

COMMITTENTE



AUTORITA' PORTUALE DI PALERMO
Porti di Palermo e Termini Imerese

LAVORI DI COMPLETAMENTO DEL MOLO FORANEO DI SOPRAFLUTTO DEL PORTO DI TERMINI IMERESE

**PROGETTO DEFINITIVO
PROGETTO GENERALE**

TITOLO

RELAZIONE TECNICHE

STUDIO SULLA STABILITA' DELLE STRUTTURE

INTERVENTO 4: REALIZZAZIONE NUOVO MOLO MARTELLO

ELABORATO	B.10.4	SCALA	-	NS. RIF	B_10_4.doc	RIF. ARC. - NA4	AUTAPA11 - 33
-----------	--------	-------	---	---------	------------	-----------------	---------------

DATA	REVISIONE	REDATTORE	CONTROLLO	APPROVAZIONE
17 giugno 2013	emissione	AL	GI	EC



AUTORITA' PORTUALE DI PALERMO
Porti di Palermo e Termini Imerese

PROGETTAZIONE IMPIANTI

Ing. Salvatore Acquista
Ing. Enrico Petralia

*Collaboratori per la progettazione
degli impianti*

Geom. Vincenzo D'Amico
Geom. Antonino Martorana

**IL RESPONSABILE
DEL PROCEDIMENTO**
Ing. Sergio La Barbera

**COORDINATORE PER
LA SICUREZZA IN FASE
DI PROGETTAZIONE**

Ing. Paolo Tusa



IL PROGETTISTA

*Responsabile dell'integrazione
tra le prestazioni specialistiche*
Ing. Elio Ciralli

Coordinamento
Ing. Giancarlo Inserra

Collaboratori
Arch. Ivana Lorenzano
Ing. Alfredo Lucarelli

AUTORITA' PORTUALE DI PALERMO

Porti di Palermo e Termini Imerese

**LAVORI DI COMPLETAMENTO DEL MOLO FORANEO
DI SOPRAFLUTTO DEL PORTO DI TERMINI IMERESE**

PROGETTO DEFINITIVO

PROGETTO GENERALE

**STUDIO SULLA STABILITA' DELLE STRUTTURE
INTERVENTO 4: REALIZZAZIONE NUOVO MOLO
MARTELLO**

GIUGNO 2013

VERSIONE:	DESCRIZIONE:	PREPARATO:	CONTROLLO:	DATA:
00	EMISSIONE	AL	GI	17 GIU 2013
NOME FILE: B.10.4.DOC			DISTRIBUZIONE: RISERVATA	

INDICE

1. PREMESSA	1
2. DESCRIZIONE DELL'INTERVENTO	2
3. SCELTA DELLA TIPOLOGIA DI OPERA.....	4
4. MATERIALI	5
5. CALCOLO DELLE PARATIE	6
5.1 NORMATIVA DI RIFERIMENTO.....	6
5.2 SCENARI SIMULATI.....	6
5.1 CONDIZIONI AL CONTORNO.....	6
5.2 GEOMETRIA DEL PALANCOLATO	6
5.3 VERIFICHE ESEGUITE	8
6. VERIFICA DELLA LUNGHEZZA DI ANCORAGGIO DEI TIRAFONDI DELLA BITTA DI ORMEGGIO	29

1. PREMESSA

L'Autorità Portuale di Palermo, a seguito di gara espletata secondo i principi della procedura negoziata, ex art.125, comma 11, del D.Lgs. 163/2006, e secondo il criterio dell'offerta economicamente più vantaggiosa, e in virtù dei finanziamenti regionali ex art. 111 della L.R.S. n. 11/2010, ha affidato alla "Progetti e Opere S.R.L." il servizio di redazione del progetto definitivo dei "Lavori di completamento del molo foraneo di sopraflutto del porto di Termini Imerese".

La presente relazione è relativa a

- intervento 4 "realizzazione nuovo molo martello", previsto dal progetto sopraindicato.

In particolare nel presente elaborato sarà affrontato il dimensionamento del palancolato.

2. DESCRIZIONE DELL'INTERVENTO

Al termine della banchina della diga foranea, in corrispondenza della progressiva 695,70 m ed in allineamento con il tratto terminale del nuovo molo di sottoflutto (in corso di progettazione), verrà realizzato un molo martello secondo le previsioni del Piano Regolatore Portuale vigente.

Il nuovo molo presenta il ciglio lato mare a quota +2,00 m sul l.m.m. e sporge rispetto alla banchina esistente di 30 m. Il nuovo molo avrà una superficie complessiva di circa 1.000 m².

La soluzione progettuale prevede la realizzazione di una struttura tipo "cofferdam", tramite l'impiego di palancolate composite, mutuamente tirantate, composte da profilati metallici con sezione ad "H", alternati a palancole metalliche con forma classica a "Z".

Tali elementi, legati da apposite giunzioni (gargami), realizzano la chiusura continua e impermeabile tra i componenti principali.

Le palancolate risultano essere vincolate in testa con tiranti di ancoraggio metallici in barre, ancorati a mezzo di elementi di carpenteria, oltre che collegate da una trave di coronamento in c.a. realizzata in opera.

Detta trave di coronamento viene progettata per assolvere ad una funzione aggiuntiva, che è quella di migliorare la protezione contro l'attacco corrosivo dell'acqua di mare verso il palancolato metallico: infatti il coronamento nella parte lato mare riveste e protegge il palancolato fino a quota -1,00 m sul l.m.m., pertanto realizza un efficace schermo protettivo nella zona di maggiore corrosione per gli effetti di bagnatura e asciugatura.

Per la paratia principale si è considerato, a favore di sicurezza, un fondale di calcolo pari a -11,00 m. Tale assunzione cautelativa tiene conto delle quote di fondale previste dal PRP e di un possibile scalzamento localizzato al piede delle paratie, dovuto all'azione delle eliche dei natanti.

Si prevede di realizzare la palancolata con profili ad "H" di lunghezza pari a 20,90 m e palancole di chiusura da 15,40 m.

Le palancolate saranno mutuamente tirantate in sommità con tiranti orizzontali in barre metalliche di diametro 3¼", disposti ad interasse tipico pari a 1,68 m.

Per la formazione dei piazzali di banchina si prevede di eseguire il riempimento tra le due paratie con il materiale proveniente dalle demolizioni della sovrastruttura dei cassoni di banchina e dai dragaggi, idoneamente costipato e compattato, con una finitura superficiale di tipo elastico realizzata con un pacchetto di pavimentazione bituminosa.

I piazzali di banchina e le strutture di sostegno verticali sono state progettate per un carico di servizio pari a 60 kN/m².

L'ormeggio del naviglio, ove previsto, avverrà con l'ausilio di bitte in ghisa sferoidale idoneamente installate e colorate con vernice poliuretana colore blu. Detti dispositivi di ormeggio sono disposti e dimensionati in relazione alla grandezza e tipologia delle imbarcazioni da ormeggiare e realizzati con materiali di provata resistenza alla corrosione. In ogni caso, dovranno resistere in condizioni di sicurezza a 1000 kN di tiro orizzontale in ogni direzione.

Verranno idoneamente collocati parabordi in gomma stirolica opportunamente dimensionati e rispondenti all'uso previsto (oggetto di specifica fornitura da parte dell'Autorità Portuale con separato appalto).

Per motivi di sicurezza è previsto l'inserimento, lungo la banchina, di scalette di emergenza (cfr. OP.07).

E' prevista la predisposizione di apposita segnaletica orizzontale sia per segnalare il pericolo di caduta a mare che la presenza delle scalette di emergenza e delle aree di rispetto per l'ormeggio alle bitte. Tale segnaletica è da realizzare predisponendo una fascia di 1 m composta da bande di colore giallo e blu e piazzole di colore giallo in corrispondenza delle zone di rispetto per l'ormeggio alle bitte e rosso per la segnalazione delle scalette di emergenza (cfr. OP.02.02). I colori e le specifiche grafiche devono essere idonei al tipo di impiego e rispondenti alle specifiche norme UNI EN.

Il ciglio banchina sarà segnalato ai pedoni anche con l'apposizione, a tre metri dal bordo, di dissuasori in acciaio AISI 316 (parapedoni) installati secondo la regola d'arte col sistema a bussola/bicchiera.

3. SCELTA DELLA TIPOLOGIA DI OPERA

Nel corso della progettazione sono state esaminate e valutate differenti soluzioni progettuali per la realizzazione del manufatto in esame.

A seguito di considerazioni tecniche ed economiche, secondo i principi già indicati nella relazione B.10.1 “Studio sulla stabilità delle strutture – intervento 1”, la scelta è ricaduta sulla parete combinata in acciaio.

Questi sono dispositivi dotati di buone caratteristiche di rigidità e impermeabilità adatti a risolvere i problemi di sostegno e contenimento, contrastando di fatto le azioni orizzontali dei terreni e dell’acqua.

Sono costituiti da elementi metallici sagomanti, infissi nel terreno per una certa aliquota del loro sviluppo.

Le sezioni trasversale della paratia in acciaio deve essere in grado di garantire una discreta resistenza flessionale e deve essere adatta all’infissione nel terreno, presentando un’opportuna resistenza alle azioni assiali.

I giunti per la connessione dei diversi elementi per la realizzazione di una struttura continua, devono garantire un’unione meccanica resistente, con ridottissima mobilità, e sufficientemente impermeabile.

Tra le innumerevoli forme, le sezioni a “Z” risultano essere le più efficienti essendo caratterizzate da elevati valori di moduli di resistenza.

Quando esigenze costruttive richiedano resistenze elevate, le normali palancole possono essere abbinare a rinforzi costituiti da normali travi in acciaio, ad esempio con profili ad “H”.

Per limitare la deformabilità della parte non infissa si potranno disporre degli opportuni vincoli (puntelli o tiranti).

4. MATERIALI

Per l'applicazione presente sono stati usati i seguenti materiali aventi le caratteristiche indicate:

ACCIAIO PER PARETI COMBinate

Profili ad "H" (EN 10025): S355GP (ex Fe510) $f_y \geq 355$ MPa
Palancole a "Z" (EN 10248-1/2): S355GP (ex Fe510) $f_y \geq 355$ MPa
S390GP $f_y \geq 390$ MPa

Tiranti \varnothing 83 mm S355GP

Viti 10.9-8.8 EN 20898 (UNI 5712 parte prima)
Dadi 10-8 EN 20898 (UNI 5713 parte seconda)
Rondelle C50 HRC 32-40 EN 10083 (UNI 5714)

Tolleranze Foro-Bullone (CNR UNI 10011):

- 1,0 mm per \varnothing bullone ≤ 20 mm
- 1,5 mm per \varnothing bullone > 20 mm

CALCESTRUZZO STRUTTURALE

Classe di resistenza Rck: 45 MPa (C35/45)
Classe di esposizione: XS3
Classe di consistenza: S4/S5 (superfluida), slump 230 \pm 30 mm
Densità: 2,4 t/m³
Dimensione massima aggregato: < 20 mm
Rapporto massimo a/c: 0,40
Contenuto minimo di cemento: 370 Kg/m³
Tipo di cemento: CEM IVa
Copriferro: 40 mm
Classe di contenuto di cloruri del calcestruzzo: Cl 0,4
Volume di acqua di bleeding (UNI 7122): < 0.1%
Additivi (solo se concordati con la D.L.): conformi alla UNI EN 934-2

N.B.: Per tutte le indicazioni complete si vedano le apposite specifiche sul "Capitolato speciale di appalto"

5. CALCOLO DELLE PARATIE

5.1 NORMATIVA DI RIFERIMENTO

Le normative di riferimento sono:

- EN 1197-1 “Eurocode 7: Geotechnical design – Part 1: General rules”
- EN 1993 – 5 “Eurocode 3: Design of steel structure – Part 5: Piling”
- “Recommendations of the Committee for Waterfront Structures Harbours and Waterways” (EAU) – 2012

5.2 SCENARI SIMULATI

Gli scenari simulati sono, in riferimento ai possibili livelli idrici:

- “standard”;
- “extreme”.

Nello scenario con condizioni “standard” il livello idrico è pari alla massima escursione dei livelli idrici ordinari. Secondo quanto riportato nell’elaborato “Studio Meteomarinario” a cui si rimanda, tale livello idrico è pari a 0,30 m slm. A vantaggio di sicurezza, e in accordo con le raccomandazioni “EAU” è stato posto pari a 0,50 m slm.

Nello scenario “extreme”, in accordo con le raccomandazioni “EAU” è stato considerato il caso che, per via delle interazioni moto ondoso-struttura questa possa essere completamente sommersa; il livello idrico quindi viene posto pari alla quota di progetto di calpestio della sovrastruttura e cioè 2,00 m slm.

5.1 CONDIZIONI AL CONTORNO

I fondali di progetto, per tenere conto delle previsioni del PRP e dei possibili effetti di scalzamento del materiale sul fondo indotto dal moto delle eliche dei natanti, sono stati fissati pari a -11,00 m slm.

La distribuzione della pressione del terreno segue l’andamento indicato dalle raccomandazioni “EAU R.77 case 5”.

Data la natura dei terreni in situ (cfr. gli elaborati “Studio Geologico” e “Studio Geotecnico”) la resistenza del fondale è stata fissata pari al 50%.

Il sovraccarico accidentale sulla banchina è pari a 60 kN/m².

Per quanto riguarda i fenomeni di corrosione delle parti metalliche è stato fatto riferimento alla norma EN 1993-5. La vita utile di progetto è pari a 50 anni.

Nella zona di splash i profilati metallici delle pareti combinate saranno inoltre dotati di idoneo rivestimento con vernici epossidiche per la protezione passiva idonea per l’ambiente “Im2”, come definito dalla norma ISO 12944-5: 2007. Detta pitturazione protettiva dovrà avere una durabilità degli effetti di 25 anni.

Di conseguenza, secondo la norma citata, sono stati valutati, ai fini dei calcoli, i seguenti valori di perdita di spessore per le palancole:

- 2,35 mm per la zona a immersione perenne e a riempimento compatto;
- 2,50 mm per la zona superiore;
- 1,20 mm per la parte a contatto con il fondale.

5.2 GEOMETRIA DEL PALANCOLATO

Le pareti combinate previste avranno le seguenti denominazioni:

- parete combinata 1;

- parete combinata 2A;
- parete combinata 2B;
- parete di ancoraggio della parete combinata 2A;
- parete di ancoraggio della parete combinata 2B.

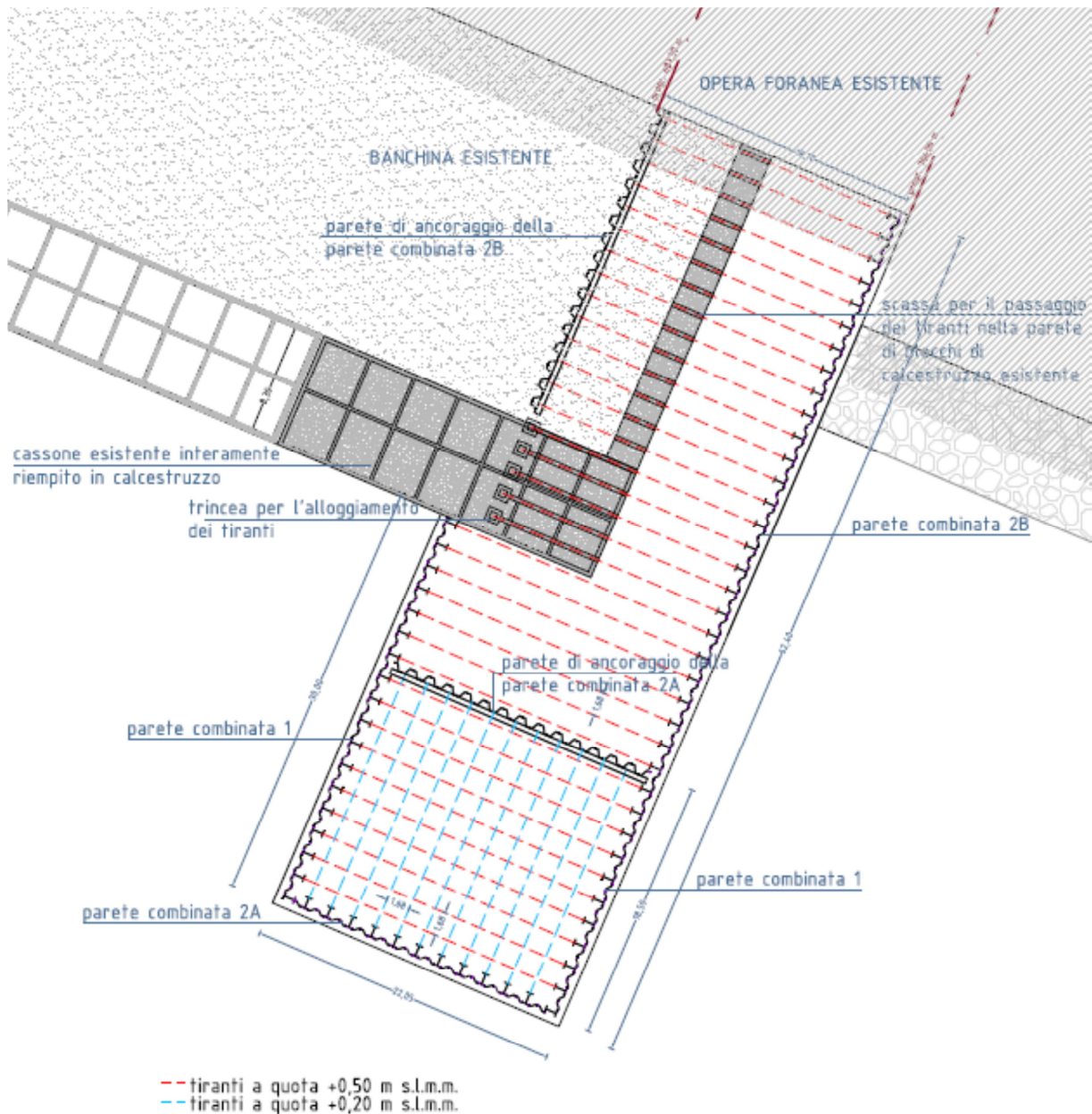


Figura 5.1 – Schema della palancolata

La parete combinata tipo 1 avrà uno sviluppo di circa 29,0 m ed è ortogonale al filo della banchina esistente.

Sarà realizzata con:

- profili tipo PSp 806 o equivalente, S 355 GP di lunghezza 20,9 m;
- profili tipo PZi 610 o equivalente, S 355 GP di lunghezza 16,0 m;
- gargami tipo S 430 GP.

I collegamenti con la parete opposta saranno realizzati con tiranti orizzontali S 355 D=3¼" posti secondo un passo pari a 1,68 m ad una quota di 0,50 m slm.

Le pareti combinate tipo 2A e 2B, costituiscono il contorno esterno del nuovo molo parallelo al filo della banchina esistente. In particolare la parete combinata tipo 2A avrà uno sviluppo di 20,0 m.

Sarà realizzata con:

- profili tipo PSp 806 o equivalente, S 355 GP di lunghezza 21,4 m;
- profili tipo PZi 610 o equivalente, S 355 GP di lunghezza 16,0 m;
- gargami tipo S 430 GP.

Inoltre sarà collegata con una parete di ancoraggio con tiranti orizzontali S 355 D=3¼" posti secondo un passo pari a 1,68 m ad una quota di 0,20 m slm, per consentire l'incorcio con i tiranti delle pareti ortogonali.

La parete di ancoraggio tipo 2A sarà realizzata con profili tipo HOESCH 3807, S 390 GP o equivalente aventi una lunghezza di circa 11,0 m. La lunghezza dei tiranti sarà circa 18,5 m.

La parete combinata tipo 2B avrà uno sviluppo di circa 32,2 m e sarà realizzata con:

- profili tipo PSp 806 o equivalente, S 355 GP di lunghezza 21,5 m;
- profili tipo PZi 610 o equivalente, S 355 GP di lunghezza 16,0 m;
- gargami tipo S 430 GP.

Essa sarà collegata con una parete di ancoraggio con tiranti orizzontali S 355 D=3¼" posti secondo un passo pari a 1,68 m ad una quota di 0,20 m slm. La lunghezza dei tiranti sarà circa 18,7 m.

La parete di ancoraggio tipo 2B sarà realizzata con profili tipo HOESCH 3807, S 390 GP o equivalente aventi una lunghezza di circa 11,5 m. La lunghezza dei tiranti sarà circa 19,0 m.

Per il fissaggio dei tiranti sulle pareti di ancoraggio sarà necessaria l'installazione di speciali waling tipo U 260, S 235 JRC.

Per maggiori chiarimenti sui profili, lo schema strutturale e i dettagli costruttivi si rimanda all'elaborato OP.05.03.

5.3 VERIFICHE ESEGUITE

Per il dimensionamento degli elementi strutturali sono state eseguite le opportune verifiche secondo quanto previsto dall'Eurocodice 3 e dall'Eurocodice 7.

La verifica sismica ha tenuto conto dell'aumento addizionale della pressione del terreno e della contestuale riduzione nella resistenza dovuta alle forze sismiche agenti. Queste sono valutate in un aumento del 42,4% della pressione del terreno sulla palancolata dovuta al peso proprio e del 36,8% dovuto alle forze attive. E' stato stimato un fattore di resistenza del terreno di 0,784 (cioè -21,6%). I calcoli effettuati mostrano che la progettazione sismica non è significativa per le palancolate della banchina.

Di seguito si riportano gli schemi di calcolo e i diagrammi delle sollecitazioni per la verifica dei profili prima descritti, eseguiti considerando i seguenti coefficienti parziali per le varie condizioni di carico:

- Scenario "standard":
 - o $\gamma_G = 1,35$;
 - o $\gamma_Q = 1,50$;
 - o $\gamma_{Ep} = 1,40$;
 - o $\mu = 0,95$.
- Scenario "standard", tenendo conto delle raccomandazioni EAU R215:

- $\gamma_G = 1,35$;
- $\gamma_Q = 1,50$;
- $\gamma_{Ep} = 1,40$;
- $\gamma_{Ep \text{ (momento)}} = 1,20$;
- $\mu = 0,95$.
- Scenario "extreme":
 - $\gamma_G = 1,20$;
 - $\gamma_{G(water)} = 1,10$;
 - $\gamma_Q = 1,30$;
 - $\gamma_{Ep} = 1,30$;
 - $\mu = 0,96$.
- Scenario "extreme", tenendo conto delle raccomandazioni EAU R215:
 - $\gamma_G = 1,20$;
 - $\gamma_{G(water)} = 1,10$;
 - $\gamma_Q = 1,30$;
 - $\gamma_{Ep} = 1,30$;
 - $\gamma_{Ep \text{ (momento)}} = 1,15$;
 - $\mu = 0,96$.
- Scenario "standard" con sisma:
 - $\gamma_G = 1,00$;
 - $\gamma_Q = 1,00$;
 - $\gamma_{Ep} = 1,00$;
 - $\mu = 0,90$.
- Scenario "extreme" con sisma:
 - $\gamma_G = 1,00$;
 - $\gamma_Q = 1,00$;
 - $\gamma_{Ep} = 1,00$;
 - $\mu = 0,90$.

Si allegano quindi di seguito le graficizzazioni degli schemi e dei diagrammi di verifica da cui si evincono gli andamenti delle sollecitazioni per ogni combinazione di carico. Si tenga presente la seguente codifica di colorazione:

- il blu è utilizzato per indicare lo stato di esercizio (p.e. le deformazioni reali)
- il nero è utilizzato per gli stati limite (nell'ambito delle azioni amplificate)
- il rosso indica l'utilizzi di un modulo di reazione parzialmente ridotto per tener conto delle condizioni di equilibrio.

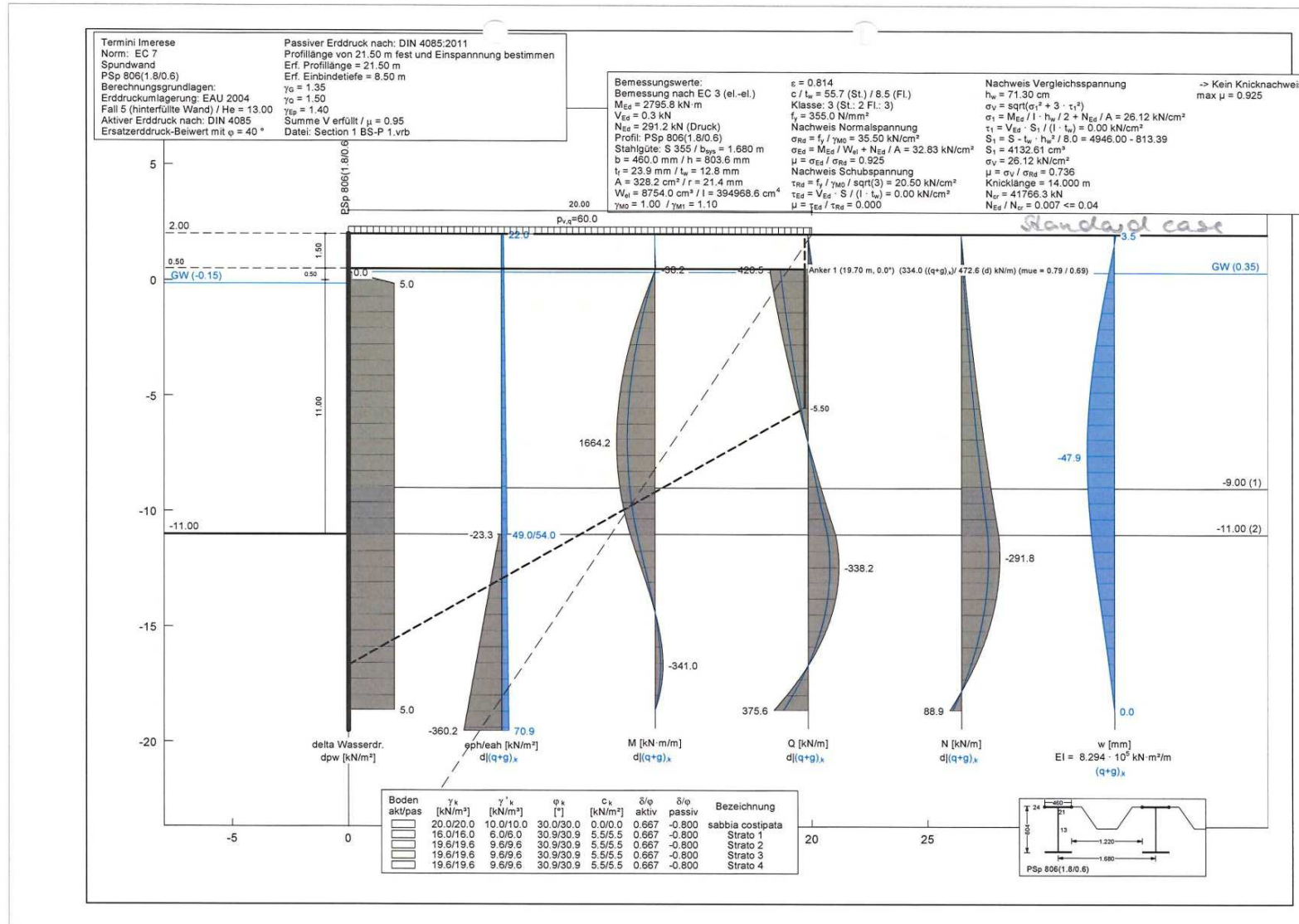


Figura 5.2 – Schema di calcolo delle palancole: palanca combinata 1, scenario “standard”

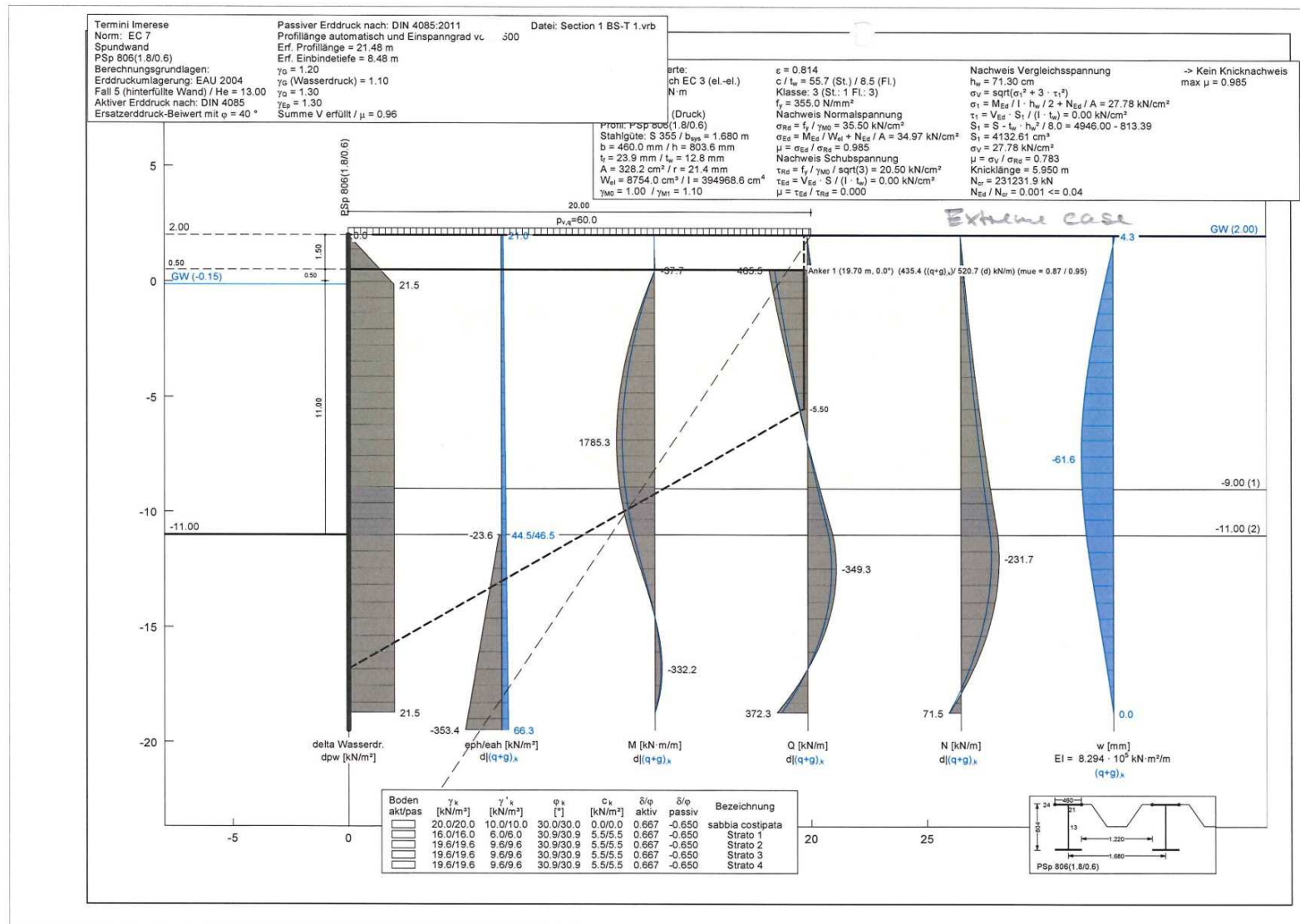


Figura 5.3 – Schema di calcolo delle palancole: palanca combinata 1, scenario “extreme”

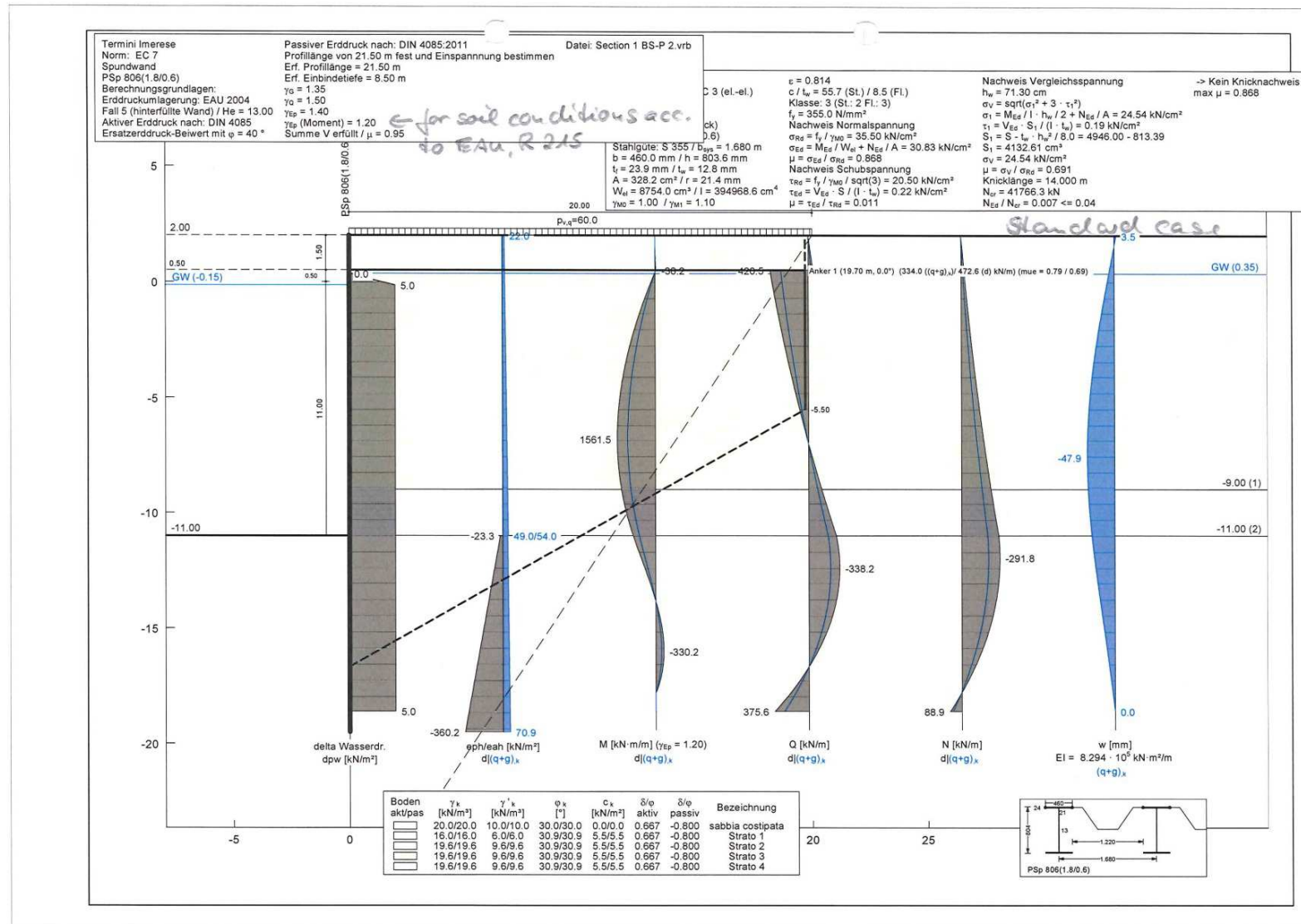


Figura 5.4 – Schema di calcolo delle palancole: palanca combinata 1, scenario “standard” tenendo conto delle raccomandazioni EAU R215

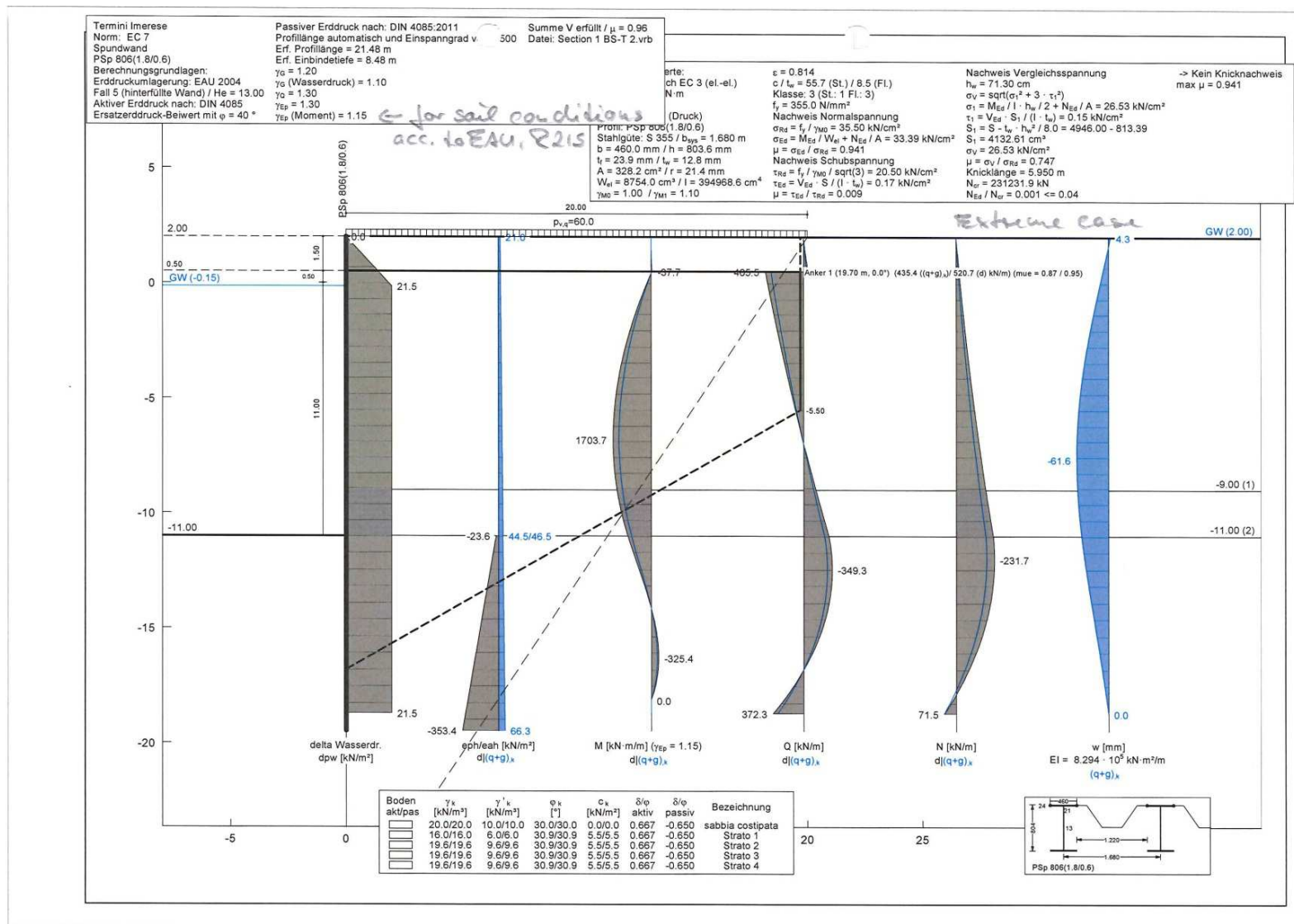


Figura 5.5 – Schema di calcolo delle palancole: palanca combinata 1, scenario “extreme” tenendo conto delle raccomandazioni EAU R215

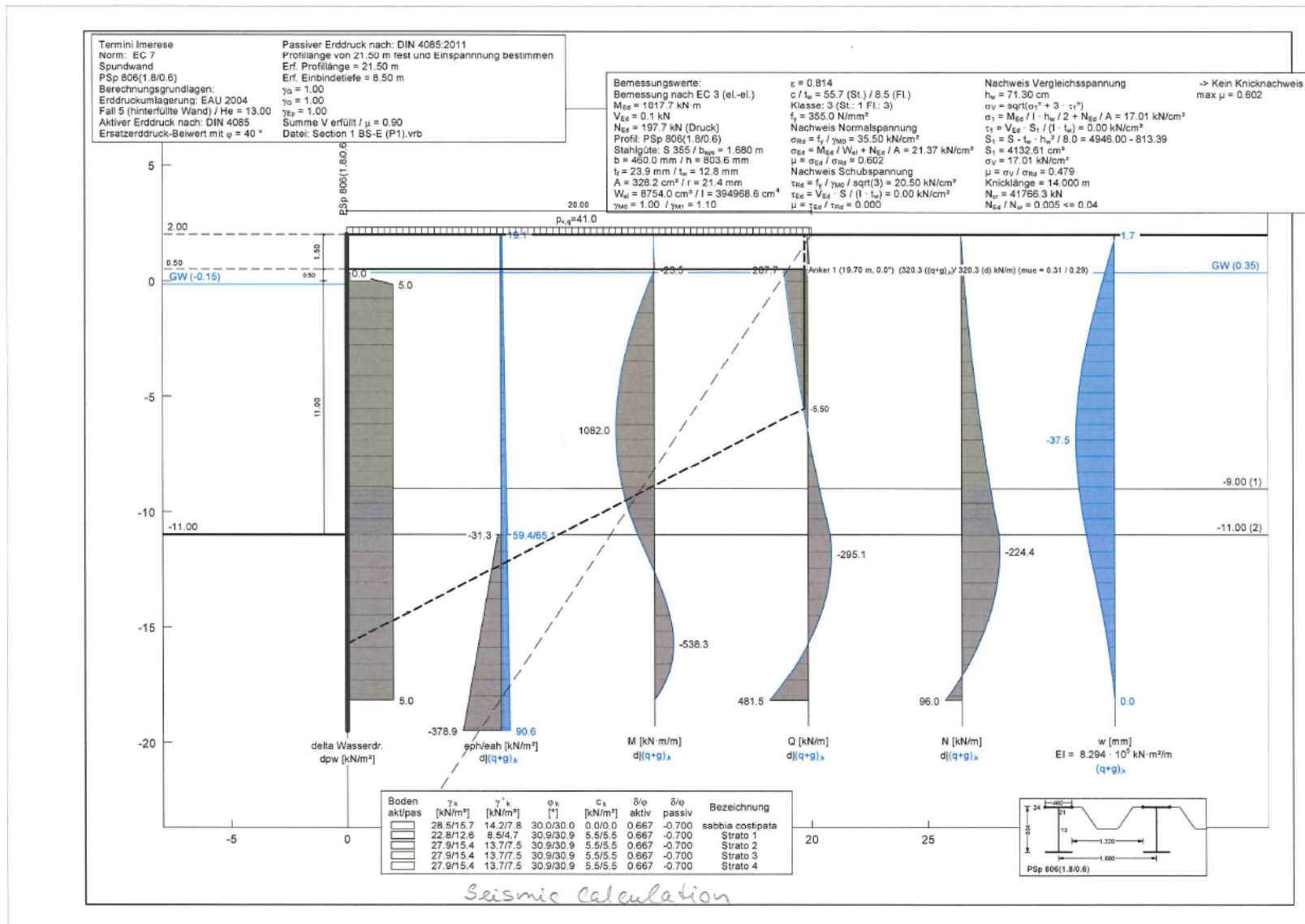


Figura 5.6 – Schema di calcolo delle palancole: palanca combinata 1, scenario “standard” con sisma

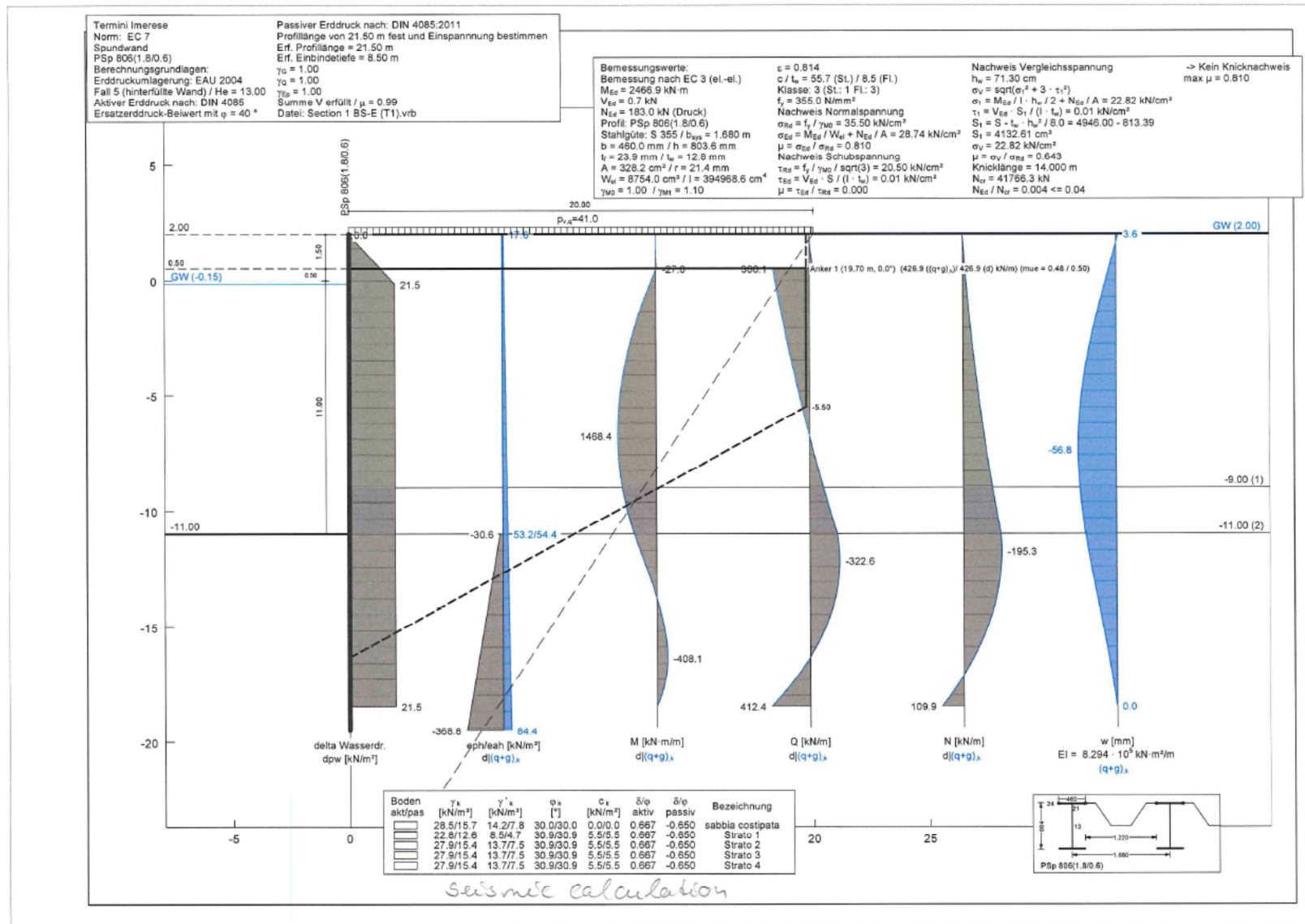


Figura 5.7 – Schema di calcolo delle palancole: palanca combinata 1, scenario “extreme” con sisma

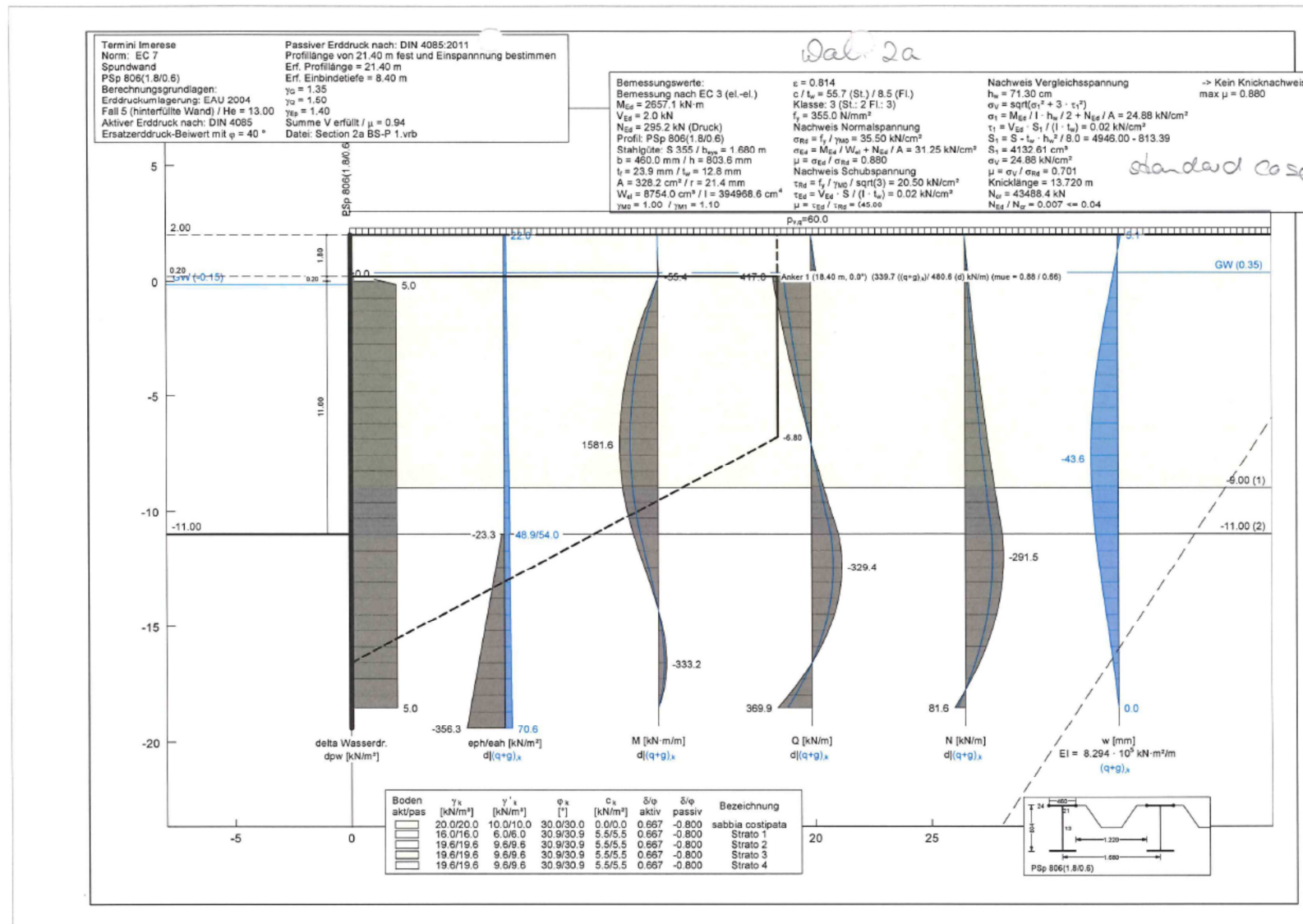


Figura 5.8 – Schema di calcolo delle palancole: palanca combinata 2A, scenario “standard”

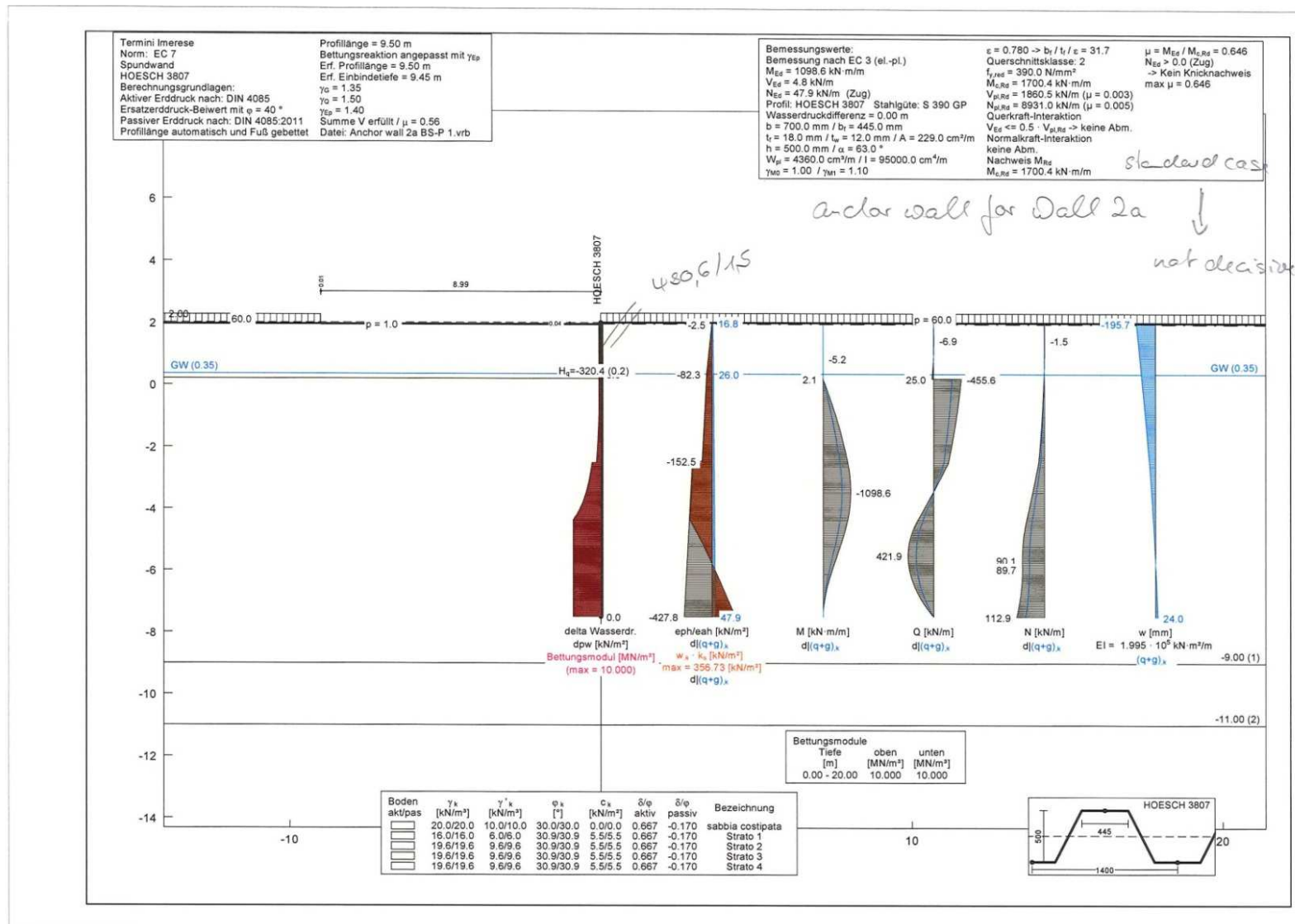


Figura 5.9 – Schema di calcolo delle palancole: palanca di ancoraggio della parete combinata 2A, scenario “standard”

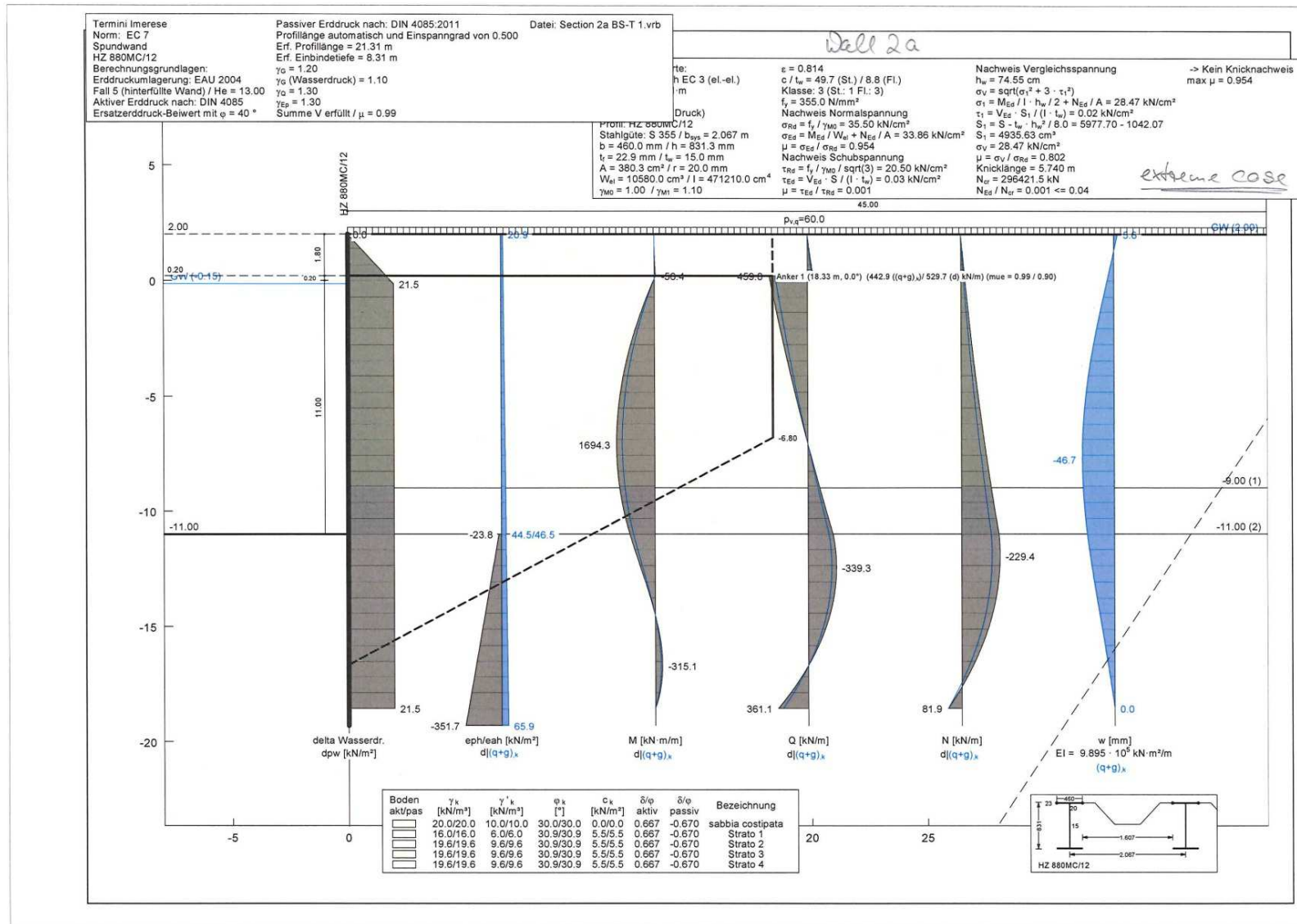


Figura 5.10 – Schema di calcolo delle palancole: palanca combinata 2A, scenario “extreme”

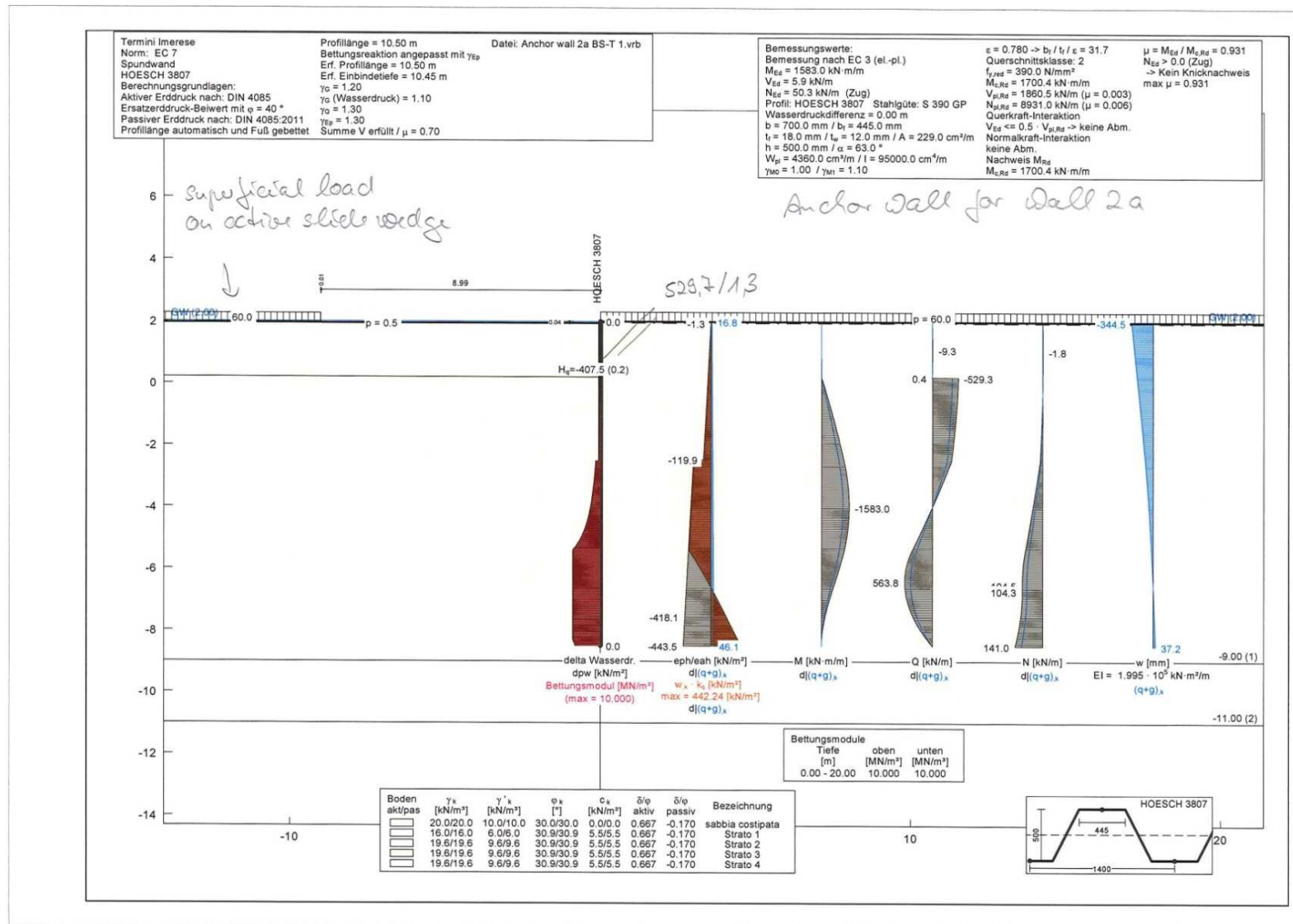


Figura 5.11 – Schema di calcolo delle palancole: palanca di ancoraggio della parete combinata 2A, scenario “extreme”

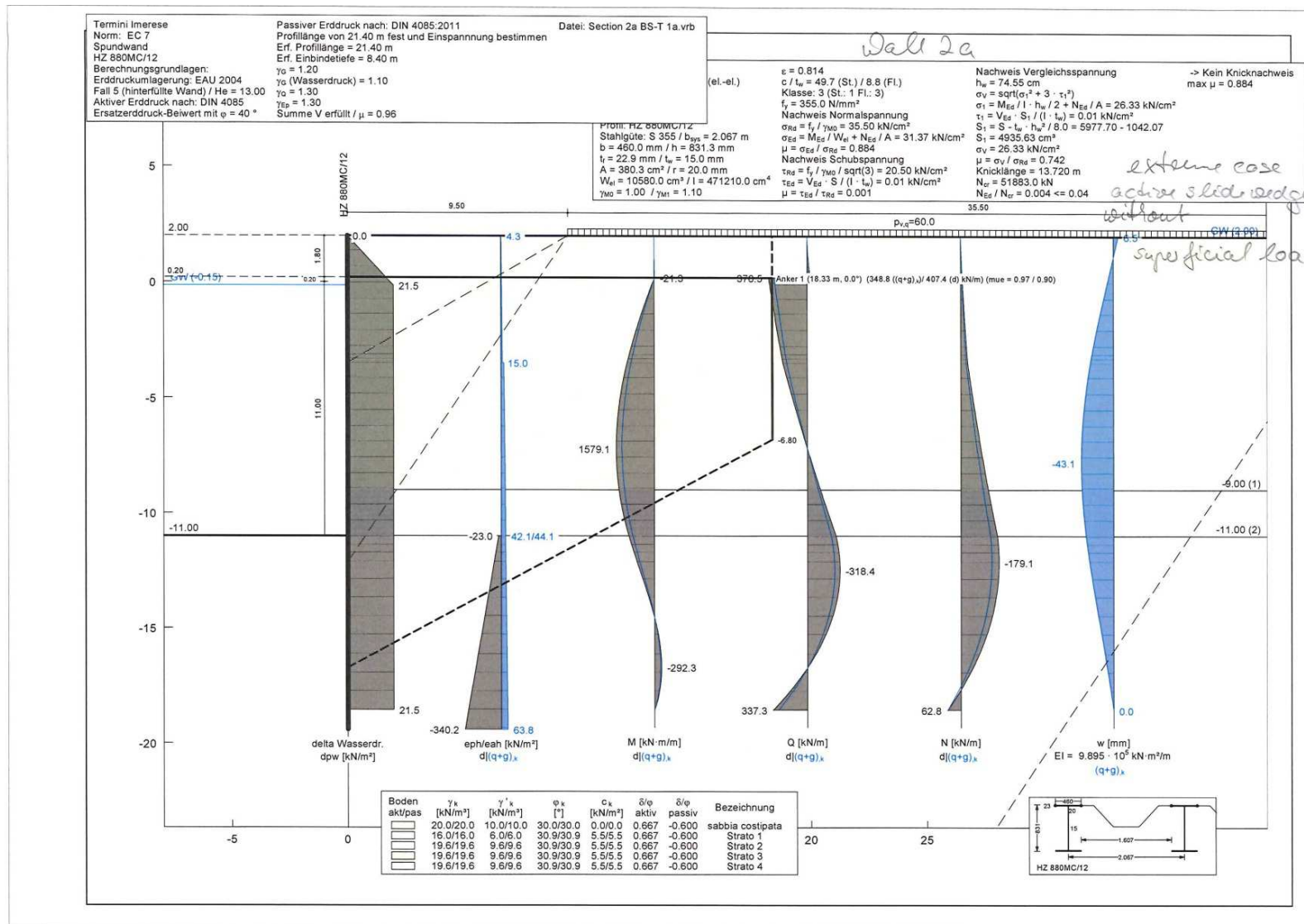


Figura 5.12 – Schema di calcolo delle palancole: parete combinata 2A, scenario “extreme” tenendo conto delle raccomandazioni EAU R215

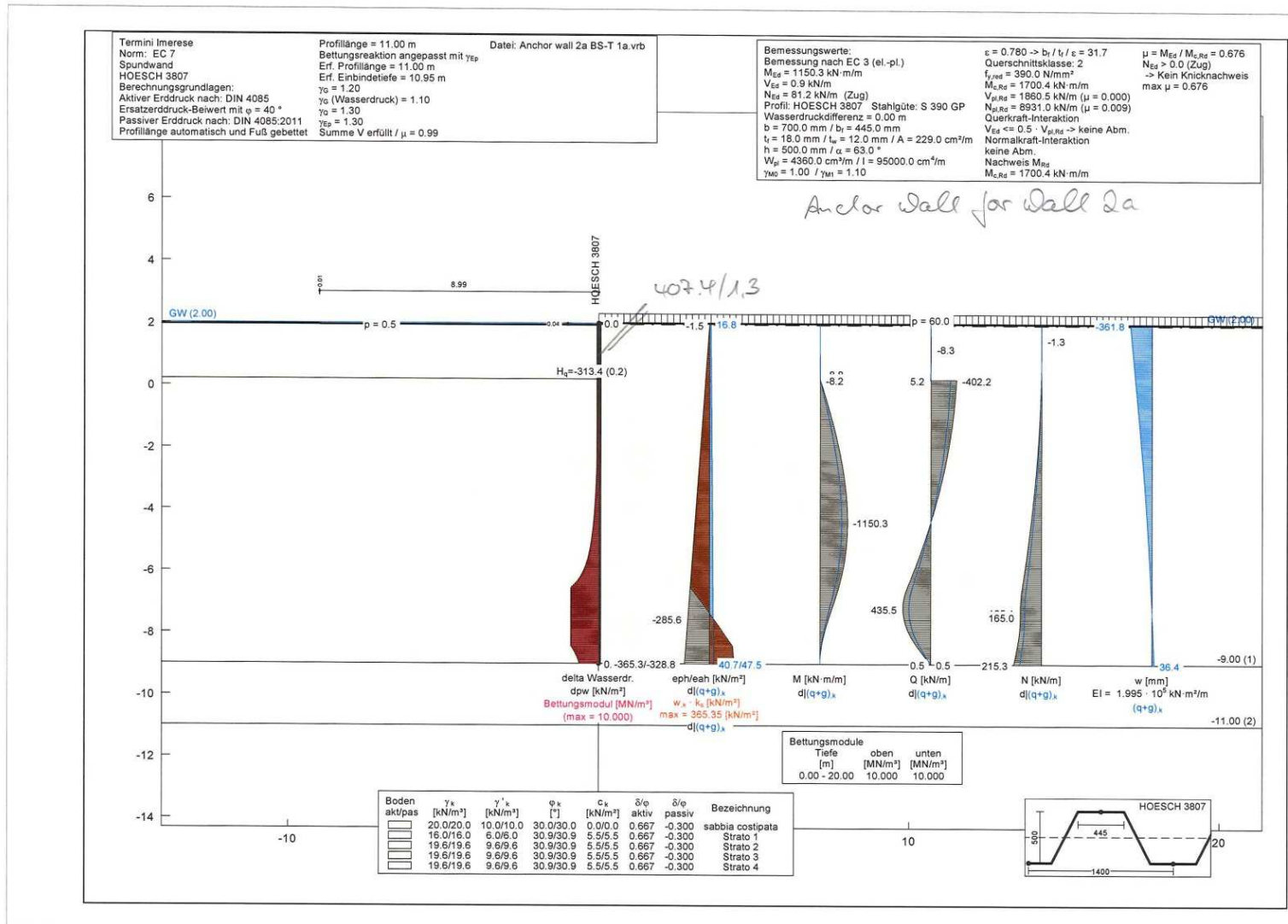


Figura 5.13 – Schema di calcolo delle palancole: palanca di ancoraggio della parete combinata 2A, scenario “extreme” tenendo conto delle raccomandazioni EAU R215

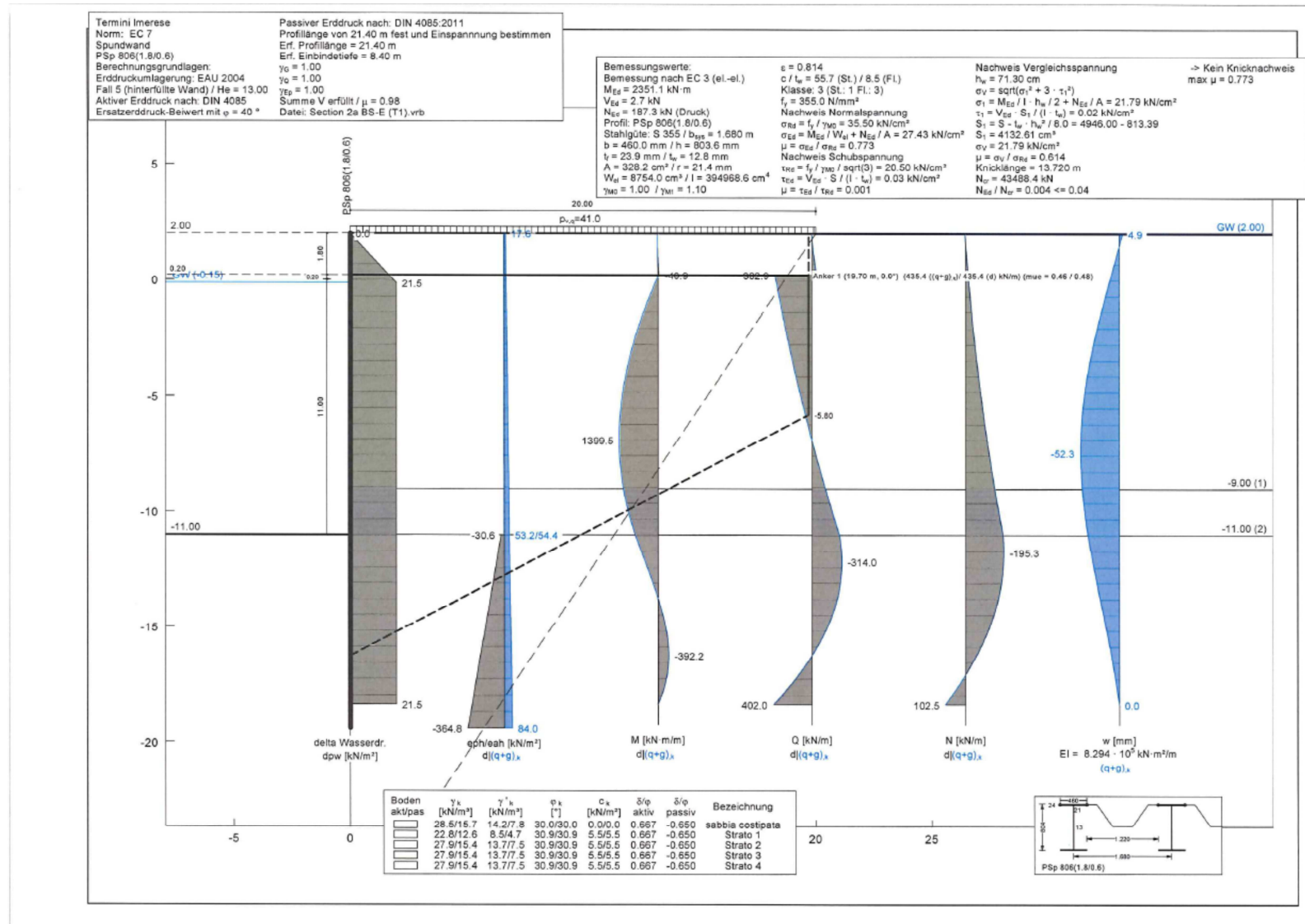


Figura 5.14 – Schema di calcolo delle palancole: parete combinata 2A, scenario “extreme” con sisma

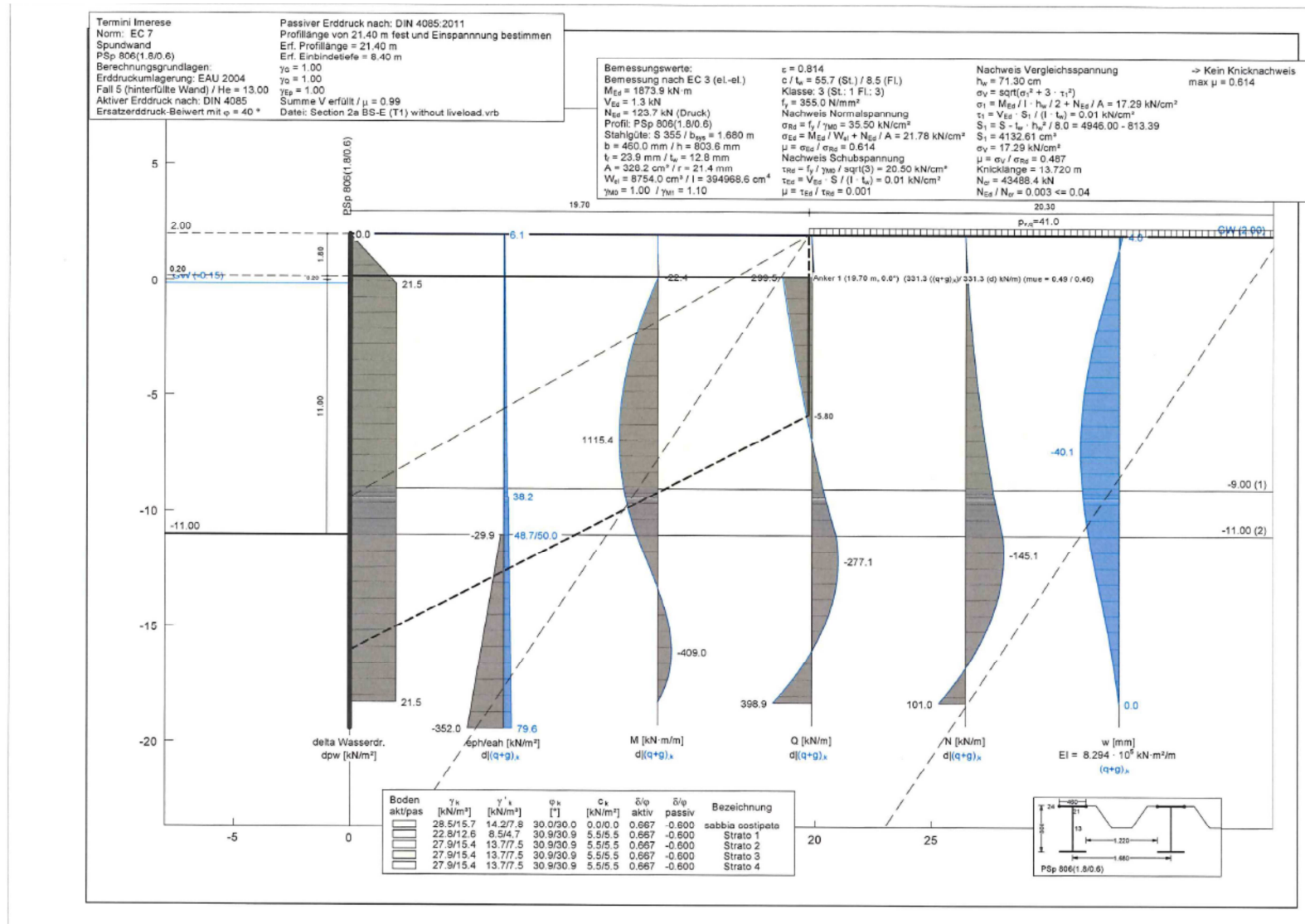


Figura 5.15 – Schema di calcolo delle palancole: parete combinata 2A, scenario “extreme” con sisma tenendo conto delle raccomandazioni EAU R215

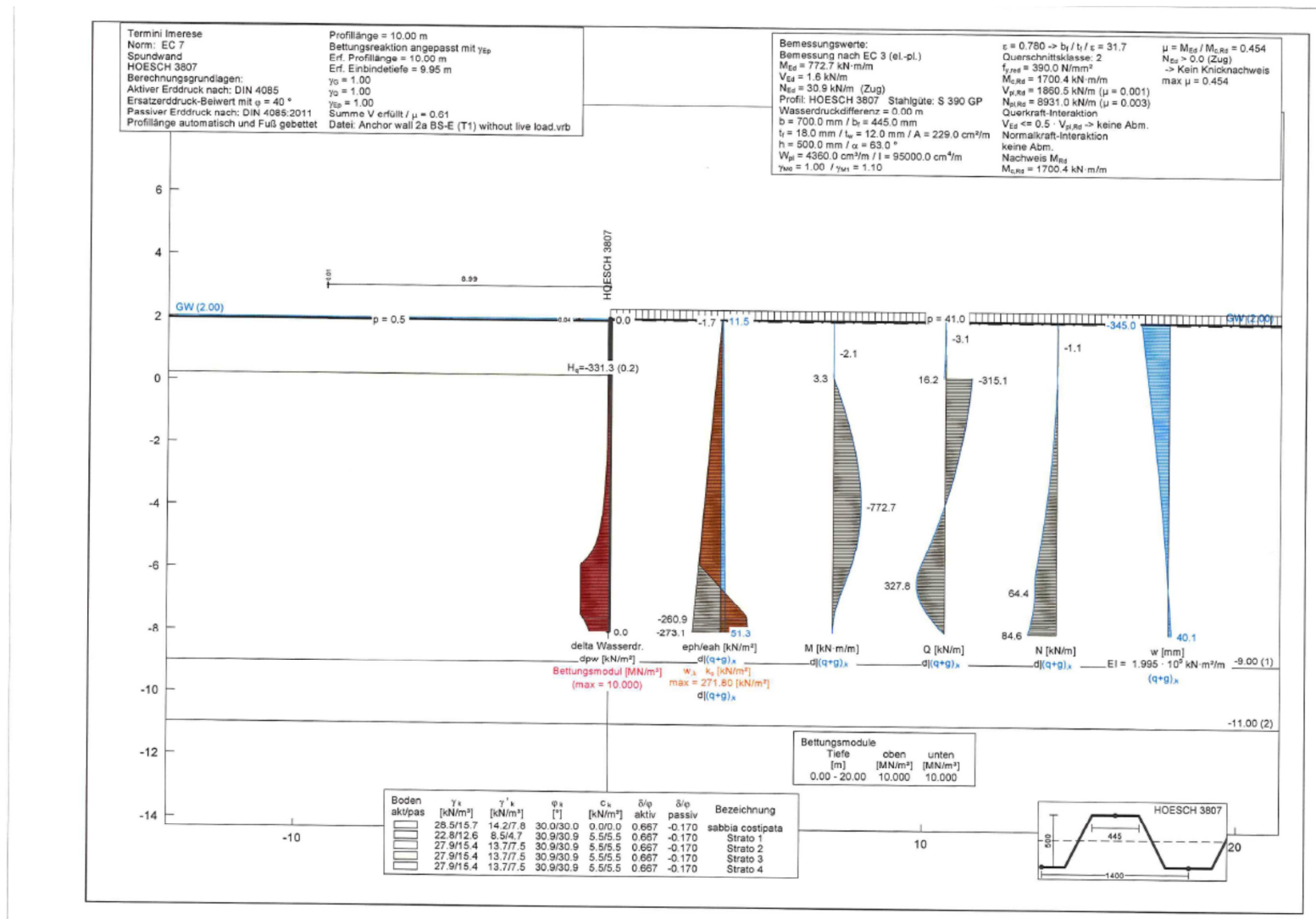


Figura 5.16 – Schema di calcolo delle palancole: palanca di ancoraggio della parete combinata 2A, scenario “extreme” con sisma tenendo conto delle raccomandazioni EAU R215

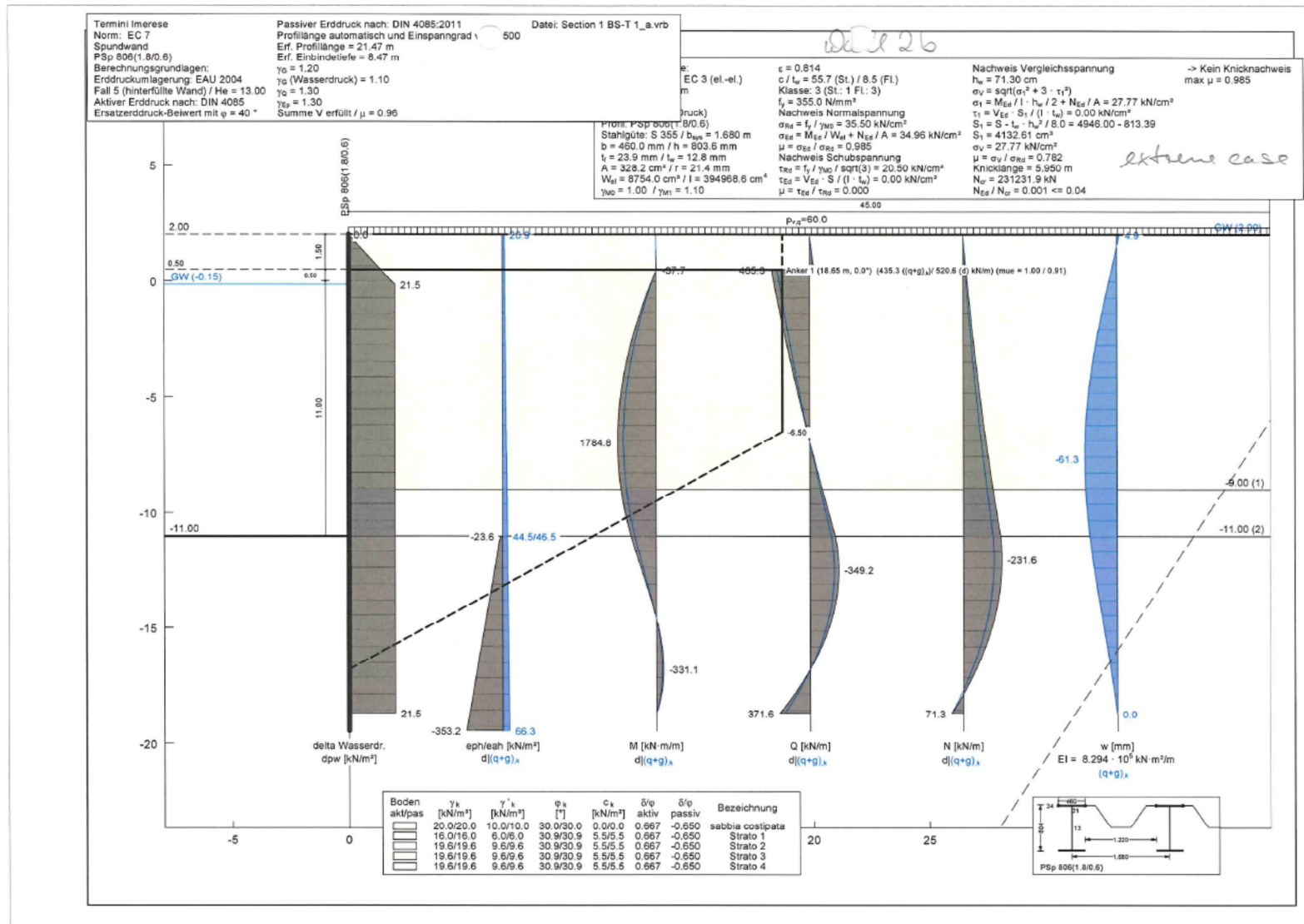


Figura 5.17 – Schema di calcolo delle palancole: parete combinata 2B, scenario “extreme”

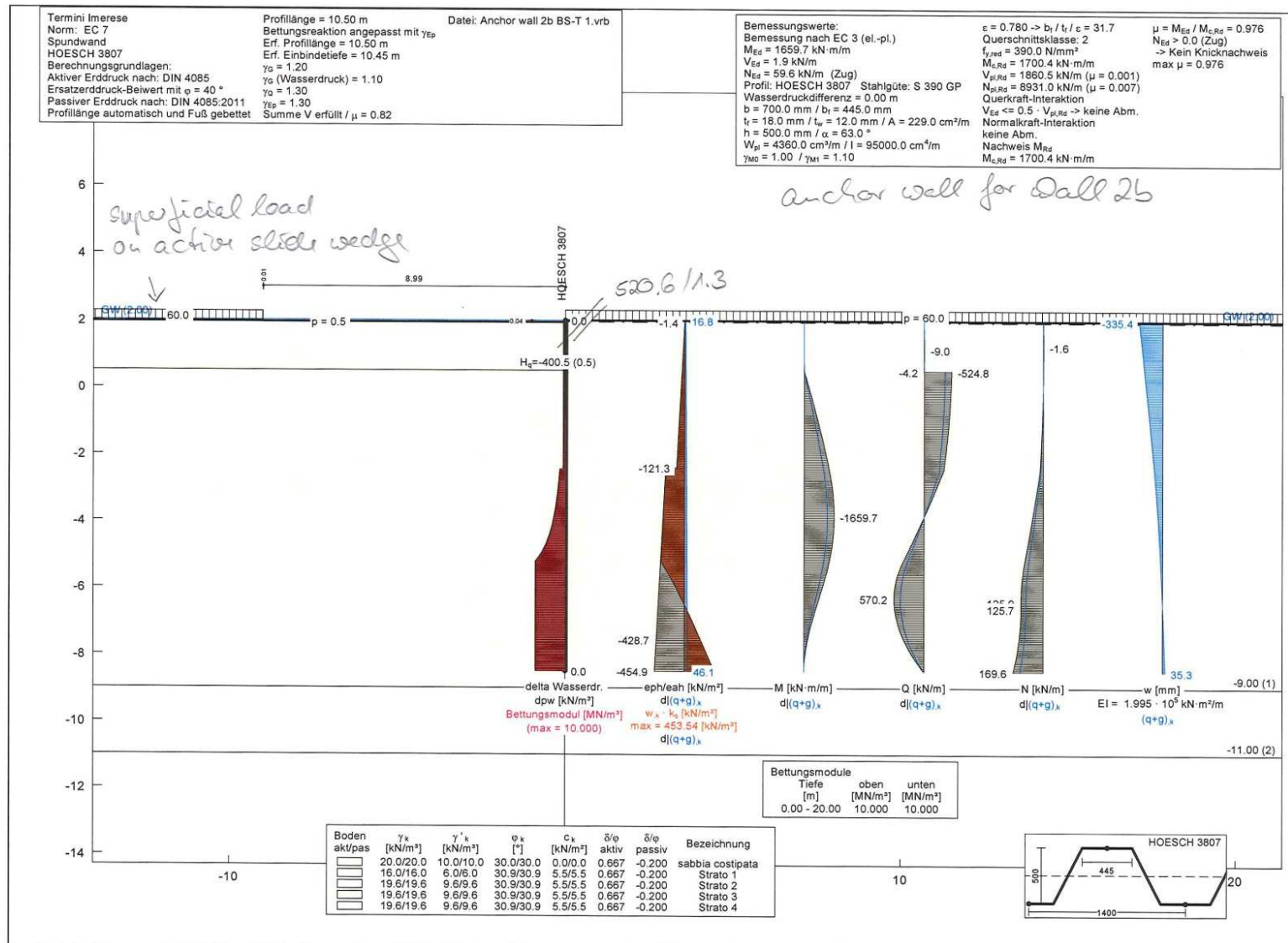


Figura 5.18 – Schema di calcolo delle palancole: palanca di ancoraggio della parete combinata 2B, scenario “extreme”

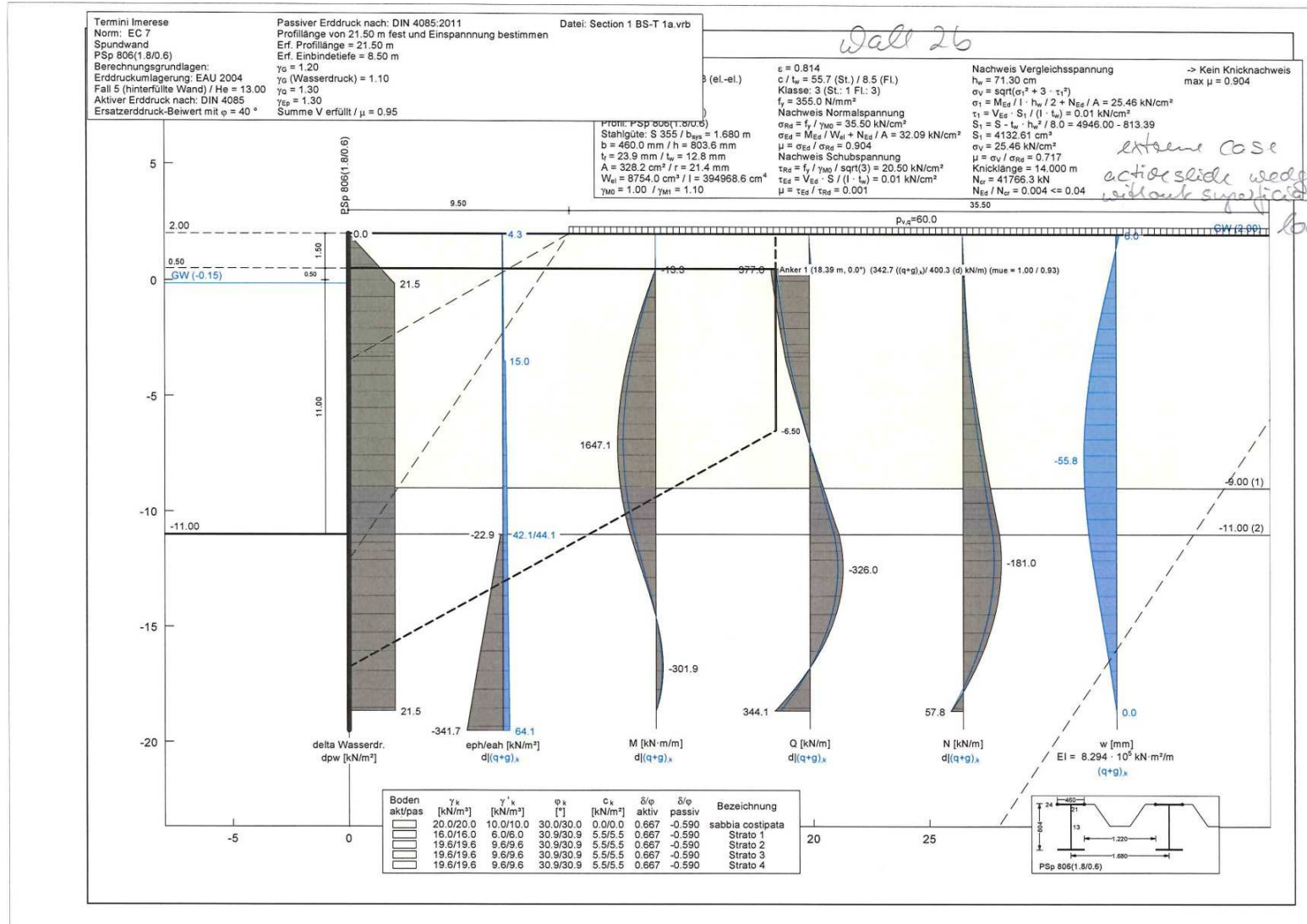


Figura 5.19 – Schema di calcolo delle palancole: parete combinata 2B, scenario “extreme” tenendo conto delle raccomandazioni EAU R215

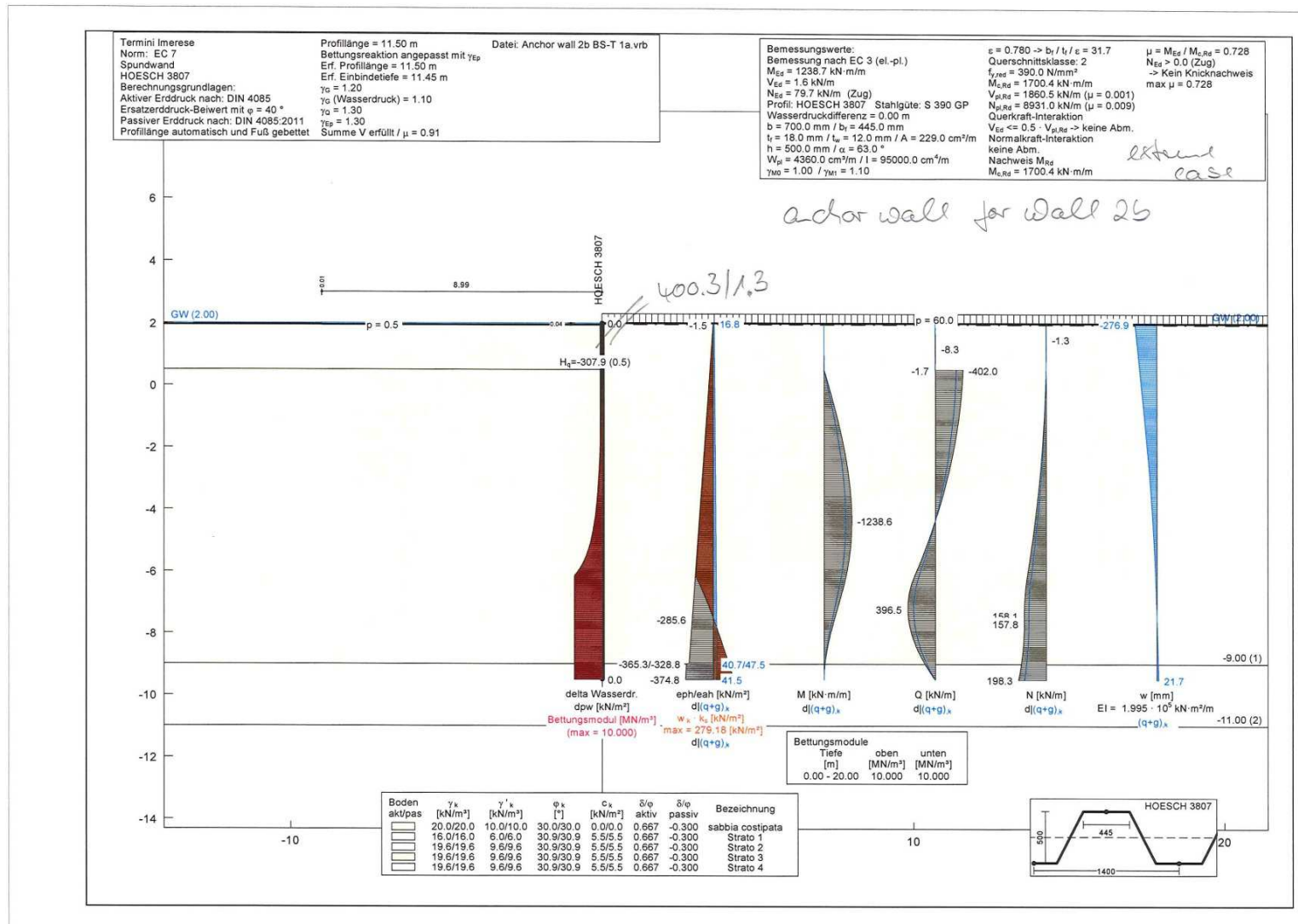


Figura 5.20 – Schema di calcolo delle palancole: palanca di ancoraggio della parete combinata 2B, scenario “extreme” tenendo conto delle raccomandazioni EAU R215

6. VERIFICA DELLA LUNGHEZZA DI ANCORAGGIO DEI TIRAFONDI DELLA BITTA DI ORMEGGIO

La bitta viene ancorata alla sovrastruttura del molo martello mediante 4 tirafondi aventi lo scopo di sopportare le forze di taglio e quelle di trazione trasmesse alla bitta dal tiro dei natanti.

I tirafondi presentano, nella parte inferiore, appositi dispositivi (rosette) atti a ridurre la possibilità di sfilamento e/o, nella parte superiore, apposita filettatura così da poter essere connessi alla piastra in ghisa della bitta mediante dadi e controdadi, aumentando il livello di aderenza.

Per aderenza si intende la resistenza che si mobilita tra la barra d'acciaio ed il calcestruzzo che l'avvolge, quando la prima tende a scorrere rispetto al secondo. Essa è dovuta sia alle forze di adesione intermolecolari che si sviluppano al perimetro tra acciaio e calcestruzzo, sia all'attrito conseguente al serraggio esercitato dal calcestruzzo sulle barre per effetto del ritiro, sia infine alle eventuali asperità o rugosità presenti sulla superficie esterna delle barre.

La perfetta aderenza tra le barre d'acciaio e il conglomerato circostante è una delle ipotesi fondamentali per effettuare un qualsiasi calcolo convenzionale per la valutazione dello sfilamento.

L'aderenza è dovuta principalmente alle nervature presenti sulla superficie esterna delle barre e secondariamente sia alle forze di adesione intermolecolari che si sviluppano al perimetro tra acciaio e calcestruzzo sia all'attrito conseguente al serraggio esercitato dal calcestruzzo sulle barre per effetto del ritiro. Le caratteristiche di aderenza vengono definite tramite la tensione di aderenza t_{ad} .

L'ipotesi più elementare per il calcolo di t_{ad} si basa sull'ipotesi di Brice, che consiste nell'assumere un andamento costante delle tensioni di aderenza.

Consideriamo inizialmente il caso elementare di un tirafondo annegato in un blocco di calcestruzzo e soggetto ad uno sforzo di trazione T.

Il tondino in queste condizioni avrà la tendenza a fuoriuscire dal blocco di conglomerato: tale tendenza mobilita l'aderenza fra i due materiali e di conseguenza fa insorgere, lungo il perimetro p del tratto Δl del tondino annegato nel blocco, le tensioni di aderenza.

Imponendo l'equilibrio allo scorrimento del tondino, con l'ipotesi di Brice, si avrà:

$$T = t_{ad} \times p$$

dove:

- T è lo sforzo di trazione;
- p è il perimetro esterno della barra;
- t_{ad} è la tensione di aderenza.

Per il tiro alla bitta vale:

$$T = \pi d^2 \sigma_s / 4$$

dove:

- σ_s è la tensione di trazione nell'acciaio
- d il diametro del tirafondo.

Il perimetro p vale:

$$p = \pi d \Delta l$$

dove :

- Δl è la lunghezza della barra ;
- d è il suo diametro;

Facendo le opportune sostituzioni si ottiene:

$$t_{ad} = \sigma_s d / (4 \Delta l)$$

Il valore Δl_{min} affinché il tondino non si sfili è:

$$\Delta l_{min} = \sigma_s d / (4 t_{adamm})$$

dove t_{adamm} è la tensione ammissibile di aderenza è pari a:

$$t_{adamm} = 3 (0,4 + (R_{ck} - 15) / 75) \text{ (N/mm}^2\text{)}$$

dove R_{ck} è la tensione cubica caratteristica del calcestruzzo.

A vantaggio di sicurezza si è ipotizzato che :

- il tiro alla bitta sia pari a quello massimo è cioè a 1000 kN;
- il diametro degli ancoraggi è 80 mm;
- il tiro alla bitta agisca secondo la direzione di inserimento dei tirafondi;
- il tiro alla bitta sia assorbito da almeno due dei quattro tirafondi;
- la presenza della rosetta sia ininfluyente.

Per quanto riguarda la resistenza del calcestruzzo della sovrastruttura del molo martello, la classe di resistenza cubica di progetto del calcestruzzo è pari a 45 KN/mm².

Di seguito si riportano in sintesi i dati ottenuti a seguito della verifica effettuata:

- tiro alla bitta = 1000 kN;
- numero di ancoraggi = 2;
- azione sul singolo ancoraggio = 500 kN;
- diametro ancoraggi = 80 mm;
- resistenza caratteristica cubica cls = 45 N/mm²;
- tensione tangenziale di aderenza acciaio-calcestruzzo $t_{adamm} = 2,40 \text{ N/mm}^2$;
- Lunghezza di ancoraggio calcolata = 830 mm.

Gli ancoraggi saranno lunghi 1000 mm, a vantaggio di sicurezza come indicato nell'elaborato OP.07 a cui si rimanda.