





## **Eidesstattliche Erklärung**

Ich erkläre an Eides statt, dass ich die vorliegende Arbeit selbstständig verfasst, andere als die angegebenen Quellen/Hilfsmittel nicht benutzt, und die den benutzten Quellen wörtlich und inhaltlich entnommenen Stellen als solche kenntlich gemacht habe.

Graz, am .....

.....

(Unterschrift)

## **Statutory declaration**

I declare that I have authored this thesis independently, that I have not used other than the declared sources / resources, and that I have explicitly marked all material which has been quoted either literally or by content from the used sources.

Graz, .....

.....

(signature)



## **Danksagung**

Für die hervorragende Betreuung dieser Masterarbeit und die damit einhergehenden, spannenden Diskussionen möchte ich mich bei Herrn Univ.-Prof. Dipl.-Ing. Dr. techn. Roman Marte bedanken. Seine überaus interessante Aufbereitung der Vorlesungen im Bereich der Bodenmechanik war einer der Hauptgründe für meine Wahl des Masterstudiums Geotechnik und Wasserbau.

Ebenso möchte ich auch Herrn Dipl.-Ing. Georg Ausweger BSc für die sehr gute Betreuung am Beginn der Arbeit sowie für seine zahlreichen Hilfestellungen, die im Laufe der Ausarbeitung nötig waren, meinen Dank aussprechen.

Mit dem Abschluss dieser Arbeit findet auch meine Studienzzeit ein Ende, die sehr stark von Freundschaften geprägt war. An dieser Stelle möchte ich allen Freunden und Studienkollegen für die gemeinsam durchlebte Zeit danken. Dabei will ich auch nicht die zahllos verbrachten Stunden im Beton- und Holzbauzeichensaal vergessen, die mir stets in Erinnerung bleiben werden.

Mein Dank gilt natürlich auch meiner Familie und dabei insbesondere meinen Eltern, die mir die Möglichkeit gaben, ein Studium zu absolvieren und mir in allen Lebensbereichen enormen Freiraum und große Unterstützung zukommen ließen.



## Kurzfassung

Die vorliegende Masterarbeit befasst sich mit einer in der Katastralgemeinde Fürteben der niederösterreichischen Bezirkshauptstadt Scheibbs situierten Rutschung.

Zu Beginn wird ein Überblick über die Randbedingungen der vorherrschenden Situation mit den Entwicklungen der letzten sieben Jahre gegeben. Das Hauptaugenmerk liegt dabei auf den seit 2010 beobachteten Schäden am Neubrucker Lehenstollen, der die Rutschung in einer Tiefe von ca. 24 m unter der Geländeoberkante kreuzt. Dieses Leitungsbauwerk bildet einen Abschnitt der II. Wiener Hochquellenleitung, die eine wichtige Rolle in der Trinkwasserversorgung der österreichischen Bundeshauptstadt spielt. Um die Funktionstüchtigkeit dieser Leitung nicht zu gefährden, wird seit 2014 ein Ersatzstollen gebaut, der den Neubrucker Lehenstollen in Zukunft ersetzen soll.

Fünf Kernbohrungen im Bereich der Massenbewegung bilden die Grundlage für einen geologisch – geotechnischen Längsschnitt. Basierend darauf wird ein vereinfachtes, geotechnisches Modell erstellt, um damit Standsicherheitsberechnungen mithilfe des Programms Slide (Rocscience Inc.) durchführen zu können. Im Zuge dieser Analysen werden Einflüsse auf die Standsicherheit aufgrund von Schwankungen des Grundwasserspiegels bzw. Bautätigkeiten am Fuß der Massenbewegung geprüft.

Ein großer Teil dieser Arbeit beschäftigt sich mit der Datenaufarbeitung der zahlreichen messtechnischen Einrichtungen vor Ort und deren Interpretation. Die Messeinrichtungen umfassen sechs Inklinometer und mehr als 30 geodätische Messpunkte. Zusätzlich sind vier Porenwasserdruckgeber im Untergrund installiert, um Informationen über die Grundwasserverhältnisse der Rutschung zu gewinnen.

Weiters werden vor Ort auch noch Wetterdaten erfasst, mithilfe derer die Zusammenhänge zwischen den aufgezeichneten Bewegungsschüben der Rutschung und den aufgetretenen Starkniederschlagsphasen analysiert werden.

Ziel dieser Arbeit ist es, den bzw. die Auslöser zu eruieren, die zu den Bewegungen dieser Rutschung führten.

Schlagwörter: Rutschung, Inklinometer, Porenwasserdruckgeber, geodätische Messpunkte, Standsicherheitsberechnungen, Niederschlag



## **Abstract**

This master thesis is dealing with a landslide, which is located in Fürteben within the district's capital Scheibbs in Lower Austria.

At the beginning is an overview of the current status with its conditions given and the events of the last seven years explained. The main focus lies on the observed damages of the Neubrucker Lehenstollen since 2010, which is crossing the landslide in approx. 24 m below the ground. This pipeline is part of the Second Vienna Mountain Spring Pipeline which is of great importance for the drinking water supply of the Austrian capital. To maintain the serviceability of this pipeline a new tunnel is build since 2014 that should replace the Neubrucker Lehenstollen.

Five core drillings within the landslide provide informations for the development of a geologic – geotechnical longitudinal section. Based on this a simplified geotechnical model is created which is used for stability calculations in the program Slide (Rocscience Inc.). These analyses focus on the effects on the stability by the change of the groundwater level respectively the influence by the construction work at the toe of the slope.

A major part of this thesis is about the data preparation of the numerous measuring systems and their interpretation. Those measuring systems contain six inclinometer and more than 30 geodetic measuring points. Additionally for gathering information of the groundwater conditions in the area of the landslide four piezometers are installed.

On-site are also the weather conditions recorded to analyse the connection between the noticed periods of increased motion and the occurred intense precipitation.

The aim of this thesis is to find the main trigger that led to the movements of this landslide.

Key words: landslide, inclinometer, piezometer, measuring points, stability calculations, precipitation



# Inhalt

1	EINLEITUNG .....	1
2	BESCHREIBUNG DER MASSENBEWEGUNG .....	2
2.1	Allgemein .....	2
2.2	Entwicklungen seit dem Jahr 2009 .....	5
2.2.1	Kraftwerk an der Erlauf (KW Neubruck).....	5
2.2.2	II. Wiener Hochquellenleitung.....	7
2.2.3	Forsthaus, Teichanlage und Baustelleneinrichtung Umgehungsstollen.....	10
2.3	Umriss der Massenbewegung .....	11
3	UNTERGRUNDBESCHREIBUNG .....	16
3.1	Kernbohrung für Inklinometer 1 .....	17
3.2	Kernbohrung für Inklinometer 2 .....	17
3.3	Kernbohrung für Inklinometer 3 .....	18
3.4	Kernbohrung für Inklinometer 6 (Ketteninklinometer).....	19
3.5	Kernbohrung für Inklinometer 8 .....	20
3.6	Längsschnitt durch die Massenbewegung .....	20
4	MESSTECHNISCHE ÜBERWACHUNG .....	22
4.1	Inklinometer.....	22
4.1.1	Inklinometer 1 (INK1-ZG52).....	22
4.1.2	Inklinometer 2 (INK2-ZG52).....	23
4.1.3	Inklinometer 3 (INK3-ZG52 bzw. INK3-ZG52N).....	23
4.1.4	Inklinometer 6 (Ketteninklinometer) .....	24
4.1.5	Inklinometer 7 und 8 (B7 und B8) .....	25
4.2	Geodätische Messpunkte .....	25
4.3	Messungen des Grundwasserspiegels .....	27
4.3.1	Porenwasserdruckgeber.....	27
4.3.2	Wasserspiegelmessung im Inklinometerrohr 1 .....	28
4.4	Wetterdaten.....	28
5	AUSWERTUNG UND INTERPRETATION DER MESSDATEN.....	30
5.1	Inklinometer.....	30
5.1.1	Inklinometer 1 (INK1-ZG52).....	30
5.1.2	Inklinometer 2 (INK2-ZG52).....	32
5.1.3	Inklinometer 3 (INK3-ZG52 bzw. INK3-ZG52N).....	34
5.1.4	Inklinometer 6 (Ketteninklinometer) .....	36
5.1.5	Inklinometer 7 und 8 (B7 und B8) .....	38
5.2	Geodätische Messpunkte .....	40
5.2.1	Messpunkte W1 - W5 .....	40
5.2.2	Messpunkte 21 - 25 .....	42
5.2.3	Messpunkte 16 - 18.....	44
5.2.4	Messpunkte Unten (GP-FH, 6, 13, 14, 19).....	46
5.2.5	Messpunkte Oben (IN, 8, 9, 10, 11, 15).....	48
5.2.6	Messpunkte 1 - 5.....	50

5.2.7	Messpunkte INK 2 und INK 3.....	52
5.3	Messungen des Grundwasserspiegels .....	52
5.3.1	Porenwasserdruckgeber.....	52
5.3.2	Wasserspiegelmessung im Inklinometerrohr 1 .....	56
5.3.3	Wasserspiegel im INK 6, INK 7 und INK 8.....	58
5.4	Überlagerung der einzelnen Phasen mit erhöhten Bewegungsraten.....	58
5.5	Niederschlag .....	62
5.5.1	Zusammenhang Niederschlag – Bewegungsraten.....	64
6	STANDSICHERHEITSBERECHNUNG .....	74
6.1	Modellbildung .....	74
6.1.1	Bodenschichten mit zugehörigen Parametern .....	74
6.1.2	Grundwassermodell.....	77
6.2	Berechnung mit Slide.....	78
6.2.1	Gegenüberstellung der Längsschnitte mit unterschiedlichen Randbedingungen.....	80
6.2.2	Optimize Surfaces .....	82
6.2.3	Ergebnisse der Berechnungen .....	83
6.3	Parameterstudie mit Slide.....	84
6.4	Einfluss der Eintiefung und des Grundwasserspiegels auf die Standicherheit.....	86
6.5	Einfluss von Ankersicherungen auf die Standicherheit.....	89
6.5.1	Anordnung der Anker nach Ansatz A (20 Anker pro 100k m <sup>3</sup> MB) .....	91
6.5.2	Anordnung der Anker nach Ansatz B (30 Anker pro 100k m <sup>3</sup> MB) .....	92
6.5.3	Ergebnisse der Standicherheitsberechnungen mit Litzenanker.....	93
7	BEURTEILUNG DER MASSENBEWEGUNG .....	94
7.1	Form der Rutschung.....	94
7.2	Einfluss der Niederschlagsmengen auf die Bewegungsraten.....	95
7.3	Schäden am Leitungsbauwerk der II. HQL .....	96
7.4	Interpretation Berechnungsmodelle .....	97
7.5	Charakteristik der Rutschung.....	98
7.6	Einfluss auf das Kraftwerk an der Erlauf .....	99
8	DISKUSSION .....	100
9	LITERATUR .....	101
10	ANHANG.....	105

# Abbildungsverzeichnis

Abb. 1	Lage der Massenbewegung in Niederösterreich ÖK Maßstab 1:1.000.000 (BEV Bundesamt für Eich- und Vermessungswesen, 2016).....	2
Abb. 2	Lage der Massenbewegung in Scheibbs ÖK Maßstab 1:500.000 (BEV Bundesamt für Eich- und Vermessungswesen, 2016).....	2
Abb. 3	Lageplan der Massenbewegung .....	3
Abb. 4	Lageplandarstellung Graustufen (Land Niederösterreich, NÖ Atlas, 2015).....	4
Abb. 5	Lageplandarstellung der Geländeneigung (Land Niederösterreich, NÖ Atlas, 2015).....	4
Abb. 6	Kraftwerk Neubruck an der Erlauf, Ansicht von Norden.....	6
Abb. 7	Kraftwerk Neubruck an der Erlauf, Ansicht Nordwest mit Fischaufstiegshilfe.....	7
Abb. 8	Ansicht Eingangsbereich des Zugangsstollen 52 .....	8
Abb. 9	Lageplan bestehender Stollen und Stollenneubau im Gebiet der Massenbewegung (Geoconsult Wien ZT GmbH, 2013).....	9
Abb. 10	Forsthaus mit angrenzender Teichanlage, Nordansicht.....	10
Abb. 11	Nördlicher Fußbereich der MB, Messpunkt 24 am Forstweg parallel zur Erlauf .....	11
Abb. 12	Nördlicher Fußbereich der MB, Entwässerung des Hangfußes .....	12
Abb. 13	Teichanlage und nördlich angrenzende Materialdeponie.....	12
Abb. 14	Hangrücken im Bereich oberhalb der Weggabelung, nördliche Hälfte der Massenbewegung.....	13
Abb. 15	Beobachteter Säbelwuchs der Bäume im obersten Bereich der Rutschung.....	14
Abb. 16	Südlicher Fußbereich der MB, Versatz des Forstweges und der Stützmauer erkennbar.....	14
Abb. 17	Lage der Kernbohrungen (anschließender Ausbau zu Inklinometern) (Lageplan aus der halbjährlichen Auswertung der geodätischen Vermessung).....	16
Abb. 18	Längsschnitt der Massenbewegung (Lageplan aus der halbjährlichen Auswertung der geodätischen Vermessung) .....	21
Abb. 19	Übersicht Messpunkte im Bereich der Hangbewegung (Lageplan aus der halbjährlichen Auswertung der geodätischen Vermessung).....	26

Abb. 20	Lage der Niederschlagsmessstellen (Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft, 2016) .....	29
Abb. 21	Messungen am INK 1 im Jahr 2013 .....	31
Abb. 22	Resultierende Verformung des INK 1 in verschiedenen Tiefenstufen .....	31
Abb. 23	Messungen am INK 2 im zweiten Halbjahr 2015, inkl. erste Messung von 2016 .....	33
Abb. 24	Resultierende Verformung des INK 2 in verschiedenen Tiefenstufen .....	33
Abb. 25	Messungen am INK 3 im zweiten Halbjahr 2015, inkl. erste Messung von 2016, starke Knickausbildung bei der Verschiebung in Falllinie .....	35
Abb. 26	Resultierende Verformung des INK 3 in verschiedenen Tiefenstufen .....	35
Abb. 27	Auswertung Ketteninklinometer Messtiefe 16 bis 36 m unter der GOK.....	37
Abb. 28	Auswertung Ketteninklinometer Messtiefe 16 bis 34 m unter der GOK.....	38
Abb. 29	Messungen am INK 7 im ersten Halbjahr 2016, inkl. Messungen von 2015 .....	39
Abb. 30	Messungen am INK 8 im ersten Halbjahr 2016, inkl. Messungen von 2015 .....	39
Abb. 31	Messpunkte W1 – W5 mit Verschiebungsvektoren bis Mai 2015.....	40
Abb. 32	Resultierende Verschiebung der Messpunkte W1 – W5.....	41
Abb. 33	Messpunkte 21 – 25 mit Verschiebungsvektoren bis Mai 2015 .....	42
Abb. 34	Resultierende Verschiebung der Messpunkte 21 – 25.....	43
Abb. 35	Messpunkte 16 – 18 mit Verschiebungsvektoren bis Mai 2015 .....	44
Abb. 36	Resultierende Verschiebung der Messpunkte 16 – 18.....	45
Abb. 37	Messpunktgruppe Unten mit Verschiebungsvektoren bis Mai 2015.....	46
Abb. 38	Resultierende Verschiebung der Messpunktgruppe Unten.....	47
Abb. 39	Messpunktgruppe Oben mit Verschiebungsvektoren bis Mai 2015.....	48
Abb. 40	Resultierende Verschiebung der Messpunktgruppe Oben.....	49
Abb. 41	Messpunktgruppe 1 – 5 mit Verschiebungsvektoren bis Mai 2015 .....	50
Abb. 42	Resultierende Verschiebung der Messpunkte 1 - 5 .....	51

Abb. 43	Verschiebungsvektoren INK 2 und INK 3 .....	52
Abb. 44	Porenwasserdruckgeber DT09535 (36 m u. GOK), Verlauf Porenwasserdruck im Vergleich zum Niederschlag am KW Neubruck .....	53
Abb. 45	Porenwasserdruckgeber DT09537 (7,5 m u. GOK), Verlauf Porenwasserdruck im Vergleich zum Niederschlag am KW Neubruck .....	54
Abb. 46	Porenwasserdruckgeber DT09540 (22,5 m u. GOK), Verlauf Porenwasserdruck im Vergleich zum Niederschlag am KW Neubruck .....	54
Abb. 47	Gegenüberstellung der Messergebnisse der beiden Porenwasserdruckgeber im Bohrloch 4 .....	55
Abb. 48	Gegenüberstellung der Messergebnisse der beiden tief eingebauten Porenwasserdruckgeber .....	56
Abb. 49	Wasserspiegelmessung im Inklinometerrohr 1, Verlauf des Wasserspiegels im Vergleich zum Niederschlag am KW Neubruck .....	57
Abb. 50	Gegenüberstellung Wasserspiegel aus DT09537 und INK 1 .....	57
Abb. 51	Bewegungsphasen der einzelnen Messeinrichtungen .....	60
Abb. 52	Geschwindigkeiten [mm/Jahr] der Bewegungsphasen .....	61
Abb. 53	Vergleich der Niederschlagsdaten am KW Neubruck 2013 - 2015 .....	63
Abb. 54	Vergleich der Niederschlagsdaten aller drei Messstellen.....	63
Abb. 55	Vergleich Niederschlagsdauer [Tage] zu Intensität [mm].....	66
Abb. 56	Starkniederschlagsphasen 2010-2015 überlagert mit den Bewegungsphasen.....	70
Abb. 57	Starkniederschlagsphasen Messstelle St. Anton/Jeßnitz 2000 – 2005 .....	73
Abb. 58	Starkniederschlagsphasen Messstelle St. Anton/Jeßnitz 2006 - 2010.....	73
Abb. 59	Bodenschichten des gewählten Modells.....	74
Abb. 60	Unterschiede der Längsschnitte Urzustand (links), Eintiefung – Unterwasser (Mitte) und Eintiefung – Tosbecken (rechts).....	80
Abb. 61	1. Fall: Polylinie vom INK 3 über INK 2 bis unterhalb des Fußes des Steilhanges .....	81

Abb. 62	2. Fall: Suchfenster von INK 6, INK 3, INK 2 und unter dem Steilhang .....	81
Abb. 63	3. Fall: Suchfenster bei INK 8, INK 6, INK 3, INK 2 und unterhalb des Steilhanges.....	82
Abb. 64	Funktion Optimize Surfaces unter Surface Options .....	82
Abb. 65	Lamellen des untersuchten Längsschnittes.....	89
Abb. 66	Flächenverhältnis Kreissegment zum umschließenden Rechteck im Querschnitt der Rutschung .....	90
Abb. 67	Anordnung der Anker am Hangfuß (Ansatz 20 Anker pro 100.000 m <sup>3</sup> Volumen der Rutschung).....	91
Abb. 68	Anordnung der Anker am Hangfuß (Ansatz 30 Anker pro 100.000 m <sup>3</sup> Volumen der Rutschung).....	92
Abb. 69	Flächenmäßige Ausdehnung der Geologischen Zonen in NÖ. Anzahl der Rutschungen im Zeitraum 1953 – 1990 (Schwenk, Spendingwimmer, Salzer, 1992).....	98

Sofern nicht anders angegeben befinden sich die Abbildungen im Besitz des Autors bzw. wurden von diesem erstellt.

## Tabellenverzeichnis

Tab. 1	Messpunkte auf dem Gelände der Massenbewegung .....	25
Tab. 2	Aufbau des Bohrlochs 4 für die PW – Geber in der Nähe des INK 2 .....	27
Tab. 3	Aufbau des Bohrlochs 5 für die PW – Geber in der Nähe des INK 3 .....	28
Tab. 4	Auswertung: Vergleich Niederschlagsdauer zu Intensität .....	67
Tab. 5	Auftreten von Starkniederschlagsphasen in Bewegungs- und Ruhephasen.....	68
Tab. 6	Starkniederschlagsphasen 2010-2015 überlagert mit Bewegungsphasen.	71
Tab. 7	Starkregenphasen der Messstelle St. Anton an der Jeßnitz 2000 - 2010 ..	72
Tab. 8	Parameter der Bodenschichten für die Berechnungen .....	76
Tab. 9	Angesetzte Grundwasserspiegel im Längsschnitt .....	77
Tab. 10	Ergebnisse nach GLE / Morgenstern – Price, Suchfunktion Polylinie .....	83
Tab. 11	Ergebnisse nach GLE / Morgenstern – Price, Suchfunktion Suchfenster ..	84
Tab. 12	Ergebnisse Parameterstudie für die Bodenschicht 3, Eintiefung 1,1 m.....	85
Tab. 13	Ergebnisse Parameterstudie für die Bodenschicht 3, Eintiefung 2 m.....	85
Tab. 14	Ergebnisse Einfluss der Wasserspiegelhöhe, Eintiefung 1,1 m, Fall 3.....	85
Tab. 15	Ergebnisse Einfluss der Wasserspiegelhöhe, Eintiefung 2 m, Fall 3 .....	86
Tab. 16	Vergleich Hangstabilität Oberwasserseite - Unterwasserseite im Urzustand - Unterwasserseite Eintiefung 1,1 m - Unterwasserseite Eintiefung 2 m....	86
Tab. 17	Vergleich der drei Berechnungsverfahren .....	88
Tab. 18	Ergebnisse der Standsicherheitsberechnungen mit Litzenanker für eine Eintiefung von 1,1 m .....	93
Tab. 19	Ergebnisse der Standsicherheitsberechnungen mit Litzenanker für eine Eintiefung von 2 m .....	93
Tab. 20	Gegenüberstellung Hangneigung mit den Verschiebungsergebnissen der Messpunkte.....	95



# Formelzeichen und Abkürzungen

## Abkürzungen

II. HQL	II. Wiener Hochquellenleitung
BH	Bezirkshauptmannschaft
FM	Folgemessung
GOK	Geländeoberkante
INK	Inklinometer
KG	Katastralgemeinde
KW	Kraftwerk
MA	Magistratsabteilung
MB	Massenbewegung
m ü. A.	Meter über Adria
PW – Geber	Porenwasserdruckgeber
ROK	Rohroberkante
UW – Bereich	Unterwasserbereich
WNW	Westnordwest



# 1 Einleitung

Das Thema dieser Masterarbeit ist eine Massenbewegung in der Katastralgemeinde Fürteben auf dem Gebiet der Bezirkshauptstadt Scheibbs in Niederösterreich.

Am Fuß des untersuchten Rutschhanges befindet sich der Fluss Erlauf mit einem seit 2009 bestehenden Flusskraftwerk. Dieses ersetzte ein vorher an selbiger Stelle bestehendes Ausleitungskraftwerk. Auf der orographisch linken Seite der Erlauf, gegenüber der Massenbewegung, verläuft die Erlaufstalstraße B25 und anschließend daran befindet sich ein Siedlungsgebiet mit Einfamilienhäusern.

Das Projektgebiet wird in etwa 24 m unter der GOK von einem bedeutenden Bauwerk durchkreuzt. Dabei handelt es sich um einen Abschnitt der II. Wiener Hochquellenleitung, die einen Großteil des Trinkwassers für die österreichische Bundeshauptstadt bereitstellt. Genauer gesagt verläuft unterhalb bzw. innerhalb des in Bewegung befindlichen Geländes der Neubrucker Lehnstollen, in dem seit Herbst 2010 vermehrt Schäden auftreten, die auf die Massenbewegung zurückzuführen sind.

Als Konsequenz wurde im Jahr 2014 mit der Herstellung eines Ersatzstollens begonnen um die Trinkwasserversorgung von Wien sicherstellen zu können. Der Querschnitt des bestehenden Stollens wurde währenddessen auf der Länge der Beschädigungen verstärkt um seine Funktionsfähigkeit bis zur Fertigstellung des neuen Leitungsbauwerkes zu erhalten.

Das betroffene Gebiet wird seit mehreren Jahren intensiv mit verschiedenen Messeinrichtungen überwacht und die Aufgabe dieser Masterarbeit ist die Aufarbeitung und Interpretation der daraus gewonnenen Daten.

Basierend auf den durchgeführten Untergrunderkundungen im Terrain des Rutschhanges kam es in der gegenständlichen Arbeit zur Erstellung eines geotechnischen Modells, das als Grundlage für Standsicherheitsberechnungen herangezogen wurde. In diesen Berechnungen wurden einerseits der Einfluss des Kraftwerkbaus und andererseits der Einfluss der Grundwasserverhältnisse im Untergrund auf die Standsicherheit des Rutschhanges untersucht.

Abschließend wurden mögliche Ansätze zur Sicherung der Massenbewegung vereinfacht ausgearbeitet und dargestellt.

## 2 Beschreibung der Massenbewegung

### 2.1 Allgemein

Die Rutschung, die in der vorliegenden Arbeit untersucht wird, befindet sich im niederösterreichischen Bezirk Scheibbs im Mostviertel, in der Katastralgemeinde Fürteben der Bezirkshauptstadt Scheibbs.



Abb. 1 Lage der Massenbewegung in Niederösterreich ÖK Maßstab 1:1.000.000 (BEV Bundesamt für Eich- und Vermessungswesen, 2016)



Abb. 2 Lage der Massenbewegung in Scheibbs ÖK Maßstab 1:500.000 (BEV Bundesamt für Eich- und Vermessungswesen, 2016)

Die Hangbewegung erstreckt sich auf der orographisch rechten Seite des Flusses Erlauf von der Talsohle (ca. 350 m ü. A.) bis auf ca. 440 m Seehöhe auf einem nach WNW ausgerichteten Hang. Entlang des Flusses weist die Rutschung eine Ausbreitung von ca. 250 m und in die Fallrichtung des Geländes ca. 300 m Länge auf.

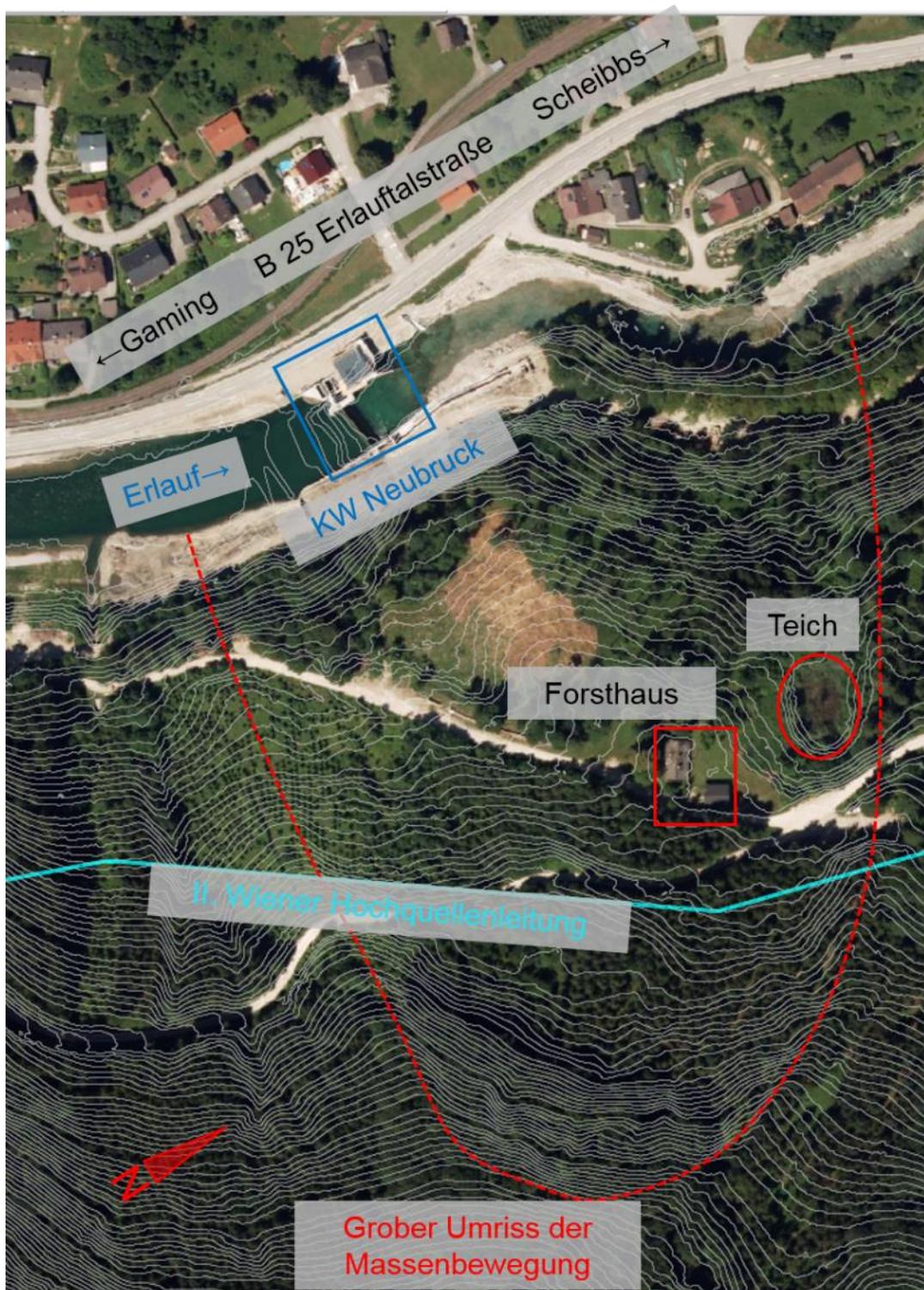


Abb. 3 Lageplan der Massenbewegung

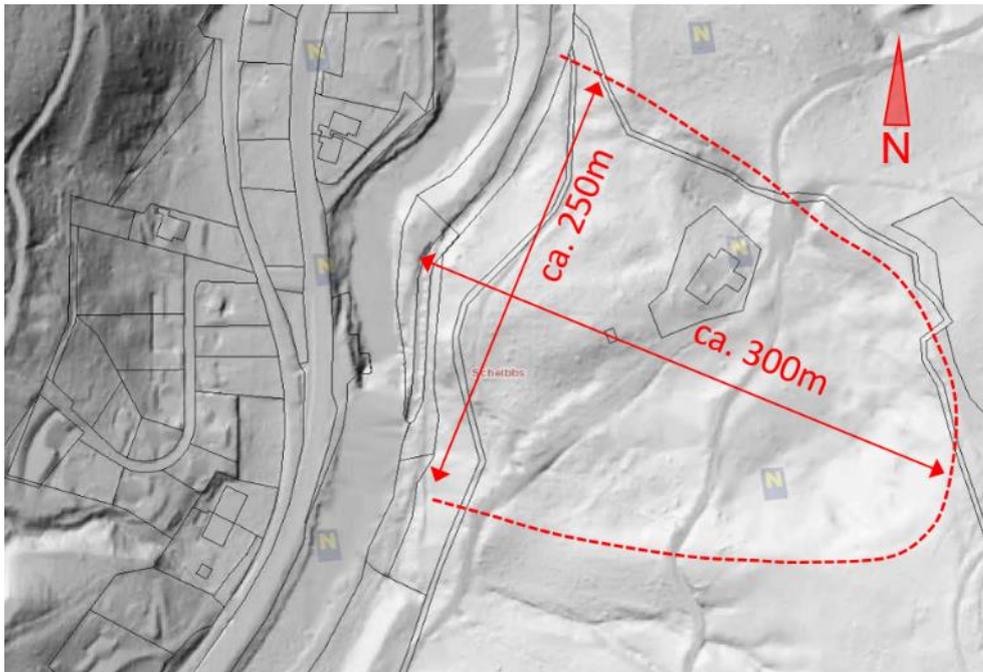


Abb. 4 Lageplandarstellung Graustufen (Land Niederösterreich, NÖ Atlas, 2015)

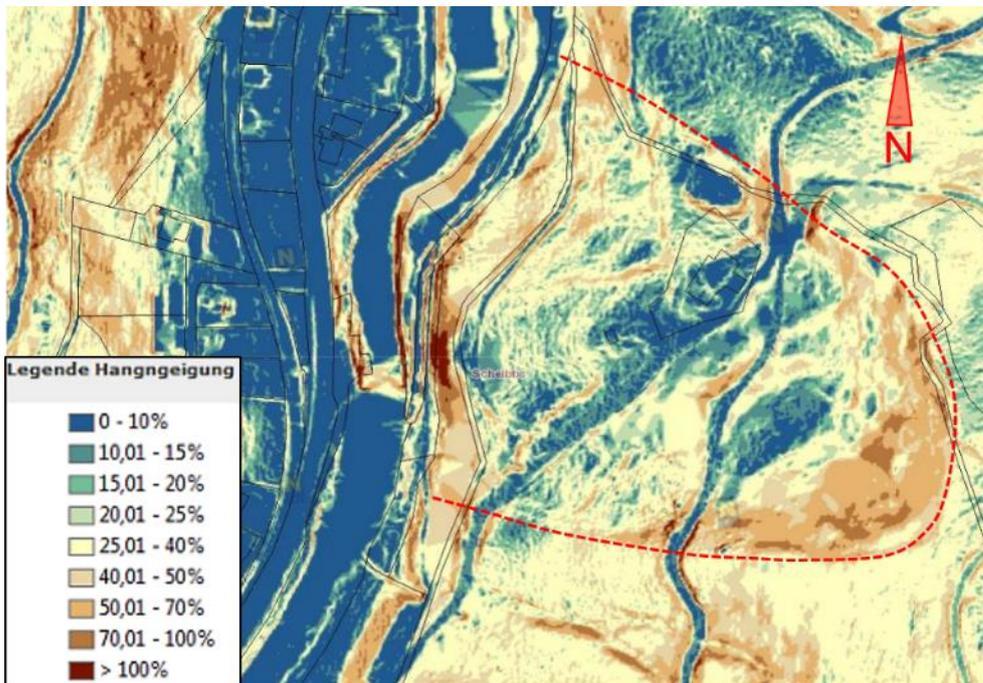


Abb. 5 Lageplandarstellung der Geländeneigung (Land Niederösterreich, NÖ Atlas, 2015)

Die mittlere Hangneigung beträgt etwa  $12 - 15^\circ$  (ca. 25 %), siehe Längsschnitt in der Beilage. Direkt am Fuß der Massenbewegung befindet sich das Kraftwerk Neubruck, das seit 2009 in Betrieb ist.

Eine maßgebliche Bedeutung kommt der II. Wiener Hochquellenleitung zu. Diese quert den Hang im oberen Drittel in einer Tiefe von ca. 24 m unter der GOK – siehe Abb. 3 bzw. Längsschnitt der Massenbewegung – und fördert täglich rund 217.000 m<sup>3</sup> Trinkwasser vom Hochschwabgebiet in der Steiermark in Fließrichtung Norden nach Wien (Magistrat der Stadt Wien, 2015).

Die Hochquellenleitung wird auf einer Länge von etwa 30 m durch die Rutschung beeinträchtigt, wobei die Schäden durch die Massenbewegung erst seit Herbst 2010 beobachtet werden konnten.

Die nördliche Grenze des sich bewegenden Hangbereichs liegt an der Oberfläche in etwa über dem Leitungskilometer 61,860 und die südliche Grenze über km 61,640. Daraus lässt sich schließen, dass die II. HQL in dem 30 m langen Schadensbereich von der tiefsten Stelle der Massenbewegung gekreuzt wird.

Auf der Rutschung selbst befindet sich ungefähr auf halber Höhe ein Forsthaus mit Geräteschuppen, das im Besitz der Forstverwaltung Neubruck in St. Anton ist. Direkt angrenzend, etwas hangabwärts, ist wie in der Abb. 3 abgebildet eine Teichanlage situiert.

Weiters verlaufen drei Forstwege durch das Rutschungsgebiet. Bei einer Abzweigung im mittleren Bereich des Geländes führt der erste Weg hangabwärts in Richtung Zugangstollen 52 zur II. HQL und ein zweiter Weg geht weiter bergauf. Am Fuße der Rutschung, parallel zur Erlauf liegt der dritte Forstweg.

Unmittelbar nördlich der Abrisskante befindet sich das Luegeraquädukt, das die II. HQL über das Jeßnitztal führt. Erwähnt sei auch das nördlich der Rutschung gelegene Töpperschloss. Die unter Denkmalschutz stehende Anlage war Teil der niederösterreichischen Landesausstellung 2015.

Auf der gegenüberliegenden Talsohle, auf der orographisch linken Seite der Erlauf, befindet sich die Landesstraße B 25 mit einer angrenzenden Wohnsiedlung.

## **2.2 Entwicklungen seit dem Jahr 2009**

### **2.2.1 Kraftwerk an der Erlauf (KW Neubruck)**

Unmittelbar am Fuß der Massenbewegung wurde im Jahr 2009 das Flusskraftwerk Neubruck als Ersatz für das bisherige Ausleitungskraftwerk Erlaufwehr errichtet. Bei diesem

Projekt kam es durch die Anordnung einer Fischaufstiegshilfe zu Querschnittsveränderungen im Flussverlauf, sowie zu einer Stauzielerhöhung um 1,10 m auf 352,77 m ü. A. (Planungsgemeinschaft Goldbacher-Lengyel, 2008).

Für die Anordnung eines natürlichen Tosbeckens und eine größere nutzbare Fallhöhe waren auch Eintiefungen an der Unterwasserseite des KW vorgesehen. Dieses 20 m lange Felstosbecken hat seinen Tiefpunkt bei 341,0 m ü. A. und steigt bis auf eine Seehöhe von 343,0 m gleichmäßig an. Hierfür war eine bis zu 4 m (ursprüngliche Höhe der Flusssohle ca. 345,0 m ü. A.) tiefe Schotterräumung notwendig. Um das geplante Gefälle von 2,5 ‰ für die Flusssohle zu erreichen kam es in den nachfolgenden ca. 300 m der Unterwasserstrecke zu einer max. Sohlintiefung von 1,10 m.



Abb. 6 Kraftwerk Neubruck an der Erlauf, Ansicht von Norden

Die Organismen- und Fischaufstiegshilfe wurde mithilfe von einem Schlitzpass und einem naturnahen Umgehungsgerinne auf der orographisch rechten Seite realisiert. Um die nötigen Platzverhältnisse zu schaffen bedurfte es der Errichtung einer, bis zu 11,0 m hohen, Stützmauer. Diese beginnt auf Höhe der Wehrachse und endet ca. 70 m auf der Unterwasserseite des Laufkraftwerkes. Während den Begehungen konnten bei den Dehnfugen zwischen den einzelnen Wandabschnitten Versätze im Zentimeterbereich festgestellt werden.

Aufgrund von aufgetretenen Verformungen an der II. HQL sowie dem KW wurde die wasserrechtliche Bewilligung für diese Wasserkraftanlage im März 2013 durch zusätzliche Auflagen abgeändert. Diese Bedingungen umfassen die Messung des Abstandes der Wehrklappe zu den beiden Wangenmauern des einfeldrigen Wehres und regelmäßige Kontrollgänge der Anlage zur Überprüfung von aufgetretenen Schäden. Bei Veränderungen wurden geeignete Maßnahmen schriftlich vereinbart. (Amt der NÖ. Landesregierung, Gruppe Wasser, Abteilung Wasserrecht und Schifffahrt, 2013).



Abb. 7 Kraftwerk Neubruck an der Erlauf, Ansicht Nordwest mit Fischaufstiegshilfe

### 2.2.2 II. Wiener Hochquellenleitung

Wie anfangs beschrieben, führt die II. HQL, die die Stadt Wien mit Trinkwasser versorgt, mitten durch das Projektgebiet. Nur wenige Meter südlich der Rutschmasse befindet sich der Zugangsstollen 52. Dieser verfügt über eine Überlaufrinne für die Wasserleitung.

Während der Abkehr (Trockenlegung des Leitungsbauwerkes) zur Kontrolle des ca. 24 m unter der Hangoberfläche liegenden Abschnitts der II. HQL (Neubrucker Lehnstollen km 60,934 bis 61,978) fielen im Oktober 2010 Schäden in einem Bereich auf, die im Zuge der Revision im Oktober des Vorjahres noch nicht beobachtet werden konnten (TU Graz, 2014), (Poisel, 2012).



Abb. 8 Ansicht Eingangsbereich des Zugangsstollen 52

Das darauffolgende Untersuchungsprogramm inklusive Messüberwachung durch Geoconsult im Auftrag der Magistratsabteilung 31 Wiener Wasser ergab, dass eine nach-eiszeitliche Hangbewegung die Schadensursache darstellt (Geoconsult Wien ZT GmbH, 2011).

Genauere Untersuchungen zeigten, dass die Bewegungsschübe Rissbildungen bzw. Abplatzungen im First- bzw. Sohlenbereich des Stollens – auf einer Strecke zwischen km 61,755 und km 61,785 – verursachen, die auf eine Überbelastung des Leitungsbauwerks hinweisen und somit die Betriebssicherheit des Neubrucker Lehenstollens akut gefährden. Darüber hinaus ist ersichtlich, dass der Lehenstollen nur knapp innerhalb dieser Massenbewegung liegt (d.h. die Gleitfläche schneidet den Stollen, wobei der obere Teil des Bauwerks in der Rutschung bzw. der untere Teil unterhalb des Rutschkörpers liegen dürfte) und der Schadensbereich sich deshalb auf einen relativ kurzen Abschnitt (rund 30 m) beschränkt (Poisel, 2012).

Aufgrund dieser Sachlage wurde ein Neubau des Stollens notwendig, da der Stollen auch die Überschiebungszone der nördlichen Kalkalpen auf die unterlagernde Flyschzone kreuzt und somit seit 40 Jahren regelmäßig Sanierungs- und Ausbesserungsmaßnahmen erfordert (Planungsgemeinschaft Neubrucker Ersatzstollen: Geoconsult & ic consultants, 2013).

Der Neubau wurde in den folgenden Jahren durch die MA 31 Wiener Wasser, in Auftrag gegeben. Dieser Ersatzstollen liegt ungefähr 50 m tiefer im Berg (selbe Seehöhe, nur

um ca. 50 m in Richtung Osten in den Berg versetzt) als der bestehende Stollen und weist eine Länge von 1057 m auf. Die Bauarbeiten hierfür begannen im Mai 2014.

Die Abzweigung vom Bestandsbauwerk liegt bei km 60,660 nach der Sulzgrabenbrücke in der Katastralgemeinde Grafenmühl und die Anbindung findet bei km 61,994 kurz vor dem Luegeraquädukt, nördlich außerhalb der Hangbewegung statt (Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft, 2013).

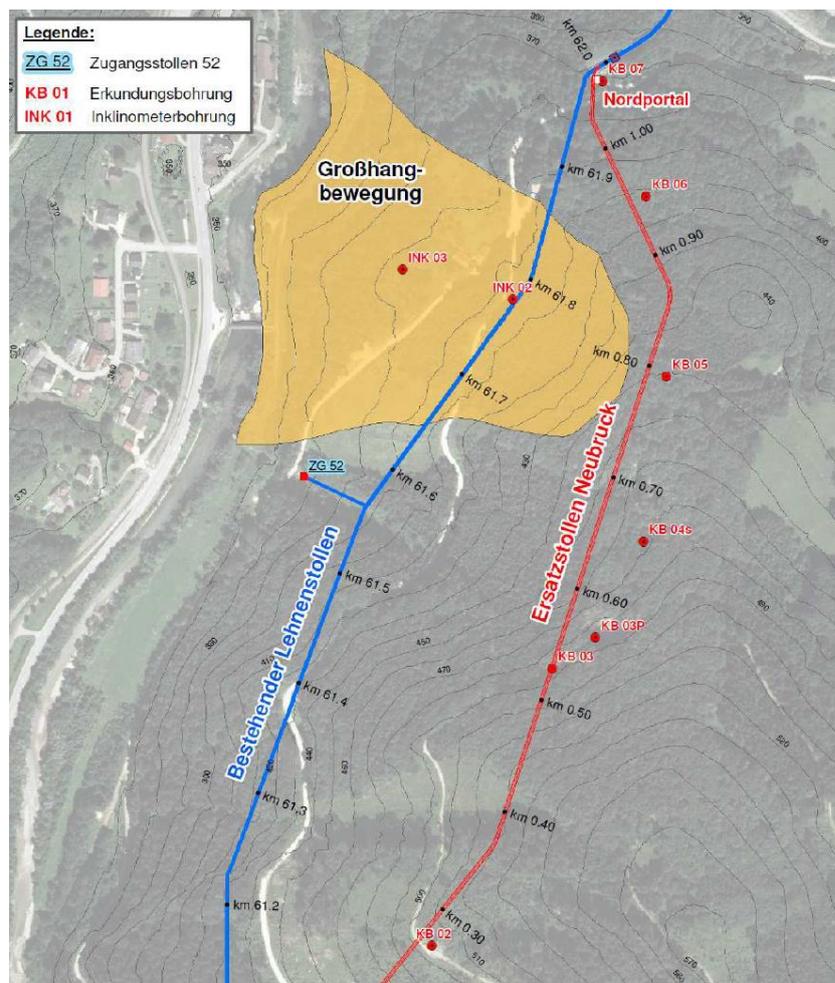


Abb. 9 Lageplan bestehender Stollen und Stollenneubau im Gebiet der Massenbewegung (Geoconsult Wien ZT GmbH, 2013)

Zwischenzeitlich wurde der bereits bestehende Neubrucker Lehenstollen im Oktober des Jahres 2012 von Leitungskilometer 61,744 bis 61,792 mittels einer 10 cm dicken, bewehrten Spritzbetonschale verstärkt, um weitere Deformationen zu verringern bzw. durch die Versteifung des Leitungsbauwerkes möglicherweise eine Umlagerung der Verschiebungszone nach oben, weg vom Stollen, zu erreichen (Poisel, 2012).

Der Ersatzstollen wurde im März 2016 fertiggestellt und ist seit dem 04.03.2016 in Betrieb.

### 2.2.3 Forsthaus, Teichanlage und Baustelleneinrichtung Umgehungsstollen

In der Mitte der Massenbewegung befindet sich ein Forsthaus mit einem angrenzenden Geräteschuppen, der von den MitarbeiterInnen der Forstverwaltung als Materiallager und Garage verwendet wird. Das Forsthaus ist nicht dauerhaft bewohnt und steht im Besitz der Forstverwaltung Neubruck in St. Anton.



Abb. 10 Forsthaus mit angrenzender Teichanlage, Nordansicht

Nördlich des Forsthauses liegt eine Teichanlage, die rund 10 Höhenmeter tiefer situiert ist. Der Teich befindet sich am nördlichen Rand der Massenbewegung und wurde aufgrund einer möglichen Einwirkung auf den Grundwasserspiegel und damit auf die Stabilität des Hanges trockengelegt (TU Graz, 2014).

Am 13.05.2014 begannen die Bauarbeiten zur Herstellung des Ersatzstollens und seitdem befinden sich Teile der Baustelleneinrichtung sowie eine Materialdeponie nördlich der Teichanlage. Die Positionierung der Baustelleneinrichtung und der Deponie liegt an der Grenze bzw. außerhalb der Randlinie der Massenbewegung. Durch den seither eingetretenen Baustellenverkehr kam es auch zu Einwirkungen auf die dort befindlichen geodätischen Messpunkte 16, 17, und 18 (siehe Kapitel 5.2.3). Der Einfluss des Baustellenverkehrs ist bei der Interpretation der Messergebnisse zu berücksichtigen.

### 2.3 Umriss der Massenbewegung

Beginnend am nördlichen Fußpunkt des Hanges sind in der Wiese direkt neben der Erlauf nur wenige Hinweise über eine Bewegung erkennbar, da im Zuge der Parkplatzerichtung für die Landesausstellung dieser Bereich vermutlich verändert wurde. Hangaufwärts, parallel zur Erlauf, ist ein Spitzgraben angeordnet worden, um auftretendes Hangwasser ableiten zu können und somit eine Durchnässung der anstehenden Wiese zu unterbinden.



Abb. 11 Nördlicher Fußbereich der MB, Messpunkt 24 am Forstweg parallel zur Erlauf

Weiter hangaufwärts befindet man sich direkt unterhalb der Teichanlage und trifft dort auf ein durchnässtes Gelände mit zahlreichen Quellaustritten. Diese Durchnässung wurde bei zwei Begehungen beobachtet und tritt auch nach der Trockenlegung des Teiches weiterhin auf.

Darüber hinaus ist in diesem Bereich ein etwas auffälliger Baumwuchs (schiefstehende Fichten) zu erkennen.

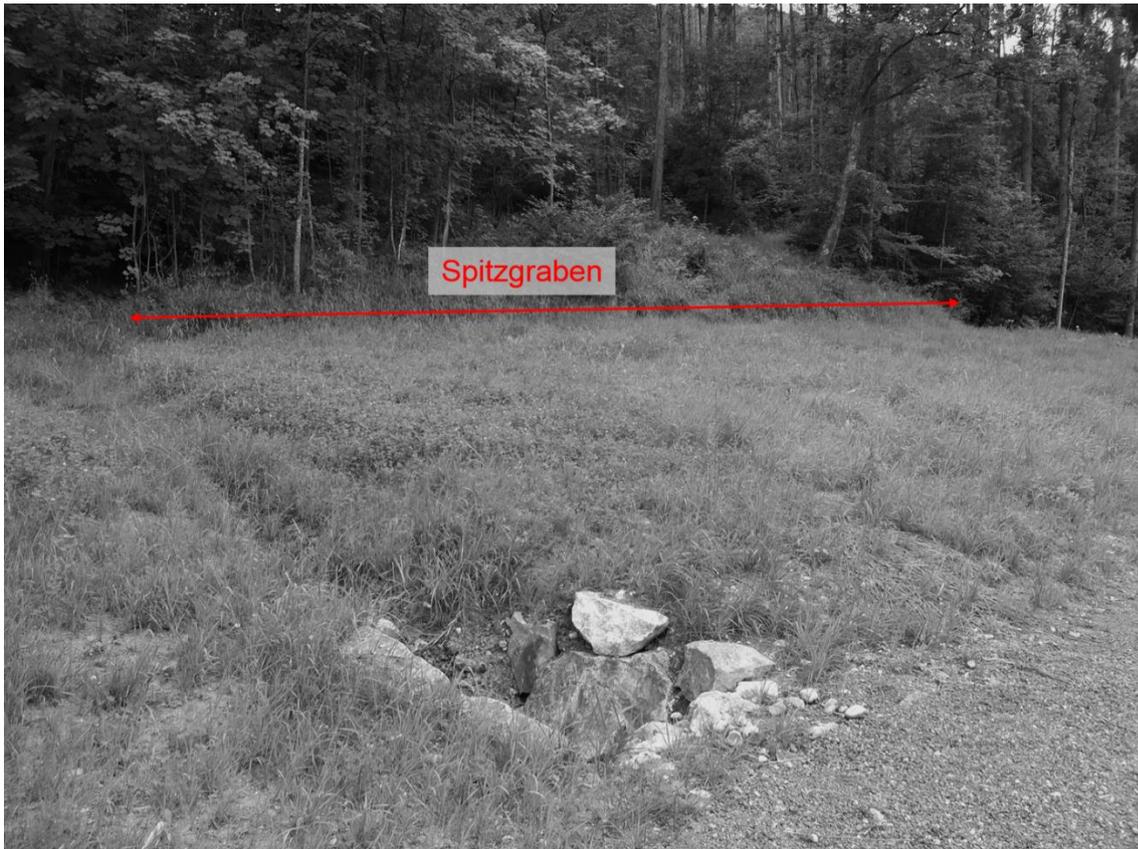


Abb. 12 Nördlicher Fußbereich der MB, Entwässerung des Hangfußes



Abb. 13 Teichanlage und nördlich angrenzende Materialdeponie

Der bergseitige Abrissbereich der Massenbewegung ist bereits im Orthofoto bzw. den Lageplänen des NÖ Atlas (siehe Abb. 3, Abb. 4 und Abb. 5) gut ersichtlich. Auch bei Begehungen vor Ort sind die oberen Abrisskanten des Rutschhanges aufgrund der plötzlichen Versteilung des Geländes deutlich erkennbar. Die nördliche, obere Begrenzung verläuft oberhalb der Weggabelung entlang eines Rückens, bis eine generelle Verflachung des Geländes bemerkbar wird. In der Steilzone hangabwärts dieses Rückens kann bei zahlreichen vorhandenen Bäumen ein Säbelwuchs beobachtet werden.



Abb. 14 Hangrücken im Bereich oberhalb der Weggabelung, nördliche Hälfte der Massenbewegung

Bei dem südlichen, oberen Abrissbereich der Hangbewegung ist sowohl ein Rücken als auch eine Abrisskante auszumachen, die hangabwärts bis zum oberen Forstweg verfolgt werden kann.



Abb. 15 Beobachteter Säbelwuchs der Bäume im obersten Bereich der Rutschung



Abb. 16 Südlicher Fußbereich der MB, Versatz des Forstweges und der Stützmauer erkennbar

Bei der südlichen, unteren Hälfte der Massenbewegung ist eine Lokalisierung der Grenze hingegen schwieriger. Einen Anhaltspunkt liefert der oftmals erwähnte Forstweg, der in etwa parallel zur Erlauf am Fuß der Rutschung verläuft. Auf einer Strecke von ca. 20 m ist dort eine alte Stützmauer aus Bruchsteinmauerwerk zu finden, die einen Versatz von mehreren Dezimetern aufweist. Gleichzeitig können bei besagter Stützmauer im Bereich des Versatzes Wasseraustritte beobachtet werden, die ebenfalls ein Indiz für eine ausbeißende Gleitschicht sein können.

### 3 Untergrundbeschreibung

Nach den aufgetretenen Schäden im Herbst 2010 führte die Ziviltechnikergesellschaft Geoconsult, im Auftrag der MA 31 Wiener Wasser, Maßnahmen zur Hangüberwachung durch. Zusätzlich wurde ein geologisches Untersuchungsprogramm realisiert, um die Ursache der Schäden ermitteln zu können. Im Zuge dessen wurde eine Kernbohrung durchgeführt, die später für den Einbau des Inklinometers 1 diente (Geoconsult Wien ZT GmbH, 2011).

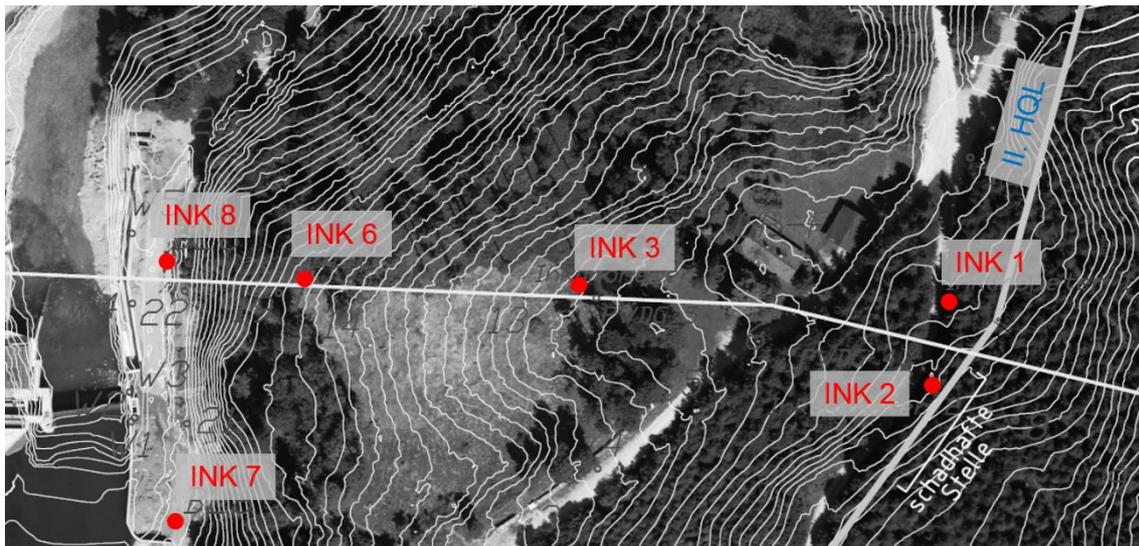


Abb. 17 Lage der Kernbohrungen (anschließender Ausbau zu Inklinometern) (Lageplan aus der halbjährlichen Auswertung der geodätischen Vermessung)

Der Auftrag zur Erstellung eines baugelologischen Berichtes für den Ersatzstollen Neubrucker Lehenstollen, der den Schadensbereich bergseitig umgeht, wurde der Planungsgemeinschaft Geoconsult und iC consulenten zugeteilt. AuftraggeberIn war wiederum die MA 31 Wiener Wasser. Dabei wurden u.a. im Gebiet der Massenbewegung Fürteben zwei weitere Kernbohrungen abgeteuft. Im Anschluss daran erfolgte der Ausbau derselben zu den Inklinometern 2 und 3 (Planungsgemeinschaft Neubrucker Ersatzstollen: Geoconsult & iC consulenten, 2013).

Ende Mai bzw. Anfang Juni 2015 kam es, im Auftrag der BH Scheibbs zur Durchführung von zwei weiteren Kernbohrungen, diesmal im Fußbereich der Massenbewegung. Diese Aufschlüsse wurden von Herrn Dr. Gerhard Moyschewitz vom Büro GDP ZT GmbH beurteilt.

Die vorliegende Massenbewegung wurde im Zuge der geologisch - geomorphologischen Kartierung als nacheiszeitliche Großhangbewegung eingestuft. Das Rutschungsgebiet

zählt zur Rhenodanubischen Flyschzone, die im Raum Scheibbs in Form eines Halbfensters innerhalb der kalkalpinen Einheiten auftritt.

Die auftretenden Flysch-Serien im Schadensbereich der II. HQL können zu der Altlangbach-Formation gezählt werden. Genauer gesagt, handelt es sich um eine sedimentäre Wechselfolge von dünn- bis dickbankigen harten Sandsteinen von häufig hoher Festigkeit und dazwischenliegenden inkompetenten, dünnschichtig bis plattigen Tonstein-/Mergelschichten unterschiedlicher Mächtigkeit.

Die Grenze der Flyschzone zu den Kalkalpinen Einheiten liegt deutlich außerhalb des in Bewegung befindlichen Geländes, ungefähr 40 m südlich des Zugangstollens 52 (Geoconsult Wien ZT GmbH, 2011).

#### **3.1 Kernbohrung für Inklinometer 1**

Die Kernbohrung wurde im März 2011 durchgeführt und bis auf 56,50 m unter der GOK abgeteuft. Der Ansatzpunkt befindet sich auf 390,80 m ü. A..

Nach dem ca. 0,6 m starken Mutterboden folgen tonige Schluffschichten bis in eine Tiefe von 5 m. Darunter liegt eine 4,2 m starke Schicht aus Kies und Steinen, die bis zur Oberkante mit Wasser gesättigt war. In den darauffolgenden Tagen verhielt sich das Wasser leicht artesisch und stieg bis auf 1,6 m unter der GOK auf (389,2 m.ü.A.) (Dr. Walter Nowy ZT GmbH, Robert Holzer, 2011).

Zwischen der Kies - Steine Schicht und dem in 10 m Tiefe liegenden Felshorizont befindet sich noch eine 0,8 m starke Schluffschicht. Ab dem Felshorizont findet man Flysch-Serien aus Tonmergel (1,6 m mächtig). Darunter liegt eine bis zum Bohrlochtiefsten auftretende Wechselfolge von Tonmergel - Sandstein mit dazwischenliegenden Bereichen die als „Tektonische Melange“ (Block-in-Matrix) beschrieben werden. Der Tonstein bzw. Tonmergel ist dabei häufig bis zu Schluff/Ton aufgearbeitet. Dieser aufgelöste Blockverband und die Tatsache, dass die Wechselfolgen zerschert und mit Harnischen versehen sind, lässt auf eine starke tektonische Beanspruchung schließen.

#### **3.2 Kernbohrung für Inklinometer 2**

Der Ansatzpunkt für den Inklinometer 2 befindet sich auf einer Seehöhe von 393,70 m. Die Endtiefe der am 13.11.2012 abgeteuften Bohrung, liegt 40 m unter der GOK.

Nach dem nur 0,1 m tiefen Mutterboden folgt bis auf eine Tiefe von 8,7 m ein Schluff, feinsandig mit Kies auf den ersten Metern, danach mit Kies und Steinen. Danach kommt

eine stark schluffige Kiesschicht mit Steinen, die bis auf 22 m unter der GOK auftritt. Innerhalb dieser Kiesschicht wurde der Grundwasserspiegel in 11,8 m Tiefe unter GOK (Absolut auf dem Niveau 381,9 m. ü. A.) angetroffen.

Von 22 bis 29,5 m Tiefe liegt eine Schicht aus tonigen Feinsandstein bis Tonmergel, die engständig bis außerordentlich engständig zerlegt und neben harten Feinsandstein – Scherlinsen auch blättrig zerfallende und teilweise polierte Trennflächen aufweist. Aus dieser Bodenschicht wurde eine Bodenprobe entnommen (24,0 – 26,0 m) und für einen Kleinrahmenscherversuch verwendet.

Darunter folgen bis in 31,5 m Tiefe Schichtungen aus Tonmergel bis Feinsandstein, die ebenfalls engständig bis sehr engständig zerlegt sind und harte Feinsandstein – Scherlinsen beinhalten.

Auf den letzten Metern der Bohrung für den Inklinometer 2 steht von 31,5 bis 33,5 m ein ebenfalls engständig bis sehr engständig zerlegter Sandstein und danach bis zum bohrlochtiefsten Punkt eine Wechselfolge aus Sandstein und Tonmergel an (Geoconsult Wien ZT GmbH, 2012).

### **3.3 Kernbohrung für Inklinometer 3**

Die Kernbohrung für den Inklinometer 3 fand am 13.11.2012 statt. Die Endtiefe wurde mit 50 m festgelegt, wobei sich der Ansatzpunkt auf einer Seehöhe von 382,9 m befindet.

Bis in eine Tiefe von 3,2 m liegt sandiger und teilweise kiesiger Schluff mit zwei dazwischenliegenden Sandsteinblöcken von 0,3 bzw. 0,4 m Stärke. Darauf folgend findet man eine schluffige Kiesschicht mit Steinen bis 5,8 m Tiefe.

Von 5,8 bis 11 m unter der GOK trifft man auf eine engständig zerlegte Schicht aus Hornstein, dessen plattig – dünnbankiger Verband vermutlich durch die Rutschmasse aufgelockert wurde. Innerhalb dieser Lage trat bei den Bohrungen auch der Wasserspiegel in einer Tiefe von 6,5 m (376,40 m ü. A.) auf, der sich innerhalb von zwei Tagen auf 17,4 m unter GOK absenkte (365,5 m ü. A.).

Ab einer Tiefe von 11 m befindet sich eine Wechselfolge aus Tonmergel, Sandstein und Schluffstein, die häufig entfestigt bzw. engständig zerlegt sind. Diese sind mit Harnischen versehen und reichen bis 32,7 m unter die GOK. Innerhalb dieser Zone wurde auch eine Bodenprobe entnommen (28,0 – 31,15 m), an der ein Kleinrahmenscherversuch durchgeführt wurde.

Zwischen 32,7 und 35 m liegt zuerst eine 1,9 m mächtige und engständig zerlegte Sandsteinlage, gefolgt von einem 0,4 m Kernverlust. Aufgrund der Tatsache, dass kein Kern, sondern rusige Tonmergelpartikel aus dem Spülwasser entnommen werden konnten, vermutet man in diesem Bereich die Gleitzone der Massenbewegung.

Nach dem Kernverlust in 35 m unter GOK trifft man auf Tonmergelstein mit Sandsteineinschaltungen, die teilweise stark zerlegt und entfestigt sowie teilweise tonig durchsetzt sind.

Ab einer Tiefe von 43 m findet man bis zum Bohrlochtiefsten Tonmergelstein mit Sandsteineinschaltungen, die sich als relativ kompakt darstellen (Geoconsult Wien ZT GmbH, 2012).

#### **3.4 Kernbohrung für Inklinometer 6 (Ketteninklinometer)**

Für die Kernbohrung des Inklinometers 6 liegt der Ansatz auf ca. 368,7 m ü. A.. Die Endtiefe wurde mit 50,0 m angegeben und die Arbeiten begannen am 27.05.2015.

Bis in eine Tiefe von 6,2 m liegen Kies und Steine vor, die sandig und gering schluffig sind. Darunter findet man bis 18,6 m unter der GOK sandigen, teilweise steinigen und gering schluffigen Kies. Auffallend hierbei ist die Trockenheit der Bohrkern, die sich bis in eine Tiefe von 16,4 m erstreckt. Der Wasserspiegel wurde in 18,1 m unter GOK angetroffen.

Von 18,6 bis 30,0 m unter der GOK liegt Kalkmergel als Sand, schluffig teilweise kiesig mit Einschaltungen von feinsandigem Schluff vor. In einer Tiefe von 26,0 m liegt eine 0,5 m mächtige, nasse Kies – Sand - Schluff Schichtung vor. Darunter liegt ein Block aus Sandstein, der ebenfalls eine Mächtigkeit von 0,5 m besitzt.

Zwischen 30,0 und 33,6 m finden sich Siltschiefer bis Tonschiefer vorliegend als Stein-Kies-Sand-Schluff Gemisch mit nassen Bereichen zwischen 30,0-30,9 m und 32,3-32,9 m.

In einer Tiefe von 33,6 bis 35,0 m unter der GOK liegt Sand, schluffig bis Schluff, feinsandig, tonig, gering kiesig vor. Darunter bis zum Bohrlochtiefsten folgt eine Wechselfolge von Tonschiefer, Siltstein und Feinsandstein, häufig stark zerlegt und bereichsweise mit Harnischflächen durchsetzt (GDP ZT GmbH, Moyschewitz, 2015).

### 3.5 Kernbohrung für Inklinometer 8

Am 17.06.2015 begannen die Bohrarbeiten für den 30 m tiefen Inklinometer 8. Der Ansatzpunkt liegt auf ca. 350,85 m ü. A. auf dem Forstweg unmittelbar bergseitig der Stützwand im Unterwasserbereich des KW Neubruck. Bis in eine Tiefe von 3,7 m befindet sich eine Bodenschicht mit Steinen, kiesig, sandig, gering schluffig bis schluffig. Von 2,5 bis 3,0 m ist diese Schicht nass und weist eine aufgeweichte Matrix auf.

Zwischen 3,7 und 6,45 m lagert eine Bodenschicht aus Kies, sandig, schluffig, gering steinig bis Schluff, sandig, kiesig an. Darüber hinaus befindet sich in einer Tiefe von 5,3 bis 6,0 m ein nasser Bereich.

Von 6,45 bis 13,55 m Tiefe steht Tonmergel bis Kalkmergel, steif bis halbfest, mit einer nassen und weichen Zwischenschicht aus Kies, sandig, schluffig, gering steinig in 7,45 bis 8,0 m an. Zusätzlich trat in diesem Abschnitt bei 6,7 m eine Schichtwasserführung auf.

In 13,55 bis 15,2 m unter GOK liegt Schluff, sandig, gering tonig, stellenweise weich bzw. nass. Darauf folgend findet man bis in eine Tiefe von 20,2 m wiederum Mergel. Dieser ist stark bis vollständig zerlegt, zumeist vorliegend als Schluff, sandig bis Sand, schluffig. Zwischen 15,8 bis 16,5 m und 17,6 bis 17,8 m ist die Bodenschicht nass und aufgeweicht.

Ab 20,2 bis 21,25 m Tiefe findet sich wieder Schluff, tonig, gering feinsandig mit einzelnen harten Schluffsteinkomponenten in Kiesgröße.

Zwischen 21,25 bis 29,2 m unter GOK liegt Mergel bis Kalkmergel steif bis halbfest, stellenweise halbfest bis fest. Diese Bodenschicht weist Aufweichungen zwischen 21,8 bis 22,0 m (zerdrückbar zu Sand, schluffig, gering kiesig), 24,0 bis 24,2 m und 24,75 bis 24,85 m auf.

Von 29,2 bis zum Bohrlochtiefsten liegt vermutlich eine Störungszone aus Kies und Steinen, bereichsweise mit einer weichen, feucht bis nassen Kies-Sand- Schluff Matrix (GDP ZT GmbH, Moyschewitz, 2015).

### 3.6 Längsschnitt durch die Massenbewegung

Die Erkenntnisse aus den Untergrunderkundungen wurden für die Erstellung eines geologisch – geotechnischen Längsschnittes durch die Rutschung in der KG Fürteben herangezogen. Dessen Situierung geschah dabei möglichst in der Nähe der durchgeführten

Erkundungsbohrungen, um die erhaltenen Informationen verwenden zu können. Außerdem fand bei der Wahl der Linienführung die Bewegungsrichtung (resultierenden Bewegung der geodätischen Messpunkte 2010 - 2015) der letzten Jahre Berücksichtigung.

Deshalb fiel bei der Anordnung des Längsschnittes die Entscheidung auf eine Knickausbildung von ca. 10 Grad etwa in der Mitte der Rutschung, da die Verschiebungsvektoren der Messpunkte in der oberen Hälfte im Vergleich mit den Messpunkten in der unteren Hälfte des Geländes mehr in Richtung Norden zeigen.

Durch den Knick tritt eine leichte „Verzerrung“ ein. Allerdings ist es dadurch möglich, dem höchsten Punkt der Abrisskante (ca. 440 m ü. A.) ein wenig näher zu kommen und so einen größeren Längsschnitt zu generieren.

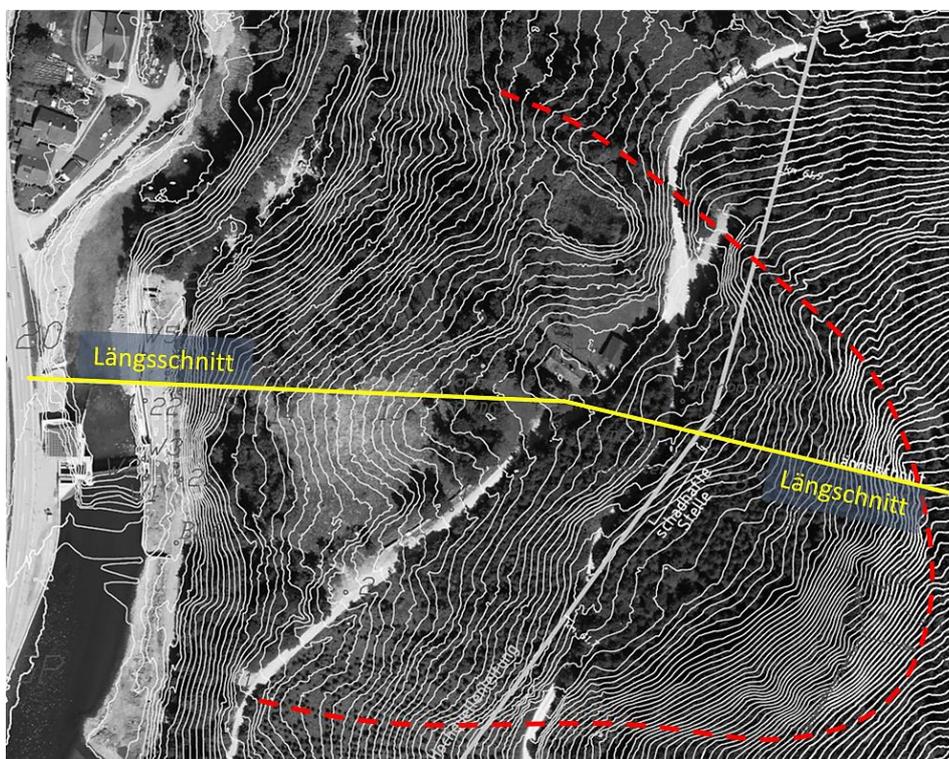


Abb. 18 Längsschnitt der Massenbewegung (Lageplan aus der halbjährlichen Auswertung der geodätischen Vermessung)

In weiterer Folge wurde besagter Längsschnitt für die geotechnische Modellierung und die darauf aufbauenden Berechnungen herangezogen. Dabei wurde eine Verringerung der Anzahl der Bodenschichten vorgenommen, um eine Vereinfachung des Modells bzw. eine leichtere Handhabung bei einer Veränderung oder Anpassung der Eigenschaften der Schichten zu ermöglichen.

Der Längsschnitt kann im beiliegenden Anhang unter Punkt XXI eingesehen werden.

## 4 Messtechnische Überwachung

Im Zuge der Untersuchung des Bereichs oberhalb des Erlaufwehres (Poisel, 2012) wurden bereits geodätische Messpunkte zur Vermessung der Hangoberfläche sowie Inklinometermessungen (Inklinometer 1) und Seilextensometermessungen ausgeführt.

Für die Projektierung des Ersatzstollen Neubrucker Lehenstollen erfolgten im Bereich der gegenständlichen Massenbewegung zwei weitere Kernbohrungen, die jeweils zu Inklinometern ausgebaut wurden (Planungsgemeinschaft Neubrucker Ersatzstollen: Geoconsult & iC consulenten, 2013).

Weiters wurden im Jahr 2015 noch drei zusätzliche Inklinometer in der unteren Hälfte der Rutschung eingebaut.

In den folgenden Kapiteln werden die in dieser Arbeit bearbeiteten Messeinrichtungen beschrieben. Die Darstellung der Messergebnisse und deren Interpretation erfolgt im Kapitel 5.

### 4.1 Inklinometer

Die Messungen der Inklinometer im Gelände der Massenbewegung Fürteben werden im Auftrag der MA 31 Wiener Wasser, Fachbereich II. Hochquellenleitung durch die MA 29 Brückenbau und Grundbau durchgeführt (Anmerkung: beide Magistratsabteilungen zählen zur öffentlichen Stadtverwaltung von Wien).

Die Inklinometerrohre 1 und 2 sind im oberen Drittel der Massenbewegung angeordnet, wohingegen Inklinometer 3 ca. in der Mitte des Rutschhanges zu finden ist.

Um auch Aufschlüsse über die Ausbildung der möglichen Gleitfläche(n) im unteren Bereich der Rutschung zu bekommen, wurden im Jahr 2015 drei weitere Inklinometer (Nr. 6, 7 und 8) im unteren Drittel der Hangbewegung installiert.

#### 4.1.1 Inklinometer 1 (INK1-ZG52)

Die Kernbohrung (GOK = 390,80 m ü. A.; ROK = 391,46 m ü. A., Tiefe = 56,50 m) für den Inklinometer 1 (Tiefe = 56,0 m / ab 8.FM 27,0 m) wurde im März 2011 hergestellt und die Nullmessung am 02.05.2011 ausgeführt.

Bei der Bohrung verhielt sich lt. Herrn Robert Holzer (Mitarbeiter Geoconsult) das in ca. 21 m Tiefe angetroffene Bergwasser „leicht artesisch“ (Anstieg bis auf 1,6 m unter GOK). Nähere Informationen sind nicht verfügbar, da aufgrund schwieriger Bohrverhältnisse

(mehrfach verstärktes Bohrloch, Ein- und Ausbau der Verrohrung, Spülverluste, Auswechslung der Spülung) keine gesicherte Aufzeichnung durch die Bohrfirma möglich war (Holzer, 2015).

Im Zeitraum von 02.05.2011 bis 15.05.2013 wurden insgesamt 17 Folgemessungen am INK 1 durchgeführt. Anfangs lag die max. Messtiefe bei 55 m, jedoch konnte ab der 8. FM vom 10.04.2012 nur noch bis in eine Tiefe von 27 m gemessen werden, da es offensichtlich zu einem Abscheren des Inclinometerrohres in der Tiefe kam.

Der Versuch einer Messung am 21.05.2013 war nicht erfolgreich, da das Inclinometerrohr aufgrund von Lochfraß nur mehr bis zu einer Tiefe von 5,5 m befahrbar war und somit weitere aufschlussreiche Messungen unmöglich machte (MA 29 Fachbereich Grundbau, 21.05.2013). Seither wurden keine Messungen mehr am INK 1 durchgeführt.

Seit 22.09.2014 wird allerdings der Wasserstand im Inclinometer (Montag-Freitag, einmal täglich) gemessen. Der Grundwasserspiegel liegt dabei in einem Bereich von 1 bis 2 m unter der GOK.

Ob es sich dabei um einen von oberflächennahen Wässern oder von „tieferen Wässern“ beeinflussten Wasserspiegel handelt ist nicht gesichert.

### **4.1.2 Inclinometer 2 (INK2-ZG52)**

Die Kernbohrung für Inclinometer 2 (GOK = 393,70 m ü. A., ROK = 394,83 m ü. A. Tiefe = 40,0 m) wurde am 13.11.2012 durchgeführt. Von 06.12.2012 bis Februar 2016 fanden 25 Folgemessungen statt.

Das Inclinometerrohr 2 führt direkt neben der II. HQL vorbei in die Tiefe. Die Wahl des Ansatzpunktes der Bohrung fiel auf diese Position, da sich darunter in ca. 24 m Tiefe der Schadensbereich des Stollenbauwerks befindet und man sich dadurch genauere Informationen über die Gleitzone in diesem Bereich erhoffte.

Im Detail sollten genauere Kenntnisse über die Tiefe des Wasserspiegels, den Aufbau der Bodenschichten sowie die Lage der Gleitfläche der Massenbewegung gewonnen werden.

### **4.1.3 Inclinometer 3 (INK3-ZG52 bzw. INK3-ZG52N)**

Für Inclinometer 3 (GOK = 382,90 m ü. A., ROK = 383,79 m ü. A., Tiefe = 50,0 m / ab 8.FM 44,0 m) begannen die Bohrarbeiten ebenfalls am 13.11.2012. Die Nullmessung erfolgte am 18.12.2012 und bis Februar 2016 kam es zu 26 Folgemessungen.

Bei der 8. FM des INK 3 kam es zu Ungenauigkeiten gegenüber den vorhergehenden Messungen. Die Messung ergab, dass sich das Inklinometerrohr von der ROK bis in eine Tiefe von 45 m um 5 mm in Richtung Bergseite (Osten) und um 17 mm nach Süden parallel verschoben haben soll. Da ein solches Verhalten aus geotechnischer Sicht schwer vorstellbar ist, liegt der wahre Grund mit hoher Wahrscheinlichkeit in der Führung der Messsonde.

Bei der Auswertung kamen die Mitarbeiter der MA 29 Brückenbau und Grundbau zu dem Schluss, dass die Sonde ab einer Tiefe von 46 m nicht mehr in den Nuten des Messrohres geführt wird (Nutenversatz). Mit Absprache der Projektbeteiligten (u.a. Herrn Poisel) einigte man sich mit 44 m auf eine neue, maximal Messtiefe. Die bisherigen Messergebnisse wurden umgerechnet und eine neue Bezeichnung vergeben: INK3-ZG52N (MA 29 Fachbereich Grundbau, 15.11.2013).

#### **4.1.4 Inklinometer 6 (Ketteninklinometer)**

Am 27.05.2015 wurde die Kernbohrung für das Inklinometer 6 (GOK = ca. 368,7 m ü. A, Tiefe = 50,0 m) abgeteuft. Allerdings traten bei dem mit acht Nuten eingebauten Inklinometer beim Ziehen der Verrohrung Schäden auf, sodass ein Befahren mit der Messsonde nur mehr bis in eine Tiefe von ca. 30 m möglich war. Als Konsequenz wurde der Ansatzpunkt der Bohrung ca. 4 m versetzt und auf gleicher Höhe ein zweites Inklinometerrohr mit vier Nuten bis auf eine Tiefe von 41,0 m unter der GOK eingebaut.

In das Inklinometerrohr mit den 4 Nuten wurde am 28.07.2015 ein Ketteninklinometer mit 20 Sonden (á 1 m) von 16 bis 36 m unter der GOK implementiert und dieses liefert seitdem Messdaten im Zehnminutentakt, die lokal gespeichert werden.

Der Grund für diese Anordnung des Ketteninklinometers liegt darin, dass man dadurch einen möglichst großen Bereich abdecken möchte, da es auch möglich ist, dass sich in der unteren Hälfte der Massenbewegung zwei oder mehrere Gleitflächen ausbilden.

Da oberflächennahe Gleitkreise in der Nähe des INK 6 keine Auswirkung auf die Gesamtstrandsicherheit der beobachteten Massenbewegung haben, ist die Installation des Ketteninklinometers erst ab einer Tiefe von 16 m erfolgt.

Ein weiterer Grund für diese Anordnung liegt in der Tatsache, dass weiter hangaufwärts die Gleitfläche bei INK 3 erst in über 30 m Tiefe zu finden ist und somit ein Ausbeißen der Gleitfläche über die vom Ketteninklinometer überwachte Zone als unwahrscheinlich angenommen wird.

#### 4.1.5 Inklinometer 7 und 8 (B7 und B8)

Nahe dem Kraftwerk Neubruck wurden im Juni 2015 noch zwei weitere Inklinometer auf der parallel zur Erlauf verlaufenden Forststraße hergestellt.

Das Inklinometerrohr im Bohrloch 7 liegt in etwa 5 m flussaufwärts der Wehrachse, und weist eine Messtiefe von 30 m auf, wohingegen das Inklinometerrohr im Bohrloch 8 sich ca. 30 m flussabwärts der Wehrachse befindet und eine Länge von ca. 29 m aufweist.

Die Nullmessung bei den Inklinometern 7 und 8 fand am 01.07.2015 statt. Seitdem wurden bis Februar 2016 acht Folgemessungen durchgeführt.

## 4.2 Geodätische Messpunkte

Die Zuteilung und Installation der geodätischen Messpunkte über das gesamte Rutschungsgebiet erfolgte bereits während der ersten Beobachtungen der Massenbewegung (Poisel, 2012).

Tab. 1 Messpunkte auf dem Gelände der Massenbewegung

Punkt	Art	Punkt	Art	Punkt	Art
1	MS	13	NG	25	-
2	MS	14	NG	W1	ME
3	MS	15	MS	W2	ME
4	MS	16	MS	W3	ME
5	MS	17	MS	W4	ME
6	MS	18	MS	W5	ME
7	MS	19	ME	INK 1	INK
8	NG	20	-	INK 2	INK
9	NG	21	MS	INK 3	INK
10	NG	22	MS	GP-FH	ME
11	NG	23	MS		
12	MS	24	MS		
Messnagel in einem Baumstumpf					NG
Messbolzen in Schieberschacht					MS
Messbolzen eingebaut/einbetoniert					ME
Inklinometerkopf					INK

Die MA 41 Stadtvermessung der Stadt Wien führt seitdem in monatlichen Abständen Messungen an geodätischen Messpunkten einer in Falllinie und zweier entlang von Wegen geführten Messlinien durch.

Als Referenz für die auftretenden Lage- und Höhenänderungen dienen drei außerhalb des Rutschungsgebietes liegende Referenzpunkte. Von Nord nach Süd gesehen sind

dies der Punkt GP-LA (Beginn Luegeraquädukt), der Punkt 12 (höchstgelegener Punkt der Falllinie bzw. südöstlichster Punkt derselben) sowie der Punkt GP-ZG52 (Zugangsstollen 52).

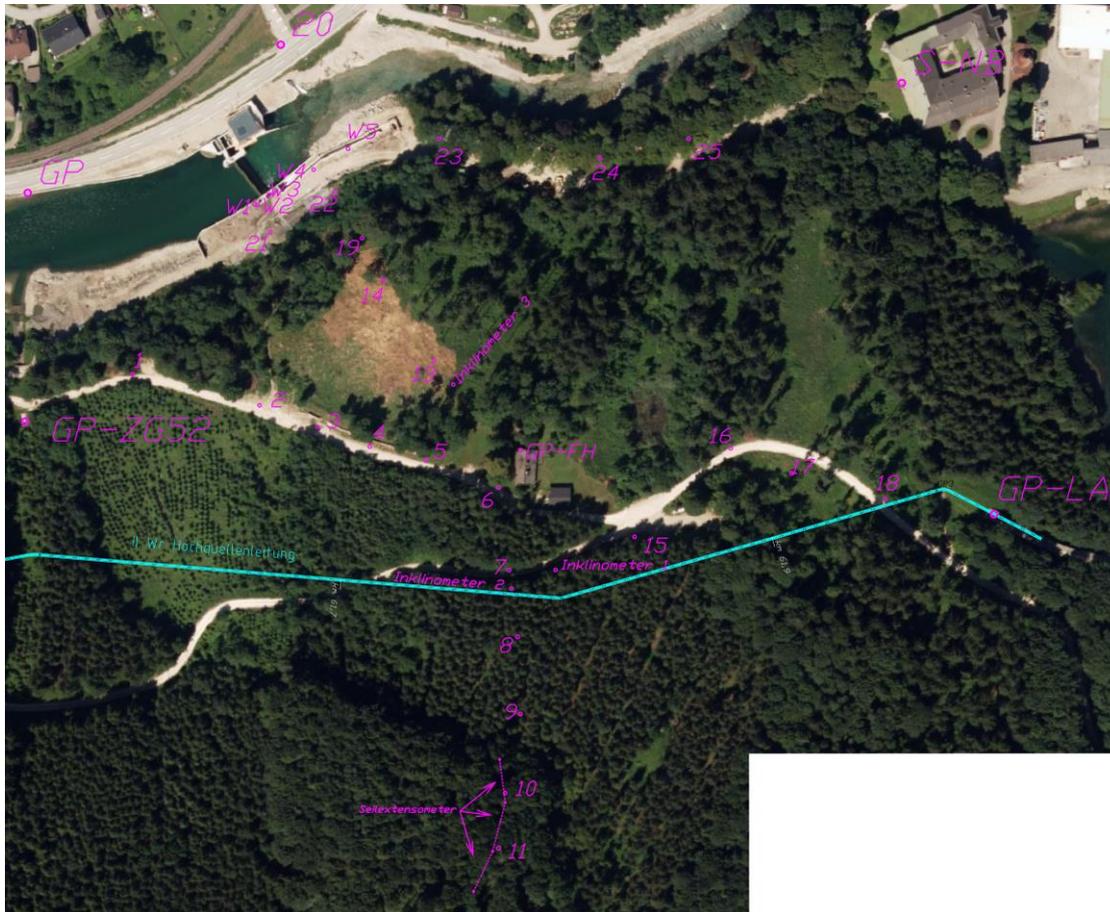


Abb. 19 Übersicht Messpunkte im Bereich der Hangbewegung (Lageplan aus der halbjährlichen Auswertung der geodätischen Vermessung)

Die Nullmessung der Punkte 1 bis 18, sowie FH (Forsthaus) erfolgte am 18.11.2010, die des Inklinometers 1 IN am 05.05.2011. Für die zusätzlich angeordneten Messpunkte 19 - 25 sowie W1 - W5 fand am 31.08.2011 die Nullmessung statt (Poisel, 2012).

Bei der 41. FM am 03.06.2014 stellte sich heraus, dass der als Fixpunkt angenommene und am Rand einer Forststraße liegende Punkt 12 sich in Lage und Höhe seit Herbst 2010 in Summe um ca. 3,5 cm verändert hat. Die 45. FM ergab eine Verschiebung des Punktes 12 in der Lage über 3 cm in Gefällerrichtung der bei ihm vorbeiführenden Forststraße (Richtung Norden, in etwa normal auf die Fallrichtung des Rutschhanges) und eine Setzung von 2,6 cm. Aus diesem Grund ergibt sich ein Genauigkeitsverlust bei der Bestimmung der seitlichen Verschiebung zur Falllinie der Punkte 8, 9, 10, und 11. Als Konsequenz wurden ab der 45. FM keine Messdaten der seitlichen Verschiebung für die

Punkte 8 - 11 mehr angegeben (vereinzelt kam es trotzdem zur Anführung von Messdaten). Diese Entscheidung geschah auch aufgrund der Tatsache, dass der Hauptanteil der aufgezeichneten Bewegung dieser Punkte in die Fallrichtung des Geländes weist (MA 41 Stadtvermessung Wien, Christian Rudorfer, 04.08.2014).

Der Messpunkt 25 ist seit der 50. FM am 08.10.2014 nicht mehr messbar, da aufgrund der Niederösterreichischen Landesausstellung 2015 ein Parkplatz errichtet und dieser Punkt dabei verschüttet wurde.

Die Auswertung der Messdaten geschah bis zur 71. FM am 16.02.2016.

### 4.3 Messungen des Grundwasserspiegels

#### 4.3.1 Porenwasserdruckgeber

Um das Niveau der Porenwasserdrücke im Untergrund zu erfassen, kam es im Juni 2015 zur Installation von vier Porenwasserdruckgebern. Die vier PW – Geber wurden in zwei Bohrungen in jeweils zwei verschiedenen Tiefen eingebaut, um möglichst genaue Informationen über die Grundwasserverhältnisse im Bereich der Rutschung zu erhalten. Die Messgeräte zeichnen seit 23.06.2015 im Fünfminutentakt Daten auf und speichern diese lokal in Datenloggern.

Die Wahl der Einbautiefe der PW – Geber richtete sich nach der bereits vorhandenen Kenntnis der Gleitflächen in den Inklinometern 2 und 3. Dabei wurde je Bohrung ein PW – Geber in der Tiefe der Gleitschicht eingebaut. Im selben Bohrloch kam es in einer höherliegenden Stelle zum Einbau des jeweils zweiten PW – Gebers.

Die erste Bohrung für den Einbau der Porenwasserdruckgeber erfolgte in der Nähe des Inklinometers 2, neben dem Messpunkt 7 und die PW – Geber wurden in den Tiefen 22,5 m und 7,5 m unter der GOK eingebaut. Der Aufbau der Filterschichten in der durchgeführten Bohrung 4 können der Tab. 2 entnommen werden.

Tab. 2 Aufbau des Bohrlochs 4 für die PW – Geber in der Nähe des INK 2

Tiefe [m]	Material	Porenwasserdruckgeber	Tiefe PW – Geber [m]
0 - 5	Tonpellets		
5 - 10	Kies	DT09537, 1511427	7,5
10 - 20	Tonpellets		
20 - 25	Kies	DT09540, 1511429	22,5

In der Bohrung 5, die in unmittelbarer Nähe des Inclinometers 3 liegt, wurde in einer Tiefe von 9 m (DT09537, 1407279), beziehungsweise 36 m (DT09540, 1407278) jeweils ein weiterer PW – Geber eingebaut. Die Filterschichten im Bohrloch 5 gliedern sich wie folgt in der Tab. 3

Tab. 3 Aufbau des Bohrlochs 5 für die PW – Geber in der Nähe des INK 3

Tiefe [m]	Material	Porenwasserdruckgeber	Tiefe PW – Geber [m]
0 - 6	Tonpellets		
6 - 12	Kies	DT09536, 1407279	9
12 - 32	Tonpellets		
32 - 40	Kies	DT09535, 1407278	36

#### 4.3.2 Wasserspiegelmessung im Inclinometerrohr 1

Wie bereits erwähnt, wird seit 22.09.2014 die Höhe des Wasserspiegels im Inclinometerrohr 1 überwacht.

Die Messungen werden von Mitarbeitern der Baufirma, die den Umgehungsstollen herstellt, im Auftrag der MA 31 Wiener Wasser, Fachbereich II. Hochquellenleitung durchgeführt. Die Messung erfolgt täglich, allerdings nur, wenn die Baustelle besetzt ist.

#### 4.4 Wetterdaten

Seit dem 20.08.2012 werden auch verschiedene Wetterdaten am KW Neubruck aufgezeichnet, um daraus Einflüsse auf die Massenbewegung in Fürteben beurteilen zu können. Dazu zählen neben der Temperatur und Luftfeuchtigkeit auch die lokalen Niederschlagsmengen, die im Tages – und Stundenrhythmus gemessen werden.

Diese Daten werden wöchentlich durch die MA 31 Wiener Wasser gesammelt und infolgedessen ausgewertet.

Die Niederschlagsmessung erfolgt durch ein Messgerät, das, nach Angaben der MA 31 Wiener Wasser, nach dem Wägeprinzip die Daten erfasst. Dadurch können exakt die tatsächlichen Mengen erfasst werden, da dabei feste, flüssige und gemischte Niederschläge aufgezeichnet werden (MA 31 Wiener Wasser - Fachbereich II. Hochquellenleitung, Email vom 15.01.2016).

Um die Messdaten des KW Neubruck überprüfen zu können und vor allem einen längeren Beobachtungszeitraum erfassen zu können, wurden von der Abteilung Wasserhaushalt des Bundesministeriums für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft die Niederschlagsdaten zweier in der Nähe befindlichen Messstellen angefordert. Dabei handelt es sich um die Messstellen in St. Anton an der Jeßnitz (ca. 3 km entfernt) bzw. Kienberg an der Großen Erlauf (ca. 5 km entfernt) (Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft, Jänner 2016).

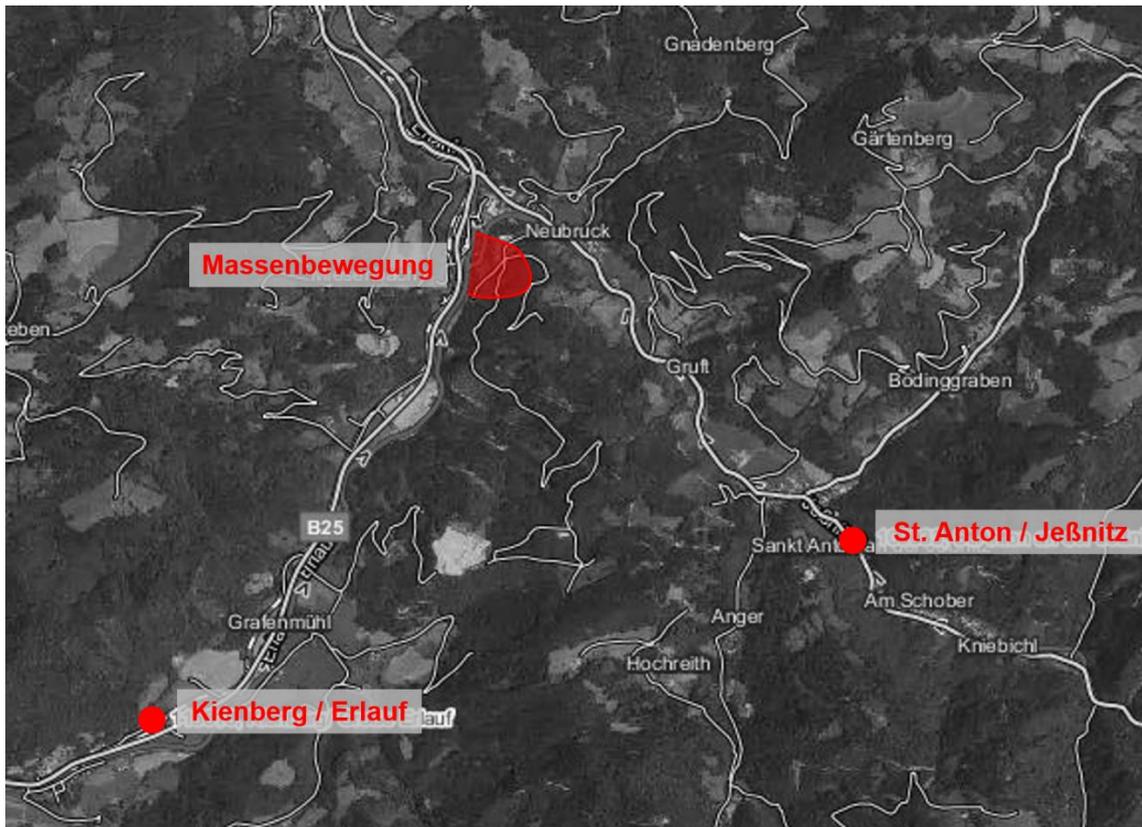


Abb. 20 Lage der Niederschlagsmessstellen (Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft, 2016)

## 5 Auswertung und Interpretation der Messdaten

Die installierten Messeinrichtungen wurden zur Überwachung der Massenbewegung errichtet und sind zum Zeitpunkt der Erstellung der gegenständlichen Masterarbeit noch nicht abgeschlossen. In den folgenden Kapiteln erfolgt eine Auswertung der bis Ende Februar 2016 erhaltenen Messergebnisse.

### 5.1 Inklinometer

Sofern nicht anders angegeben, handelt es sich bei den im Folgenden genannten Verschiebungen um die kumulativen Verschiebungen des jeweiligen Inklinometers.

Das bedeutet, dass jeder Tiefenstufe die gemessene Auslenkung der tieferliegenden Stufe hinzugezählt wurde. Dadurch wird die Gesamtverformungsfigur des Inklinometerrohres abgebildet. Sofern nicht extra angeführt, wurde davon ausgegangen, dass der Fußpunkt der Inklinometer unbewegt ist.

Bei der A – Richtung der Inklinometerauswertung handelt es sich jeweils in etwa um die Falllinie des Geländes, wobei mit Ausnahme des Ketteninklinometers alle Inklinometer eine hangabwärts gerichtete Bewegung mit einem negativen Vorzeichen angeben. Die Werte der Ketteninklinometermessungen weisen für eine hangabwärts gerichtete Bewegung ein positives Vorzeichen auf. Normal auf die A – Richtung liegt die B – Richtung der Inklinometermessungen.

#### 5.1.1 Inklinometer 1 (INK1-ZG52)

In den ersten Beobachtungsmonaten wurden nur geringe Verformungen des Inklinometerrohres 1 aufgezeichnet. Erst die Auswertung der 7. FM (14.03.2012) bildete eine Bewegung des Rutschhanges ab. Dabei kam es zwischen den Messzeitpunkten der 6. und 7. FM (ca. 4,5 Monate) zu einer Verschiebung von ca. 9 mm in A – Richtung bzw. 3 mm in B – Richtung. Dabei trat die beschriebene Verformung erst ab einer Tiefe von ca. 21 m unter der ROK auf.

Im restlichen Jahr 2013 (8. bis 13. FM) kam es zu einer kontinuierlichen Zunahme der beschriebenen Verschiebung in mm – Schritten. Die Messung am 09.01.2013 (14. FM) sowie die zwei folgenden Intervalle ergaben wieder eine Zunahme der Verformung. Die 17. FM (15.05.2013) war die letzte durchführbare Messung des INK 1 und diese zeigte keine Verformung im Vergleich zur Messung im vorhergehenden Monat auf.

Insgesamt kristallisierte sich im INK 1 eine Gleitzone im Bereich von 19 bis 21 m unter der ROK heraus.

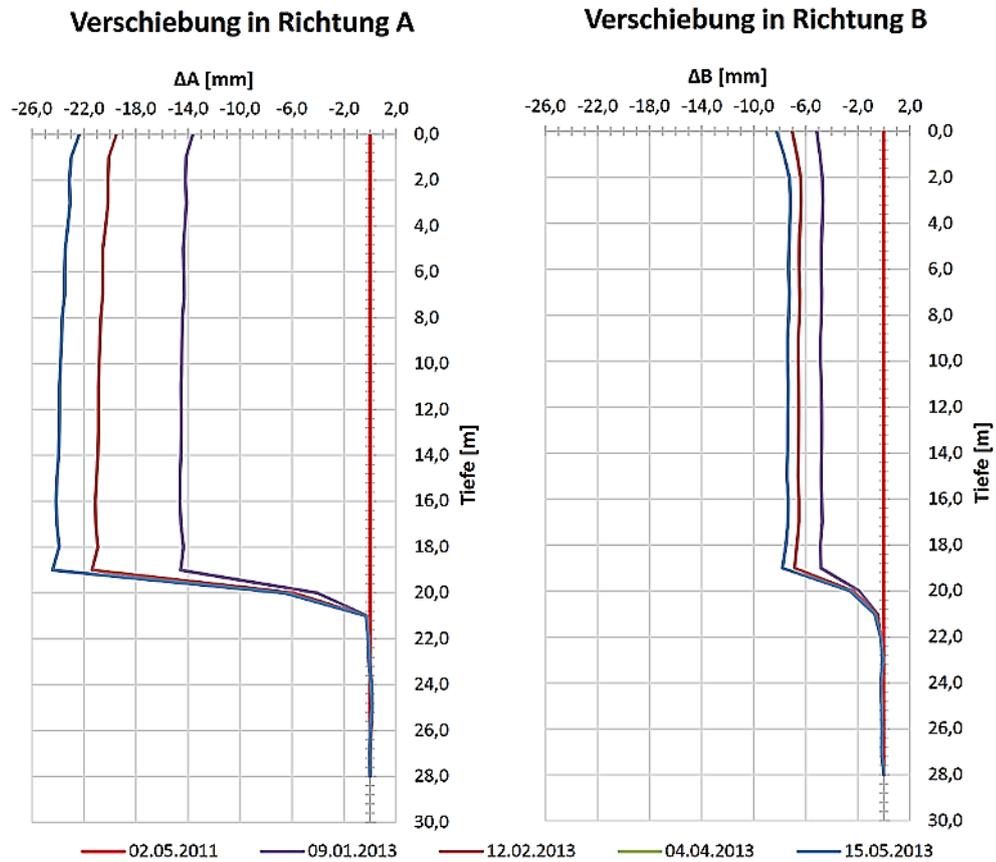


Abb. 21 Messungen am INK 1 im Jahr 2013

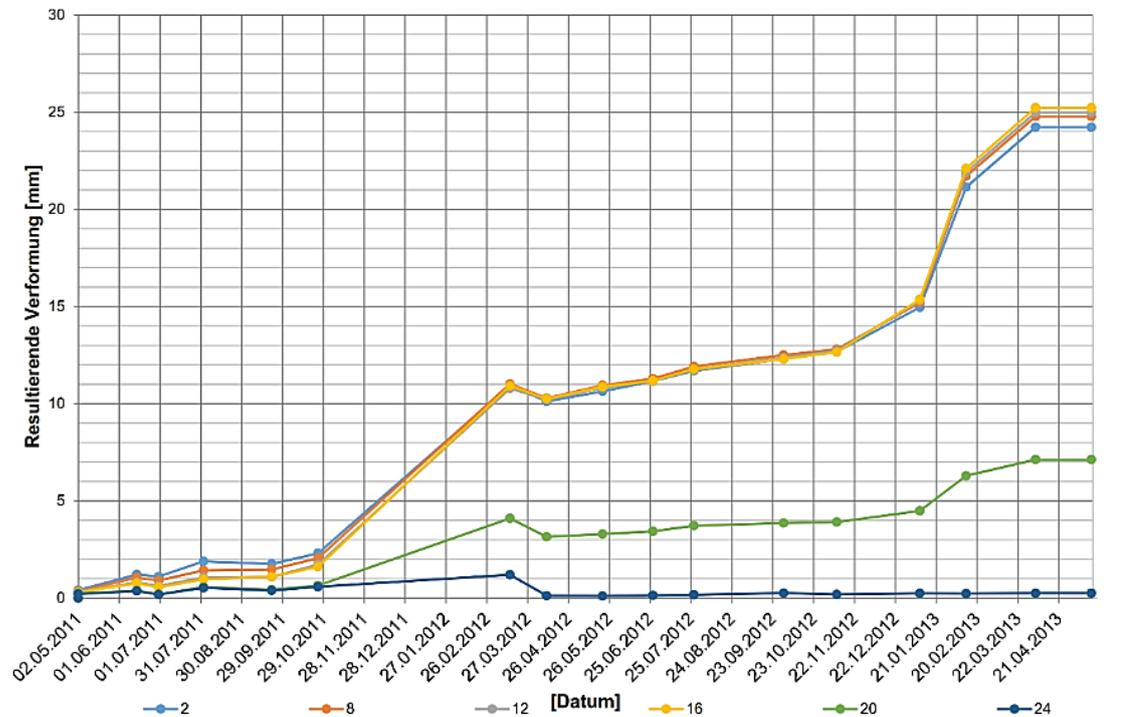


Abb. 22 Resultierende Verformung des INK 1 in verschiedenen Tiefenstufen

### 5.1.2 Inklinometer 2 (INK2-ZG52)

Bereits die ersten beiden Messungen zeigten eine Bewegung des Hanges, wobei die 2. FM (04.04.2013) im Vergleich zur Nullmessung eine Verschiebung von ca. 10 mm in A – Richtung und 5 mm in B – Richtung ergab. Die Verformung des INK 2 trat dabei erst ab einer Tiefe von ca. 27 m unter der ROK auf. Darunter zeigten die durchgeführten Messungen keine Bewegung an.

Bis zur 5. FM (10.07.2013) kam es zu einer Zunahme der Verschiebung bis auf ca. 16 mm in A – Richtung und 8 mm in B – Richtung. Die anschließenden Messungen bis zur 11. FM (06.05.2014) zeigten keine weitere Bewegung des Rutschkörpers an.

Von der 12. bis zur 14. FM kam es wieder zu einer deutlichen Bewegung des Rutschkörpers um das Inklinometerrohr 2. Dabei zeigte die Auswertung der 14. FM vom 01.07.2014 eine Verschiebung von rund 20 mm in A – Richtung bzw. ca. 10 mm normal dazu (B – Richtung).

Die darauffolgenden Messungen bis zur 22. FM (08.06.2015) ergaben eine kontinuierliche Fortschreitung der Verschiebungen in mm – Schritten in A – Richtung. In B – Richtung kam es zu keiner nennenswerten Zunahme.

Die letzten durchgeführten Messungen im zweiten Halbjahr von 2015 wiesen keine Verformung auf, jedoch gab die Messung im Februar 2016 Verschiebungen im mm – Bereich an.

Bei sämtlichen Messvorgängen stellte sich im INK 2 in einer Tiefe von ca. 25 bis 27 m unter der ROK (etwa 24 bis 26 m unter der GOK) deutlich ein Gleithorizont heraus.

Berücksichtigt man die Tiefe des Stollenbauwerks in der unmittelbaren Nähe (OK des Stollens liegt ca. 24 m unter der GOK), so erkennt man, dass die Gleitfläche direkt den Stollen durchschneidet. Dadurch lassen sich auch die am Stollenbauwerk aufgetretenen Schäden erklären, da der obere Teil des Bauwerks innerhalb der sich bewegenden Gleitzone liegt, wohingegen der untere Bereich keiner Verschiebung ausgesetzt sein dürfte. Dadurch ergeben sich differentielle Verformungen die zu den festgestellten Schäden geführt haben können.

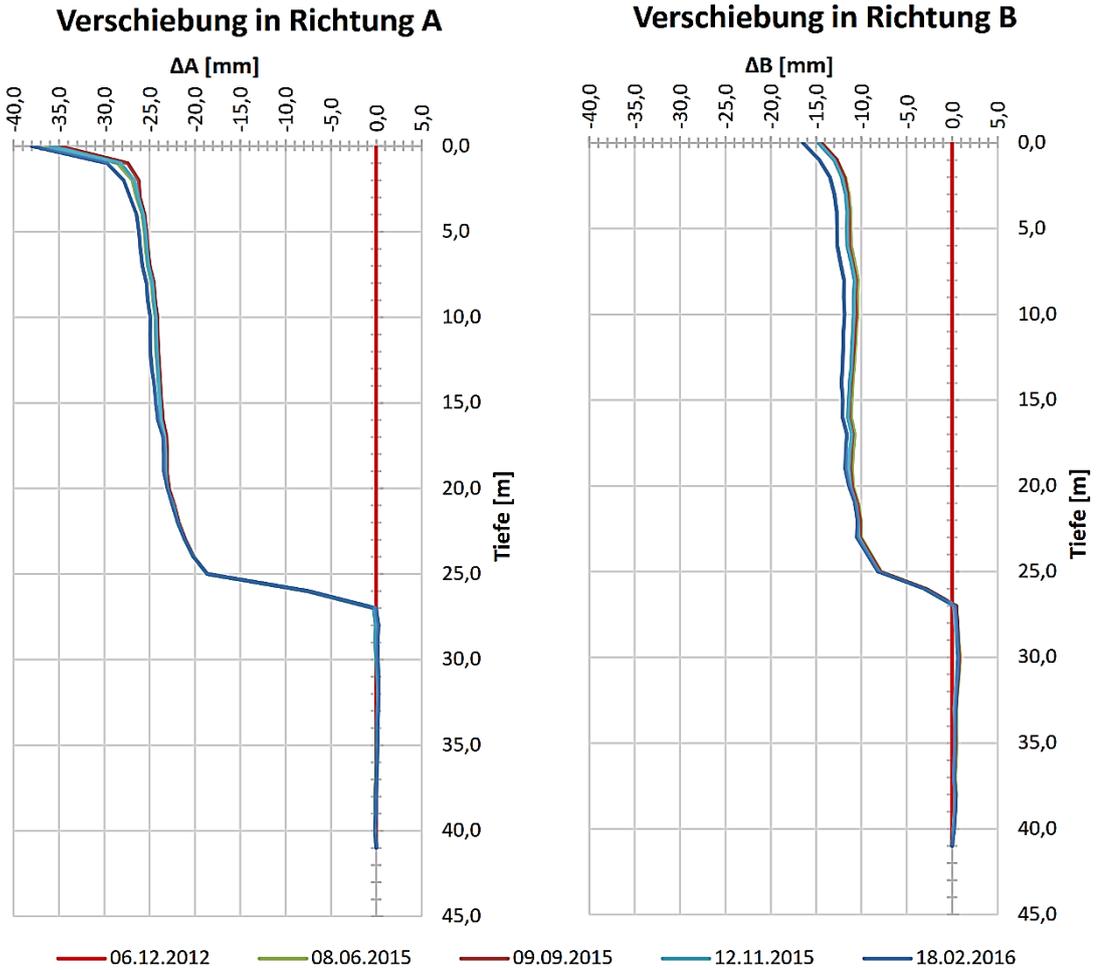


Abb. 23 Messungen am INK 2 im zweiten Halbjahr 2015, inkl. erste Messung von 2016

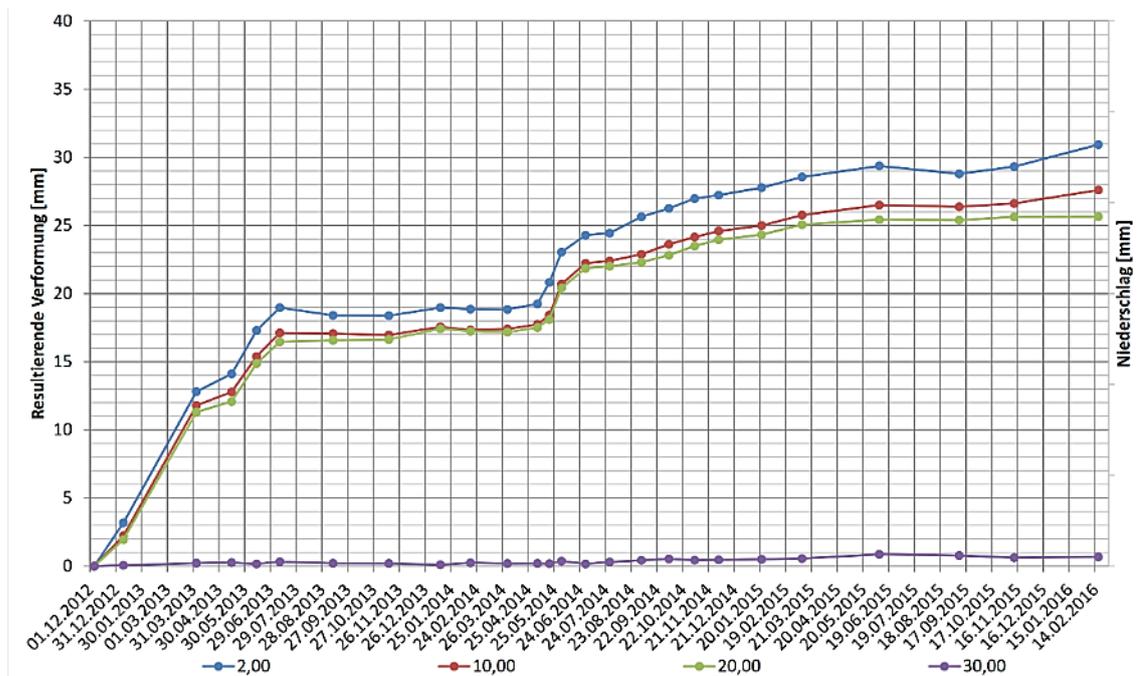


Abb. 24 Resultierende Verformung des INK 2 in verschiedenen Tiefenstufen

### 5.1.3 Inklinometer 3 (INK3-ZG52 bzw. INK3-ZG52N)

Ähnlich wie beim INK 2 zeigten auch die ersten Messungen des INK 3 sichtbare Bewegungen des Rutschkörpers. Bei der 3. FM (04.04.2013) wurden Verschiebungen von 10 bis 20 mm ca. in Fallrichtung des Geländes (A – Richtung) und ca. 4 mm normal darauf ausgewertet. Dabei traten die Verschiebungen ab einer Tiefe von ca. 39 m unter der ROK auf. Auffallend hierbei war die Ausbildung einer Krümmung bzw. eines Knicks zwischen 33 und 39 m unter der ROK.

Bis zur 6. FM (10.07.2013) nahmen die Verformungen des INK 3 auf 17 bis 28 mm ca. in Fallrichtung des Hanges zu. In Streichrichtung des Geländes kam es währenddessen zu keiner Fortschreitung der Verformung.

Das Inklinometerrohr 3 wies bis zur 12. FM (06.05.2014) auf keine gleichmäßige Verschiebungszunahme hin. Einzig der erwähnte Knick bildete sich um ca. 5 mm weiter aus, siehe Abb. 25.

Die darauffolgenden Messungen bis zur 15. FM (01.07.2014) zeigten eine Fortschreitung der Verschiebung über die gesamte Inklinometerlänge. In Fallrichtung ergaben sich im Vergleich zur Nullmessung ca. 23 bis 37 mm Verschiebung, wohingegen normal auf die Fallrichtung keine Zunahme zu beobachten war.

Bis zur 23. FM (08.06.2015) kam es nur zu Zuwächsen im mm – Bereich bei den Verformungen in Richtung der Falllinie des Hanges. Allerdings bildete sich der Knick zwischen 33 und 39 m unter der ROK in diesem Zeitraum sehr stark aus. Im Vergleich zur Nullmessung betrug die Verschiebung bereits 80 mm.

Die Krümmung im INK 3 in Falllinie (A – Richtung) erweckt auf den ersten Blick den Anschein, als ob sich eine zwischenliegende Bodenschicht schneller bewegen würde als die Schichten darüber. Da diese Erklärung für den Knick (ca. 5 cm Auslenkung auf ca. 5 m Tiefe) aus geotechnischer Sicht nicht plausibel ist, gibt es folgende Vermutung:

Es ist davon auszugehen, dass im genannten Bereich keine ausreichende Bettung des Inklinometerrohres gegeben ist (z.B. Hohlraum der durch einen Austrag der Sand- bzw. Suspensionsstützung durch beispielsweise offene Klüfte entsteht). Dadurch können die Messergebnisse in diesem Bereich nicht eindeutig interpretiert werden.

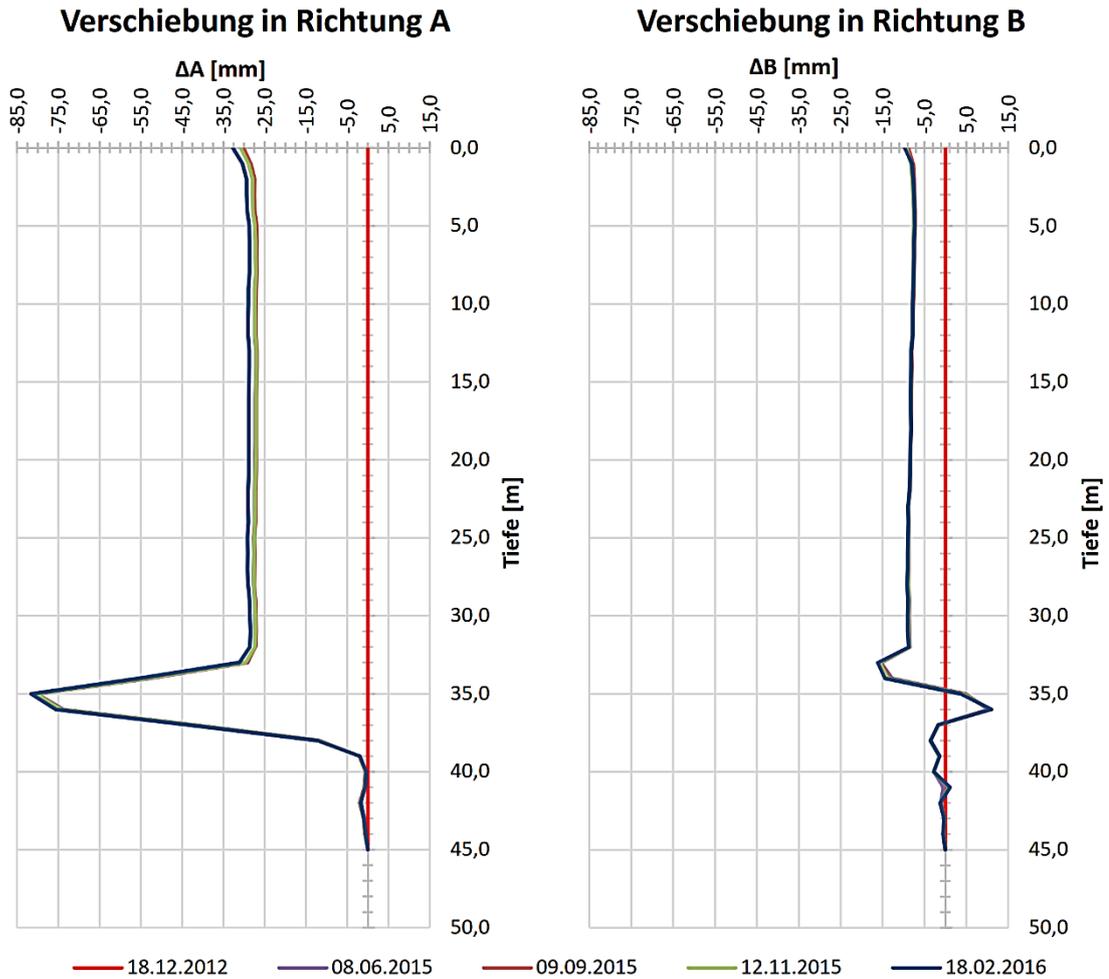


Abb. 25 Messungen am INK 3 im zweiten Halbjahr 2015, inkl. erste Messung von 2016, starke Knickausbildung bei der Verschiebung in Falllinie

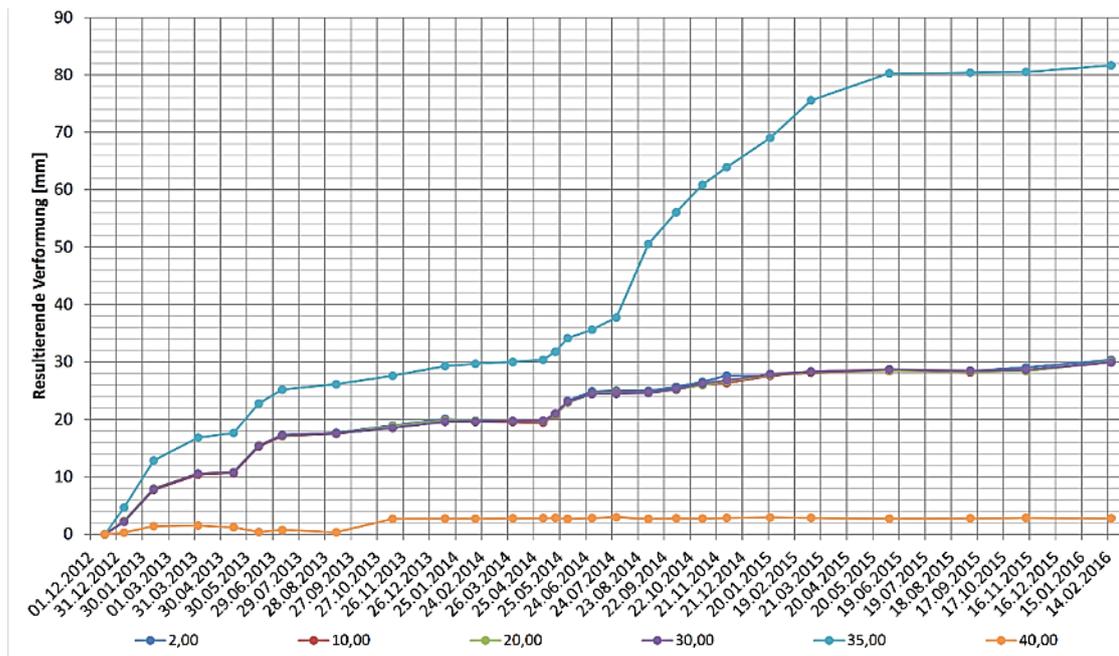


Abb. 26 Resultierende Verformung des INK 3 in verschiedenen Tiefenstufen

Die letzten drei Messungen am INK 3 im Kalenderjahr 2015 zeigten keine Zunahme der Verschiebungen. Allerdings ergab die Messung im Februar 2016 ab einer Tiefe von ca. 34 m eine Verformung im mm – Bereich in A – Richtung.

Aus den Messungen des INK 3 ergibt sich die Erkenntnis, dass die Gleitzone in einem Bereich von 32 bis 39 m unter der ROK liegen muss. Aufgrund der Knickausbildung ist eine genauere Lokalisierung nicht möglich.

#### **5.1.4 Inklinometer 6 (Ketteninklinometer)**

Das Ketteninklinometer liefert seit 28.07.2015 im 10 – Minutentakt Messdaten der 20 installierten Sonden.

Vom 02.11.2015 bis zum 26.11.2015 sind aufgrund von technischen Problemen keine Aufzeichnungen vorhanden. Als wahrscheinlichster Grund wird eine Unterbrechung der Stromversorgung vermutet, wobei der anschließende Systemneustart des Rechners, der die Daten lokal speichert, nicht vollständig ausgeführt werden konnte und der Rechner erst am 26.11.2015 wieder manuell in Betrieb genommen wurde.

Bis Ende November konnte keine nennenswerte Verformung (0,5 mm in Fallrichtung bzw. 0,3 mm normal darauf) des Inklinometerrohres verzeichnet werden. Deshalb kam es zu einer Verlängerung des Beobachtungszeitraumes mit dem installierten Ketteninklinometer bis ins Frühjahr 2016, um mögliche Bewegungen erfassen zu können.

Im Jahr 2016 kam es erneut aufgrund von technischen Problemen (Rechnerabsturz) zu einer Messlücke. Diesmal erstreckte sich diese vom 05.01. bis zum 01.03. und daher stehen für diese Zeitspanne keine Messdaten zur Verfügung.

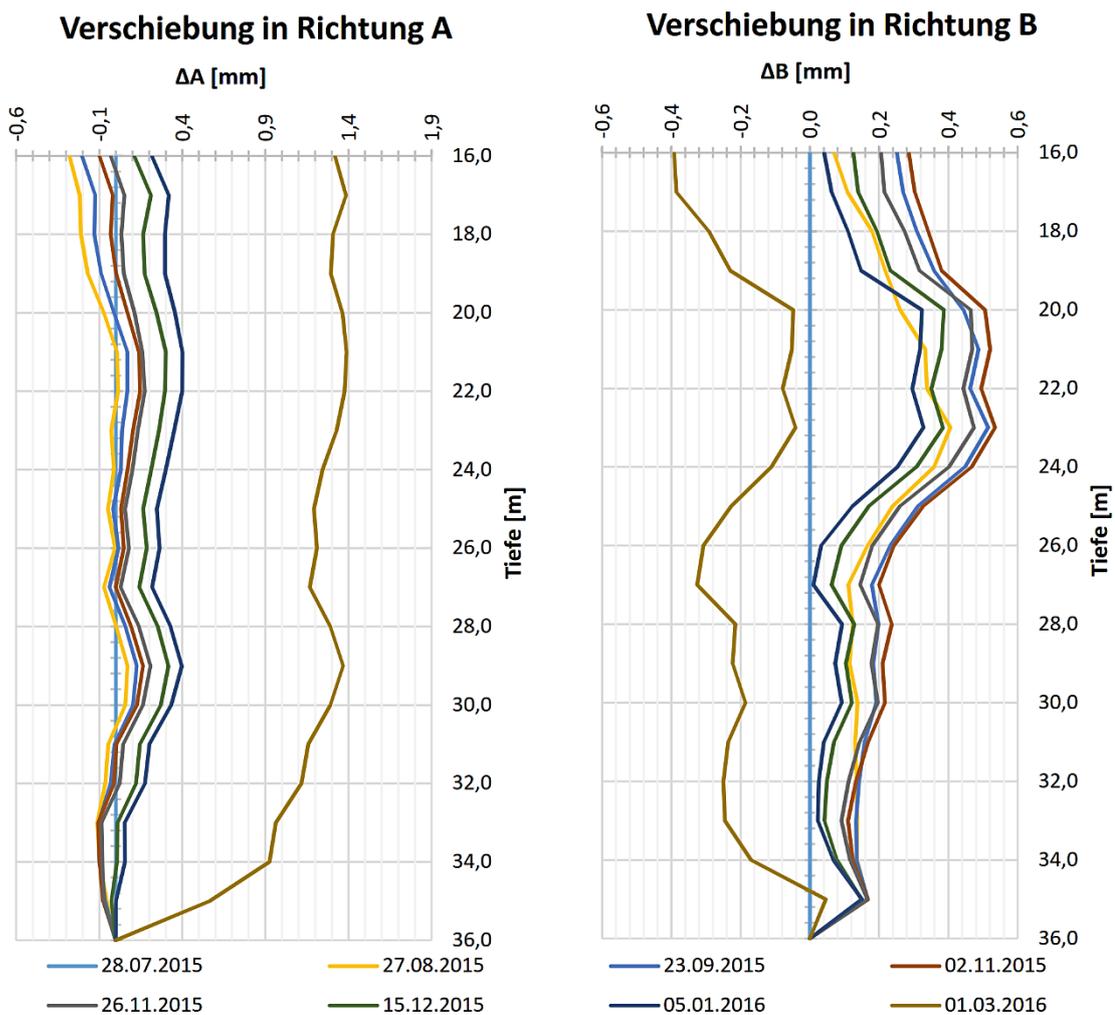


Abb. 27 Auswertung Ketteninklinometer Messtiefe 16 bis 36 m unter der GOK

Vergleicht man die Auswertung der Messdaten vom 05.01. und der nächsten erfolgreichen Messung Anfang März so ist ersichtlich, dass in diesem Zeitraum eine Verschiebung von einem Millimeter in Richtung der Falllinie des Hanges (A – Richtung) stattfand. Ebenso kam es in der B – Richtung zu einer Verformung von rund 0,5 mm.

Deutlich erkennbar ist auch, dass der Großteil der Verformung zwischen den Tiefen 34 bis 36 m unter der GOK auftritt. Ab 34 m bis 16 m unter der GOK traten Verformungen im Bereich von Zehntelmillimeter auf. Daraus lässt sich schließen, dass die Gleitfuge in diesem Hangbereich tiefer liegt als angenommen und der abgedeckte Messbereich von 16 bis 36 m unter der GOK nicht ausreicht um den Übergang zwischen der Massenbewegung und dem stabilen Untergrund messen und interpretieren zu können.

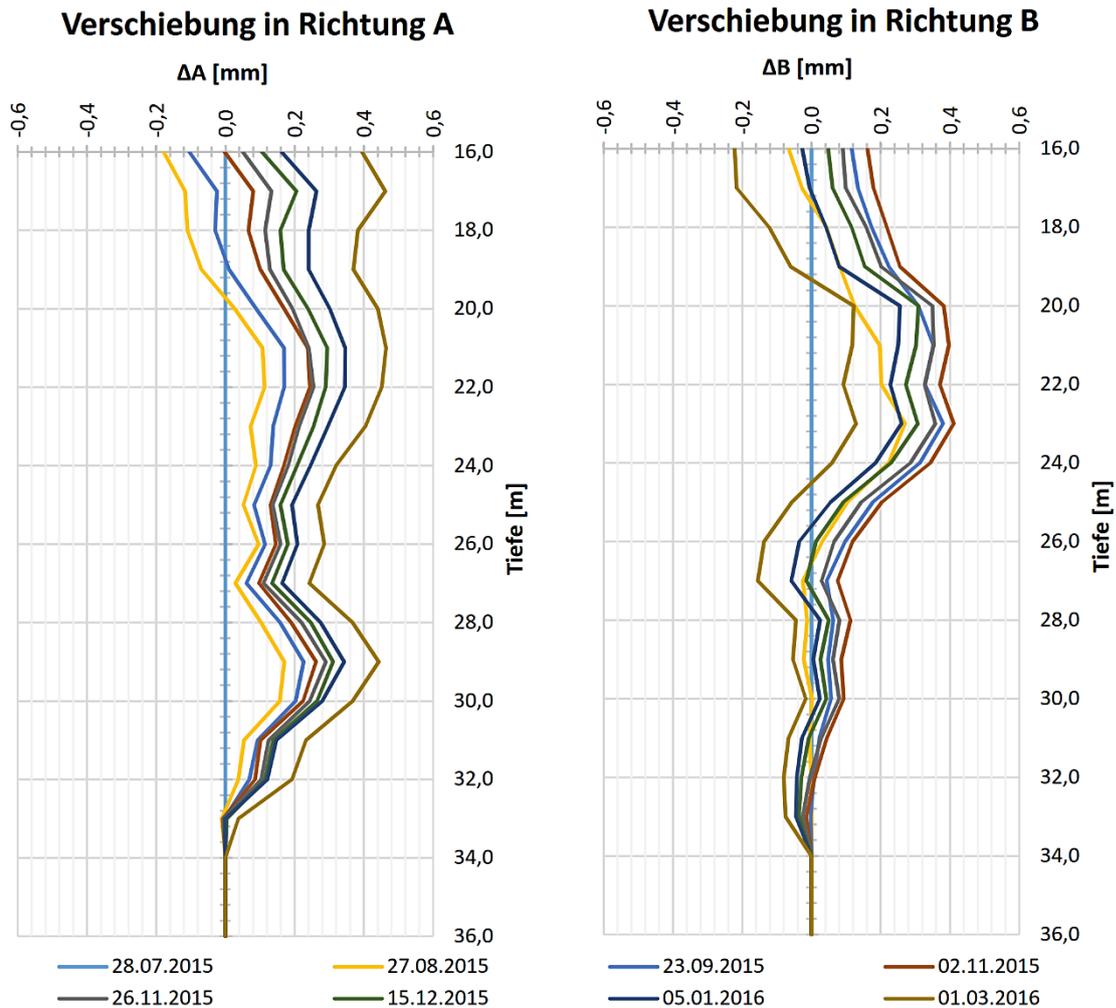


Abb. 28 Auswertung Ketteninklinometer Messtiefe 16 bis 34 m unter der GOK

### 5.1.5 Inklinometer 7 und 8 (B7 und B8)

Für beide Inklinometerrohre wurden bis Februar 2016 bereits sieben Folgemessungen realisiert.

Die bisher aufgezeichneten Verformungen sind dabei im INK 7 sehr gering. Innerhalb eines halben Jahres wurden Verschiebungen von maximal 2 mm beobachtet. Diese Verformungen weisen sogar auf die Bergseite, also entgegen der Falllinie des Hanges.

Die Verschiebung für den INK 8 beträgt ebenfalls nur ca. 2 mm. Allerdings konnte bei den Auswertungen, ähnlich wie beim INK 3, ein Knick in der Verformungsfigur festgestellt werden. Diese in der Hauptrichtung hangabwärts abgebildete Krümmung beträgt rund 7 mm auf ca. 3 m Tiefe und ist in Querrichtung (normal zur Falllinie) ebenfalls zu erkennen (ca. 1 mm auf 3 m Tiefe).

Für keines der beiden Inklinometerrohre konnte jedoch bis dato ein sich abbildender Gleithorizont festgestellt werden.

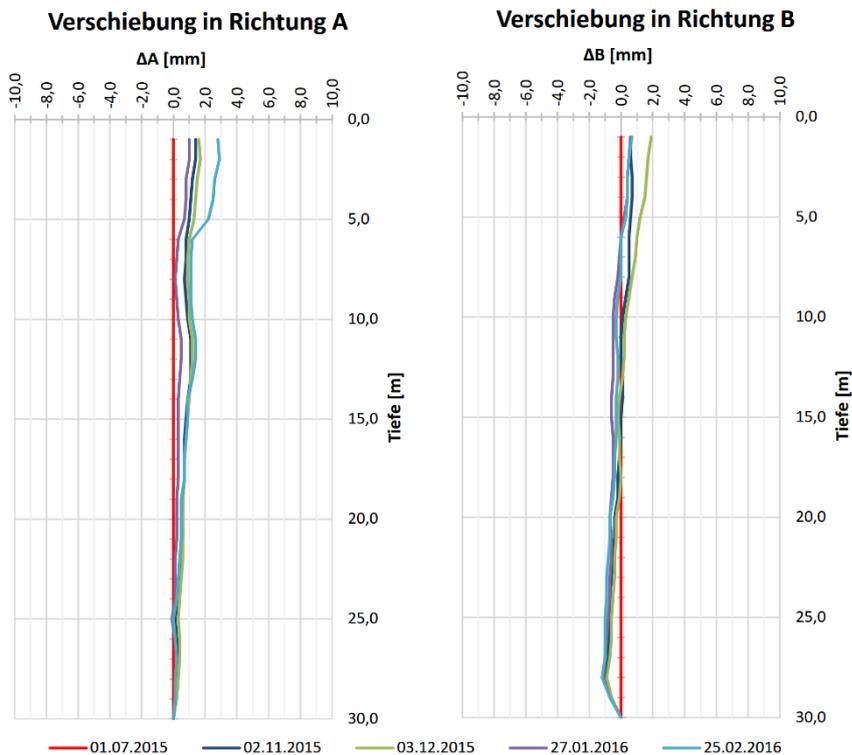


Abb. 29 Messungen am INK 7 im ersten Halbjahr 2016, inkl. Messungen von 2015

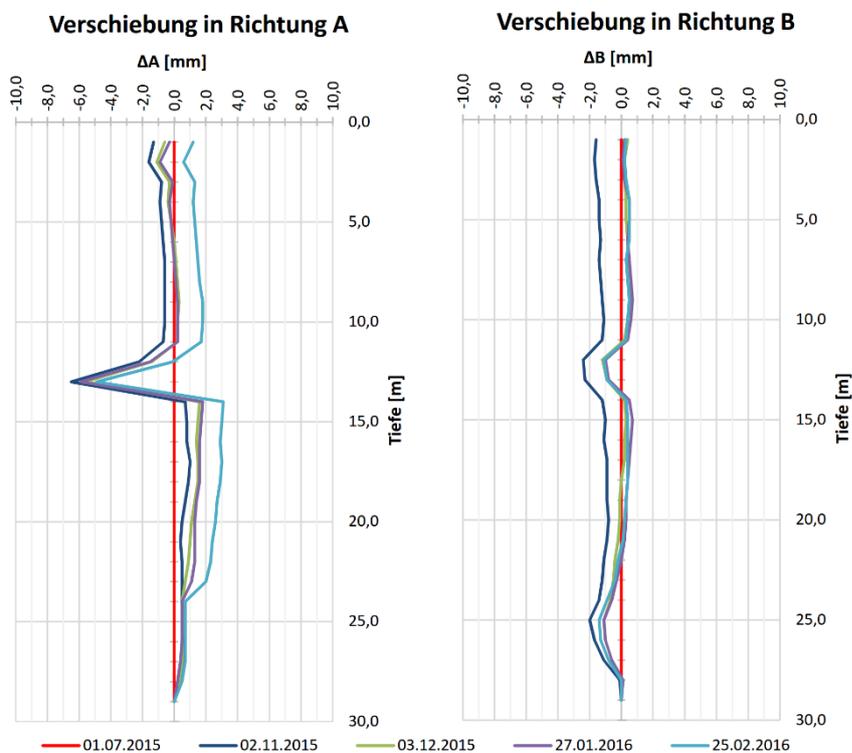


Abb. 30 Messungen am INK 8 im ersten Halbjahr 2016, inkl. Messungen von 2015

## 5.2 Geodätische Messpunkte

Um die Auswertung der zahlreichen geodätischen Messpunkte übersichtlich zu gestalten und Informationen zu gewinnen, sind Punkte ähnlicher Lage bzw. Bewegungsrichtung in Gruppen zusammengefasst worden. Die Aufteilung der Messpunkte an der Oberfläche der Massenbewegung ist der Abb. 19 zu entnehmen.

Sofern nicht anders angegeben, handelt es sich bei den folgend beschriebenen Verschiebungen um die berechnete resultierende Verschiebung aus den Lage- und Höhenmessungen.

### 5.2.1 Messpunkte W1 - W5

Die Beobachtung über mehr als vier Jahre (August 2011 – Februar 2016) zeigt bei drei (W1, W2 und W3) der fünf Messpunkten an der Wehranlage sehr geringe Verschiebungen (in Summe ca. 5 mm). Die geringe Verformung liegt auch an der Situierung der Messpunkte direkt in der Nähe des Wehrrückens. Durch die Wehranlage erfolgt eine Versteifung des Fußes der Rutschung in diesem Bereich, die bisher keine bzw. nur sehr geringe Verformungen zuließ.



Abb. 31 Messpunkte W1 – W5 mit Verschiebungsvektoren bis Mai 2015

Im Gegensatz dazu hat sich die Position der beiden Punkte W4 und W5 während den Aufzeichnungen um ca. 5 bzw. 4 cm in Richtung Fluss verändert. Diese Punkte liegen auf jener Mauer, die den Tümpelpass und den Schlitzpass der Fischaufstiegshilfe voneinander trennt. Wie bereits erwähnt, weisen die Dehnfugen zwischen den einzelnen Wandabschnitten bereits deutliche Versätze im niederen Zentimeter- Bereich auf.

Die Phasen mit einer hohen Bewegungsrate (mehrere cm/Jahr) liegen bei dieser Messgruppe zwischen 28.12.2011 – 28.02.2012 und vom 04.12.2012 – 16.07.2013.

Zusätzlich konnte bei den Punkten W4 und W5 ein möglicher weiterer Bewegungsschub vom 13.05.2014 – 03.02.2015 ausgemacht werden.

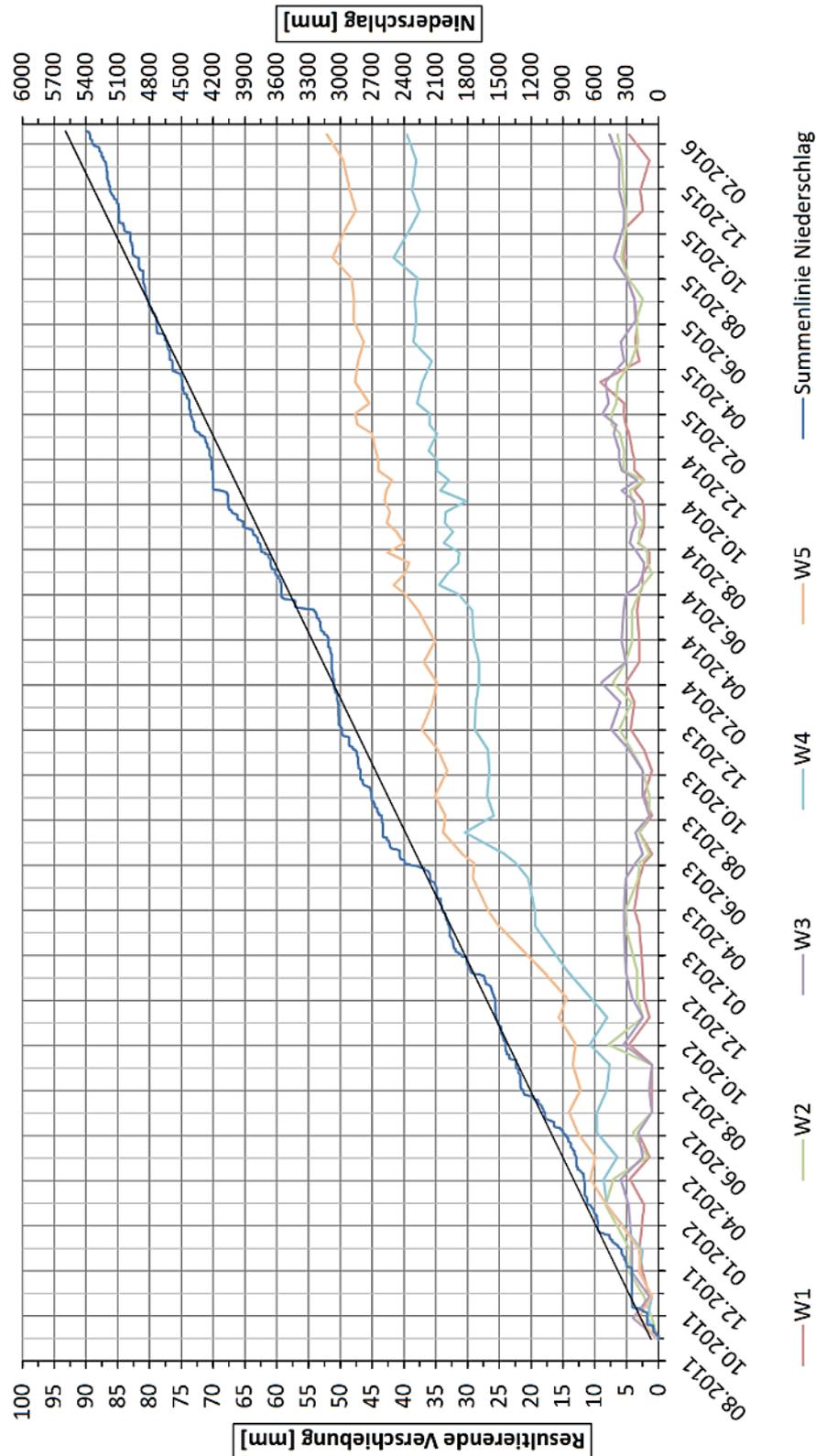


Abb. 32 Resultierende Verschiebung der Messpunkte W1 – W5

### 5.2.2 Messpunkte 21 - 25

Am Fuß der Rutschung verläuft parallel zur Erlauf eine Forststraße, auf der im nördlichen Rutschungsbereich die Messpunkte 21 - 25 angeordnet sind.

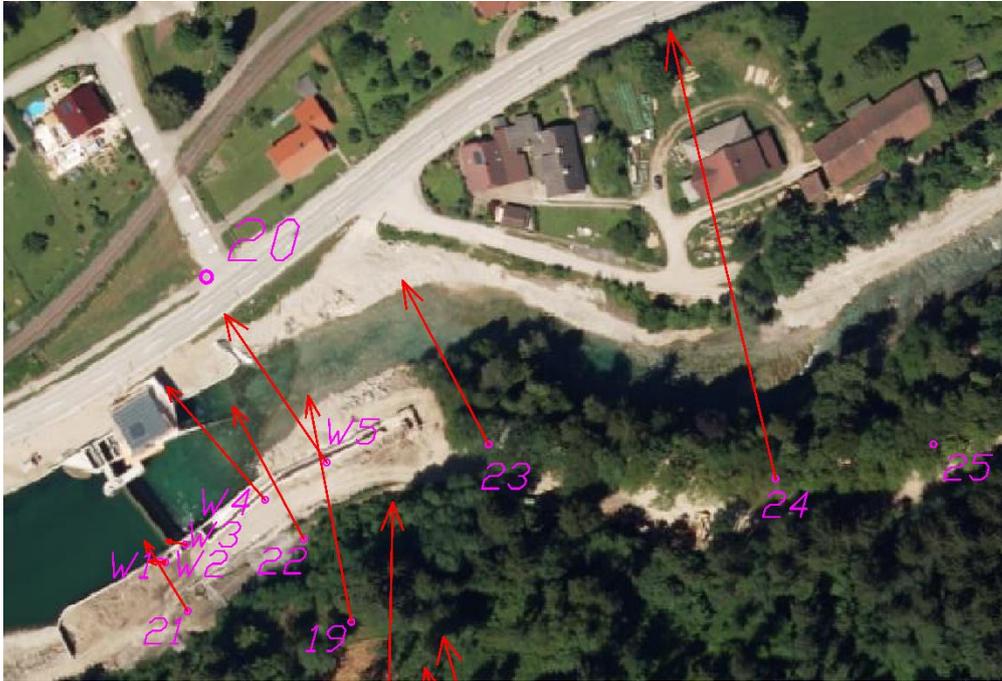


Abb. 33 Messpunkte 21 – 25 mit Verschiebungsvektoren bis Mai 2015

Der Messpunkt 21 befindet sich dabei in der Nähe der Wehrachse und weist von den Punkten 21 - 24 die geringste Verformung über den Beobachtungszeitraum auf (ca. 2 cm). Die Messpunkte 22 und 23 befinden sich flussabwärts der Wehrachse und änderten ihre Lage um ca. 5 cm.

Am auffälligsten in dieser Messgruppe sind die beiden Messpunkte 24 und 25. Der Punkt 25 liegt außerhalb der angenommenen Massenbewegung (bzw. im Randbereich) und ist aufgrund von Bauarbeiten (Parkplatzherstellung für die Landesausstellung 2015) seit 08.10.2014 nicht mehr messbar. Bis zu diesem Zeitpunkt wies er nach 3 Messjahren nur eine Verschiebung von ca. 1 cm auf.

Allerdings bewegte sich der Messpunkt 24 in den letzten Jahren um ca. 13 cm. Diese große Verformung ist auch aufgrund des LKW-Verkehrs während mehrerer Phasen von Bauarbeiten, unter anderem auch jene, die den Punkt 25 beeinflussten, zurückzuführen. Auffallend ist auch die starke Setzung des Punktes 24 im Dezember 2013 (ca. 1 cm), im Jänner 2015 (ca. 1 cm) und in den Monaten März und April 2015 (ca. 2 cm).

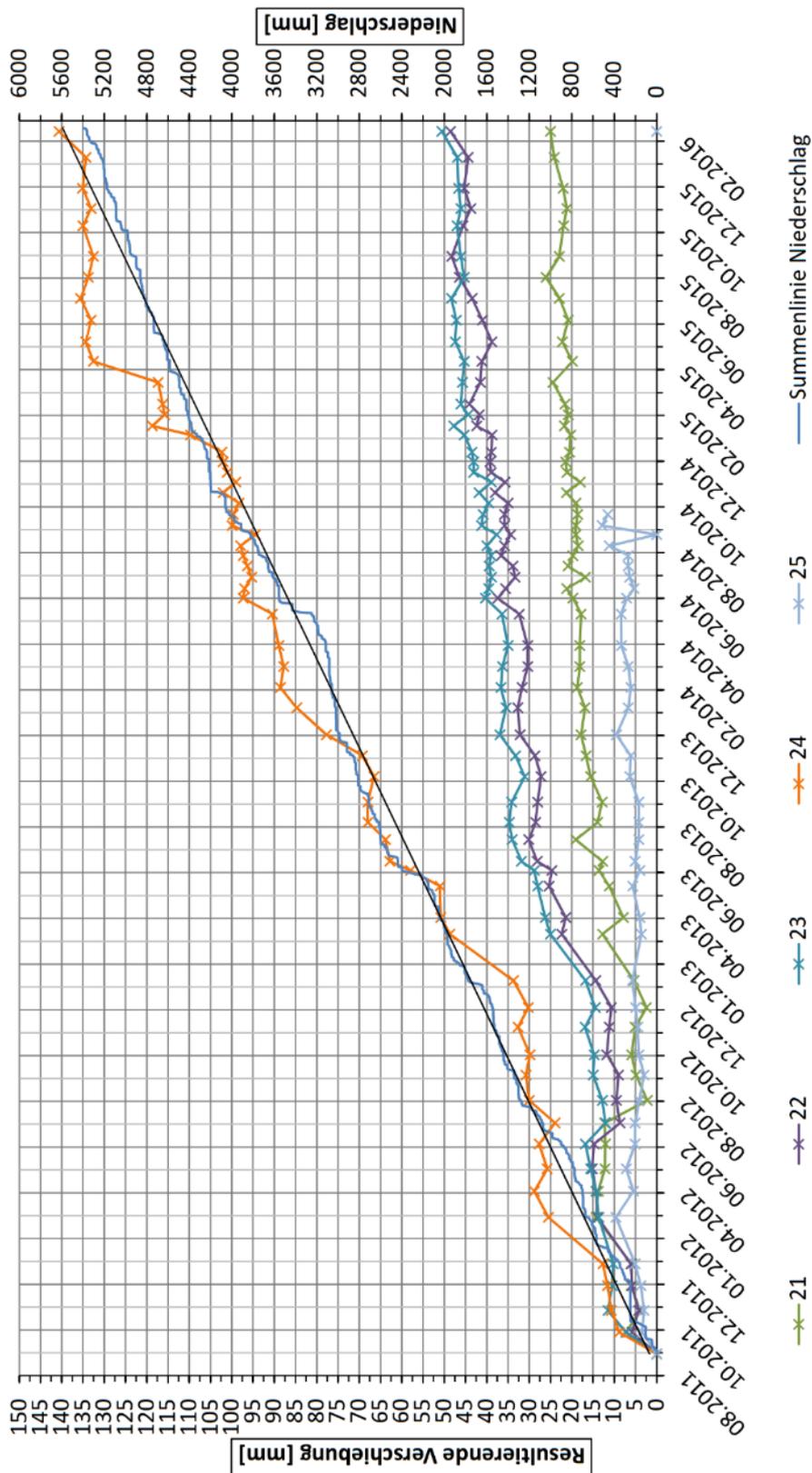


Abb. 34 Resultierende Verschiebung der Messpunkte 21 – 25

Am 09.07.2015 zeigte die 64. FM beim Punkt 22 eine Setzung von 9 mm. Dieser Wert lässt sich auf die im Juni 2015 durchgeführten Bohrarbeiten der beiden Inklinometer 7 und 8 zurückführen.

Bei dieser Gruppe kann man in den Aufzeichnungen drei Zeiträume mit einer erhöhten Bewegungsrate erkennen. Als erstes fallen die Veränderungen im ersten Monat vor der ersten Folgemessung, also 30.08.2011 – 28.09.2011 auf. Danach zeigen die Phasen 28.12.2011 – 28.02.2012 und 09.01.2013 – 16.07.2013 Bewegungsschübe des Geländes an.

Ein weiterer möglicher Bewegungsschub fand bei den Punkten 22, 23 und 24 im Zeitraum 13.05.2014 – 03.02.2015 statt.

### 5.2.3 Messpunkte 16 - 18

Diese drei Messpunkte liegen am nördlichen Rand bzw. außerhalb der angenommenen Massenbewegung auf etwa der halben Höhe der Rutschung entlang einer Forststraße. Die beiden nördlichen und außerhalb gelegenen Punkte 17 und 18 weisen in Summe eine Positionsänderung von 2 bzw. 3 cm auf. Die Messdaten über diese beiden Messpunkte sind allerdings mit Vorsicht zu betrachten, da seit 13.05.2013 der Umgehungstollen für die II. HQL gebaut wird und durch den Baustellenverkehr die Punkte beeinflusst werden.



Abb. 35 Messpunkte 16 – 18 mit Verschiebungsvektoren bis Mai 2015

Der Messpunkt 16 liegt näher zur nördlichen Grenze der Massenbewegung und weist eine Verformung von ebenfalls ca. 2 cm auf.

Ein möglicher Zeitraum mit erhöhten Bewegungsraten wurde bei dieser Messgruppe im Jahr 2014 ausgemacht (01.04.2014 – 03.06.2014)

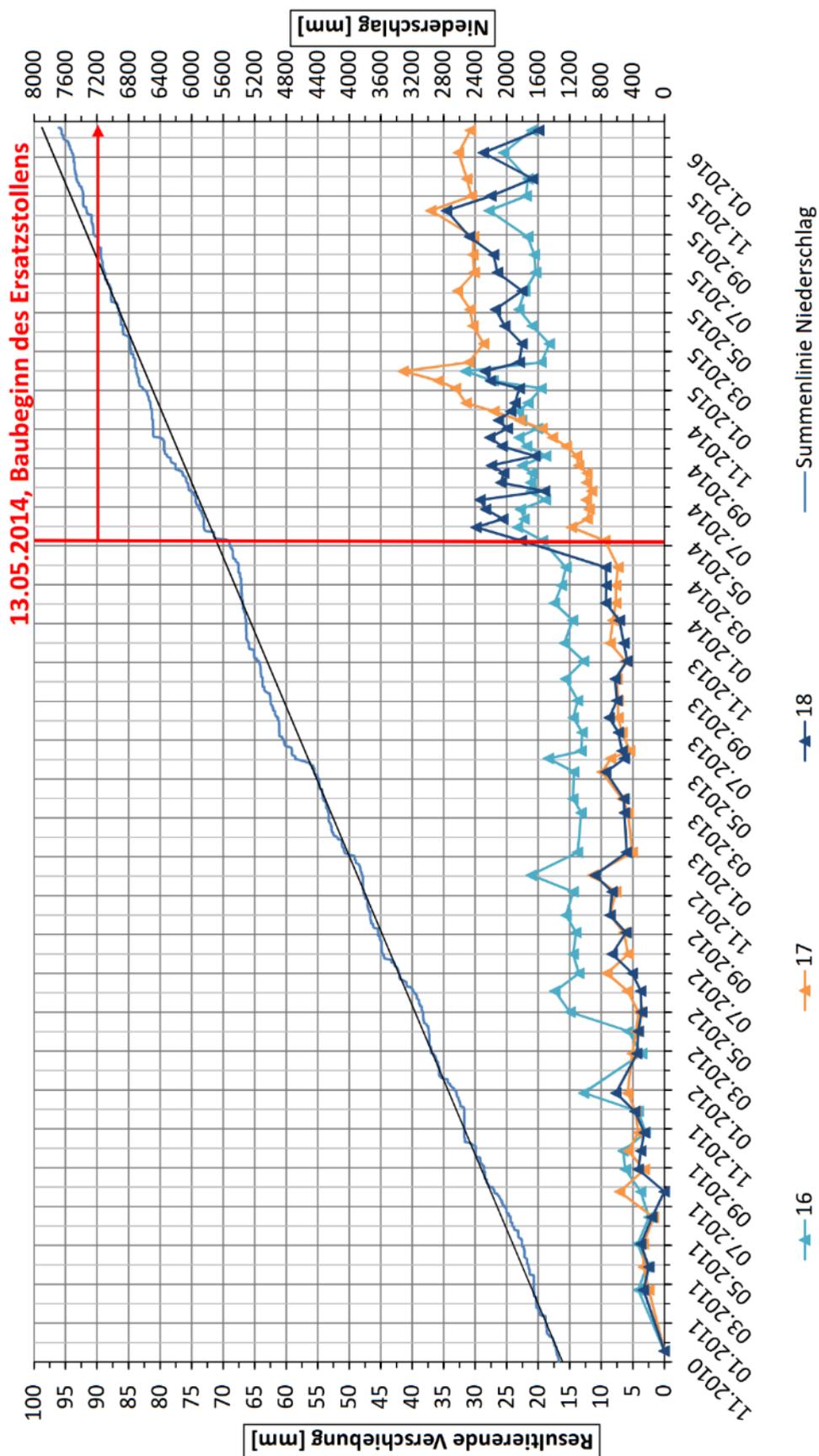


Abb. 36 Resultierende Verschiebung der Messpunkte 16 – 18

#### 5.2.4 Messpunkte Unten (GP-FH, 6, 13, 14, 19)

Diese Gruppe umfasst die Messpunkte, die mittig bzw. in der unteren Hälfte der Massenbewegung lokalisiert sind. Dazu zählen, der Punkt 6 der sich entlang einer Forststraße befindet, GP-FH am Forsthaus sowie hangabwärts die Punkte 14, 13 und 19.

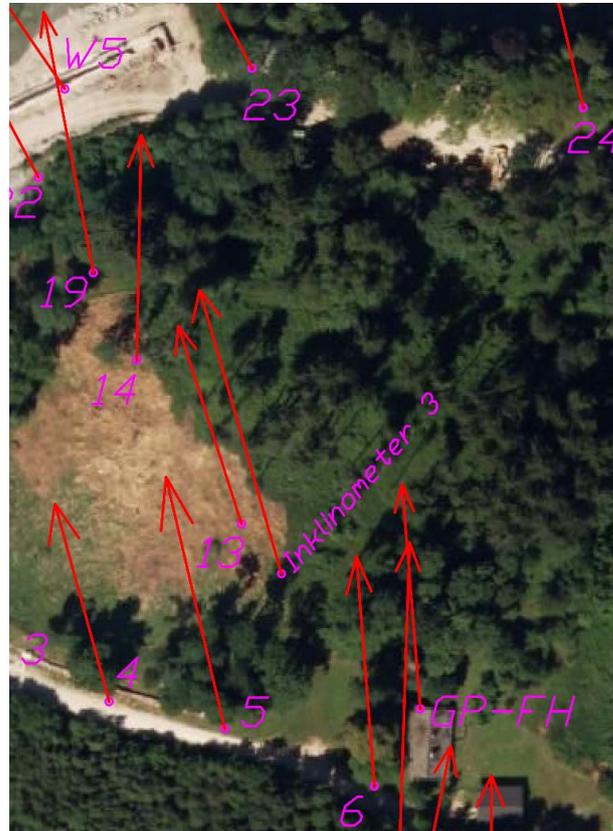


Abb. 37 Messpunktgruppe Unten mit Verschiebungsvektoren bis Mai 2015

Bei diesen Punkten kann man vier Zeiträume mit einer erhöhten Verschiebung beobachten. Der erste davon liegt zwischen der Nullmessung und der 2. FM (18.11.2010 – 30.03.2011). Der zweite Bewegungsschub wurde zwischen dem 28.12.2011 und dem 28.02.2012 aufgezeichnet.

Die dritte Bewegungsphase spielt sich zwischen dem 08.11.2012 und dem 03.04.2013 ab. Im Jahr 2014 kann man eine weitere Fortbewegung der Massenbewegung im Zeitraum 13.05.2014 – 16.06.2014 beobachten.

Seit dem Beginn der Messungen weisen alle Punkte dieser Gruppe ein ähnliches Verformungsmuster auf und haben ihre Position um ca. 4,5 – 6,5 cm geändert. Dieses Ergebnis ist durchaus nachvollziehbar, da die Messpunkte sich in der Mitte der Rutschung befinden.

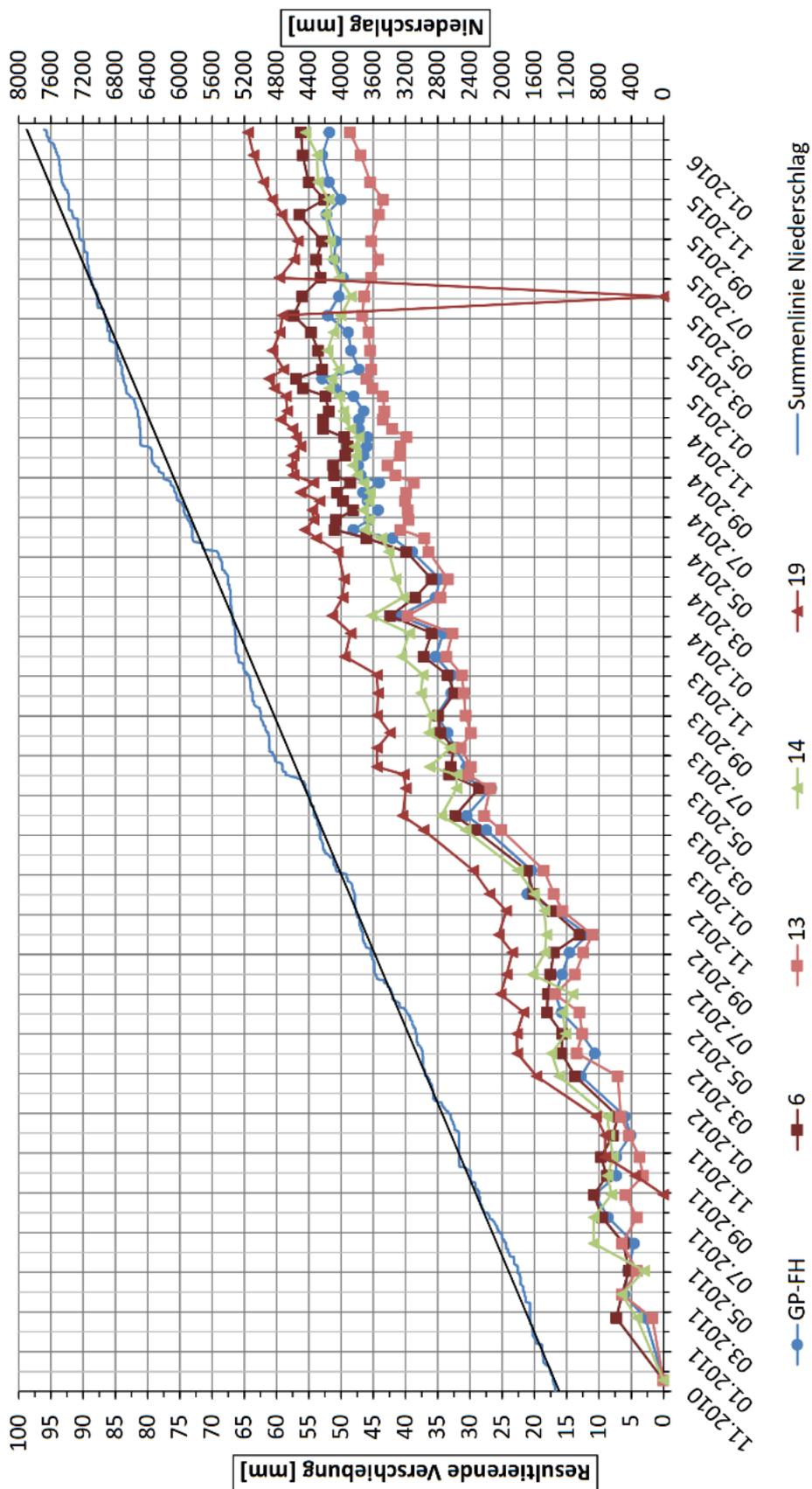


Abb. 38 Resultierende Verschiebung der Messpunktgruppe Unten

### 5.2.5 Messpunkte Oben (IN, 8, 9, 10, 11, 15)

In dieser Auflistung sind alle hangaufwärts vom Forsthaus lokalisierten Messpunkte angeführt. Der Messpunkt 7 wird dabei allerdings nicht berücksichtigt, da er im Zuge der Bohrarbeiten für den Inklinometer 2 im November 2012 beschädigt bzw. in Lage und Höhe verändert wurde.



Abb. 39 Messpunktgruppe Oben mit Verschiebungsvektoren bis Mai 2015

In den Aufzeichnungen dieser Messpunkte sind vier Perioden mit erhöhter Bewegungsgeschwindigkeit ersichtlich. Die erste liegt zwischen 18.11.2010 – 30.03.2011, demnach sind die ersten beiden Folgemessungen betroffen. Weiters sind die Zeiträume 28.11.2011 – 28.02.2012, 08.11.2012 – 03.04.2013 sowie 01.04.2014 – 16.06.2014 zu nennen.

Von den Punkten dieser Messgruppe weist Punkt 9 die größte Verformung (ca. 7 cm) auf. Die Verschiebung der Punkte IN, 8, 15 und 10 beträgt zwischen 4 und 6 cm. Die geringste Veränderung trat bei Punkt 11 auf, der den höchsten Messpunkt der Massenbewegung darstellt und ca. 3 cm resultierende Verformung aufweist.

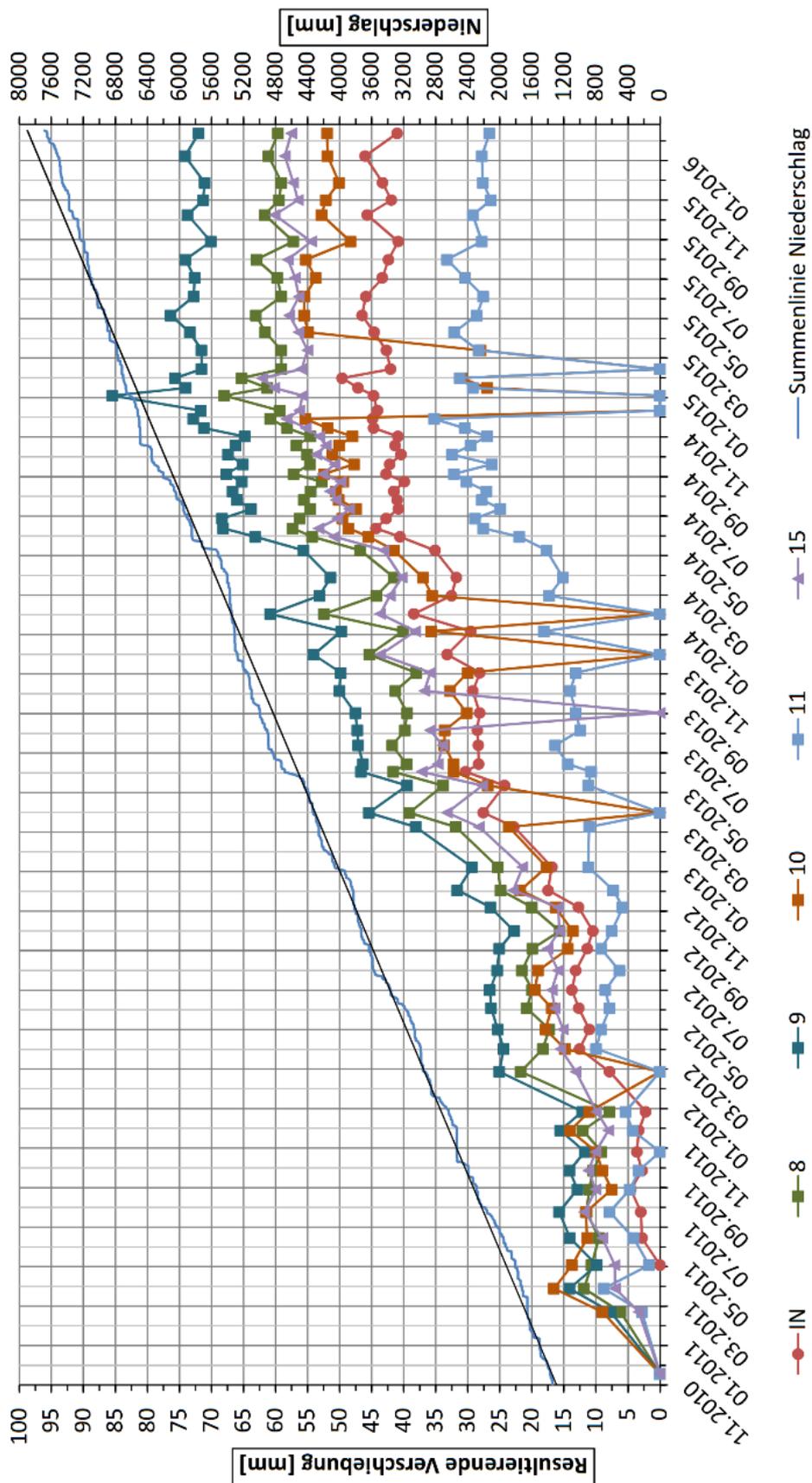


Abb. 40 Resultierende Verschiebung der Messpunktgruppe Oben

### 5.2.6 Messpunkte 1 - 5

In dieser Reihe befinden sich die Messpunkte die entlang der Forststraße in Richtung Zugangsstollen 52 angeordnet sind. In der Zeitspanne seit der Nullmessung können drei Phasen mit erhöhter Verformung abgelesen werden.

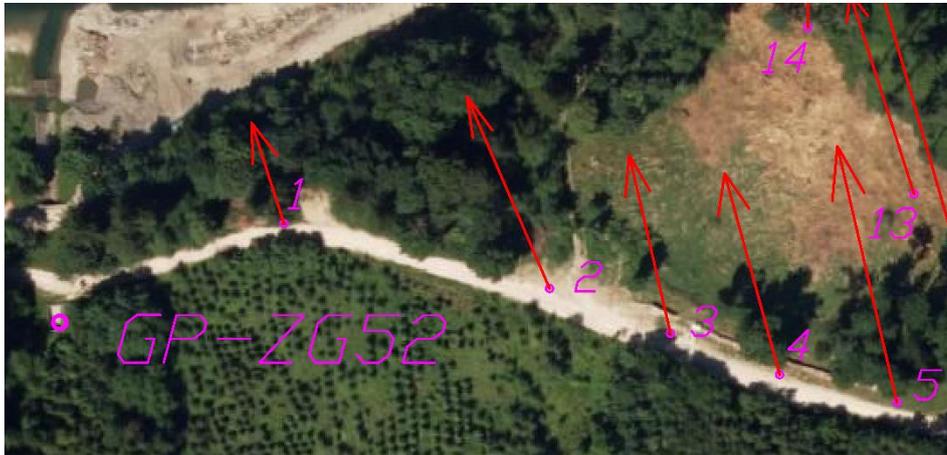


Abb. 41 Messpunktgruppe 1 – 5 mit Verschiebungsvektoren bis Mai 2015

Diese Bewegungsschübe liegen zwischen 28.12.2011 – 03.04.2012, 02.10.2012 – 16.07.2013 und 01.04.2014 – 16.06.2014.

Eine weitere mögliche Bewegungsphase fand 2011 vom 05.05. bis 30.08. statt. In dieser Zeit weisen sowohl der Punkt 1 als auch der Punkt 5 auf eine starke Positionsveränderungen hin.

Bei den Messpunkten 1 – 5 ergeben sich über den gesamten Zeitraum 4 – 5,5 cm Verschiebung. Der Punkt 5 erleidet die größte Verformung innerhalb dieser Messgruppe mit ca. 7,5 cm Verschiebung im Vergleich zur Nullmessung.

Die Tatsache, dass der Messpunkt 1 um etwa die Hälfte weniger Verformung als der Messpunkt 5 aufweist, bestätigt die Annahme, dass ersterer in der Nähe der Grenze der Massenbewegung liegt.

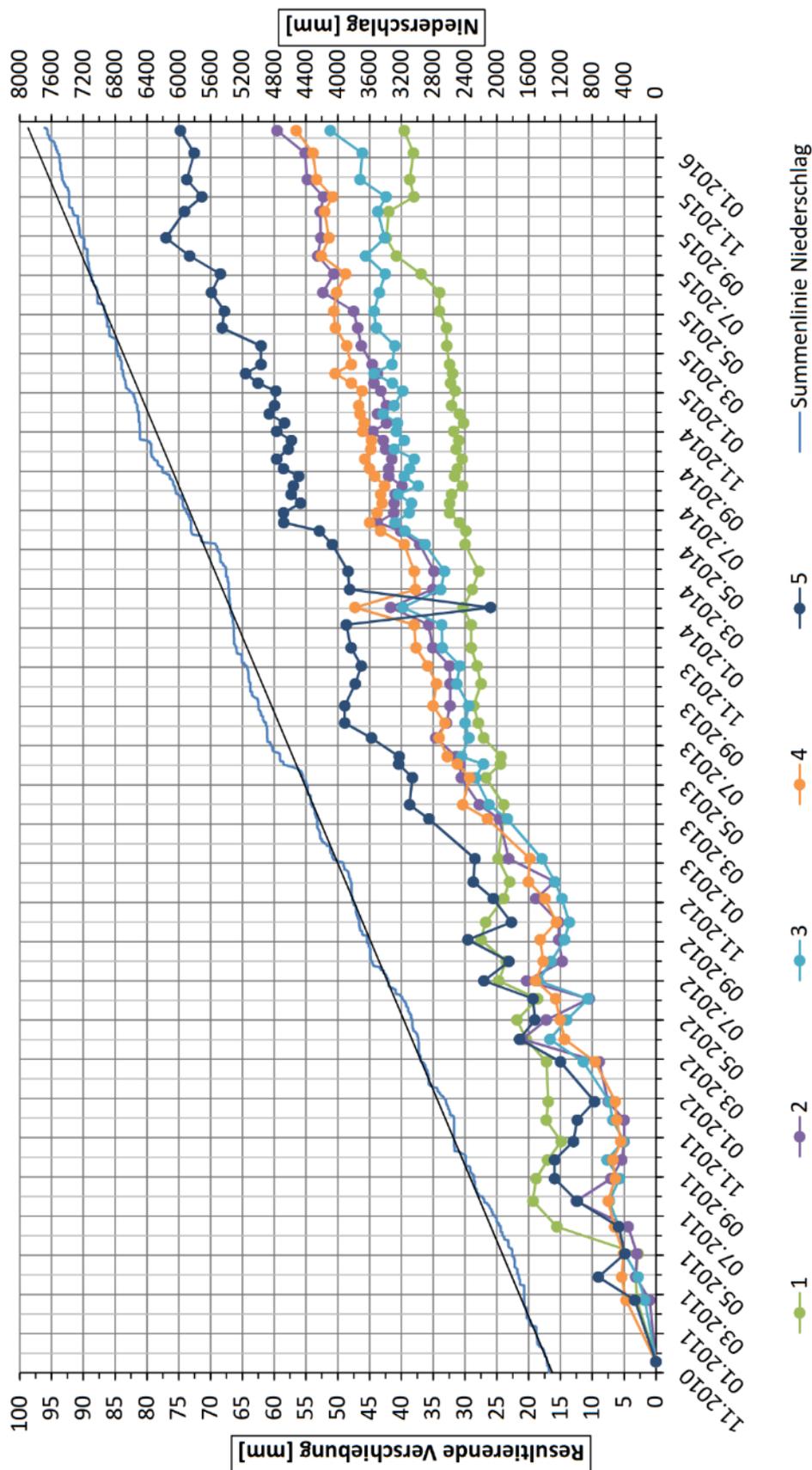


Abb. 42 Resultierende Verschiebung der Messpunkte 1 - 5

### 5.2.7 Messpunkte INK 2 und INK 3

Bei den zur Verfügung gestellten Messdaten werden halbjährlich immer ein Längsschnitt, sowie ein Lageplan mit den bisherigen Verschiebungsvektoren beigefügt. Bei dem im Mai 2015 übermittelten Lageplan konnte bei den Verschiebungsvektoren der Inklinometer 2 und 3 eine Auffälligkeit beobachtet werden.

Die in dem Lageplan eingezeichnete Länge der Vektoren passt nicht mit den Ergebnissen der Auswertung für die geodätischen Messpunkte überein. Unterstützt wird die Auswertung der Messpunkte durch die Resultate der Inklinometermessungen. In Kombination mit den Werten der A und B – Richtung sowie einer Messung der Orientierung der Nuten der Inklinometer mittels Kompass ergeben die Resultate der INK 2 und 3 andere Verschiebungsvektoren.

Dadurch können die im Lageplan abgebildeten Verschiebungsvektoren nicht nachvollzogen werden.

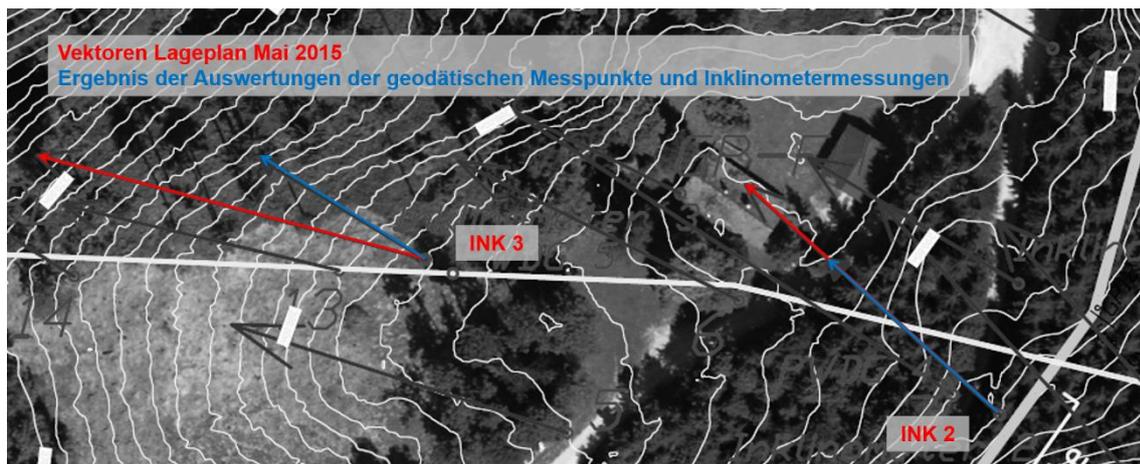


Abb. 43 Verschiebungsvektoren INK 2 und INK 3

## 5.3 Messungen des Grundwasserspiegels

### 5.3.1 Porenwasserdruckgeber

Von den vier eingesetzten Porenwasserdruckgebern erbrachten nur drei nachvollziehbare Ergebnisse.

Im Bohrloch 5, das in der Nähe des Inklinometers 3 situiert ist, befinden sich die beiden PW – Geber DT09536 und DT09535. DT09536 liegt in einer Tiefe von 9 m und zeichnet in seiner Umgebung einen negativen Porenwasserdruck auf. Dieses Resultat lässt darauf schließen, dass der Messpunkt oberhalb des Grundwasserspiegels liegt.

Der in einer Tiefe von 36 m installierte PW – Geber DT09535 gibt für den Wasserdruck ca. 1,30 bar an. Aus diesem Wert kann ein Porenwasser – Druckniveau von etwa 23 m unter GOK abgeleitet werden. Demzufolge zeigt das Ergebnis der Messungen des PW – Gebers einen Wert an, der in etwa dem Wasserspiegel entspricht, der bei den Bohrarbeiten angetroffen wurde (Wasserspiegel Bohrarbeiten: 21,5 m Tiefe).

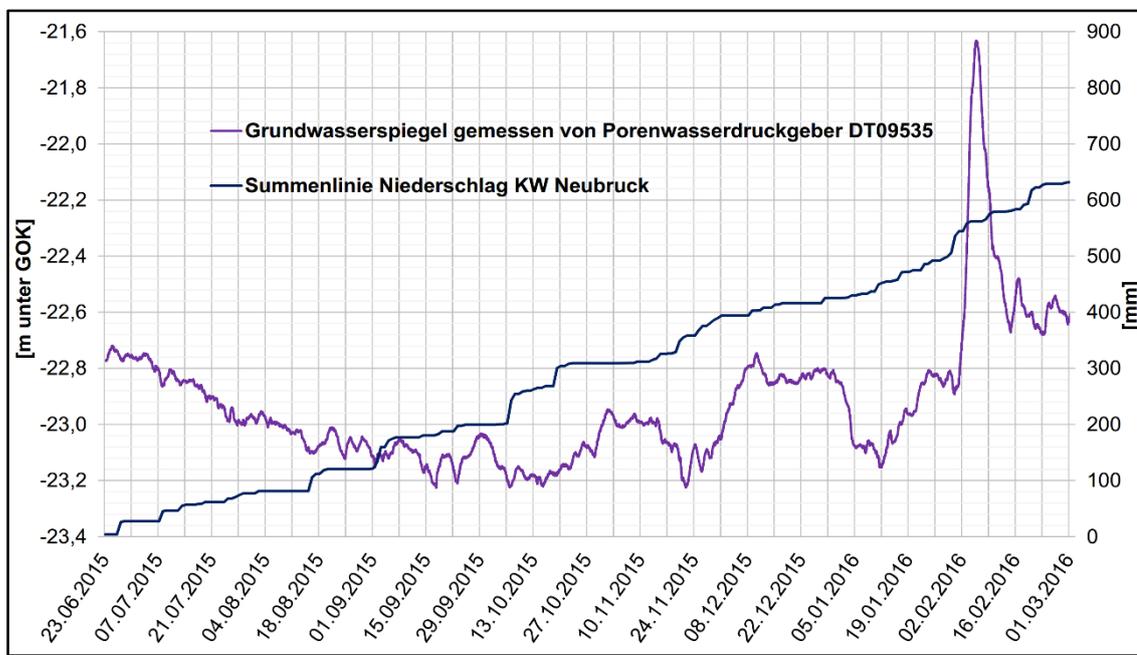


Abb. 44 Porenwasserdruckgeber DT09535 (36 m u. GOK), Verlauf Porenwasserdruck im Vergleich zum Niederschlag am KW Neubruck

Während den Messungen im Bohrloch 5 stieg das Druckniveau im Zeitraum Jänner und Februar 2016 kontinuierlich an. Besonders auffällig ist der Ausschlag im Zeitraum 02.02. bis 09.02.2016, in dem der PW – Geber zuerst einen Anstieg von ca. 1,2 m anschließend eine Absenkung von ca. 1 m aufzeichnete.

Im Bohrloch 4 (in der Nähe des INK 2) sind die beiden PW – Geber DT09540 und DT09537 positioniert. Ersterer befindet sich in einer Tiefe von 22,5 m und gibt für den Zeitraum Juni bis November 2015 einen Wasserdruck von ca. 1,25 bar an, was einem Druckniveau von rund 10 m unter der GOK entspricht. Vom Dezember 2015 bis zum Februar 2016 stieg dieses Druckniveau um ca. einen Meter.

Der seicht eingebaute PW – Geber DT09537 in 7,5 m Tiefe des Bohrlochs 4 zeichnet hingegen einen Wasserdruck von rund 0,44 bar auf. Umgerechnet entspricht dieses Ergebnis einem Druckniveau in rund 3 m Tiefe. Dieser höherliegende Wasserspiegel blieb während dem gesamten Untersuchungszeitraum in derselben Bandbreite von ca. 3 m  $\pm$  0,5 m unter der GOK.

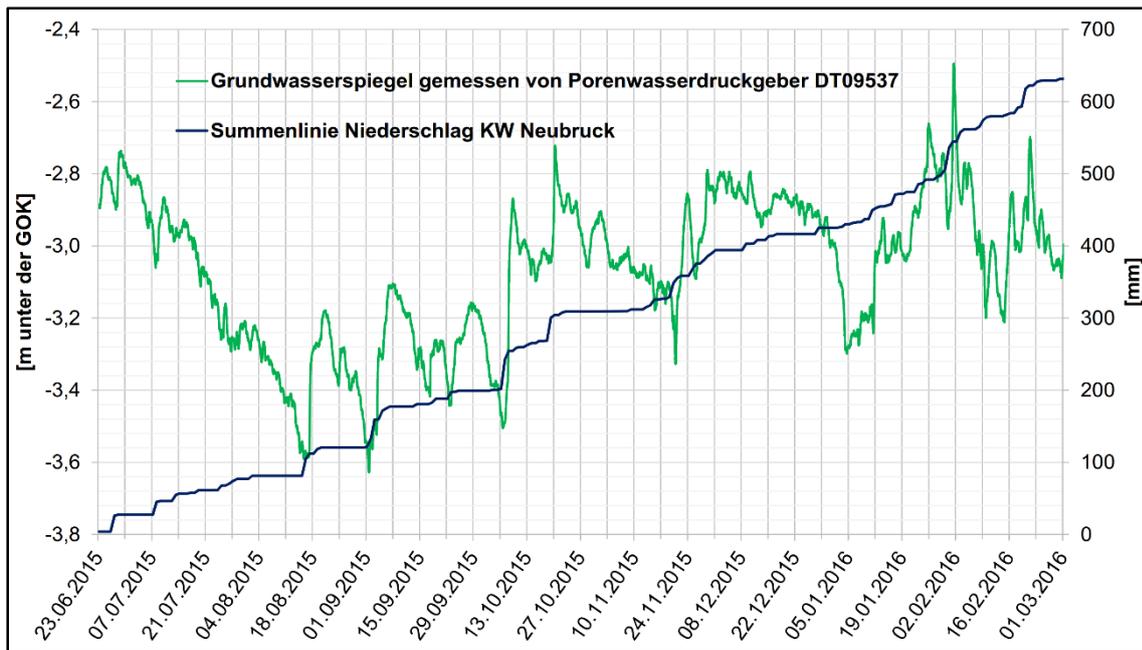


Abb. 45 Porenwasserdruckgeber DT09537 (7,5 m u. GOK), Verlauf Porenwasserdruck im Vergleich zum Niederschlag am KW Neubruck

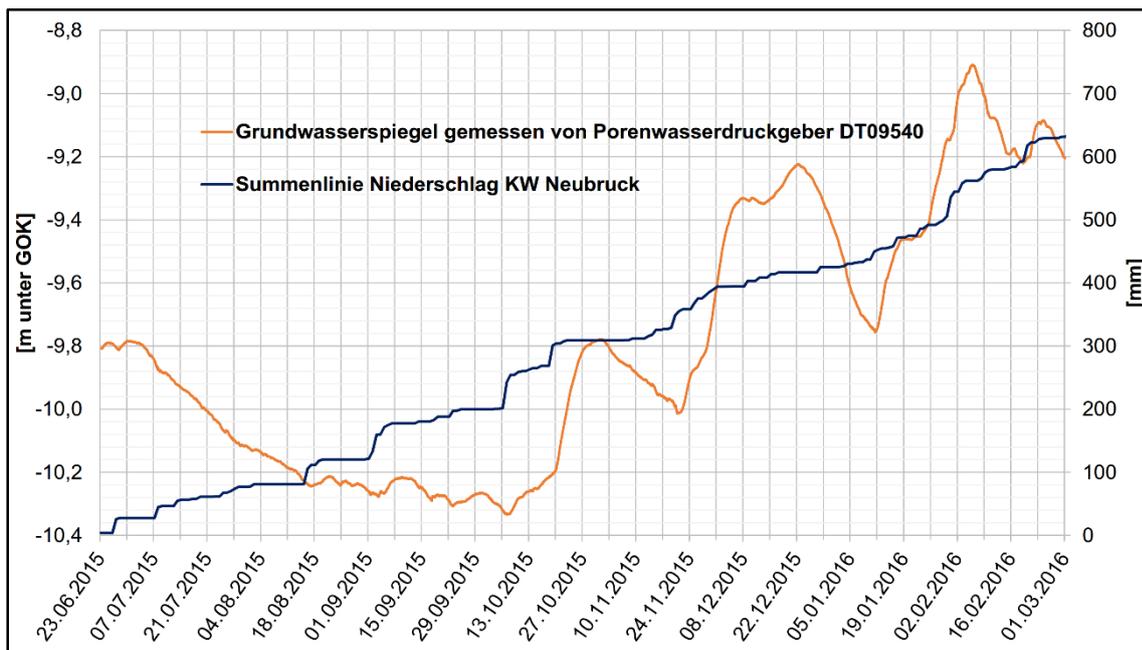


Abb. 46 Porenwasserdruckgeber DT09540 (22,5 m u. GOK), Verlauf Porenwasserdruck im Vergleich zum Niederschlag am KW Neubruck

Die unterschiedlichen Angaben der beiden PW – Geber im Bohrloch 4 lassen auf verschiedene Grundwasserstockwerke bzw. voneinander getrennten wasserführenden Schichten im Bereich der Massenbewegung schließen. In der Abb. 45 ist ersichtlich, dass der obere Wasserspiegel zeitgleich mit Niederschlagsereignissen ansteigt, um bei anschließenden Trockenphasen wieder abzusinken. Ebenso sind die Ausschläge der

Messungen stärker, was auf eine schnellere Beeinflussung durch den Niederschlag und oberflächennahe Wässer hinweist.

Im Gegensatz dazu reagiert das tiefer liegende Druckniveau des PW – Gebers DT09540 weniger empfindlich auf Niederschlagsereignisse, was man am ruhigeren bzw. mit weniger starken Ausschlägen versehenen Verlauf in der Abb. 46 erkennen kann.

Ebenso ist bei der Gegenüberstellung der beiden Porenwasserdrücke im Bohrloch 4 in der Abb. 47 erkennbar, dass die jeweiligen Höchstwerte im tieferliegenden PW – Geber bis zu einer Woche später eintreten bzw. die Erhöhung des Porenwasserdrucks nach einem Niederschlagsereignis erst ein bis zwei Tage später beginnt als beim seichteren PW – Geber.

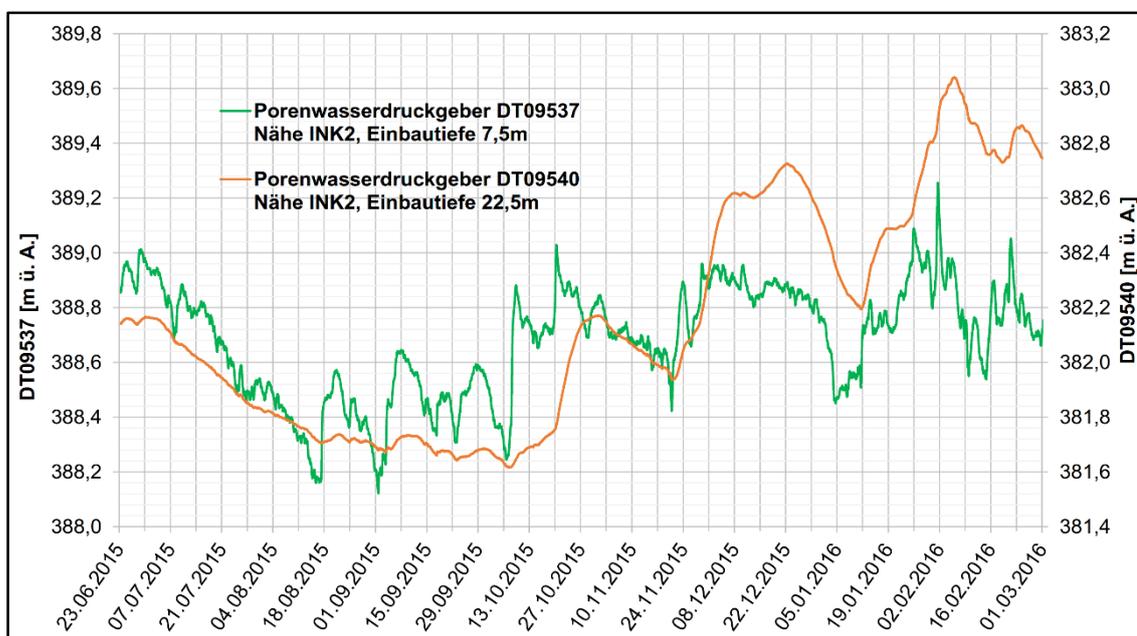


Abb. 47 Gegenüberstellung der Messergebnisse der beiden Porenwasserdruckgeber im Bohrloch 4

Bei der weiteren Analyse fällt auf, dass die beiden tief eingebauten PW – Geber der Bohrlöcher 4 und 5 (DT09535 und DT09540) in den Monaten Jänner und Februar des Jahres 2016 ähnlich auf die Niederschläge reagieren. Wohingegen die Messwerte des seicht installierten PW – Gebers DT09537 sich seit Oktober 2015 in derselben Bandbreite bewegen.

Auffallend ist bei den Verläufen der beiden tiefen PW - Gebern in der Abb. 48, dass die Höchstwerte des Porenwasserdruckes und der Start einer Erhöhung zeitgleich eintreten.

Jedoch stieg der aufgezeichnete Porenwasserdruck des tiefen PW – Gebers im Bohrloch 4, nahe dem INK 2, seit Oktober 2015 stärker an als der des tiefen PW – Gebers im Bohrloch 5.

Für die durchgeführten Berechnungen wurden die Porenwasserdrücke bzw. die daraus resultierenden Wasserspiegel der beiden tief installierten PW – Geber herangezogen, da diese den Porenwasserdruck für die maßgebenden Tiefe der Gleitfuge darstellen.

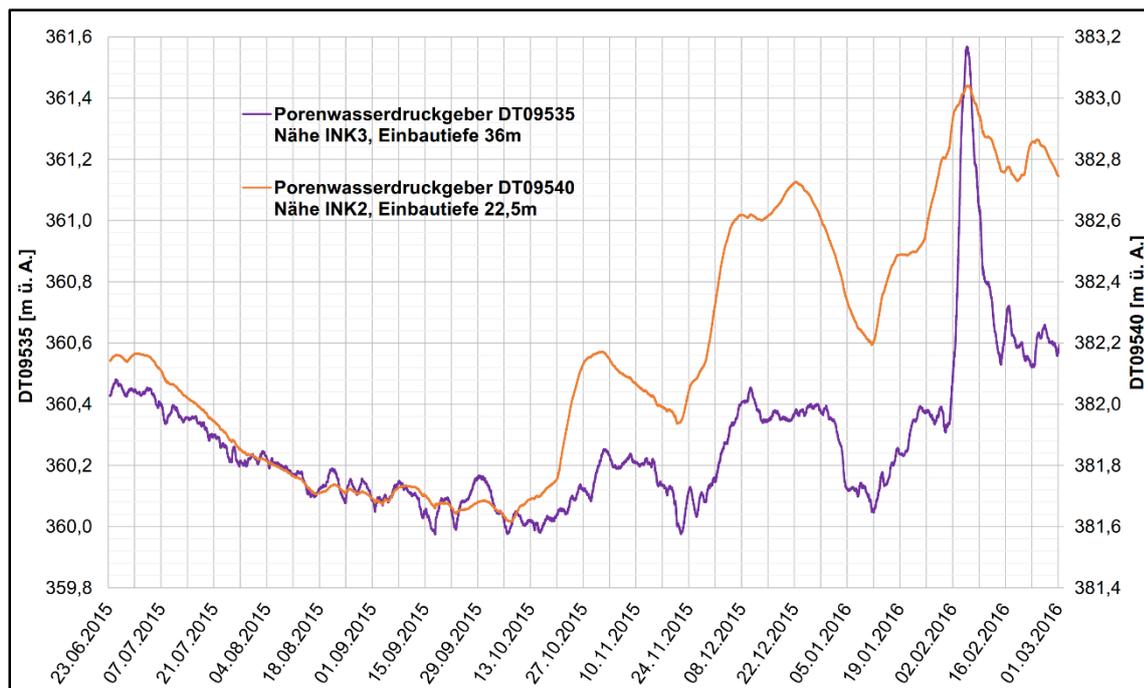


Abb. 48 Gegenüberstellung der Messergebnisse der beiden tief eingebauten Porenwasserdruckgeber

### 5.3.2 Wasserspiegelmessung im Inklinometerrohr 1

Bei den Messungen des Wasserspiegels im INK 1 kann dessen Kommunikation mit bzw. die Beeinflussung durch den Niederschlag in der Abb. 49 gut beobachtet werden. Die gemessenen Höchstwerte treten direkt nach einem Starkniederschlagsereignis auf, erreichen allerdings in den nachfolgenden Tagen wieder ihr ursprüngliches Niveau.

Legt man die Ergebnisse für die Beobachtungszeiträume des seichten Porenwasserdruckgebers im Bohrloch 4 (DT09537) mit der Wasserspiegelmessung des INK 1 übereinander, so ist eine Übereinstimmung der beiden Auswertungen deutlich sichtbar. Dabei wird für die Annahme der GOK der Bohrung 4 der Messpunkt 7 herangezogen. Der Ansatzpunkt der Bohrung 4 liegt ca. 20 cm tiefer als der Messpunkt 7, der bei der 63. FM der Setzungsmessung am 11.06.2015 eine Seehöhe von 391,95 m ü. A. aufwies.

Durch diesen Zusammenhang der Wasserspiegelmessung im INK 1 und dem seicht eingebauten Porenwasserdruckgeber DT09537 ist ersichtlich, dass diese beiden einen höher liegenden Grundwasserspiegel anzeigen als der im Bohrloch 4 tief eingebaute Porenwasserdruckgeber DT09540.

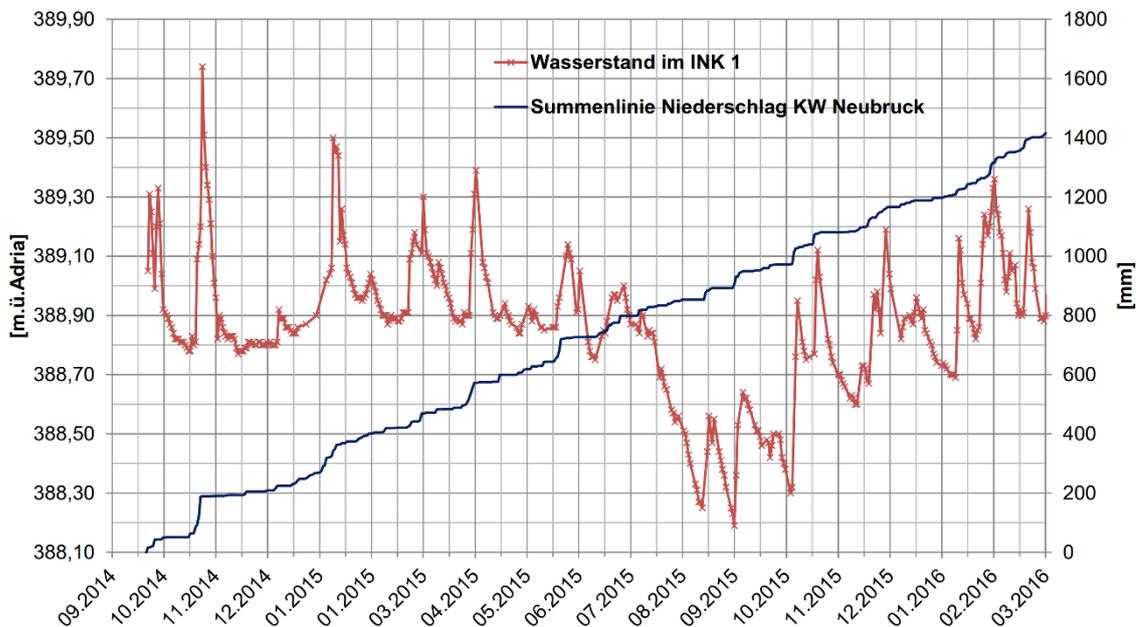


Abb. 49 Wasserspiegelmessung im Inklinometerrohr 1, Verlauf des Wasserspiegels im Vergleich zum Niederschlag am KW Neubruck

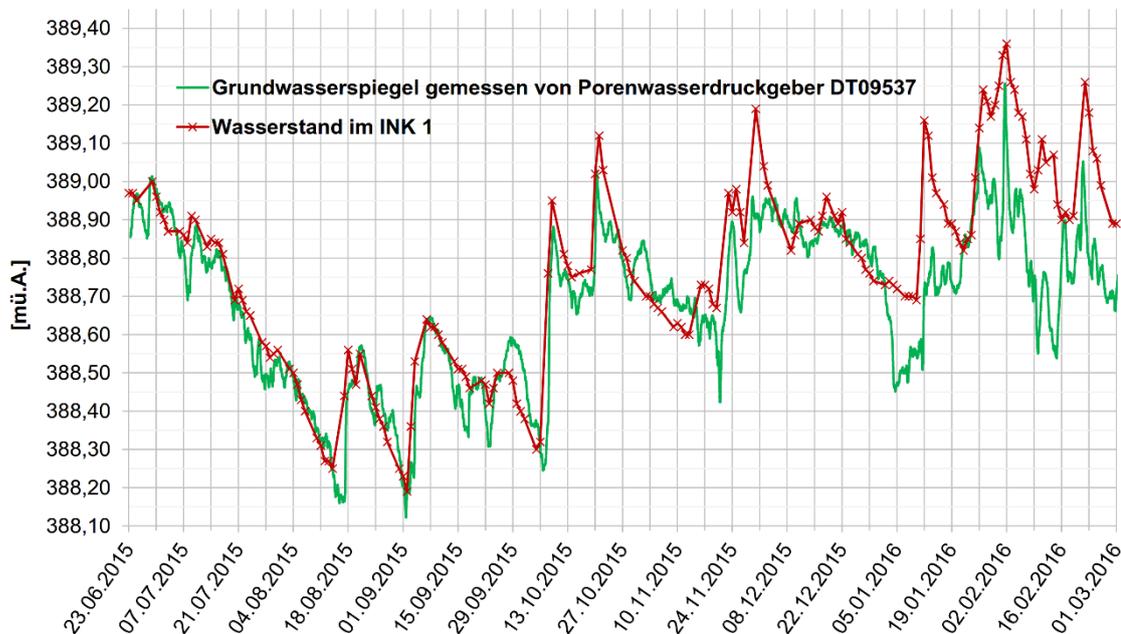


Abb. 50 Gegenüberstellung Wasserspiegel aus DT09537 und INK 1

### 5.3.3 Wasserspiegel im INK 6, INK 7 und INK 8

Bei den ersten Bohrarbeiten für den INK 6 wurde in einer Tiefe von 18,5 m Schichtwasser angetroffen, das in den folgenden Tagen bis auf 18,1 m unter der GOK anstieg. Bei einer Befahrung des INK 6 mit einer Blindsonde wurde der Wasserspiegel bei ca. 18 m ausgemacht.

Bei INK 8 geben die Bohrprotokolle eine beobachtete Schichtwasserführung in 6,7 m Tiefe an. Die Befahrung des Inklinometers mittels einer Blindsonde ca. drei Wochen nach der Bohrung ergab einen Wasserspiegel in rund 7 m Tiefe.

Während der Bohrung für den INK 7 wurde lt. Bohrprotokoll weder Grundwasser noch eine Schichtwasserführung angetroffen. Bei der erstmaligen Befahrung des Inklinometers mit einer Blindsonde traf man auf einen Wasserspiegel in ca. 11,3 m Tiefe.

Die Erkenntnisse über das Niveau des Wasserspiegels im INK 6 und 8 wurden später für die Modellbildung berücksichtigt.

### 5.4 Überlagerung der einzelnen Phasen mit erhöhten Bewegungsraten

Bei einer gesammelten Darstellung aller Phasen mit erhöhten Bewegungsraten fällt auf, dass drei Zeiträume bei beinahe allen Messeinrichtungen angezeigt werden. Als Ausnahme sind hier die Messpunkte 16 – 18 zu erwähnen, da diese am Rand bzw. außerhalb der Massenbewegung liegen und seit den Bauarbeiten am Ersatzstollen im Jahr 2014 durch den Baustellenverkehr beeinflusst werden.

Folgende drei Perioden werden von allen Messgruppen bzw. Inklinometern angezeigt:

- a. Ende Dezember 2011 – Ende Februar 2012
- b. Dezember 2012 – April 2013
- c. April 2014 – Juni 2014

Betrachtet man die Ergebnisse der geodätischen Messpunkte der Messgruppen Oben und Unten, so kann zwischen November 2010 und April 2011 ebenfalls eine Starkbewegungsphase angenommen werden.

Ein Resultat der Gegenüberstellung aller Phasen großer Hangbewegung ist, dass die Bewegungsphasen sich nicht nur auf einen jährlich wiederkehrenden Zeitraum begrenzen (z.B. Bewegung nur im Frühjahr während der Schneeschmelze). Die drei großen Bewegungsperioden in den 5 Messjahren fanden in unterschiedlichen Jahreszeiten statt.

Die grauen Balken in Abb. 51 bzw. Abb. 52 stellen Zeiträume dar, in denen die einzelnen Messeinrichtungen noch nicht installiert wurden bzw. bereits ausgefallen sind (z.B: INK 1).

Die installierten INK 7 und 8 sowie das Ketteninklinometer im INK 6 werden in diesen Abbildungen nicht angeführt, da sie bis zur Erstellung dieser Arbeit noch keine erhöhten Bewegungsphasen aufgezeichnet hatten.

Bei der Berechnung der Bewegungsraten der einzelnen Bewegungsphasen ergeben sich Größenordnungen von ca. 11 bis über 80 mm/Jahr, wohingegen die dazwischenliegenden Messwerte alle eine Bewegungsrate von  $< 10$  mm/Jahr aufweisen (siehe Abb. 52).

Für die Berechnung der Verschiebungsgeschwindigkeiten der Messpunktgruppe W1 – W5 wurden nur die beiden Punkte W4 und W5 herangezogen, da nur diese eine nennenswerte Verformung über den Beobachtungszeitraum erfuhren.

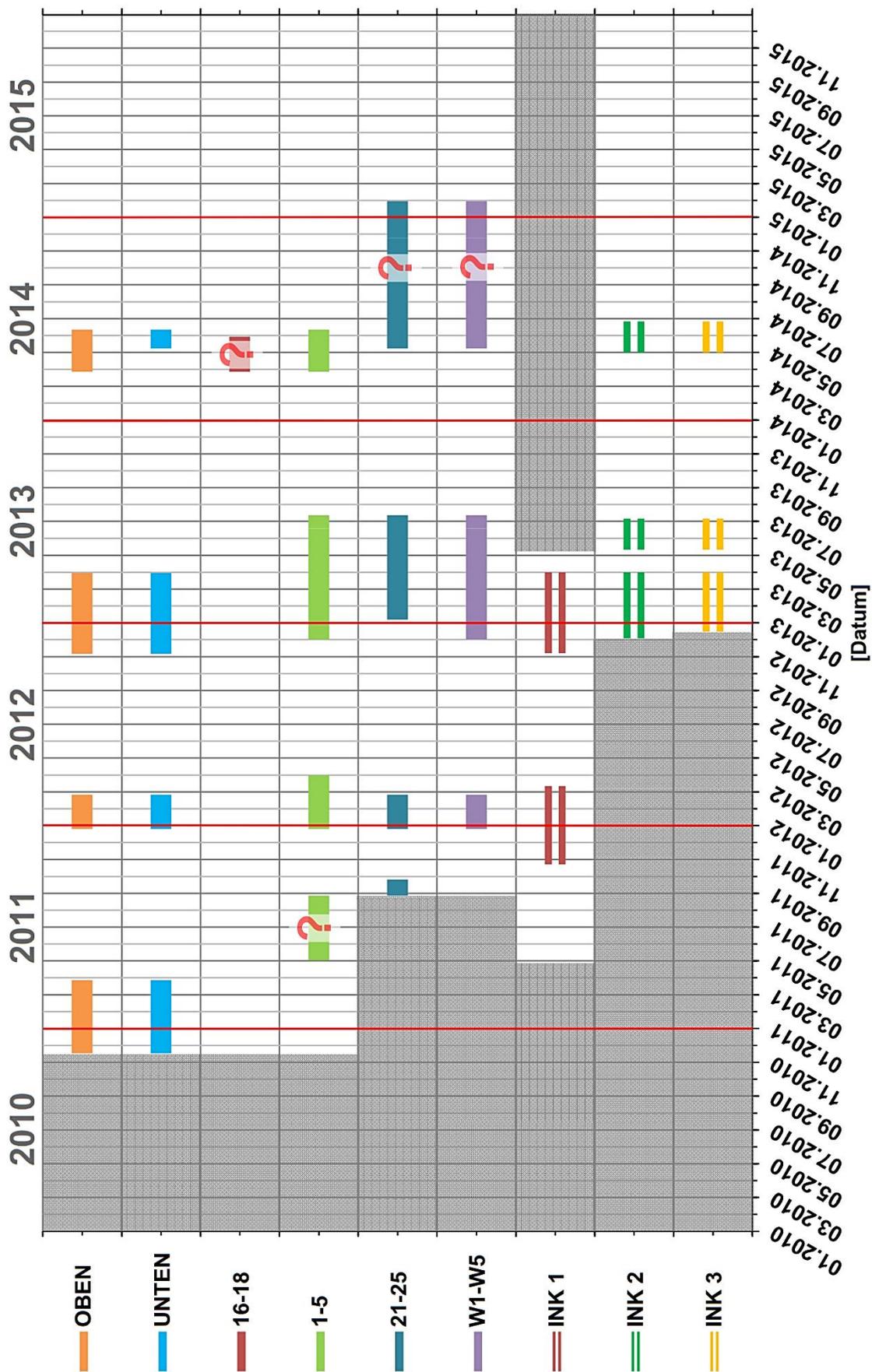


Abb. 51 Bewegungsphasen der einzelnen Messeinrichtungen

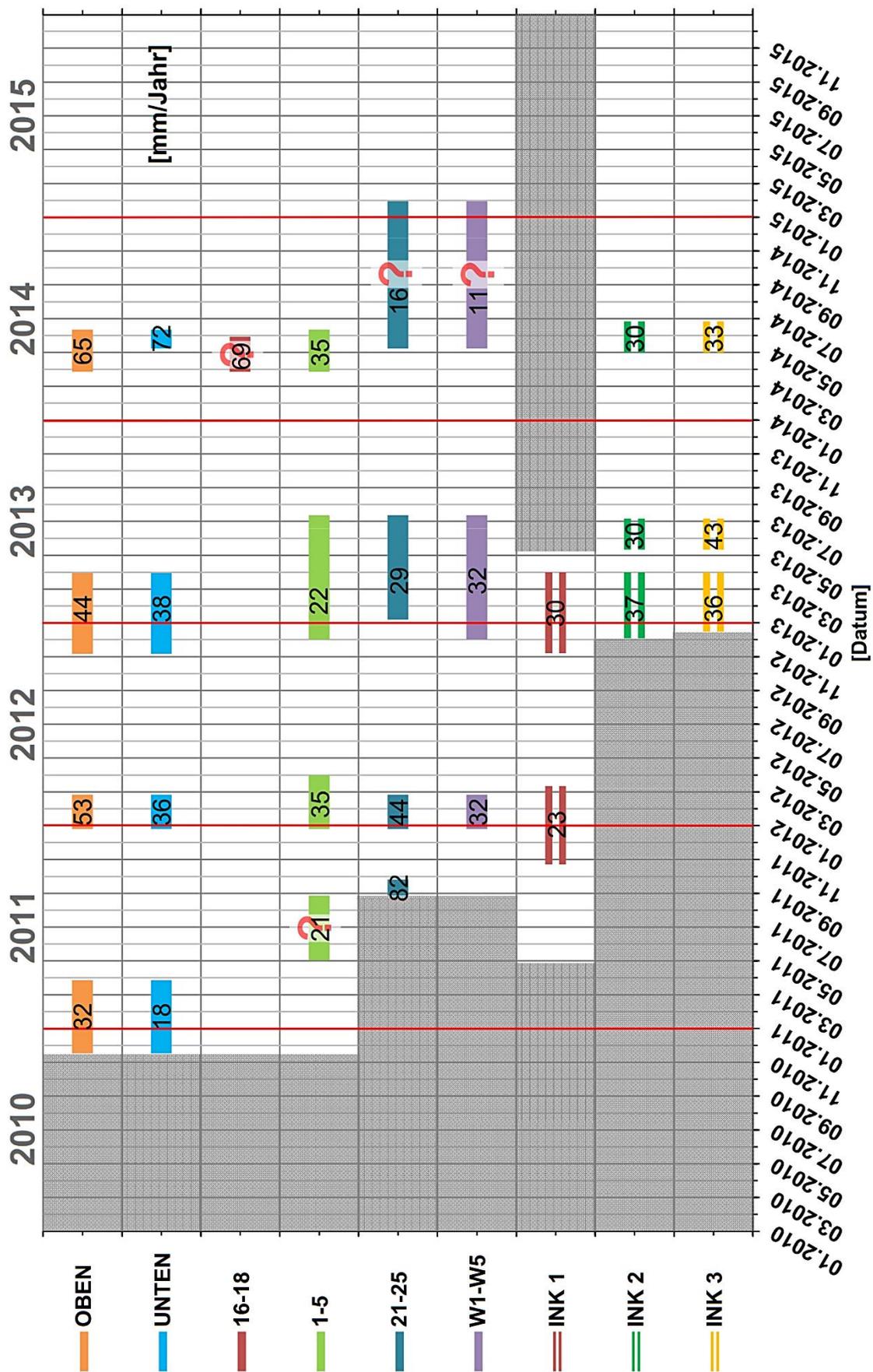


Abb. 52 Geschwindigkeiten [mm/Jahr] der Bewegungsphasen

## 5.5 Niederschlag

Wie bereits erwähnt, wurden für die Ermittlung bzw. Kontrolle der Niederschlagsmessdaten mehrere Messstellen berücksichtigt. Um für den gesamten Zeitraum der geodätischen Messungen Niederschlagswerte zu bekommen, mussten die aufgezeichneten Daten vom KW Neubruck mit denen der Messstelle St. Anton an der Jeßnitz kombiniert werden.

Somit setzt sich die für die Interpretation herangezogene Niederschlagssummenlinie aus den Messwerten der Messstelle St. Anton an der Jeßnitz (01.01.2010 – 19.08.2012) und den in situ durchgeführten Messungen am Kraftwerk (ab 20.08.2012 bis dato) zusammen.

Vergleicht man die vollständigen Aufzeichnungen der Jahre 2013 - 2015 des KW Neubruck, so ist in der Abb. 53 erkennbar, dass in den Niederschlagssummenlinien der einzelnen Jahre starke Diskrepanzen vorhanden sind. Das Jahr 2015 weist mit ca. 930 mm deutlich weniger Niederschlag auf als die beiden Jahre zuvor, die ca. 1250 – 1400 mm Jahresniederschlag zeigen. Gleichzeitig sind im Jahr 2015 nur in den Messgruppen am Fuß der Massenbewegung leicht erhöhte Bewegungsraten beobachtet worden.

Stellt man die Niederschlagssummenlinien der drei betrachteten Messstellen gegenüber, so fällt in der Abb. 54 auf, dass die Aufzeichnungen Kienberg und St. Anton an der Jeßnitz beinahe dieselben Ergebnisse liefern. Im Gegensatz dazu zeichnet die Niederschlagsmessstelle am KW Neubruck zwar dieselben Ereignisse auf, allerdings immer mit einer etwas geringeren Intensität. Im Schnitt misst diese Messstelle um ca. 250 mm/Jahr weniger Niederschlag als die beiden anderen Messstellen, die vom Hydrographischen Dienst Österreichs betrieben werden.

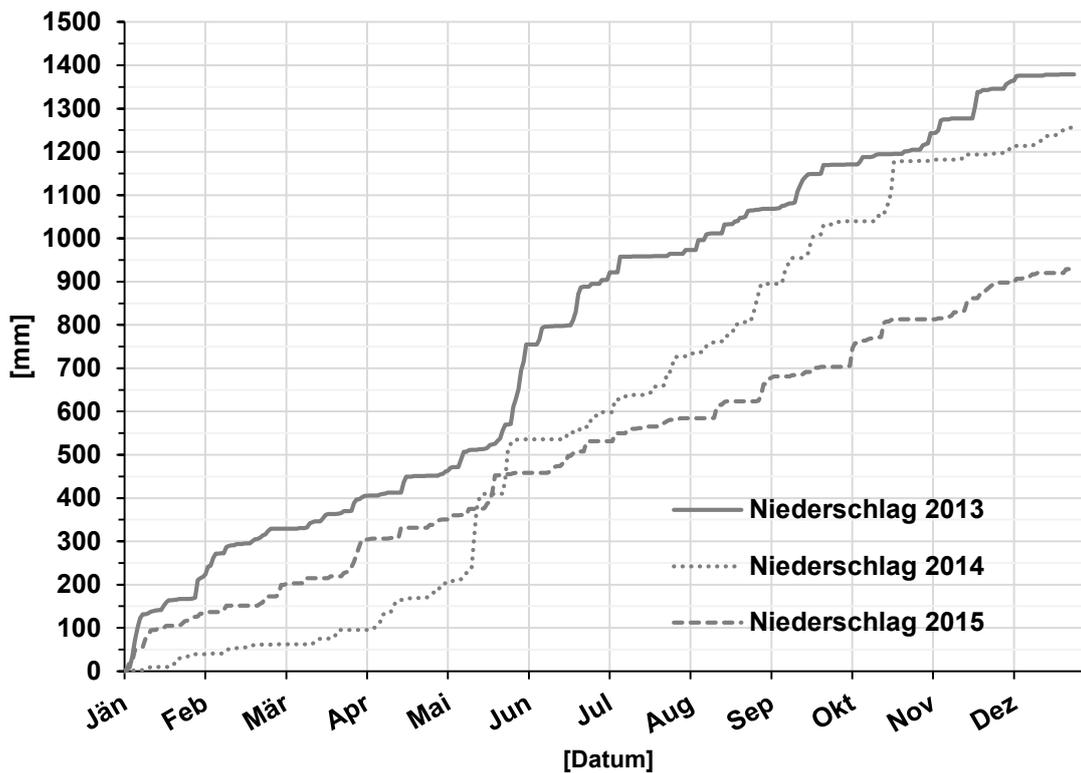


Abb. 53 Vergleich der Niederschlagsdaten am KW Neubruck 2013 - 2015

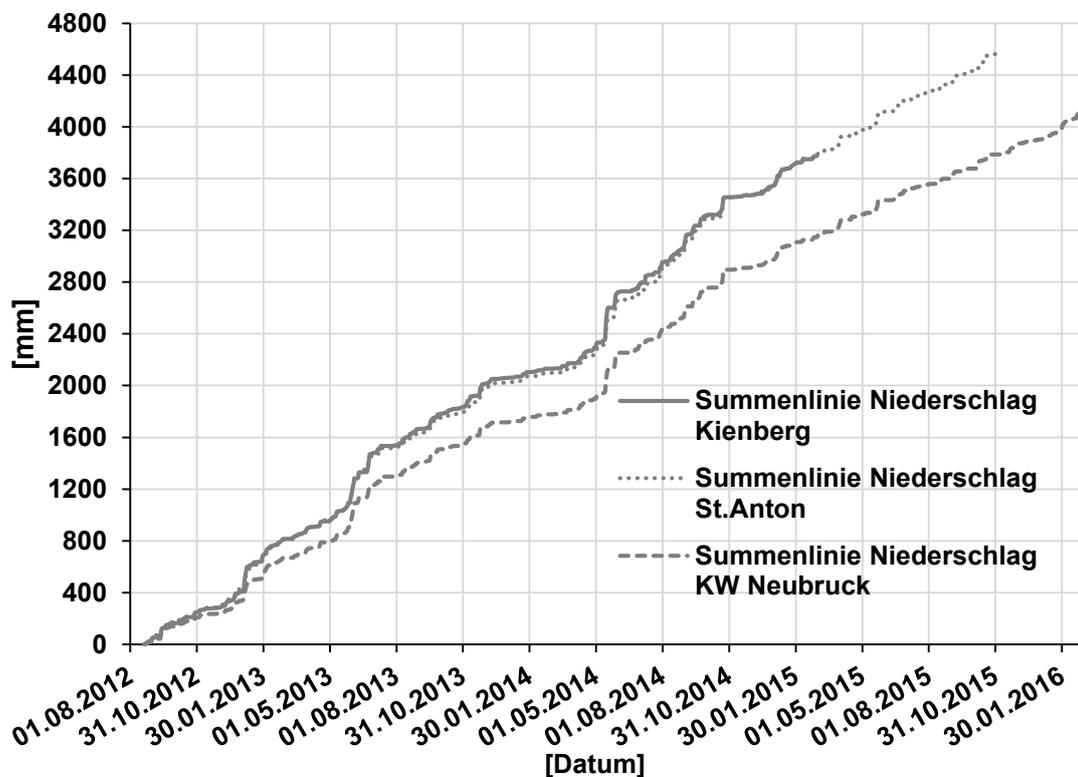


Abb. 54 Vergleich der Niederschlagsdaten aller drei Messstellen

Trotzdem wurde für die weitere Untersuchung des Einflusses des Niederschlages auf die Massenbewegung ab dem August des Jahres 2012 die vor Ort ermittelten Messwerte mit dem Wissen verwendet, dass die Messstelle am KW Neubruck geringere Niederschlagsmengen, jedoch dieselben Niederschlagsereignisse aufzeichnet. Diese Vermutung stützt sich auf die beinahe identischen Aufzeichnungen der Messstellen Kienberg und St. Anton an der Jeßnitz.

### 5.5.1 Zusammenhang Niederschlag – Bewegungsraten

Für die Analyse der Zusammenhänge zwischen den Niederschlägen und den auftretenden Bewegungen des Rutschhanges wurden mehrere Methoden herangezogen, die im folgenden Kapitel erklärt werden.

Die erste Herangehensweise befasst sich mit den Intensitäten [mm/d] der Niederschläge. Dabei wird die Niederschlagsmenge von direkt aufeinanderfolgenden Regentagen gemittelt und die Anzahl der Regentage sowie das berechnete Niederschlagsmittel in einem Diagramm eingetragen.

Die zweite Methode betrachtet die im Kapitel 5.4 zusammengefassten Bewegungsphasen und ermittelt, ob die Niederschläge in diesen Zeiträumen über oder unter dem Jahresmittelniederschlag liegen. Darüber hinaus wurde auch analysiert, ob die dazwischenliegenden Phasen mit einer geringen Verschiebungsrates bzw. einem Stillstand im Umkehrschluss dann unterdurchschnittliche Niederschlagsmengen aufweisen oder nicht.

Die dritte Gegenüberstellung befasst sich mit der Niederschlagssummenlinie und deren Trendlinie. Dabei wurden Perioden bestimmt die deutlich über dem Durchschnittsniederschlag liegen. Anschließend wurden diese Zeiträume auf einen Zusammenhang hinsichtlich erhöhter Bewegungsrates untersucht.

#### 5.5.1.1 Gegenüberstellung Niederschlagsdauer zu Intensität

Wie im Absatz 5.5.1 beschrieben, wurde bei dieser Methode die Niederschlagsintensität von aufeinanderfolgenden Regentagen gemittelt und anschließend gemeinsam mit der Anzahl der Regentage in einem Diagramm eingetragen.

Das Diagramm wird mit einer Grenzlinie ergänzt, dessen Funktion  $y(x) = \frac{WERT}{x}$  lautet. Für „Wert“ wird der Startwert der Grenzlinie angegeben. In diesem Fall liegt der Startwert bei 190, da bei dieser Darstellung das erste Niederschlagsereignis über der Grenzlinie liegt.

Nun wird in Zehnerschritten der Wert der Grenzlinie verringert und beobachtet, ob dabei weitere Niederschlagsereignisse unterschritten werden. Wenn ein Regenereignis über einer Grenzlinie liegt, wird evaluiert ob sich dieser Niederschlag innerhalb einer Phase mit erhöhten Bewegungsraten befindet oder nicht. Dieser Zusammenhang wird für jede erstellte Grenzlinie prozentuell angegeben. Wenn z.B. in Summe vier Ereignisse über der Grenzlinie 130 liegen und drei davon fanden während verstärkten Bewegungsphasen statt, so weisen 75 % der Regenereignisse bei der Grenzlinie 130 erhöhte Verschiebungsgeschwindigkeiten auf.

Die Berechnung der einzelnen Grenzlinien können der Tab. 4 entnommen werden.

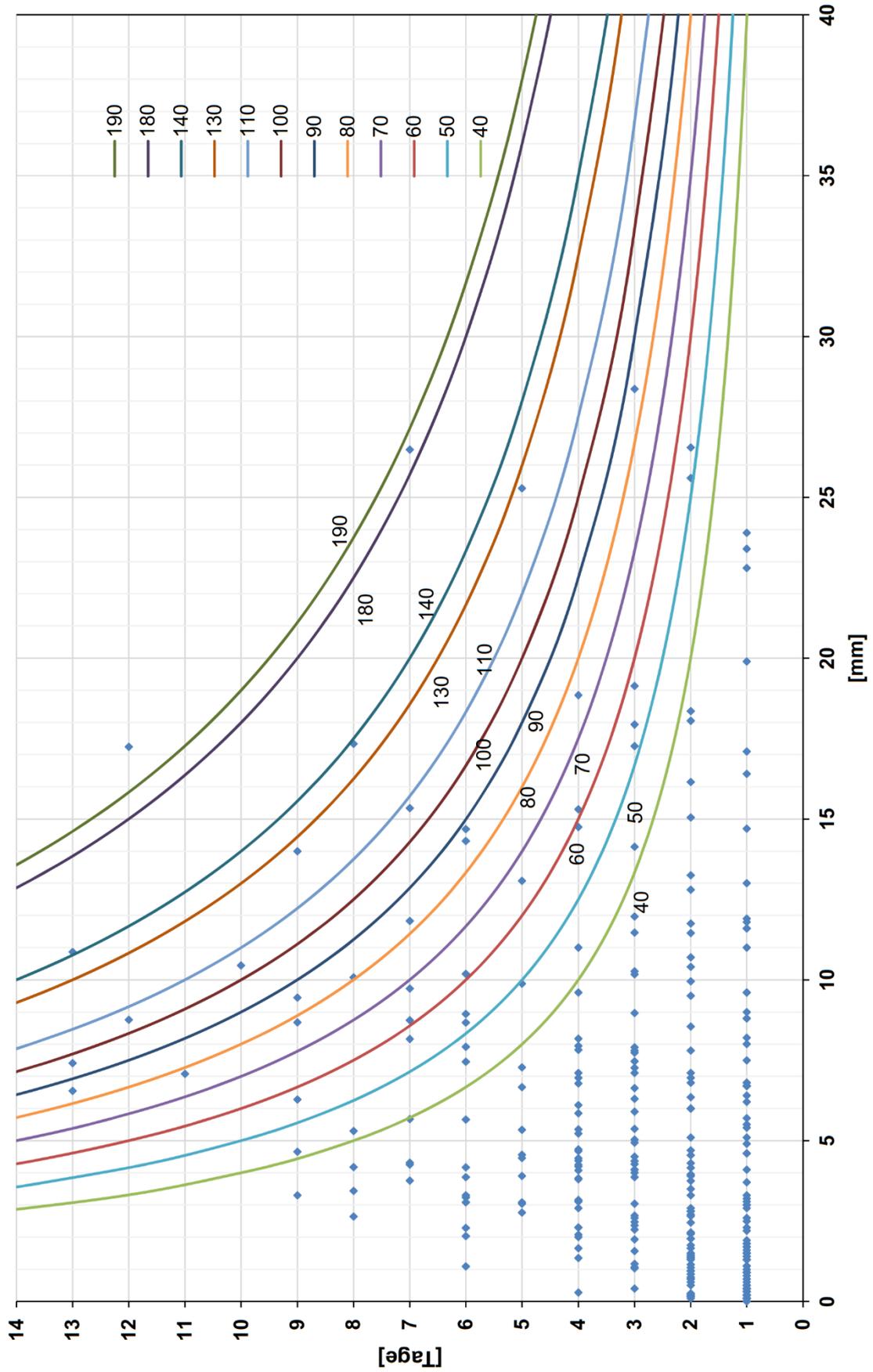


Abb. 55 Vergleich Niederschlagsdauer [Tage] zu Intensität [mm]

Ziel dabei ist es, ein Diagramm zu erstellen, anhand dessen man in Zukunft für diese Massenbewegung den wahrscheinlichen Einfluss des Niederschlagsereignisses auf die Bewegungsraten abschätzen kann.

Tab. 4 Auswertung: Vergleich Niederschlagsdauer zu Intensität

<b>GL 190</b>	Niederschlagsereignisse	1		<b>GL 90</b>	Niederschlagsereignisse	10	
	Ereignisse innerhalb eines Bewegungszeitraumes (Über GL190)	1	100%		Ereignisse innerhalb eines Bewegungszeitraumes (Über GL90)	9	90%
<b>GL 180</b>	Niederschlagsereignisse	2		<b>GL 80</b>	Niederschlagsereignisse	17	
	Ereignisse innerhalb eines Bewegungszeitraumes (Über GL180)	2	100%		Ereignisse innerhalb eines Bewegungszeitraumes (Über GL80)	11	65%
<b>GL 140</b>	Niederschlagsereignisse	3		<b>GL 70</b>	Niederschlagsereignisse	20	
	Ereignisse innerhalb eines Bewegungszeitraumes (Über GL140)	3	100%		Ereignisse innerhalb eines Bewegungszeitraumes (Über GL70)	14	70%
<b>GL 130</b>	Niederschlagsereignisse	4		<b>GL 60</b>	Niederschlagsereignisse	25	
	Ereignisse innerhalb eines Bewegungszeitraumes (Über GL130)	3	75%		Ereignisse innerhalb eines Bewegungszeitraumes (Über GL60)	16	64%
<b>GL 120</b>	Niederschlagsereignisse	6		<b>GL 50</b>	Niederschlagsereignisse	35	
	Ereignisse innerhalb eines Bewegungszeitraumes (Über GL120)	5	83%		Ereignisse innerhalb eines Bewegungszeitraumes (Über GL50)	23	66%
<b>GL 100</b>	Niederschlagsereignisse	9		<b>GL 40</b>	Niederschlagsereignisse	42	
	Ereignisse innerhalb eines Bewegungszeitraumes (Über GL100)	8	89%		Ereignisse innerhalb eines Bewegungszeitraumes (Über GL40)	28	67%

#### Ein Beispiel:

Im Frühjahr tritt ein drei Tage andauerndes Niederschlagsereignis auf. Um beurteilen zu können, ob dieser Regenschauer einen Einfluss haben könnte, nimmt man das vorhin beschriebene Diagramm zur Hand und trägt besagtes Ereignis ein.

Als Ergebnis der Darstellung erhält man, dass das Niederschlagsereignis über der Grenzlinie 80 liegt. Bei der Grenzlinie 80 wiesen z.B: 65 % der bisher aufgetragenen Regenereignisse erhöhte Verschiebungsgeschwindigkeiten auf.

Daraus ergibt sich eine 65 %ige Wahrscheinlichkeit, dass der nun aufgetragene Niederschlagsfall ebenfalls zu erhöhten Bewegungsraten führen wird.

In diesem Fall ist diese Analyseverfahren nicht sehr praktikabel, da hierbei nur ununterbrochene Regenereignisse berücksichtigt werden. Sollten zum Beispiel innerhalb von einer Woche drei Tage mit Niederschlagsereignissen gezählt werden, gefolgt von einem Tag ohne Regen und anschließend wieder drei Tage mit Niederschlägen vorherrschen,

so werden diese Regenschauer im Diagramm als zwei getrennte Vorfälle analysiert und nicht als z.B. eine niederschlagsreiche Kalenderwoche. Aus diesem Grund kam es zu weiteren Untersuchungen der Zusammenhänge Niederschlag – Bewegungsphasen.

### 5.5.1.2 Gegenüberstellung Bewegungsphasen mit Niederschlag

Bei dieser Analyse wurden die Auswertungen der Bewegungsphasen der einzelnen Messeinrichtungen mit den dazugehörigen Niederschlägen korreliert. Dabei kam es zur Analyse, ob die vorhandenen Niederschlagsmengen während bzw. außerhalb der Zeiträume mit erhöhter Verschiebungsgeschwindigkeit sich über – oder unterdurchschnittlich zum Jahresmittelniederschlag verhalten.

Als Richtwert für den Jahresmittelniederschlag kamen zwei Werte zum Einsatz. Der erste Wert bezieht sich auf die Ergebnisse des Hydrographischen Dienstes Österreichs, die für die Region, in der sich die Massenbewegung Fürteben befindet (Gitterpunkt 3315), einen Durchschnittsniederschlag von 1411 mm für den Zeitraum 1981 – 2010 angeben (Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft, 2014).

Der zweite Richtwert für den Durchschnittsniederschlag ergab sich aus den Niederschlagsmessungen am KW Neubruck, die für die Jahre 2013 – 2015 einen Jahresdurchschnitt von 1188 mm aufweisen.

Die Resultate der Gegenüberstellung lassen sich in der Tab. 5 ablesen. Demnach sind bei einem Vergleichswert von 1411 mm in mehr als zwei Dritteln der Bewegungsphasen überdurchschnittliche Niederschläge aufgezeichnet worden. Bei 3 % der dazwischenliegenden Ruhephasen zeigen die Aufzeichnungen ebenfalls einen überdurchschnittlichen Niederschlag.

Tab. 5 Auftreten von Starkniederschlagsphasen in Bewegungs- und Ruhephasen

	<b>Ø Niederschlag 1981 - 2010 [1411 mm/Jahr]</b>	<b>Ø Niederschlag KW Neubruck, 2012-2014 [1188 mm/Jahr]</b>
<b>Bewegungsphase mit überdurchschnittlichem Niederschlag</b>	<b>71%</b>	<b>89%</b>
<b>Ruhephase mit überdurchschnittlichem Niederschlag</b>	<b>3%</b>	<b>28%</b>

Wird als Referenzwert der mittlere Jahresniederschlag am KW Neubruck verwendet, so sind in rund 90 % der Perioden mit erhöhter Verschiebungsgeschwindigkeit auch überdurchschnittliche Regenereignisse aufgetreten. Eine Analyse der Ruhephasen ergibt, dass in rund 30 % dieser Zeiträume ebenfalls eine erhöhte Niederschlagsrate aufgezeichnet wurde.

### **5.5.1.3 Gegenüberstellung überdurchschnittlicher Niederschläge mit den Bewegungsphasen**

Bei dieser Methode wurde zuerst die Niederschlagssummenlinie des gesamten Beobachtungszeitraumes analysiert und Steigungen bestimmt, die steiler als die Trendlinie verlaufen (siehe Abb. 56).

Anschließend wurden die Niederschläge in diesen Zeiträumen ermittelt und der sich aus diesen Abschnitten ergebende theoretische Jahresniederschlag berechnet. Alle acht untersuchten Bereiche ab dem Jahr 2010 weisen eine deutlich über dem Jahresmittelniederschlag von 1411 mm liegende Niederschlagsrate auf. Wie eingangs in diesem Kapitel erwähnt, setzt sich die dafür herangezogene Niederschlagssummenlinie aus den Messwerten der Messstelle St. Anton an der Jeßnitz (01.01.2010 – 19.08.2012) und den in situ durchgeführten Messungen am Kraftwerk (ab 20.08.2012 bis dato) zusammen.

Die durchschnittliche Dauer der analysierten Niederschlagsphasen liegt bei zwei Monaten. Einzig der Zeitraum von Sommer bis Herbst 2011 erstreckt sich mit vier Monaten deutlich über die Durchschnittslänge der acht Niederschlagsperioden.

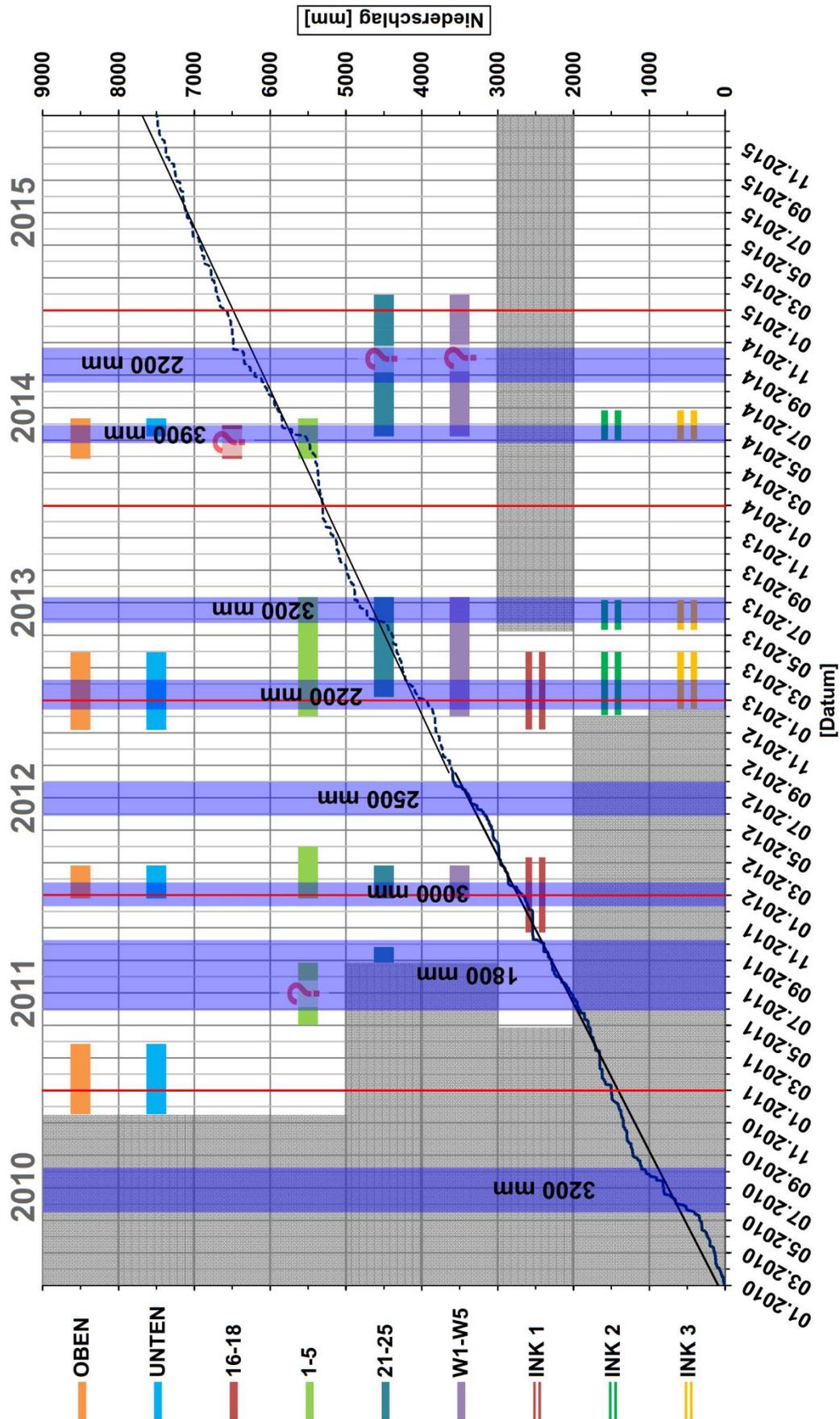


Abb. 56 Starkniederschlagsphasen 2010-2015 überlagert mit den Bewegungsphasen

Im letzten Schritt kam es zu einem Vergleich der Zeiträume erhöhten Niederschlags mit den Bewegungsphasen der jeweiligen Messgruppen. Dabei wurde folgender in der Tab. 6 dargestellter Zusammenhang ersichtlich.

Tab. 6 Starkniederschlagsphasen 2010-2015 überlagert mit Bewegungsphasen

<b>2010 - 2015 Kombination St. Anton und KW Neubruck</b>					
<b>Phase</b>	<b>Niederschlag über dem Durchschnitt</b>		<b>Tage</b>	<b>[mm]</b>	<b>[mm im Jahr]</b>
1	13.05.2010	07.08.2010	86	754	<b>3200</b>
2	27.05.2011	12.10.2011	138	677	<b>1800</b>
3	07.12.2011	25.01.2012	49	397	<b>3000</b>
4	31.05.2012	02.08.2012	63	430	<b>2500</b>
5	09.12.2012	09.02.2013	62	374	<b>2200</b>
6	21.05.2013	10.07.2013	50	442	<b>3200</b>
7	27.04.2014	31.05.2014	34	366	<b>3900</b>
8	12.08.2014	23.10.2014	72	439	<b>2200</b>
<b>Starkniederschläge</b>					
	während einer Bewegungsphase		5	62,5%	
	während einer möglichen Bewegungsphase		1	12,5%	
	während einer Ruhephase bzw. Stillstand		1	12,5%	
	vor Beginn der Messungen		1	12,5%	
<b>Starkniederschlagsphasen</b>			<b>8</b>	<b>100%</b>	

Ähnlich wie bei den Ergebnissen der zweiten Methode, beschrieben in Absatz 5.5.1.2, weisen etwa zwei Drittel der Zeiträume mit überdurchschnittlichem Niederschlag erhöhte Bewegungsraten bei mindestens einer beobachteten Messgruppe auf.

Eine Periode mit starken Niederschlägen überlagert sich mit der leichten Bewegungsphase der Messgruppen 21 – 25 sowie W1 – W5 im Herbst des Jahres 2014.

Nur ein Zeitabschnitt mit Starkniederschlägen überlagert sich mit keiner aufgezeichneten Bewegungsphase. Die nächsten Bewegungen konnten erst ca. 3,5 Monate nach diesem Niederschlagsereignis im Sommer 2012 aufgezeichnet werden.

Für die Gegenüberstellung überdurchschnittlicher Niederschlagsphasen mit den Bewegungsphasen des Rutschhanges muss allerdings der Zustand der Niederschläge berücksichtigt werden. Zwei Bereiche erhöhten Niederschlags erstrecken sich nämlich über die Wintermonate. Dabei muss angenommen werden, dass ein Großteil der Niederschläge in Form von Schnee aufgetreten ist und somit erst bei der Schneeschmelze im darauffolgenden Frühjahr einen Einfluss auf die Grundwasserverhältnisse des Geländes haben konnte. Bei beiden Bereichen über die Wintermonate reichen die betroffenen

Bewegungsphasen mind. einen Monat, sogar bis zu zwei Monate länger als die Starkniederschlagsphase.

Zusätzlich zu den Niederschlagsdaten während des Messzeitraumes ab 2010 wurden die Beobachtungen der Niederschlagsmessstelle St. Anton an der Jeßnitz über dem Zeitraum 2000 – 2010 analysiert. Dabei stellte sich heraus, dass dieses Jahrzehnt ebenso mit stark überdurchschnittlichen Niederschlagsperioden gesäumt ist und somit die Aufzeichnungen 2010 – 2015 keine Ausnahmeerscheinungen darstellen.

Die durchschnittliche Dauer der elf untersuchten Phasen beträgt rund zweieinhalb Monate. Auffallend sind dabei die beiden Niederschlagsphasen im Jahr 2009, also dem Baujahr des KW Neubruck und die Niederschlagsphase im Jahr 2010. Das Kalenderjahr 2009 war mit 1942 mm im Vergleich zum Jahresdurchschnittsniederschlag von 1411 mm für den Zeitraum 1981 – 2010 auch ein sehr niederschlagsreiches Jahr (Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft, 2014).

In der folgenden Tab. 7 können die einzelnen Starkregenphasen der Jahre 2000 – 2010 eingesehen werden. Die untersuchten Zeiträume erstrecken sich im Durchschnitt über zweieinhalb Monate.

Tab. 7 Starkregenphasen der Messstelle St. Anton an der Jeßnitz 2000 - 2010

<b>2000 - 2010 St Anton Jeßnitz</b>					
<b>Phase</b>	<b>Niederschlag über dem Durchschnitt</b>		<b>Tage</b>	<b>[mm]</b>	<b>[mm im Jahr]</b>
1	15.01.2000	01.04.2000	77	437	<b>2100</b>
2	16.07.2001	26.09.2001	72	524	<b>2700</b>
3	06.08.2002	11.11.2002	97	755	<b>2800</b>
4	17.07.2003	09.10.2003	84	462	<b>2000</b>
5	25.06.2005	26.08.2005	62	520	<b>3100</b>
6	23.05.2006	08.08.2006	77	717	<b>3400</b>
7	03.09.2007	14.11.2007	72	595	<b>3000</b>
8	12.07.2008	26.09.2008	76	519	<b>2500</b>
9	08.02.2009	29.03.2009	49	460	<b>3400</b>
10	19.06.2009	11.09.2009	84	916	<b>4000</b>
11	13.05.2010	07.08.2010	86	754	<b>3200</b>

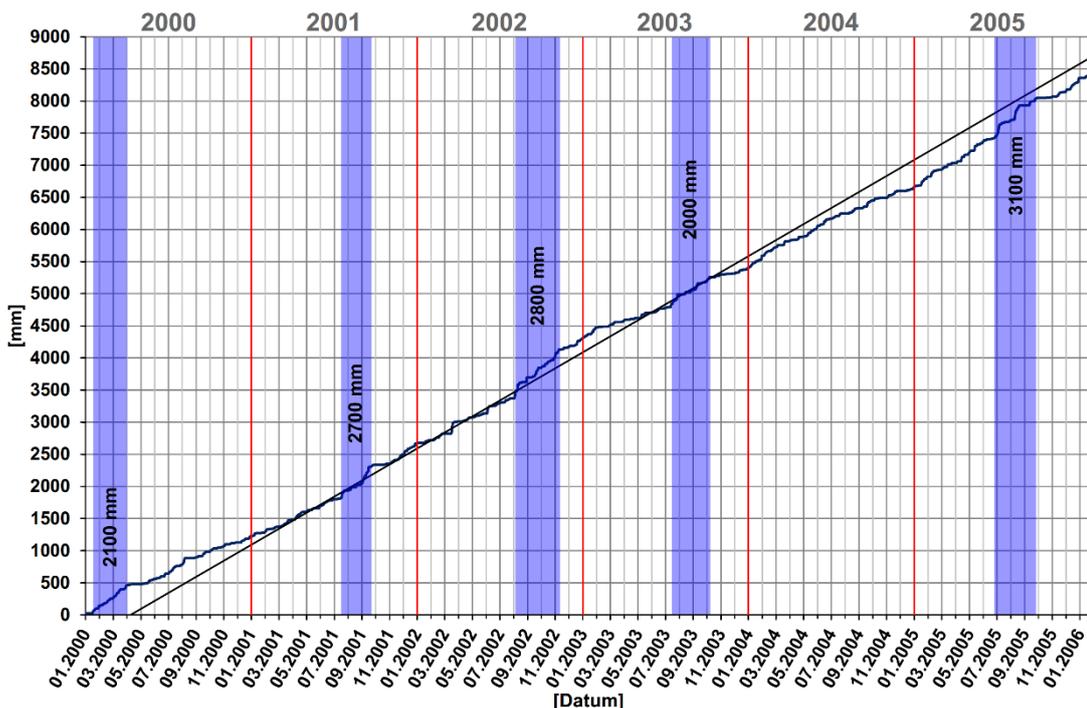


Abb. 57 Starkniederschlagsphasen Messstelle St. Anton/Jeßnitz 2000 – 2005

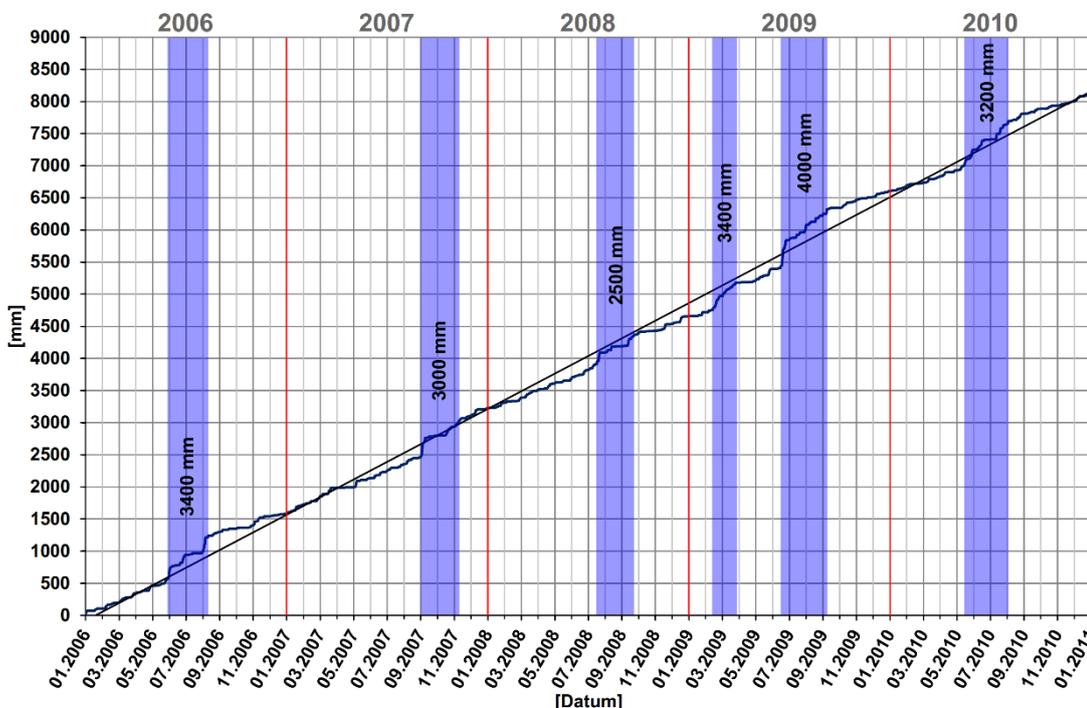


Abb. 58 Starkniederschlagsphasen Messstelle St. Anton/Jeßnitz 2006 - 2010

## 6 Standsicherheitsberechnung

### 6.1 Modellbildung

Als Grundlage für die Modellbildung diente der auf den Untergrunderkundungen basierende geologisch – geotechnische Längsschnitt, wobei die zahlreichen erfassten Bodenschichten zu Bereichen mit vergleichbaren Bodenparametern zusammengefasst und vereinfacht wurden.

#### 6.1.1 Bodenschichten mit zugehörigen Parametern

Die verwendeten Bodenparameter der einzelnen Lagen wurden größtenteils den Untersuchungsberichten entnommen. Bei den Bodenschichten 2 und 3 konnten die Ergebnisse von Kleinrahmenscherversuchen berücksichtigt werden, wohingegen bei den Lagen 4 und 5 die Bandbreite der Kennwerte von den angetroffenen Gebirgsarten hilfreich war (Planungsgemeinschaft Neubrucker Ersatzstollen: Geoconsult & iC consulenten, 2013).

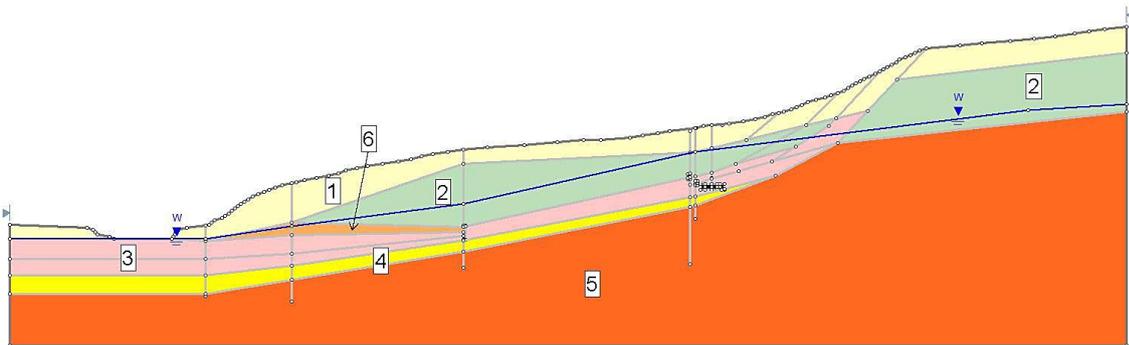


Abb. 59 Bodenschichten des gewählten Modells

- Bodenschicht 1:

Da bei sämtlichen durchgeführten Erkundungsbohrungen ab einer Tiefe von ca. 5 m Kies angetroffen wurde (im oberen Bereich der Rutschung überdeckt von Schluffschichten), fiel die Festlegung der obersten Bodenschicht des Berechnungsmodells auf ein Kies – Sand – Schluff Gemisch.

- Bodenschicht 2:

Bei diesem Material wurden alle Tonmergelschichten des Längsschnittes zusammengefasst. Diese befinden sich zum Großteil in der Mitte bzw. im oberen Bereich der Massenbewegung. Als Quelle für die Scherparameter dieses Bereiches fungierten die Ergebnisse eines Kleinrahmenscherversuches. Die dabei getestete Bodenprobe stammt aus einer entfestigten Schicht aus Tonmergel bis Schluff, die in einer Tiefe von 28 bis 31,5 m

den Bohrkernen des INK 3 entnommen wurde und zur Gebirgsart GA 2 (Flyschgesteine, stark tektonisch beansprucht) zählt.

- Bodenschicht 3:

Für die Bodenschicht 3 geschah die räumliche Festlegung innerhalb der Bodenschichten, in denen sich die Gleitzonen der INK 2 und 3 befinden. Hangabwärts wurde diese Schicht auf die Kalkmergel bzw. Mergelschichten der Bohrungen für die INK 6 und 8 erweitert, die zahlreiche zerlegte, nasse Zwischenlagen aufweisen. Innerhalb dieser stellenweise zerlegten und nassen Mergelschichten liegen auch die vermuteten Bereiche der Gleitzone.

Bei der Festlegung der Parameter der Bodenschicht 3 half ein weiterer Kleinrahmenscherversuch des Untersuchungsprogrammes für den Ersatzstollen Neubrucker Lehnstollen. Die verwendete Bodenprobe stammt aus den Kernbohrungen des INK 2 und lag in einer Schicht aus Feinsandstein tonig bis Tonmergel, entfestigt, außerordentlich engständig zerlegt mit Feinsandstein – Scherlinsen, 24 bis 26 m unter der GOK. Der Scherversuch wurde demnach an einem Material durchgeführt, das sich direkt in der Scherzone der Massenbewegung befindet, da die Resultate der Inklinometermessungen im INK 2 für die Lage der Gleitfläche eine Bandbreite von 25 bis 27 m unter der ROK angeben.

Die darauf erhaltenen Informationen über die Bodenparameter der Gleitzone des INK 2 werden für den Gleitzonenbereich im gesamten Modell verwendet, da die Kernbohrung des INK 3 für die Tiefe der Gleitfuge ebenfalls stark tektonisch beanspruchte Flyschgesteine (Tonmergel bis Feinsandstein) angibt.

Der geringe Reibungswinkel, der vermutlich den Restreibungswinkel des Materials darstellt, wurde für den Beginn der durchgeführten Parameterstudie allerdings von  $10,7^\circ$  auf  $12^\circ$  erhöht.

- Bodenschicht 4:

Unter dem Bereich der Gleitzone liegt die Bodenschicht 4. Deren Parameter stützen sich unter anderem auf die in 30 bis 31,6 m Tiefe angetroffene Schicht im INK 2 aus Tonmergel bis Feinsandstein, welche der Gebirgsart GA 1 (Flyschgesteine, mäßig tektonisch beansprucht) des Untersuchungsberichts zugeordnet wird.

Zusätzlich werden die Erkenntnisse der Bohrung des INK 3 in 38,4 bis 43 m Tiefe herangezogen. Diese entfestigte, sehr engständig zerlegte Tonmergelsteinschicht zählt zu der Gebirgsart GA 2 (Flyschgesteine, stark tektonisch beansprucht).

Die angenommenen Parameter dieser Lage setzen sich somit aus den Bandbreiten der beiden Gebirgsarten GA 1 und GA 2 zusammen.

Am Hangfuß wurde die Bodenschicht 4 verlängert und unter dem Bereich der vermuteten Gleitzone angeordnet.

Tab. 8 Parameter der Bodenschichten für die Berechnungen

	Gesteinsorten und Gefüge	$\gamma$ [kN/m <sup>3</sup> ]	$\gamma'$ [kN/m <sup>3</sup> ]	$\phi$ [°]	$c$ [kPa]	Quelle / Richtwert
1	Kies - Sand - Schluff Gemisch	19	11	35	1	Annahme
2	Tonmergel bis Schluff	19	10	25	10	Scherversuch, Planung Stollenneubau INK 3, Tiefe 28-31,5 m
3	Feinsandstein tonig bis Tonmergel	19	11	12	10	Scherversuch, Planung Stollenneubau INK 2, Tiefe 24-26 m
4	Tonmergel bis Feinsandstein	18	10	25	50	Kernbohrung, Planung Stollenneubau INK 2, Tiefe 30-31,6 m; INK 3, Tiefe 38,5-40 m
5	WF Sandstein - Tonmergel	20	11	25	200	Kernbohrungen 06 und 05, Planung Stollenneubau
6	Kalkmergel	19	11	25	50	Annahme

- Bodenschicht 5:

Als Felshorizont im Untergrund fiel die Entscheidung auf die Wechselfolge Sandstein – Tonmergel, die in den letzten Metern der Kernbohrung für den INK 2 angetroffen wurde.

Zur Bestimmung der Kennwerte dieser Bodenschicht wurden Ergebnisse von zwei Kernbohrungen außerhalb des Beobachtungsgebietes (KB05 und KB06) zu Rate gezogen. Diese Bohrungen befinden sich östlich der Großhangbewegung, allerdings im Falle der KB06 auf derselben Seehöhe und die KB05 nur wenige Höhenmeter über der höchsten Abrisskante der Rutschung. Die Bodenerkundungen weisen ebenfalls Wechselfolgen

von Tonmergel und Sandstein auf. Laut Planungsbericht zählen diese Schichten zur Gebirgsart GA 2 (Flyschgesteine, stark tektonisch beansprucht).

- Bodenschicht 6:

Um in der unteren Hälfte des Modells mehrere Variationen zu ermöglichen, wurde die oberste Kalkmergelschicht in der Bohrung für den INK 6 mit vorteilhafteren Parametern als der Bodenschicht 3 ausgestattet.

### 6.1.2 Grundwassermodell

Der Wasserspiegel ergab sich im oberen Bereich der Massenbewegung aus den Aufzeichnungen der beiden tief eingebauten PW – Geber, da diese den Wasserstand in der Tiefe der Gleitzzone beschreiben. Der angegebene hohe Wasserspiegel durch den PW – Geber DT09537 und den INK 1 findet daher in den Berechnungen keine Berücksichtigung.

Hangaufwärts des INK 2 wurde ein leicht ansteigender Grundwasserspiegel angenommen (siehe Abb. 59).

Als Anhaltspunkt für die Tiefe des Grundwasserspiegels im Bereich der INK 6 und 8 dienten die zugehörigen Bohrprotokolle. Die darin enthaltenen Angaben konnten bei abgehaltenen Befahrungen der Inclinometerrohre mit einer Blindsonde auf 0,5 m genau bestätigt werden (siehe Kapitel 5.3.3). Für den INK 8 wurde in der Berechnung des Urzustandes und nach der Eintiefung 345 m ü. A. als Grundwasserspiegel angenommen. Für den Fall oberhalb der Wehrachse (Oberwasser) wurde der Wasserspiegel für den INK 8 bei 351 m ü. A. angesetzt.

Tab. 9 Angesetzte Grundwasserspiegel im Längsschnitt

	Wasserspiegel [mü.A.]	Wasserspiegel [m unter GOK]	Quelle
INK 2	382	10	PW–Geber B4, DT09540, Tiefe: 22,5m
INK 3	360	23	PW–Geber B5, DT09535, Tiefe: 36m
INK 6	350,6	18,1	Bohrprotokoll INK 6
INK 8	345	5,9	Wasserspiegel der Flusssohle

Aufgrund der im Vergleich zum Jahresdurchschnittsniederschlag 1980 - 2010 geringen Niederschläge des Jahres 2015 muss davon ausgegangen werden, dass die im Jahr 2015 aufgezeichneten Werte der beiden tiefen PW – Geber nicht den maximalen Grundwasserspiegel des Geländes wiedergeben. Deshalb wird der Wasserspiegel vom Jahr 2015 eher als untere Grenze angesehen.

Bei der Untersuchung des Einflusses der Höhe des Grundwasserspiegels auf die Standsicherheit der Massenbewegung kam es zur Erhöhung des Wasserspiegels in m - Schritten bei den Bereichen INK 6, INK 3 und INK 2. Der Grundwasserspiegel oberhalb des INK 2 blieb unverändert. Vom INK 6 bis zur Flusssohle wurde der Wasserspiegel hingegen mit einem linearen Verlauf angesetzt.

## 6.2 Berechnung mit Slide

Die Böschungsstabilität wurde mithilfe des Programmes Slide 6.0 der kanadischen Softwarefirma Rocscience Inc. berechnet. Die verwendeten Berechnungsmethoden waren das korrigierte Verfahren nach Janbu, das vereinfachte Verfahren nach Janbu und das Verfahren nach GLE / Morgenstern – Price.

Für Vergleiche wurden allerdings immer die Resultate des Verfahrens nach GLE / Morgenstern – Price herangezogen, da bei dieser Methode die Scherkräfte zwischen den vertikalen Lamellen in die Rechnung miteinbezogen werden. Das Verfahren nach Janbu vernachlässigt diese Scherkräfte vollständig und beim korrigierten Ansatz nach Janbu werden die Scherkräfte zwischen den Lamellen nicht direkt berechnet, sondern mit einem Faktor berücksichtigt. Die Unterschiede der Ergebnisse der drei Verfahren waren marginal und werden später in den Kapiteln 6.4 und 6.5 näher angeführt.

Für die Analyse der 15.000 nicht – kreisförmigen Gleitflächen pro Rechnung kam die Berechnungsart Block Search zum Einsatz. Um die ungünstigste Gleitfläche ermitteln zu können, wurden anfangs eine Polylinie bzw. mehrere Suchfenster als Randbedingungen eingesetzt. Mit einer Polylinie wird der Verlauf einer Gleitschicht vorgegeben. Es besteht die Möglichkeit, an beiden Endpunkten der Polylinie einen Winkelbereich anzugeben, innerhalb dem die Gleitfläche auf ihrem linearen Weg zur Oberfläche variieren kann. Als Nachteil kann gesehen werden, dass falls die genaue Lage der Gleitfläche noch nicht bekannt ist, die Berechnung auf die vorgegebene Polylinie fixiert ist. Dadurch kann es passieren, dass die eigentlich maßgebende Gleitfläche des bearbeiteten Modells nicht in der Untersuchung aufscheint.

Mit der Funktion Suchfenster kann man dieses Problem ein wenig umgehen. Mithilfe von Suchfenstern können Bereiche festgelegt werden, die von den zu berechnenden Gleitflächen passiert werden müssen. Diese Randbedingungen sind deshalb äußerst hilfreich, da man die zu berechnenden Gleitflächen nicht auf genaue Punkte zwingt, sondern ihnen eine Bandbreite vorgibt, innerhalb der sie variieren können. Zwischen den einzelnen Suchfenstern und ebenso vom ersten bzw. letzten Suchfenster zur Oberfläche des Hanges verlaufen die Gleitflächen linear.

Aufgrund der Ergebnisse der Inklinometermessungen sind die Gleithorizonte in manchen Punkten bekannt. Als Beispiel soll hier INK 3 fungieren: Die Interpretation der Messergebnisse führt zu dem Schluss, dass die Gleitfläche den Inklinometer in einer Tiefe von ca. 32 bis 38 m unter der GOK schneidet. Mithilfe der Funktion Suchfenster kann nun im Längsschnitt in besagter Tiefe ein Bereich definiert werden, den die zu berechnenden Gleitflächen bei der Untersuchung passieren müssen.

Derselbe Ansatz kam bei ca. 24 bis 26 m unter der GOK für den Bereich vom INK 2 zum Einsatz. Für die Bohrungen 6 und 8 (respektive INK 6 und INK 8) waren bis zum Beginn der Berechnungen noch keine aussagekräftigen Ergebnisse der Inklinometermessungen vorhanden.

Daher stützte man sich bei der Lokalisierung der möglichen Gleitschicht im Bereich des Hangfußes auf eine genaue Analyse der Bohrkerns. Bei genauer Betrachtung können Schichten, die stark zerlegt waren und nebenbei auch noch aufgeweicht oder nass angetroffen wurden, ein Anzeichen für einen vorhandenen Gleithorizont darstellen. Allerdings sind bei solchen Überlegungen immer die Art der Kernbohrung (mit oder ohne Wasserspülung) und die Durchlässigkeit der vorhandenen, unterschiedlichen Schichten zu berücksichtigen. Beispielsweise bildet sich bei stark durchlässigen Bodenschichten viel eher ein Grundwasserstrom oder es wird ein eigener Grundwasserspiegel lokalisiert, als bei angrenzenden, weniger durchlässigen Bodenschichten.

Diese Untersuchung führte zu einer Einschränkung der möglichen Lage der Gleitflächen in einer Tiefe von 26 bis 34 m im Bereich des INK 6. Dieser Bereich wurde später, nach den Messergebnissen des Ketteninklinometers vom 01.03.2016 (Kapitel 5.1.4) auf 26 bis 40 m vergrößert, da sich die Gleitzone vermutlich in einer größeren Tiefe als 36 m unter GOK befindet. Am Hangfuß, direkt neben der Erlauf, fiel die Wahl des Suchfensters auf einen möglichen Abschnitt von 6,7 bis 21 m Tiefe beim INK 8. Diese beiden Zonen wurden durch Suchfenster komplett abgedeckt, wohingegen bei der Berechnung mithilfe von Polylinien die Mitte des vermuteten Gleitzonenbereiches als Punkt angesetzt wurde.

Darüber hinaus kam es hangaufwärts des INK 2 zur Anordnung eines weiteren Suchfensters, um die zu berechnenden Gleitflächen am Kopf der Massenbewegung ausbeißeln zu lassen, also erst nach der Versteilung des Geländes. Für die Suchfunktion Polylinie wurde wiederum ein Punkt in diesem Gebiet bestimmt.

### 6.2.1 Gegenüberstellung der Längsschnitte mit unterschiedlichen Randbedingungen

Zu Beginn der Berechnungen kam es zu einer Gegenüberstellung der beiden Randbedingungen Suchfenster und Polylinie für drei verschiedene Längsschnitte. Der einzige Unterschied zwischen den untersuchten Längsschnitten liegt in der Seehöhe des Flussbettes am Fuß der Hangrutschung, da die Böschungstabilität vor und nach dem Bau des KW Neubruck verglichen werden sollte. Die Eintiefung erfolgte im Unterwasserbereich des Kraftwerks und ergab für das Tosbeckenende eine Höhe von 343 m ü. A., wobei die ursprüngliche Flusssohle in einer Seehöhe von 345 m ü. A. lag. Zusätzlich wurde in der restlichen Unterwasserstrecke eine max. Eintiefung von 1,10 m realisiert um eine Sohlneigung von 2,5 ‰ zu erreichen (Planungsgemeinschaft Goldbacher-Lengyel, 2008).

Somit wurde in der ersten Berechnungsphase der Längsschnitt Urzustand mit den Längsschnitten Eintiefung – Tosbecken und Eintiefung – Unterwasser gegenübergestellt.

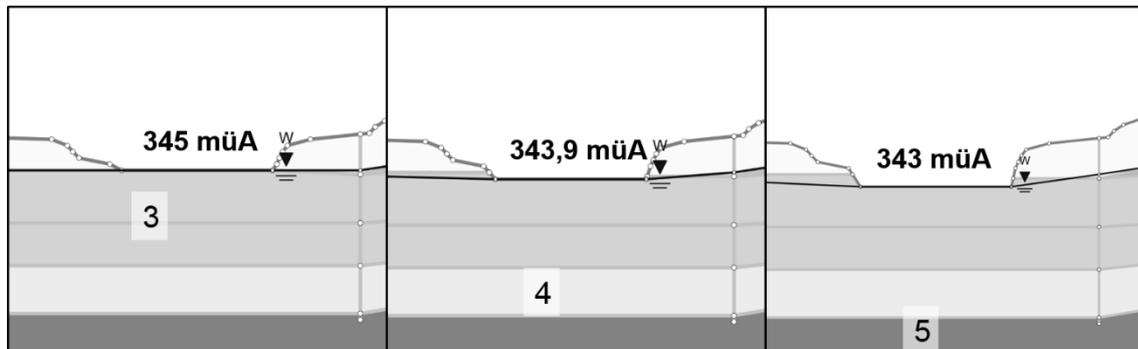


Abb. 60 Unterschiede der Längsschnitte Urzustand (links), Eintiefung – Unterwasser (Mitte) und Eintiefung – Tosbecken (rechts)

Für alle drei Längsschnitte wurde die Lage der Gleitfläche für drei verschiedene Fälle bestimmt, um die passendste Anordnung der Randbedingungen für die Berechnung zu ermitteln.

### 6.2.1.1 1. Fall

Die Gleitfläche ist zwischen INK 2 und INK 3 vorgegeben. Außerdem ist hangaufwärts des INK 2 eine zusätzliche Randbedingung vorgegeben, um die zu berechnenden Gleitflächen in oder oberhalb der Steilzone des Kopfbereichs der Rutschung ausbeißern zu lassen. Die verwendeten Randbedingungen sind die Ausgangslage für die weiteren Fälle 2 und 3.

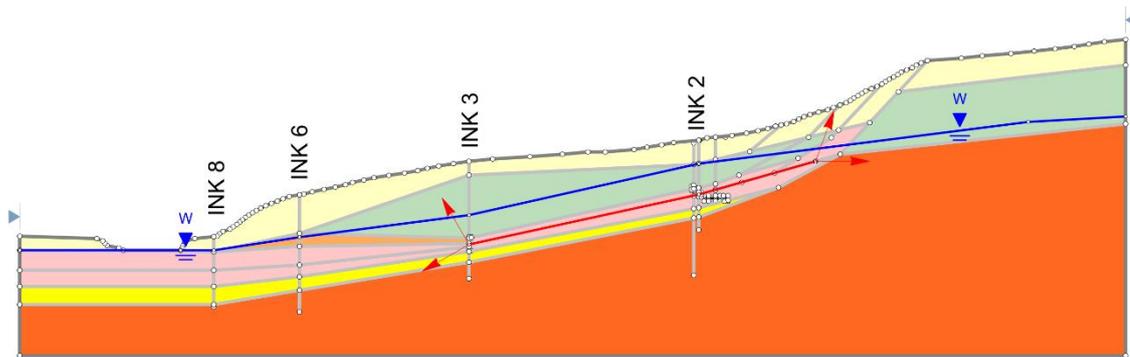


Abb. 61 1. Fall: Polylinie vom INK 3 über INK 2 bis unterhalb des Fußes des Steilhanges

### 6.2.1.2 2. Fall

Die Suchfunktionen werden nun hangabwärts bis zur vermuteten Tiefenzone der Gleitfläche im Bereich des INK 6 erweitert. Der obere Teil der Randbedingungen über die INK 2 und 3 bis unter den Steilhang bleibt wie im Fall 1 bestehen.

Zusätzlich werden in der unteren Hälfte der Rutschung die Bodenschicht mit den Parametern der angetroffenen Schicht 6, Kalkmergel, durch die Bodenschicht 3, welche die Parameter der Gleitzone angibt, ersetzt.

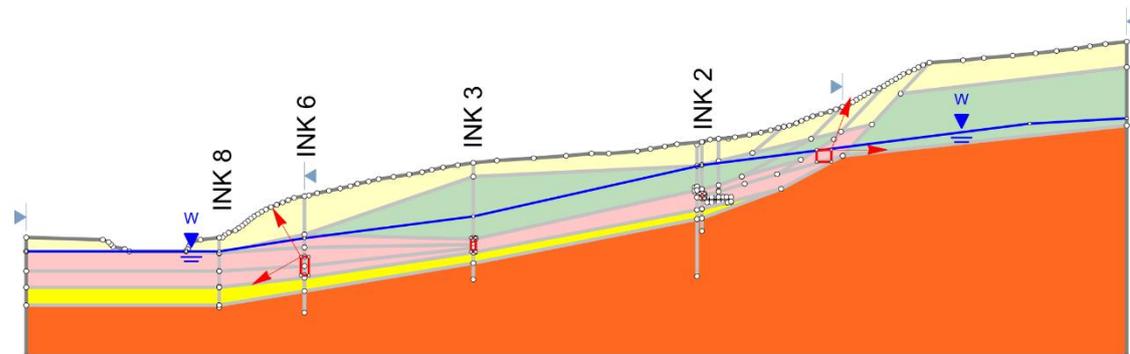


Abb. 62 2. Fall: Suchfenster von INK 6, INK 3, INK 2 und unter dem Steilhang

### 6.2.1.3 3. Fall

Im letzten Untersuchungsfall werden die Randbedingung der Gleitfläche bis zum INK 8 am Hangfuß gesetzt. Die zuvor im Fall 2 verwendeten Suchfunktionen der darüberliegenden Inclinometer werden beibehalten.

Ebenso wie im Fall 2 wird auch hier die Kalkmergelzone durch einen vergrößerten Bereich der Gleitparameter ausgetauscht.

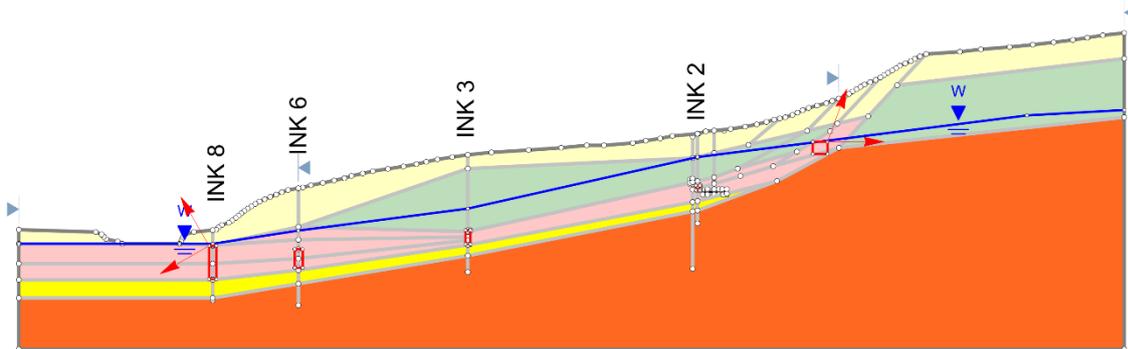


Abb. 63 3. Fall: Suchfenster bei INK 8, INK 6, INK 3, INK 2 und unterhalb des Steilhanges

### 6.2.2 Optimize Surfaces

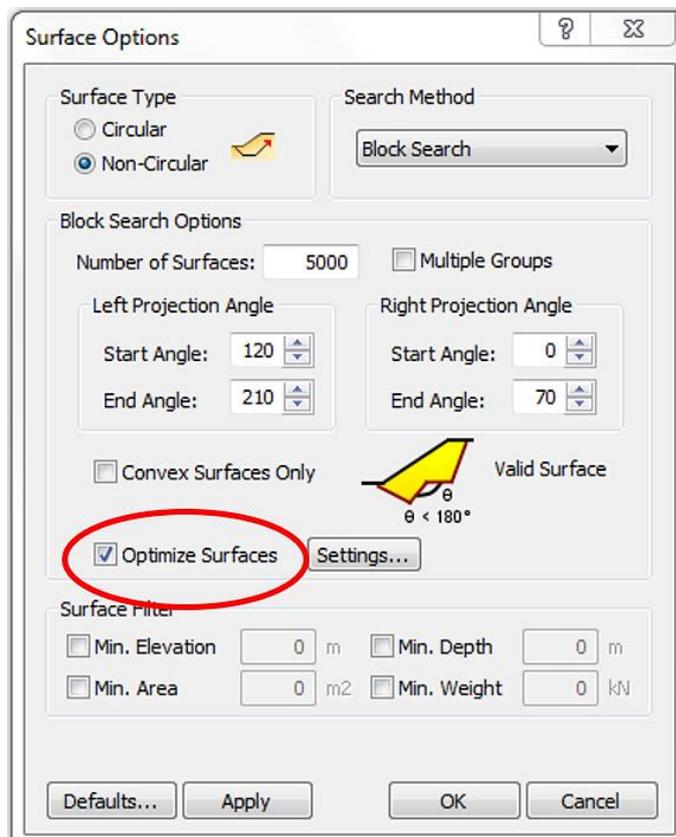


Abb. 64 Funktion Optimize Surfaces unter Surface Options

Zusätzlich zu den drei zu berechnenden Fällen für die Längsschnitte Urzustand, Eintiefung – Tosbecken und Eintiefung – Unterwasser nach den Bauarbeiten, kam es zu einer Ergänzung der Suchfunktionen Polylinie und Suchfenster. Das Programm Slide bietet die Möglichkeit, bei den Berechnungseinstellungen für polygonale Gleitflächen unter Surface Options die Funktion Optimize Surfaces auszuwählen.

Diese zusätzliche Suchfunktion berechnet ausgehend von dem mit den angegebenen Randbedingungen ermittelten Ergebnis, ob Gleitflächen vorhanden sind, die eine noch geringere Standsicherheit der Rutschung ergeben.

Dabei wird die ungünstigste Gleitfläche der Kalkulation mit den ursprünglich gewählten Randbedingungen (Suchfenster oder Polylinie) herangezogen und die Lage eines beliebigen Punktes darauf verändert. Anschließend wird die Kalkulation wiederholt und der neu berechnete Sicherheitsfaktor mit dem vorhergehenden Ergebnis verglichen. Sollte sich die Standsicherheit verringert haben, so ersetzt die neue Gleitfläche die ursprünglich berechnete und der nächste beliebige Punkt auf der neuen ungünstigsten Gleitfläche wird verändert und anschließend die Standsicherheit berechnet.

Dieser Vorgang wird solange durchgeführt, bis eine Veränderung eines beliebigen Punktes der Gleitfläche keine weitere Verringerung der Standsicherheit zur Folge hat. Die zuletzt verwendete Gleitfläche der Kalkulation ist somit das Ergebnis der Berechnung nach der Funktion Optimize Surface.

### 6.2.3 Ergebnisse der Berechnungen

Die folgenden Werte für die berechneten Standsicherheiten der Rutschung beziehen sich auf das Verfahren nach GLE / Morgenstern – Price.

Tab. 10 Ergebnisse nach GLE / Morgenstern – Price, Suchfunktion Polylinie

F.o.S.	Polylinie					
	Urzustand		Eintiefung 1,1 m		Eintiefung 2 m	
	normal	O.S.	normal	O.S.	normal	O.S.
Fall 1	1,212	0,931	1,106	0,918	1,094	0,910
Fall 2	1,025	0,932	1,015	0,918	1,008	0,911
Fall 3	0,993	0,929	0,988	0,919	0,985	0,908
<b>O.S. .... Optimize Surfaces</b>						

Tab. 11 Ergebnisse nach GLE / Morgenstern – Price, Suchfunktion Suchfenster

F.o.S.	Suchfenster					
	Urzustand		Eintiefung 1,1 m		Eintiefung 2 m	
	normal	O.S.	normal	O.S.	normal	O.S.
<b>Fall 1</b>	1,187	0,943	1,121	0,923	1,089	0,910
<b>Fall 2</b>	1,030	0,928	1,014	0,921	1,012	0,907
<b>Fall 3</b>	0,966	0,931	0,958	0,918	0,951	0,918
<b>O.S. .... Optimize Surfaces</b>						

Wie aus den Tabellen Tab. 10 und Tab. 11 ersichtlich ist, nimmt die berechnete Standsicherheit der beiden Längsschnitte Urzustand bzw. Eintiefung vom Fall 1 bis zum Fall 3 kontinuierlich ab. Erkennbar ist auch eine geringfügige Reduktion des Sicherheitsfaktors durch die realisierte Eintiefung von 2 m bzw. 1,1 m gegenüber der Situation vor den Bauarbeiten.

Zusätzlich enthalten die beiden Tabellen die Resultate der Optimize Surface – Berechnungen, die bei jedem Kalkulationsschritt der Funktionen Suchfenster und Polylinie zusätzlich ausgeführt wurden.

### 6.3 Parameterstudie mit Slide

Aufbauend auf den Ergebnissen der unterschiedlichen Suchverfahren für drei verschiedene Fälle, fiel die Wahl der weiterhin anzuwendenden Berechnungsmethode auf den Fall 3. Bei diesen Kalkulationen wurden die Randbedingungen bis zum INK 8 definiert und ergaben die niedrigsten Sicherheitswerte für die Standsicherheit des Hanges. Die nachfolgenden Berechnungen fanden nur mehr an den Längsschnitten mit Eintiefung auf 343 m ü. A. bzw. 343,9 m ü. A. statt.

Als Suchfunktionen kamen weiterhin die Funktionen Polylinie und Suchfenster zum Einsatz. Die Suchfunktion Optimize Surface wurde nur mehr in der Parameterstudie für die Bodenschicht 3 berücksichtigt.

In dieser Studie kam es zu einer schrittweisen Erhöhung des ursprünglich angenommenen Reibungswinkels von 12° für die Bodenschicht 3 (vermutlich in der Nähe des Restreibungswinkels des zerlegten Materials der Gleitzzone) bis für die Standsicherheit ein Faktor von ca. 1,06 erreicht wurde. Die Iterationsschritte mitsamt Resultaten sind in der Tab. 12 und der Tab. 13 ersichtlich.

Tab. 12 Ergebnisse Parameterstudie für die Bodenschicht 3, Eintiefung 1,1 m

<b>Parameterstudie (Eintiefung 1,1m, Fall 3)</b>				
<b>Reibungswinkel <math>\varphi</math> in Bodenschicht 3</b>	<b>Polylinie F.o.S.</b>		<b>Suchfenster F.o.S.</b>	
	<b>normal</b>	<b>O.S.</b>	<b>normal</b>	<b>O.S.</b>
<b>12°</b>	0,988	0,919	0,958	0,918
<b>13°</b>	1,057	0,982	1,026	0,986
<b>13,5°</b>	1,092	1,017	1,059	1,018
<b>14°</b>	1,127	1,047	1,093	1,052
<b>O.S. .... Optimize Surfaces</b>				

Tab. 13 Ergebnisse Parameterstudie für die Bodenschicht 3, Eintiefung 2 m

<b>Parameterstudie (Eintiefung 2m, Fall 3)</b>				
<b>Reibungswinkel <math>\varphi</math> in Bodenschicht 3</b>	<b>Polylinie F.o.S.</b>		<b>Suchfenster F.o.S.</b>	
	<b>normal</b>	<b>O.S.</b>	<b>normal</b>	<b>O.S.</b>
<b>12°</b>	0,985	0,908	0,951	0,918
<b>13°</b>	1,053	0,973	1,020	0,974
<b>13,5°</b>	1,087	1,005	1,053	1,005
<b>14°</b>	1,122	1,038	1,087	1,037
<b>O.S. .... Optimize Surfaces</b>				

Aufbauend auf den Resultaten für den variierten Reibungswinkel für die Schicht 3 kam es zu einer Untersuchung des Wasserspiegeleinflusses auf die Standsicherheit. Als Startwert fungierte ein Reibungswinkel von 13° für die Bodenschicht 3 für die Suchfunktion mit Polylinie und für die Funktion mit Suchfenster ein Reibungswinkel von 13,5°. Die Suchfunktion Optimize Surface wurde in der Untersuchung des Grundwasserspiegels nicht mehr berücksichtigt.

Ausgehend vom Wasserspiegel aus dem Jahr 2015 kam es zu einer Erhöhung des Grundwasserspiegels in den Bereichen von INK 6, INK 3, INK 2 in Meterschritten. Die entstandene Variation der Hangstabilität ist der Tab. 14 und der Tab. 15 zu entnehmen.

Tab. 14 Ergebnisse Einfluss der Wasserspiegelhöhe, Eintiefung 1,1 m, Fall 3

<b>Eintiefung 1,1 m, Fall 3</b>			
<b>13° Polylinie normal</b>		<b>13,5° Suchfenster normal</b>	
<b>F.o.S.</b>	<b>Polylinie</b>	<b>F.o.S.</b>	<b>Suchfenster</b>
<b>WSPG 2015</b>	1,057	<b>WSPG 2015</b>	1,059
<b>+ 1 m</b>	1,039	<b>+ 1 m</b>	1,042
<b>+ 2 m</b>	1,021	<b>+ 2 m</b>	1,025
<b>+ 3 m</b>	1,004	<b>+ 3 m</b>	1,008
<b>+ 4 m</b>	0,987	<b>+ 4 m</b>	0,992

Tab. 15 Ergebnisse Einfluss der Wasserspiegelhöhe, Eintiefung 2 m, Fall 3

<b>Eintiefung 2 m, Fall 3</b>			
<b>13° Polylinie normal</b>		<b>13,5° Suchfenster normal</b>	
<b>F.o.S.</b>	<b>Polylinie</b>	<b>F.o.S.</b>	<b>Suchfenster</b>
<b>WSPG 2015</b>	1,053	<b>WSPG 2015</b>	1,053
<b>+ 1 m</b>	1,036	<b>+ 1 m</b>	1,037
<b>+ 2 m</b>	1,020	<b>+ 2 m</b>	1,020
<b>+ 3 m</b>	1,002	<b>+ 3 m</b>	1,003
<b>+ 4 m</b>	0,985	<b>+ 4 m</b>	0,985

## 6.4 Einfluss der Eintiefung und des Grundwasserspiegels auf die Standsicherheit

Um einen Vergleich der Standsicherheit des Hanges im Oberwasser- und Unterwasserbereich zu erhalten, wurde ein vierter Längsschnitt angefertigt, der sich wiederum nur in der Höhe des Flussbettes von den vorhergehenden drei unterscheidet. Somit wurden in diesem Kapitel vier verschiedene Situationen im Fußbereich der Massenbewegung berechnet.

Der Unterschied der einzelnen Längsschnitte lag nur in der Höhe der Flusssohle der Erlauf. Im Unterwasserbereich befand sich die Sohle vor dem Neubau des Kraftwerks bei 345 m ü. A. und nach der Fertigstellung des KW Neubruck am Ende des Tosbeckens bei 343 m ü. A. bzw. bei 343,9 m ü. A. im Unterwasserbereich. Im Gegensatz dazu blieb die Flusssohle oberhalb der Wehrachse auch nach der Neuerrichtung bei 349,5 m ü. A. bestehen.

Als Randbedingung kamen lediglich die Suchfenster vom Fall 3 zum Einsatz.

In der nun folgenden Tab. 16 können die Unterschiede der vier Längsschnitte mit einer Variation der Höhe des Grundwasserspiegels eingesehen werden.

Tab. 16 Vergleich Hangstabilität Oberwasserseite - Unterwasserseite im Urzustand - Unterwasserseite Eintiefung 1,1 m - Unterwasserseite Eintiefung 2 m

<b>GLE / Morgenstern - Price</b>				
<b>13,5°</b>	<b>Suchfenster, Fall 3</b>			
	<b>Oberwasserseite</b>	<b>Urzustand</b>	<b>Eintiefung 1,1 m</b>	<b>Eintiefung 2 m</b>
<b>WSPG 2015</b>	1,122	1,066	1,059	1,053
<b>WSPG +1 m</b>	1,105	1,047	1,042	1,037
<b>WSPG +2 m</b>	1,088	1,032	1,025	1,020
<b>WSPG +3 m</b>	1,070	1,015	1,008	1,003
<b>Flusssohle</b>	<b>349,5 müA</b>	<b>345 müA</b>	<b>343,9 müA</b>	<b>343 müA</b>

Die hier angegebenen Werte sind nicht als absolute Sicherheitsfaktoren zu verstehen. In dem gewählten Modell stecken verschiedene Annahmen und Unschärfen als dass die tatsächliche Standsicherheit berechnet werden könnte. Außerdem wurde nur ein Längsschnitt der Massenbewegung auf diese Weise bearbeitet.

Sehr wohl erlauben die Differenzen der berechneten Sicherheitsfaktoren durch die Variation der Flusssohlenhöhe und der Variation des Grundwasserspiegels eine Aussage wie stark die Standsicherheit der Massenbewegung durch diese beiden Einflussgrößen bestimmt wird.

Ausgehend vom Grundwasserspiegel 2015 variiert die Standsicherheit der vier Längsschnitte um etwa 7 % ( $\eta = 1,053 - 1,122$ ; siehe Tab. 16). Allerdings muss berücksichtigt werden, dass rund zwei Drittel der Flusssohle im Bereich der Rutschung eine Absenkung erfuhren und ein Drittel (Oberwasserseite) der Fußsohle unbeeinflusst durch die Bauarbeiten bestehen blieb.

Vergleicht man die Standsicherheit der beiden Längsschnitte mit Eintiefung von 1,1 m bzw. 2 m im UW – Bereich mit jener des Urzustandes in der Tab. 16, so fällt, je nach Höhe des Wasserspiegels ein Unterschied von ca. 0,7 % (Eintiefung von 1,1 m) bis 1,3 % (Eintiefung von 2 m) auf. Diese Reduktion der Standsicherheit fällt noch geringer aus, wenn man berücksichtigt, dass ein Drittel der Flusssohle am Fuß der Massenbewegung an der Oberwasserseite des Kraftwerks liegt und keiner Veränderung der Sohltiefe ausgesetzt wurde. Das bedeutet der Einfluss der Eintiefung im Zuge des Baus des KW Neubruck auf die Standsicherheit der Rutschung dürfte bei ca. 0,5 – 0,8 % Punkte liegen.

Dahingegen beträgt der Einfluss je m Grundwasserspiegelerhöhung (Erhöhung des Porenwasserdruckes) in der Gleitzone ca. 1,6 – 1,8 % Punkte. Berücksichtigt man, dass im sehr trockenen Jahr 2015 Porenwasserdruckschwankungen in der Größenordnung von ca. 1,0 – 1,5 m gemessen wurden (siehe Abb. 48), so ist davon auszugehen, dass in sehr niederschlagsreichen Jahren Druckschwankungen von mehreren Metern wahrscheinlich sind. D.h. der Einfluss der Porenwasserdruckschwankungen in der Gleitzone überwiegt den Einfluss des Neubaus des KW Neubruck deutlich.

Die nun folgende Tab. 17 gibt den im Kapitel 6.2 kurz beschriebenen Zusammenhang der drei Berechnungsverfahren Janbu, Janbu korrigiert und GLE / Morgenstern – Price an. Die bisher angeführten Sicherheitsfaktoren bezogen sich immer auf die Berechnung nach Morgenstern – Price und schlossen die anderen beiden Verfahren nicht mit ein.

Tab. 17 Vergleich der drei Berechnungsverfahren

<b>JANBU</b>				
<b>13,5°</b>	<b>Suchfenster, Fall 3</b>			
	<b>Oberwasserseite</b>	<b>Urzustand</b>	<b>Eintiefung 1,1 m</b>	<b>Eintiefung 2 m</b>
<b>WSPG 2015</b>	1,097	1,049	1,041	1,036
<b>WSPG +1 m</b>	1,080	1,030	1,024	1,020
<b>WSPG +2 m</b>	1,063	1,013	1,007	1,004
<b>WSPG +3 m</b>	1,046	0,997	0,991	0,987
<b>Flusssohle</b>	<b>349,5 müA</b>	<b>345 müA</b>	<b>343,9 müA</b>	<b>343 müA</b>
<b>GLE / Morgenstern - Price</b>				
<b>13,5°</b>	<b>Suchfenster, Fall 3</b>			
	<b>Oberwasserseite</b>	<b>Urzustand</b>	<b>Eintiefung 1,1 m</b>	<b>Eintiefung 2 m</b>
<b>WSPG 2015</b>	1,122	1,066	1,059	1,053
<b>WSPG +1 m</b>	1,105	1,047	1,042	1,037
<b>WSPG +2 m</b>	1,088	1,032	1,025	1,020
<b>WSPG +3 m</b>	1,070	1,015	1,008	1,003
<b>Flusssohle</b>	<b>349,5 müA</b>	<b>345 müA</b>	<b>343,9 müA</b>	<b>343 müA</b>
<b>JANBU CORRECTED</b>				
<b>13,5°</b>	<b>Suchfenster, Fall 3</b>			
	<b>Oberwasserseite</b>	<b>Urzustand</b>	<b>Eintiefung 1,1 m</b>	<b>Eintiefung 2 m</b>
<b>WSPG 2015</b>	1,141	1,089	1,081	1,076
<b>WSPG +1 m</b>	1,123	1,070	1,063	1,058
<b>WSPG +2 m</b>	1,106	1,053	1,046	1,042
<b>WSPG +3 m</b>	1,088	1,035	1,029	1,025
<b>Flusssohle</b>	<b>349,5 müA</b>	<b>345 müA</b>	<b>343,9 müA</b>	<b>343 müA</b>

In der Tab. 17 ist erkennbar, dass die Ergebnisse nach Morgenstern – Price immer zwischen den Resultaten der Berechnungen nach Janbu und des korrigierten Janbu – Verfahrens liegen. Dabei stellt das Verfahren nach Janbu die ungünstigsten Resultate für die Standsicherheit der Böschung und das korrigierte Verfahren nach Janbu die höchsten Sicherheitsfaktoren dar.

Als Beispiel seien hier die Standsicherheitsberechnungen für die Eintiefung mit 1,1 m erwähnt, dabei ist die Berechnung nach Janbu um ca. 1,8% unsicherer als nach GLE Morgenstern – Price bzw. der korrigierte Ansatz von Janbu um ca. 2,1% sicherer als GLE Morgenstern – Price.

## 6.5 Einfluss von Ankersicherungen auf die Standsicherheit

Um die Stabilität des Hanges zu erhöhen, wurde eine mögliche Anordnung von Litzenankern am Fußbereich des Hanges untersucht. Für die Wahl der Ankersicherung kamen zwei verschiedene Annahmen zum Einsatz:

- A) 20 Anker pro 100.000 m<sup>3</sup> Massenbewegung
- B) 30 Anker pro 100.000 m<sup>3</sup> Massenbewegung

Um diese zwei Ansätze anwenden zu können, war zuerst eine grobe Berechnung des Volumens der Rutschung erforderlich. Als stark vereinfachte Annäherung des zu berechnenden Körpers fiel die Wahl auf ein Zylindersegment.

Zuerst wurde die Fläche des sich in Bewegung befindlichen Hangbereichs entlang des berechneten Längsschnittes ermittelt. Dafür konnten die angegebenen Lamellen der Kalkulationen mittels Slide verwendet werden. Die Breite der Lamellen ist bei dem Programm SlideInterpret unter Slice Data ersichtlich, wohingegen deren mittlere Höhe bis zur Gleitfläche im Programm gemessen werden musste. Die Fläche entlang des gewählten Längsschnittes ergab rund 8200 m<sup>2</sup>.

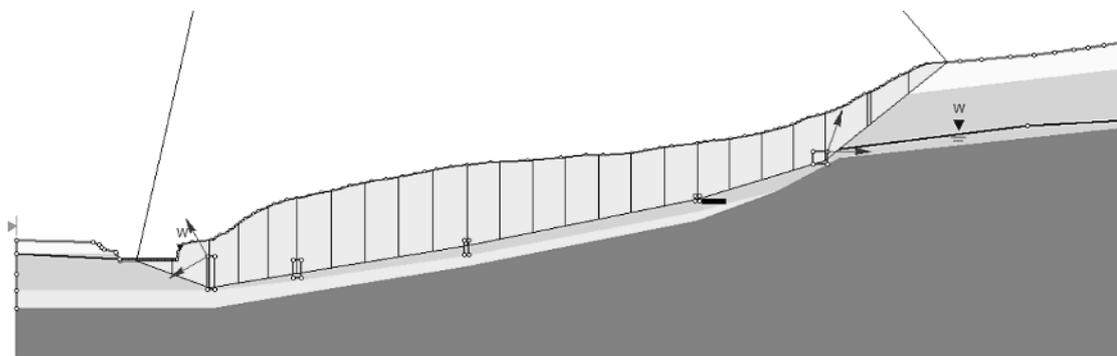


Abb. 65 Lamellen des untersuchten Längsschnittes

Für die Ermittlung des Volumens wurde das Flächenverhältnis eines Kreissegmentes zu einem, das Kreissegment umschließende, Rechteck für die Querschnittsbetrachtung herangezogen. Das Volumen des Quaders, der das Zylindersegment umfasst ergab sich folglich aus der Multiplikation der Fläche des Längsschnittes mit der mittleren Breite der Massenbewegung. Anschließend wurde der Zusammenhang der Flächen eines Kreissegmentes zum umschließenden Rechteck verwendet, um das Volumen des Zylindersegmentes aus der Kubatur des Quaders zu erhalten.

Grau: Rechteck, welches das Kreissegment umschließt



Schwarz: Kreissegment



Abb. 66 Flächenverhältnis Kreissegment zum umschließenden Rechteck im Querschnitt der Rutschung

Da etwa zwei Drittel der Fläche des Rechtecks in dem umschlossenen Kreissegment liegen, kann dieselbe Relation für das Volumenverhältnis Zylindersegment zum umschließenden Quader angewendet werden. Deshalb ist eine Multiplikation des berechneten Quadervolumens mit ca. 67 % nötig, um die Kubatur des Zylindersegments zu erhalten.

Als zweiten Ansatz für die Ermittlung der Kubatur gibt es die Möglichkeit die Fläche des angenommenen Kreissegments mit der Gesamtlänge der Lamellen zu multiplizieren. Beide Volumenberechnungen liefern ungefähr dasselbe Ergebnis und liegen im Anhang XX bei.

Für das abgeschätzte Volumen der Massenbewegung Fürteben ergibt sich nach der Annäherung mittels eines Zylindersegments für beide Berechnungen eine Kubatur von ca. 1,2 Mio. m<sup>3</sup>. Dies macht in Summe ca. 240 Anker für Variante A) und 360 Anker für Variante B) aus.

Die Köpfe der einzubauenden Anker werden an Ankerbalken aus Stahlbeton angebracht. Diese, möglicherweise als Fertigteile hergestellte, Balken werden am Hangfußbereich mit einer Neigung von ca. 40° zur Horizontalen auf den Untergrund angesetzt.

Der Ankereinbau erfolgt nun mit 20° zur Normalen der Balken bzw. um 30° gesenkt zur Horizontalen. Die Länge der Anker wurde so festgelegt, dass die vollständige Haftstrecke innerhalb der tragfähigen Schichten unterhalb der durch die Gleitfläche zerlegten Bodenschichten liegt.

Dadurch beträgt die Gesamtlänge der Anker ca. 60 m, wobei 12 m als Haftstrecke vorgesehen sind. Die Anker werden auf eine zugelassene Zugkraft von 1500 kN ausgelegt, wobei eine Festlegelast von 1000 kN appliziert wird.

### 6.5.1 Anordnung der Anker nach Ansatz A (20 Anker pro 100k m<sup>3</sup> MB)

Bei der Anwendung des ersten Ansatzes der Ankersicherung errechnet sich aus der Kubatur von ca. 1,2 Mio. m<sup>3</sup> eine Anzahl von 240 Litzenankern.

Die gewählte Anordnung ergibt zwei Anker pro Ankerbalken. Die Anker innerhalb eines Balkens weisen für den Ansatzpunkt der Bohrung einen Höhenunterschied von 3 m auf, um eine mögliche Beschädigung bei der Bohrung bzw. eine Beeinflussung des Tragverhaltens untereinander zu vermeiden.

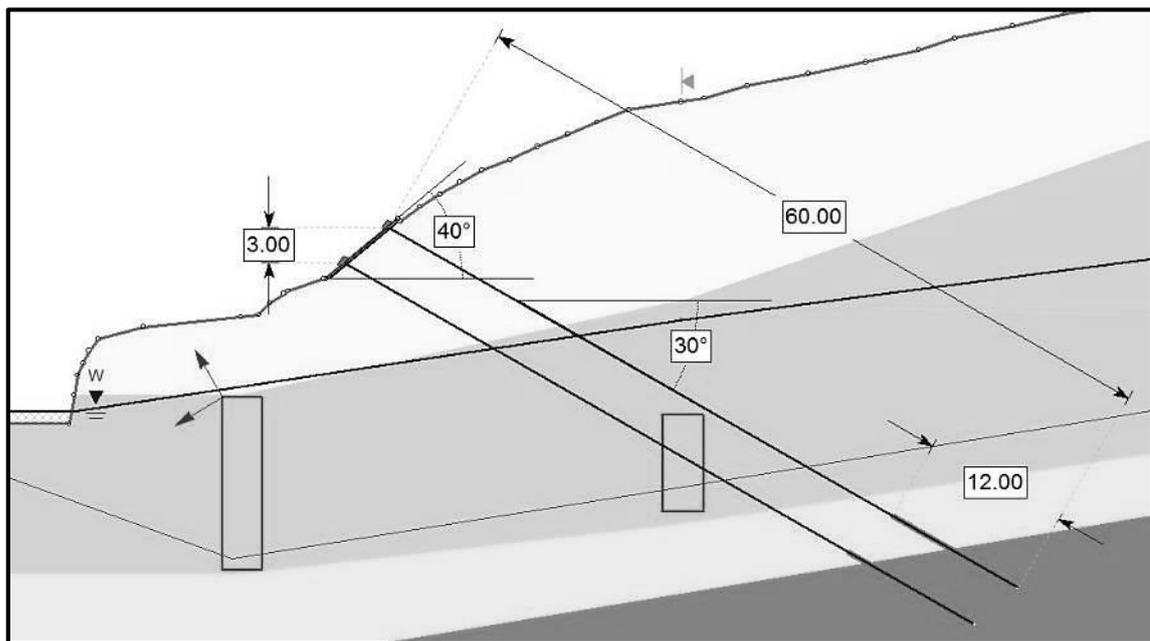


Abb. 67 Anordnung der Anker am Hangfuß (Ansatz 20 Anker pro 100.000 m<sup>3</sup> Volumen der Rutschung)

Die Achsabstände der in Summe 120 notwendigen Ankerbalken betragen bei 220 m angesetzter mittlerer Breite der Massenbewegung etwa 1,8 m. Allerdings müssen dabei die Balken abwechselnd in ihrer Höhe versetzt werden, da ansonsten die Gefahr einer gegenseitigen Beeinflussung der ca. 60 m langen Anker zu groß ist.

Aufgrund der muschelförmigen Ausbildung der Massenbewegung sind für eine spätere Realisierung der Hangsicherung die Abstände der Ankerbalken an diese anzupassen. Eine Möglichkeit wäre die Balken in der Mitte der Rutschung enger anzuordnen bzw. drei Anker pro Balken vorzusehen, da dort die Gleitfläche am tiefsten liegt und dafür in den seichteren Randbereichen der Hangbewegung die Abstände der Ankerbalken größer zu gestalten.

### 6.5.2 Anordnung der Anker nach Ansatz B (30 Anker pro 100k m<sup>3</sup> MB)

Der zweite Ansatz für die Bestimmung der erforderlichen Anker ergibt bei 1,2 Mio. m<sup>3</sup> Volumen der Massenbewegung 360 Litzenanker.

Der Abstand der Balken untereinander ergibt bei einer Anordnung von drei Anker pro Ankerbalken ebenfalls 1,8 m. Allerdings müssen dabei wiederum die Balken abwechselnd in ihrer Höhe versetzt werden, da ansonsten die Gefahr einer gegenseitigen Beeinflussung der ca. 60 m langen Anker zu groß ist.

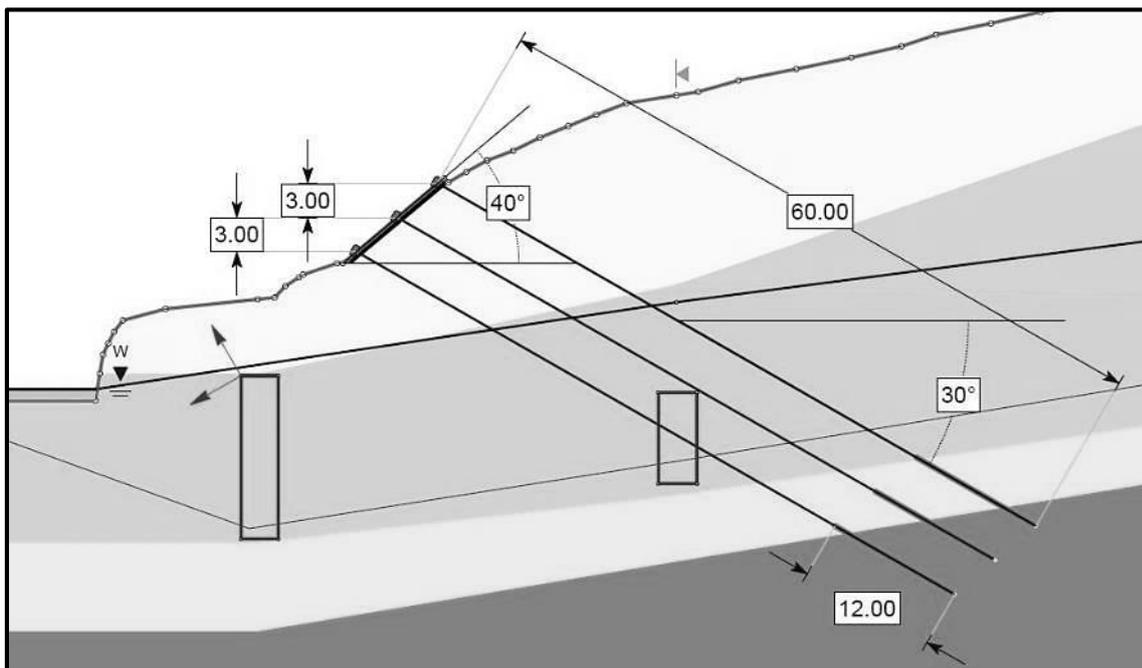


Abb. 68 Anordnung der Anker am Hangfuß (Ansatz 30 Anker pro 100.000 m<sup>3</sup> Volumen der Rutschung)

Wie in der vorhergehenden Ausführung mit zwei Ankern pro Balken sind auch bei diesem Ansatz im Falle einer Realisierung die Ankerabstände zu überprüfen und an die Gegebenheiten des Rutschhanges anzupassen bzw. in der Mitte der Rutschung vier oder mehr Anker pro Balken anzuordnen.

### 6.5.3 Ergebnisse der Standsicherheitsberechnungen mit Litzenanker

In der folgenden Tab. 18 können die Ergebnisse der Standsicherheitsberechnungen für die beiden Sicherungsansätze eingesehen werden.

Tab. 18 Ergebnisse der Standsicherheitsberechnungen mit Litzenanker für eine Eintiefung von 1,1 m

<b>GLE / Morgenstern - Price</b>				
<b>13,5°</b>	<b>Suchfenster, Fall 3</b>			
	<b>Urzustand</b>	<b>Eintiefung 1,1 m</b>	<b>20 Anker pro 100k m³ MB</b>	<b>30 Anker pro 100k m³ MB</b>
<b>WSPG 2015</b>	1,066	1,059	1,092	1,109
<b>WSPG +1 m</b>	1,047	1,042	1,074	1,091
<b>WSPG +2 m</b>	1,032	1,025	1,057	1,073
<b>WSPG +3 m</b>	1,015	1,008	1,040	1,056
<b>Flusssohle</b>	<b>345 müA</b>	<b>343,9 müA</b>	<b>343,9 müA</b>	<b>343,9 müA</b>

Tab. 19 Ergebnisse der Standsicherheitsberechnungen mit Litzenanker für eine Eintiefung von 2 m

<b>GLE / Morgenstern - Price</b>				
<b>13,5°</b>	<b>Suchfenster, Fall 3</b>			
	<b>Urzustand</b>	<b>Eintiefung 2 m</b>	<b>20 Anker pro 100k m³ MB</b>	<b>30 Anker pro 100k m³ MB</b>
<b>WSPG 2015</b>	1,066	1,053	1,086	1,103
<b>WSPG +1 m</b>	1,047	1,037	1,069	1,085
<b>WSPG +2 m</b>	1,032	1,020	1,052	1,068
<b>WSPG +3 m</b>	1,015	1,003	1,035	1,051
<b>Flusssohle</b>	<b>345 müA</b>	<b>343 müA</b>	<b>343 müA</b>	<b>343 müA</b>

Die Standsicherheit der Massenbewegung kann dabei je nach Grundwasserspiegellhöhe, Eintiefung und Anordnung der Anker um etwa 3 % für die Variante A mit 240 Anker bis 5% für die Variante B mit 360 Anker erhöht werden.

## 7 Beurteilung der Massenbewegung

### 7.1 Form der Rutschung

Die Tatsache, dass der Schadensbereich im Stollen mit 30 m viel kürzer ist als die Umgrenzung der Massenbewegung an der darüber liegenden Oberfläche des Hanges mit rund 220 m gibt Grund zur Annahme, dass die Massenbewegung eine Muschelform mit dem Tiefpunkt im Bereich des beschädigten Stollenbauwerkes aufweist. Ein zusätzliches Indiz bilden die angetroffenen Gleitflächen im INK 1 in ca. 18 bis 20 m unter der GOK und im INK 2 in ca. 24 bis 26 m Tiefe. Da diese beiden Inklinometerrohre in der oberen Hälfte der Massenbewegung liegen und dabei nur etwa 20 m voneinander entfernt sind, lässt sich aus deren Messergebnissen ableiten, dass von der Mitte des Rutschhanges bis zum oberflächlichen Rand die Tiefe der Gleitzone abnimmt.

Diese Annahme für die Form und Volumenberechnung des in Bewegung befindlichen Geländes wird auch in einer Untersuchung der Einflüsse dieser Massenbewegung auf das Stollenbauwerk der II. HQL beschrieben (Poisel, Mair am Tinkhof, Preh, 2015).

An der Oberfläche des Geländes ist zuerst die Versteilung nach der Abrisskante der Rutschung ersichtlich und nach ca. 40 Höhenmetern bildet sich oberhalb des INK 2 eine ca. 30 m lange Verflachung, die sich anschließend bis zum Forsthaus wieder leicht hangabwärts versteilt. Im Anschluss ist vom INK 3 bis zum INK 6 wieder eine Zunahme der Hangneigung bemerkbar, bevor am Hangfuß zwischen INK 6 und INK 7 wieder eine starke Versteilung eintritt.

Diese typische Form mit einem steilen Kopfbereich und einem darunterliegenden ebenen Plateau weist auf eine Rutschung hin, die bereits über einen sehr langen Zeitraum in Bewegung befindlich ist.

Stellt man die aus dem Längsschnitt ermittelte Hangneigung der resultierenden Verschiebung der Messpunkte gegenüber so fällt auf, dass die Neigung der Messpunktverformung einen anderen Winkel als die Hangoberfläche besitzt und somit wahrscheinlich die Neigung der Gleitfuge darstellt.

Für die Ermittlung der Neigung der Resultierenden wurden Zeiträume herangezogen, die gleichmäßige Verformungen aufzeigen. Auffallend dabei ist, dass die Messpunkte am Hangfuß teilweise Hebungen erfahren und somit die durchschnittliche resultierende Höhenverformung ein negatives Vorzeichen (= Hebung) aufweist. Dieses Ergebnis lässt auf das Ausbeißen der Gleitfuge im Fußbereich des Geländes schließen. In der Mitte

und im Kopfbereich der Massenbewegung geben die untersuchten Messpunkte eine ähnliche Neigung für die Neigung der Gleitfläche an.

Tab. 20 Gegenüberstellung Hangneigung mit den Verschiebungsergebnissen der Messpunkte

Bereich der Massenbewegung	Hangneigung [°]	Verschiebungsergebnisse [°]	Punkte zur Ermittlung der Resultierenden
<b>OBEN</b>	24	16	9, 10, 11
<b>MITTE</b>	6	12	IN, GP-FH, 6, 8, 15
<b>UNTEN (Hangfuß)</b>	10	-4	W1-W5, 21-25

## 7.2 Einfluss der Niederschlagsmengen auf die Bewegungsraten

Der Einfluss der Niederschlagsmengen lässt sich am besten anhand der Messdaten des Jahres 2015 erklären. In diesem Kalenderjahr waren mit 930 mm die Gesamtniederschläge um rund ein Drittel weniger als der vom Hydrographischen Dienst ermittelte Jahresdurchschnitt 1981 – 2010 mit 1411 mm.

Die Aufzeichnungen am KW Neubruck selbst geben zwar geringere Werte als die beiden Messstellen in direkter Umgebung an (rund 250 mm weniger pro Jahr), allerdings waren die vor Ort aufgezeichneten Jahre 2013 und 2014 ebenfalls niederschlagsreicher als das Jahr 2015.

Gleichzeitig wurden für das Jahr 2015 geringe bis keine Verformungen aufgezeichnet. Als Beispiel weisen die Auswertungen für INK 2 und INK 3 für das Jahr 2015 im Vergleich zu den Jahren zuvor keine nennenswerte Verschiebung auf. Ebenso wurden in den Oberflächenvermessungen der Messpunkte im Jahr 2015 deutlich weniger Verformungen als in den vorherigen Jahren festgestellt.

Die durchgeführten Untersuchungen im Absatz 5.5.1.2 und 5.5.1.3, um die Interaktion der Niederschlagsmengen mit den Bewegungsraten der Rutschung zu analysieren, ergaben in zwei Drittel der Fälle einen starken Zusammenhang zwischen Starkniederschlägen und Bewegungen des Rutschhanges. Den umgekehrten Beweis liefert somit das niederschlagsarme Jahr 2015 mit einhergehenden geringen Bewegungen des Rutschhanges.

Ein Bericht über großflächige Starkniederschläge im Klimawandel konnte für die Untersuchung dieser Massenbewegung nicht angewendet werden, da sich diese Ausarbeitung mit der Entstehung und Entwicklung von Zirkulationstypen im Gebiet Österreich, Süddeutschland und Teilen Tschechiens sowie der Schweiz beschäftigt. Der Focus liegt

dabei auf deren Entwicklung seit 1950 bis 2100 und deren Einfluss auf Hochwasserereignisse bei mitteleuropäischen Flüssen (WETRAX, 2015).

### 7.3 Schäden am Leitungsbauwerk der II. HQL

Wie im Kapitel 7.1 bereits erläutert, erstreckt sich der Schadensbereich des Neubrucker Lehenstollens auf einen Bereich von 30 m (Poisel, 2012). Direkt in diesem Schadensbereich liegt der INK 2.

Die Ergebnisse der Messungen am INK 2 zeigen, dass die dort angetroffene Gleitfläche in ca. 24 bis 26 m Tiefe genau den Neubrucker Lehenstollen schneidet, der sich in etwa 24 m unter der GOK befindet. Dadurch lassen sich auch die vermehrten Schäden in diesem Bereich erklären, da das Bauwerk unterschiedlichen Verschiebungen ausgesetzt ist.

Die Tatsache, dass die Massenbewegung eine nacheiszeitliche Hangbewegung darstellt und demnach älter als der Neubrucker Lehenstollen ist, gibt Grund zu der Annahme, dass der Bau des KW Neubruck in den Jahren 2009 und 2010 nicht die grundlegende Ursache für die Hangbewegung darstellt. Jedoch lässt der zeitliche Zusammenhang mit der Errichtung des Kraftwerks und den eingetretenen Schäden am Lehenstollen Raum für die Interpretation, dass die baulichen Maßnahmen am Hangfuß die Tiefe der Gleitfuge dermaßen verändert haben, dass diese nun durch die II. HQL schneidet anstatt zuvor darüber. Allerdings ist dabei zu beachten, dass die Schäden am Leitungsbauwerk erst bei der Begehung im Herbst 2010 bemerkt wurden und in der Abkehr genau ein Jahr davor keine Risse oder Abplatzungen aufgezeichnet wurden.

Wie bereits im Kapitel 6.4 erwähnt liegt die rechnerisch ermittelte Beeinflussung der Standsicherheit durch die Eintiefung im Unterwasserbereich des Kraftwerkes bei ca. 0,5 bis 0,8 %. Dieser Einfluss ist somit deutlich geringer als die ebenfalls berechneten Auswirkungen von möglichen Porenwasserdruckänderungen in der Gleitzone, die 1,6 bis 1,8 % betragen.

Aufgrund dieser Erkenntnis sollten auch die drei im Kapitel 5.5.1.3 angeführten extremen Niederschlagsereignisse in den Jahren 2009 und 2010 erwähnt werden, die zu einem erhöhten Porenwasserdruck in der Gleitzone geführt haben könnten und somit einen wesentlich größeren Einfluss auf die Standsicherheit darstellen könnten als die Baumaßnahmen am Fuß der Massenbewegung.

## 7.4 Interpretation Berechnungsmodelle

Die durchgeführten Berechnungen mit dem gewählten Längsschnitt ergaben eine Verminderung der Standsicherheit durch die verschiedenen Eintiefungen von 1,1 m bzw. 2,0 m im Unterwasserbereich des KW Neubruck um ca. 0,5 bis 0,8 %.

Die Anordnung von Ankern zur Sicherung des Rutschhanges kann eine Möglichkeit der Stabilisierung darstellen. Die relativ hohe Anzahl der notwendigen Anker zur Erhöhung der Standsicherheit um 3 bis 5 % lässt die beiden ausgearbeiteten Varianten in den Kapiteln 6.5.1 und 6.5.2 jedoch als sehr kostenintensiv erscheinen.

Eine weitere Möglichkeit zur Erhöhung der Standsicherheit wäre es, neben dem Einsatz von konstruktiven Stützelementen, den offensichtlichen Einfluss der Starkniederschlagsphasen auf den Grundwasserspiegel in der Tiefe der Gleitzone zu reduzieren. Dabei könnten Drainagebohrungen zum Einsatz kommen, die ausgehend vom steilen Bereich des Hangfußes hangaufwärts in Richtung der Abrisskante gebohrt werden, um ein Ansteigen des Grundwasserspiegels, der die Gleitfuge der Massenbewegung beeinflusst, zu unterbinden (Brandl, 2009).

Allerdings wären für diese Massenbewegung viele lange Bohrungen (ca. 200 m) notwendig, die eine Lagegenauigkeit derselben mit sich bringen. Gleichzeitig sind nur im Fußbereich der Massenbewegung verstellte Bereiche vorhanden und deshalb nur sehr flache Winkel möglich um den Grundwasserspiegel in der gewünschten Tiefe zu halten. In diesem Fall könnten eventuell Brunnenschächte am Hangfuß hergestellt werden, von denen dann Drainagebohrungen hangaufwärts gebohrt werden. Dabei könnte auch ein steiler Winkel für die Bohrung erzielt werden.

Eine weitere Möglichkeit bietet der in Zukunft nicht mehr genutzte Neubrucker Lehnstollen. Nach der Inbetriebnahme des Ersatzstollens könnte das alte Leitungsbauwerk im Bereich der Massenbewegung zu einem Sammelstollen für zusätzliche Drainagebohrungen umfunktioniert werden. Die gesammelten Wässer würden anschließend über den Lehnstollen abgeleitet. Allerdings müsste dafür das alte Stollenbauwerk weiterhin intakt gehalten werden.

Am wahrscheinlichsten wäre eine Kombination aus den beiden genannten Ansätzen für die Grundwasserbeeinflussung. Im oberen Bereich der Massenbewegung könnte der Neubrucker Lehnstollen mit zusätzlichen Drainagebohrungen die Porenwasserdrücke in der Tiefe der Gleitfuge gering halten. Im unteren Hangbereich könnten Brunnen-

schächte einen tieferen Ansatzpunkt für die hangaufwärtsgerichteten Drainagebohrungen liefern und somit einen steileren Bohrwinkel ermöglichen. Die in den Schächten gesammelten Wässer der nun deutlich kürzeren Drainagebohrungen könnten anschließend über Pumpen in die Erlauf geleitet werden.

## 7.5 Charakteristik der Rutschung

Bei der Klassifizierung dieser Massenbewegung handelt es sich nach der Klassifizierung von Cruden und Varnes um eine sehr langsame (Bewegungsgeschwindigkeit: cm/Jahr) Rutschung, welche eine annähernd rotationsförmige Gleitfläche besitzt (Hungr; Leroueil; Picarelli, 2014)

Bereits in Kapitel 3 wurde erwähnt, dass sich das untersuchte Areal in der Rhenodanubischen Flyschzone befindet. Einer Untersuchung von Massenbewegungen in Niederösterreich über den Zeitraum 1953 – 1990 nach sind jene geologischen Gebiete, die zur Flysch- und Klippenzone des Bundeslandes zählen besonders von Rutschungen betroffen (Schwenk, Spendingwimmer, Salzer, 1992).

Interessant ist hierbei die Tatsache, dass diese geologischen Bereiche nur rund 10 % der Fläche von Niederösterreich darstellen.

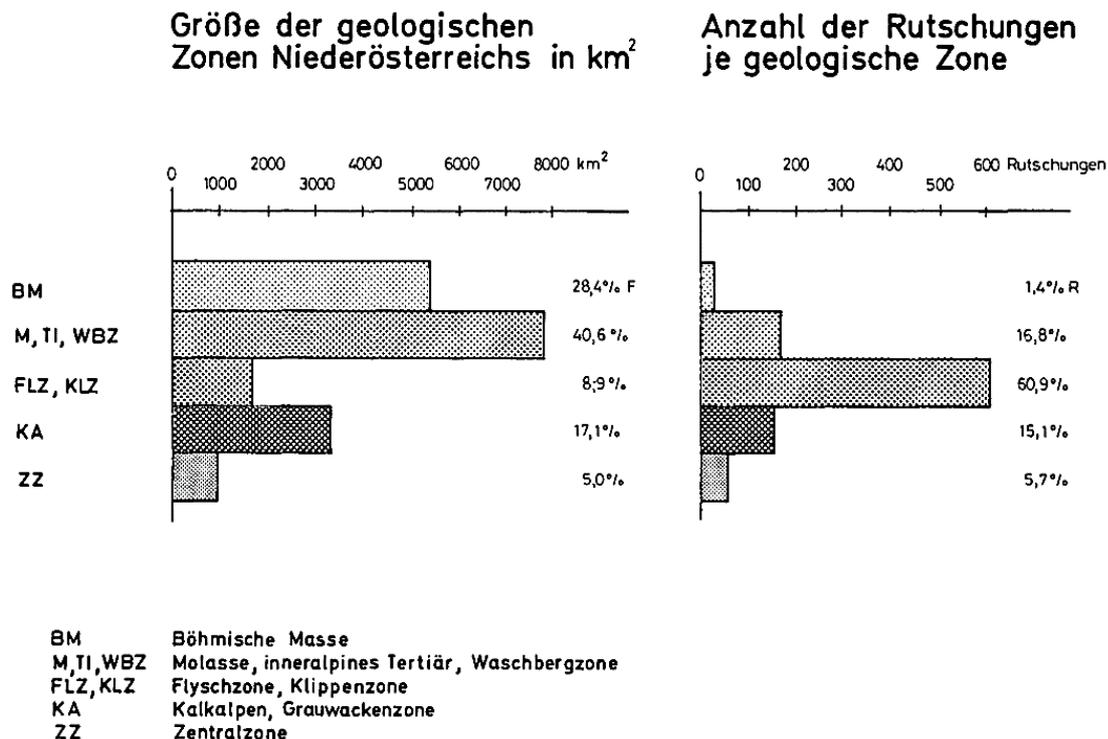


Abb. 69 Flächenmäßige Ausdehnung der Geologischen Zonen in NÖ. Anzahl der Rutschungen im Zeitraum 1953 – 1990 (Schwenk, Spendingwimmer, Salzer, 1992)

Die Massenbewegung in Fürteben wurde auch von der Fachabteilung Ingenieurgeologie der Geologischen Bundesanstalt in deren Datenbank aufgenommen. Die Kurzbeschreibung der Rutschung mit der Identifikationsnummer 28287 lautet Scheibbs – Lehenstollen bei Neubruck, wobei ein rezentes Verhalten der Massenbewegung angegeben wird (Geologische Bundesanstalt, 2016).

### **7.6 Einfluss auf das Kraftwerk an der Erlauf**

Die Messpunkte W1 – W5 entlang der Seitenmauer des Fischaufstieges bzw. im Bereich des Wehrrückens geben Informationen für folgende Interpretation:

Die Punkte W1 bis W3 weisen vermutlich deshalb so wenig Verschiebung auf, weil sich diese direkt beim Wehrrücken befinden und durch die abstützende bzw. abspreizende Wirkung des betonierten Wehrrückens keine großen Verformungen möglich sind.

Die Messpunkte W4 und W5 hingegen zeigen gemeinsam mit den sich öffnenden Bewegungsfugen der Mauer eine Verformung aufgrund der Massenbewegung an. Es ist nicht auszuschließen, dass es bei fortschreitenden Verschiebungen zu Schäden an besagter Stützmauer kommt und dadurch die Passierbarkeit der Fisch- und Organismenaufstiegshilfe sowie der Flussquerschnitt nach der Wehrklappe beeinflusst werden.

## 8 Diskussion

Die Massenbewegung in Fürteben stellt eine nacheiszeitliche Hangbewegung dar und weckt seit den aufgetretenen Schäden in dem Neubrucker Lehenstollen der II. HQL größeres Interesse hinsichtlich ihres zukünftigen Verhaltens.

Die Eingriffe im Fußbereich des Geländes im Zuge der Errichtung des Flusskraftwerkes Neubruck in den Jahren 2009 und 2010 stellen grundsätzlich einen Einfluss auf die Standsicherheit der Rutschung dar. Dieser Einfluss ist jedoch gering und im Vergleich zu den natürlichen Porenwasserdruckschwankungen in der Gleitzone zufolge Starkniederschlag als untergeordnet einzustufen.

Das installierte Ketteninklinometer im INK 6 sollte die Möglichkeit geben bei aufgezeichneten Änderungen des Grundwasserspiegels durch die Porenwasserdruckgeber zeitgleiche bzw. leicht zeitversetzt auftretende Bewegungen des Geländes zu registrieren. Aufgrund von technischen Problemen konnte in den ersten Monaten des Jahres 2016 keine durchgehende Messung abgehalten werden und somit die Auswirkungen der aufgezeichneten, erhöhten Grundwasserspiegel im Detail nicht festgehalten werden.

Allerdings ergab die Verformungsfigur des Ketteninklinometers, dass die Lage der Gleitfuge mit ca. 36 bis 40 m unter der GOK tiefer liegt als ursprünglich vermutet. Aufgrund dessen müssen bei einer allenfalls erforderlichen Detailplanung für Sicherungsmaßnahmen weitere Berechnungen zur Untersuchung der Standsicherheit durchgeführt werden.

Grundsätzlich ist durch den Bau und zukünftigen Betriebes eines Ersatzstollens die Gefahr gebannt, dass die Wasserversorgung der Stadt Wien durch eine beschädigte II. HQL im Raum Scheibbs problematisch wird.

Somit bleibt langfristig gesehen das größte Risiko für das KW Neubruck am Fuß der Massenbewegung. Dort zeichnen sich an der bergseitig situierten Stützmauer des Schlitzpasses bereits Verformungen in den Dehnungsfugen der Wandabschnitte ab.

Ein plötzliches Versagen der Massenbewegung mit abgeschätzten 1,2 Mio. m<sup>3</sup> ist unter den gegebenen Umständen als sehr unwahrscheinlich anzusehen.

## 9 Literatur

- Amt der NÖ. Landesregierung, Gruppe Wasser, Abteilung Wasserrecht und Schifffahrt. (2013). *Bescheid, Abänderung der wasserrechtl. Bewilligung, zusätzliche Auflagen, (WA1-W-143/138-2013)*. St. Pölten.
- BEV Bundesamt für Eich- und Vermessungswesen. (März 2016). *Österreichische Karte, AMAP Austria; ©BEV 2016, Vervielfältigt mit Genehmigung des BEV in Wien, N2016/14823*. Von <http://www.austrianmap.at/amap/> abgerufen
- Brandl, H. (2009). Konstruktive Hangsicherungen. In K. J. Witt, *Grundbau Taschenbuch 7. Auflage, Teil 3* (S. 747-897). Weimar: Ernst und Sohn.
- Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft. (2013). *Kundmachung für die Anberaumung einer wasserrechtlichen Bewilligungsverhandlung, II. Wiener Hochquellenleitung - Ersatzstollen Neubrucker Lehenstollen, UW.4.1.6/0347-I/5/2013*. Wien.
- Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft. (2014). *eHYD Mittlerer Jahresniederschlag GPZR-3315*.
- Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft. (01 2016). *eHYD Niederschlagsmessstellen*. Von <https://ehyd.gv.at/#> abgerufen
- Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft. (Jänner 2016). *Messdaten Niederschlag Tagessumme der Messstellen 109033 St. Anton an der Jeßnitz/Große Erlauf und 115618 Kienberg/ Große*. Abteilung 4, Wasserwirtschaft.
- Dr. Walter Nowy ZT GmbH, Robert Holzer. (2011). *Erkundug St52 - Schaden 2010, Bohrung KB INK 1-ZG 52*.
- GDP ZT GmbH, Moyschewitz. (2015). *Aufschluss Kernbohrungen KB6/15 und KB8/15*. BH Scheibbs.
- Geoconsult Wien ZT GmbH. (2011). *II. HQL - Abschnitt 1, Strecke Scheibbs Leitungsschäden oberhalb Erlaufwehr km 61,75 - 61,78; Geologische Rahmenbedingungen des Rutschhanges*.
- Geoconsult Wien ZT GmbH. (2012). *II. HQL, Umfahrung Neubruck, Bohrung INK 02*.

- Geoconsult Wien ZT GmbH. (2012). *II. HQL, Umfahrung Neubruck, Bohrung INK 03.*
- Geoconsult Wien ZT GmbH. (2013). *II. Wiener Hochquellenleitung MA 31 – 177525/12, Ersatzstollen Neubrucker Lehenstollen Ausschreibungsprojekt 2013, Erkundungsbericht.*
- Geologische Bundesanstalt. (März 2016). *webservices GBA, Massenbewegungen.* Von [https://gisgba.geologie.ac.at/gbaviewer/?url=https://gisgba.geologie.ac.at/ArcGIS/rest/services/AT\\_GBA\\_MASSENBEWEGUNGEN/MapServer](https://gisgba.geologie.ac.at/gbaviewer/?url=https://gisgba.geologie.ac.at/ArcGIS/rest/services/AT_GBA_MASSENBEWEGUNGEN/MapServer) abgerufen
- Holzer, R. (2015). *E-mail am 26.08. von R. Holzer an R.Marte.* Geoconsult.
- Hung; Leroueil; Picarelli. (April 2014). The Varnes Classification of landslide types, an update. *Landslides.*
- Land Niederösterreich, NÖ Atlas. (Juli 2015). *NÖ Atlas Geländehöhe (Laserscan).* Von <http://atlas.noel.gv.at/webgisatlas> abgerufen
- MA 29 Fachbereich Grundbau. (15.11.2013). *Inklinometermessrohr INK3-ZG52, Anmerkung: änderung der Messtiefe und neue Bezeichnung).*
- MA 29 Fachbereich Grundbau. (21.05.2013). *Inklinometermessrohr INK1-ZG52N nicht mehr messbar.*
- MA 31 Wiener Wasser - Fachbereich II. Hochquellenleitung. (Email vom 15.01.2016). *Niederschlagsmessgerät der Fa. OTT Type Pluvio<sup>2</sup>.*
- MA 41 Stadtvermessung Wien, Christian Rudorfer. (04.08.2014). *Messfeld St. Anton an der Jeßnitz - oberhalb Erlaufwehr 45.FM.*
- Magistrat der Stadt Wien. (Oktober 2015). *wien.at.* Von <https://www.wien.gv.at/wienwasser/versorgung/weg/> abgerufen
- Planungsgemeinschaft Goldbacher-Lengyel. (2008). *Wasserrechtliche Einreichung, Ersatzneubau Wasserkraftanlage KW Neubruck a. d. Erlauf in der Gemeinde Scheibbs, KG Fürteben, Wasserbuch-Postzahl SB-000549 / BH Scheibbs.* Wien.
- Planungsgemeinschaft Neubrucker Ersatzstollen: Geoconsult & iC consulenten. (2013). *II. Wiener Hochquellenleitung; Ersatzstollen Neubrucker Lehenstollen; Ausschreibungsprojekt.* MA 31 Wiener Wasser.

- Poisel, Mair am Tinkhof, Preh. (2015). Die Interaktion Großhangbewegungen - Tunnel am Beispiel eines Lehnenstollens in 370 m Seehöhe. *Österreichische Ingenieur- und Architekten-Zeitschrift*, 160. Jg., Heft 1-12, S. 221-230.
- Poisel, R. (2012). *II. Wiener Hochquellenleitung, Bereich oberhalb Erlaufwehr Leitungskilometer 61,755 bis 61,782, Geotechnisches Beobachtungs- und Untersuchungsprogramm*. MA 31 Wiener Wasser.
- Schwenk, Spendingwimmer, Salzer. (Mai 1992). Massenbewegungen in Niederösterreich 1953 - 1990. *Jahrbuch der geologischen Bundesanstalt, Band 135, Heft 2*, S. 597 - 660.
- Stump Foratec AG. (2015). *Prospekt: Grund zur Entwässerung? Siphon-Drainage*. [www.stump.at](http://www.stump.at).
- TU Graz. (2014). *Gutachterliche Stellungnahme Vorgutachten; Hangrutschung im Bereich der II Wiener Hochquellenleitung km61,640 bis km61,860 oberhalb Kraftwerk an der Erlauf*. Institut für Bodenmechanik und Grundbau.
- WETRAX. (2015). *Großflächige Starkniederschläge im Klimawandel*. Universität Augsburg, Institut für Geographie.

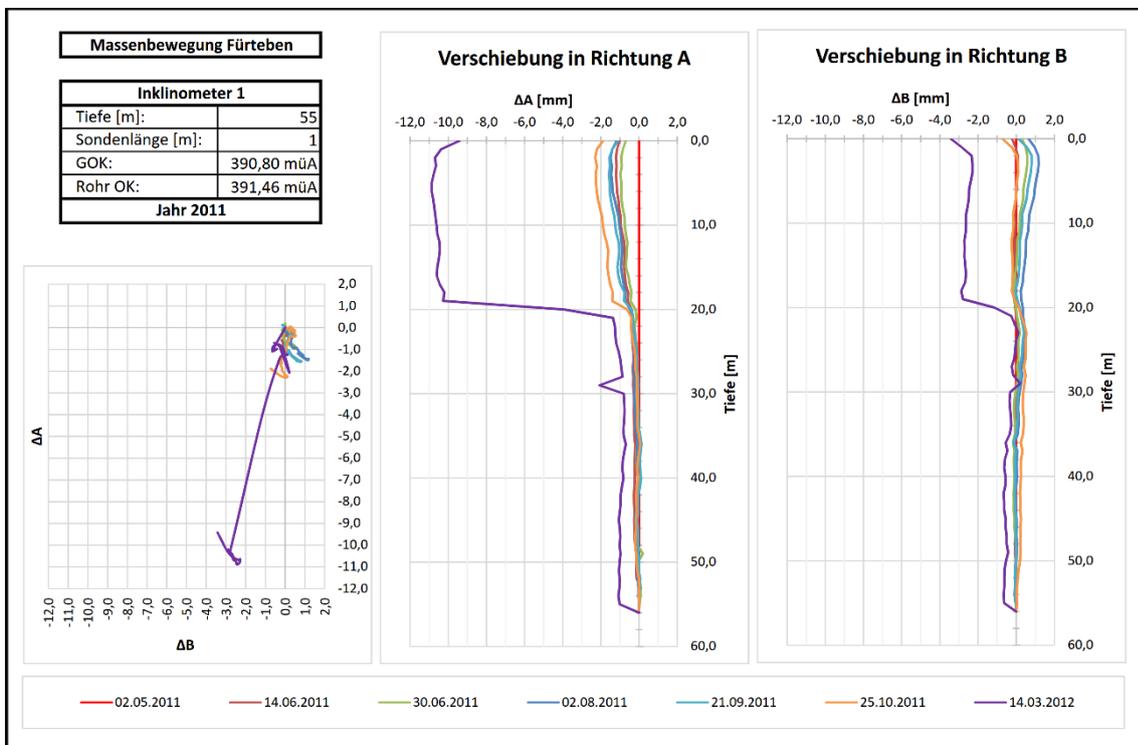
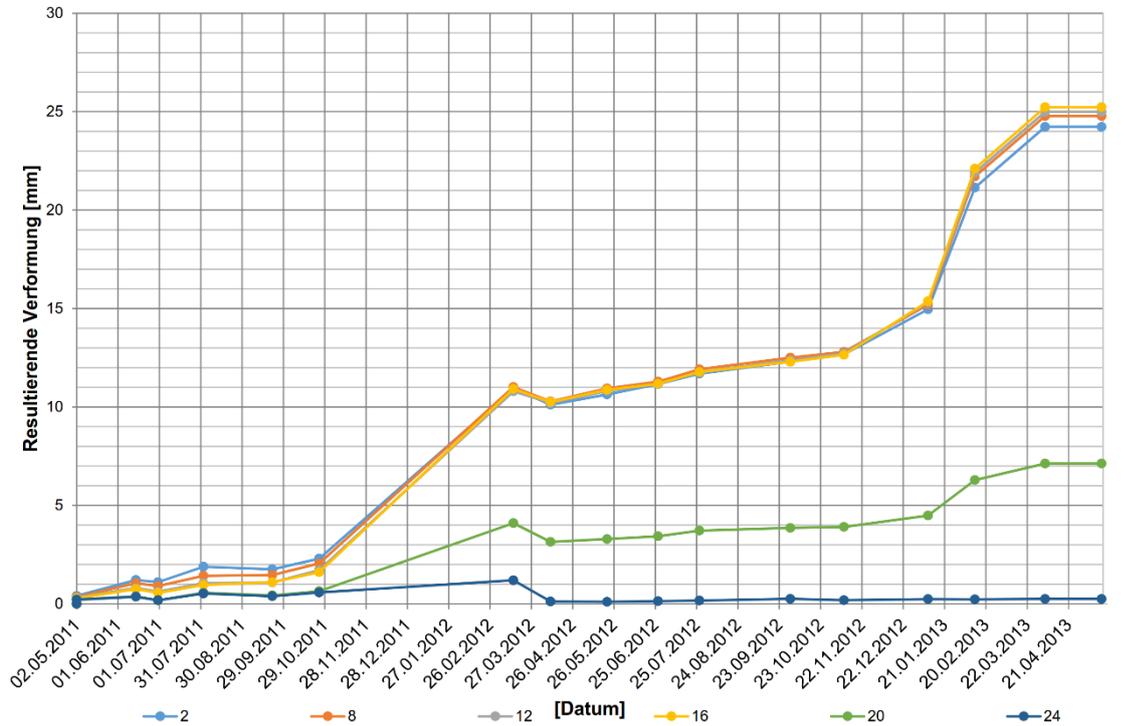


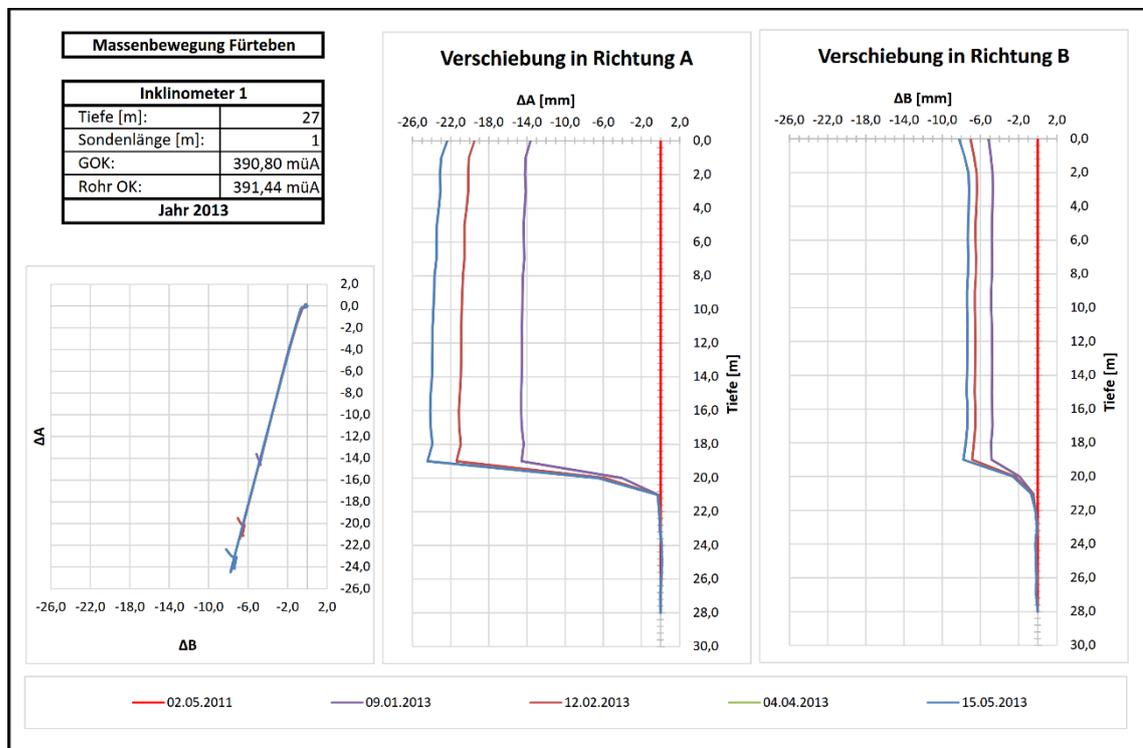
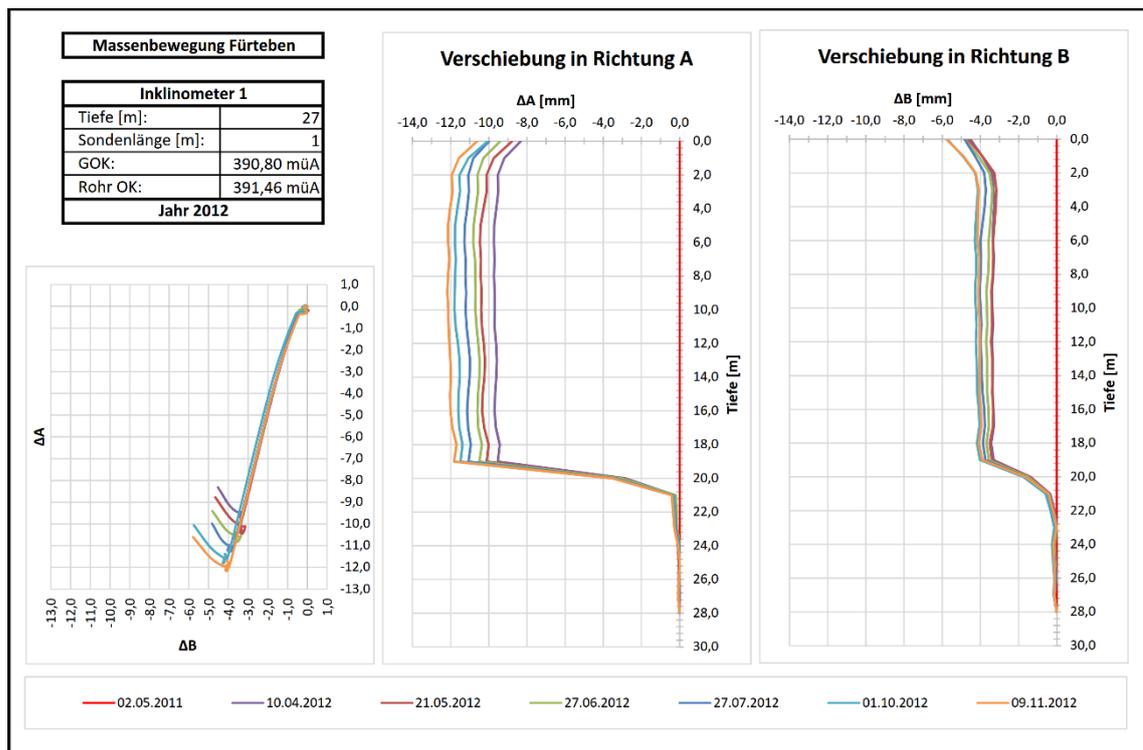
## 10 Anhang

I.	Inklinometer 1 .....	106
II.	Inklinometer 2 .....	108
III.	Inklinometer 3 .....	112
IV.	Inklinometer 6 (Ketteninklinometer).....	115
V.	Inklinometer 7 .....	117
VI.	Inklinometer 8 .....	118
VII.	Geodätische Messpunkte.....	119
VIII.	Messpunktgruppe W1-W5.....	120
IX.	Messpunktgruppe 21-25.....	121
X.	Messpunktgruppe 16-18.....	122
XI.	Messpunktgruppe Unten .....	123
XII.	Messpunktgruppe Oben.....	124
XIII.	Messpunktgruppe 1-5 .....	125
XIV.	Wetterdaten KW Neubruck.....	126
XV.	Porenwasserdruckgeber .....	128
XVI.	Bewegungsphasen.....	131
XVII.	Gegenüberstellung Niederschlagsdauer zu Intensität .....	133
XVIII.	Gegenüberstellung Bewegungsphasen mit Niederschlag.....	134
XIX.	Gegenüberstellung Hangneigung - Verschiebungsergebenden der Messpunkte .....	137
XX.	Volumenberechnungen der Massenbewegung .....	138
XXI.	Längsschnitt.....	139

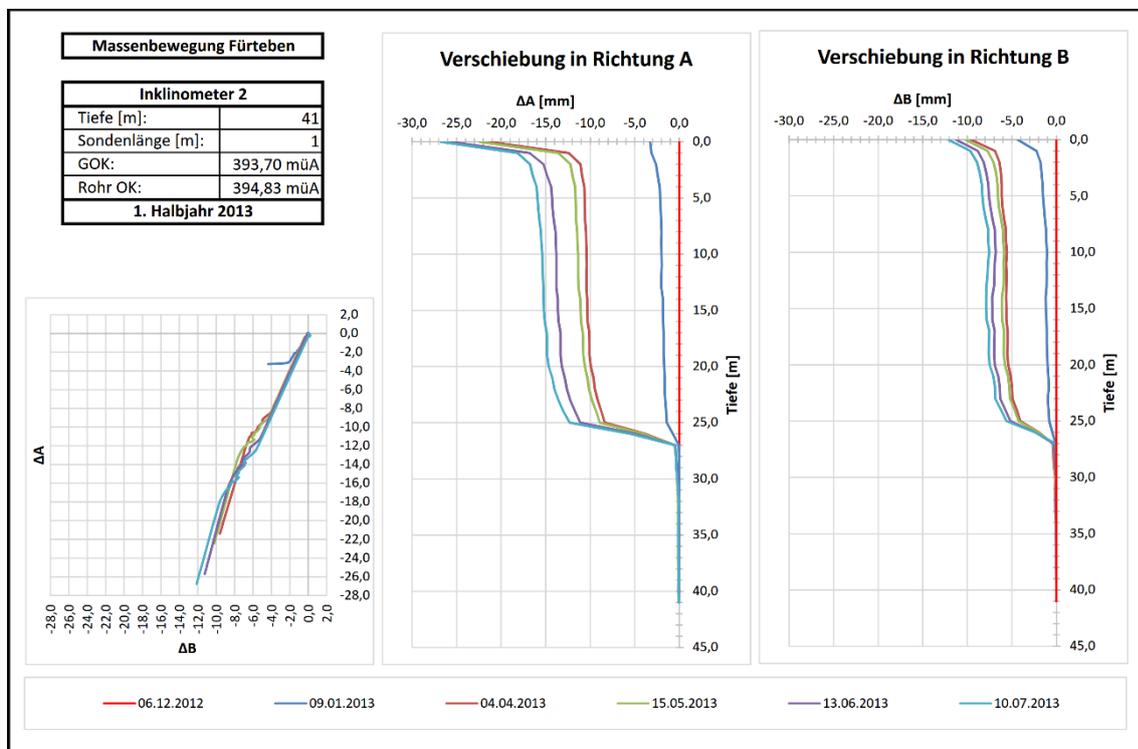
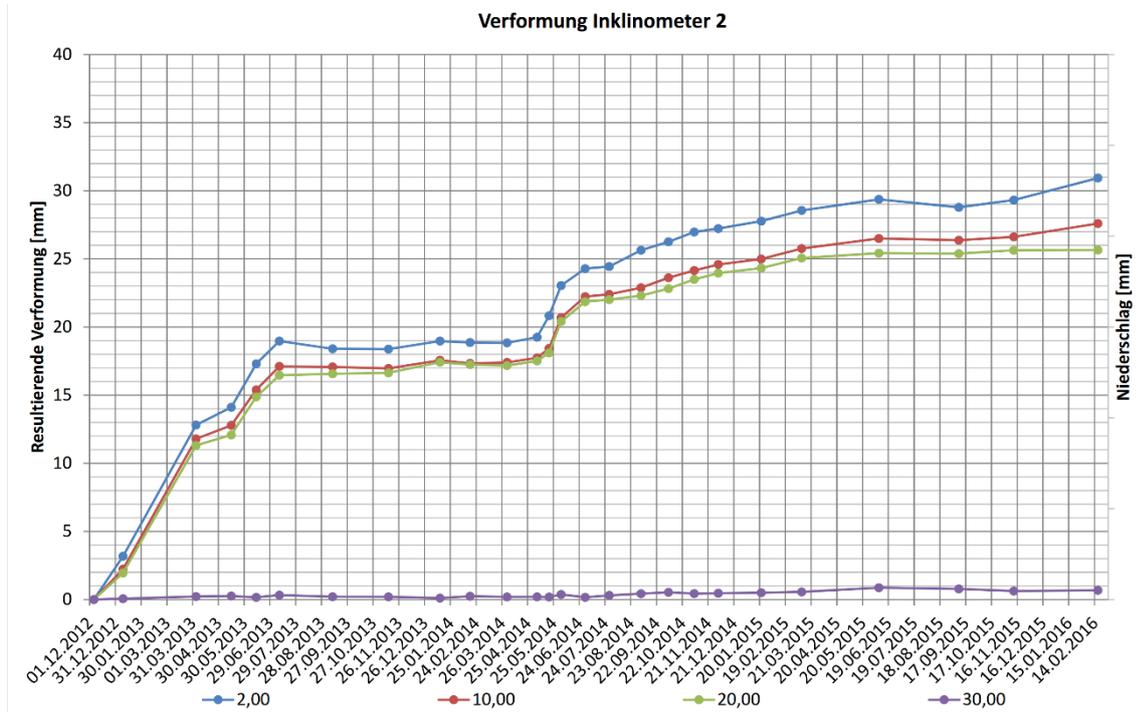
# I. Inklinometer 1

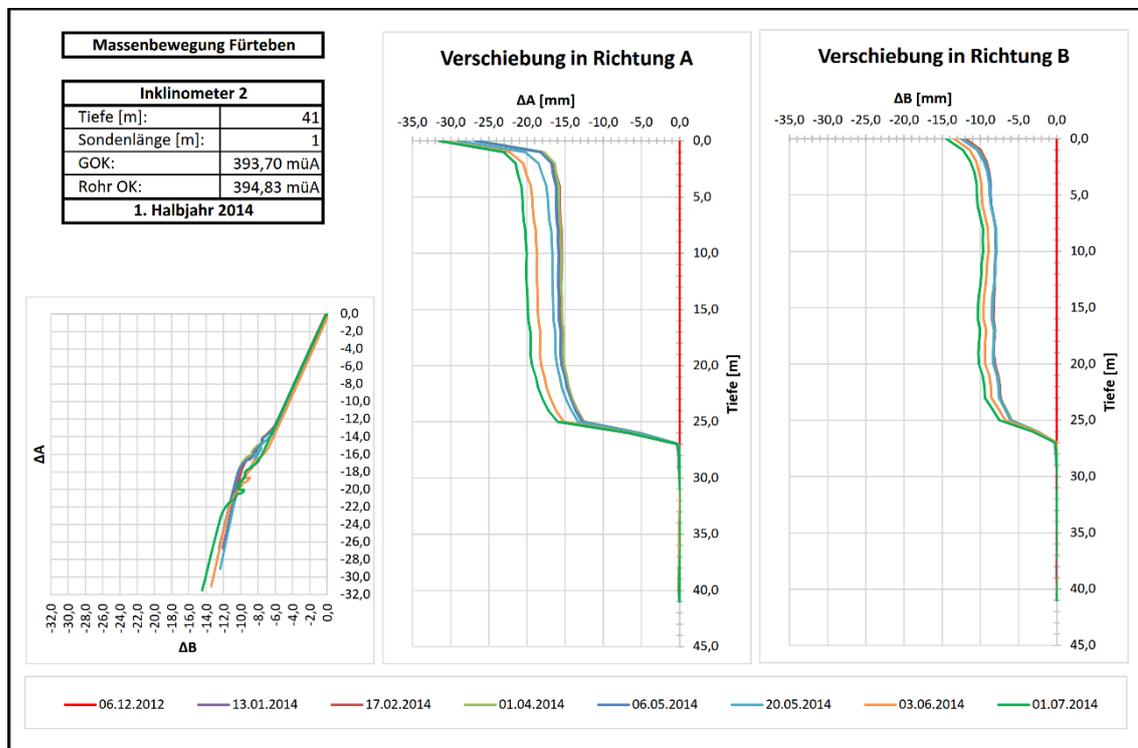
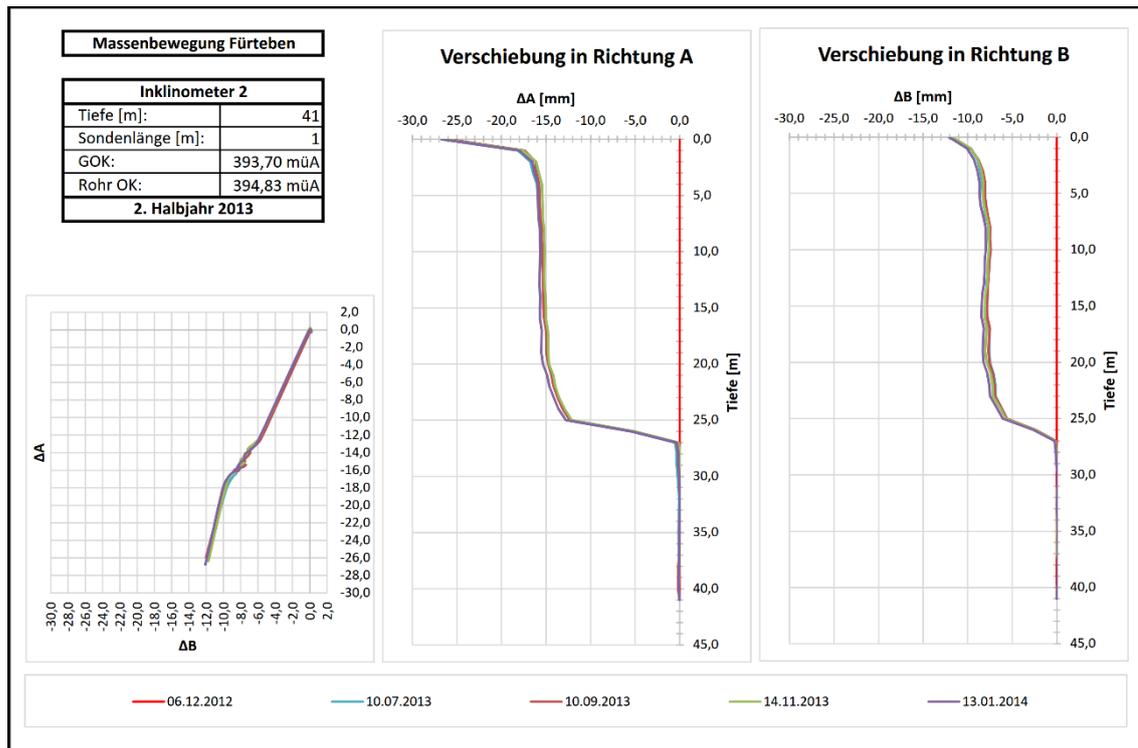
Verformung Inklinometer 1

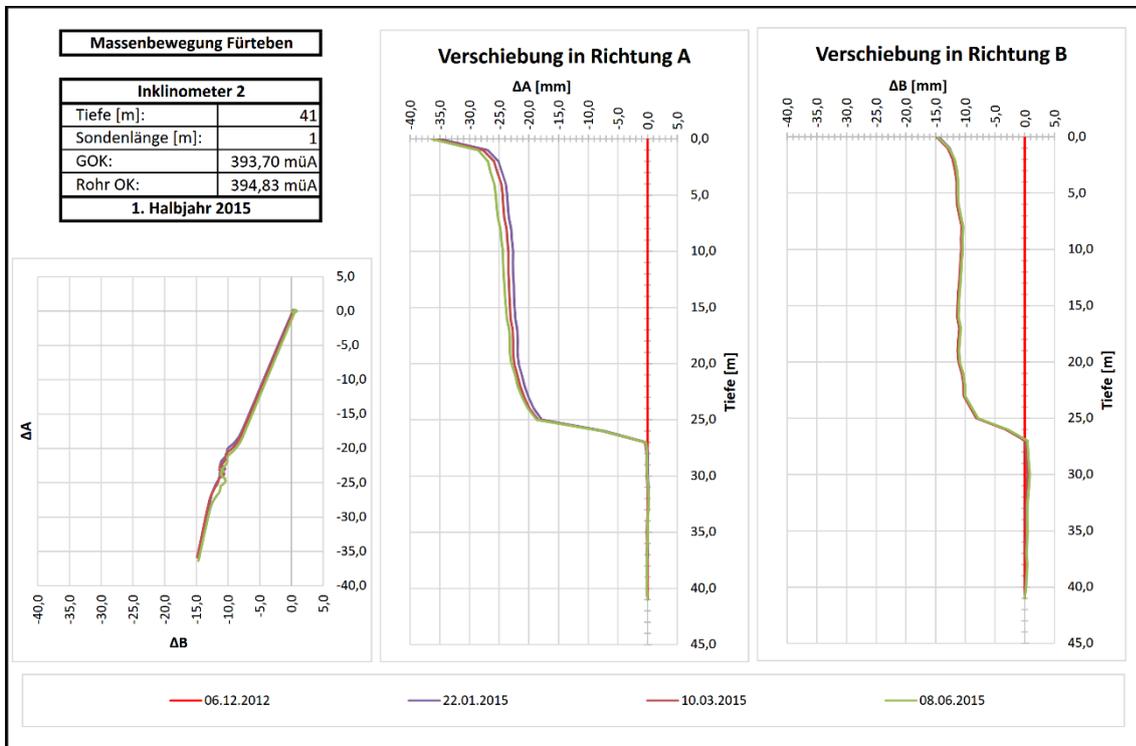
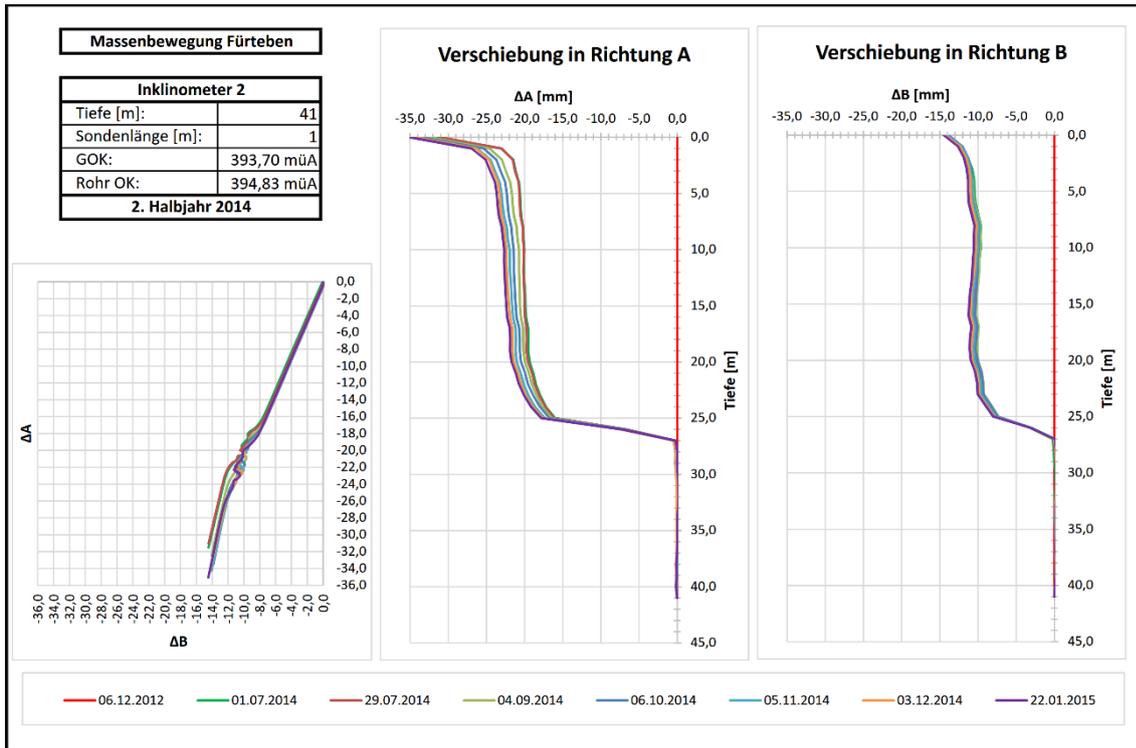


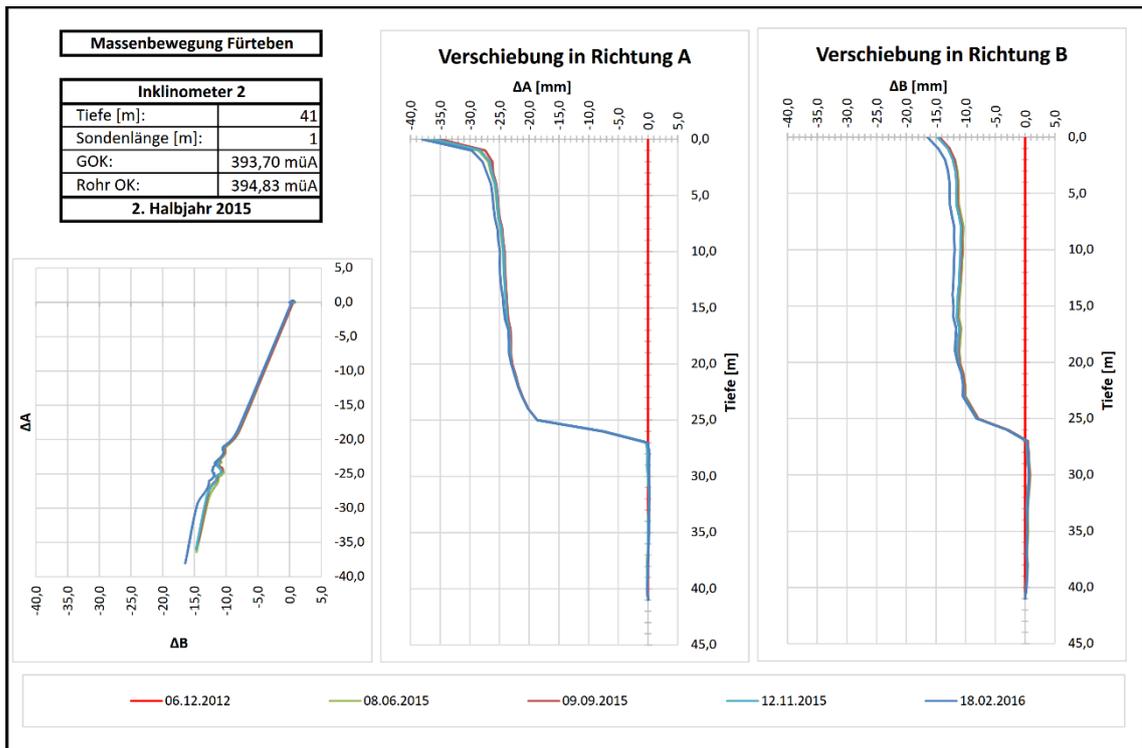


## II. Inklinometer 2

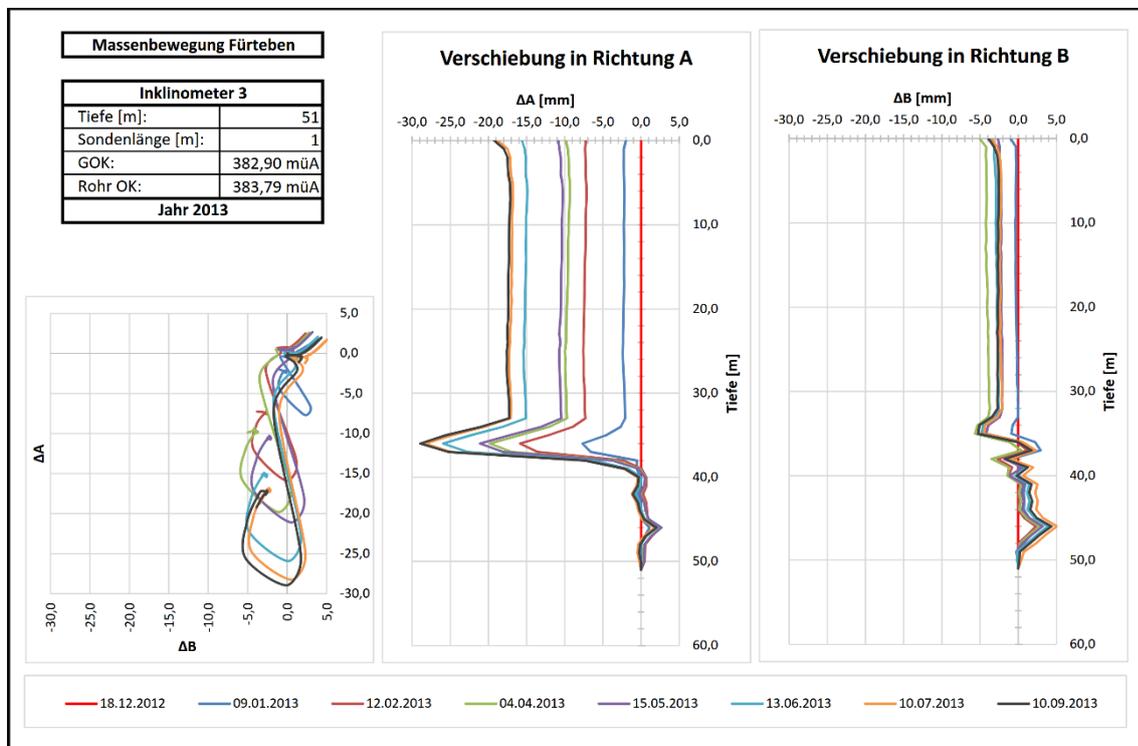
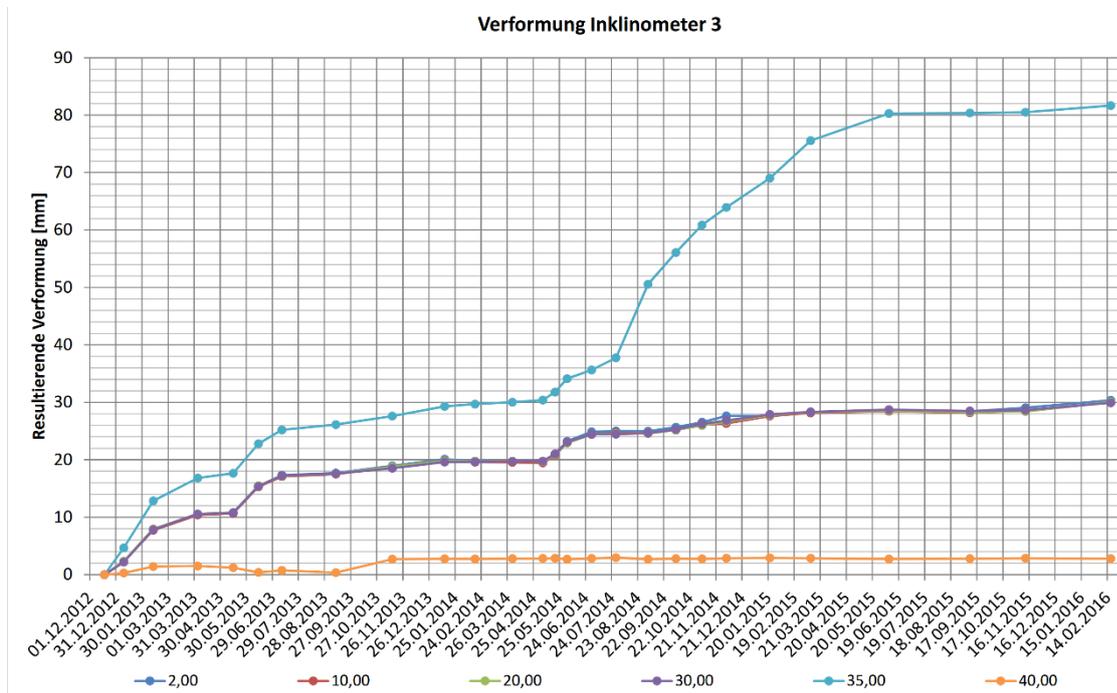


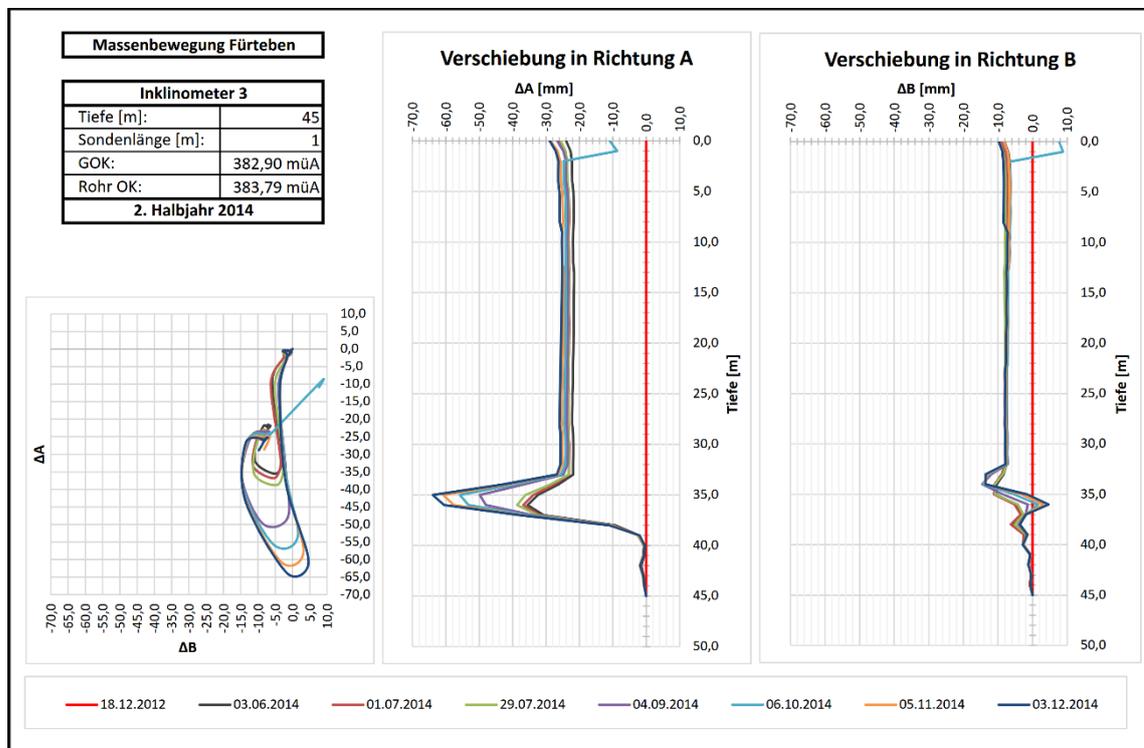
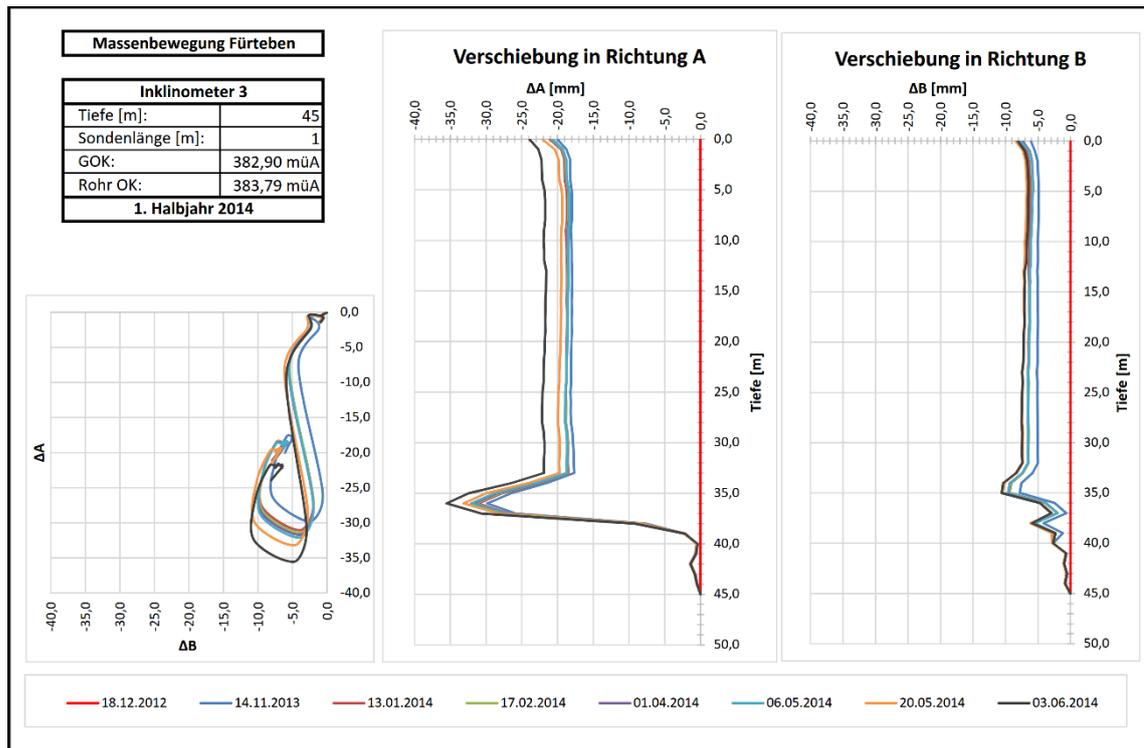


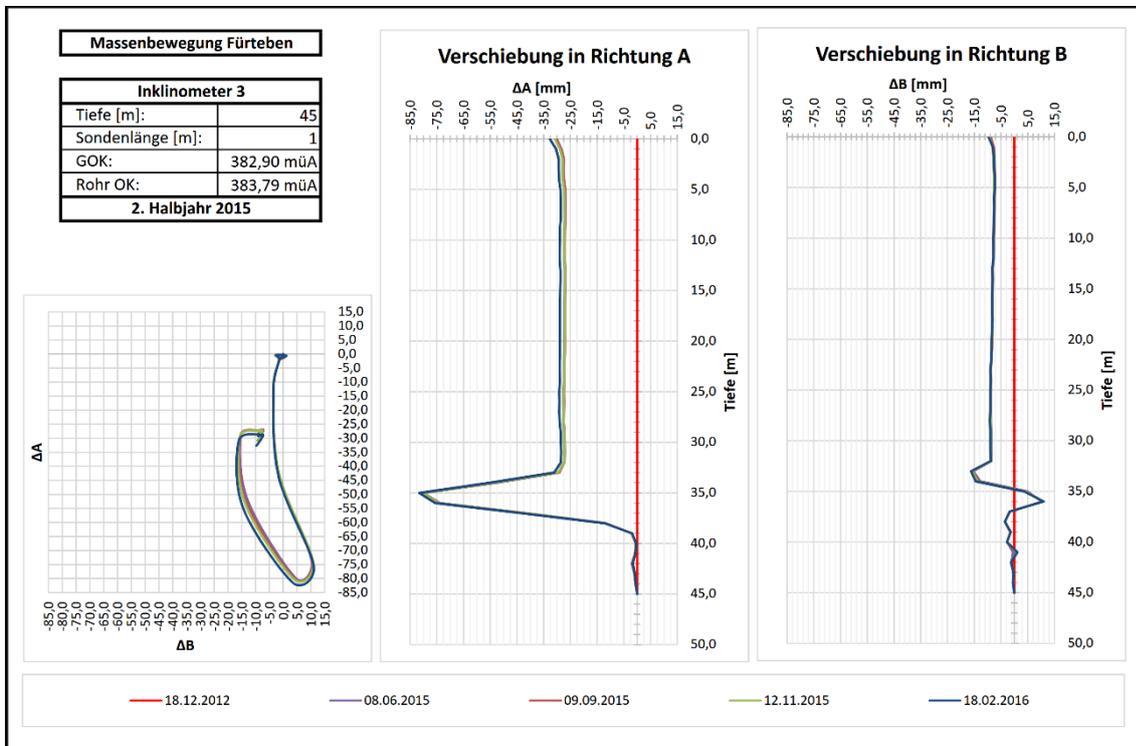
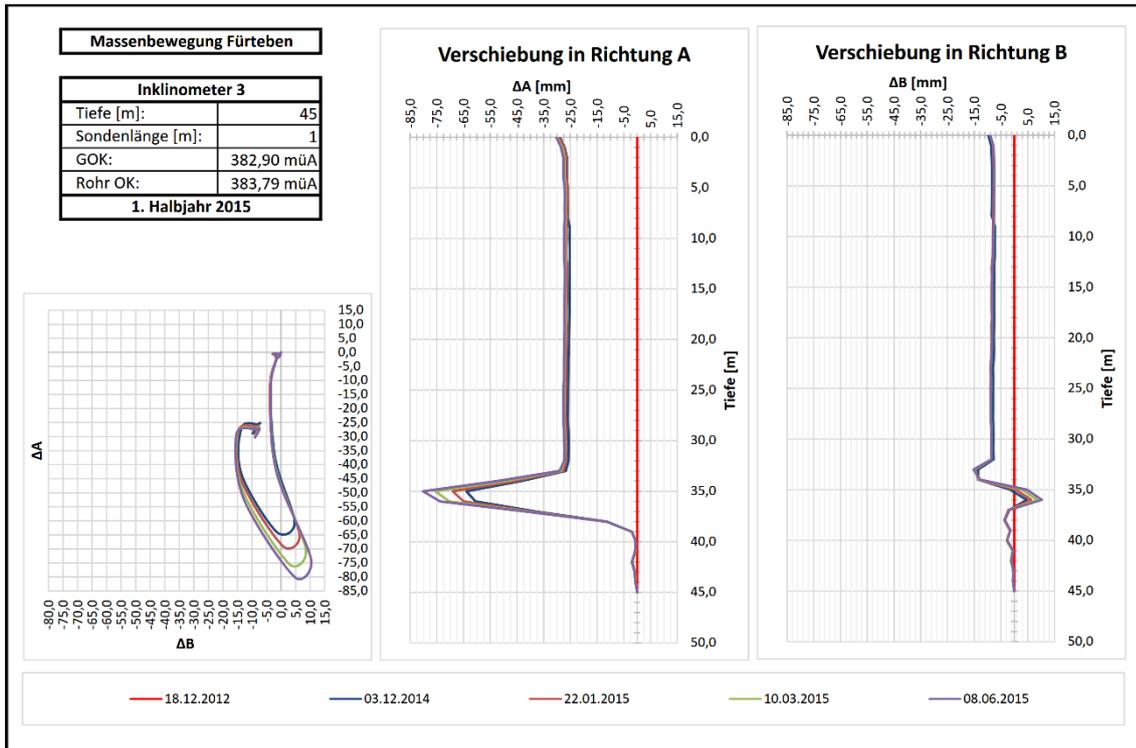




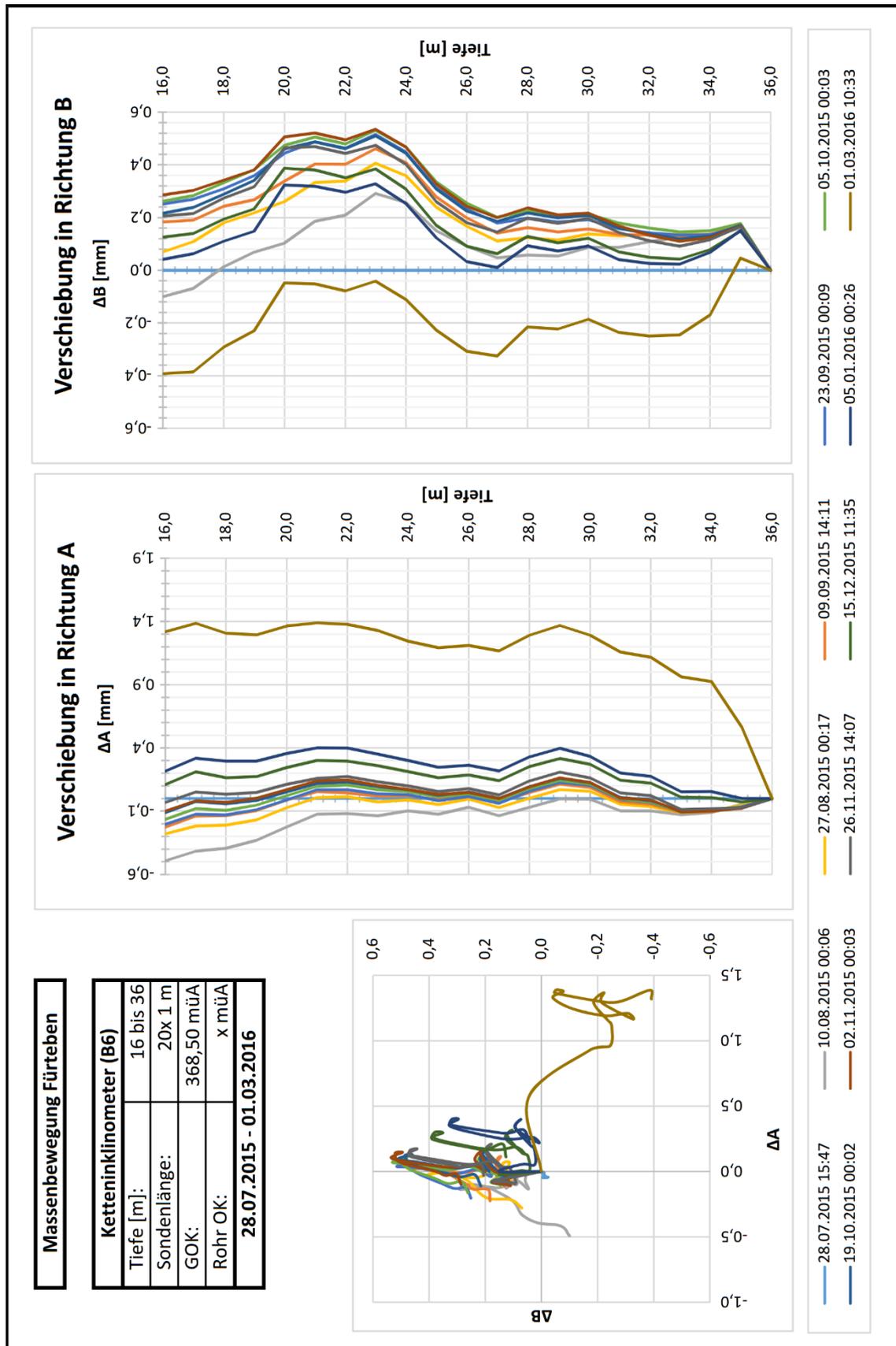
### III. Inklinometer 3

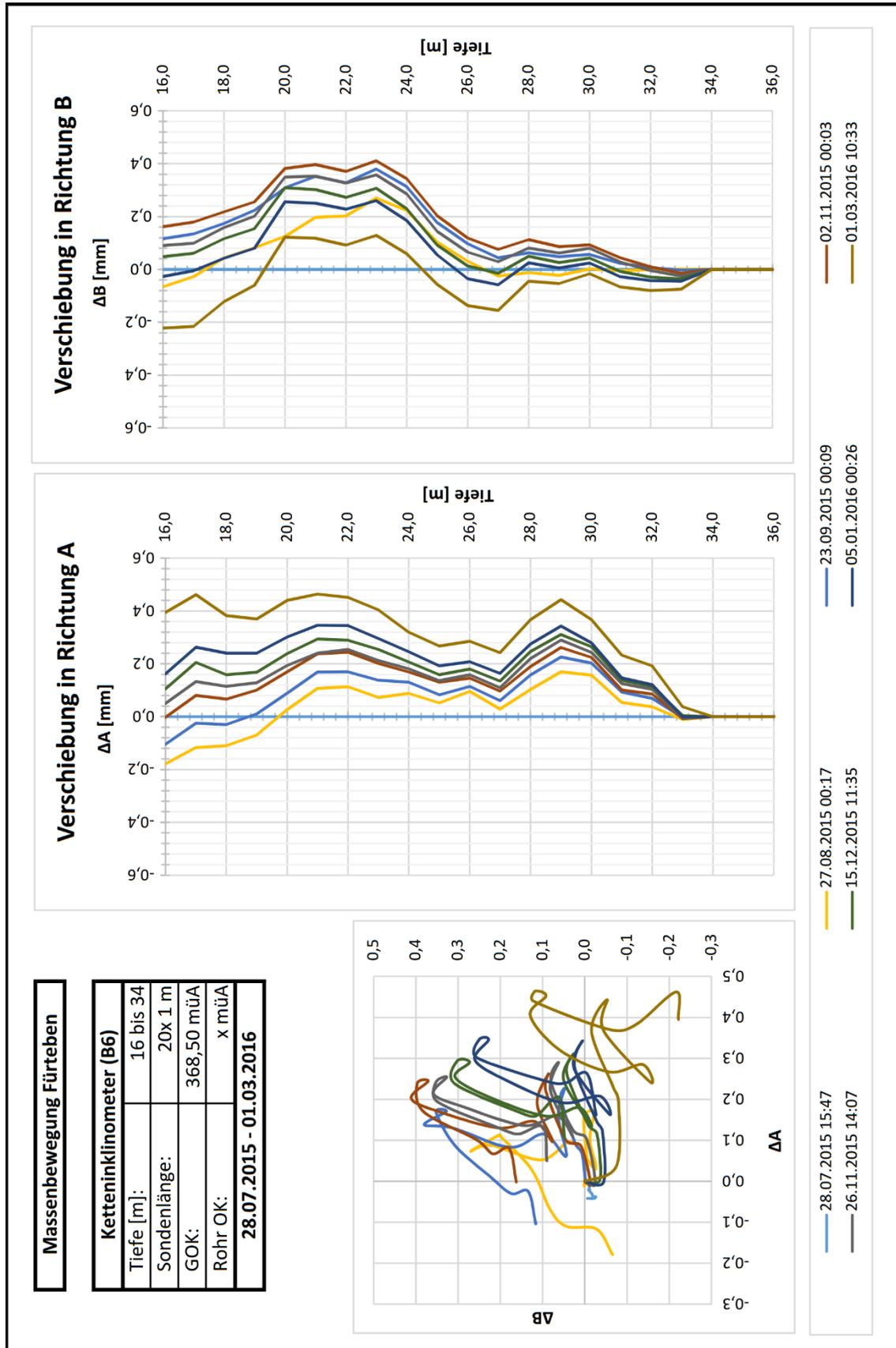




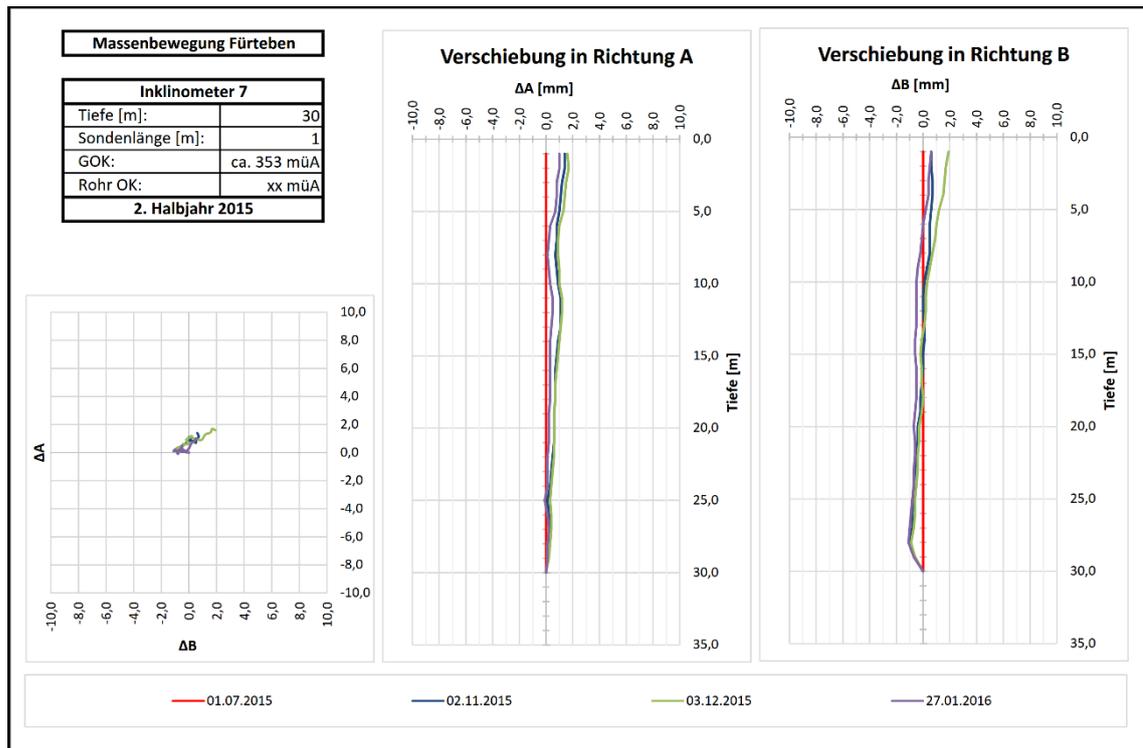


## IV. Inklinometer 6 (Ketteninklinometer)

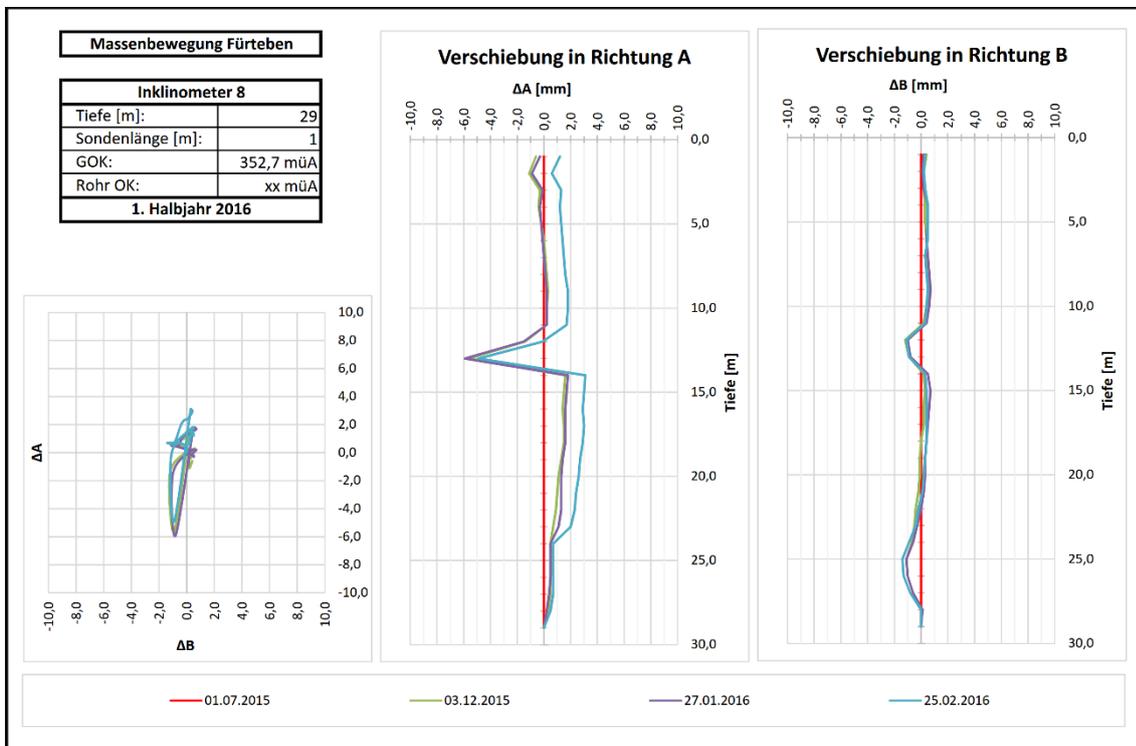
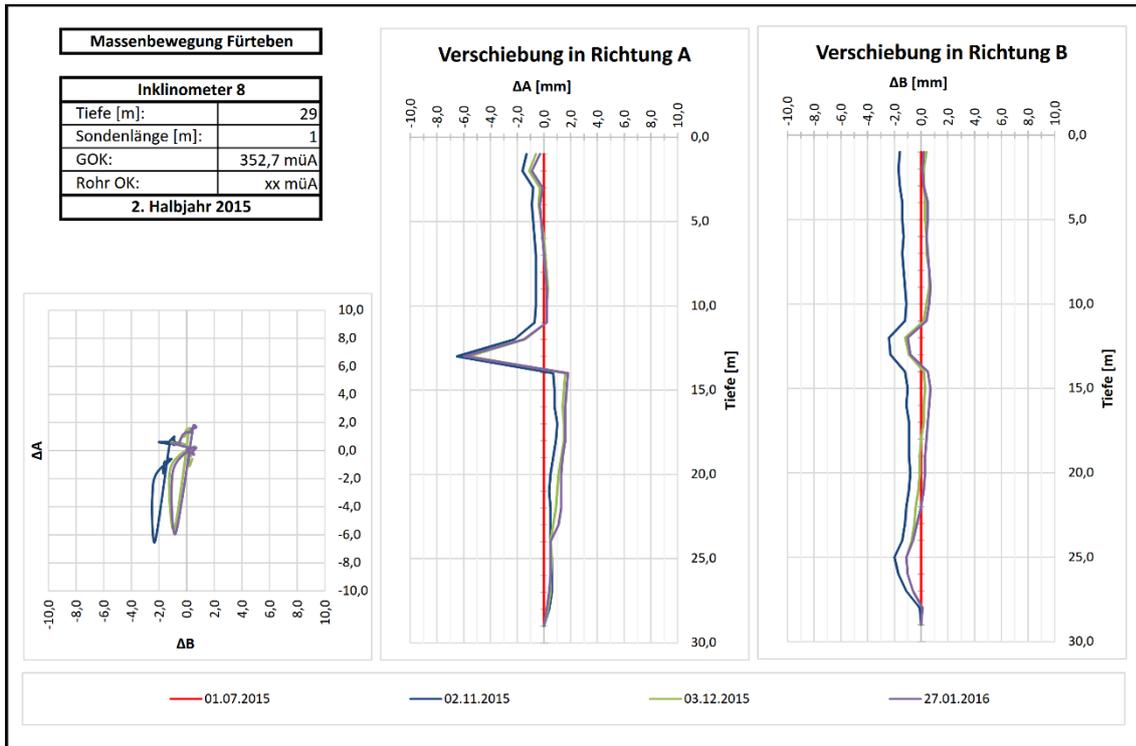




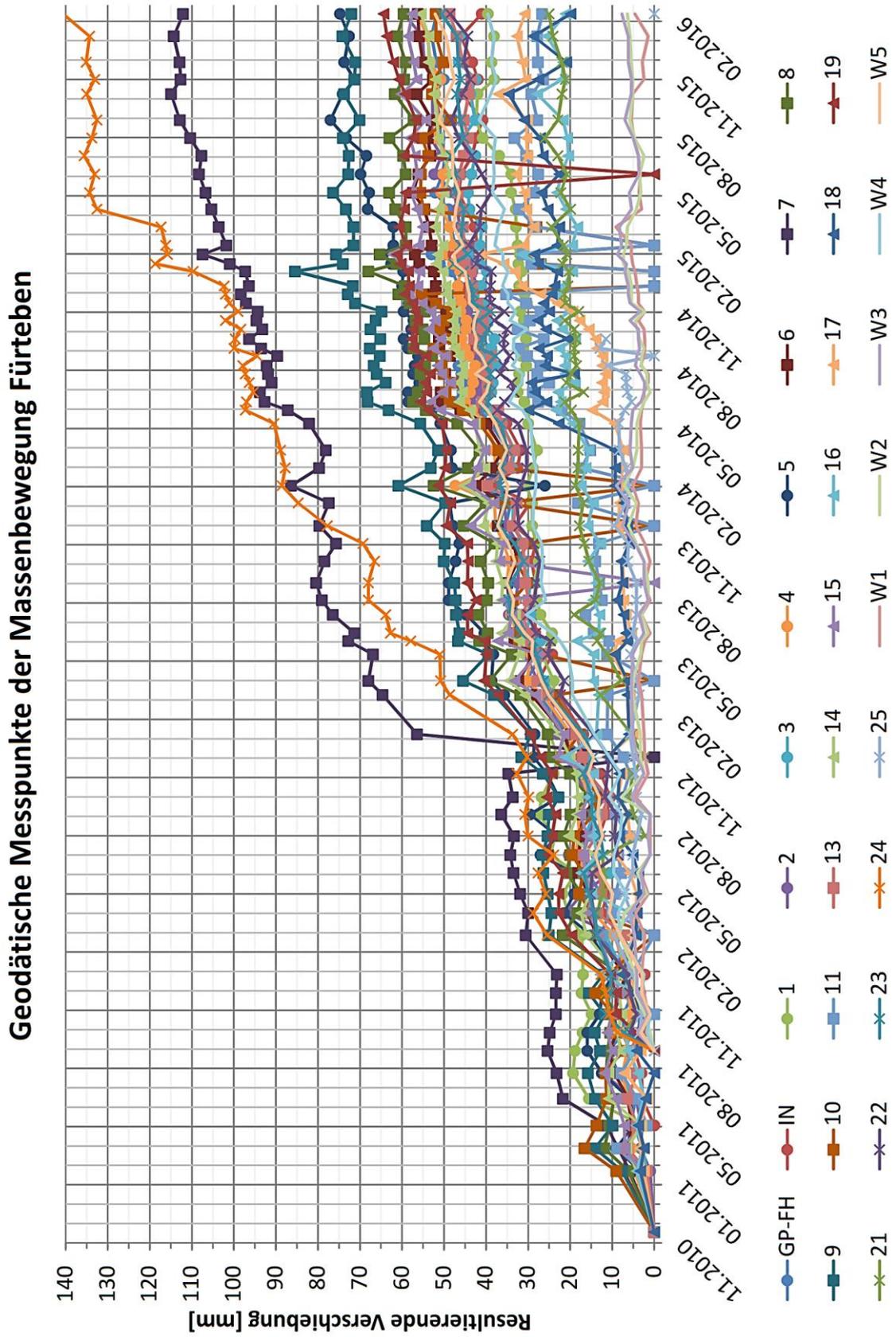
## V. Inklinometer 7



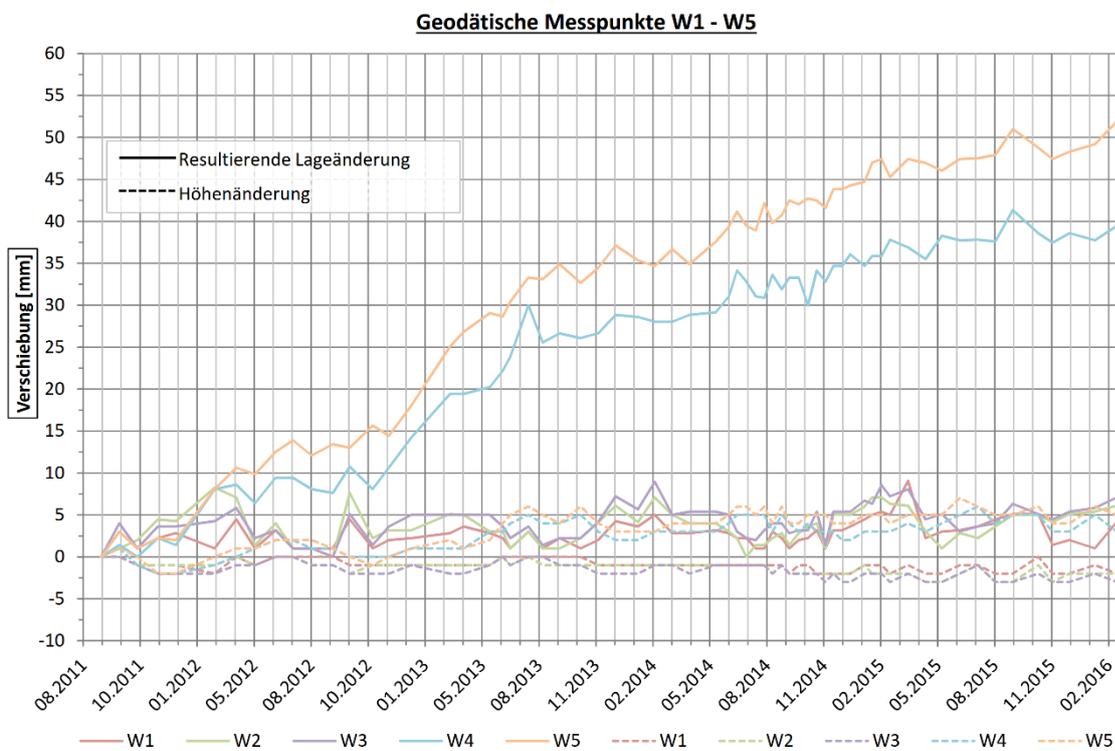
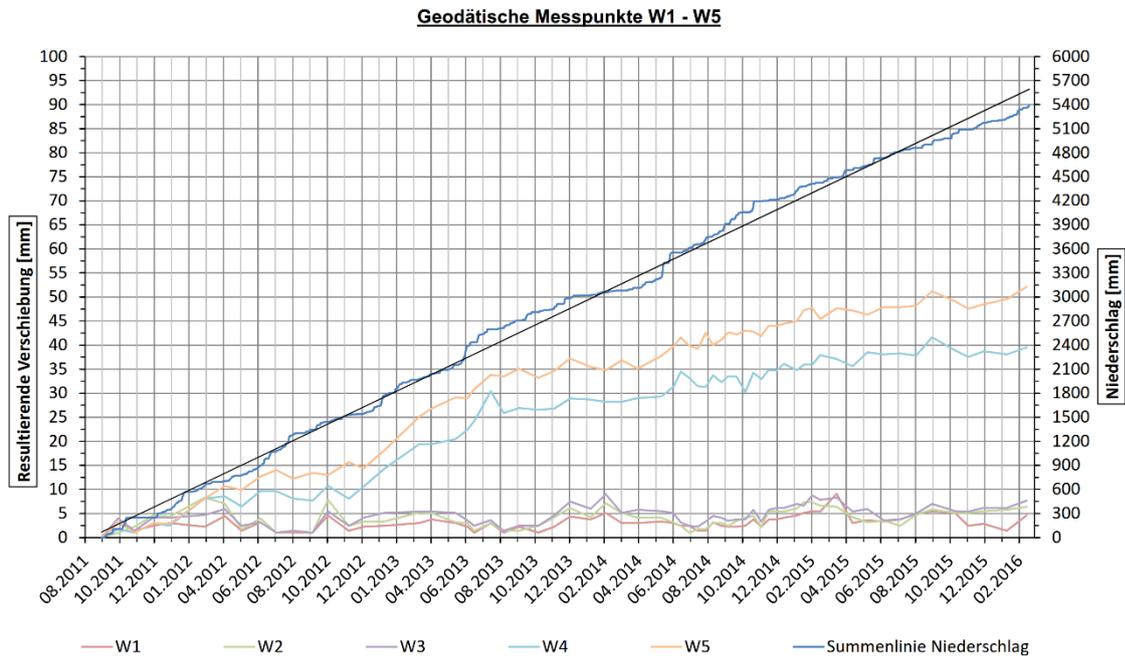
## VI. Inklinometer 8



## VII. Geodätische Messpunkte

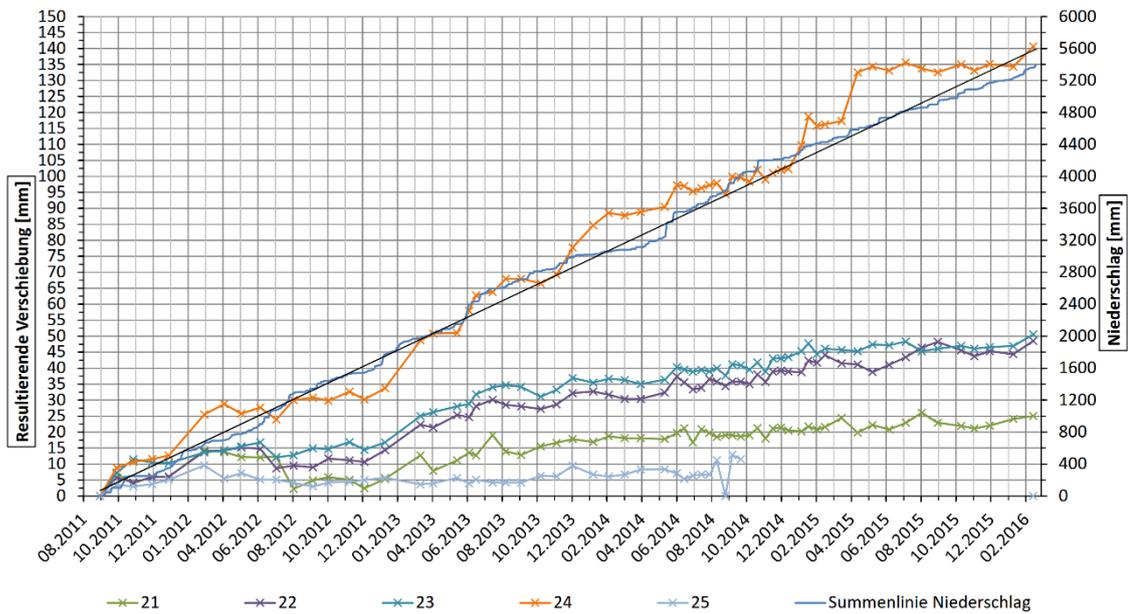


## VIII. Messpunktgruppe W1-W5

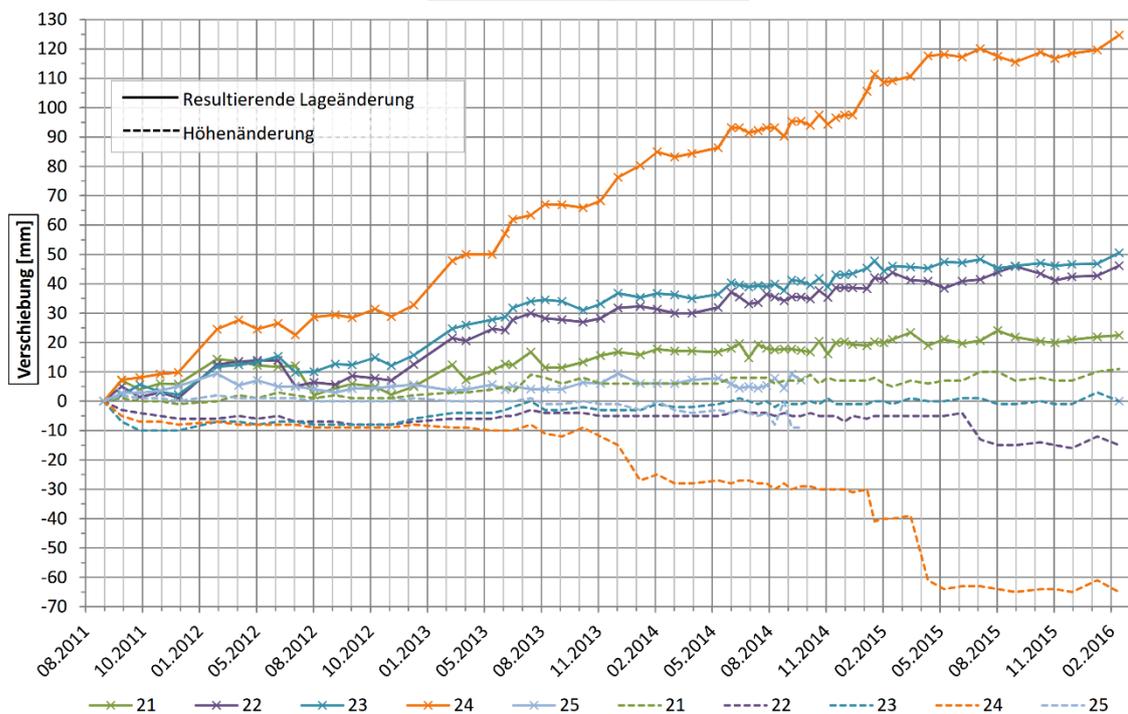


## IX. Messpunktgruppe 21-25

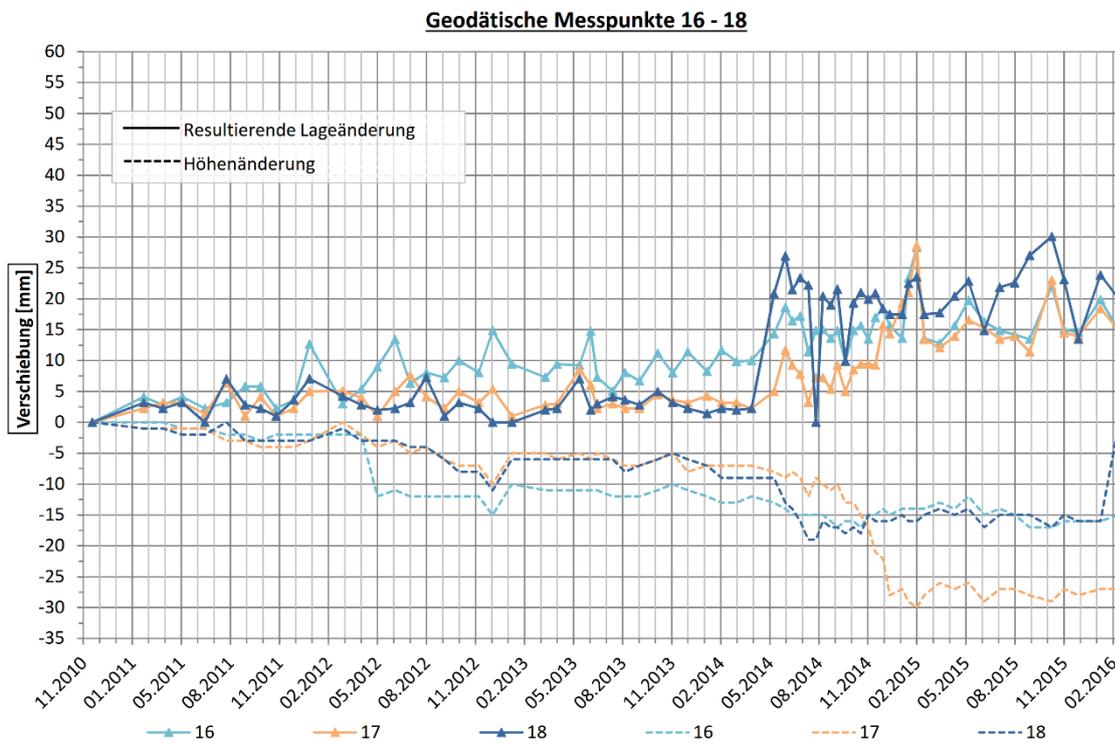
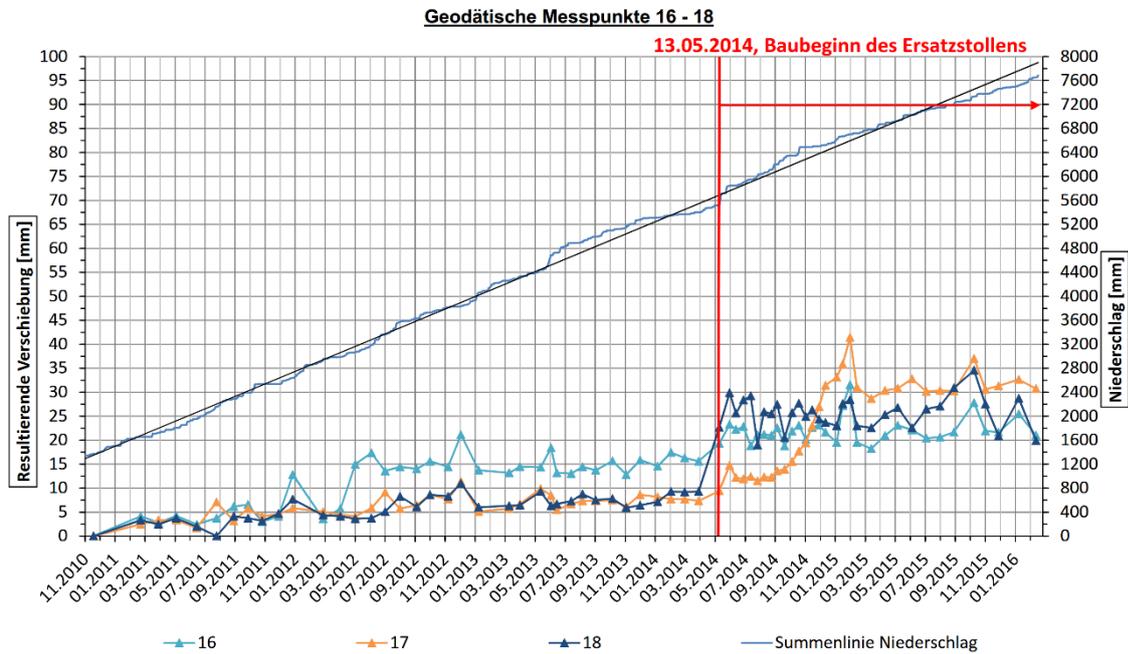
Geodätische Messpunkte 21 - 25



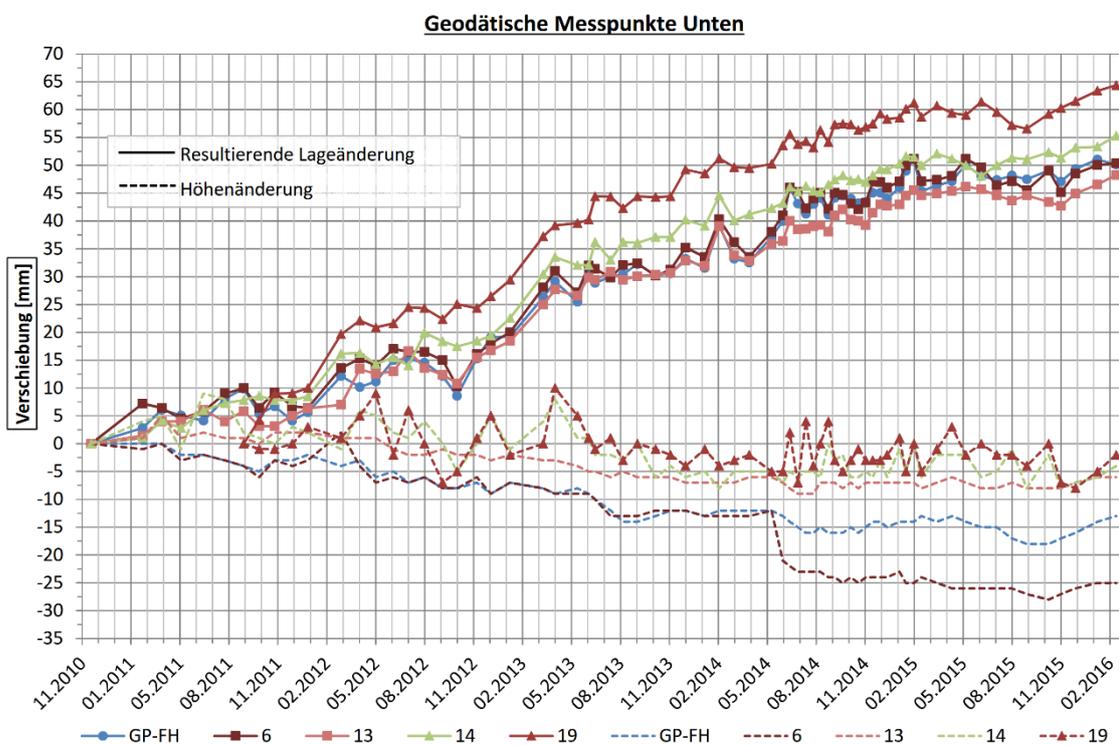
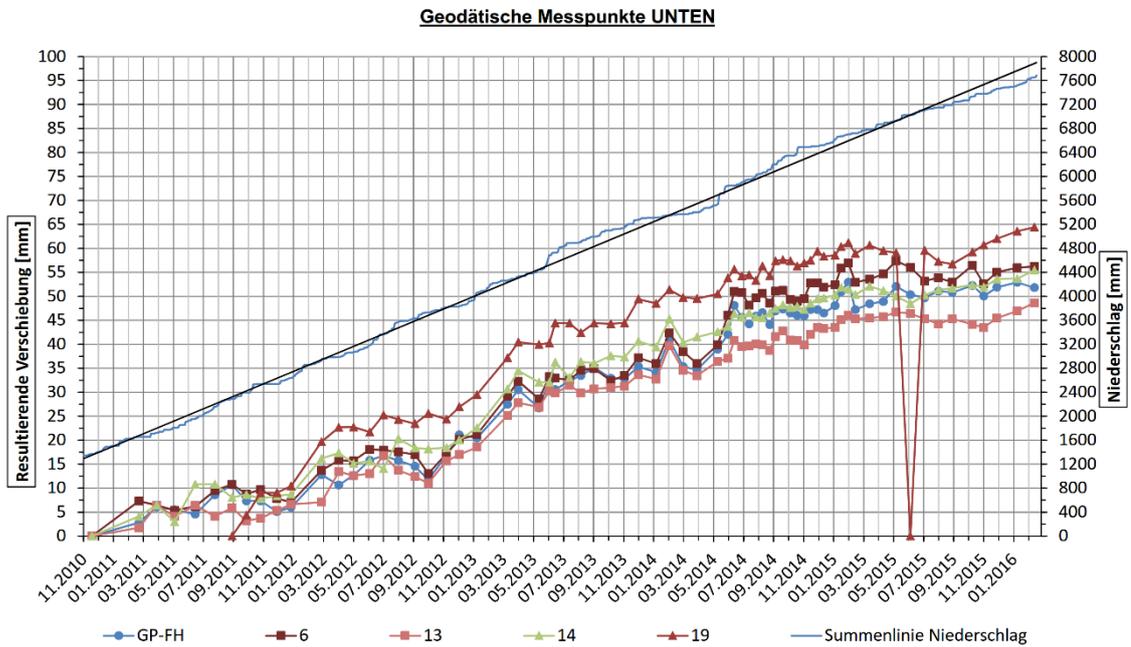
Geodätische Messpunkte 21 - 25



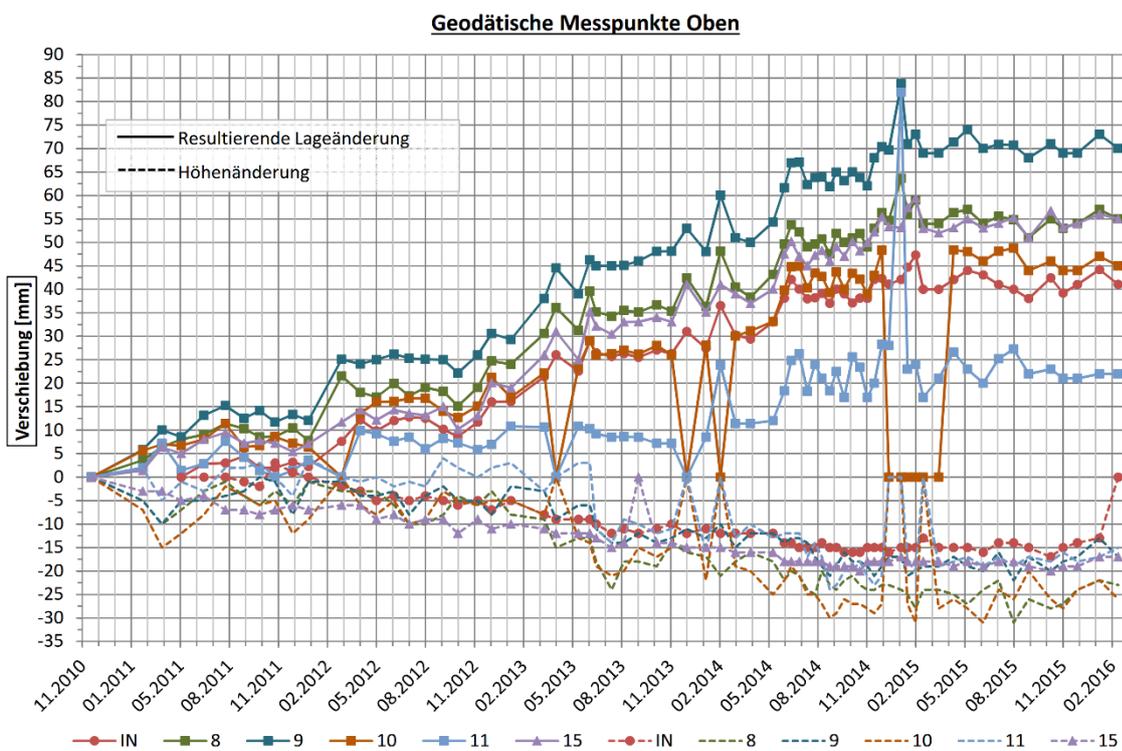
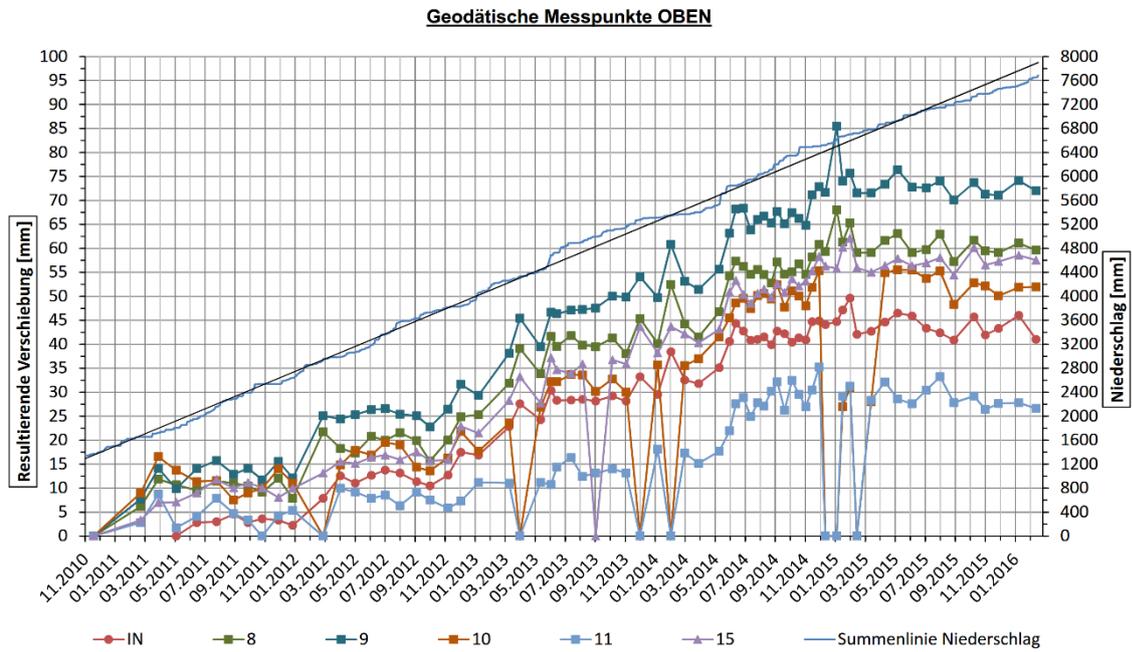
## X. Messpunktgruppe 16-18



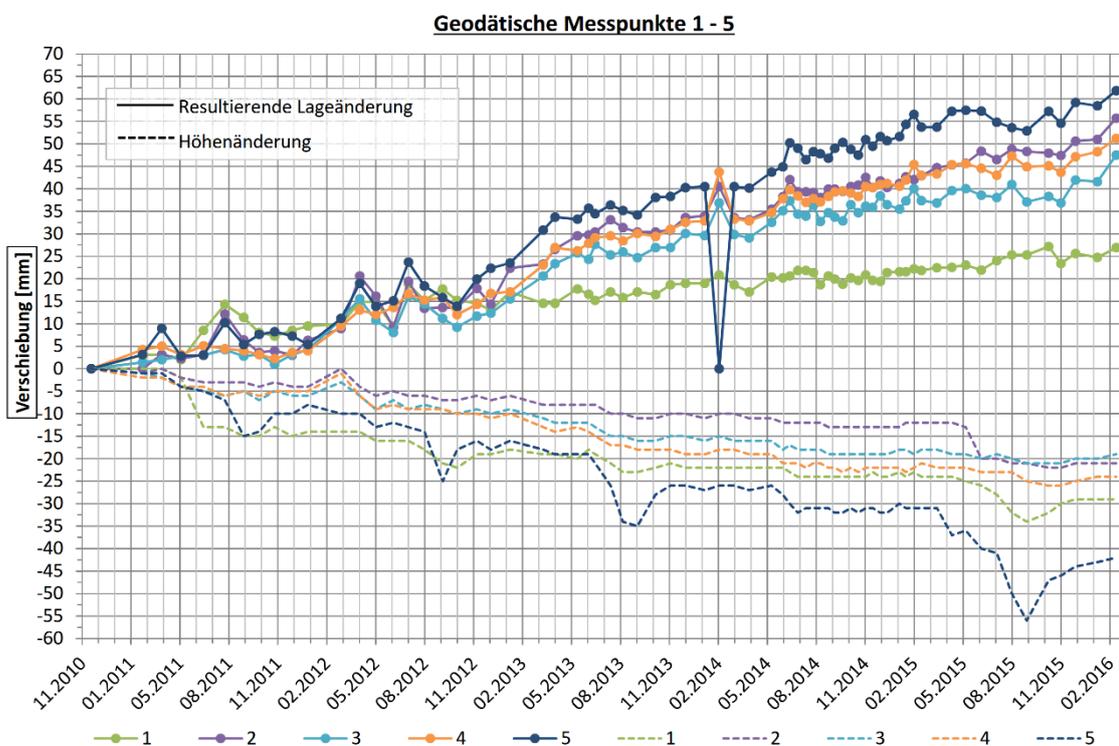
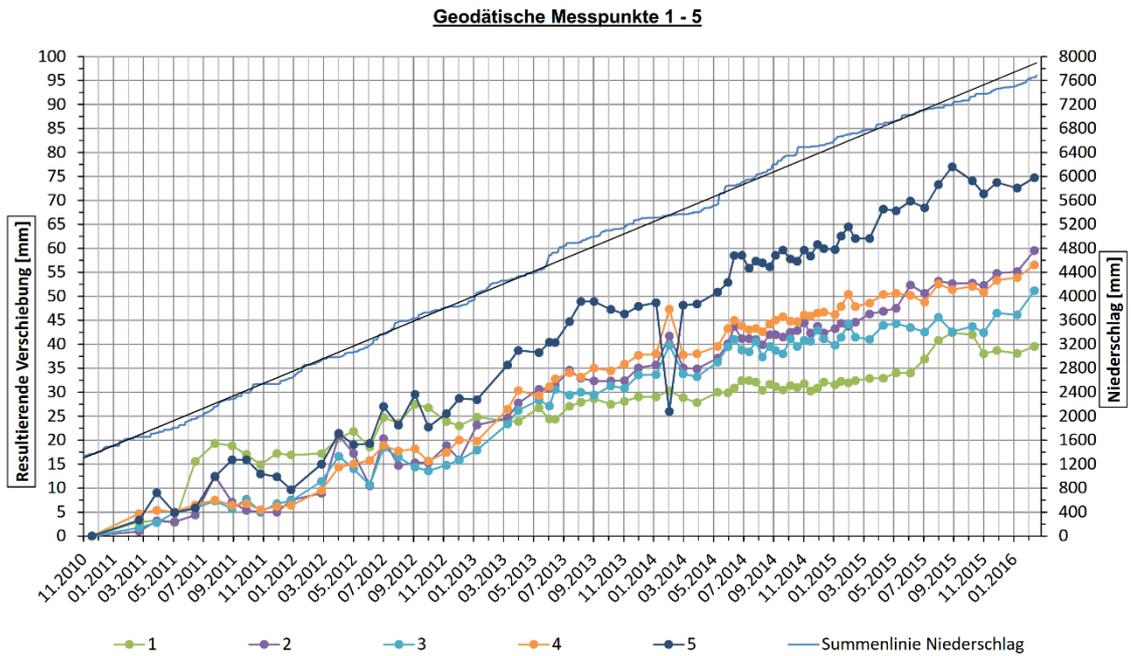
# XI. Messpunktgruppe Unten



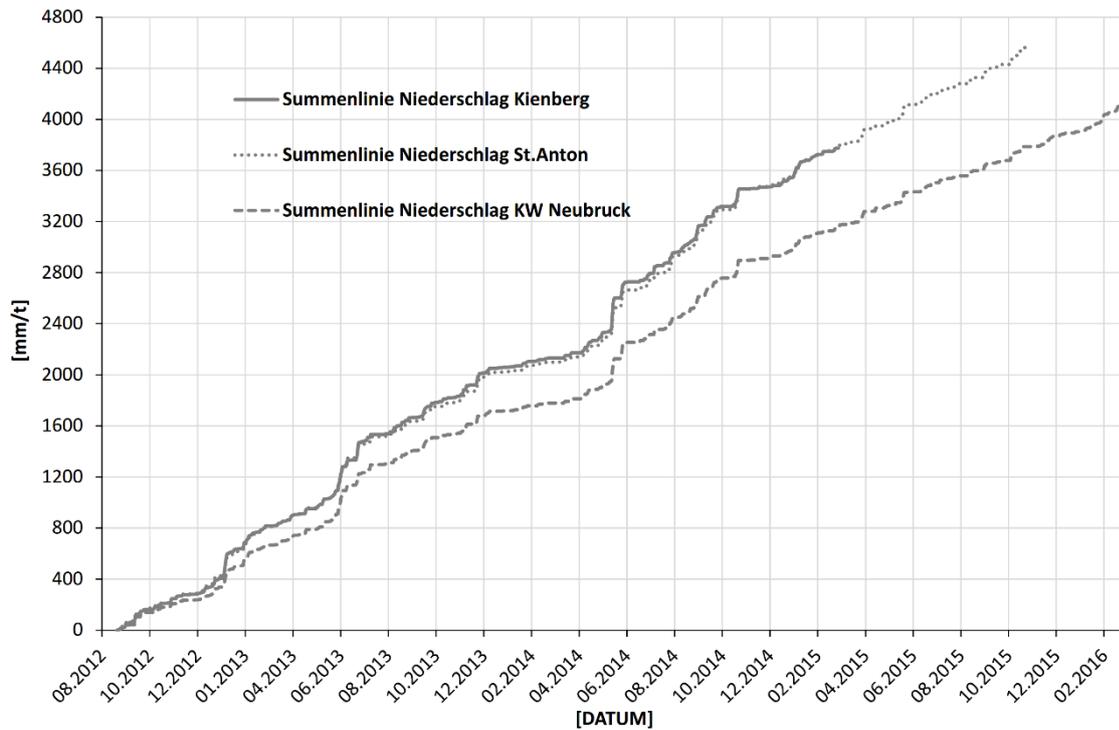
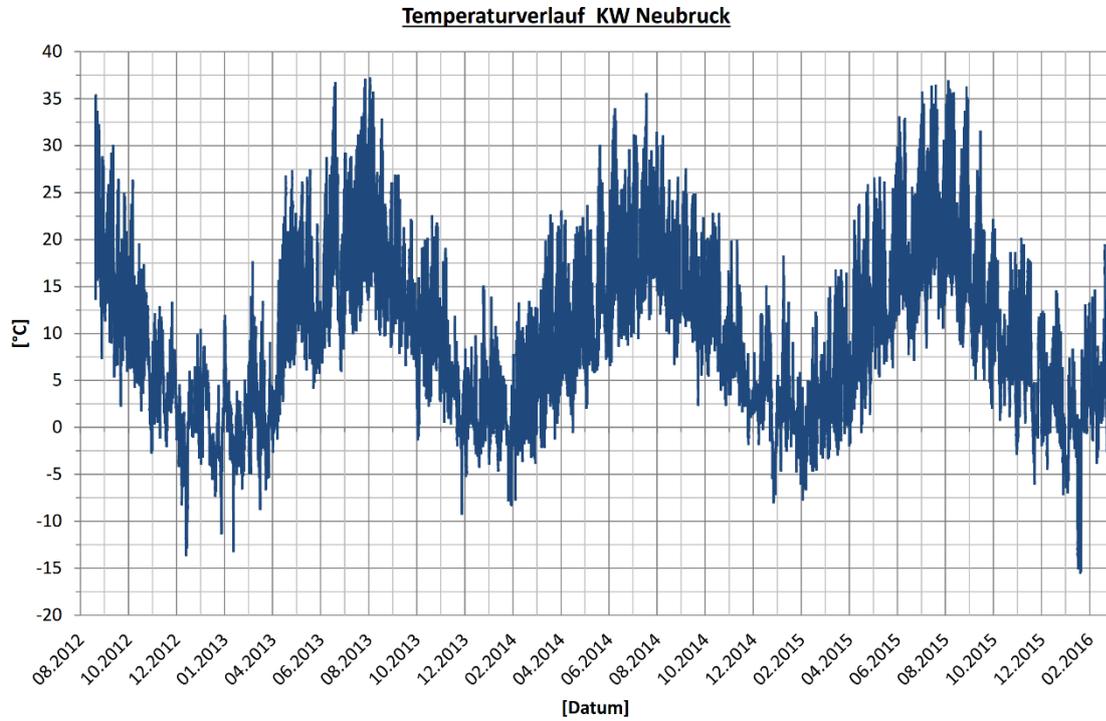
## XII. Messpunktgruppe Oben

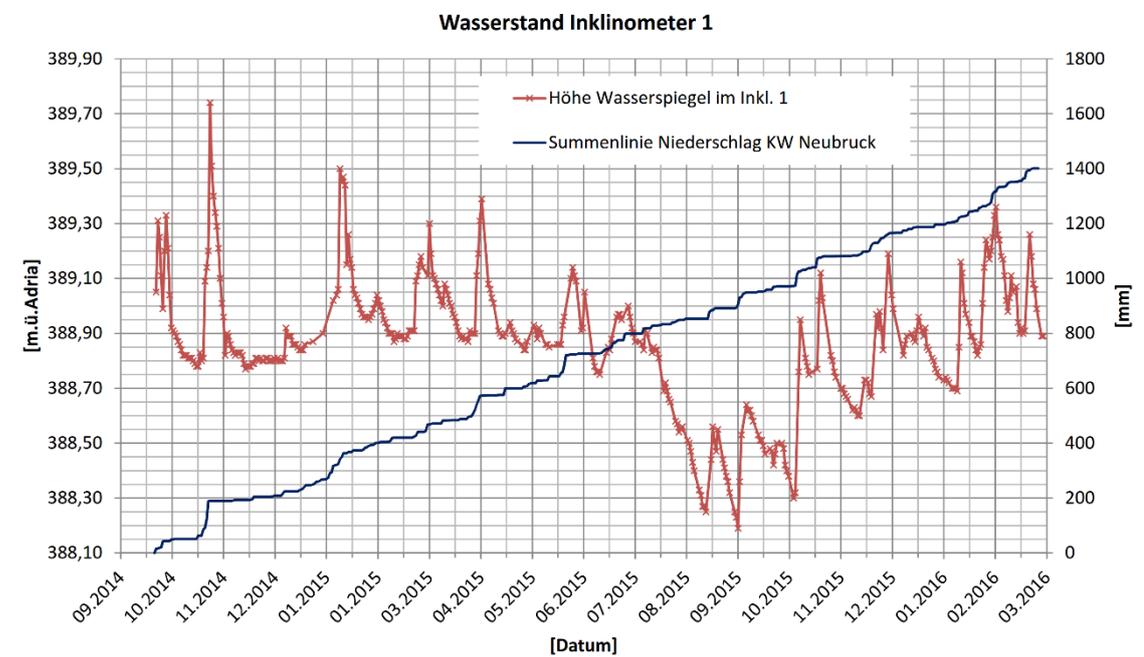
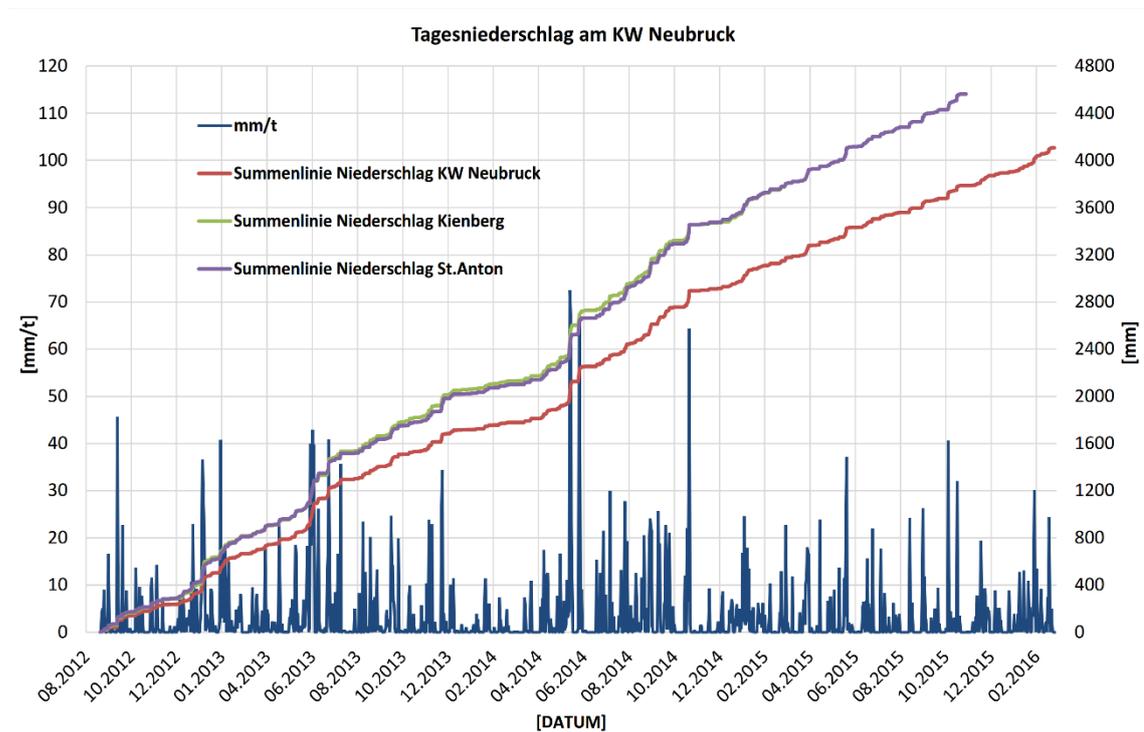


### XIII. Messpunktgruppe 1-5

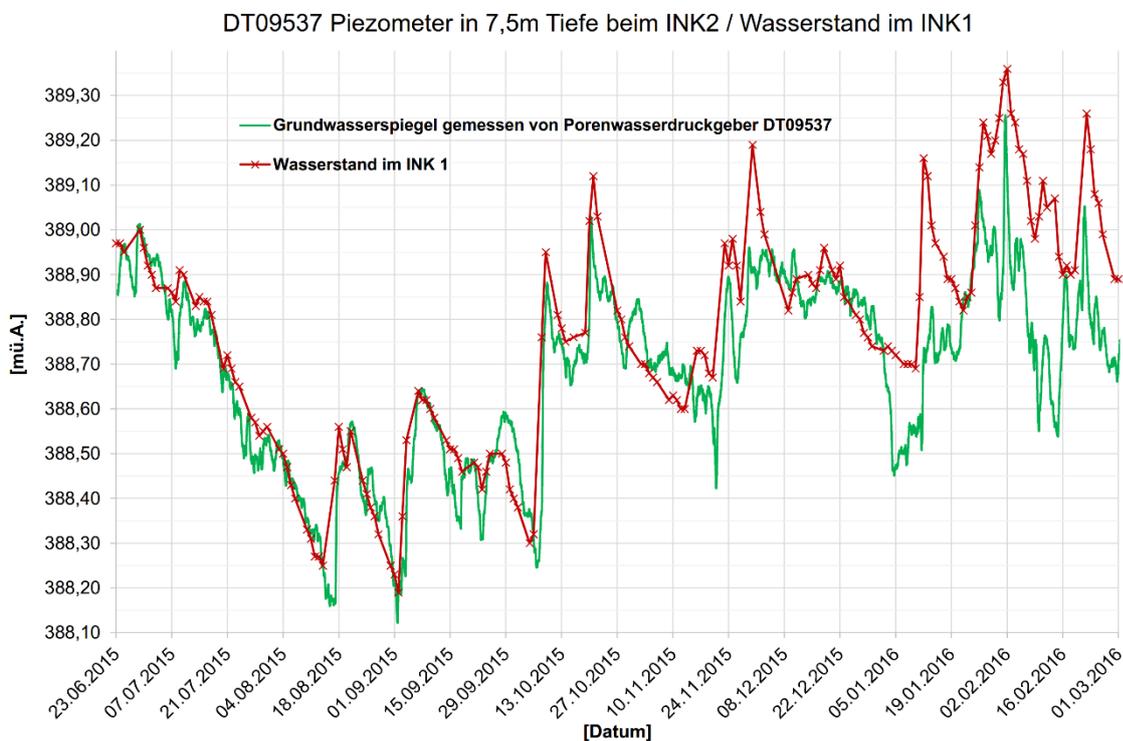
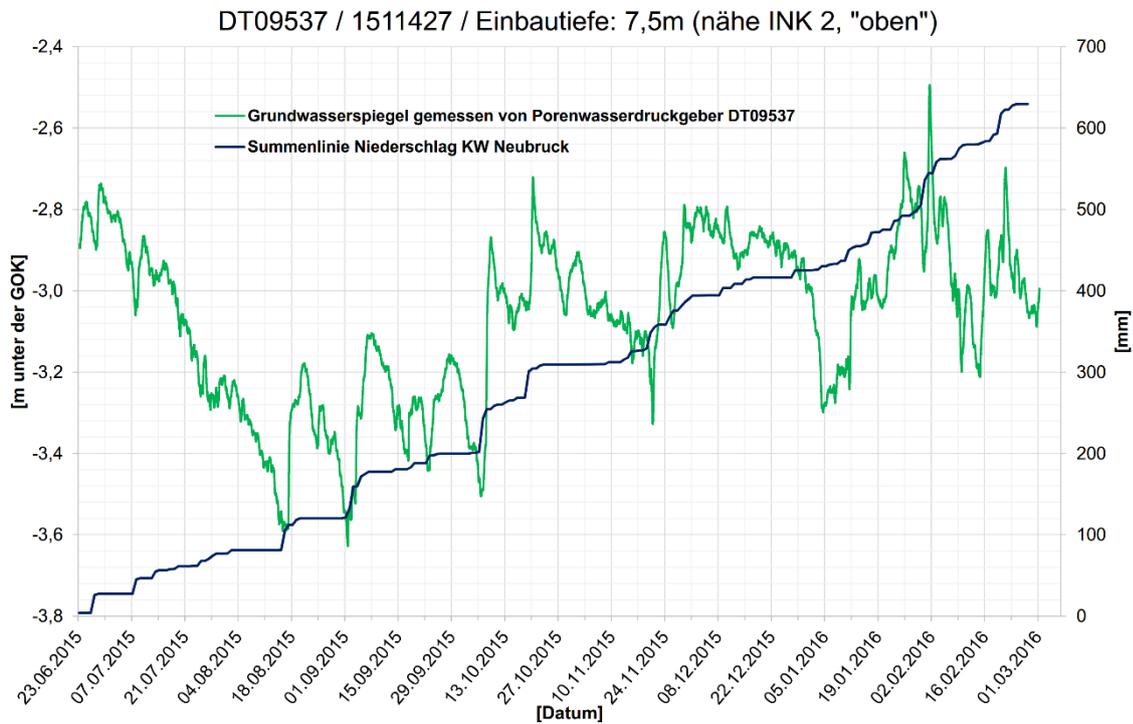


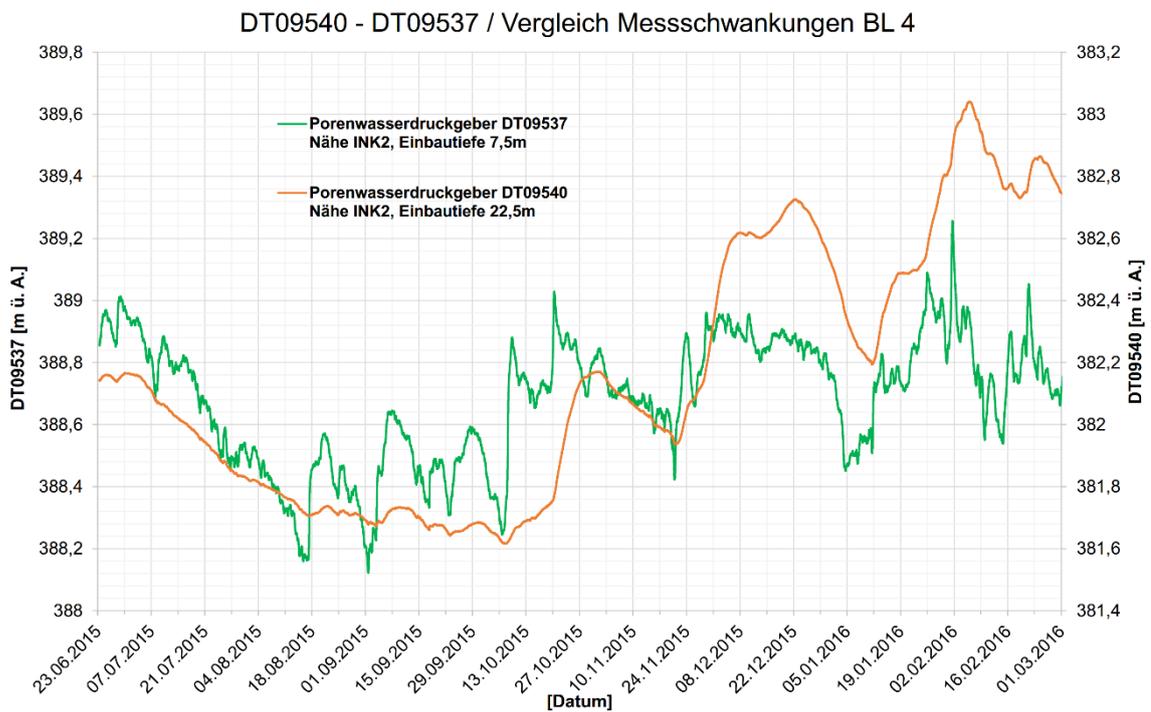
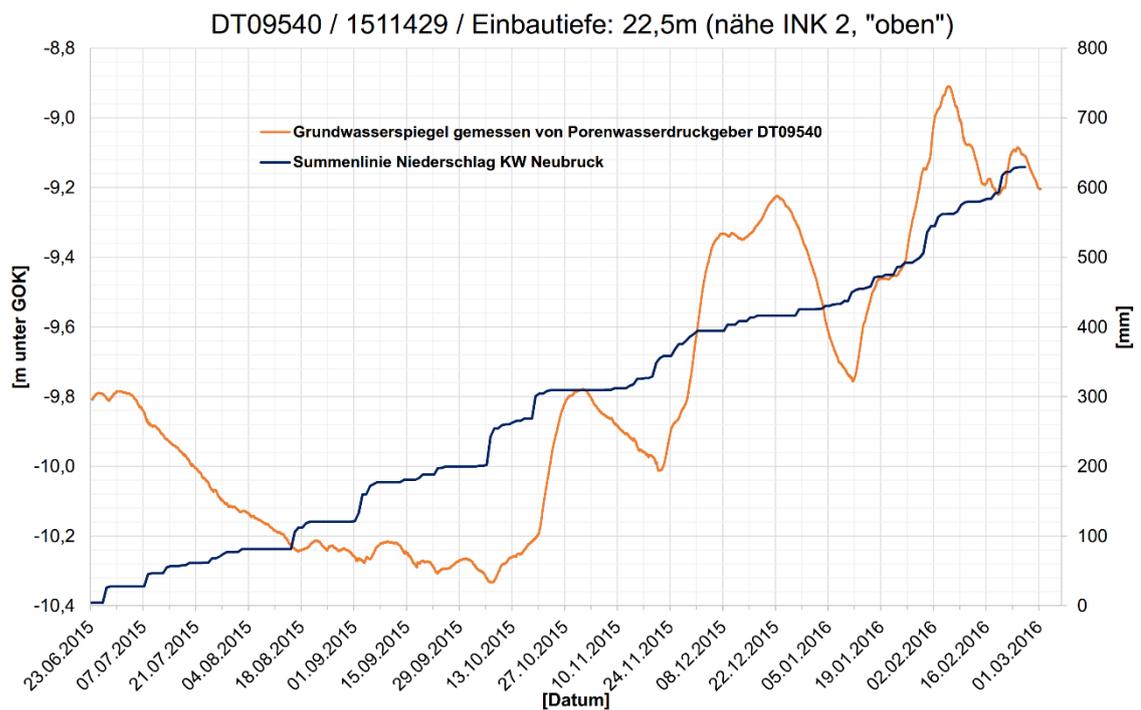
## XIV. Wetterdaten KW Neubruck

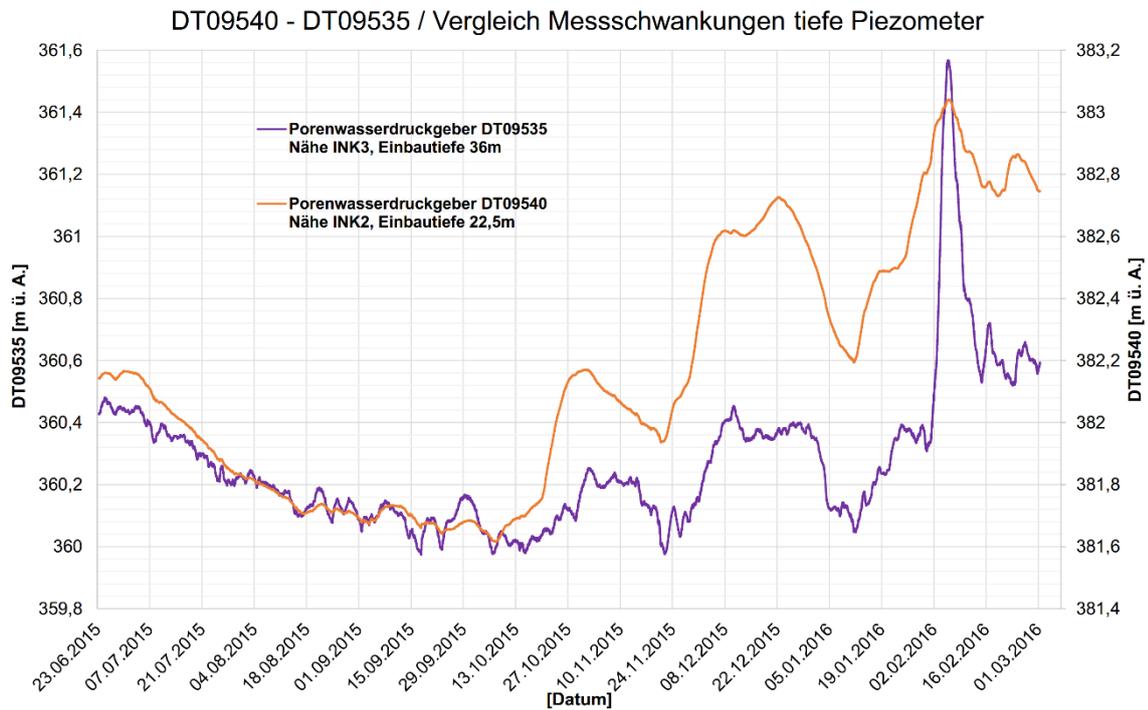
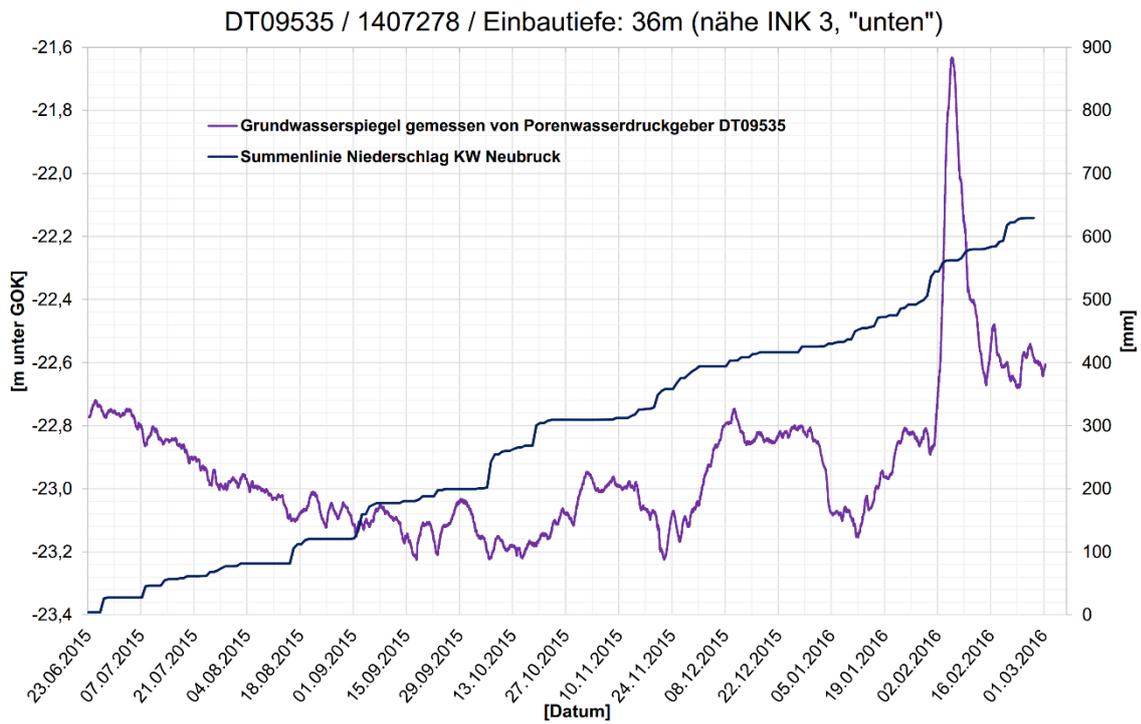




## XV. Porenwasserdruckgeber

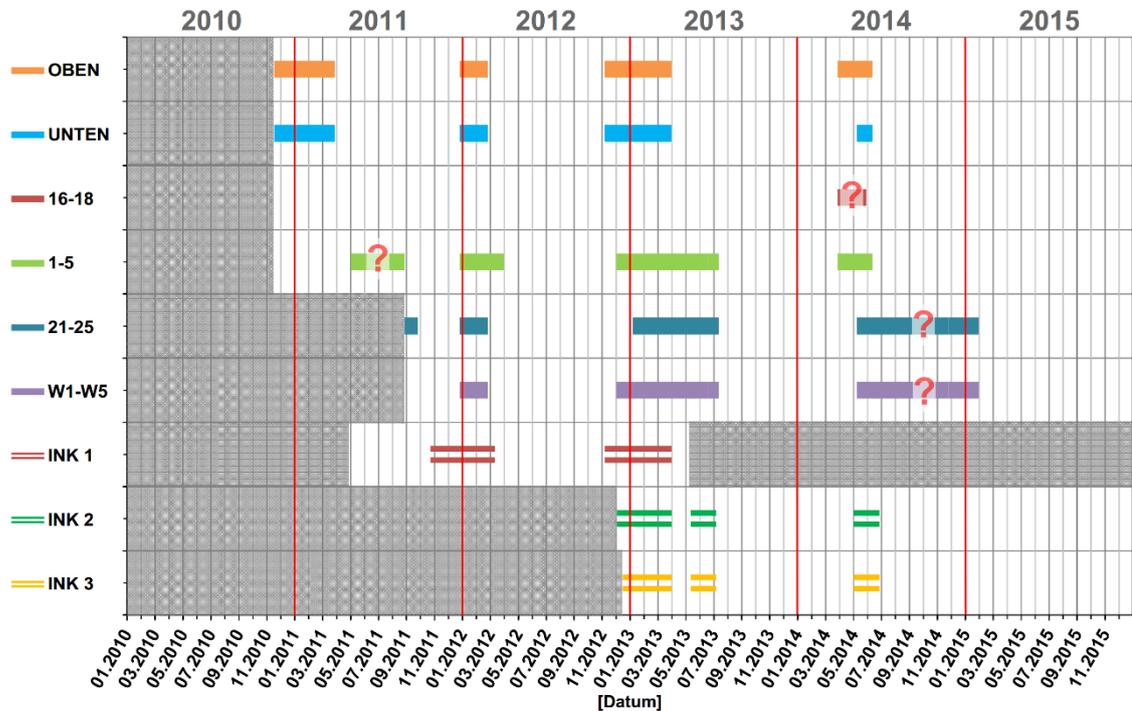




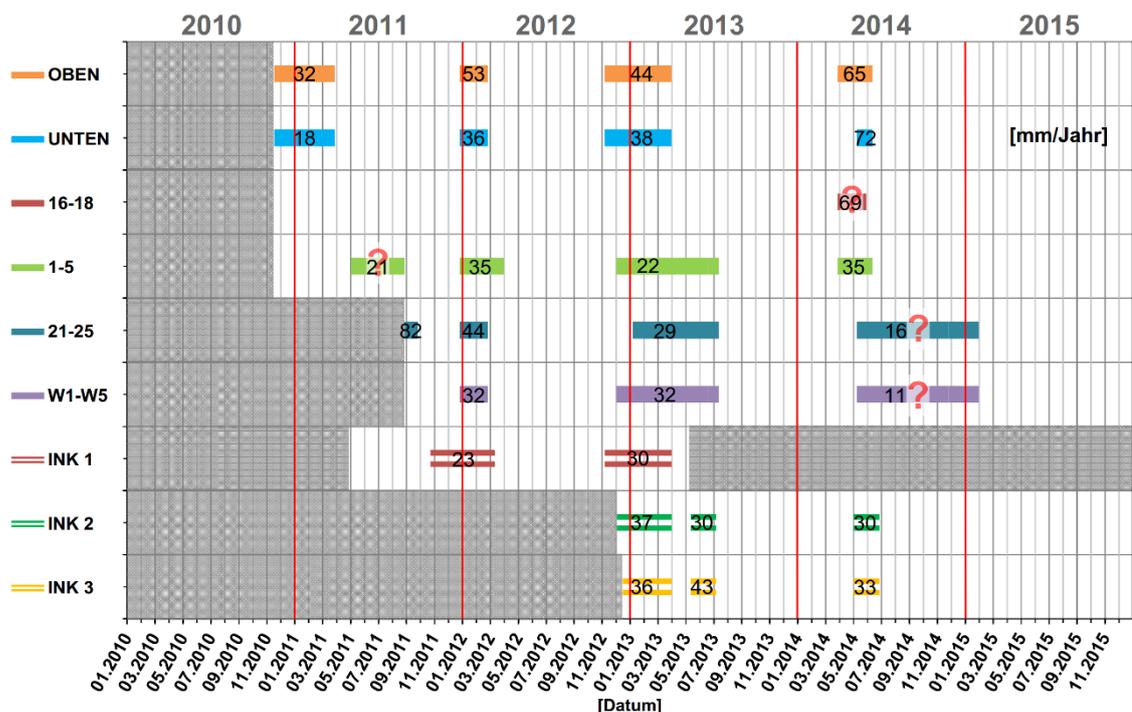


## XVI. Bewegungsphasen

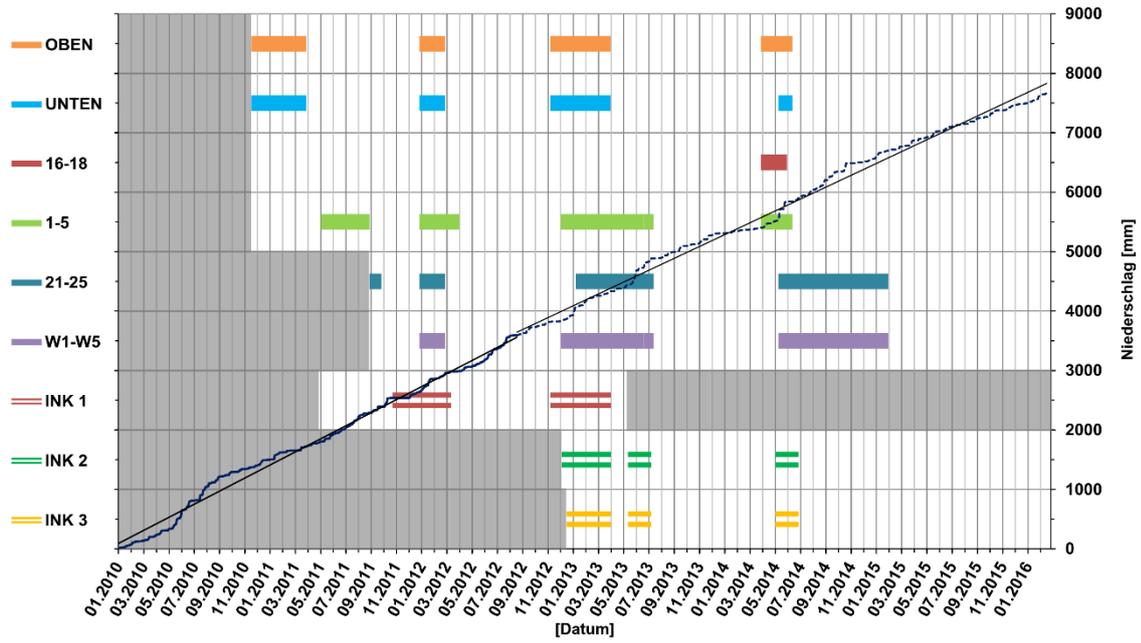
Gegenüberstellung der Phasen mit erhöhten Bewegungsraten



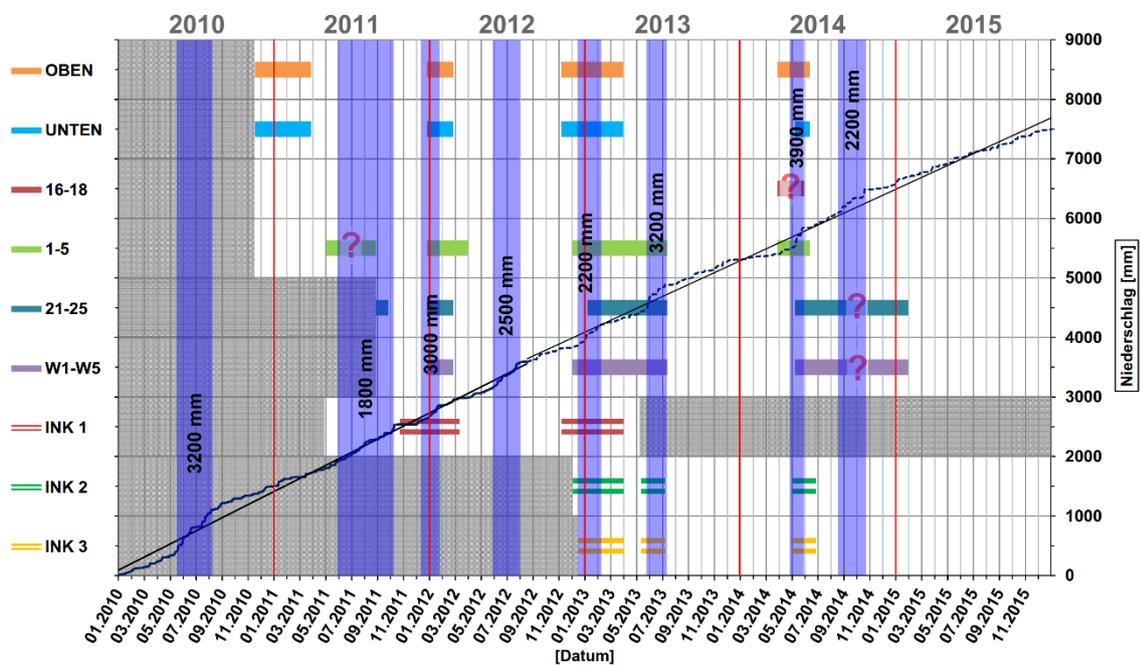
Gegenüberstellung der Phasen mit erhöhten Bewegungsraten



Gegenüberstellung der Phasen mit erhöhten Bewegungsraten



Gegenüberstellung der Phasen mit erhöhten Bewegungsraten



# XVII. Gegenüberstellung Niederschlagsdauer zu Intensität

Grenzlinie	Punkte		Datum	Messgruppe					Messgruppe				
	mm/m <sup>2</sup>	d		Ink 1	Ink 2	Ink 3	W1-W5	21-25	1-5	16-18	OBERN	UNTERN	
190	17,2	12	18.05.2014	18.05.2014	18.05.2014	18.05.2014	18.05.2014	18.05.2014	18.05.2014	18.05.2014	18.05.2014	18.05.2014	18.05.2014
180	26,5	7	04.06.2013	04.06.2013	04.06.2013	04.06.2013	04.06.2013	04.06.2013	04.06.2013	04.06.2013	04.06.2013	04.06.2013	04.06.2013
140	10,9	13	14.01.2013	14.01.2013	14.01.2013	14.01.2013	14.01.2013	14.01.2013	14.01.2013	14.01.2013	14.01.2013	14.01.2013	14.01.2013
130	17,3	8	13.10.2011	13.10.2011	13.10.2011	13.10.2011	13.10.2011	13.10.2011	13.10.2011	13.10.2011	13.10.2011	13.10.2011	13.10.2011
120	25,3	5	24.10.2014	24.10.2014	24.10.2014	24.10.2014	24.10.2014	24.10.2014	24.10.2014	24.10.2014	24.10.2014	24.10.2014	24.10.2014
120	14,0	9	03.06.2014	03.06.2014	03.06.2014	03.06.2014	03.06.2014	03.06.2014	03.06.2014	03.06.2014	03.06.2014	03.06.2014	03.06.2014
100	15,3	7	25.01.2012	25.01.2012	25.01.2012	25.01.2012	25.01.2012	25.01.2012	25.01.2012	25.01.2012	25.01.2012	25.01.2012	25.01.2012
100	10,5	10	05.02.2013	05.02.2013	05.02.2013	05.02.2013	05.02.2013	05.02.2013	05.02.2013	05.02.2013	05.02.2013	05.02.2013	05.02.2013
100	8,8	12	03.07.2013	03.07.2013	03.07.2013	03.07.2013	03.07.2013	03.07.2013	03.07.2013	03.07.2013	03.07.2013	03.07.2013	03.07.2013
90	7,4	13	12.01.2015	12.01.2015	12.01.2015	12.01.2015	12.01.2015	12.01.2015	12.01.2015	12.01.2015	12.01.2015	12.01.2015	12.01.2015
80	28,4	3	26.07.2012	26.07.2012	26.07.2012	26.07.2012	26.07.2012	26.07.2012	26.07.2012	26.07.2012	26.07.2012	26.07.2012	26.07.2012
80	14,7	6	03.09.2014	03.09.2014	03.09.2014	03.09.2014	03.09.2014	03.09.2014	03.09.2014	03.09.2014	03.09.2014	03.09.2014	03.09.2014
80	14,3	6	25.06.2012	25.06.2012	25.06.2012	25.06.2012	25.06.2012	25.06.2012	25.06.2012	25.06.2012	25.06.2012	25.06.2012	25.06.2012
80	11,8	7	14.06.2012	14.06.2012	14.06.2012	14.06.2012	14.06.2012	14.06.2012	14.06.2012	14.06.2012	14.06.2012	14.06.2012	14.06.2012
80	10,1	8	26.05.2015	26.05.2015	26.05.2015	26.05.2015	26.05.2015	26.05.2015	26.05.2015	26.05.2015	26.05.2015	26.05.2015	26.05.2015
80	9,4	9	03.04.2015	03.04.2015	03.04.2015	03.04.2015	03.04.2015	03.04.2015	03.04.2015	03.04.2015	03.04.2015	03.04.2015	03.04.2015
80	6,6	13	10.01.2012	10.01.2012	10.01.2012	10.01.2012	10.01.2012	10.01.2012	10.01.2012	10.01.2012	10.01.2012	10.01.2012	10.01.2012
70	18,9	4	15.01.2011	15.01.2011	15.01.2011	15.01.2011	15.01.2011	15.01.2011	15.01.2011	15.01.2011	15.01.2011	15.01.2011	15.01.2011
70	8,7	9	27.09.2014	27.09.2014	27.09.2014	27.09.2014	27.09.2014	27.09.2014	27.09.2014	27.09.2014	27.09.2014	27.09.2014	27.09.2014
70	7,1	11	18.12.2010	18.12.2010	18.12.2010	18.12.2010	18.12.2010	18.12.2010	18.12.2010	18.12.2010	18.12.2010	18.12.2010	18.12.2010
60	15,3	4	15.09.2012	15.09.2012	15.09.2012	15.09.2012	15.09.2012	15.09.2012	15.09.2012	15.09.2012	15.09.2012	15.09.2012	15.09.2012
60	13,1	5	26.11.2013	26.11.2013	26.11.2013	26.11.2013	26.11.2013	26.11.2013	26.11.2013	26.11.2013	26.11.2013	26.11.2013	26.11.2013
60	10,2	6	25.07.2011	25.07.2011	25.07.2011	25.07.2011	25.07.2011	25.07.2011	25.07.2011	25.07.2011	25.07.2011	25.07.2011	25.07.2011
60	9,7	7	21.09.2013	21.09.2013	21.09.2013	21.09.2013	21.09.2013	21.09.2013	21.09.2013	21.09.2013	21.09.2013	21.09.2013	21.09.2013
60	8,7	7	29.02.2012	29.02.2012	29.02.2012	29.02.2012	29.02.2012	29.02.2012	29.02.2012	29.02.2012	29.02.2012	29.02.2012	29.02.2012
50	26,6	2	28.05.2011	28.05.2011	28.05.2011	28.05.2011	28.05.2011	28.05.2011	28.05.2011	28.05.2011	28.05.2011	28.05.2011	28.05.2011
50	25,6	2	04.08.2011	04.08.2011	04.08.2011	04.08.2011	04.08.2011	04.08.2011	04.08.2011	04.08.2011	04.08.2011	04.08.2011	04.08.2011
50	19,1	3	20.09.2011	20.09.2011	20.09.2011	20.09.2011	20.09.2011	20.09.2011	20.09.2011	20.09.2011	20.09.2011	20.09.2011	20.09.2011
50	17,9	3	08.10.2015	08.10.2015	08.10.2015	08.10.2015	08.10.2015	08.10.2015	08.10.2015	08.10.2015	08.10.2015	08.10.2015	08.10.2015
50	17,3	3	19.03.2011	19.03.2011	19.03.2011	19.03.2011	19.03.2011	19.03.2011	19.03.2011	19.03.2011	19.03.2011	19.03.2011	19.03.2011
50	14,8	4	14.09.2014	14.09.2014	14.09.2014	14.09.2014	14.09.2014	14.09.2014	14.09.2014	14.09.2014	14.09.2014	14.09.2014	14.09.2014
50	8,9	6	10.07.2013	10.07.2013	10.07.2013	10.07.2013	10.07.2013	10.07.2013	10.07.2013	10.07.2013	10.07.2013	10.07.2013	10.07.2013
50	8,7	6	16.04.2012	16.04.2012	16.04.2012	16.04.2012	16.04.2012	16.04.2012	16.04.2012	16.04.2012	16.04.2012	16.04.2012	16.04.2012
50	8,2	7	07.09.2015	07.09.2015	07.09.2015	07.09.2015	07.09.2015	07.09.2015	07.09.2015	07.09.2015	07.09.2015	07.09.2015	07.09.2015
50	6,3	9	27.05.2013	27.05.2013	27.05.2013	27.05.2013	27.05.2013	27.05.2013	27.05.2013	27.05.2013	27.05.2013	27.05.2013	27.05.2013
40	14,1	3	23.12.2012	23.12.2012	23.12.2012	23.12.2012	23.12.2012	23.12.2012	23.12.2012	23.12.2012	23.12.2012	23.12.2012	23.12.2012
40	11,0	4	22.07.2012	22.07.2012	22.07.2012	22.07.2012	22.07.2012	22.07.2012	22.07.2012	22.07.2012	22.07.2012	22.07.2012	22.07.2012
40	9,9	5	07.12.2011	07.12.2011	07.12.2011	07.12.2011	07.12.2011	07.12.2011	07.12.2011	07.12.2011	07.12.2011	07.12.2011	07.12.2011
40	7,9	6	05.07.2011	05.07.2011	05.07.2011	05.07.2011	05.07.2011	05.07.2011	05.07.2011	05.07.2011	05.07.2011	05.07.2011	05.07.2011
40	7,5	6	04.06.2012	04.06.2012	04.06.2012	04.06.2012	04.06.2012	04.06.2012	04.06.2012	04.06.2012	04.06.2012	04.06.2012	04.06.2012
40	5,3	8	15.06.2013	15.06.2013	15.06.2013	15.06.2013	15.06.2013	15.06.2013	15.06.2013	15.06.2013	15.06.2013	15.06.2013	15.06.2013
40	4,7	9	17.05.2013	17.05.2013	17.05.2013	17.05.2013	17.05.2013	17.05.2013	17.05.2013	17.05.2013	17.05.2013	17.05.2013	17.05.2013

keine Messung der Messgruppe	
Bewegungsphase	keine Bewegungsphase
Bereich	Enddatum
W1-W2	28.12.2011
	04.12.2012
	13.05.2014
21, 22, 23, 24, ;	30.08.2011
	28.12.2011
	09.01.2013
	13.05.2014
IN, 8, 9, 10, 11,	18.11.2010
OBERN	28.12.2011
	08.11.2012
	01.04.2014
GP-FH, 6, 13, 1-	18.11.2010
UNTERN	28.12.2011
	08.11.2012
	13.05.2014

1, 2, 3, 4, 5	05.05.2011	30.08.2011
	28.12.2011	03.04.2012
	04.12.2012	16.07.2013
	01.04.2014	16.06.2014

16, 17, 18	01.04.2014	03.06.2014
INK 1	25.10.2011	14.03.2012
	09.11.2012	04.04.2013
INK 2	06.12.2012	04.04.2013
	15.05.2013	10.07.2013
	06.05.2014	01.07.2014
INK 3	18.12.2012	04.04.2013
	15.05.2013	10.07.2013
	06.05.2014	01.07.2014

16, 17, 18	01.04.2014	03.06.2014
INK 1	25.10.2011	14.03.2012
	09.11.2012	04.04.2013
INK 2	06.12.2012	04.04.2013
	15.05.2013	10.07.2013
	06.05.2014	01.07.2014
INK 3	18.12.2012	04.04.2013
	15.05.2013	10.07.2013
	06.05.2014	01.07.2014

# XVIII. Gegenüberstellung Bewegungsphasen mit Niederschlag

**Bewegungsphase Ruhephase**  
**Niederschlagssumme während der Phase über dem Bezugswert (1411mm oder 1811mm)**

Messgruppe	Anfangsdatum	Enddatum	Tage	Durchschnitt Verschiebung W1 - W5	mm/Jahr	Σ Niederschlag während der Phase [mm]	Jährlicher Niederschlag verglichen mit 1411mm	Jährlicher Niederschlag verglichen mit 1888mm	W1 mm Verschiebung	W2 mm Verschiebung	W3 mm Verschiebung	W4 mm Verschiebung	W5 mm Verschiebung
W1-W2	30.08.2011	28.12.2011	120	3,35	10	348	1057	1057	3	4,36	4,12	2,45	2,83
	28.12.2011	28.02.2012	62	2,93	17	317	1864	1864	-0,76	3,95	0,38	5,67	5,23
	28.02.2012	04.12.2012	280	3,75	5	904	1178	1178	0	-1,04	0	8,18	11,59
	04.12.2012	16.07.2013	224	7,82	13	1055	1719	1719	0,76	-0,32	-0,51	19,78	19,4
	16.07.2013	13.05.2014	301	1,24	1	652	790	790	0,32	1,12	1,87	-1,1	3,97
	13.05.2014	03.02.2015	266	5,05	7	1167	1601	1601	2,16	3,29	3,29	6,66	9,9
	03.02.2015	12.01.2016	343	-0,86	-1	985	1048	1048	-4,07	-1,61	-2,61	2,1	1,87
W4-W5	30.08.2011	28.12.2011	120	2,64	8	348	1057	1057				2,45	2,83
	28.12.2011	28.02.2012	62	5,45	32	317	1864	1864				5,67	5,23
	28.02.2012	04.12.2012	280	9,59	13	904	1178	1178				8,18	11,59
	04.12.2012	16.07.2013	224	1,44	2	652	790	790				19,78	19,4
	16.07.2013	13.05.2014	301	1,44	2	652	790	790				6,66	9,9
	13.05.2014	03.02.2015	266	8,28	11	1167	1601	1601				2,1	1,87
	03.02.2015	12.01.2016	343	1,99	2	985	1048	1048					
21, 22, 23, 24, 25	30.08.2011	28.09.2011	29	6,51	82	105	1325	1325	7,14	5,83	7,28	8,83	3,46
	28.09.2011	28.12.2011	91	1,50	6	242	972	972	-1,22	0,25	2,97	3,86	1,64
	28.12.2011	28.02.2012	62	7,39	44	317	1864	1864	8,4	7,81	3,39	12,81	4,54
	28.02.2012	09.01.2013	316	-0,20	0	1131	1307	1307	-8,93	0,51	3,12	8,22	-3,9
	09.01.2013	16.07.2013	288	19,06	29	827	1686	1686	13,64	19,77	17,25	30,13	-1,5
	16.07.2013	03.05.2014	301	7,50	9	522	690	690	-1,73	2,22	4,72	26,92	X
	03.05.2014	13.05.2014	364	11,43	16	522	690	690	1,69	2,62	7,67	18,48	X
	13.05.2014	12.01.2016	343	6,73	7	985	1048	1048	3,29	2,63	2,53	18,48	X
IM, 8, 9, 10, 11, 15 OBEN	18.11.2010	30.03.2011	132	11,67	32	350	1224	1224	2,24	11,87	14,14	16,55	8,77
	30.03.2011	28.12.2011	273	-1,62	-2	916	916	916	-4	-2,02	-5,5	-3,48	2,95
	28.12.2011	28.02.2012	62	8,92	53	317	1864	1864	5,63	13,88	12,98	3,2	3,2
	28.02.2012	08.11.2012	254	1,80	3	889	1277	1277	4,86	-1,73	1,38	1,38	2,69
	08.11.2012	03.04.2013	146	17,59	44	516	1291	1291	14,84	18,57	18,57	19,11	17,42
	03.04.2013	01.04.2014	363	4,91	5	1073	1079	1079	4,21	2,4	5,97	11,63	7,06
	01.04.2014	16.06.2014	76	19,61	65	441	2117	2117	12,99	15,83	16,77	15,83	12,97
	16.06.2014	12.01.2016	575	3,55	2	1842	1169	1169	1,68	3,74	5,96	0,21	5,27

Messgruppe	Anfangsdatum	Enddatum	Tage	Durchschnitt Verschiebung UNTEN	mm/Jahr	Σ Niederschlag [mm]	Jährlicher Niederschlag verglichen mit 1411mm	Jährlicher Niederschlag verglichen mit 1188mm	GP-FH mm Verschiebung	6 mm Verschiebung	13 mm Verschiebung	14 mm Verschiebung	19 mm Verschiebung
GP-FH, 6, 13, 14, 19 UNTEN	18.11.2010	30.03.2011	132	6,36	18	350	967	967	6,08	6,46	6,4	6,48	
	30.03.2011	28.12.2011	273	0,75	1	916	1224	1224	-0,08	0,61	0,23	2,24	
	28.12.2011	28.02.2012	62	6,13	36	317	1864	1864	6,88	6,81	0,44	7,47	
	28.02.2012	08.11.2012	254	4,59	7	889	1277	1277	4,01	3,45	8,58	2,25	4,68
	08.11.2012	03.04.2013	146	15,02	58	1291	1089	1089	13,69	15,1	14,17	16,04	16,11
	03.04.2013	13.05.2014	405	8,57	8	1209	1089	1089	8,5	7,6	8,58	8,11	10,04
	13.05.2014	16.06.2014	34	6,71	72	309	3319	3319	9,11	11,13	4,42	3,78	5,11
	16.06.2014	12.01.2016	575	6,22	4	1842	1169	1169	4,8	4,91	6,14	7,3	7,97

Messgruppe	Anfangsdatum	Enddatum	Tage	Durchschnitt Verschiebung 1-5	mm/Jahr	Σ Niederschlag [mm]	Jährlicher Niederschlag verglichen mit 1411mm	Jährlicher Niederschlag verglichen mit 1188mm	1 mm Verschiebung	2 mm Verschiebung	3 mm Verschiebung	4 mm Verschiebung	5 mm Verschiebung
1, 2, 3, 4, 5	18.11.2010	05.05.2011	168	4,15	9	434	942	942	2,83	3	4,9	5,1	4,9
	05.05.2011	30.08.2011	117	6,65	21	484	1510	1510	16,01	4,07	0,84	1,3	11,04
	30.08.2011	28.12.2011	120	-1,24	-4	348	1057	1057	-1,93	0,41	1,61	0	-6,3
	28.12.2011	03.04.2012	97	9,22	35	353	1328	1328	3,51	13,52	9,29	7,95	11,81
	03.04.2012	04.12.2012	245	1,95	3	843	1256	1256	2,6	-5,06	-0,73	5,7	7,26
	04.12.2012	16.07.2013	224	13,25	22	1055	1719	1719	4,05	18,66	13,5	14,04	16,02
	16.07.2013	01.04.2014	259	2,49	4	516	727	727	0,79	0,29	3,82	3,9	3,66
	01.04.2014	16.06.2014	76	7,36	35	441	2117	2117	3,03	8,85	7,79	7,02	10,11
	16.06.2014	12.01.2016	575	9,35	6	1842	1169	1169	7,23	11,41	5,13	8,9	14,07

Messgruppe	Anfangsdatum	Enddatum	Tage	Durchschnitt Verschiebung 16-18	mm/Jahr	Σ Niederschlag [mm]	Jährlicher Niederschlag verglichen mit 1411mm	Jährlicher Niederschlag verglichen mit 1188mm	16 mm Verschiebung	17 mm Verschiebung	18 mm Verschiebung
16, 17, 18	18.11.2010	01.04.2014	1230	10,75	3	4032	1197	1197	15,62	7,35	9,27
	01.04.2014	03.06.2014	63	11,89	69	440	2552	2552	7,66	7,38	20,63
	03.06.2014	12.01.2016	588	6,29	4	1843	1144	1144	2,12	17,93	-1,18

Messgruppe	Anfangsdatum	Enddatum	Tage	Durchschnitt Verschiebung INK 1	mm/Jahr	Σ Niederschlag [mm]	Jährlicher Niederschlag verglichen mit 1411mm	Jährlicher Niederschlag verglichen mit 1188mm	16m mm Verschiebung	12m mm Verschiebung	8 mm Verschiebung	2 mm Verschiebung
INK 1	02.05.2011	25.10.2011	176	1,92	4	735	1524	1524	1,61	1,72	2,05	2,3
	25.10.2011	14.03.2012	141	9,00	23	443	1148	1148	9,31	9,08	8,97	8,64
	14.03.2012	09.11.2012	240	1,79	3	836	1272	1272	1,73	1,93	1,78	1,73
	09.11.2012	04.04.2013	146	12,10	30	517	1292	1292	12,58	12,27	11,98	11,56
	04.04.2013	12.05.2013	38	0,00	0	102	977	977	0	0	0	0

Messgruppe	Anfangsdatum	Enddatum	Tage	Durchschnitt Verschiebung INK 2	mm/Jahr	Σ Niederschlag [mm]	Jährlicher Niederschlag verglichen mit 1411mm	Jährlicher Niederschlag verglichen mit 1188mm	20m mm Verschiebung	10m mm Verschiebung	2m mm Verschiebung
INK 2	06.12.2012	04.04.2013	119	11,97	37	495	1518	1518	12,81	11,8	11,31
	04.04.2013	15.05.2013	41	1,02	9	106	945	945	0,77	0,98	1,3
	15.05.2013	10.07.2013	56	4,53	30	446	2910	2910	4,38	4,34	4,86
	10.07.2013	06.05.2014	300	5,18	6	660	803	803	5,43	4,96	5,14
	06.05.2014	01.07.2014	56	4,63	30	387	2524	2524	4,35	4,49	5,04
	01.07.2014	12.11.2015	499	4,40	3	1483	1085	1085	3,77	4,39	5,03

Messgruppe	Anfangsdatum	Enddatum	Tage	Durchschnitt Verschiebung INK 3	mm/Jahr	Σ Niederschlag [mm]	Jährlicher Niederschlag verglichen mit 1411mm	Jährlicher Niederschlag verglichen mit 1188mm	30m mm Verschiebung	20m mm Verschiebung	10m mm Verschiebung	2m mm Verschiebung
INK 3	18.12.2012	04.04.2013	107	10,46	36	470	1603	1603	10,55	10,5	10,39	10,39
	04.04.2013	15.05.2013	41	0,29	3	106	945	945	0,2	0,28	0,26	0,44
	15.05.2013	10.07.2013	56	6,65	43	446	2910	2910	6,48	7,2	6,43	6,47
	10.07.2013	06.05.2014	300	2,47	3	660	803	803	2,56	2,5	2,38	2,42
	06.05.2014	01.07.2014	56	5,02	33	387	2524	2524	5,17	4,97	4,75	5,17
	01.07.2014	12.11.2015	499	4,10	3	592	433	433	4,2	3,99	4,05	4,16

	Gesamt	Ø Niederschlag über 1411 mm/Jahr [1981 - 2010]	Ø Niederschlag über 1811 mm/Jahr [KW Neubruck, 2012-2014]
Bewegungsphasen	28	20	25
Ruhephasen	32	1	9
Bewegungsphase mit überdurchschnittlichem Niederschlag		71%	89%
Ruhephase mit überdurchschnittlichem Niederschlag		3%	28%

# XIX. Gegenüberstellung Hangneigung - Verschiebungsresultierenden der Messpunkte

	Lageverschiebung [mm]		Höhenverschiebung [mm]		Δ Lage	Δ Höhe	Winkel [°] - Resultierende nach unten + Resultierende nach oben
	08.08.2013	12.01.2016	08.08.2013	12.01.2016			
W1	1	1	0	-1	0	-1	9, 10, 11
W2	1	5,39	-1	-2	4,39	-1	IN, GP-FH, 6, 8, 15
W3	1,41	5,83	0	-2	4,42	-2	W1-W5, 21-25
W4	25,55	37,74	4	5	12,19	1	
W5	33,11	49,19	5	6	16,08	1	
							4,124157128

	Lageverschiebung [mm]		Höhenverschiebung [mm]		Δ Lage	Δ Höhe	
	08.01.2014	07.01.2015	08.01.2014	07.01.2015			
21	15,81	18,97	6	7	3,16	1	
22	32,31	38,28	-5	-6	5,97	-1	
23	35,34	45,31	-3	-1	9,97	2	
24	80,28	105,54	-27	-30	25,26	-3	
25							
							17,56027205
							-9,509005342
							11,34308336
							-6,772998727
							3,155337834

	Lageverschiebung [mm]		Höhenverschiebung [mm]		Δ Lage	Δ Höhe	
	03.12.2013	19.01.2015	03.12.2013	19.01.2015			
1	18,97	21,59	-22	-24	2,62	-2	
2	33,62	42,72	-10	-12	9,1	-2	
3	30,08	37,34	-15	-18	7,26	-3	
4	32,57	41,98	-19	-23	9,41	-4	
5	40,26	54,34	-26	-31	14,08	-5	
							-37,35662193
							-12,39540688
							-22,45154646
							-23,02935986
							-19,5506443
							-22,95671588

	Lageverschiebung [mm]		Höhenverschiebung [mm]		Δ Lage	Δ Höhe	
	16.07.2013	22.10.2014	16.07.2013	22.10.2014			
IN	25,71	38,12	-12	-16	12,41	-4	
8	34,23	51,87	-24	-23	17,64	1	
9	45	63,79	-14	-18	18,79	-4	
10	26,31	42,15	-21	-27	15,84	-6	
11	8,49	23,43	-14	-18	14,94	-4	
15	30,41	48,17	-15	-20	17,76	-5	
							-17,86520603
							3,244587347
							-12,01768507
							-20,74608028
							-14,98868908
							-15,72358488
							-13,01610966

	Lageverschiebung [mm]		Höhenverschiebung [mm]		Δ Lage	Δ Höhe	
	17.06.2013	13.05.2014	17.06.2013	13.05.2014			
GP-FH	28,86	37,12	-10	-12	8,26	-2	
6	31,4	38,05	-10	-12	6,65	-2	
13	29,41	35,9	-5	-6	6,49	-1	
14	36,22	42,3	-2	-5	6,08	-3	
19	44,41	50,25	-1	-5	5,84	-4	
							-13,61111135
							-16,73875856
							-8,759429781
							-26,26270159
							-34,40847225
							-19,95609471

Messpunkte OBEN	-16	9, 10, 11
Messpunkte MITTE	-12	IN, GP-FH, 6, 8, 15
Messpunkte UNTEN	4	W1-W5, 21-25

Neigung MB	OBEN	26,2
lt. Längsschnitt	MITTE	6,6
	UNTEN	11,3

## XX. Volumenberechnungen der Massenbewegung

Basierend auf den Slices der Berechnung: Schnitt 1\_3.Methode\_Suchfenster\_Eintiefung\_WSPG 2015

Slice	Width [m]	Height [m]	A [m <sup>2</sup> ]
1	15,3641	3,0	45,5
2	15,3641	15,6	239,7
3	12,4281	21,6	268,6
4	12,4281	27,6	343,0
5	12,4281	31,5	390,9
6	14,3731	32,4	465,4
7	14,3731	33,1	475,7
8	14,3731	33,9	487,2
9	14,3731	34,0	489,0
10	14,3731	34,5	495,6
11	13,9317	33,7	469,1
12	13,9317	31,6	440,2
13	13,9317	30,1	419,3
14	13,9317	28,4	395,7
15	13,9317	26,0	362,2
16	13,9317	25,1	349,7
17	13,9317	24,2	337,1
18	13,5326	22,5	304,5
19	13,5326	20,4	276,1
20	13,5326	19,6	265,6
21	13,5326	20,1	272,4
22	17,8552	16,3	290,7
23	1,29	13,8	17,8
24	15,9558	11,7	186,7
25	16,6624	7,0	116,6
	343,2937	23,9	<b>8204,3</b>

Fläche Kreissegment	
R	264 m
h	24,0 m
s	220 m
$\alpha$	49,24 °
Bogenlänge	226,92 m
<b>A<sub>Kreissegment</sub></b>	<b>3553,44 m<sup>2</sup></b>

Fläche Kreisbogen	
Akreisbogen	29948,38 m <sup>2</sup>
	29953,44 m <sup>2</sup>
Adreieck	26400,00 m <sup>2</sup>
Akreissegment	3548,38 m <sup>2</sup>
	3553,44 m <sup>2</sup>

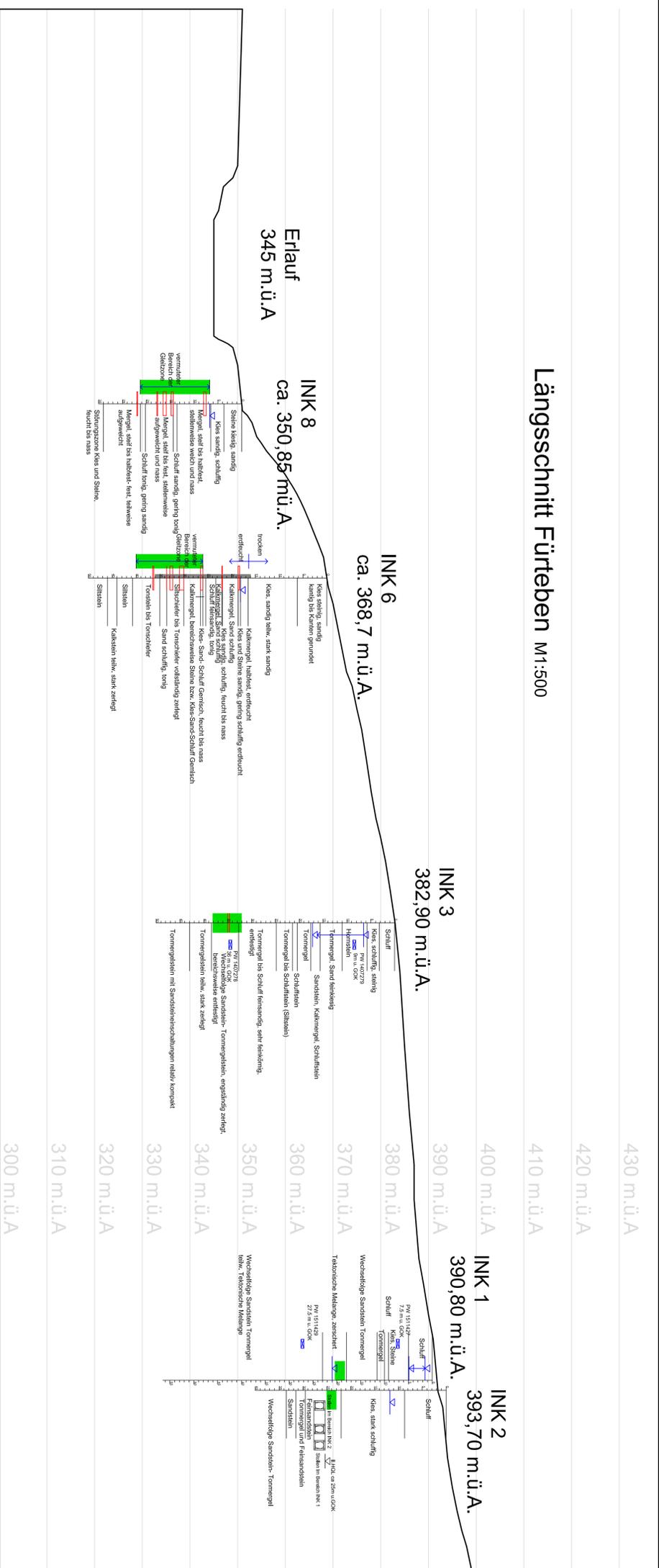
Fläche Rechteck	
B	220 m
a	24,0 m
<b>A<sub>Rechteck</sub></b>	<b>5280,00 m<sup>2</sup></b>

Verhältnis  $A_{\text{Rechteck}}$  und  $A_{\text{Kreissegment}}$  67%

Kubatur Massenbewegung	
Volumen	1214731,3 m <sup>3</sup>
	<b>1,2 Mio m<sup>3</sup></b>

## **XXI. Längsschnitt**

# Längsschnitt Fürteben M1:500



<b>LEGENDE</b>	
■ Ketteninklinometer INK 6 (16 bis 36 m u. GOK)	
■ Bewegungsbereich laut Inklinometermessungen	
▬ Zerlegte bzw. nasse Bodenschicht	
▬ Porenwasserdruckgeber (4 Stück)	
▬ Grundwasserspiegel	
<b>Technische Universität Graz</b>	
Institut für Bodenmechanik und Grundbau	
<b>Masterarbeit:</b>	
Rutschung Fürteben / Scheibbs	
<b>Planinhalt:</b>	
Längsschnitt Rutschung Fürteben / Scheibbs	
<b>Maßstab:</b>	<b>Datum:</b>
1:500	April 2016
<b>Plannummer:</b>	
	01
<b>Verfasser:</b>	
Markus Walter Benedikt 0930656	