

Wirtschaftliche Stützwände im Grund-, Erd - und Strassenbau

Autor(en): **Huber, Josef**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Schweizerische Bauzeitung**

Band (Jahr): **95 (1977)**

Heft 30/31

PDF erstellt am: **19.04.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-73427>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.

Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.

Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

Haftungsausschluss

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

müssen Akzente nicht unbedingt aus Hochhäusern oder andern Grossdimensionen bestehen, sondern sollen aus Raumfigurationen, aus intensiver Gestaltung und aus entsprechend bedeutungsvollen Nutzungen entstehen, also zum Beispiel baulich gefasste und räumlich intensive Plätze.

Umpolung von Wachstum zu Gleichgewicht

Man kann sich nun fragen, ob das hier vertretene Postulat des Gleichgewichts als Prinzip der Stadtplanung mit unseren ökonomischen und sozialen Randbedingungen und mit verfassungsmässigen Freiheiten zu vereinbaren ist, und ob es deswegen überhaupt durchsetzbar ist. Konflikte könnte man auf dem Gebiet der Niederlassungs- und Gewerbefreiheit, beim Bodenrecht und bei den Baugesetzen und Zonenplänen vermuten. Nun kann an sich jede persönliche oder eigentumsbedingte Freiheit nur soweit gehen, als sie den Nächsten in seinen Freiheiten nicht *unzulässig* einschränkt. Das Gleichgewicht in der baulichen und nutzungsmässigen Entwicklung einer Stadt impliziert nun gerade die Ausgewogenheit der gegenseitigen Freiheiten unter sich und der zwischen privaten und öffentlichen Interessen. Ausserdem ist es bemerkenswert, dass ein Grossteil der Elemente und Strukturen die das Gleichgewicht in der Stadt heute stören, wie z.B. Grossüberbauungen und Arealüberbauungen, Hochhäuser und Einkaufszentren, Parkierungs- und Verkehrsanlagen, auf Grund von Ausnahmeregelungen oder von einseitigen Spezialgesetzen entstanden sind und meistens einen rechtlich nicht geschützten intensiveren Gebrauch des öffentlichen Grundes, der Strassen, beanspruchen. Tatsächlich sind nicht nur Ausnahmeregelungen und Spezialgesetze, sondern unsere ganze *Baugesetzgebung auf der Voraussetzung des Wachstums und der Ausdehnung* der Stadt

aufgebaut. Eine Umpolung der Ziele von Wachstum zu Gleichgewicht und kontinuierlicher Erneuerung könnte insofern auch eine andere Ausgangslage für die Baugesetzgebung zur Folge haben.

Man könnte nun das Gleichgewichtsprinzip im Städtebau mit einer Reihe von menschlichen Grundrechten, mit altchinesischen Weisheiten oder mit Analogien in der Natur rechtfertigen, ich möchte hier darauf verzichten, weil ich nicht Verfassungsrechtler bin und weil ich hier das Gleichgewicht nicht als neues Recht, sondern als *Handlungsprinzip* und *Entscheidungskriterium* im Städtebau fordere.

Den Beweis für die Durchsetzbarkeit muss ich vorläufig offen lassen. Offen lassen muss ich ebenfalls den Nachweis für meine Behauptung, dass wir durch eine Stadt, die im inneren und äusseren Gleichgewicht steht, dem Bewohner die Behaglichkeit zurückgeben können und damit die Lebensbedingungen schaffen, die Lebensqualität ermöglichen. Immerhin scheint das Gleichgewicht als neues Ziel einer Stadt, die sich ohne Wachstum zwischen den Polen Erhaltung oder Erneuerung bewegt, die logische Konsequenz. Die Revolution im Städtebau ist heute kaum mehr angebracht, die Evolution, weitgehend mit einseitigem Wachstum verbunden, ist nicht mehr machbar, so bleibt uns das *Ziel eines kontinuierlichen Ausbalancierens des Gleichgewichts*. Wenn wir alle vorgesehenen Massnahmen, Eingriffe und Veränderungen in der Stadt daraufhin überprüfen, ob sie das soziale, wirtschaftliche, räumliche und ökologische Gleichgewicht verbessern oder verschlechtern, so ist uns damit ein Massstab gegeben.

Adresse des Verfassers: Prof. B. Huber, ORL-Institut, ETH-Hönggerberg, 8093 Zürich.

Wirtschaftliche Stützwände im Grund-, Erd- und Strassenbau

Von Josef Huber, Bern

Die Entwicklung von *Erdankern* und *Schlitzwänden* sowie die *zunehmenden Baugrubentiefen* und die *grösseren Hanganschnitte* im Strassenbau haben die Anwendung von Stützwandkonstruktionen sehr gefördert. Um die Sicherheit und Wirtschaftlichkeit dieser Bauwerke zu gewährleisten, ist allerdings auch der *Aufwand für die Berechnung beträchtlich angestiegen*. Er ist durchaus vergleichbar mit dem für eine Brückenberechnung, mit dem Unterschied, dass für eine Brücke meist mehr Zeit und genormte Grundlagen zur Verfügung stehen.

Beschreibung des Verfahrens

Die Berechnung umfasst folgende Punkte:

- Ermittlung der Wanddrücke (aus Erde, Wasser und Auflast)
- Statik für den Endzustand [2]
- Berücksichtigung der Bauzustände mit Grenzwertbildung für Momente, Querkraften und Ankerkräfte
- Bemessung verschiedener Wandtypen
- Kalkulation der Wandkosten [3, 4]
- Nachweis der Kippsicherheit [5]
- Nachweis der hydraulischen Grundbruchsicherheit [6]
- Nachweis der Geländebruchsicherheit [5].

Obwohl für einzelne Punkte bereits Computerprogramme existieren, werden diese vom Mann auf der Baustelle, wegen

der oft recht komplizierten Eingabe und damit verbundenen Fehleranfälligkeit, selten angewendet. Auch der entwerfende Ingenieur ist nicht immer Spezialist auf den verschiedenen Fachgebieten (Bild 1).

Es galt demnach, vor allem für die ausführende Unternehmung, ein Programm zu entwickeln, das ein *Mindestmass an Eingabedaten* erforderte. So sollte der optimale Entwurf für eine einfache Wand mit lediglich den drei Angaben, die auf der Baustelle bekannt sind, nämlich *Aushubtiefe*, *Wandtyp* und *Bodenklasse*, möglich sein.



Bild 1. Ablauf des Verfahrens

Um die optimale Lösung zu finden, ist die mehrmalige Berechnung von a bis h erforderlich. Eine statische Berechnung allein liefert noch keine Aussage über die Wirtschaftlichkeit einer Wandkonstruktion, gibt es doch die folgenden sechs gefragten Entwurfsparameter:

- Welche Wandtiefe?
- Welche Wanddicke?
- Welcher Wandtyp?
- Wieviele Anker- oder Spriesslagen?
- Welche Ankertiefen?
- Welche Ankerlängen?

Bei rein iterativer Durchführung, das heisst für beispielsweise 10 verschiedene Annahmen für die Wandtiefe (t) oder die Wanddicke (d) usw., würde sogar ein *Grosscomputer* bei 10^6 Durchläufen der Punkte a bis h *mehrere Wochen* benötigen. Eine *manuelle* Berechnung würde *Jahre* dauern. Abgesehen von den Kosten, ist dies schon aus zeitlichen Gründen undurchführbar.

Die Lösung des Problems gelang schliesslich durch die Entwicklung [7] eines mathematischen Modells [1] und der Optimierung nach der neu entwickelten «*Differentiations-Iterations-Methode*». Durch partielle Differentiation der nicht linearen Wandkostenfunktion $K = f(d, t, \dots)$ mit

$$\frac{\partial K}{\partial d} = 0, \quad \frac{\partial K}{\partial t} = 0, \dots$$

erhält man für die gefragten Parameter, wie die optimale Wanddicke und -tiefe, zwar umfangreiche, aber leicht programmierbare Formeln.

Nun ist es aber in einigen praktischen Fällen so, dass mehrere Minima existieren, oder Singularitäten auftreten, oder die Funktion überhaupt nicht differenzierbar ist. Dafür wurde ein *iterativer Such-Algorithmus* geschaffen, um letztlich die optimale Lösung zu finden, die aber auch noch den Nebenbedingungen entsprechen musste. So dürfen die zulässigen Beanspruchungen der Materialien nicht überschritten werden, oder konstruktive Mindestabmessungen der Wand müssen eingehalten werden.

Nach 3jähriger Programmierung (in FORTRAN IV) wird das Verfahren nun bereits seit einigen Monaten praktisch verwendet.

Anwendungsbereiche und Grundlagen

Dieses neue Programm mit der Bezeichnung WANDOP ist für verankerte, gespriesste, unverankerte, im Boden aufgelagerte oder eingespannte Wände und Pfähle anwendbar. Es sind dies hauptsächlich folgende *Konstruktionen*:

- Baugrubenumschliessungen
- Grabenverbaue
- Ufereinfassungen
- Stützwände im Strassen- und Erdbau
- Stützwände für Eisenbahnen
- Unterfangungswände
- Hangsicherungen
- Freistehende, eingespannte Wände
- Wände als Teile von Tiefbauten.

Folgende *Belastungen* sind möglich:

- Erddruck
- Wasserdruck
- Winddruck
- Auflast.

Als *Materialien* können verwendet werden:

- Stahl
- Holz
- Kunststoff
- Stahlbeton
 - Ortbeton
 - Fertigteile
 - mit Hohlräumen
 - Leichtbeton
- vorgespannter Beton
 - Ortbeton
 - Fertigteile
 - mit Hohlräumen.

Das ergibt eine Vielzahl von Kombinationen von Wandtypen für:

- Spundwände
- Trägerwände
- Pfahlwände
- Schlitzwände.

Für eine *internationale* Anwendbarkeit wurden verschiedene Normen und Richtlinien [2] einprogrammiert. Die *Bemessung* ist möglich:

- nach Zustand I für Stahlträger, Spundwände, Holzpfähle und vorgespannte Wände
- nach Zustand II für Stahlbetonkonstruktionen nach dem n-Verfahren für:

Rechteckquerschnitte
Hohlkasten- oder Plattenbalkenquerschnitte
Kreisquerschnitte

- nach dem *Traglastverfahren* für:

Rechteckquerschnitte
Hohlkastenquerschnitte
Kreisquerschnitte.

Folgende *Profiltabellen* wurden gespeichert (wobei beliebige Ergänzungen möglich sind):

- Stahlspundwände, Kanaldielen: Larssen, Hösch, Krupp, VÖEST-ALPINE
- Stahlpfähle: HE-B, HE-M, I, U
- Holzpfähle: Kreis- und Rechteckquerschnitte.

Die *Stabilitätsuntersuchungen* erfolgten näherungsweise nach:

- Fellenius (Geländebruch)
- Kranz-Ostermayer [5] oder Janbu (Kippen)
- Lang (hydr. Grundbruch) [6].

Die Anwendung des Verfahrens wird nun anhand eines Beispiels erläutert.

Beispiel

Für eine 10 m tiefe Baugrube (siehe Skizze in Bild 2) soll die wirtschaftlichste Stützwand, bei Berücksichtigung der Einheitskosten und der zulässigen Materialbeanspruchungen, entworfen werden. Gefragt sind:

- Welche Wandtiefe?
- Welche Wanddicke?
- Wie viele Ankerlagen?
- Welche Ankertiefen?
- Wie gross sind die erforderlichen Ankerkräfte?
- Welche Ankerlängen?
- Welcher Wandtyp ist am wirtschaftlichsten?
- Wieviel kostet ein Laufmeter Wand?

Bild 2. Eingabeformular (rechts, gegenüberliegende Seite)

← Titelzeile

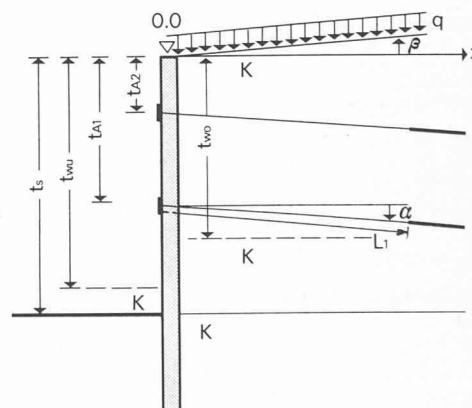
Blatt:

t_s Aushubtiefe m						β Gelände Altgrad			q Auflast Mp (10 kN)/m ²				t_{wu} untere Wassert. m				t_{wo} obere Wassert. m				a Pfahlabst. m				α Anker Altgrad				Wandtyp	Zu- schlag %	U	U = 0 keine Druckumlagerung U = 1 Umlagerung in Rechteck U = 2 oder 3 Umlagerung in Trapez										S										
10.						9			2.				10.				8.				.								1																							
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53

[illegible][illegible][illegible]

Klasse	Bodenspezifikation (vom Bodenfachmann anzugeben)	φ	γ	C
0	Moränenkies, Schotter	40	2	0
1	Kies, Geröll und Steine; dicht gelagert	37.5	2	0
2	Kies, Geröll und Steine; mitteldicht	35	1.9	0
3	Sand, Kiessand; dicht	35	2	0
4	Sand, Kiessand, mitteldicht	32.5	2	0
5	Sand, Kiessand, locker	30	1.9	0
6	bindig, wenig plastisch beim Kneten	27.5	2.1	0.5
7	bindig, wenig plastisch, Zustand weich	27.5	2	0
8	bindig, mittelpastisch	22.5	2	1
9	bindig, mittelpastisch, weich	22.5	1.9	0
10	bindig, sehr plastisch	17.5	2	2.5
11	bindig, sehr plastisch, weich	17.5	1.8	0
12	organischer Ton, organischer Schluff	15	1.6	0
13	Torf	15	1.2	0.5

Skizze (Beispiel)



Bemerkungen zu den Eingabedaten

- a Es müssen zumindest die stark umrahmten Werte (rechtsbündig) eingetragen werden; fehlende Daten werden gespeicherten Richtlinien, Normen bzw. Standard-Kostenlisten entnommen.
Bei Offertkalkulationen ist ein Kosten-Eintrag erforderlich.
Für Detail-Optimierungen Formular «WANDOP» verwenden.
- b Für ein überschlägiges Optimierungsbeispiel sind demnach nur drei Werte einzutragen wie: $t_s = 10$, Wandtyp = 2, Bodenklasse = 3 (wenn nur eine Bodenart, sonst auch Schichttiefen: $t_s, t_{w1}, t_{w2}, \dots, t = 0$).

Anker fix:	$S = 1$ Statik Endzustand	$S = 3$ inkl. Bauzustände
Anker variabel:	$S = 4$ Statik Endzustand	$S = 0$ inkl. Bauzustände

Spundwand = **Wandtyp** 1 vorgesp. Schlitzw. = 4 Holzpfehlwand = 6
 schlaff arm. Schlitzw. = 2 vorgesp. Hohlw. = 5 (σ eintragen)
 schlaff arm. Hohlwand = 3 Stahlträgerwand = 6 Betonpfehlwand = 7

Ablauf des Verfahrens

- Berechnung der Bodendrücke (+ Umlagerung)
- Statik der Wand (als starr oder elastisch gelagerter Durchlaufträger)
- Minimale und maximale Momente und Anker- bzw. Abstützkräfte wenn Bauzustände (Grenzwerte)
- Bemessung sowie Kalkulation der Wandkosten
- Kipp-, hydraulische Grundbruch- und Geländebruchsicherheit.

Obige Berechnungen werden nun so oft durchgeführt (etwa 10^6 Variationen) bis man als Gesamtlösung die wirtschaftlichste Variante sowie Vergleichslösungen erhält.

Ergebnis: Opt. Wandtyp, opt. Wandtiefe, opt. Wanddicke (Profiltyp), opt. Anker (-lagen, -tiefen, -längen), optimale Wandkosten.

In das Formular (Bild 2) trägt man folgende Daten ein:

Aushubtiefe t_s = 10 m
 Geländeneigung β = 9°
 Auflast q = 2 Mp (20 kN)/m²
 Wasserstände t_{wu} = 10, t_{wo} = 8 m
 Wandtyp = 1
 Bodenklasse = 3

Für die fehlenden Eingaben sollen gespeicherte Standardwerte verwendet werden. Bei Detailoptimierungen können aber auch alle Werte speziell eingetragen werden.

Der Bauführer ersucht um die Einhaltung zusätzlicher Nebenbedingungen, wie:

- kleinstmögliches Rammprofil ist ein 27 cm dickes, im Boden verbleibendes Larssen aus St.37
- die kleinste ausführbare Schlitzwanddicke beträgt 40 cm
- Berücksichtigung aller Bauzustände.

Diese wenigen Angaben genügen für die integrierte Berechnung des gesamten Problems, wobei nach kurzer Zeit die Antwort auf die eingangs gestellten Fragen gegeben wird (Bild 3):

«Die wirtschaftlichste Lösung ist eine 13 m tiefe, 27 cm dicke Larssen-Stahlspundwand mit 2 Ankerlagen. Die Anker sind in einer Tiefe von 5,90 und 2,90 m anzuordnen und erfordern insgesamt 38 Mp (380 kN) Ankerkraft je Laufmeter

Wand, wobei die freie Länge des untersten Ankers 11 m beträgt. Die Wand, deren Stabilität gewährleistet ist, kostet 3988.50 Fr./m.»

Zusätzlich werden auch alle Eingaben, Annahmen, Standardkostenwerte, sowie Detailnachweise und Vergleichslösungen ausgeschrieben.

Jede Änderung eines der obigen optimalen Entwurfsparameter wie der Tiefe, Dicke oder Anker ergäbe *grössere* Wandkosten. Aber auch andere Einheitskosten für das Rammern, den Stahl oder die Verankerung würden den Entwurf verändern. So wäre bei sehr grossen Ankerkosten eine Lösung mit nur *einer* Ankerlage optimal.

In der Zusammenstellung der Vergleichslösungen (Bild 3) erkennt man ausserdem, dass trotz gleicher statischer Belastung die Wandtiefen bei Variante 2 und 4 – bedingt durch die gespeicherte abgestufte Profiltabelle – vollkommen verschieden sind.

Zusammenfassung

Die Berechnung einer Stützwandkonstruktion für Baugruben oder Hangsicherungen ist äusserst umfangreich. Sie reicht von der Ermittlung der Erd- und Wasserdrücke über die Statik, die Grenzwertbildung bei Bauzuständen, die Bemessung aller praktisch möglichen Wandtypen, die Kalkulation der Wandkosten bis zu den Stabilitätsnachweisen für Kippen, Gleiten und hydraulischen Grundbruch.

Eine statische Berechnung allein, aber auch eine einmalige komplette Durchrechnung ergibt noch keinerlei Aussage über die Wirtschaftlichkeit der Wand. Bedingt durch die vielen unbekannten Entwurfsparameter ist eine Unzahl von Durchläufen erforderlich. Bei rein *iterativer* Durchführung würde sogar ein Grosscomputer Wochen benötigen; eine manuelle Rechnung ist praktisch unmöglich.

Die Lösung des Problems gelang nach mehrjähriger Entwicklungsarbeit durch Schaffung eines *Optimierungsverfahrens*, mit dessen Hilfe es möglich ist, den wirtschaftlichsten Entwurf bei Berücksichtigung der Anforderungen der Bauausführung mit allen Detailnachweisen innert kurzer Frist zu erhalten. Eine wichtige Zielsetzung war die Benutzerfreundlichkeit, die keinerlei EDV-Kenntnisse voraussetzt. So genügt für einfache Optimierungen die telefonische Angabe von lediglich *drei* Werten, wie *Aushubtiefe*, *Wandtyp* und *Bodenklasse*. Weiters ist es auch möglich, Bauwerke mit fixen Abmessungen, wie etwa bereits ausgeführte Wände, zu berechnen.

Wie die bisherigen praktischen Anwendungen zeigten, konnten durch die Ermittlung des optimalen Entwurfs in allen Fällen zum Teil beträchtliche Einsparungen erzielt werden, bei Einhaltung aller erforderlichen Sicherheiten.

Literaturverzeichnis

- [1] Huber J.: «Die praktische Anwendung der konstruktiven Optimierung im Bauwesen», Oe. Institut für Bauforschung, Wien, Jahresbericht 1968.
- [2] Weissenbach A.: «Empfehlungen des Arbeitskreises Baugruben der Deutschen Gesellschaft für Erd- und Grundbau», Die Bautechnik 6 und 7, 1972.
- [3] Eder P. und Rummeli H.: «Vorfabrizierte Schlitzwände (Baugrubenumschliessungen)», Schweizerische Bauzeitung, Heft 28, 1973.
- [4] Meuli Ch. und Locher H.G.: «Vorgespannte Bodenanker», Tagung über besondere Bauverfahren, Losinger AG, Bern, 1972.
- [5] Ranke A. und Ostermayer H.: «Stabilitätsuntersuchung mehrfach verankerter Baugrubenumschliessungen», Die Bautechnik 10/1968.
- [6] Lang H.J.: «Grundsätzliche Einflüsse des Grundwassers auf den Boden», Schweizerische Bauzeitung, Heft 18, 1974.
- [7] Huber J.: «Wirtschaftlichere Betontragwerke durch Optimierung», Schweizerische Bauzeitung, Heft 40, 1972.

Adresse des Verfassers: Dr. sc. techn. J. Huber, dipl. Ing., Losinger AG, Könizstr. 74, 3001 Bern.

OPTIMALE LOESUNG

OPT.LOESUNG IST EINE LARSEN-STAHLS-PUNDWAND, DICKE=27 CM
 OPT.WANDTIEFE = -13.00 M
 ANZ.ANKERLAGEN = 2
 SUM.ANKERKRAFT = 38.0 MP (380 KN)/LFM
 OPT.ANKERTIEFEN = -5.90 -2.90 M
 OPT.KOSTEN/LFM = 3988.5 FR

GRENZWERT + BEMESSUNG

WANDFUSS	H-MAX	H-MIN	N	SUM.ANK	W (CM3)	DICKE	KOSTEN
-14.70	12.4	-15.4	10	36.3	1003	0.27	4237.0
-14.20	13.5	-15.4	10	37.1	1003	0.27	4174.0
-13.80	14.4	-15.4	10	37.6	1003	0.27	4120.5
-13.40	15.1	-15.4	10	37.9	1003	0.27	4058.5
-13.00	15.4	-15.4	10	38.0	1003	0.27	3988.5

MAX.ANKERKRAEFTE A1=20.9 A2=17.1

DIMENSIONEN: MP(10KN) , M

VERGLEICHSLÖSUNGEN

VAR	WANDTYP	D	TIEFE	ANK	KRAFT	KOSTEN
1	1 SPUND	.27	-13.0	2	38.0	3988.5
2	1 SPUND	.29	-15.0	1	33.1	4655.0
3	2 SCHLITZ	.40	-13.0	2	39.6	4633.5
4	2 SCHLITZ	.48	-13.3	1	34.8	5429.0

STATIK + BAUZUSTAENDE
 SIEHE VAR.1 AUF SEITE 2

KIPPEN (TIEFE Gleitfuge)
 SICHERHEIT = 1.7

HYDR. GRUNDBRUCH
 SICHERHEIT = 2.0

GELÄNDEBRUCH
 FREIE U.ANKERLÄNGE=11.0 M
 SICHERHEIT = 1.4

Bild 3. Computerergebnisse (Zusammenfassung)