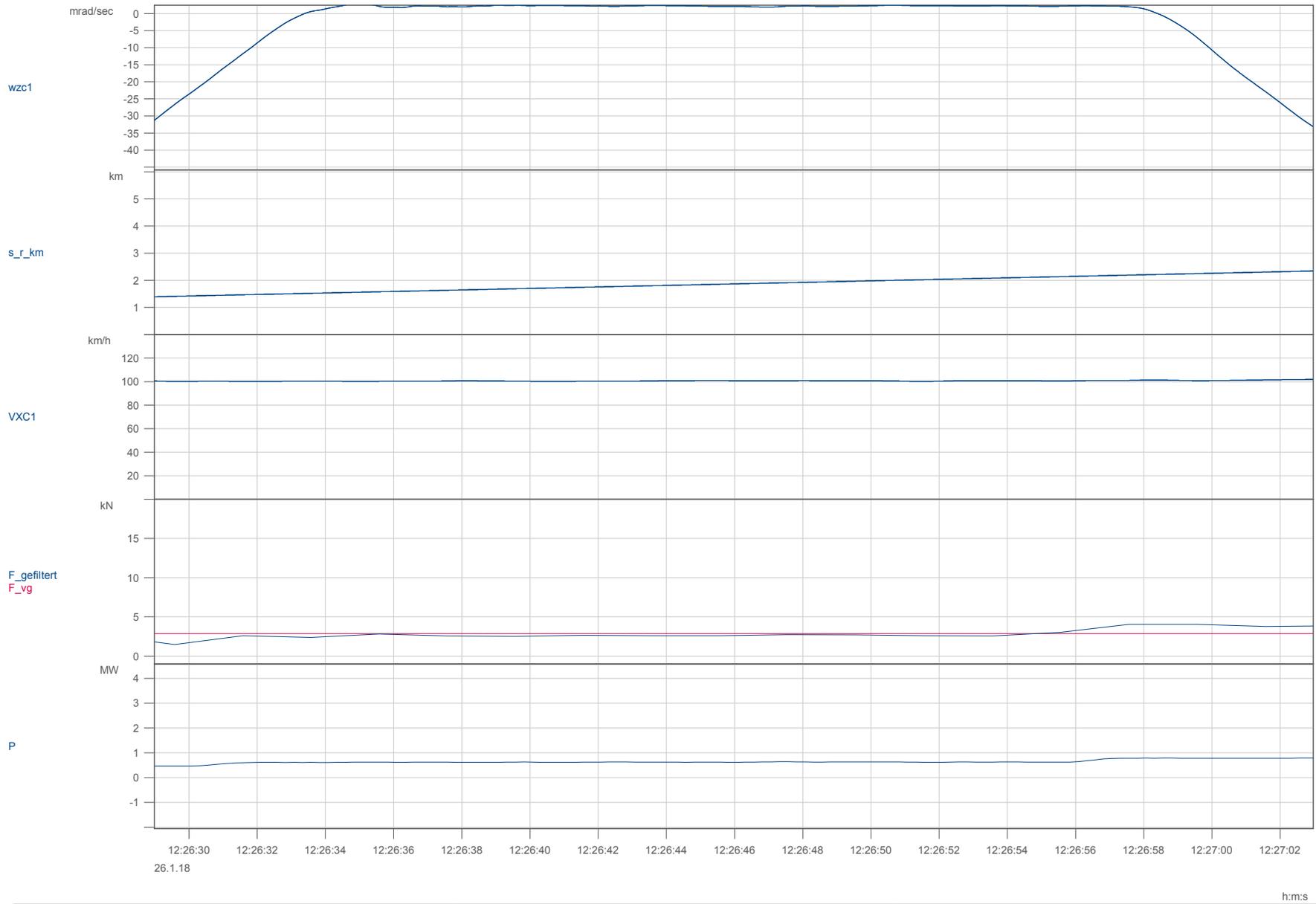
## J Abgleich PCW I mit PCW II

In den nachfolgenden Plots ist der Abgleich der Messungen aus dem PCW I mit den auf Leergewicht skalierten Ergebnissen aus PCW II dargestellt.

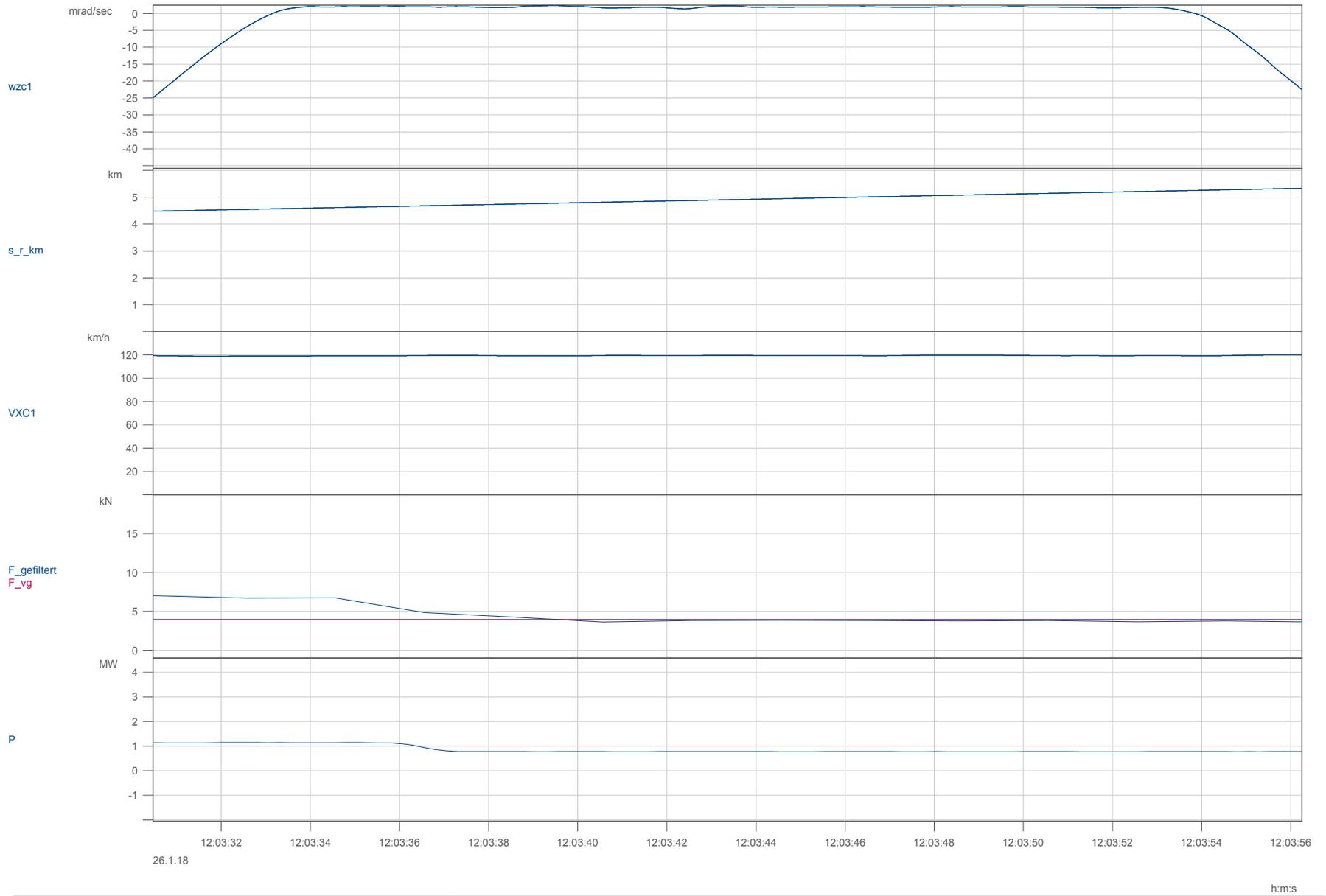
Bei der Zugkraft repräsentiert die blaue Linie die gemessene Zugkraft ( $F_{\text{gefiltert}}$ ) während PCW I. Die rote Linie zeigt zum Vergleich den skalierten Wert aus PCW II an ( $F_{\text{vg}}$ ).



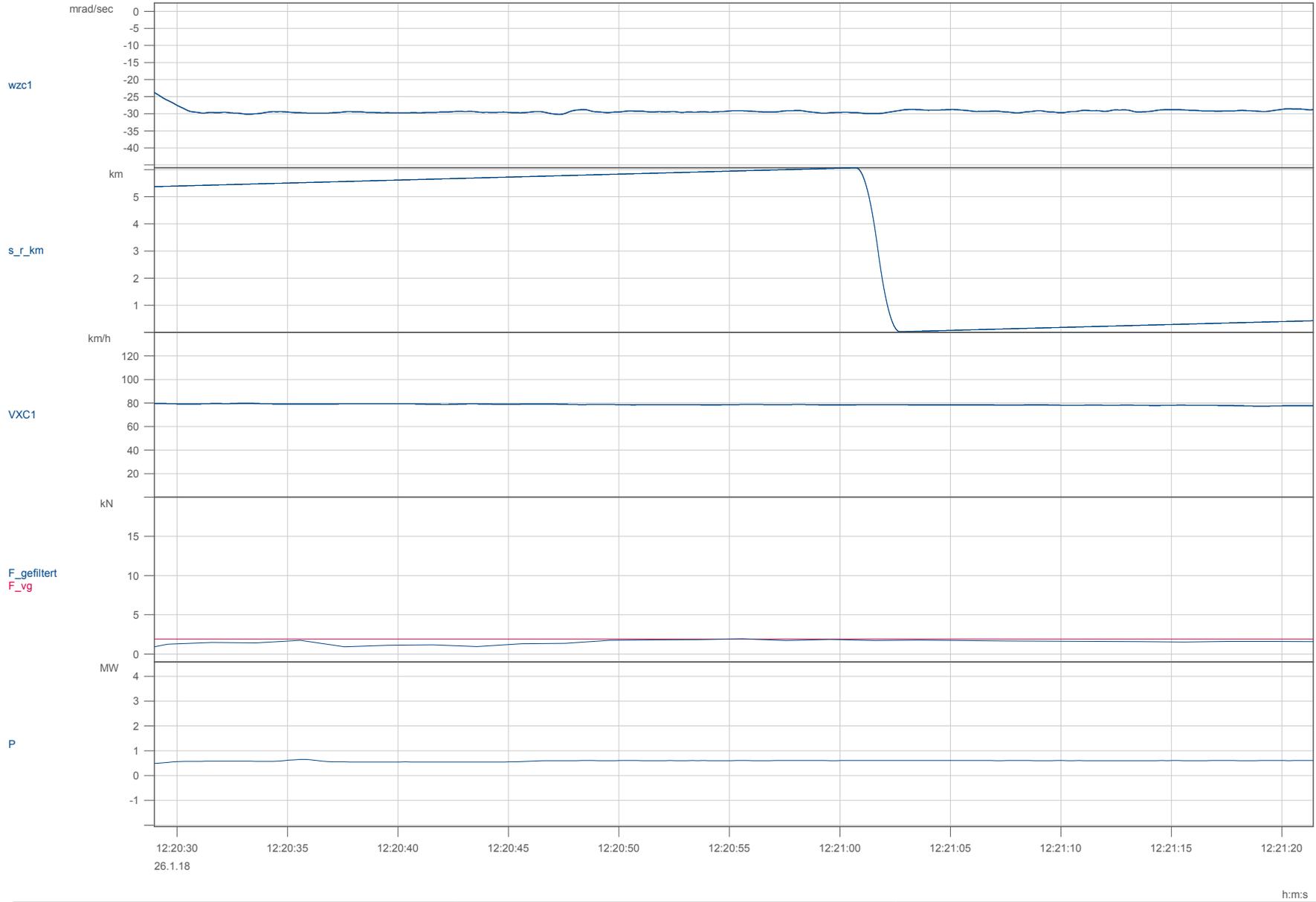
File Nr.: D000002	PCW1-T1 , KW-REF	Datum: 26.01.2018 12:15:09
-------------------	------------------	----------------------------



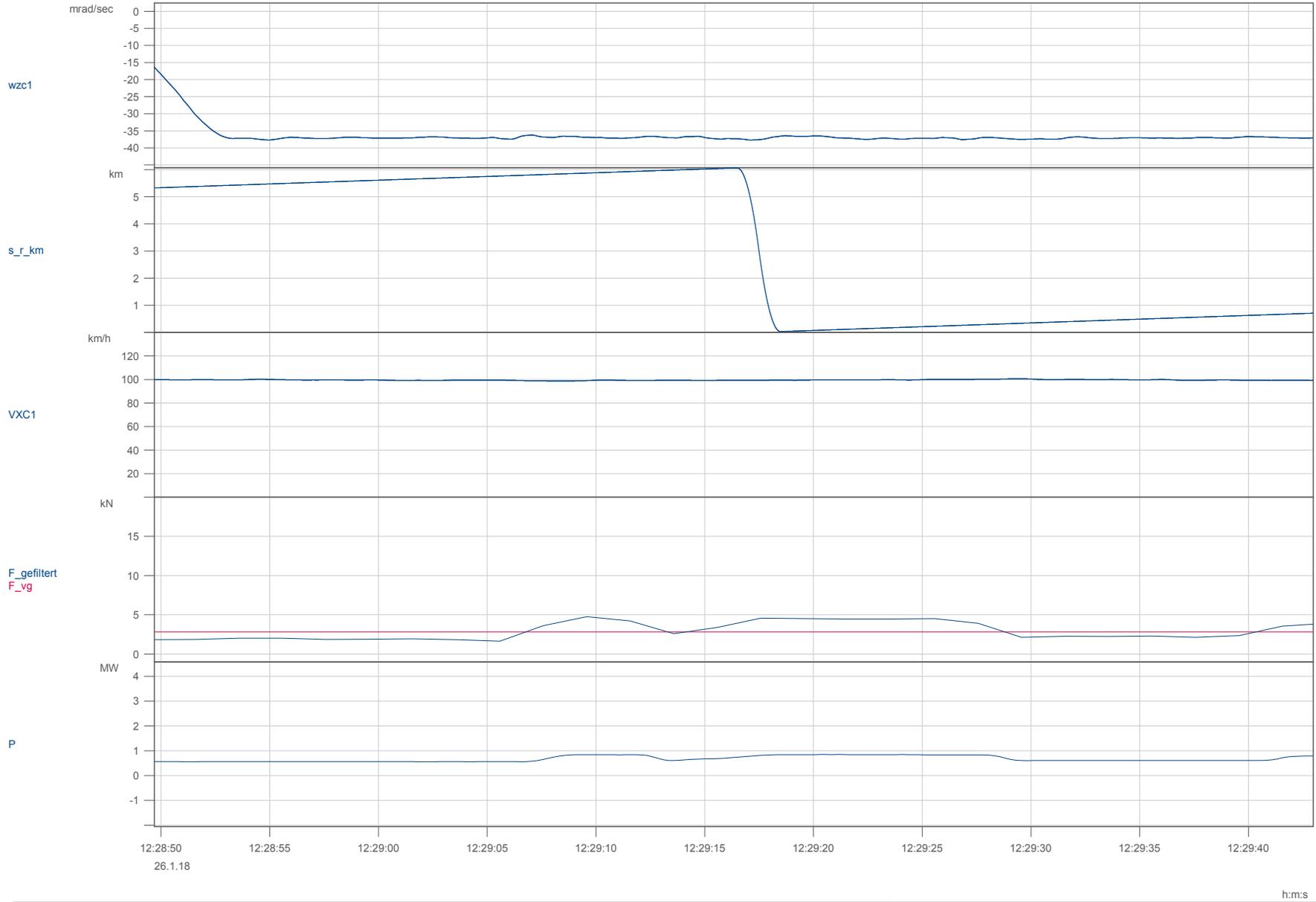
File Nr.: D000002	PCW1-T1 , KW-REF	Datum: 26.01.2018 12:15:09
-------------------	------------------	----------------------------



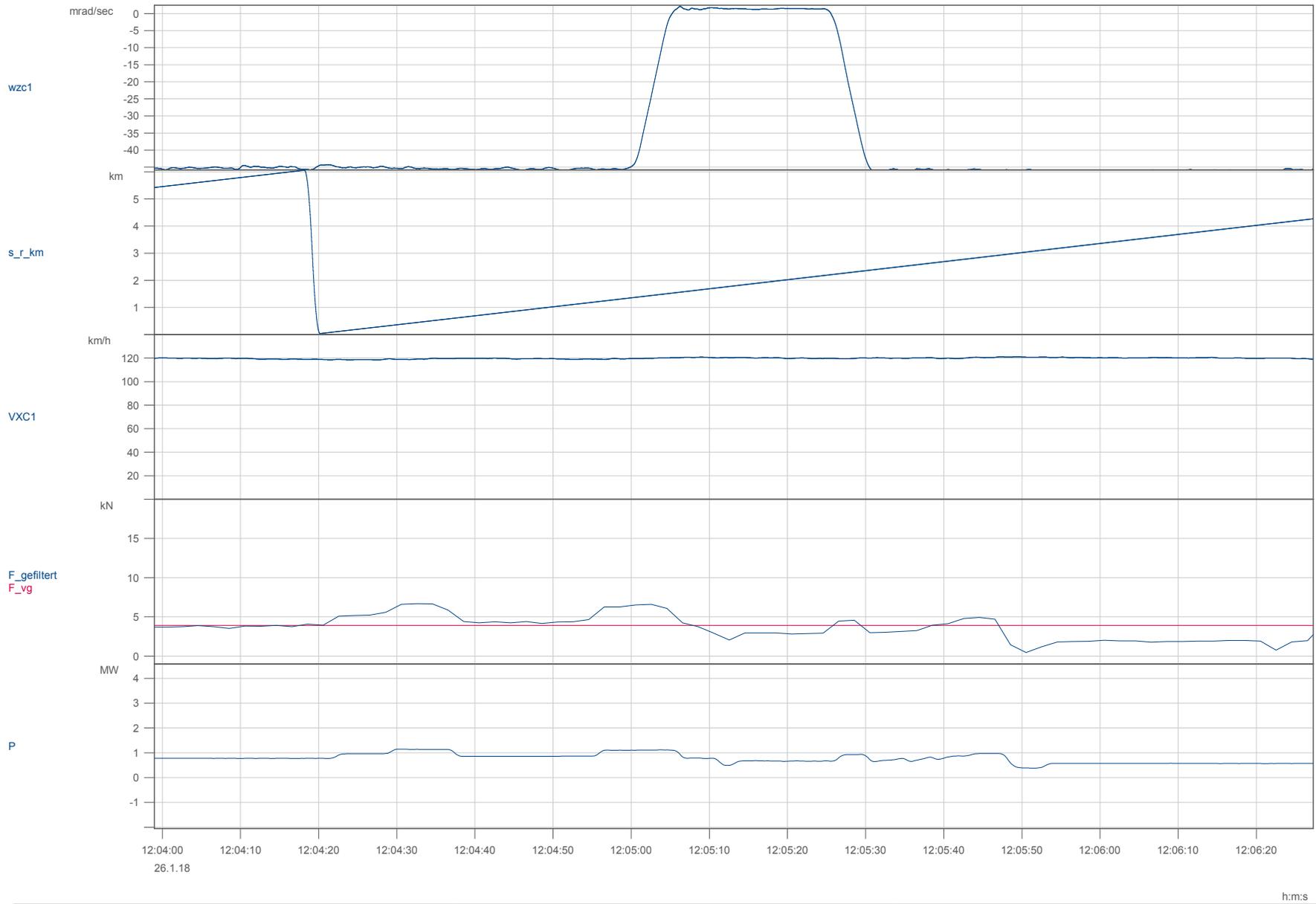
File Nr.: D000005	PCW1-T1 , KW-REF	Datum: 26.01.2018 12:00:14
-------------------	------------------	----------------------------



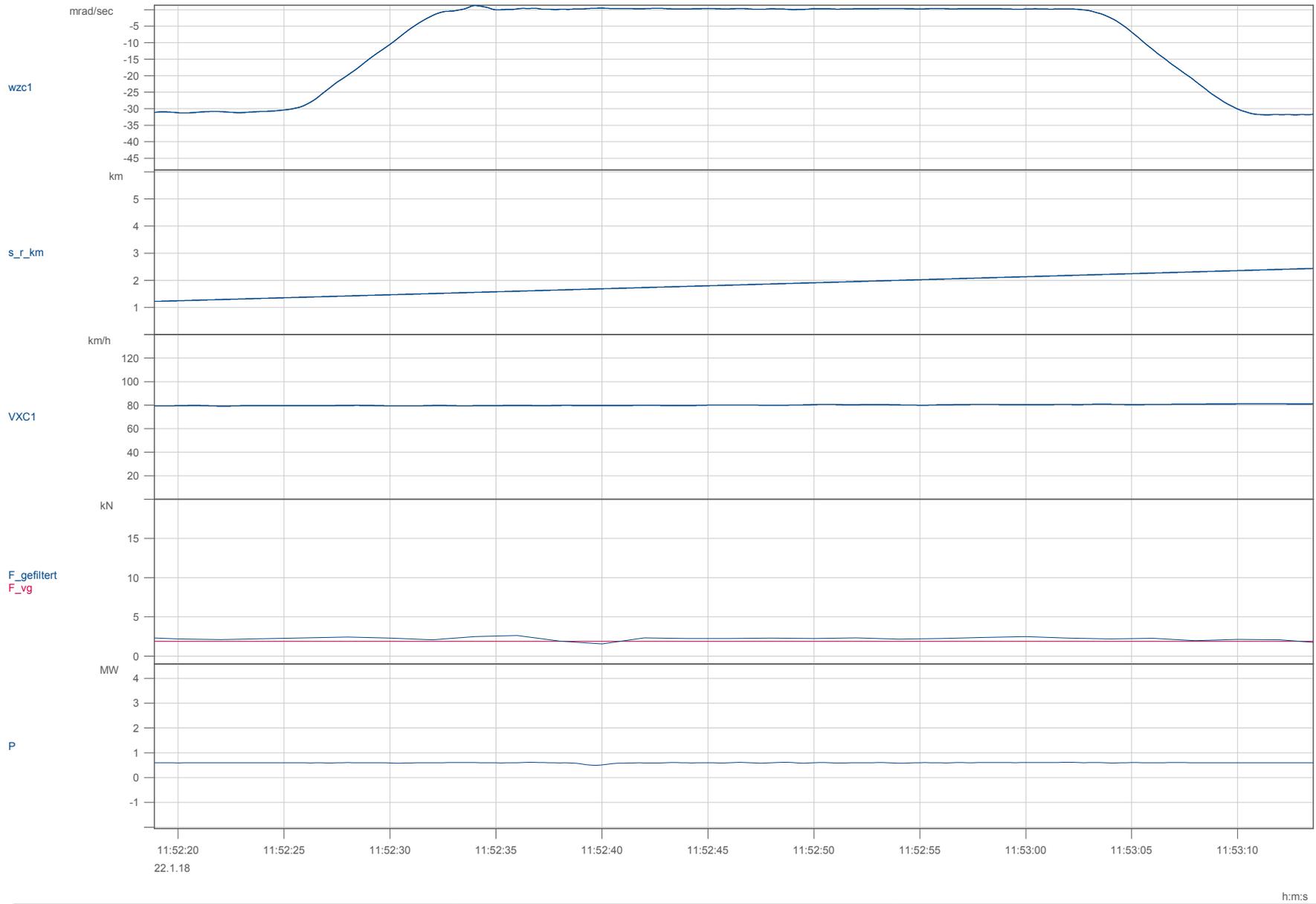
File Nr.: D000002	PCW1-T1 , KW-REF	Datum: 26.01.2018 12:15:09
-------------------	------------------	----------------------------



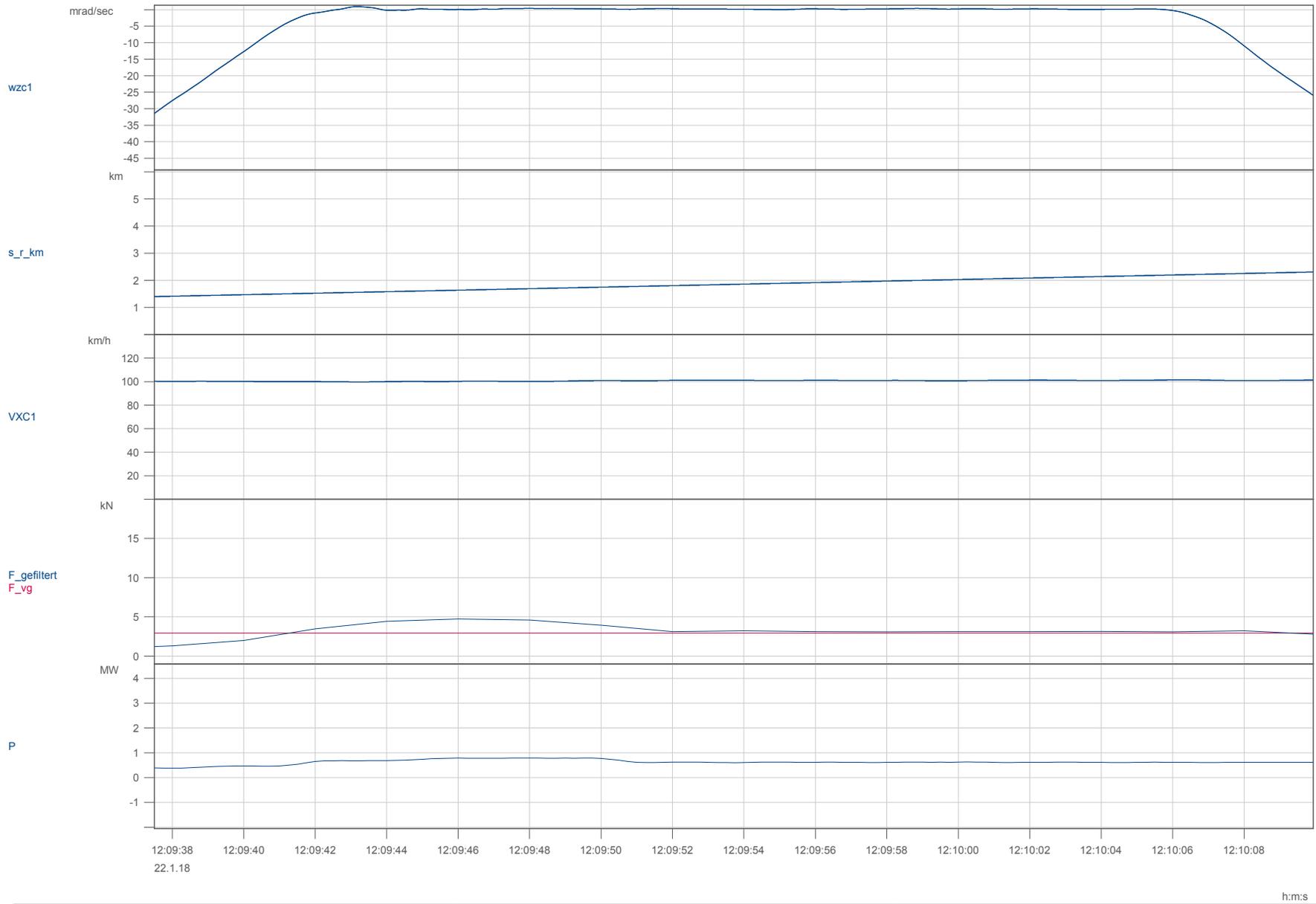
File Nr.: D000002	PCW1-T1 , KW-REF	Datum: 26.01.2018 12:15:09
-------------------	------------------	----------------------------



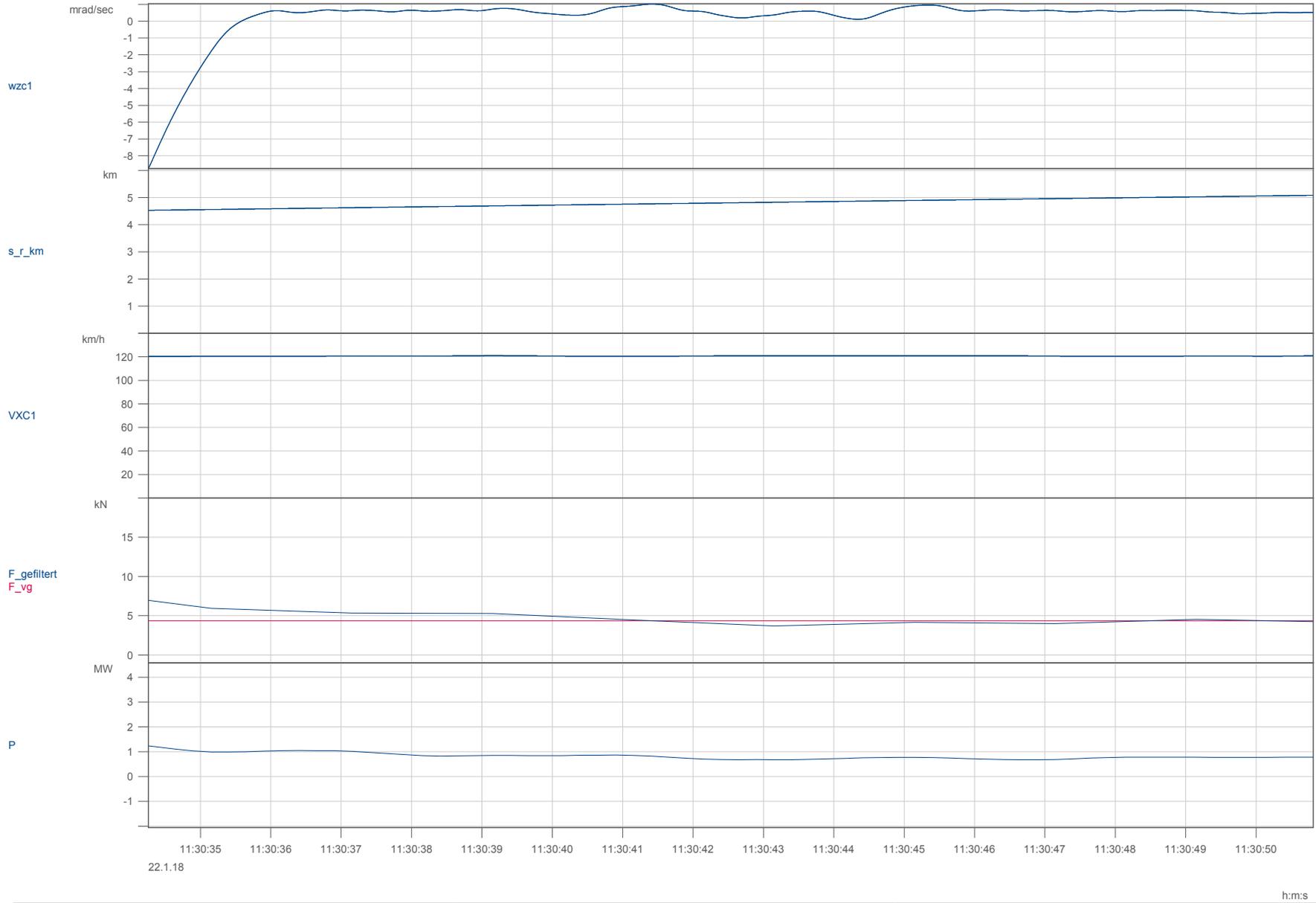
File Nr.: D000005	PCW1-T1 , KW-REF	Datum: 26.01.2018 12:00:14
-------------------	------------------	----------------------------



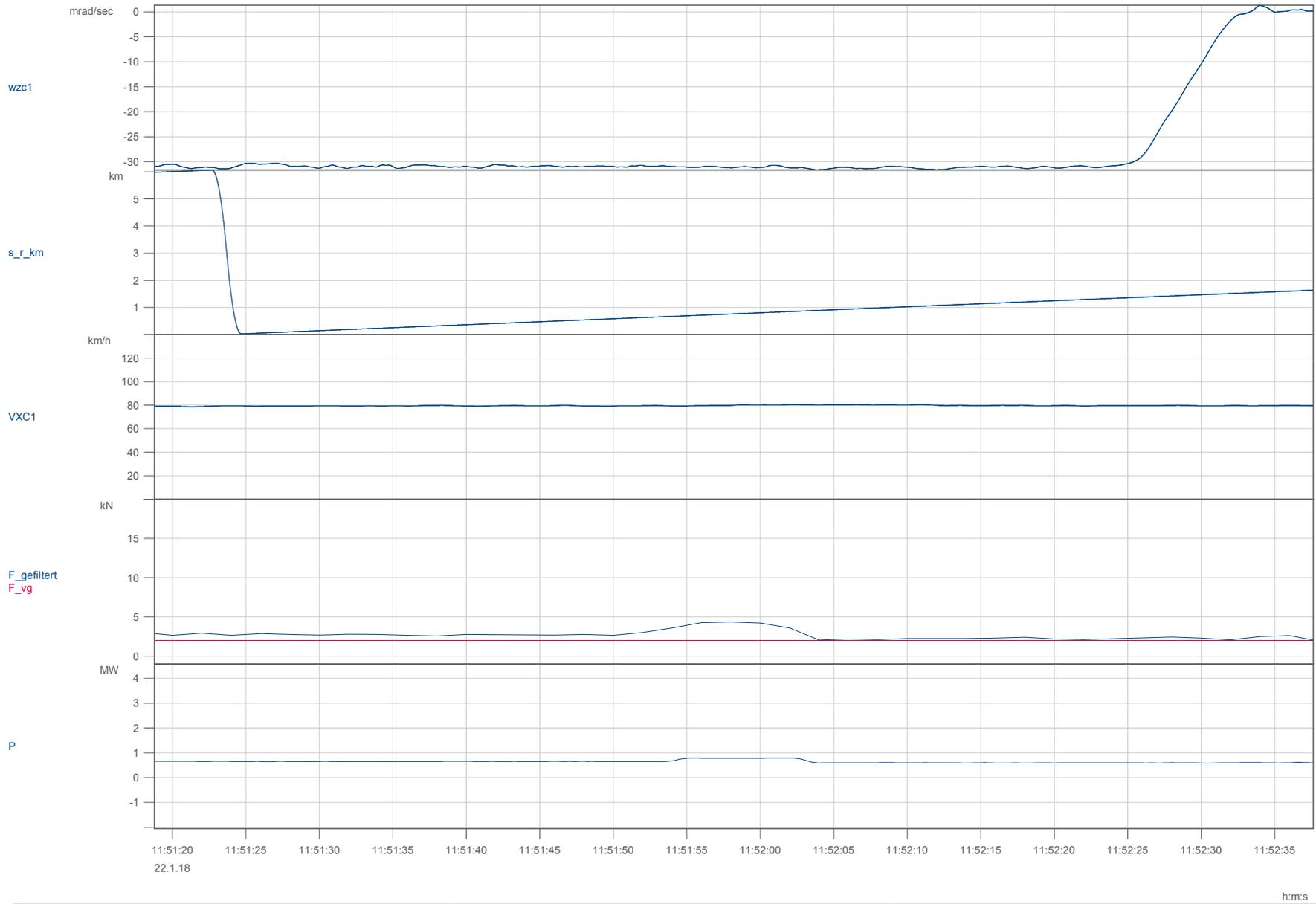
File Nr.: D100002	PCW1-T1 , KW-IGW	Datum: 22.01.2018 11:40:50
-------------------	------------------	----------------------------



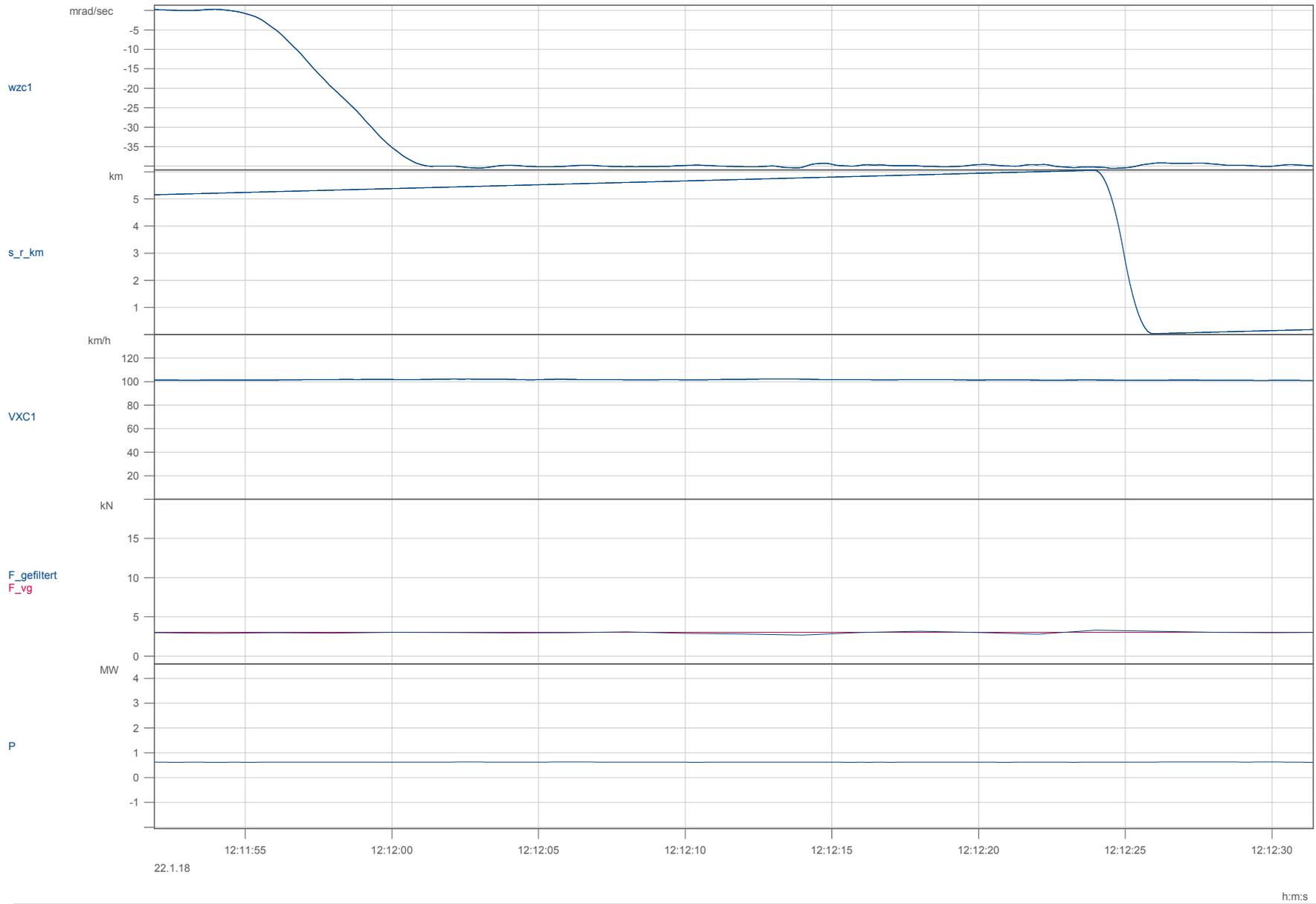
File Nr.: D100002	PCW1-T1 , KW-IGW	Datum: 22.01.2018 11:40:50
-------------------	------------------	----------------------------



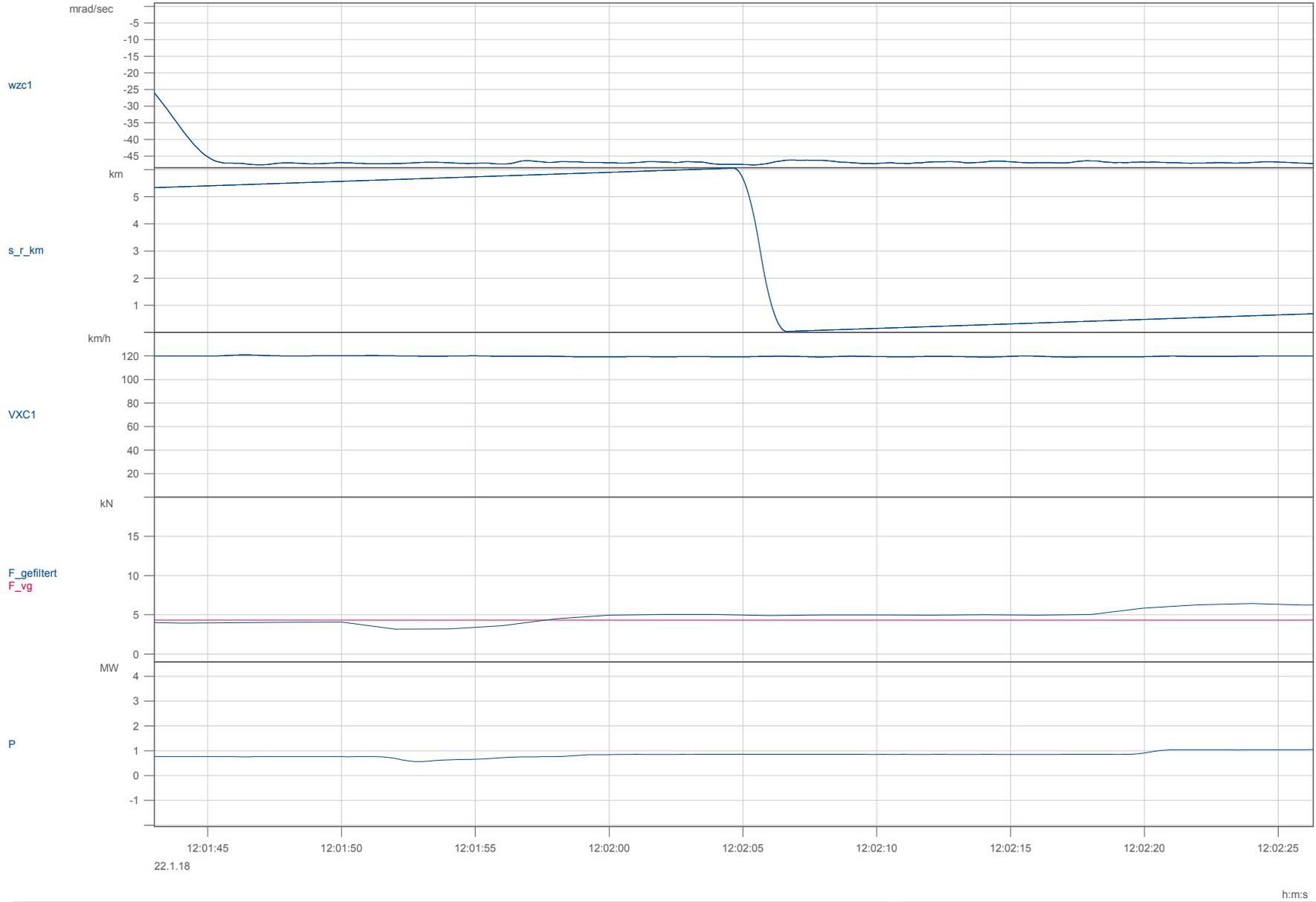
File Nr.: D100005	PCW1-T1 , KW-IGW	Datum: 22.01.2018 11:27:39
-------------------	------------------	----------------------------



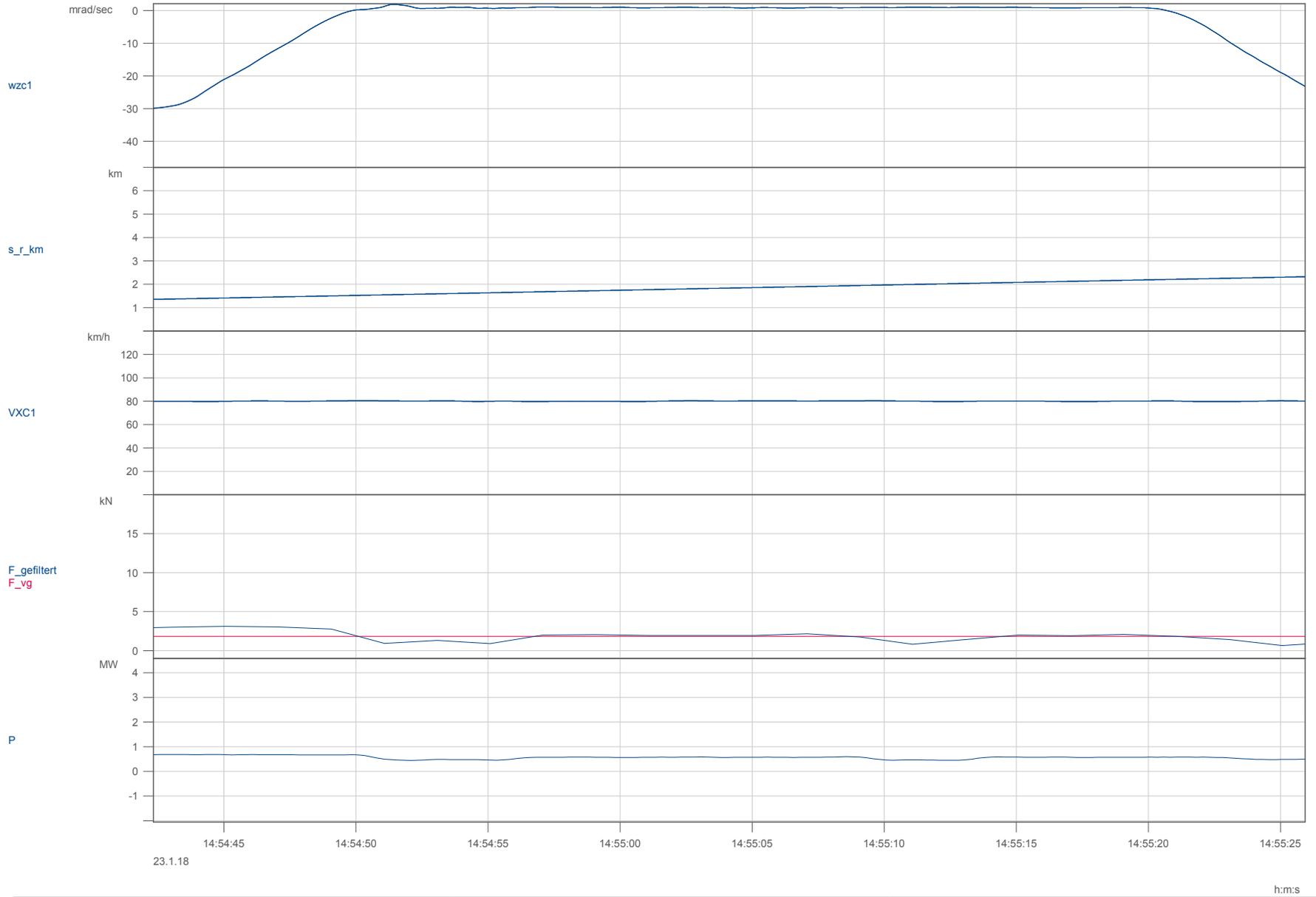
File Nr.: D100002	PCW1-T1 , KW-IGW	Datum: 22.01.2018 11:40:50
-------------------	------------------	----------------------------



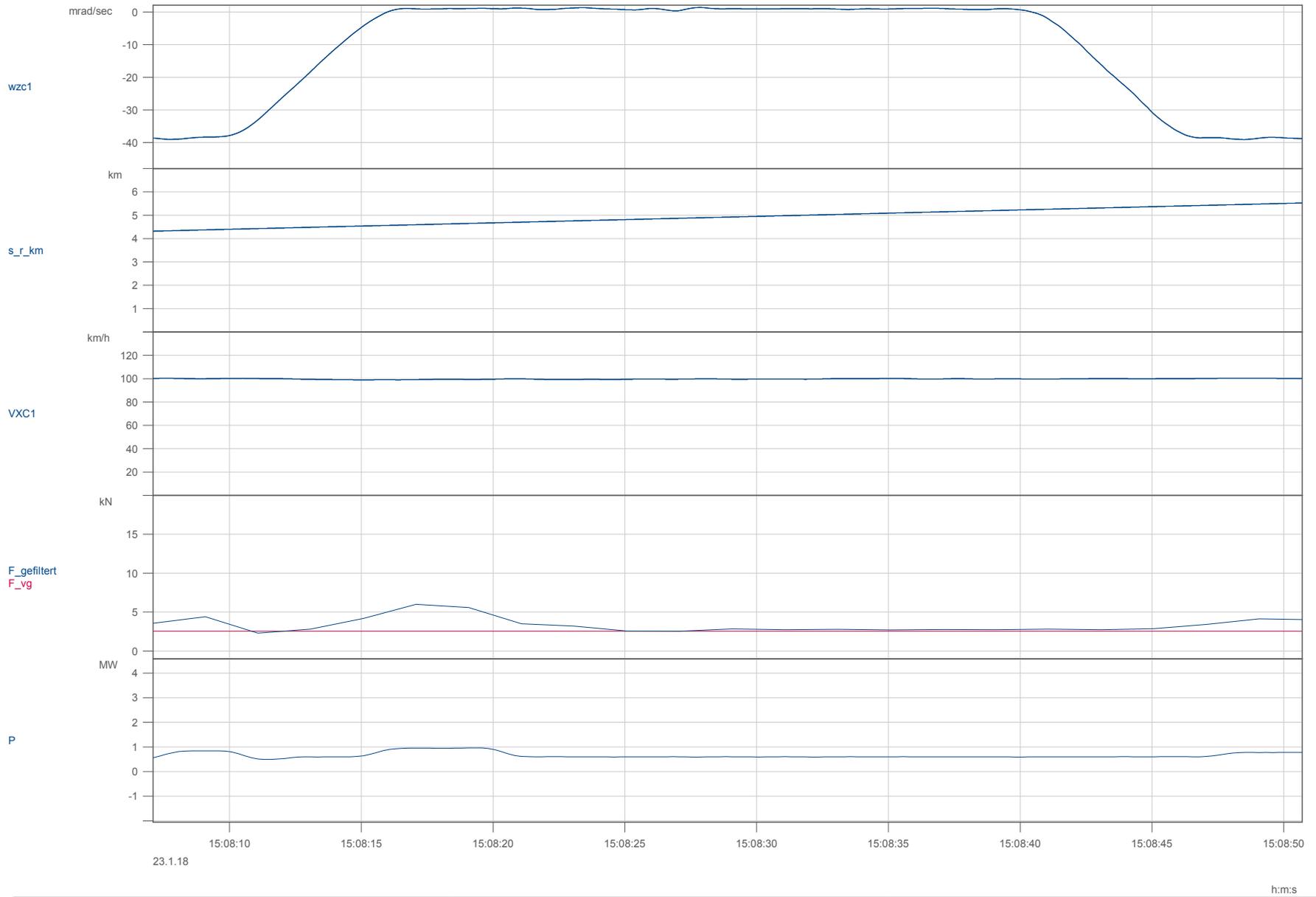
File Nr.: D100002	PCW1-T1 , KW-IGW	Datum: 22.01.2018 11:40:50
-------------------	------------------	----------------------------



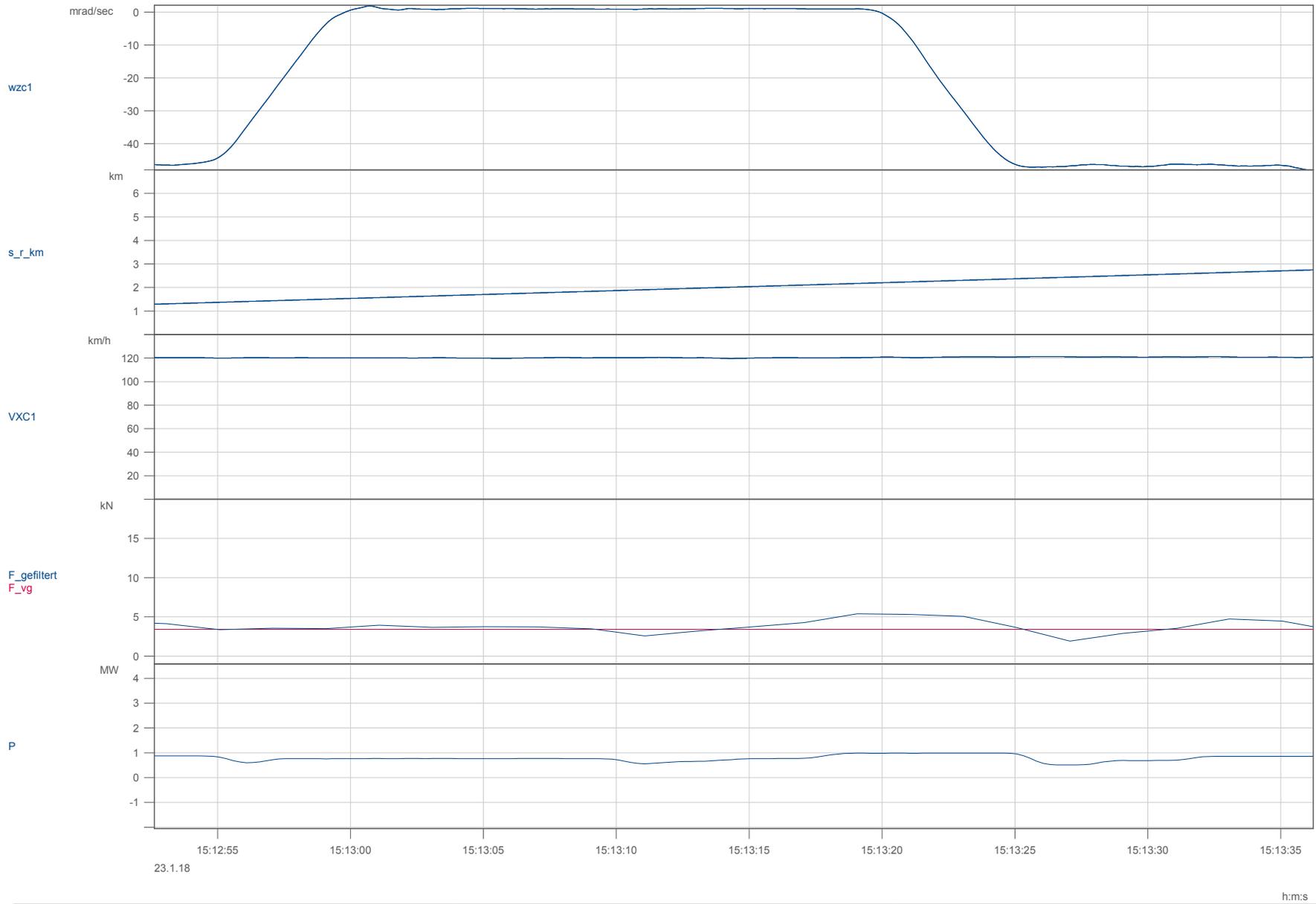
File Nr.: D100002	PCW1-T1 , KW-IGW	Datum: 22.01.2018 11:40:50
-------------------	------------------	----------------------------



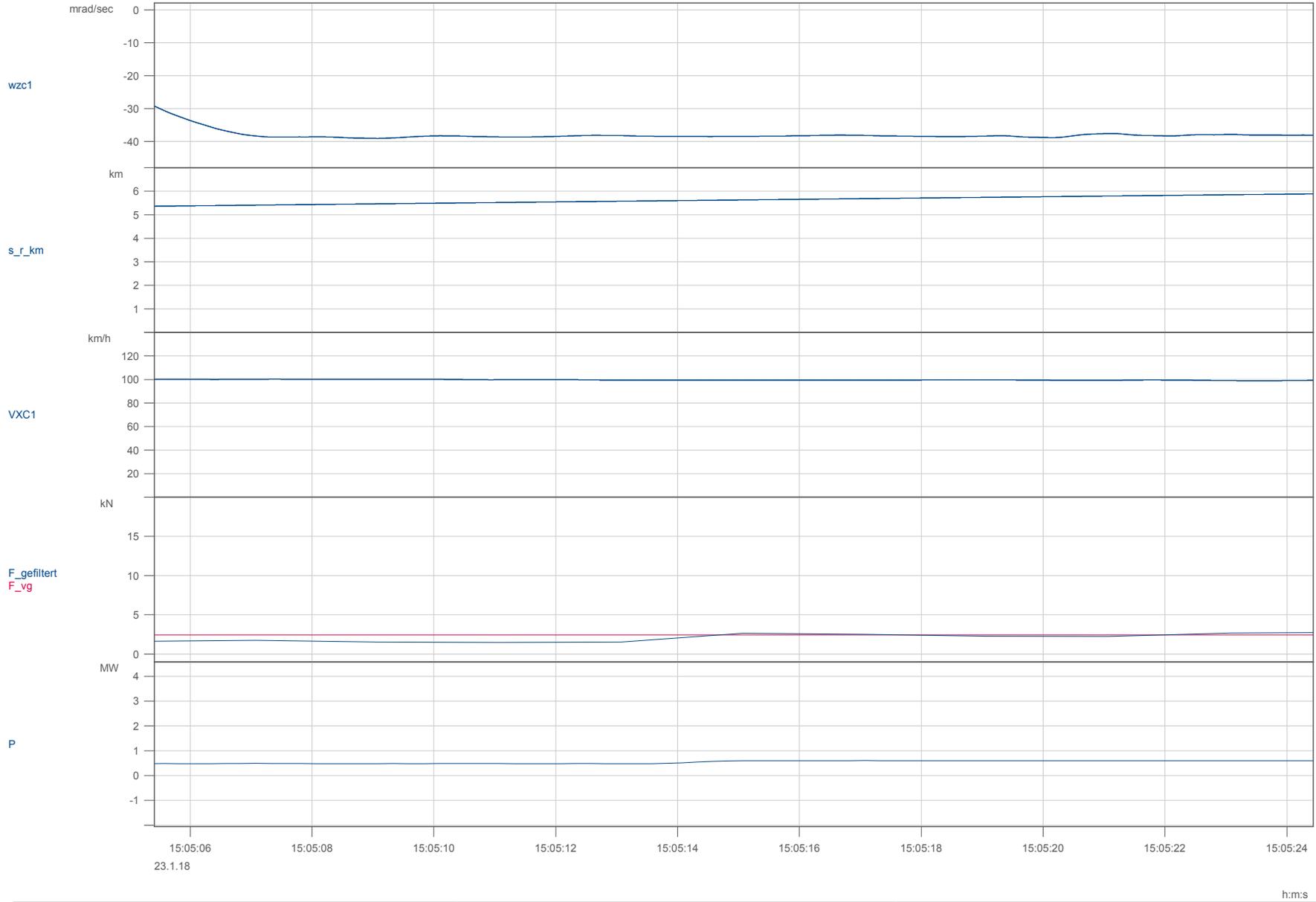
File Nr.: C000002	PCW1-T1 , CW-REF	Datum: 23.01.2018 14:44:03
-------------------	------------------	----------------------------



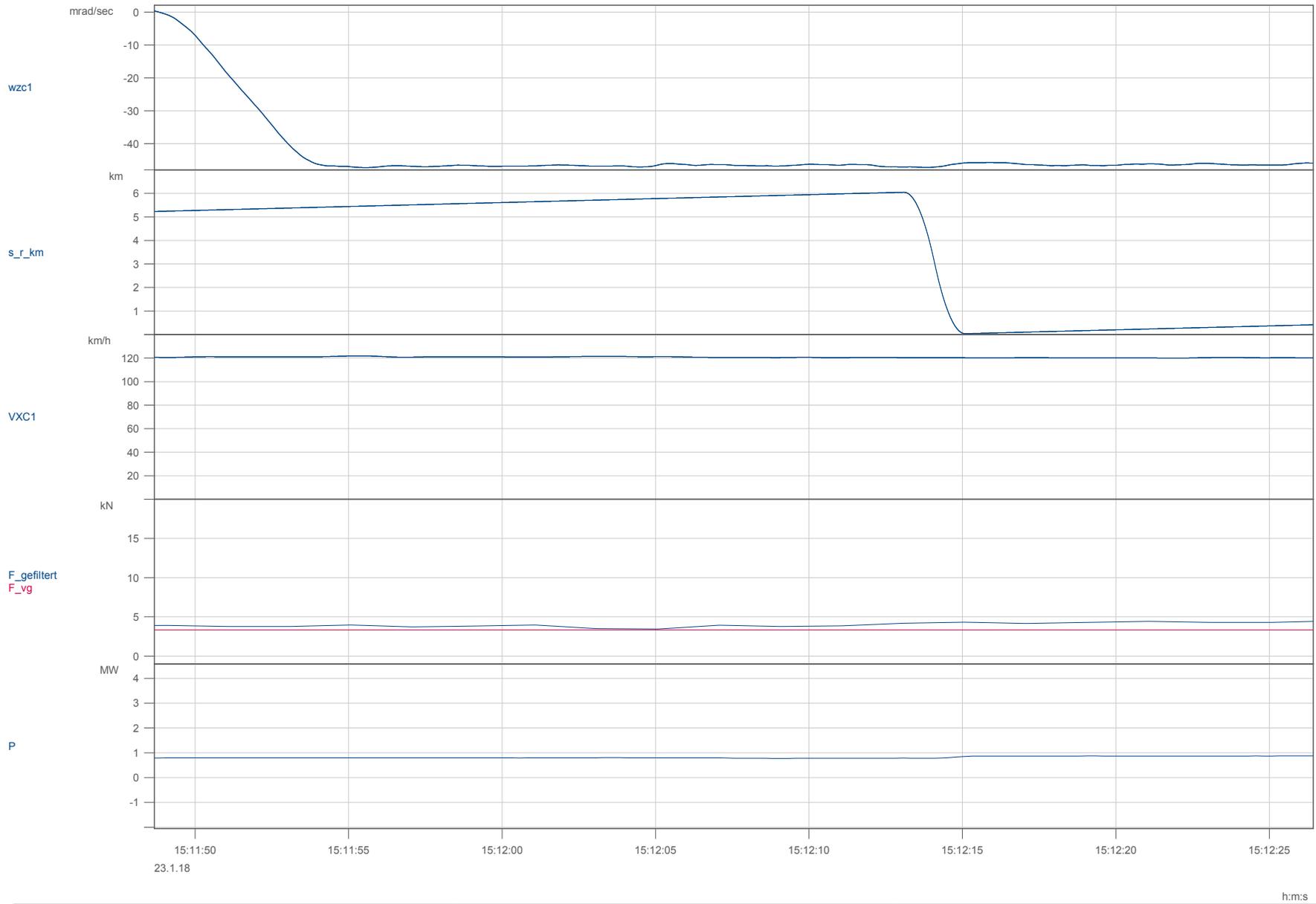
File Nr.: C000002	PCW1-T1 , CW-REF	Datum: 23.01.2018 14:44:03
-------------------	------------------	----------------------------



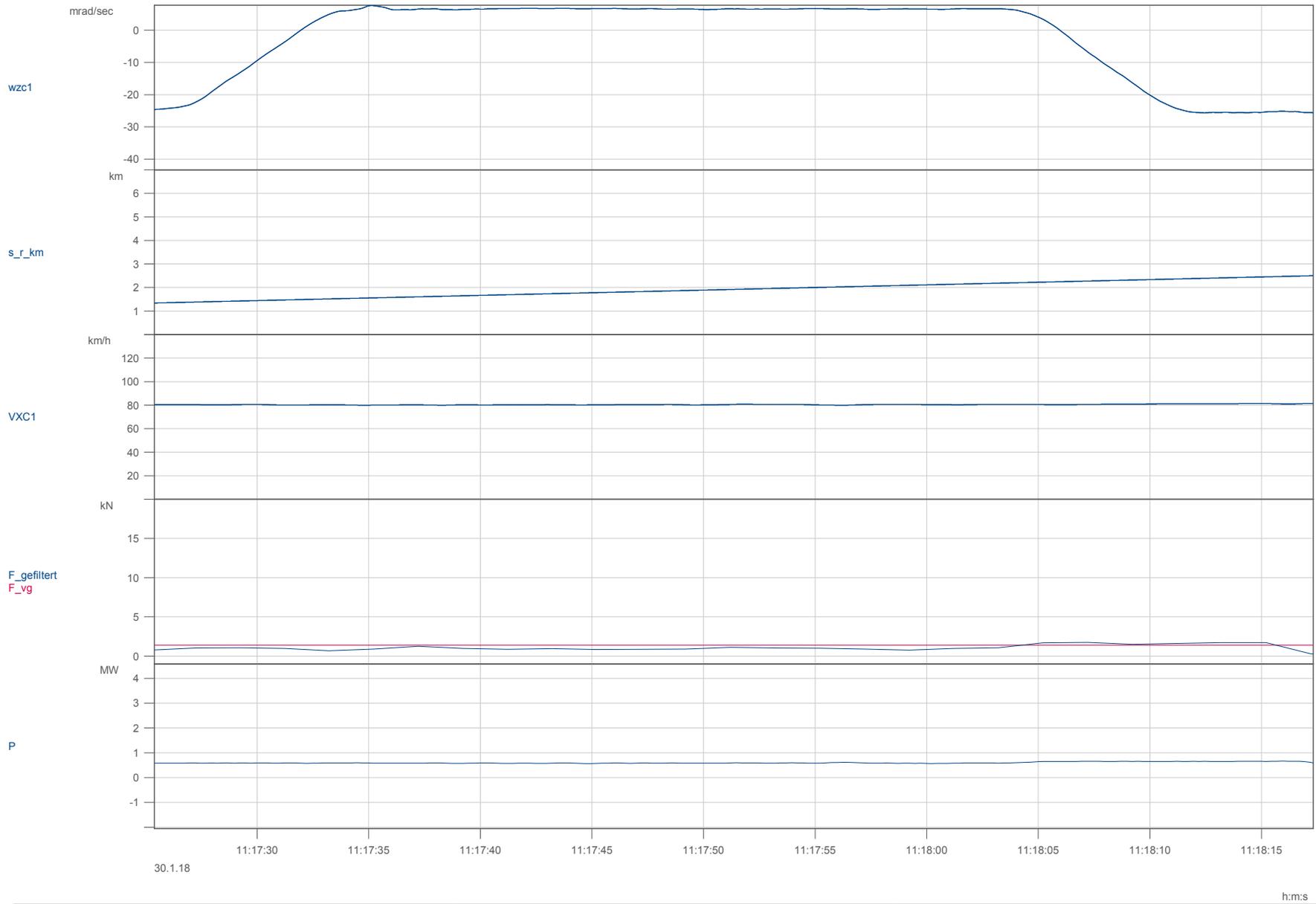
File Nr.: C000002	PCW1-T1 , CW-REF	Datum: 23.01.2018 14:44:03
-------------------	------------------	----------------------------



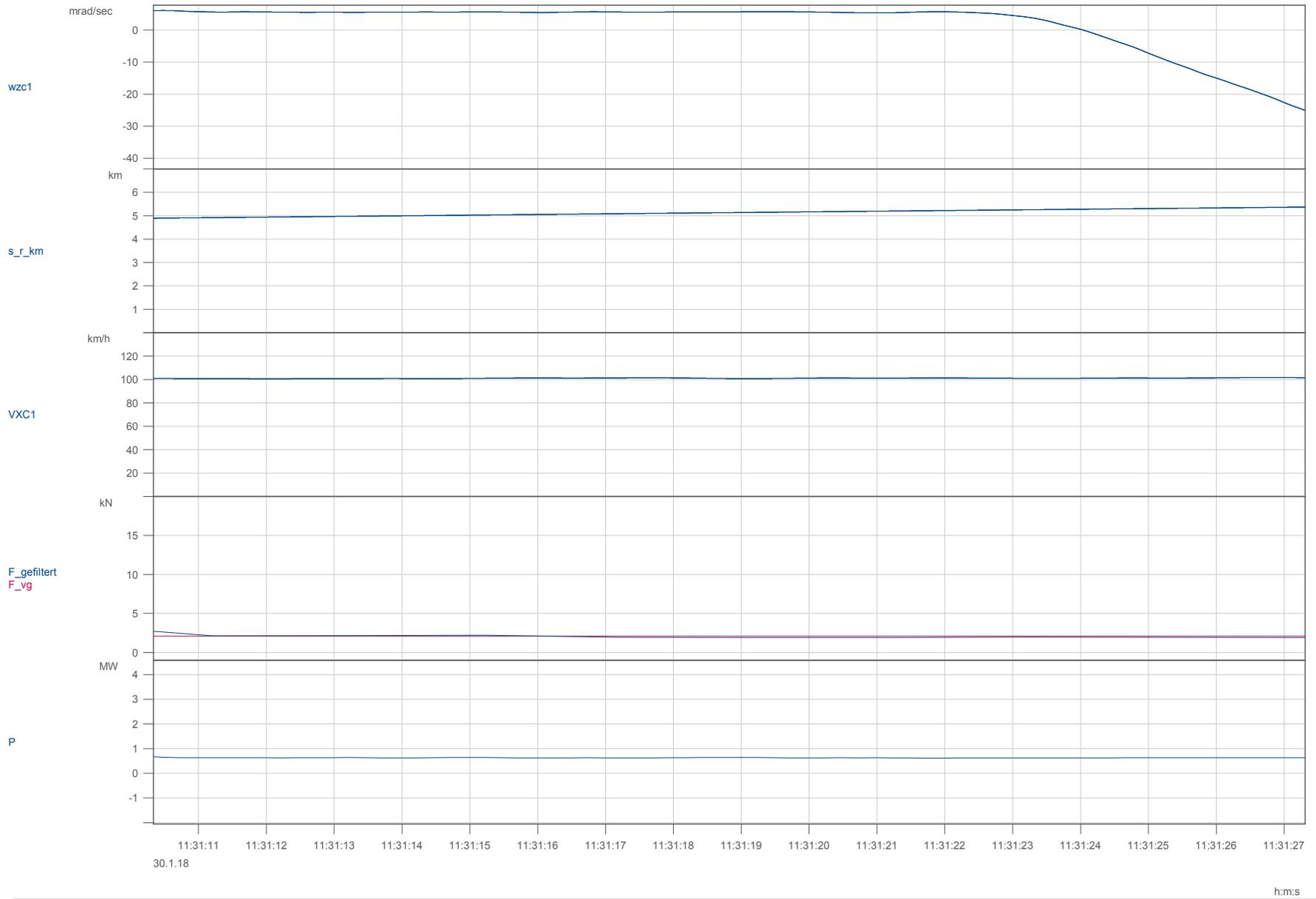
File Nr.: C000002	PCW1-T1 , CW-REF	Datum: 23.01.2018 14:44:03
-------------------	------------------	----------------------------



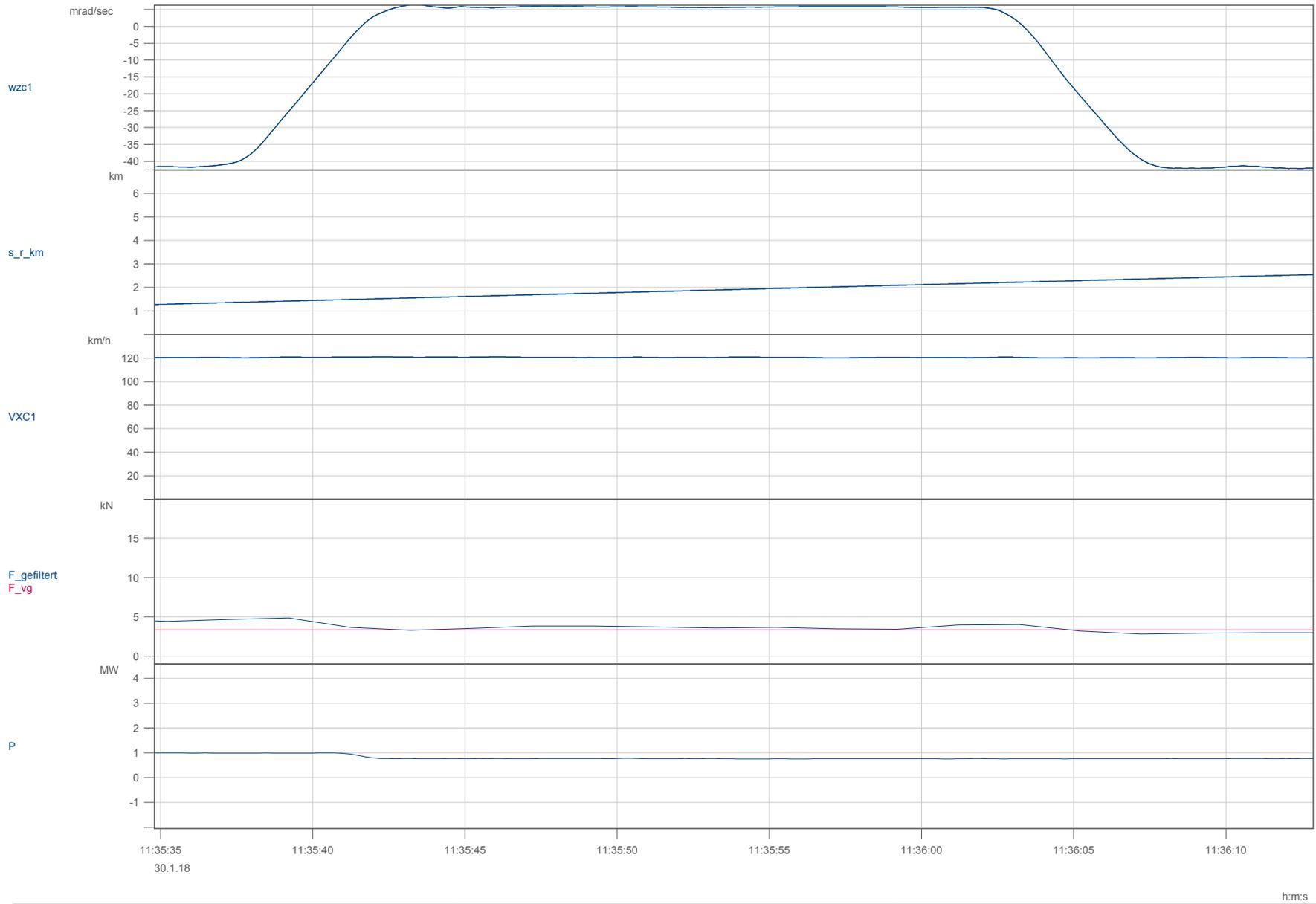
File Nr.: C000002	PCW1-T1 , CW-REF	Datum: 23.01.2018 14:44:03
-------------------	------------------	----------------------------



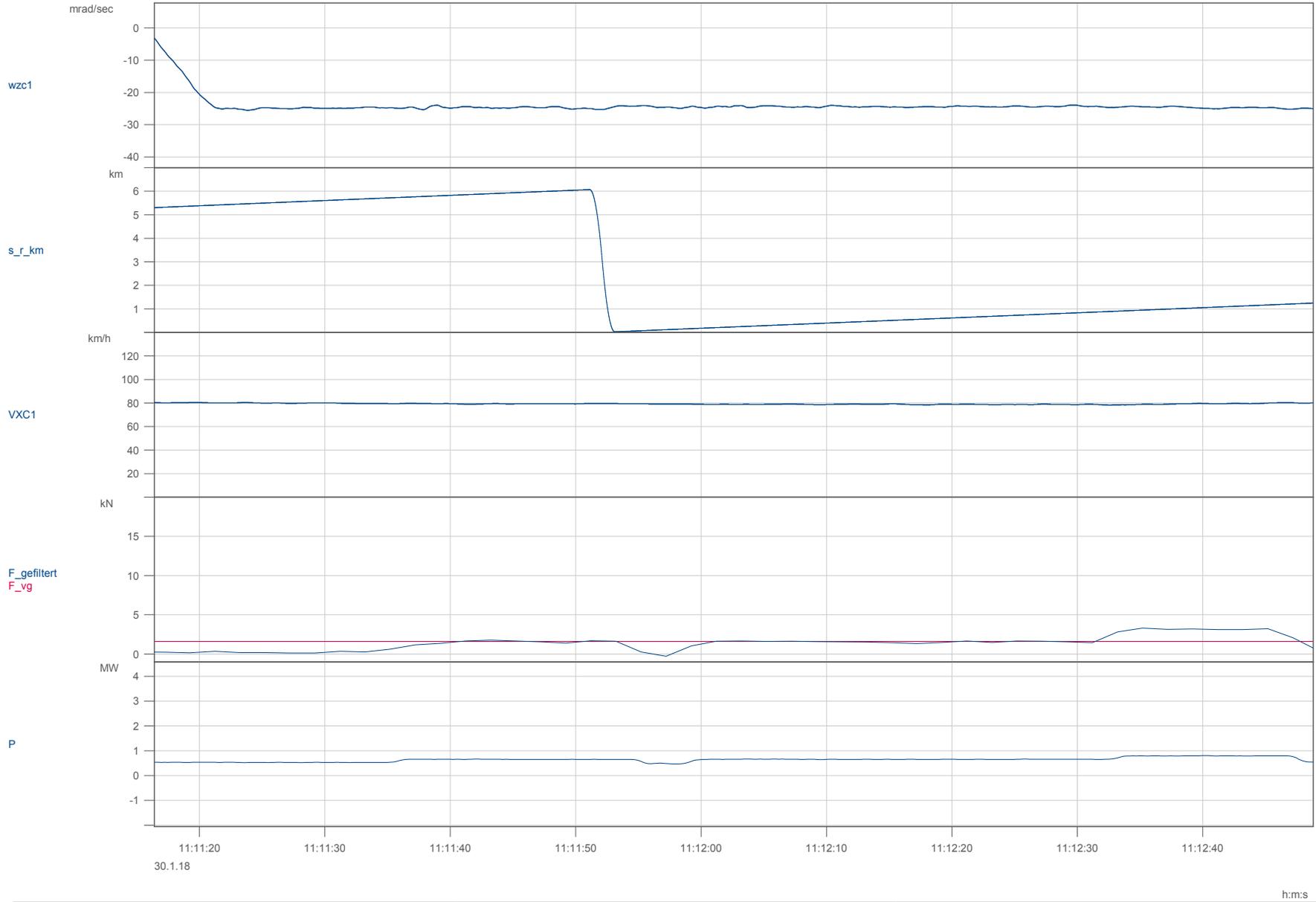
File Nr.: C100102	PCW1-T1 , CW-IGW	Datum: 30.01.2018 11:06:53
-------------------	------------------	----------------------------



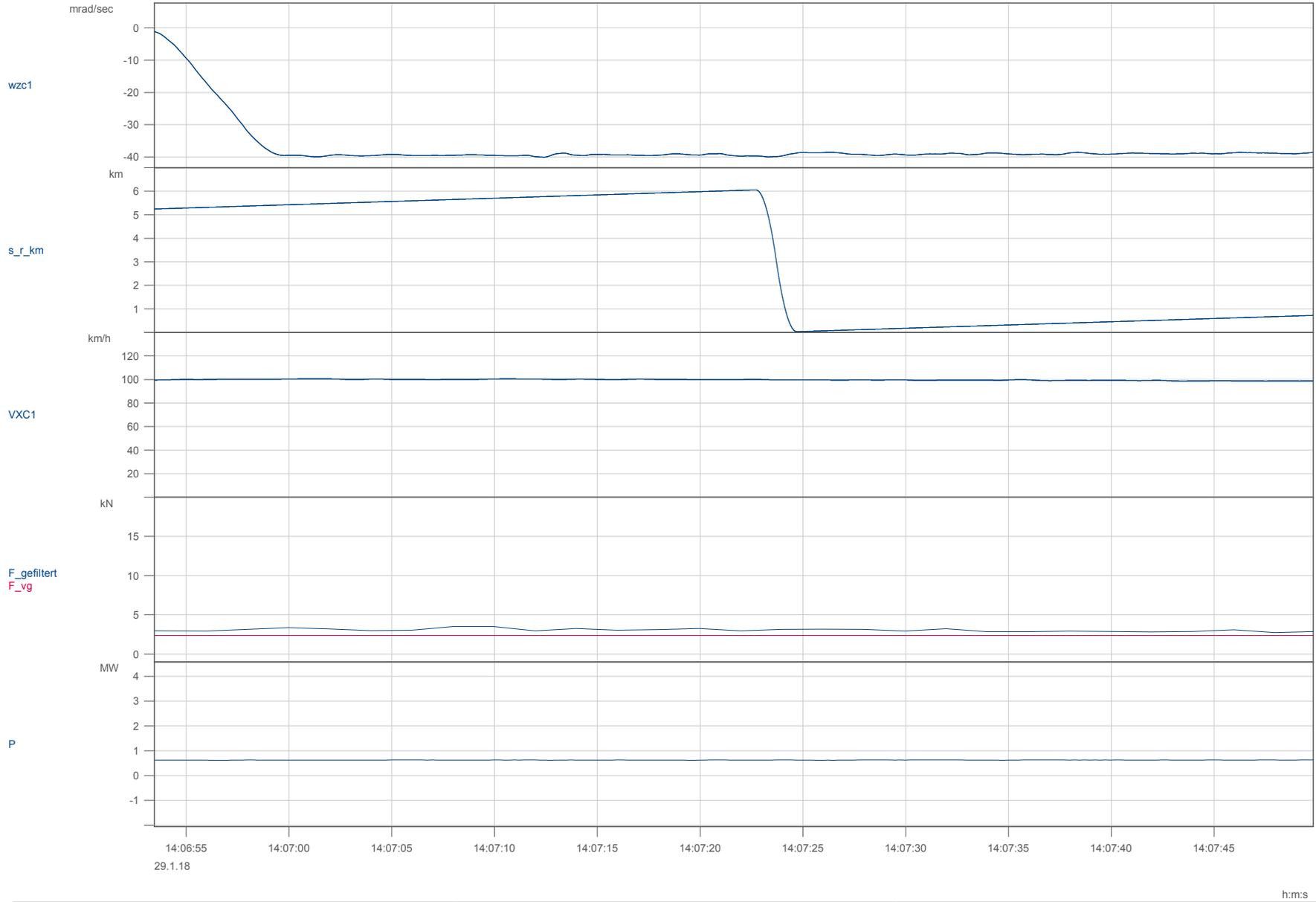
File Nr.: C100102	PCW1-T1 , CW-IGW	Datum: 30.01.2018 11:06:53
-------------------	------------------	----------------------------



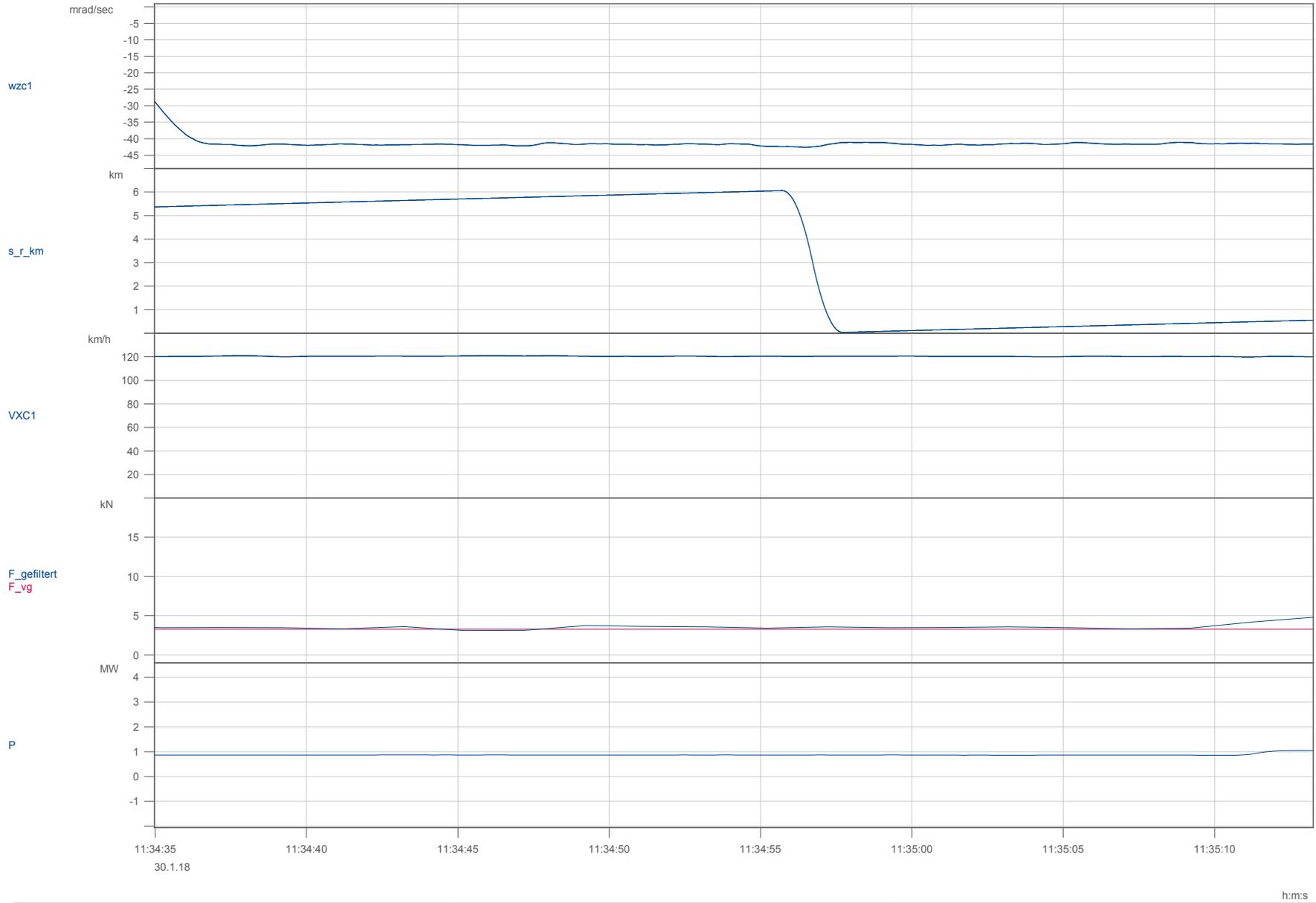
File Nr.: C100102	PCW1-T1 , CW-IGW	Datum: 30.01.2018 11:06:53
-------------------	------------------	----------------------------



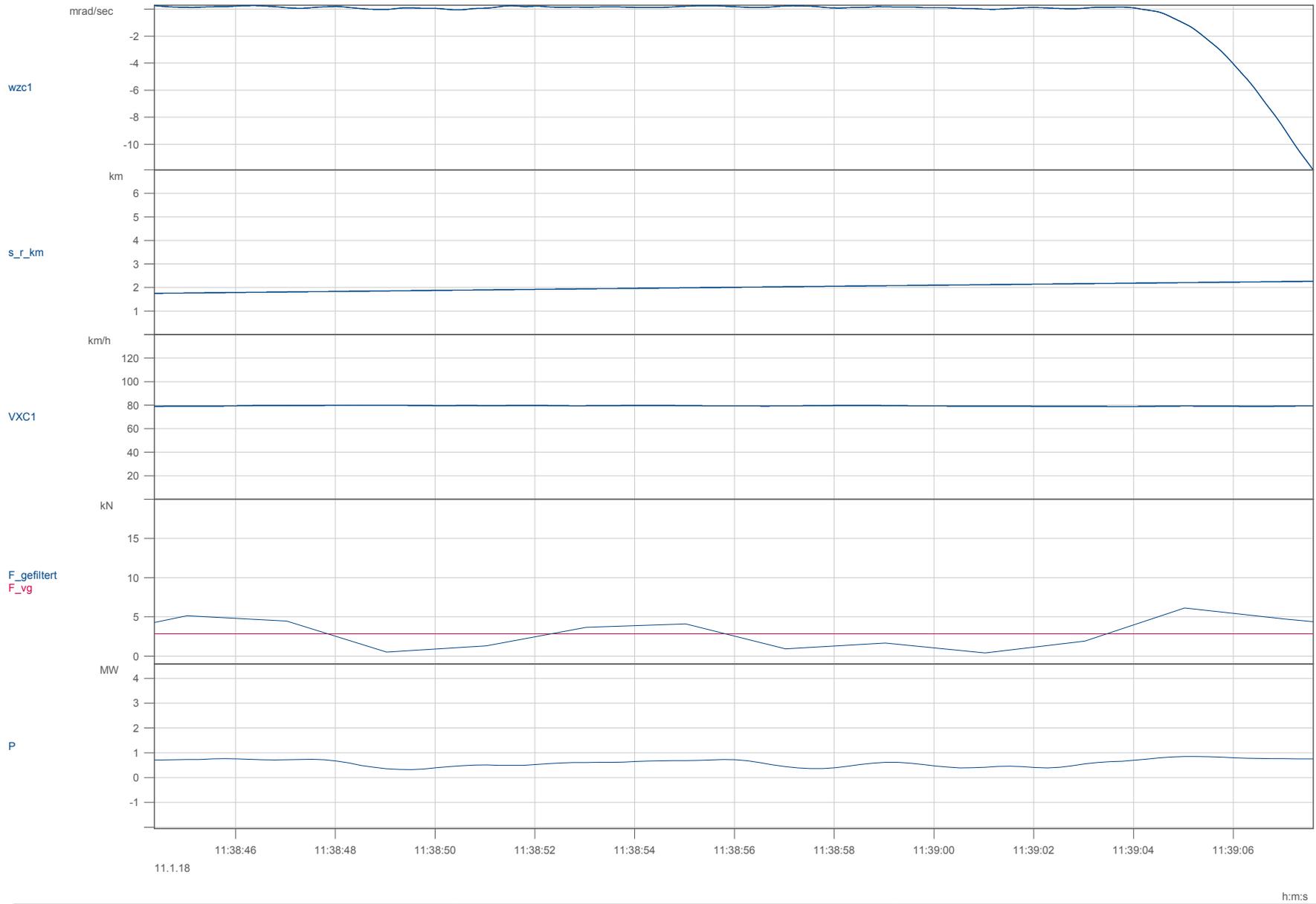
File Nr.: C100102	PCW1-T1 , CW-IGW	Datum: 30.01.2018 11:06:53
-------------------	------------------	----------------------------



File Nr.: C101102	PCW1-T1 , CW-IGW	Datum: 29.01.2018 13:45:31
-------------------	------------------	----------------------------



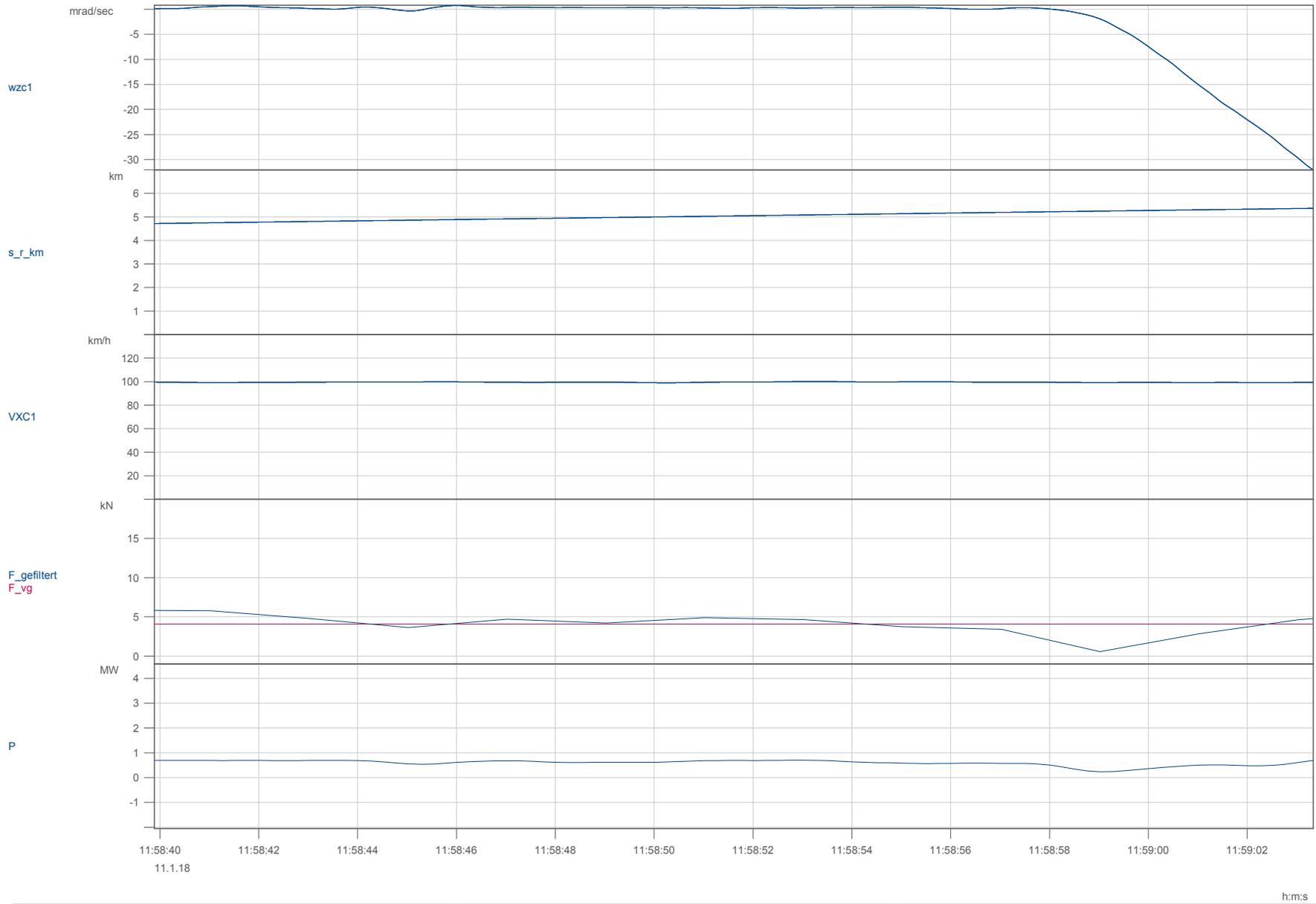
File Nr.: C100102	PCW1-T1 , CW-IGW	Datum: 30.01.2018 11:06:53
-------------------	------------------	----------------------------



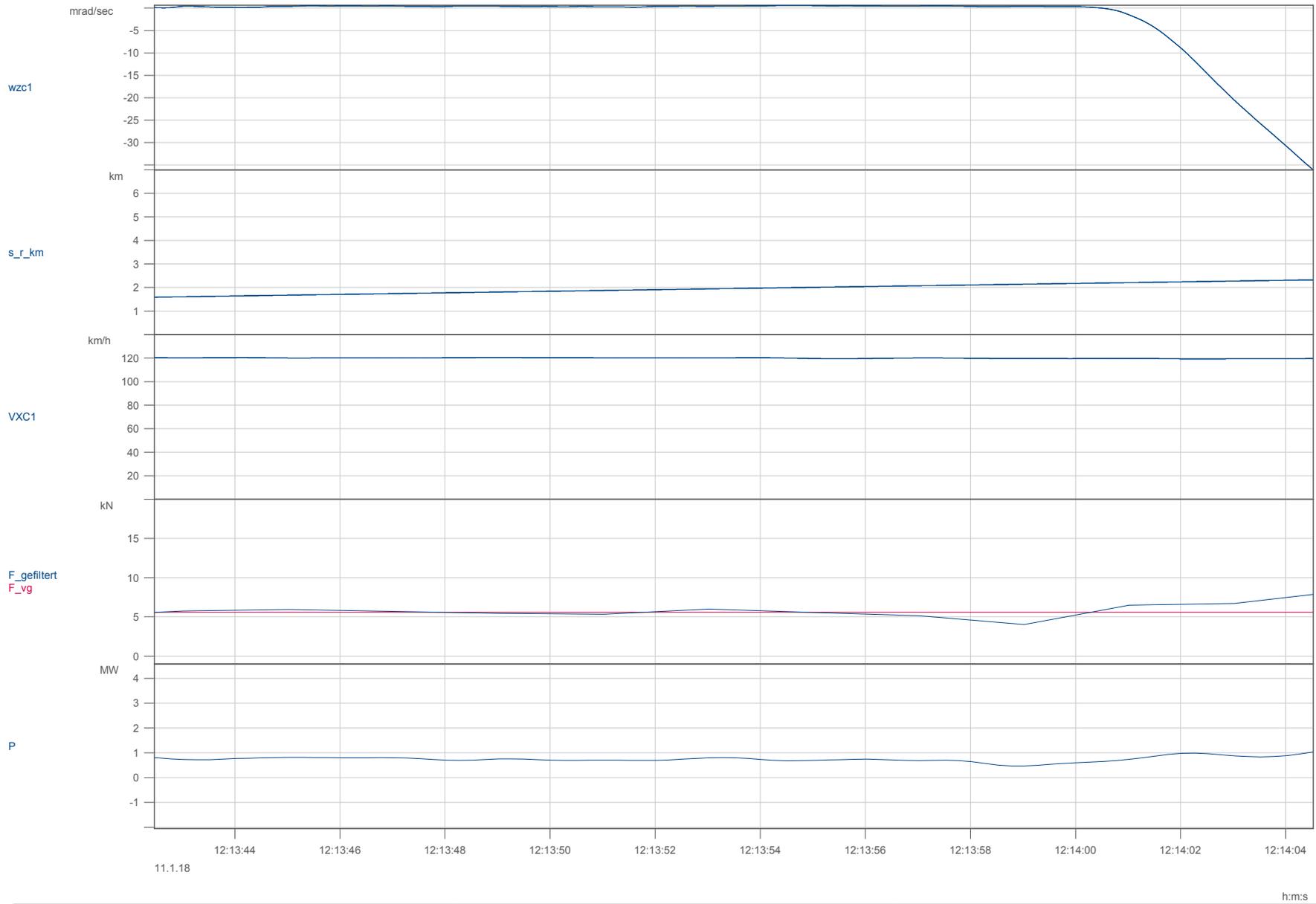
h:m:s

File Nr.: A000002	PCW1-T1 , AT-REF	Datum: 11.01.2018 11:24:23
-------------------	------------------	----------------------------

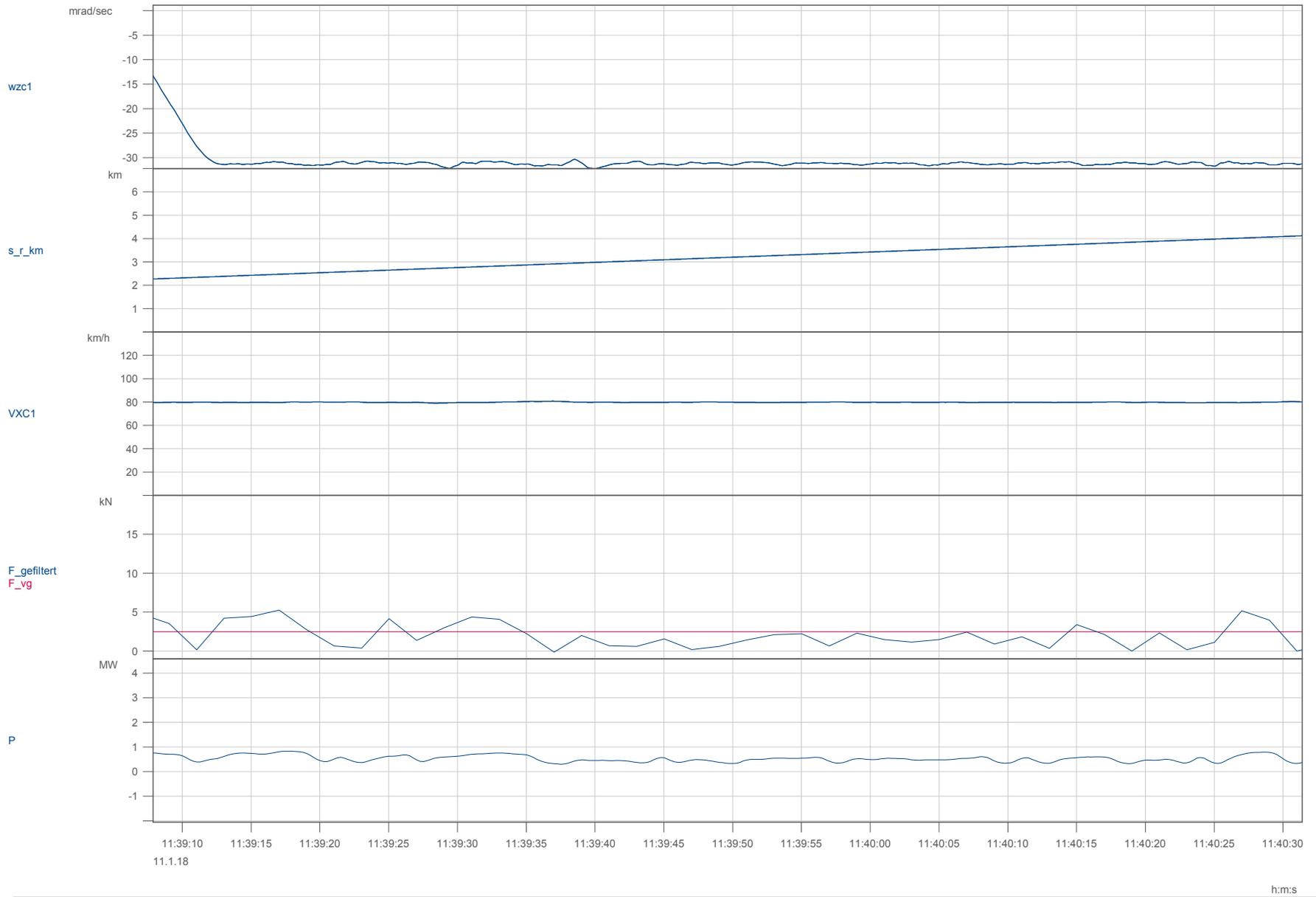




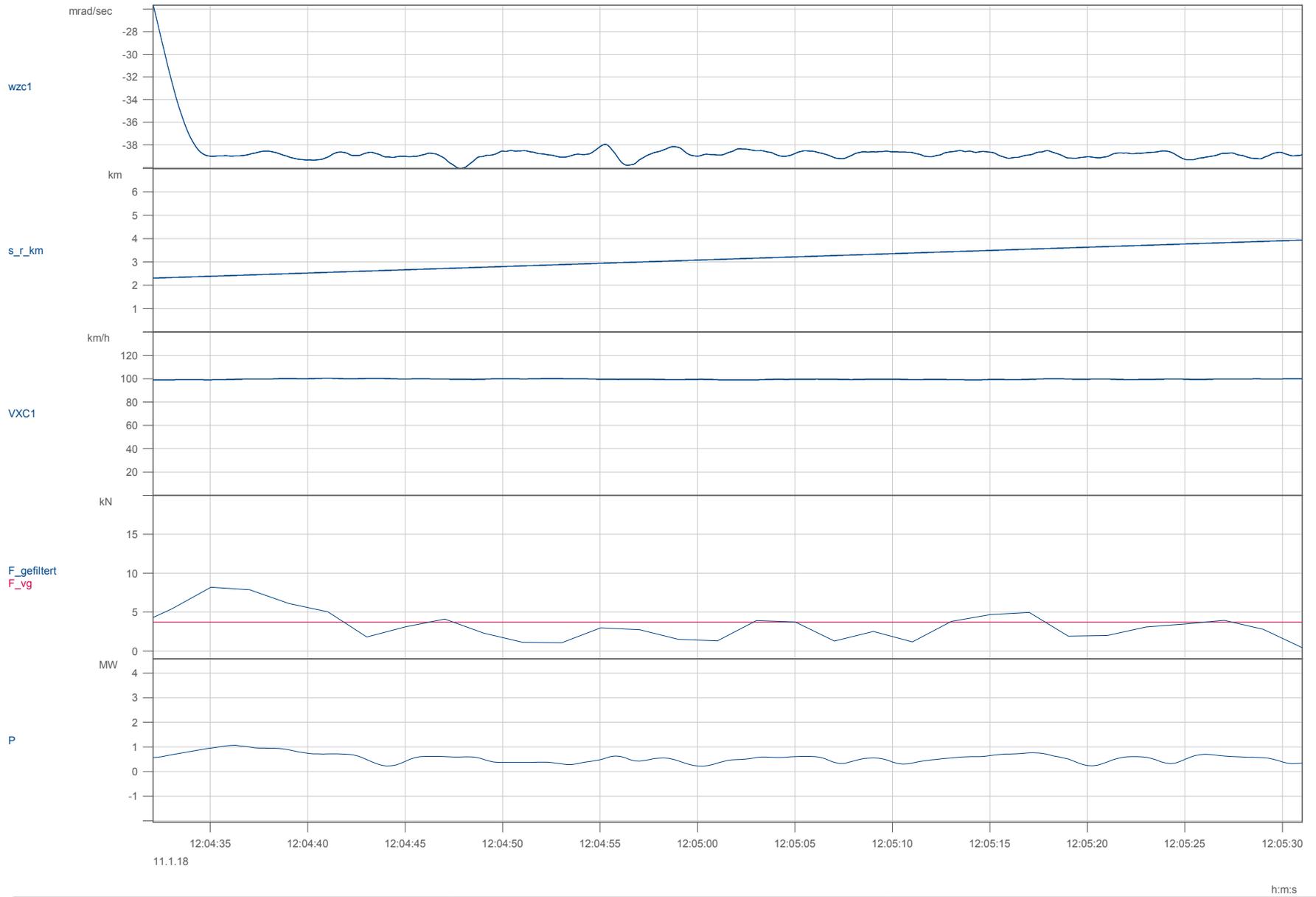
File Nr.: A000002	PCW1-T1 , AT-REF	Datum: 11.01.2018 11:24:23
-------------------	------------------	----------------------------



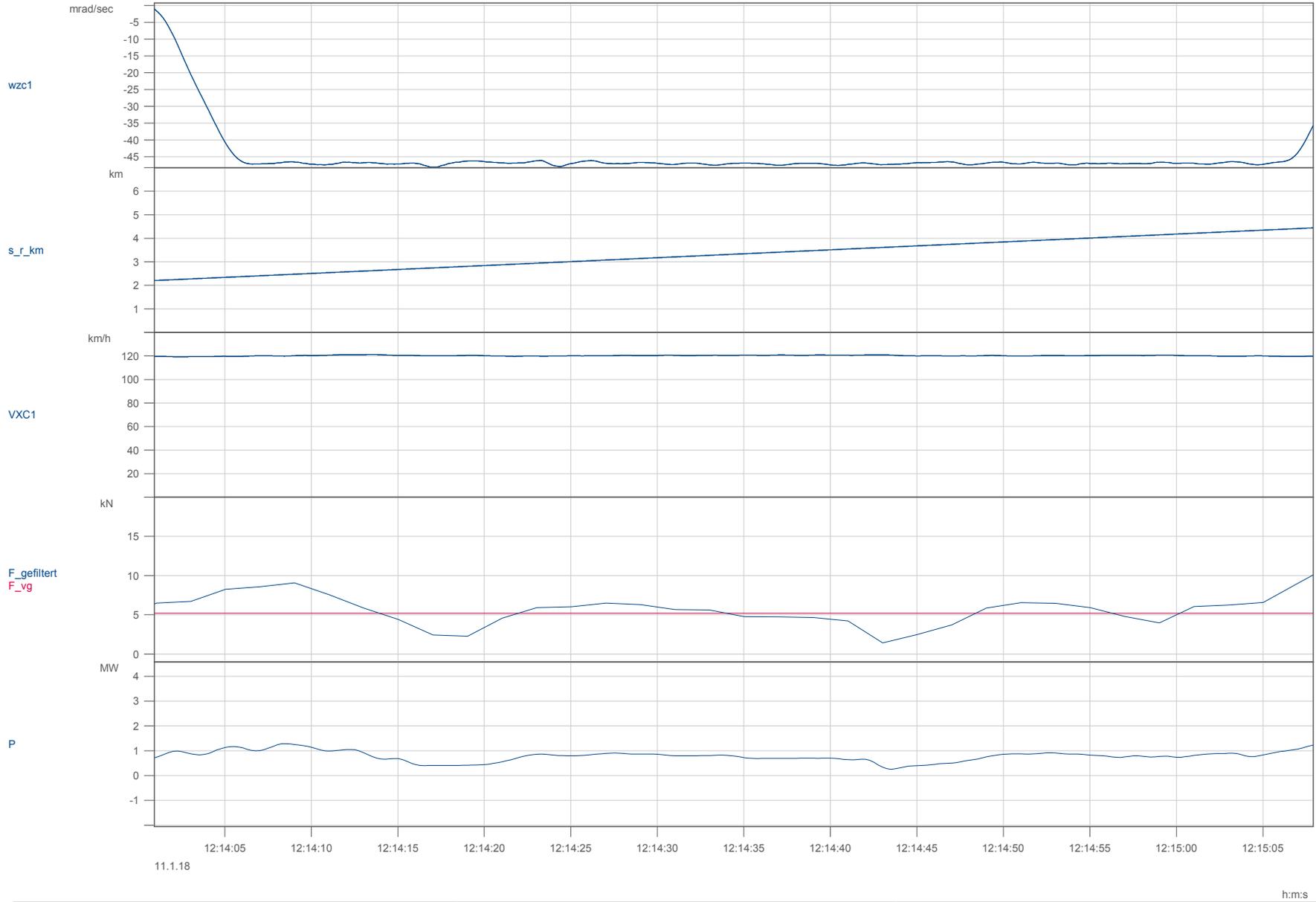
File Nr.: A000002	PCW1-T1 , AT-REF	Datum: 11.01.2018 11:24:23
-------------------	------------------	----------------------------



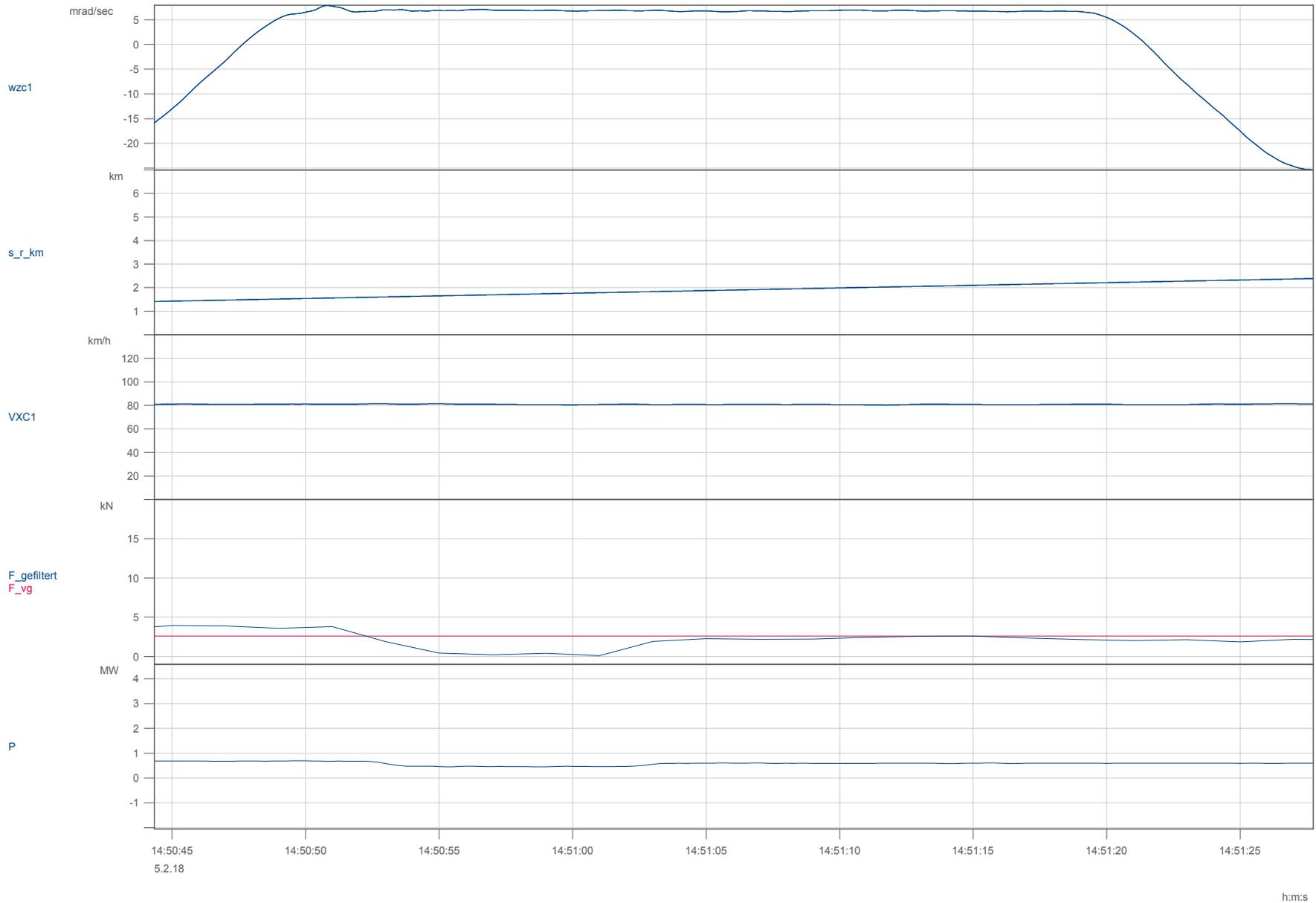
File Nr.: A000002	PCW1-T1 , AT-REF	Datum: 11.01.2018 11:24:23
-------------------	------------------	----------------------------



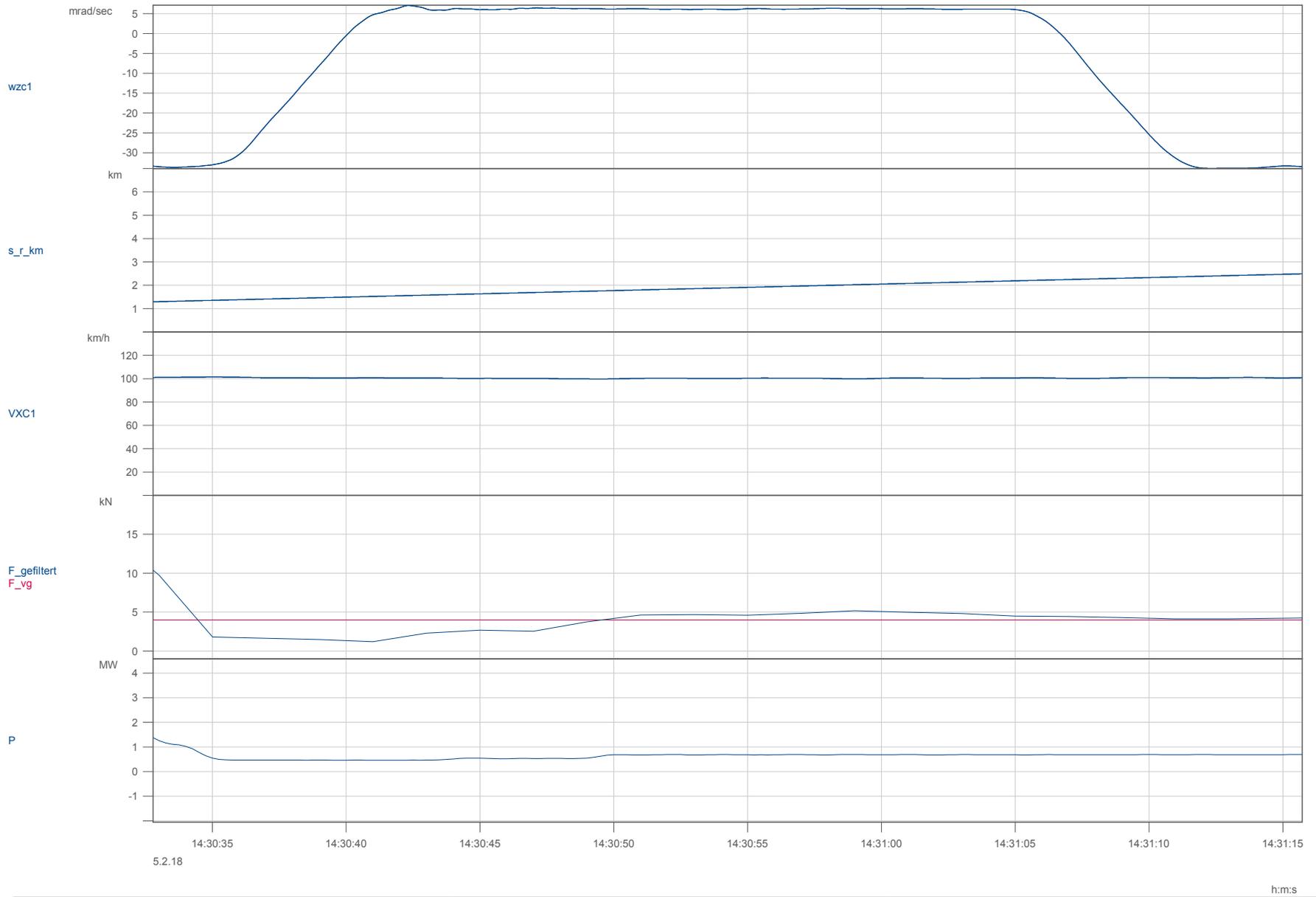
File Nr.: A000002	PCW1-T1 , AT-REF	Datum: 11.01.2018 11:24:23
-------------------	------------------	----------------------------



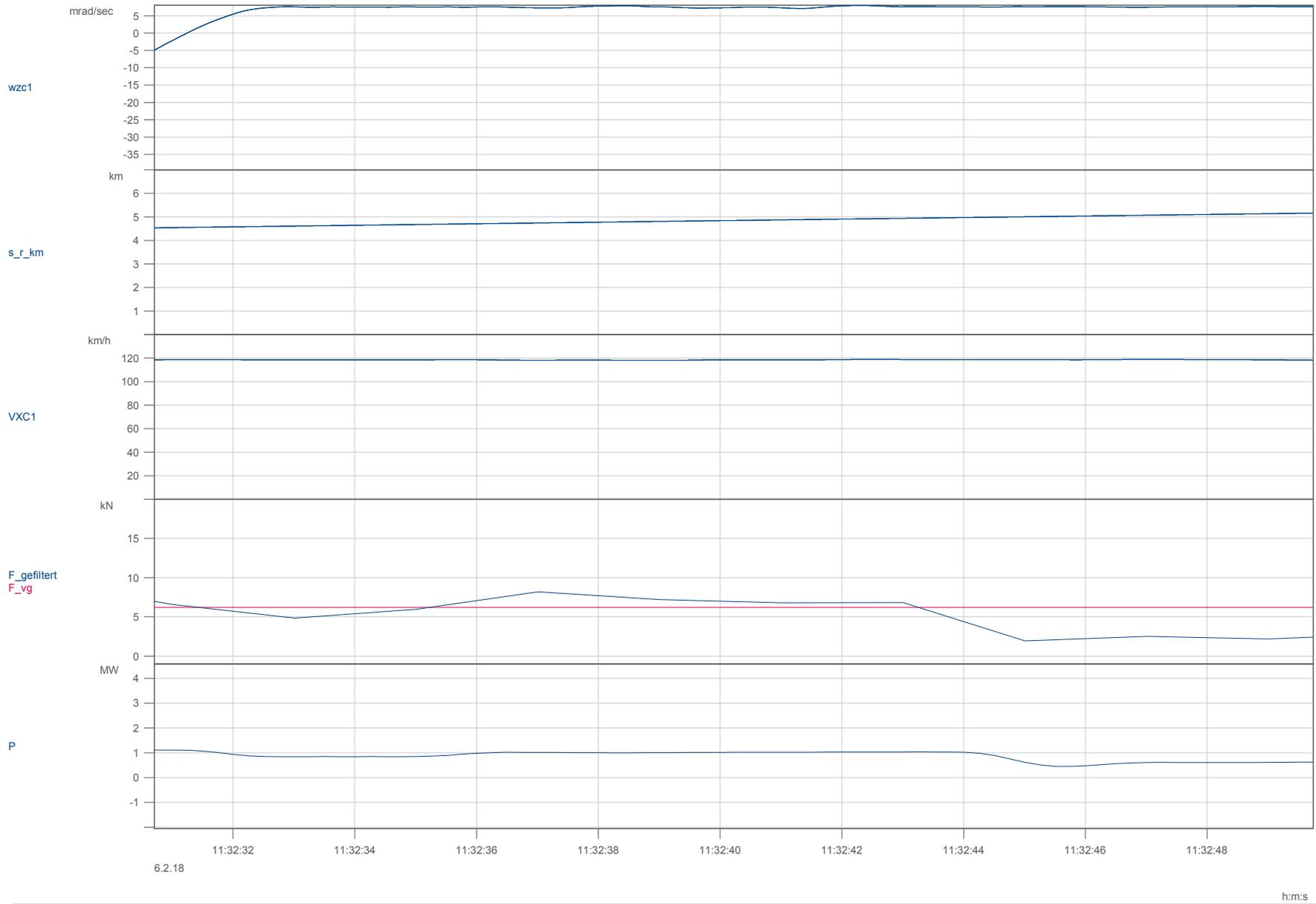
File Nr.: A000002	PCW1-T1 , AT-REF	Datum: 11.01.2018 11:24:23
-------------------	------------------	----------------------------



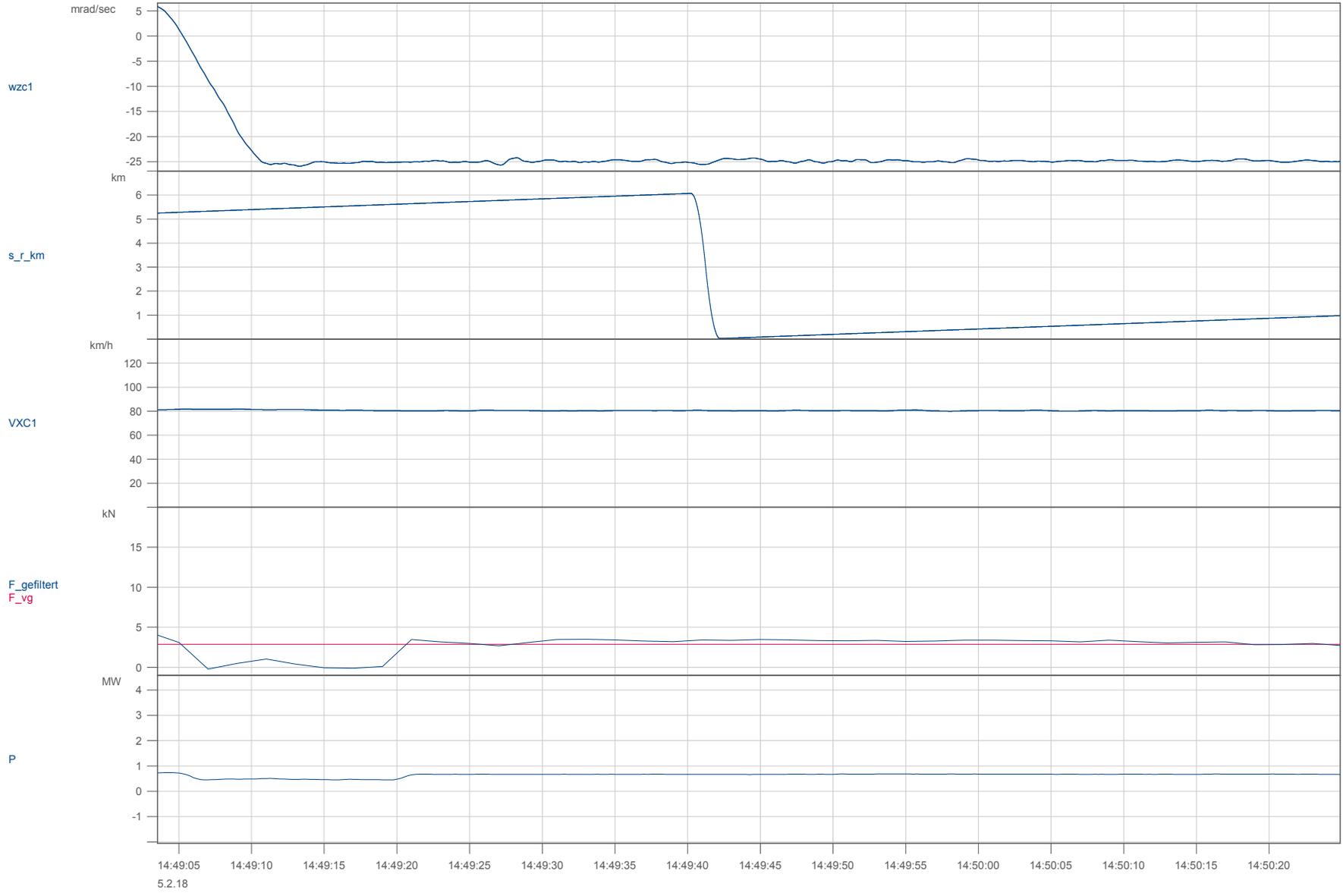
File Nr.: A100002	PCW1-T1 , AT-IGW	Datum: 05.02.2018 14:06:17
-------------------	------------------	----------------------------



File Nr.: A100002	PCW1-T1 , AT-IGW	Datum: 05.02.2018 14:06:17
-------------------	------------------	----------------------------



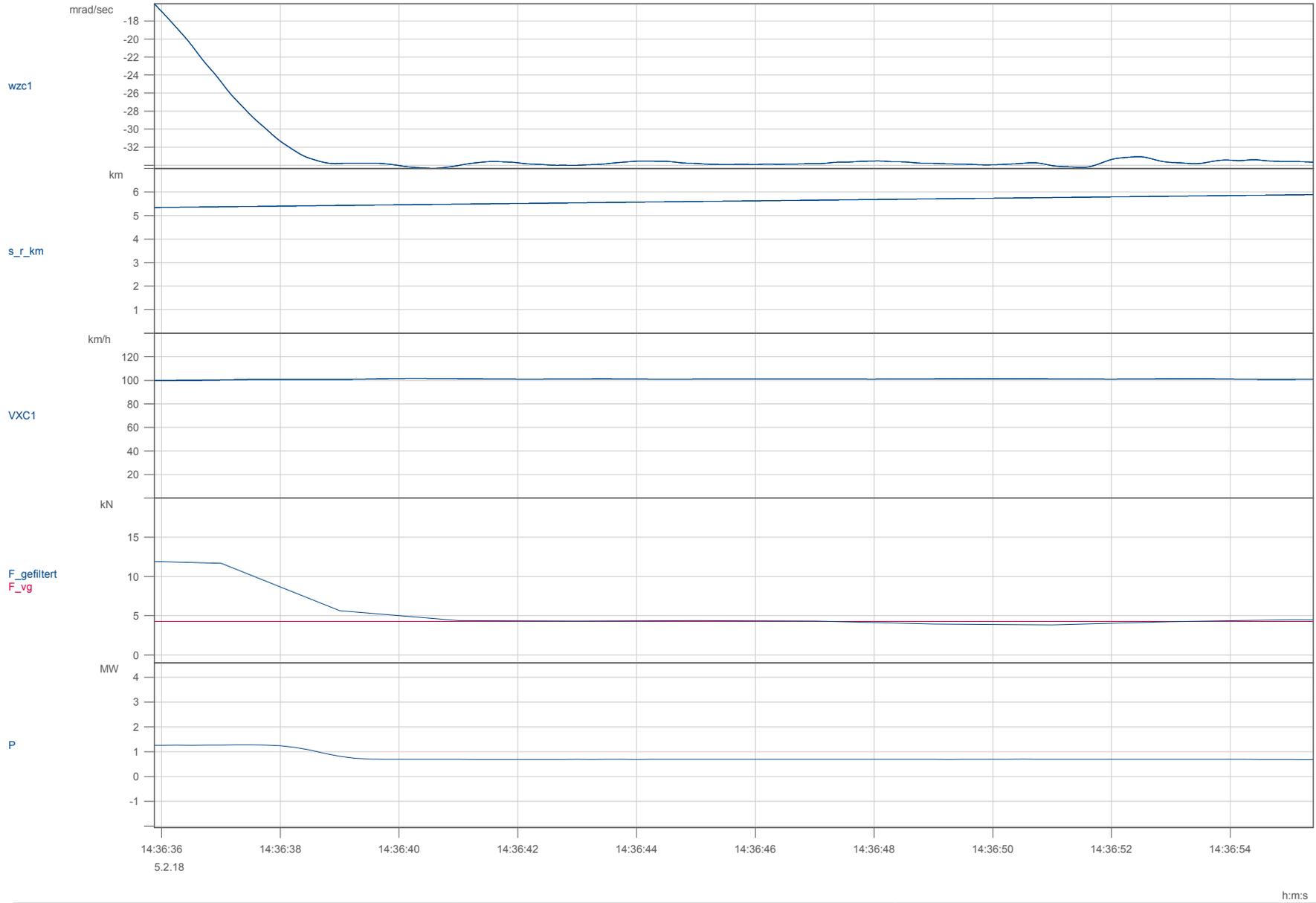
File Nr.: A100102	PCW1-T1 , AT-IGW	Datum: 06.02.2018 11:25:33
-------------------	------------------	----------------------------



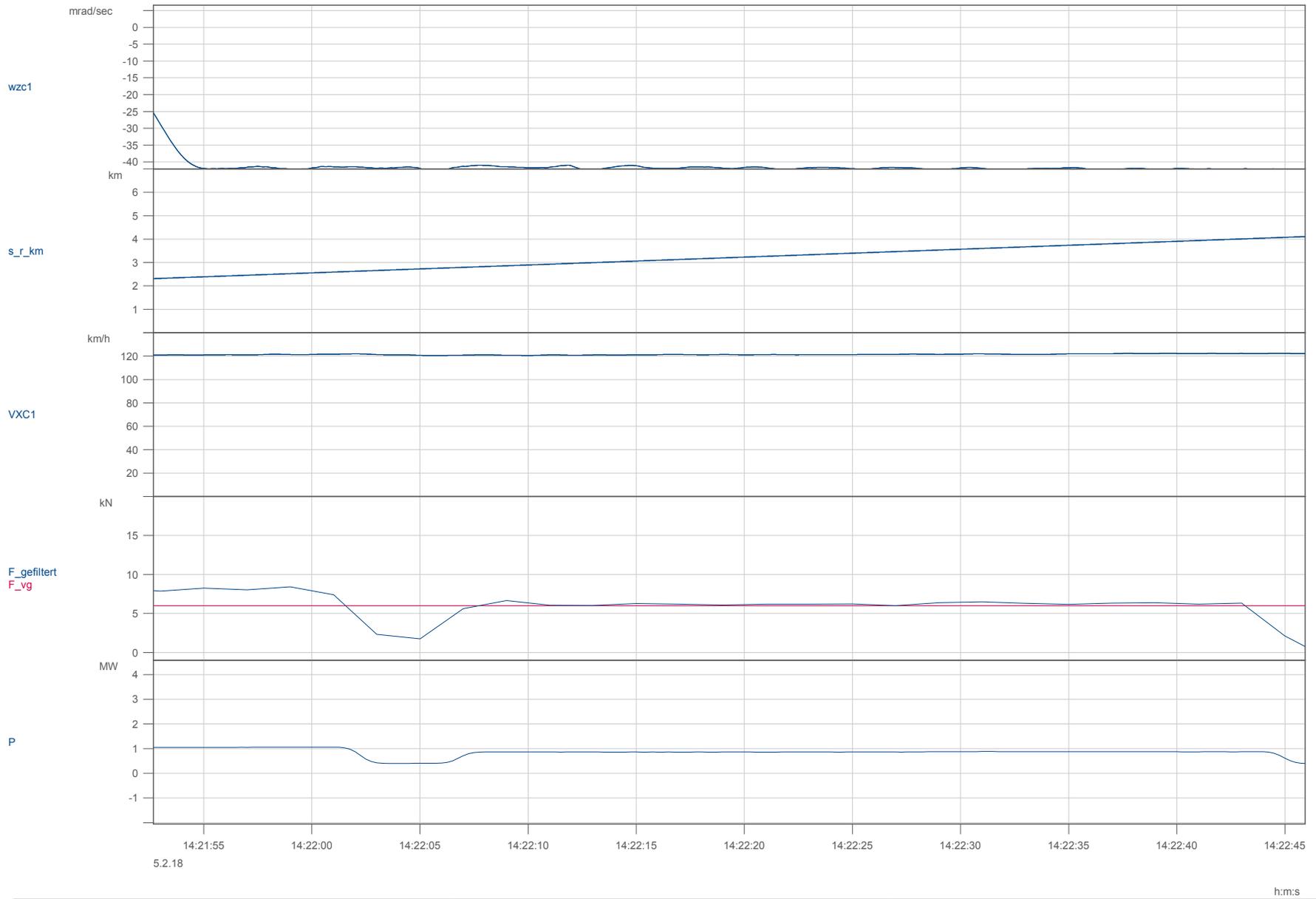
h:m:s

File Nr.: A100002	PCW1-T1 , AT-IGW	Datum: 05.02.2018 14:06:17
-------------------	------------------	----------------------------

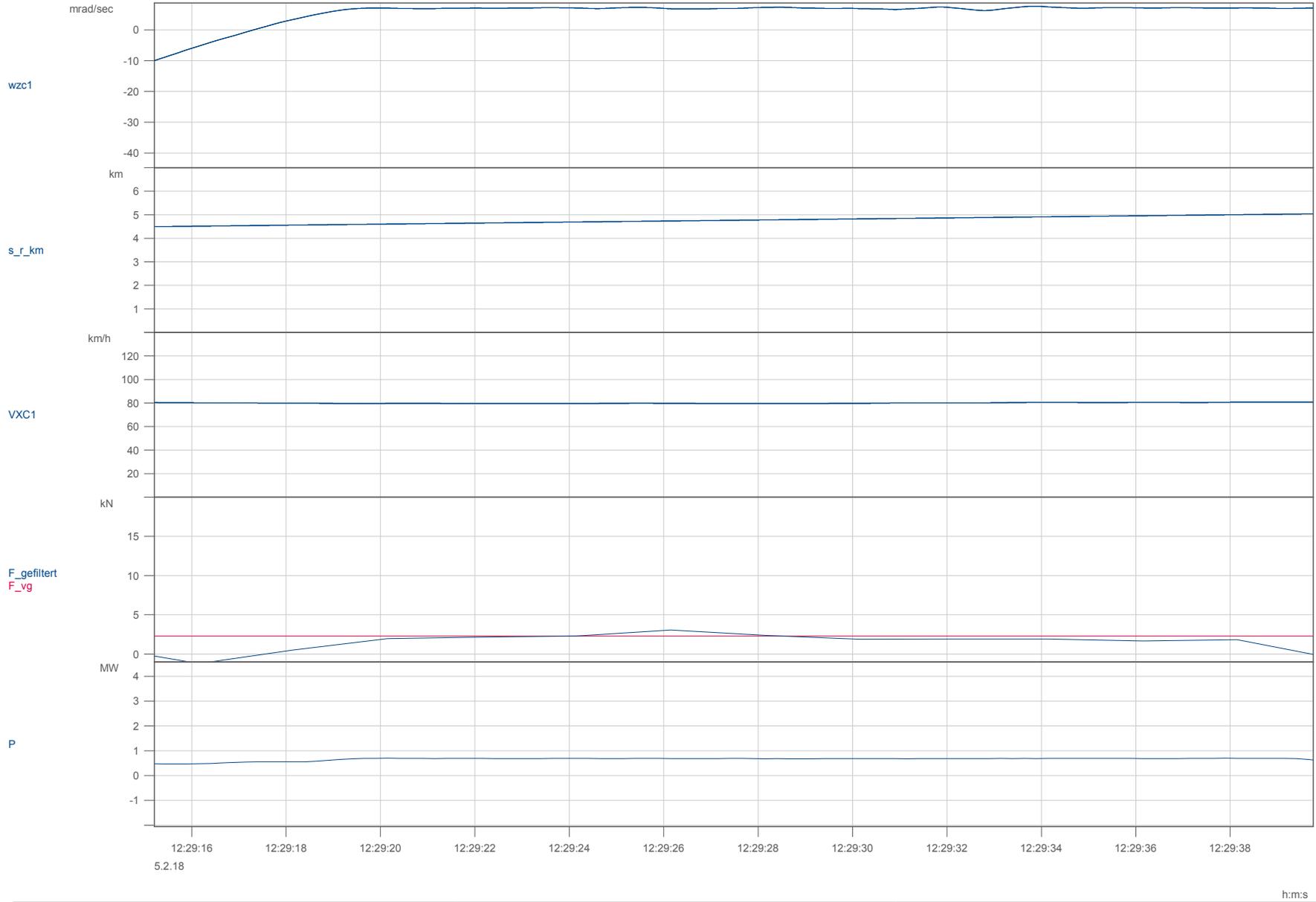




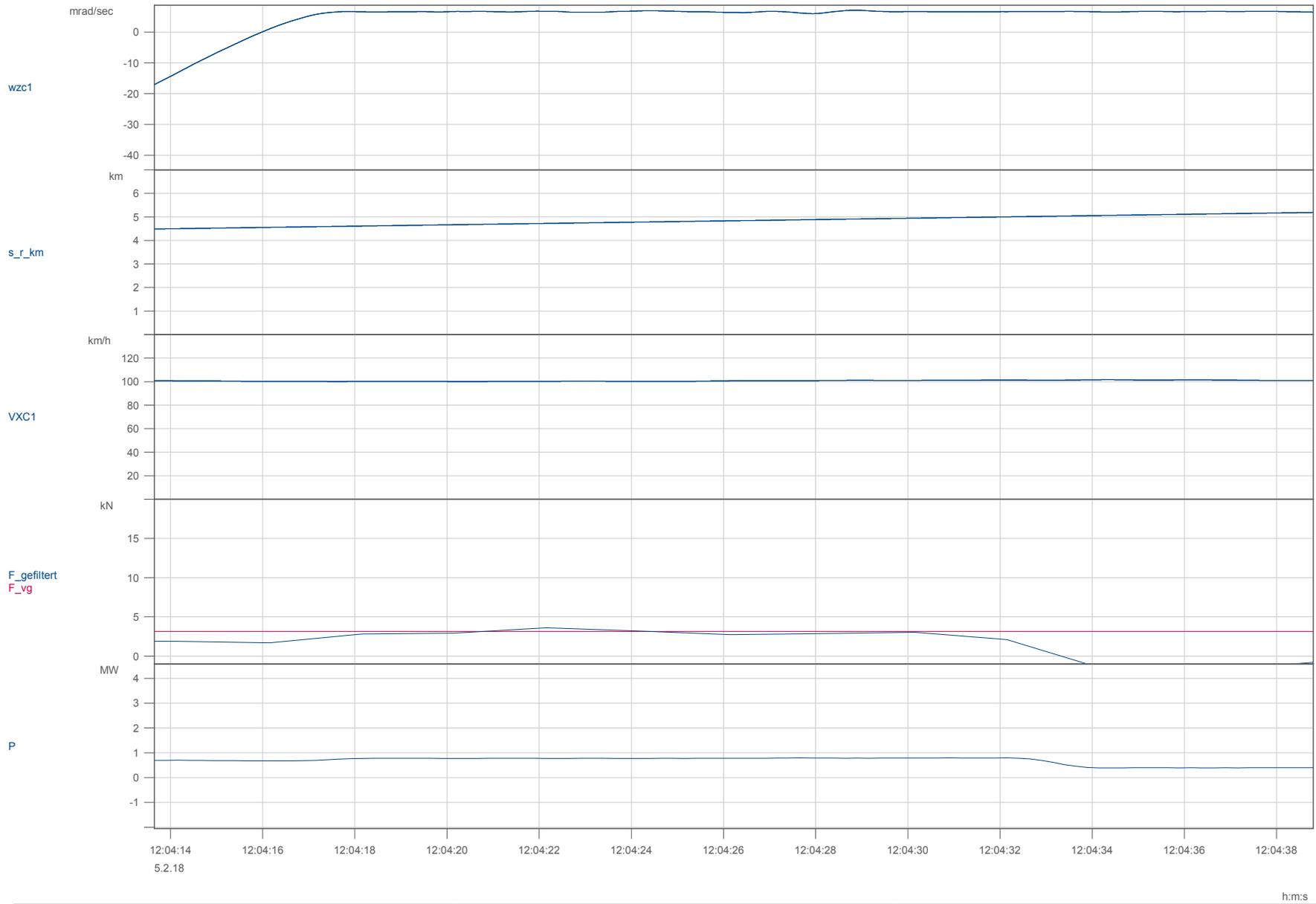
File Nr.: A100002	PCW1-T1 , AT-IGW	Datum: 05.02.2018 14:06:17
-------------------	------------------	----------------------------



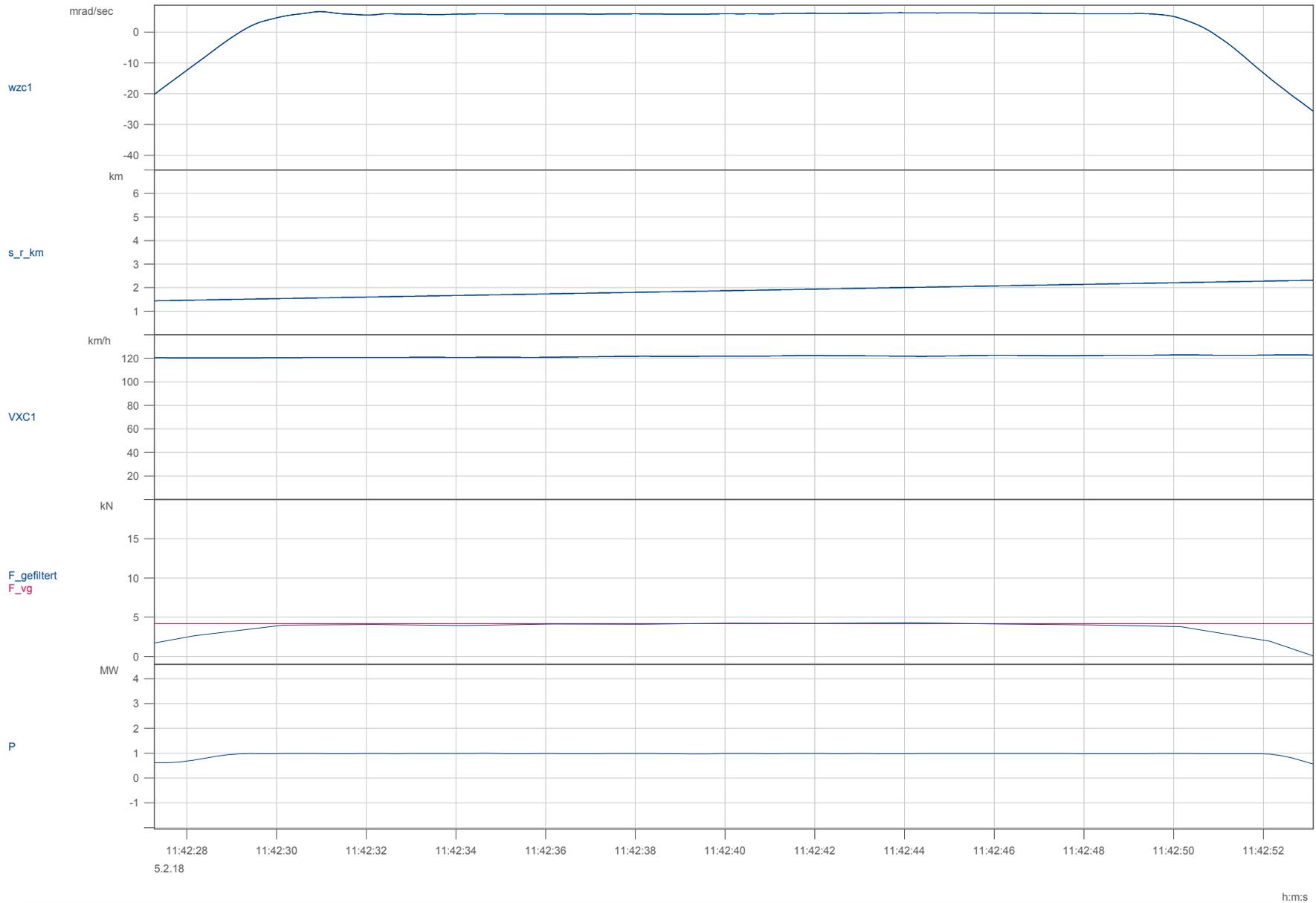
File Nr.: A100002	PCW1-T1 , AT-IGW	Datum: 05.02.2018 14:06:17
-------------------	------------------	----------------------------



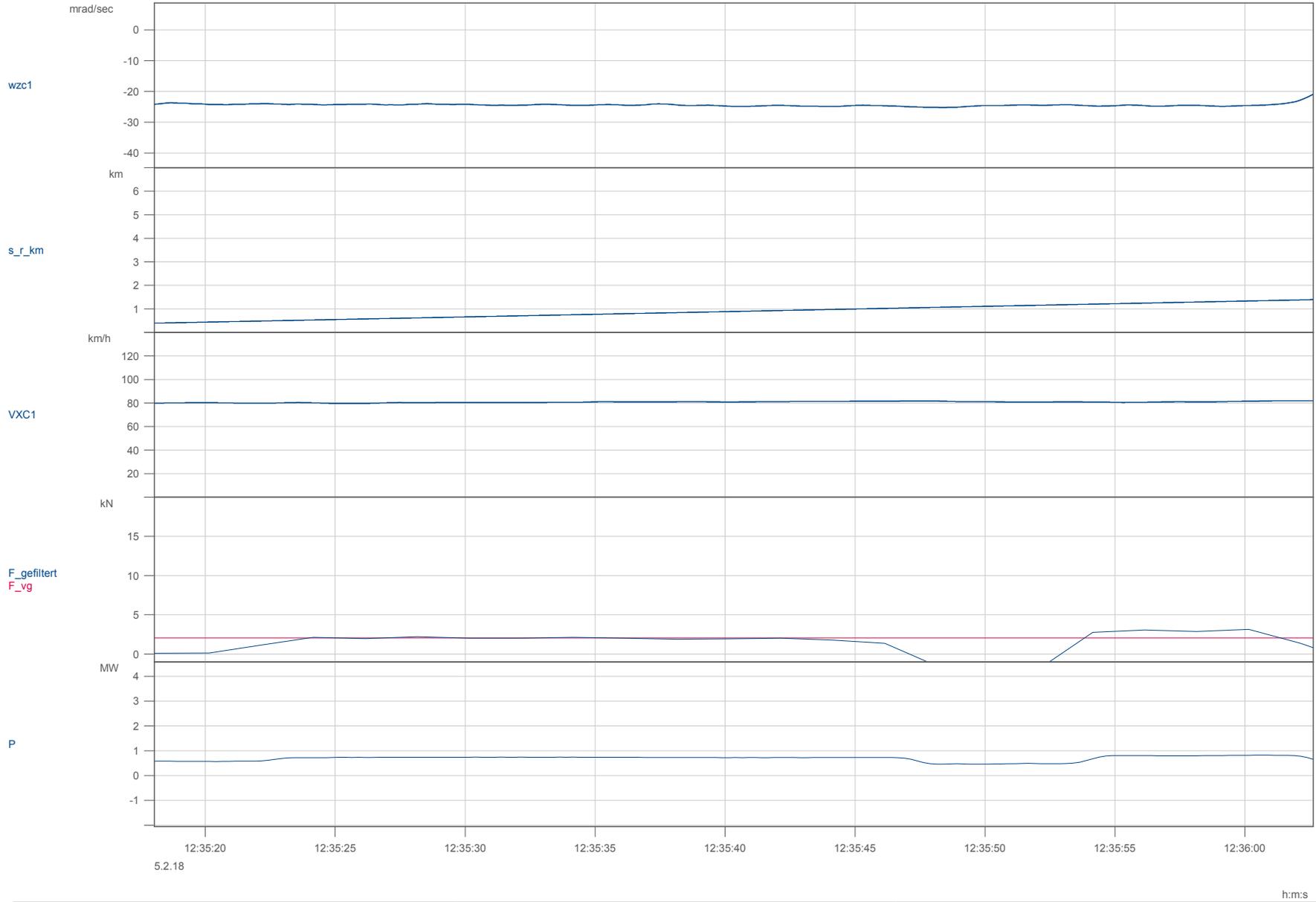
File Nr.: B000002	PCW1-T1 , FW-REF	Datum: 05.02.2018 11:31:40
-------------------	------------------	----------------------------



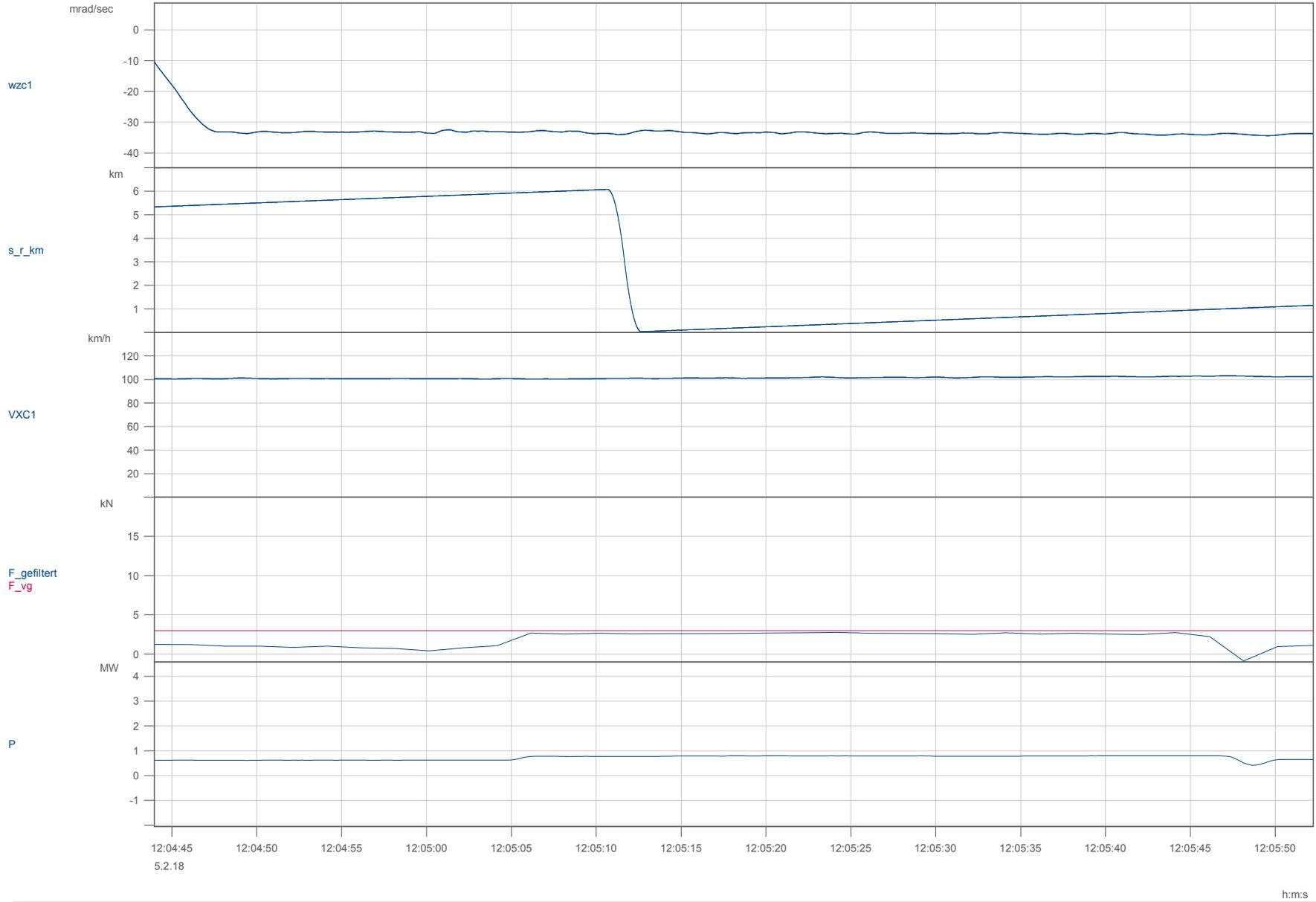
File Nr.: B000002	PCW1-T1 , FW-REF	Datum: 05.02.2018 11:31:40
-------------------	------------------	----------------------------



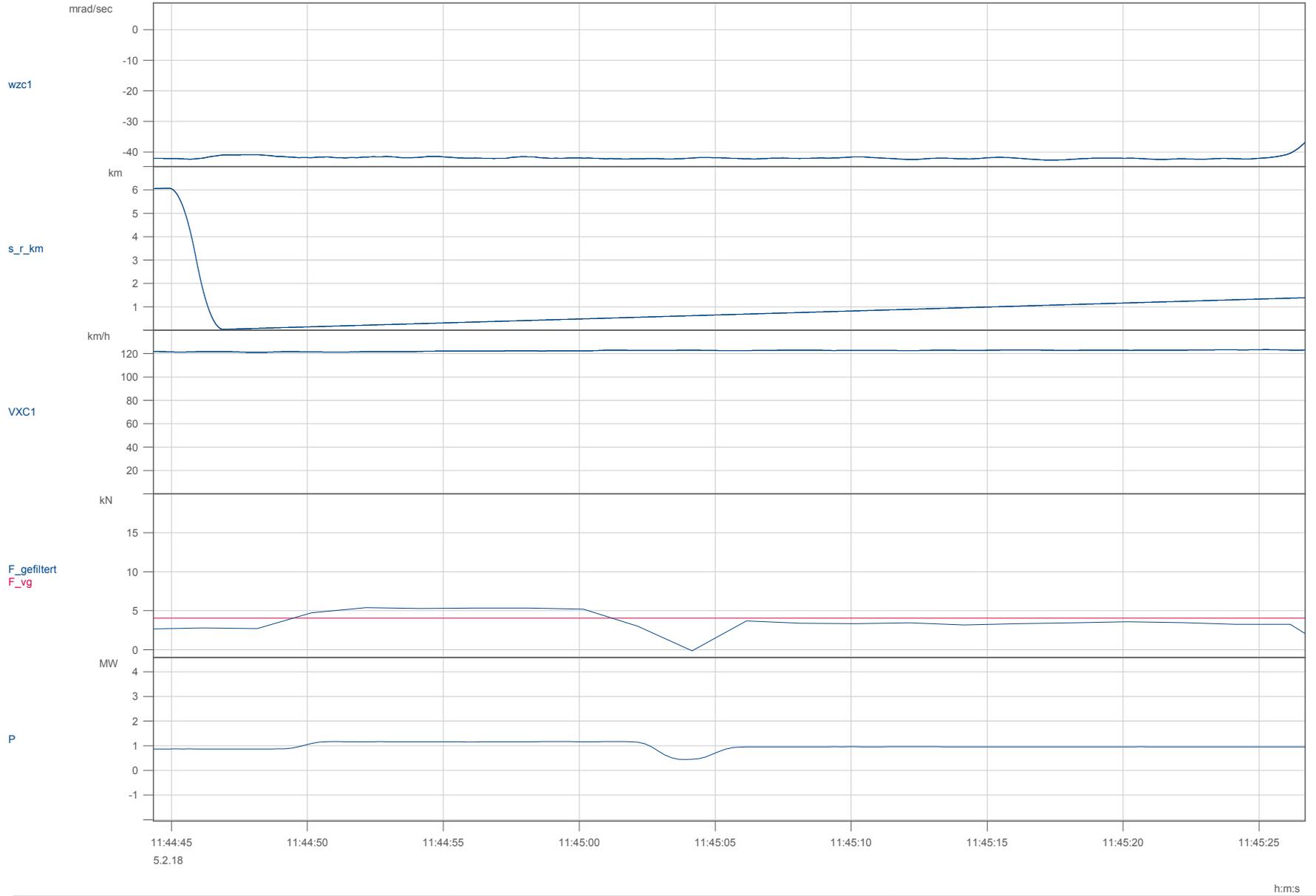
File Nr.: B000002	PCW1-T1 , FW-REF	Datum: 05.02.2018 11:31:40
-------------------	------------------	----------------------------



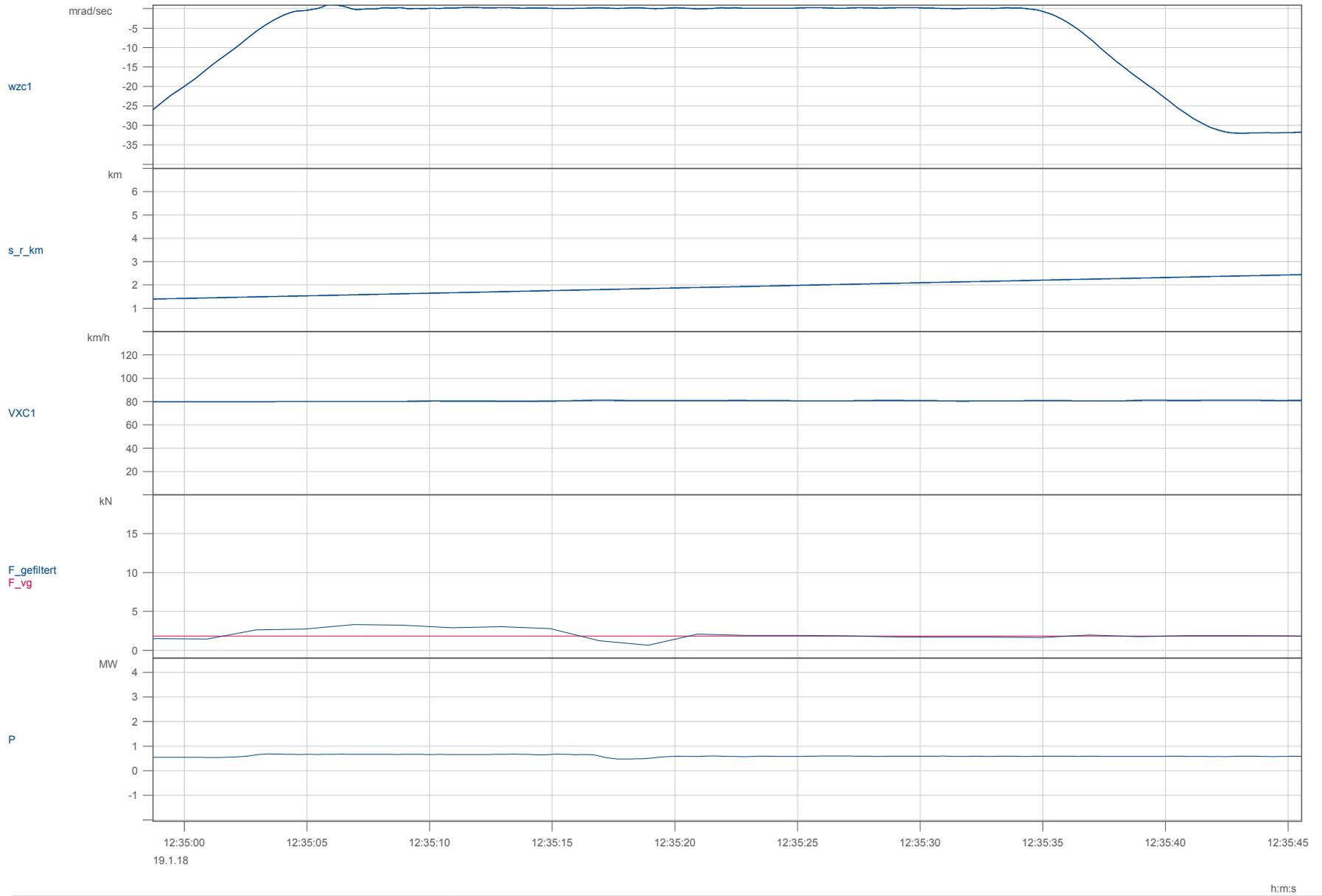
File Nr.: B000002	PCW1-T1 , FW-REF	Datum: 05.02.2018 11:31:40
-------------------	------------------	----------------------------



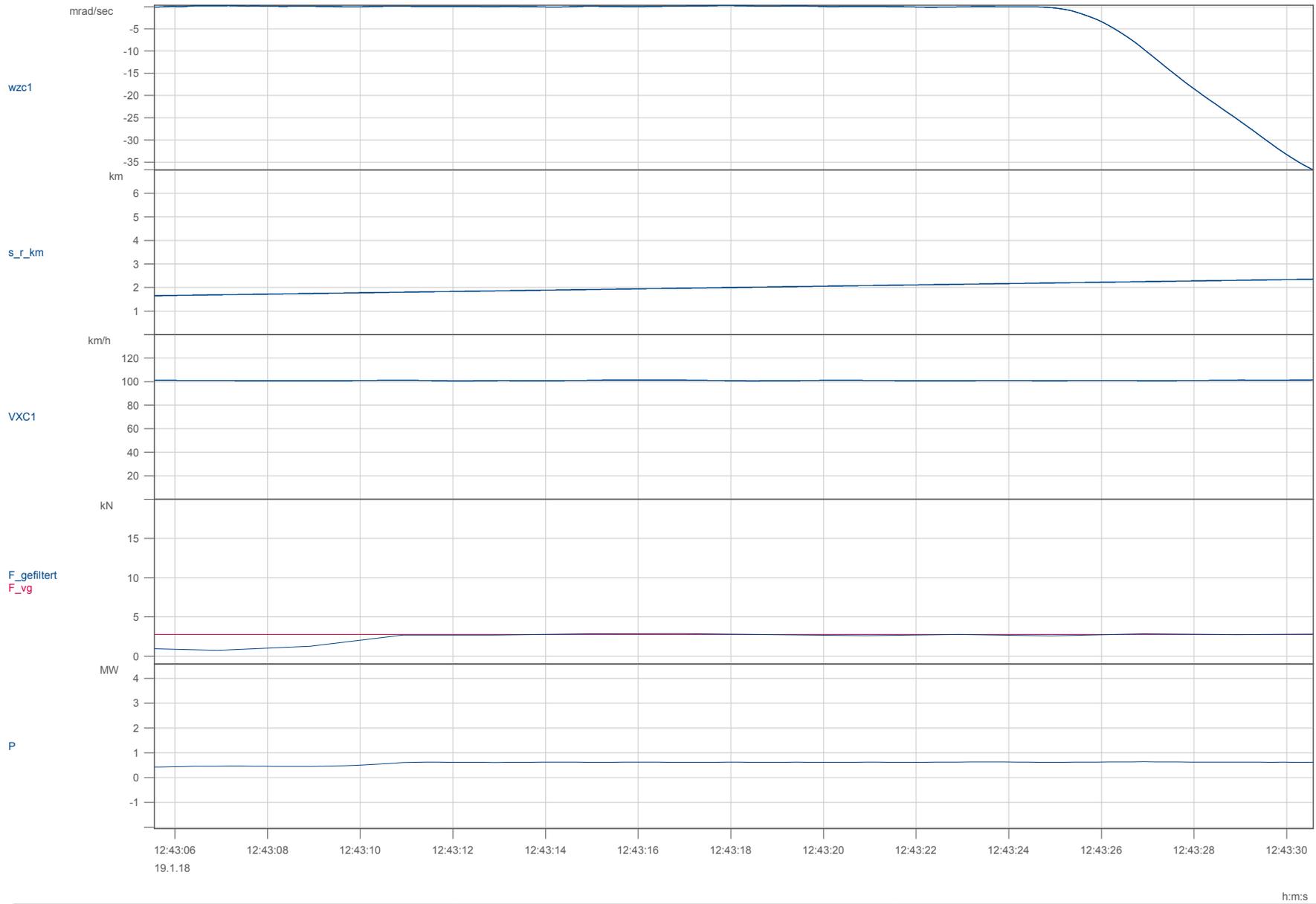
File Nr.: B000002	PCW1-T1 , FW-REF	Datum: 05.02.2018 11:31:40
-------------------	------------------	----------------------------



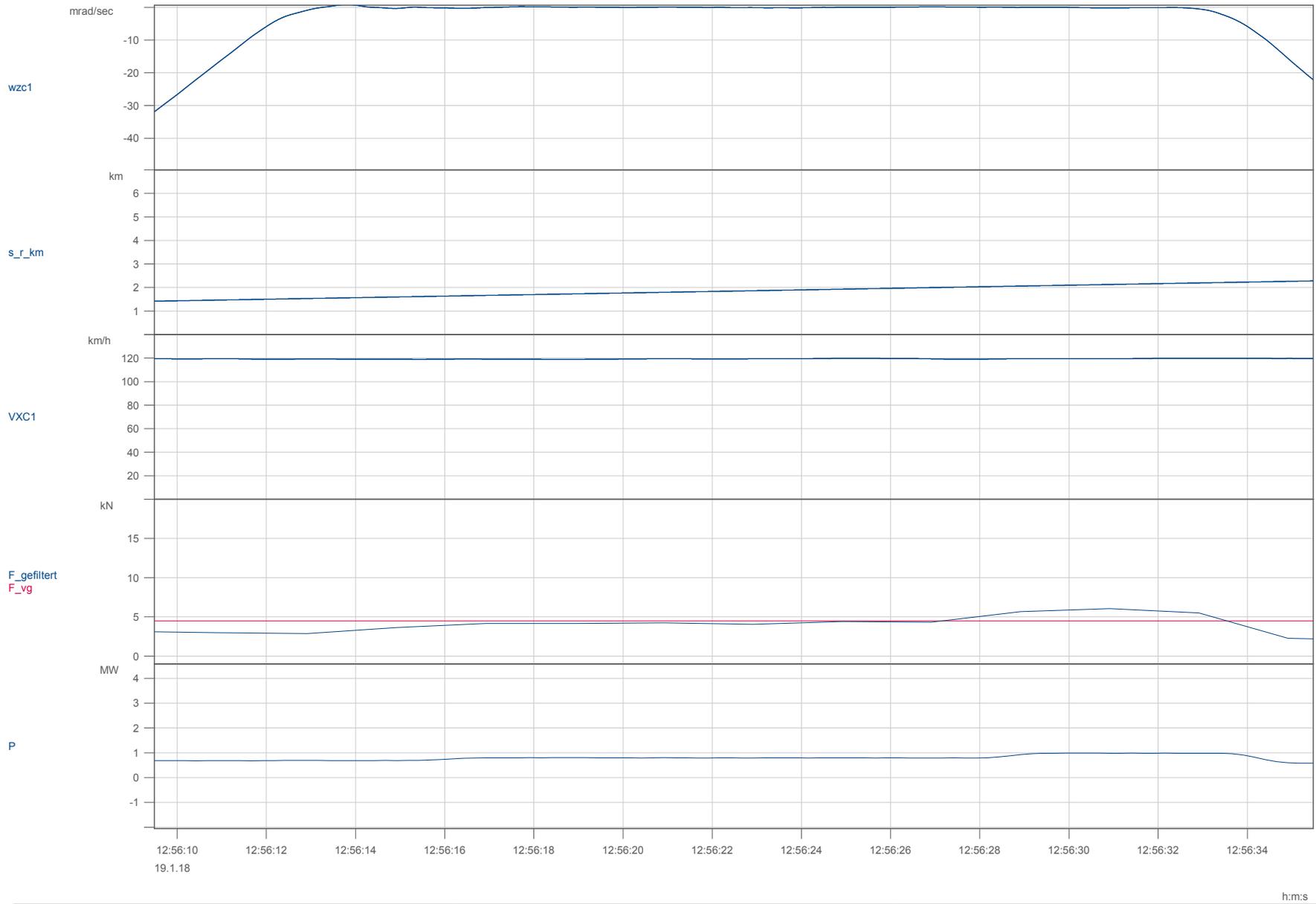
File Nr.: B000002	PCW1-T1 , FW-REF	Datum: 05.02.2018 11:31:40
-------------------	------------------	----------------------------



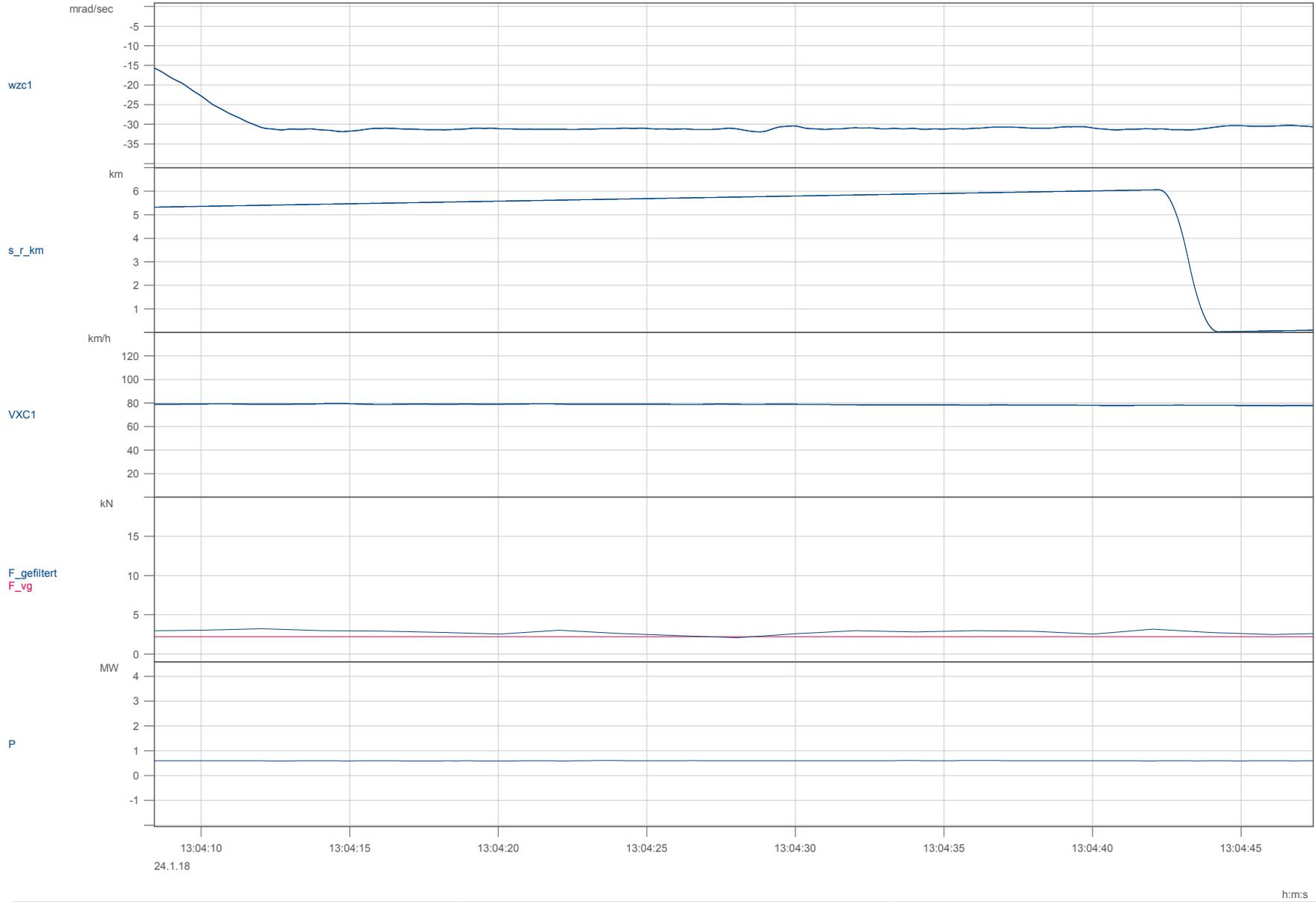
File Nr.: B100102	PCW1-T1 , FW-IGW	Datum: 19.01.2018 12:23:44
-------------------	------------------	----------------------------



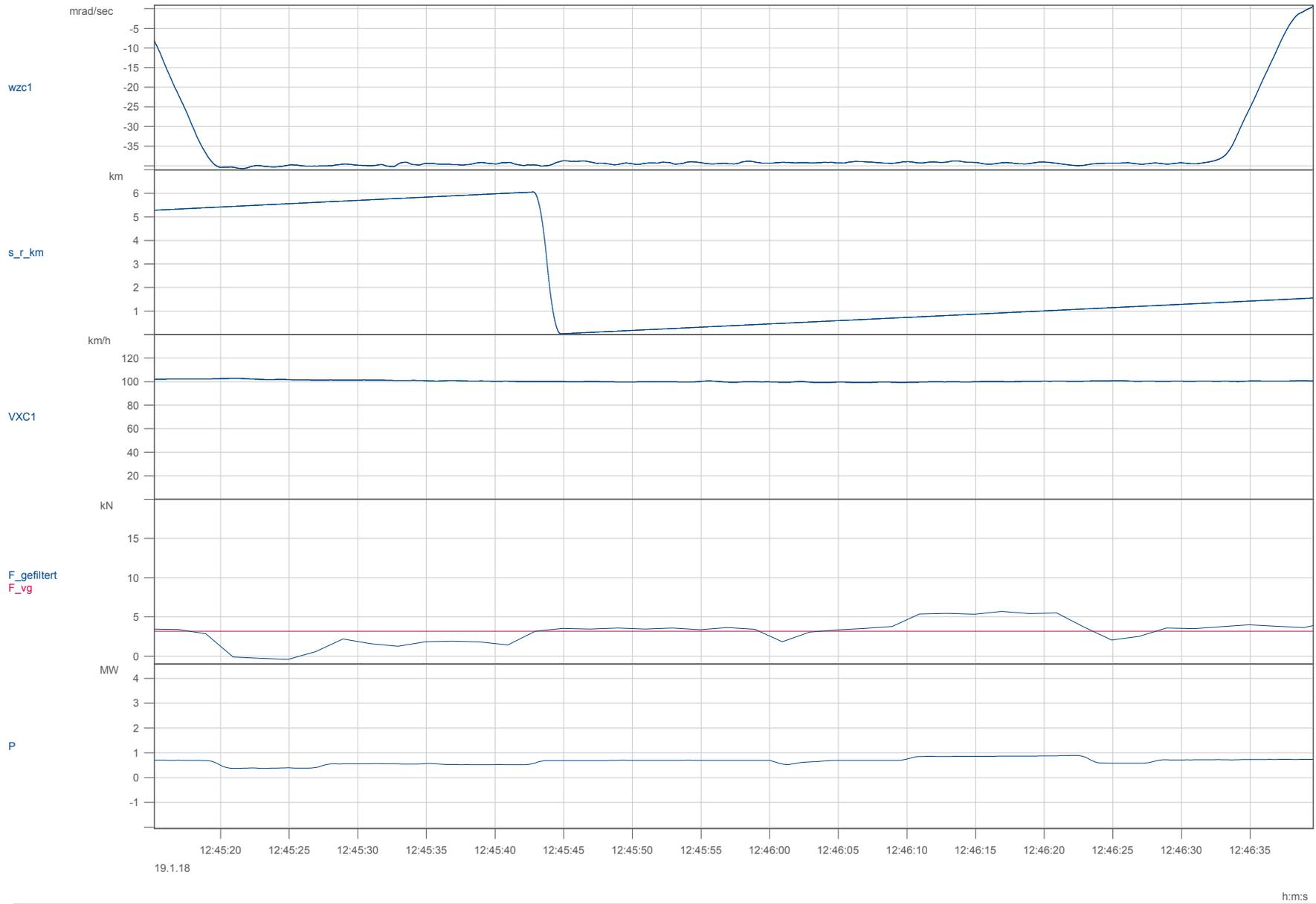
File Nr.: B100102	PCW1-T1 , FW-IGW	Datum: 19.01.2018 12:23:44
-------------------	------------------	----------------------------



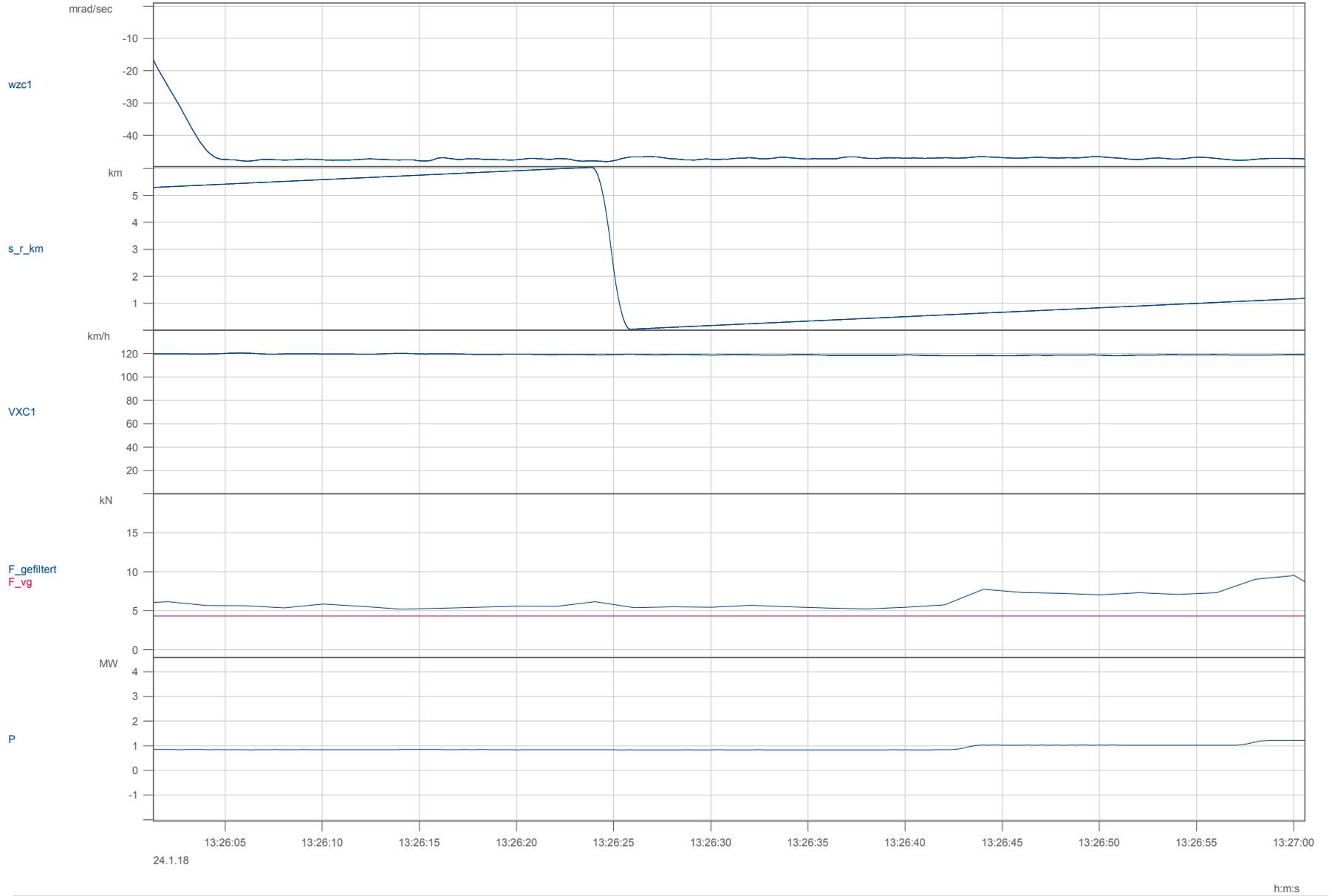
File Nr.: B100102	PCW1-T1 , FW-IGW	Datum: 19.01.2018 12:23:44
-------------------	------------------	----------------------------



File Nr.: B121002	PCW1-T1 , FW-IGW	Datum: 24.01.2018 12:54:18
-------------------	------------------	----------------------------



File Nr.: B100102	PCW1-T1 , FW-IGW	Datum: 19.01.2018 12:23:44
-------------------	------------------	----------------------------



File Nr.: B121002	PCW1-T1 , FW-IGW	Datum: 24.01.2018 12:54:18
-------------------	------------------	----------------------------

## **K Ergebnisse virtuelle Fahrt**

Wagengattung (Vergleich in % von kWh/tkm)	100% Auslastung			90% Auslastung				80% Auslastung				70% Auslastung				60% Auslastung				50% Auslastung			
	10% Bögen	50% Bögen	∅	Verteilung	10% Bögen	50% Bögen	∅	Verteilung	10% Bögen	50% Bögen	∅	Verteilung	10% Bögen	50% Bögen	∅	Verteilung	10% Bögen	50% Bögen	∅	Verteilung	10% Bögen	50% Bögen	∅
<b>Containertragwagen</b>	-2.3	-2.7	-2.5		-2.3	-2.7	-2.5		-2.2	-2.6	-2.4		-2.1	-2.5	-2.3		-2.0	-2.4	-2.2		-1.9	-2.3	-2.1
Leer (Vergleich in % Energieverbrauch)				0.04	-0.7	-1.0		0.08	-0.7	-1.0		0.13	-0.7	-1.0		0.19	-0.7	-1.0		0.26	-0.7	-1.0	
100% Beladen (Vergleich in % Energieverbrauch)					-2.8	-3.2			-2.8	-3.2			-2.8	-3.2			-2.8	-3.2			-2.8	-3.2	
100% Beladen (Vergleich in % von kWh/tkm)				0.96	-2.3	-2.7		0.92	-2.3	-2.7		0.87	-2.3	-2.7		0.81	-2.3	-2.7		0.74	-2.3	-2.7	
<b>Kesselwagen</b>	-2.2	-2.9	-2.6		-2.1	-2.7	-2.4		-1.9	-2.5	-2.2		-1.7	-2.2	-2.0		-1.4	-2.0	-1.7		-1.2	-1.7	-1.4
Leer (Vergleich in % Energieverbrauch)				0.05	1.3	1.0		0.10	1.3	1.0		0.16	1.3	1.0		0.23	1.3	1.0		0.31	1.3	1.0	
100% Beladen (Vergleich in % Energieverbrauch)					0.5	-0.2			0.5	-0.2			0.5	-0.2			0.5	-0.2			0.5	-0.2	
100% Beladen (Vergleich in % von kWh/tkm)				0.95	-2.2	-2.9		0.90	-2.2	-2.9		0.84	-2.2	-2.9		0.77	-2.2	-2.9		0.69	-2.2	-2.9	
<b>Flachwagen/BraCoil*</b>	-3.5	-3.1	-3.3		-3.0	-2.6	-2.8		-2.5	-2.1	-2.3		-1.8	-1.4	-1.6		-1.1	-0.7	-0.9		-0.2	0.2	0.0
Leer (Vergleich in % Energieverbrauch)				0.04	8.8	9.0		0.09	8.8	9.0		0.14	8.8	9.0		0.20	8.8	9.0		0.27	8.8	9.0	
100% Beladen (Vergleich in % Energieverbrauch)					8.4	8.8			8.4	8.8			8.4	8.8			8.4	8.8			8.4	8.8	
100% Beladen (Vergleich in % von kWh/tkm)				0.96	-3.5	-3.1		0.91	-3.5	-3.1		0.86	-3.5	-3.1		0.80	-3.5	-3.1		0.73	-3.5	-3.1	
<b>Autotransporter</b>	4.3	5.3	4.8		4.8	5.9	5.4		5.5	6.5	6.0		6.2	7.2	6.7		6.9	8.0	7.5		7.8	8.9	8.3
Leer (Vergleich in % Energieverbrauch)				0.05	14.6	15.7		0.11	14.6	15.7		0.18	14.6	15.7		0.26	14.6	15.7		0.34	14.6	15.7	
100% Beladen (Vergleich in % Energieverbrauch)					10.4	11.5			10.4	11.5			10.4	11.5			10.4	11.5			10.4	11.5	
100% Beladen (Vergleich in % von kWh/tkm)				0.95	4.3	5.3		0.89	4.3	5.3		0.82	4.3	5.3		0.74	4.3	5.3		0.66	4.3	5.3	