

TECHNISCHE
UNIVERSITÄT
WIEN

VIENNA
UNIVERSITY OF
TECHNOLOGY

DIPLOMARBEIT

Master's Thesis

AUFGELÖSTE BOHRPFAHLWAND – „OPTIMIERUNG DES PFAHLABSTANDES BEI DER AUSFÜHRUNG EINER DSV-AUSFACHUNG“

Intermittent pile wall – Optimization of the pile distance on center by designing a jet grouted bracing

ausgeführt zum Zwecke der Erlangung des akademischen Grades eines Diplom-Ingenieurs unter der Leitung von

o. Univ. Prof. Dipl.-Ing. Dr. techn. Dr. h.c. mult. Heinz Brandl

und als verantwortlich mitwirkender Assistent

Univ. Ass. Dipl.-Ing. Dr. techn. Stefan Blovsky

E220

Institut für Geotechnik

Fachbereich für GRUNDBAU, BODEN- und FELSMECHANIK

eingereicht an der Technischen Universität Wien

Fakultät für Bauingenieurwesen

von

Thomas Peter Koller

Matr. Nr. 0225886

Am Kugelberg 5

A-4152 Sarleinsbach

Sarleinsbach, im Februar 2009

.....

(Thomas Peter Koller)

Danksagung

An dieser Stelle möchte ich mich bei all jenen bedanken, die zum Gelingen meiner Diplomarbeit beigetragen haben.

Mein Dank gebührt allen voran Herrn o.Univ.Prof. Dipl.-Ing. Dr.techn. Dr.h.c.mult. Heinz Brandl und Herrn Dipl.-Ing. Dr.techn. Eduard Falk, Geschäftsführer der Firma *Keller Grundbau GmbH* die mir das Erstellen dieser Arbeit ermöglicht haben und für deren Hilfsbereitschaft zu Beginn.

Meine Dankbarkeit richtet sich in erster Linie an meine Betreuer, Univ.Ass. Dipl.-Ing. Dr.techn. Stefan Blovsky und seitens der Firma *Keller Grundbau GmbH*, Dipl.-Ing. Klemens Pühringer und Dipl.-Ing. Dr.techn. Alexander Zöhrer, die mir bei der Erstellung dieser Arbeit jederzeit mit ihrem fachlichen Wissen zur Seite standen. Weiters bedanke ich mich für ihre Geduld und ihre Hilfsbereitschaft während der ganzen Entstehungsphase dieser Diplomarbeit und vor allem für ihre Flexibilität in der Endphase.

Besonderer Dank gilt auch Univ.Ass. Dipl.-Ing. Dr.techn. Dietmar Kohlböck, dessen innovatives Denken mich in der Grundlagenforschung dieser interessanten und herausfordernden Aufgabenstellung sehr viel weitergeholfen hat.

Mein größter Dank gilt jedoch meinen Eltern Ulrike und Wolfgang, die mir dieses Studium überhaupt erst ermöglicht haben. Sie haben mir in meiner Studienlaufbahn immer stets den nötigen Rückhalt gegeben und mich in allen Lebenslagen unterstützt und mir somit eine absolut sorgenfreie Ausbildung geschenkt.

Des Weiteren möchte ich mich noch bei meinen langjährigen Wohnungs- und Studienkollegen, besten Freunden Stefan und Markus für die schöne gemeinsame Studienzeit abseits der Universität bedanken.

Abschließend möchte ich an dieser Stelle noch all jenen danken, welche zwar hier nicht namentlich erwähnt werden können, aber ebenso wichtig für meine Studienzeit und meinen Werdegang waren.

Kurzfassung

Das Düsenstrahlverfahren (kurz DSV-Verfahren) ist heutzutage im Spezialtiefbau ein beliebtes Verfahren, um „Betonkörpern“ im Boden zu erstellen. Es kann für vielfältige Anwendungen, wie das Unterfangen von Fundamenten unter bestehenden Gebäuden, das Abdichten von Baugrubensohlen, das Stabilisieren von problematischen Böden, das Errichten von Dichtschirmen für Dämme, das Erstellen von dichten Baugrubenverbauten, etc. herangezogen werden. Letzteres reicht von der Erstellung von DSV-Wänden, ein oder mehr-reihig, bis hin zu aufgelösten Bohrpfahlwänden mit einer DSV-Ausfachung („Zwickelabdichtung“). Bis dato gibt es weder in Normen, noch in anderen Richtlinien Berechnungsansätze für DSV-Ausfachungen.

Im Rahmen dieser Diplomarbeit werden zunächst allgemein die Verfahren für die Herstellung von Bohrpfählen und das Düsenstrahlverfahren erläutert. Danach erfolgt die Vorstellung eines bei dieser Arbeit entwickelten Berechnungsansatzes für eine DSV-Ausfachung anhand eines einfachen analytischen Stabwerksmodells (Excel-Programm). Im Anschluss wird das Excel-Programm anhand eines konkreten Beispiels erläutert.

Den Abschluss dieser Diplomarbeit bildet eine Sensitivitätsanalyse, bei der anhand konkreter Ausführungsbeispiele aus der Praxis durch Variation verschiedener Parameter (wie Bohrpfahlabstand, Aushubtiefe und Bogenstich des Stützgewölbes) die Druckkraftentwicklung im DSV-Körper nachgerechnet, in Diagrammen dargestellt und abschließend erläutert wird.

Abstract

Jet grouting is nowadays a common procedure in ground engineering that allows to install a “concrete-like structure” in the soil. It has a manifold field of application; it acts, for example, as underpinning of the foundation of existing buildings, as a method of providing a horizontal sealing, for stabilizing difficult soil, constructing a waterproofed shield in an embankment or for constructing a waterproofed pit wall. The construction of a permeable pit wall can be executed by a jet-grouted wall or an intermittent pile wall with a jet-grouted bracing between the piles. However, until now there have not existed any standards for its analysis.

The Master’s thesis gives first an overview of the procedures for the construction of bored piles, in addition to an overview of the procedures for jet grouting. Then are analysis developed (in the form of an Excel sheet) for “jet grouted bracings between the centerlines of piles”. Further, this theoretical method is discussed and explained by a specific example.

Finally, the developed proposal will be executed in connection with a number of case studies from practice in the form of a sensitivity analysis. The behaviour of those structures will later be shown and discussed.

Inhaltsverzeichnis

1 Einleitung	6
2 Verfahrensbeschreibungen	8
2.1 Verfahren für die Herstellung von Bohrpfählen für eine aufgelöste Bohrpfahlwand	8
2.1.1 Allgemeines	8
2.1.2 Voraussetzungen für die Herstellung von Bohrpfählen	9
2.1.3 Greiferbohrverfahren (Schlagbohrverfahren).....	10
2.1.4 Drehbohrverfahren.....	12
2.2 Düsenstrahlverfahren	17
2.2.1 Geschichtliche Entwicklung	17
2.2.2 Kurzbeschreibung.....	17
2.2.3 Bauverfahrenstechnik	18
2.2.4 Ausführung	21
2.2.5 Düsenstrahlkörper	24
2.2.6 Anwendungsgebiete	29
3 Bedienungsanleitung Excel File	33
3.1 Hintergrund	33
3.2 Eingabemaske ERDDRUCK.....	35
3.2.1 Berechnung Erddruck	39
3.3 Eingabemaske WASSERDRUCK.....	43
3.3.1 Berechnung Wasserdruck	46
3.4 Resultat.....	46
3.5 Erläuterung anhand eines konkreten Beispiels	47
3.5.1 Allgemeines	48
3.5.2 Eingabe Arbeitsblatt Erddruck	48
3.5.3 Eingabe Arbeitsblatt Wasserdruck.....	53
3.5.4 Resultat.....	55
4 Sensitivitätsanalyse	57
4.1 Allgemeines	57

4.2	Parametervariationen	57
4.2.1	Annahme für die Parametervariationen	59
4.2.2	Übersicht der Parametervariationen	59
4.3	Ergebnisse und Interpretation.....	66
4.3.1	Variation der Pfahlachsabstände bei einer Aushubtiefe von 12,00m	66
4.3.2	Variation der Pfahlachsabstände bei einer Aushubtiefe von 12,00m und gleichzeitiger Variation der DSV-Druckfestigkeiten.....	67
4.3.3	Variation der Lage der DSV-Unterkante	70
4.3.4	Mögliche Ursachen für Schäden an der DSV-Struktur	72
5	Zusammenfassung und Ausblick.....	75
6	Quellenverzeichnis	76
7	Abbildungsverzeichnis.....	78
8	Tabellenverzeichnis	82
9	Anhang.....	83
9.1	Datenblätter für die Sensitivitätsanalyse.....	83
9.1.1	Daten für die Variation der Pfahlachsabstände bei einer Aushub-tiefe von 12,00m	83
9.1.2	Daten für die Variation der Pfahlachsabstände bei einer Aushubtiefe von 12,00m und gleichzeitiger Variation der DSV-Druckfestigkeiten.....	87
9.1.3	Daten für die Variation der Lage der DSV-Unterkante	104

1 Einleitung

In der heutigen, von Geschwindigkeit und Kostenminimierung dominierten Zeit, ist man auch in der Baubranche als Bauingenieur nicht selten damit konfrontiert, für bereits gelegte Angebote nach, oft technisch vielleicht etwas anspruchsvolleren jedoch zum Teil weitaus wirtschaftlicheren, Alternativangeboten zu suchen.

Bedingt durch das begrenzte Flächenangebot in den Innenstädten und die verstärkte Nutzung von Grundstücken (tiefliegende Umfahrungsstraßen, mehrgeschossige Tiefgaragen, usw.), müssen immer tiefere Baugruben angelegt werden. Sofern eine Abböschung aus den vorgenannten Gründen (meist Platzmangel) nicht möglich ist, muss der durch den Aushub entstehende Geländesprung mittels Abstützmaßnahmen (einem sogenannten Verbau) gesichert werden. Findet das geplante Bauvorhaben bei Vorhandensein von Grundwasser statt, so reduzieren sich die möglichen Abstützmaßnahmen ohnedies schon auf folgende wenige Arten:

- Ortbeton- Schlitzwände,
- Fertigteil- Schlitzwände,
- Bohrpfahlwand, überschnitten,
- Bohrpfahlwand, tangierend mit Zwickelverpressung
- Stahl- Spundwand,
- DSV- Schwergewichtskörper.

Im Zuge dieser Arbeit wurden Fallstudien betrachtet, insbesondere auch an dem bereits realisierten Projekt „Umfahrung Klosterneuburg“. Bei dem dort betrachteten Baulos „Grundwasserwanne Niedermarkt“ waren ein hoher Grundwasserstand und eine setzungsarme Bauweise die Randbedingungen. Zur Ausschreibung gelangte eine überschnittene Bohrpfahlwand. Die Ausführung einer aufgelösten Bohrpfahlwand mit einer DSV-Ausfachung im Zwischenraum erfolgte als Alternative durch die Firmen *Keller Grundbau GmbH* und *Insond* als Subunternehmer für die „ARGE UF Klosterneuburg“. Da beim ursprünglichen Projekt, wo eine überschnittene Bohrpfahlwand vorgesehen war, um ein vielfaches teurer gekommen wäre, hat man sich für das Alternativangebot der Firma *Keller Grundbau GmbH* entschieden.

Eine aufgelöste Bohrpfahlwand in Kombination mit einer Hochdruckbodenvermörtelung in Form einer oder mehrerer Halbsäulen (abhängig von Pfahlabstand) im Zwischenraum, hatte bis zu diesem Projekt noch keine Anwendung gefunden. Umso mehr war man überrascht, dass die geforderten Leistungen auch vom Alternativangebot, mit geringeren Kosten, zur

vollsten Zufriedenheit für den Bauherrn abgewickelt werden konnte. Man findet daher auch in der Literatur keinerlei Anhaltspunkte für die Berechnung solcher DSV- Ausfachungen.

Da im Grundbau oft mit vereinfachten Annahmen schon eine sehr brauchbare Erkenntnis erhalten werden kann, ist das Ziel dieser Arbeit, den Kraftverlauf in den DSV- Körpern so zu modellieren, dass um bei der Planung für verschiedene Pfahlabstände eine optimale (in statischer und wirtschaftlicher Hinsicht) Anordnung der DSV- Säulen abgeschätzt werden kann. Da eine „genaue“ Berechnung nur mit Hilfe eines Finiten- Element- Programmes durchgeführt werden kann, ist einer analytischen Berechnungsmethode die größte Aufmerksamkeit gewidmet worden. Dem Verfasser dieser Arbeit ist bewusst, dass eine analytische Berechnung, mit ihren vielfach angenommenen Vereinfachungen, nur eine mehr oder weniger plausible Abschätzung, hinsichtlich Kraftverlauf und Anordnung der DSV- Körper, möglich macht und auch eine FE- Berechnung meist nur einen Richtwert für die Planung geben kann.

In den anschließenden Kapiteln dieser Diplomarbeit wird nun auf das Herstellungsverfahren dieses „neuartigen wasserdichten“ Wandverbaues eingegangen und anschließend das eigentliche Thema im Detail bearbeitet und erörtert.

2 Verfahrensbeschreibungen

2.1 Verfahren für die Herstellung von Bohrpfählen für eine aufgelöste Bohrpfahlwand

Zur Herstellung eines Baugrubenverbaues gibt es neben Bohrpfahlwänden noch z.B.:

- Trägerbohlwände
- Bohlträgerverbau, verankert od. unverankert
- Elementverbau
- Spundwandverbau
- Schlitzwände

auf welche in dieser Arbeit nicht näher eingegangen wird. Wie es der Name „aufgelöste Bohrpfahlwand“ schon ausdrückt, kommen nur Bohrpfähle für die Herstellung dieser Art des Wandverbaus in Frage. In diesem Kapitel wird nach einem kurzen „Allgemeinen Teil“ im Detail auf die Herstellungsverfahren- und -arten von Bohrpfählen näher eingegangen.

2.1.1 Allgemeines

Bohrpfähle:

Pfähle sind schlanke Elemente im Untergrund, welche hauptsächlich zur Ableitung von vertikalen und/oder horizontalen Lasten dienen. Die ersten Bohrpfähle mit einem Durchmesser bis 50cm wurden fast ausschließlich als Gründungspfähle eingesetzt. Durch eine rasche Weiterentwicklung wurde es möglich, Pfähle mit immer größerem Durchmesser herzustellen und damit immer größere Lasten aufzunehmen, welche ohne schädliche Setzungen für das Bauwerk sicher in den weniger tragfähigen Untergrund abgeleitet werden. Bohrpfähle vermögen, neben hohen vertikalen Lasten, auch große Biegemomente und im begrenzten Ausmaß auch Zugkräfte aufzunehmen. Diese Eigenschaft in Kombination mit ausgewählten Baustoffen und geeigneten Herstellverfahren ermöglicht den Bohrpfählen ein breites Anwendungsspektrum. Es reicht vom Einsatz als Einzelpfahl bis zur Verwendung in Form von Pfahlwänden zur Aufnahme von Erddruck oder als wasserundurchlässige und verformungsarme Baugrubenumschließung u.v.m.

Bohrpfahlwände:

Bohrpfahlwände gehören zu den biegesteifen und im Baugrund verbleibenden Verbaumaßnahmen und sind daher stets als Alternative und Konkurrenz zu einem Schlitzwandverbau anzusehen. Bohrpfahlwände können freistehend oder rückverankert hergestellt werden. Durch ein überschneiden der Bohrpfähle, oder neuerdings auch durch

eine aufgelöste Bohrpfahlwand mit einer aus ein oder mehreren Halbsäulen bestehenden Düsenstrahlausfachung, kann die Wand auch nahezu wasserundurchlässig hergestellt werden.

Es gibt drei Arten von Bohrpfahlwänden:

- überschnitten
- tangierend,
- aufgelöst.

Bis dato wurden Injektionen nur zur Abdichtung von tangierenden und aufgelösten Bohrpfahlwänden (mit Achsabständen < Pfahldurchmesser) hergestellt.

Die Herstellung von Bohrpfahlwänden ist im Vergleich zu Trägerbohlwänden und Spundwänden teuer, deshalb versucht man die Bohrpfahlwand wenn möglich in das zu erstellende Bauwerk mit einzubeziehen. Quelle (BUJA, 1998)

2.1.2 Voraussetzungen für die Herstellung von Bohrpfählen

Vor Beginn der Planungen und Auswahl des besten Bohrverfahrens für die Erstellung einer Bohrpfahlwand, aber auch für Bohrpfähle in der Verwendung als Gründungskörper zur Abtragung hoher Lasten in den Untergrund, müssen folgende aufgelistete Punkte Informationen eingeholt werden.

- Detailliertes geotechnisches Gutachten,
- Die Baustellenverhältnisse (z.B.: Größe, Baugrenzen, Topographie, Geländeneigung, Zugang, Zufahrt, Beschränkungen,...),
- Nachbarbebauung, Leitungen, unterirdische Bauten und Fundamente, historische Bauwerksreste, Höhenbeschränkungen,
- Kontaminationen des Baugrundes oder Gefahren, die sich auf das Ausführungsverfahren, die Arbeitssicherheit oder die Beseitigung des Aushubmaterials von der Baustelle auswirken können,
- Einschränkungen aus Umweltschutzgründen (z.B.: hinsichtlich Lärm, Erschütterungen oder Verschmutzungen), sowie rechtliche oder gesetzliche Einschränkungen,
- Die Entwurfspläne und die Leistungsbeschreibung,
- Alle nötigen oder wichtigen Informationen zur Fertigung der Ausführungspläne und der Verfahrensbeschreibung,
- Frühere Erfahrungen mit Bohrpfählen oder anderen Gründungsarten oder geotechnischen Arbeiten auf dem betreffenden oder benachbarten Grundstücken,

- Gleichzeitige Arbeiten, die die Bauarbeiten beeinflussen können (z.B. Grundwasserhaltung, Tunnelbau, tiefe Baugruben),
- Zusätzliche Anforderungen für Kontrolle, Überwachung oder Überprüfung der Arbeiten,
- Technische Anforderungen an die Wasserdichtigkeit der Fuge von Bohrpfahlwänden,
- Angabe der Bau- Hauptachsen zum Abstecken,
- Notwendigkeit, Umfang, Durchführung und Verantwortlichkeit für die Beweissicherung an benachbarten Bauten, Straßen, Ver- und Entsorgungsleitungen usw. sind festzulegen. Die Beweissicherung ist vor Beginn der Arbeiten durchzuführen und hat vorzuliegen

Quelle (KELLER Grundbau GmbH, 2008)

2.1.3 Greiferbohrverfahren (Schlagbohrverfahren)

Das Greiferbohrverfahren ermöglicht die Herstellung von Bohrpfählen in allen Durchmesserbereichen (von 0,60m bis ~ 3,00m) und bis zu sehr großen Tiefen. Als Grundgerät dient beim Greiferbohrverfahren ein schwerer Seilbagger.

Der Aushub des für den Bohrpfahl nötigen Hohlraumes erfolgt vorwiegend mit speziellen Bohrgreifern im Schutze einer Verrohrung. Trifft man jedoch auf eine härtere Schicht (Fels, Altbestände aus Beton, etc.) so sollte das Lösen mittels eines Fallmeißels erfolgen. Die temporäre Verrohrung dient zur Bohrlochstützung und zugleich bedient man sich ihrer als Führung der eingesetzten Aushubwerkzeuge. Die Verrohrung wird mit fortschreitendem Pfahlaushub mit Hilfe einer hydraulischen Verrohrungsmaschine, welche im Allgemeinen an das Trägergerät angekoppelt ist, oszillierend oder einsinnig drehend eingebracht. Vor allem bei sehr tiefen Bohrungen, wo die Verrohrung nicht mehr wirtschaftlich eingesetzt werden kann, oder feinkörnigen rolligen Böden wird als Alternative eine Bentonitsuspension zur Stützung der Bohrlochwandung eingesetzt.

Ist mit dem Aushub die erforderliche Bohrpfahltiefe erreicht, wird das Bohrrohr gereinigt, danach der vorgefertigte Bewehrungskorb eingehoben und im Anschluss im Kontraktorverfahren der Pfahl betoniert. Zeitgleich mit dem Betonieren zieht die Verrohrungsmaschine das Verrohrungsrohr wieder heraus, welches bei der nächsten verrohrten Bohrpfahlherstellung wieder eingesetzt werden kann. Kommt eine Bentonitstützung zum Einsatz, wird im Zuge des Betonierens die Flüssigkeit kontinuierlich abgepumpt und einer speziellen Aufbereitung unterworfen.

2.1.3.1 Leistungs- und Einsatzgrenzen

Das Greiferbohrverfahren ist grundsätzlich bei fast allen Untergrundverhältnissen einsetzbar. Es findet seine Anwendung jedoch hauptsächlich bei nichtbindigen bis schwachbindigen Böden, die leicht lösbar und gut zu greifern sind. Vorhandenes Grundwasser ist bei diesem Verfahren kein Hindernis. Jedoch kann die Vortriebsleistung des Meißels durch den Widerstand, den das Wasser dem eintauchenden Meißel bereitet, deutlich abgeschwächt werden. Durch die Vielzahl an vorhandenen Bohrwerkzeugen und den einfachen Werkzeugwechsel kann die „Vortriebsart“ rasch an die unterschiedlichen Baugrundverhältnisse angepasst werden und auch etwaige Felsschichten effizient durchörtert werden.

Trotz dem der Trend zu den immer stärker und leistungsfähiger werdenden Drehbohrgeräten geht, kann das Greiferbohrverfahren dem Drehbohrverfahren in einigen Fällen leistungs- und auch kostenmäßig überlegen sein. Dies trifft bei folgenden Randbedingungen zu:

- Harte Schichten überlagern weiche Schichten (HOHLFELDER, VOGT, & HARTFUSS, 2003)
- Anstehender Fels hoher Festigkeit (ist für das Drehbohren mit einem extremen Verschleiß verbunden) und auch nicht mit anderen Verfahren wirtschaftlich zu bohren.
- Größere Pfahldurchmesser und Bohrtiefen, welche an die Verrohrungstechnik erhöhte Anforderungen stellen (ab einer gewissen Tiefe kann die Mantelreibung durch die Verrohrungsmaschine nicht mehr überwunden werden).

2.1.3.2 Verfahrensablauf

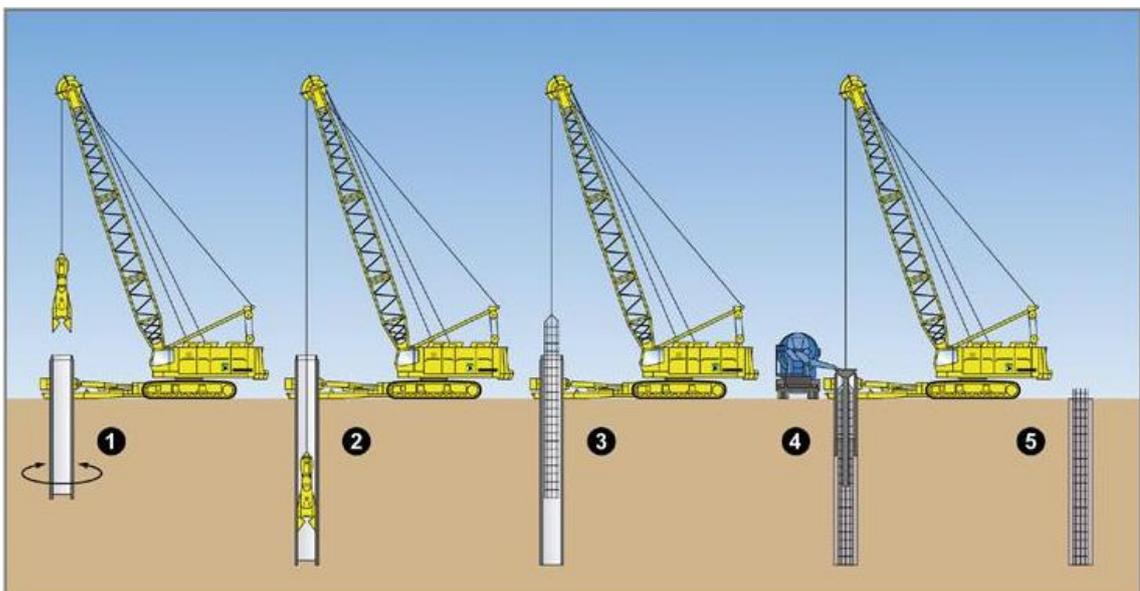


Abb. 1: Arbeitsabfolge beim Greiferbohrverfahren aus (Brückner Grundbau GmbH, 2008).

- 1) Eindrücken des Bohrrohres mittels Oszillation oder Drehung,
- 2) Bohren bis zur geforderten Bohrfahltiefe und gleichzeitiges Fördern des Bohrgutes mittels Greifer.
- 3) Reinigung des Bohrloches und Einsetzen des Bewehrungskorbes.
- 4) Betonieren des Pfahles im Kontraktorverfahren, bei Grundwasser im Bohrloch mittels Schüttrohren. Simultan zum Betonieren werden durch die Verrohrungsmaschine die Bohrröhre gezogen.
- 5) Fertiger Pfahl.

2.1.4 Drehbohrverfahren

Beim Drehbohrverfahren werden je nach gefordertem Pfahldurchmesser, - tiefe und Baugrundbeschaffenheit Drehbohrgeräte mit unterschiedlichen Drehmomenten eingesetzt. Grundgerät dieses Bohrverfahrens ist meist ein schwerer Hydraulikbagger mit einem Bohrmast (Kellystange). Letzterer dient als Träger für den Drehmotor, der Führung/Handhabung der Kelly und des Bohrwerkzeuges.

Als Bohrwerkzeuge, sowohl zum Lösen des Bodens als auch zur Aufnahme des Bohrgutes, werden Bohrschnecken und Bohreimer eingesetzt. Zur Durchörterung von härteren Schichten oder Hindernissen werden die Werkzeuge mit speziellen Schneiden und Zähnen bestückt oder es kommen Kernrohre zum Einsatz.

Die Bohrlöcher erfordern meist eine Stützung der Bohrlochwandung. Dazu werden Bohrröhre mit einem an dem Bohrmast geführten Drehmotor eingebracht. Ab einer gewissen Tiefe stößt man auch mit den leistungsfähigsten Drehmotoren an deren Grenze und die Mantelreibung kann beim Eintreiben der Bohrröhre nicht mehr überwunden werden. Hierzu kann, wie auch beim Greiferbohrverfahren (siehe 2.1.3), als Alternative die Stützung der Bohrlochwandung durch eine Bentonitsuspension übernommen werden.

Nach Erreichen der Gründungstiefe des Pfahlkörpers wird das Bohrloch gereinigt, bei Stützung der Bohrlochwandung durch eine Bentonitsuspension wird ggf. die Suspension ausgetauscht, der Bewehrungskorb eingesetzt und der Pfahl im Kontraktorverfahren betoniert. Kommt eine Verrohrung zur Anwendung dann wird zeitgleich mit dem Betonieren das Verrohrungsrohr wieder gezogen.

2.1.4.1 Verrohrter Pfahl – Kelly- Pfahl

Wird ein Bohrpfahl in einen durchlässigen Baugrund unterhalb des Grundwasserspiegels gebohrt, wo man womöglich auch auf gespanntes Grundwasser trifft, so ist im Bohrloch ein Überdruck durch Wasser oder einer anderen geeigneten Flüssigkeit mit mind. 1,0m (siehe Abb. 2) Spiegeldifferenz zu erzeugen und solange aufrecht zu halten, bis der Bohrpfahl betoniert ist. Der Überdruck darf bei ausreichendem Voreilmaß der Verrohrung oder während des Betonierens bei ausreichend hoher Frischbetonsäule im Rohr reduziert werden.

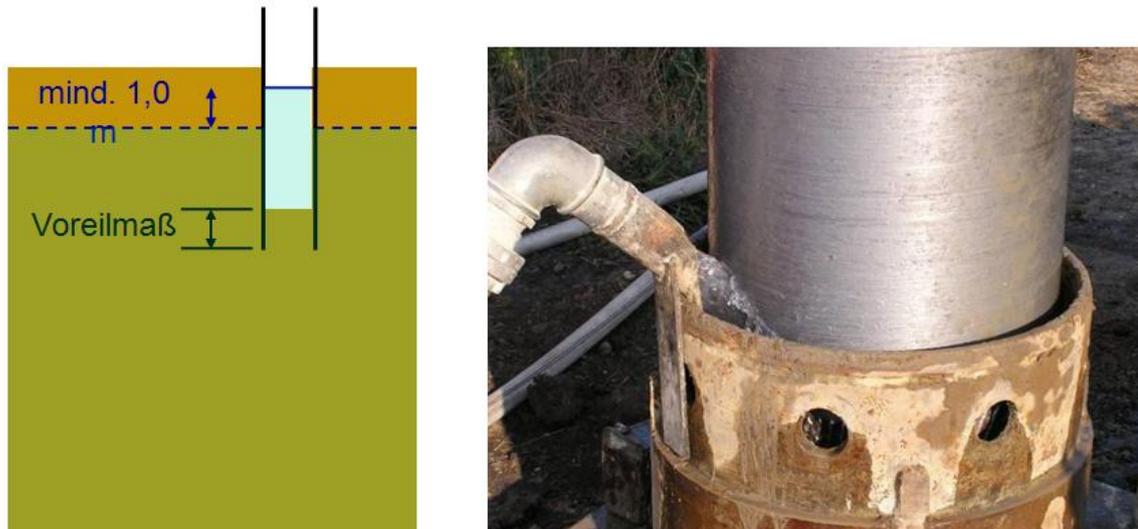


Abb. 2: links, Darstellung des Voreilmaßes und der Wasserspiegeldifferenz bei Aushub unter artesisch gespannten Grundwasserverhältnissen; rechts, Nachfüllung zur Einhaltung der Wasserspiegeldifferenz während des Pfahlaushubes (KELLER Grundbau GmbH, 2003)

Bei der Herstellung verrohrter Bohrpfähle unterscheidet man zwischen zwei Systemen, welche sich im Wesentlichen nur in der Art der Einbringung der Bohrröhre unterscheiden.

Verrohrte Bohrung hergestellt mit einem Drehgetriebe

Als Trägergerät dient ein Kettenbagger mit einer Kellystange. Bei diesem Verfahren wird die Verrohrung genau so wie beim Greiferbohrverfahren nur eben mit einem, an der Kelly montierten, Drehgetriebe eingebracht.

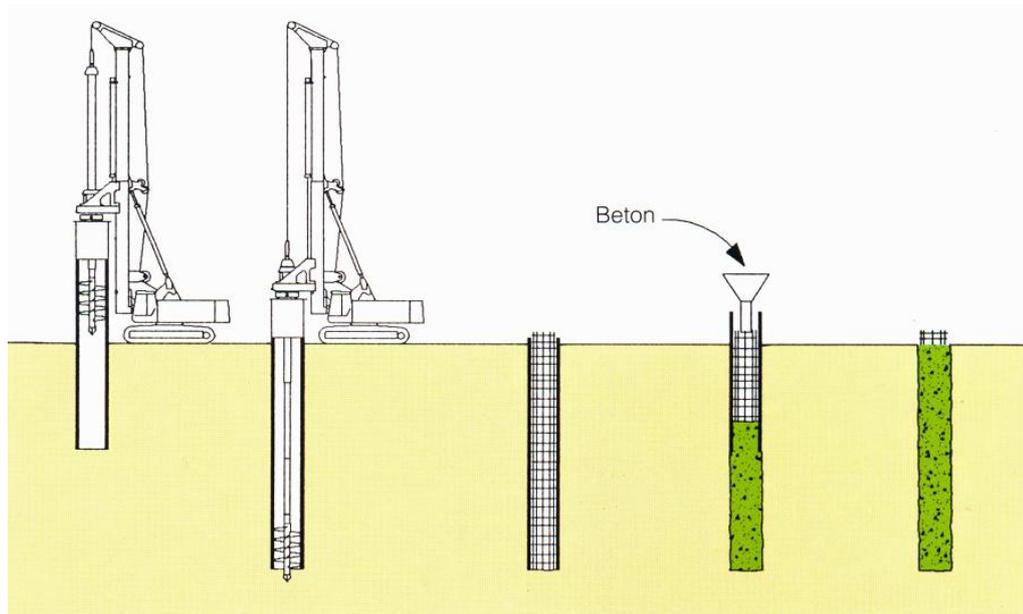


Abb. 3: Arbeitsabfolge für die Herstellung eines Kelly-Pfahls (BAUER Spezialtiefbau GmbH)

- 1) Eindrehen und gleichzeitiges eindrücken der Bohrröhre mit dem an der Kellystange montiertem Drehantrieb.
- 2) Ausbohren mit den Drehbohrwerkzeugen wie Bohreimer, Schnecke oder Kernrohr.
- 3) Nach Erreichen der Endteufe erfolgt der Einbau des Bewehrungskorbes mit der Hilfswinde des Bohrgerätes in die von den Bohrröhren gestützte Bohrung.
- 4) Betonieren des Pfahls mit einem Schüttrohr.
- 5) Ziehen der Bohrröhre während des betonierens mit dem Drehgetriebe des Bohrgerätes.

Verrohrte Bohrung hergestellt mit einer angebauten hydraulischen Verrohrungsmaschine

Die Herstellungsabfolge mit einer angebauten Verrohrungsmaschine erfolgt gleich wie bei Verwendung eines Drehgetriebes. Bei diesem Verfahren können relativ unabhängig von dem zu durchfahrenden Untergrund Pfahldurchmesser bis 2,5m und einer Tiefe von bis zu 50m hergestellt werden. Ein wesentlicher Vorteil der hydraulischen Verrohrungsmaschine, gegenüber dem Drehantrieb, ist das sie ein höheres Drehmoment und größere Druck- bzw. Zugkräfte auf die Verrohrung aufbringen kann. (SEITZ & SCHMIDT, 2000)

2.1.4.2 Unverrohrter Pfahl / Bohren mit Endlosschnecke

System SOB

Ein unverrohrter Pfahl (ohne jegliche andere Stützung der Bohrlochwände) darf hergestellt werden wenn eine durchgehende Bohrschnecke so verwendet wird, dass die Standfestigkeit des Bohrloches durch das Material auf den Schneckengängen erhalten bleibt. Dieses Verfahren (gehört auch zu den Drehbohrverfahren) ermöglicht eine hohe Bohrleistung in standfesten Böden. Weiß man vor Beginn der Arbeiten, durch Bodenaufschlüsse, dass instabile¹ Schichten von Mächtigkeiten größer als der Pfahldurchmesser, so ist für dieses Verfahren eine Machbarkeitsuntersuchung an Probepfählen vor Beginn der Ausführung vorzunehmen. Im Zentrum der Schnecke befindet ein Seelenrohr welches beim Abteufen gegen Wasser- und Bodeneintritt verschlossen werden kann.

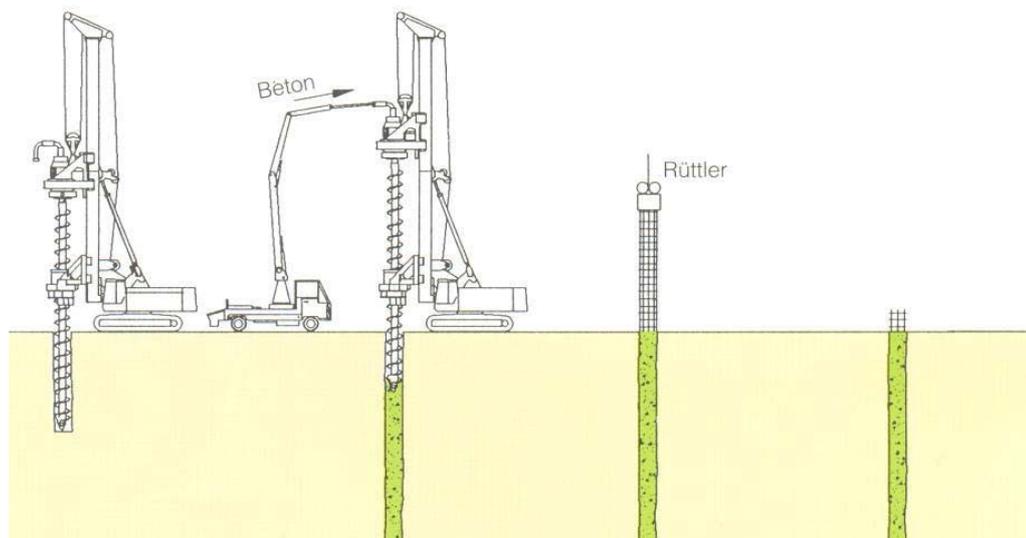


Abb. 4: Arbeitsabfolge für die Herstellung eines unverrohrten Rohres mittels des Schneckenortbetonverfahrens (BAUER Spezialtiefbau GmbH)

¹ unter instabil sind diesem Kontext „gleichförmige nichtbindige Böden ($d_{60}/d_{10} < 1,5$) unter dem Grundwasserspiegel“ zu verstehen. (KELLER Academy, 2008) + weiche oder breiige bindige Böden

- 1) Einrichten des Bohrgerätes
- 2) Anschließend wird die Schnecke in den Boden eingetrieben. Der an der Schneckenspitze gelöste Boden wird über die Schneckenwendel kontinuierlich nach oben gefördert. Die somit durch den Boden komplett gefüllte Schnecke stabilisiert die Bohrlochleibung und verhindert einen Einbruch des Bohrrohres,
- 3) Nach Erreichen der geforderten Gründungstiefe des Bohrpfahls wird mit dem Ziehen der Schnecke begonnen. An der Oberfläche putzt ein am Bohrgerät befestigter Räumler den Boden von den Schneckengängen. Zeitgleich zum Ziehen wird, mit Hilfe einer Betonpumpe, mit dem Einbringen des Betons durch die Hohlseele, welche sich im Zentrum der Schnecke befindet, begonnen.
- 4) Nach dem raschen Entfernen des geförderten Bodens mit Hilfe eines Hydraulikbaggers kann das Einrütteln oder Eindrücken des Bewehrungskorbes in den frischen Beton stattfinden.

Das Verfahren findet seine Anwendung in fest bis locker gelagerten Böden und im verwitterten Fels. In gleichförmigen kohäsionslosen Böden mit einer Ungleichförmigkeitszahl $U \leq 3$ (instabile Böden) unter dem Grundwasserspiegel und in bindigen Böden mit einer Scherfestigkeit von $c_u \leq 15 \text{ kN/m}^2$ darf dieses Verfahren nicht angewendet werden (SEITZ & SCHMIDT, 2000). Trifft man im Untergrund auf Hindernisse wie Einbauten (Stahlbeton) oder Findlinge, so stößt man mit diesem Verfahren auch schnell an seine Grenzen. Ein weiterer Nachteil des SOB-Verfahren ist die Benötigung großer Drehmomente, da für die gesamte Bohrlochlänge eine große Reibung zwischen Schnecke und Untergrund sowie zwischen Bohrgut und den Schneckengängen überwunden werden muss. Daher sind Pfahllängen $>20\text{m}$ nur mit einem nicht mehr wirtschaftlichen Aufwand herzustellen.

Besonderheiten dieses Verfahren können SEITZ & SCHMIDT, 2000, Seite 153 entnommen werden.

System SOB mit Kellyverlängerung

Dieses Herstellungsverfahren ist ident mit dem oben beschriebenen System SOB (siehe Abb. 4) jedoch kann mit Hilfe einer Verlängerung der Kellystange die Bohrtiefe um 6 bis 8m erhöht werden.

2.2 Düsenstrahlverfahren

2.2.1 Geschichtliche Entwicklung

Das Düsenstrahlverfahren ist eine im Spezialtiefbau relativ junge Technologie. Es hat in den letzten Jahrzehnten eine Anwendungsvielfalt und wirtschaftliche Bedeutung erfahren. Die Düsenstrahlinjektion wurde ursprünglich in Japan, England und Italien entwickelt. International wird das Düsenstrahlverfahren (DSV) als Jet-Grouting bezeichnet. Das Düsenstrahlverfahren nach DIN EN 12716 ist unter den verschiedensten Bezeichnungen bekannt. In Österreich wurde die Bezeichnung „Hochdruck- Bodenvermörtelung (HDBV)“ verwendet. In der Schweiz die Begriffe „Jetten“ oder „Jetting“ und in Deutschland die allgemein, vielleicht etwas irreführende Bezeichnung, „Hochdruckinjektion“. Hinzu kommt, dass die auf dem Gebiet führenden Spezialtiefbauunternehmen eigene, zum Teil geschützte Bezeichnungen eingeführt haben. So bezeichnet es die Firma *Keller Grundbau GmbH* als SOILCRETE®- Verfahren (S- Single, D- Duplex, T- Triplex)“, die Firma *Bauer* und die Firma *Bilfinger + Berger* bezeichnen es als „HDI-Verfahren“, die Firma *Rodio* nennt es „RODINJET (-1, -2, -3) und die Firma *Insond* führt es unter „SOILJET“. In der vorliegenden Arbeit wird für die Bezeichnung der Hochdruckbodenvermörtelung generell der Begriff „Düsenstrahlverfahren“ verwendet.

Nach den ersten Anwendungen des Düsenstrahlverfahrens im asiatischen Raum in den vierziger Jahren des 20. Jahrhunderts wendete die Firma *Keller Grundbau* im Jahr 1979 das DSV in Europa für eine Gebäudeunterfangung erstmals an. Keller Grundbau erhielt für das Düsenstrahlverfahren als erste Firma eine „Allgemeine bauaufsichtliche Zulassung“ des Instituts für Bautechnik in Berlin. Andere Spezialtiefbauunternehmen begannen erst einige Jahre später mit dem Einsatz dieses Verfahrens. Anfang der 80er Jahre kam es dann in Italien auch mehrfach, bereits im Tunnelbau, zur Anwendung und wurde ständig weiterentwickelt.

2.2.2 Kurzbeschreibung

Unter Düsenstrahlverfahren wird eine Bodenvermörtelung verstanden. Das Bodengefüge wird hierbei mit Hilfe eines energiereichen Schneidstrahles mit Austrittsgeschwindigkeiten $\geq 100\text{m/s}$ aufgelöst und mit einer Bindemittelsuspension unter hohem Druck verpresst. Das „Aufschneiden“ des Bodens kann vorab mit Wasser oder unmittelbar mit der Bindemittelsuspension erfolgen (beide Medien auch mit Luft ummantelt).

2.2.3 Bauverfahrenstechnik

2.2.3.1 Verfahrensarten

Die vorliegenden Bodenverhältnisse, die geometrische Anforderung und die erforderliche Qualität bestimmen die Auswahl der Verfahrensart. Die verschiedenen Verfahren unterscheiden sich in der Anzahl der verwendeten Medien und Austrittsöffnungen am Monitor (=Düsenträger). Die verwendeten Geräte sind abgesehen vom Bohrgestänge und den für die entsprechenden Medien benötigten Förder- und Dosiereinrichtungen ähnlich.

1-Phasensystem (Simplexverfahren, Single-Direktverfahren)

Beim 1-Phasensystem wird ein Bohrgestänge mit Düsenhalter und Bohrkronen unterstützt durch den Spülstrom der Bindemittelsuspension, bei einem Druck von 50–250 bar, abgeteuft. Die Zementsuspension erfüllt dabei mehrere Funktionen. Einerseits stützt sie das Bohrloch, gleichzeitig hält sie den Ringraum um das Bohrgestänge frei und fördert beim Düsen das gelöste Bohrgut zutage.

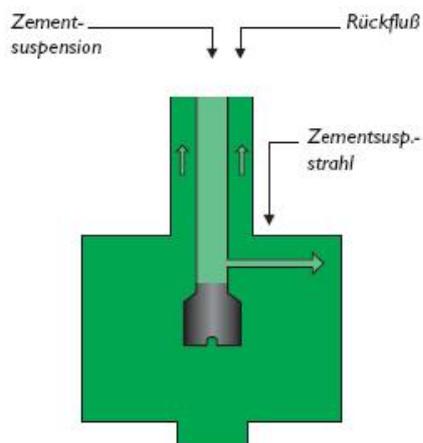


Abb. 5: Simplexverfahren (KELLER Grundbau GmbH, 2003)

Ist die geforderte Bohrtiefe erreicht wird der Spülvorgang abgebrochen und auf Düsenstrahlbetrieb umgestellt. Mit einem erhöhten Druck von 300-600 bar (mindestens 100 m/s) wird das Bodengefüge durch den Schneidstrahl der Suspension erodiert. Je nach gewünschter Festkörperform wird das Bohrgestänge mit Monitor gleichzeitig gezogen und bzw. oder gedreht. In dieser Herstellungsphase steigt das überschüssige Boden-Suspensionsgemisch entlang des Ringraumes auf und muss an der Oberfläche (Pumpensumpf) kontinuierlich abgepumpt werden.

Das Single-Direktverfahren findet seine Hauptanwendung zur Herstellung von kleinen bis mittleren Säulendurchmessern in leicht erodierbaren Böden und speziell im Tunnelbau zur Herstellung horizontaler Düsenstrahlkörper.

2-Phasensystem (Duplexverfahren, Double-Direktverfahren)

Das 2-Phasensystem erfolgt grundsätzlich wie das 1-Phasensystem, weist allerdings mehr Geräteteile auf und man unterscheidet zwischen 2 Verfahrensvarianten:

- luftummantelter Zementsuspensionsstrahl

Die Verbindung des Suspensionsstrahles mit dem Medium Luft erhöht seine Reichweite und Erosionskraft, dadurch können größere Säulendurchmesser erzielt werden.

- Wasser und Zementsuspension

Dieses Verfahren verfügt über eine getrennte Anordnung der Düsenköpfe. Der aus der oberen Düse austretende Hochdruckwasserstrahl übernimmt die Schneidefunktion und der Niederdrucksuspensionsstrahl aus der unteren Düse übernimmt die Verfüllfunktion. Mit diesem Verfahren können im Vergleich zum Verfahren mit „luftummantelten Zementsuspensionsstrahl“ geringere Reichweiten, allerdings eine bessere Durchmischung erreicht werden und wird deshalb bei weichen, bindigen Böden eingesetzt.

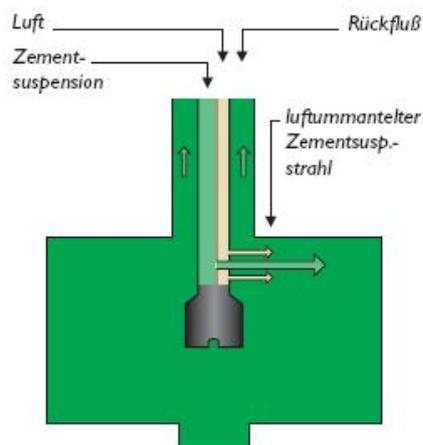


Abb. 6: Duplexverfahren (KELLER Grundbau GmbH, 2003)

3-Phasensystem (Triplexverfahren, Triple-Trennverfahren)

Beim 3-Phasensystem umfasst der Monitor Düsen auf zwei Ebenen, wobei der obere luftummantelte Wasserstrahl den Boden mit einer Austrittsgeschwindigkeit von mindestens 100 m/s erodiert. Über eine zusätzliche Düse unterhalb der luftummantelten Wasserdüse wird die Zementsuspension, mit einem geringeren Druck (≥ 15 bar), beigegeben. Eine Variante dieses Verfahrens arbeitet ohne Luftummantelung des Wasserstrahls.

Dieses Verfahren wird einerseits zur Herstellung großer Säulendurchmesser bzw. zur Verfüllung mit einem höheren Zementgehalt, um höhere Endfestigkeiten zu erreichen, eingesetzt. Bevorzugte Anwendung für Unterfangungen, Dichtwände, und -sohlen.

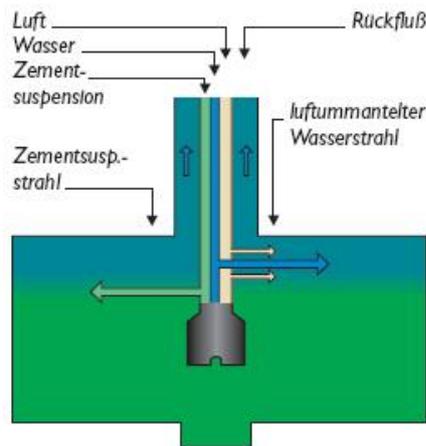


Abb. 7: Triplexverfahren (KELLER Grundbau GmbH, 2003)

2.2.3.2 Systemkomponenten

Bindemittelsuspension

Für die Bindemittelsuspension werden je nach Anforderung Normzemente, Zuschlag – und Zusatzstoffe verwendet. Durch Zugabe von Bentonit kann eine Verbesserung der Suspensionsstabilität und der Dichtwirkung erreicht werden. Ein negativer Nebeneffekt bei der Verwendung von Bentonit ist die Minderung der Endfestigkeit, verbunden mit der Erhaltung einer gewissen Plastizität der gewünschten Körperform.

Eine Bindemittelsuspension setzt sich demnach folgendermaßen zusammen:

- Wasser (sollte Trinkwasserqualität aufweisen)
- Zement (W/B-Faktor zwischen 0,5 und 1,5 (ÖNORM EN12716, 2002))
- Zusatzmittel und Zusatzstoffe (z.B. Bentonit)

W/B-Faktor: Der W/B-Wert definiert das Verhältnis Gesamtwasseranteil zu Bindemittelanteil. Er bestimmt die Eigenschaft des zukünftigen Düsenstrahlkörpers in Bezug auf die Festigkeit und Durchlässigkeit. Er ist ein entscheidender Kennwert für die Bindemittelsuspension.

Zusatzmittel und Zusatzstoffe: Die Zugabe von wasserreduzierenden, stabilisierenden, plastifizierenden, wasserabdichtenden Zusatzstoffen oder auch solchen, die ein Auswaschen behindern, sind möglich. (ÖNORM EN12716, 2002)

Bodenmaterial

Der Boden stellt bei diesem Verfahren sowohl den Baugrund als auch den Baustoff dar. Da der Boden quasi als Zuschlagstoff vor Ort vorhanden ist und gewisse Anforderungen an die Festigkeit des DSV-Körpers gestellt werden, muss die Zusammensetzung des Bodens genauer bekannt sein. Es sind genaue Bodenaufschlüsse zur Ermittlung der Bodeneigenschaften (Kornverteilung, Lagerungsdichte, Dichte, Scherfestigkeit,

Wassergehalt, Steifigkeit, Zustandsgrenzen nach Atterberg) wie auch der genaue Verlauf der Bodenschichtung zu vollziehen.

2.2.3.3 Gerätekomponenten

- Vorratsbehälter
 - Wasserbehälter bzw. Anschluss an das Wassernetz
 - Silos für Bindemittel/Zusatzmittel
 - Mischanlage
 - Hochdrucksuspensionspumpe
 - Hochdruckwasserpumpe
 - Kompressor
 - Bohrgerät
 - Bohrgestänge
 - Düsenträger (Monitor)
 - Schläuche, Leitungen
 - Mess- und Registriereinrichtungen (Neigung, Einbohrtiefe, Dreh- und Ziehgeschwindigkeit, Durchflussraten, Drücke)
 - Schlammpumpe für Rücklaufmaterial
- } je nach Verfahren

2.2.4 Ausführung

Die Ausführung von Düsenstrahlarbeiten erfordert Kenntnis und Erfahrung in dieser Verfahrenstechnik.

Vor Beginn der Düsenstrahlarbeiten sollte eine Verfahrensbeschreibung vorgelegt werden. Diese soll mindestens die folgenden Angaben enthalten.

- Kennzeichnung, Ziel und Anwendungsbereich der Düsenstrahlarbeiten;
- Bodenbeschreibung
- Ausmaß und Umfang der Düsenstrahlelemente
- Düsenstrahlsystem
- Planung und Entwurf der Düsenstrahlarbeiten
- Arbeitsablauf (Bohren, Düsen, Reihenfolge der Herstellung)
- Parameter für das Düsenstrahlverfahren
- Verwendete Stoffe (für Bohren und Düsen)
- Vorkehrungen um unzulässige Setzungen oder Hebungen zu vermeiden, speziell in schluffigen und tonigen Böden

- Baustelleneinrichtung und Arbeitsbereich
- Ausrüstung und Gerät
- Entsorgungskonzept für den Rückfluss
- Maßnahmen zur Qualitätskontrolle entsprechend den Vertragsbedingungen
- Maßnahmen um die Bohrgenauigkeit zu gewährleisten
- Maßnahmen um Störungen aus möglichen Unterbrechungen des Düsvorganges zu vermeiden
- Maßnahmen um sicherzustellen, dass der nach Abschluss des Düsvorganges erreichte Suspensionsspiegel auch nach dem Absetzen der Zementsuspension gehalten werden kann
- Möglichkeiten der Änderung der Düsenstrahlparameter während der Arbeiten
- Prüfmethoden
- Dokumentation der Arbeit (Pläne, Berichte).
-
- Quelle: (ÖNORM EN12716, 2002)
-
-

2.2.4.1 Arbeitsabläufe

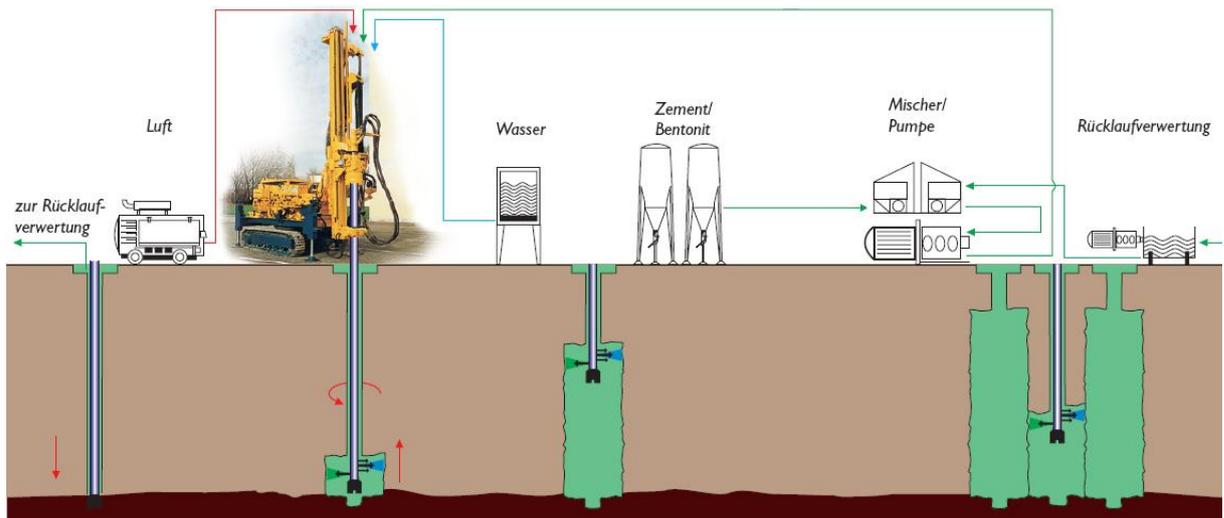


Abb. 8: Schemaskizze über die Arbeitsabfolge zur Herstellung von DSV-Säulen (KELLER Grundbau GmbH, 2003)

1. Arbeitsschritt **Bohren**:

Das Bohrgestänge wird mit dem Düsenträger, mit Sitz der Bohrkronen am Ende, abgeteuft. In der Regel unterstützt ein Spülstrom aus Suspension den Vorgang und hält den Ringraum um das Gestänge für den Abfluss der Bohrspülung frei. Für das Durchörtern von Ziegelmauerwerken oder Beton werden spezielle Bohrkronen verwendet.

2. Arbeitsschritt **Schneiden**:

Das Auflösen des Korngefüges mit einem hochenergiereichen Flüssigkeitsstrahl beginnt an der tiefsten Stelle des entstehenden Düsenstrahlkörpers. Überschüssiges Wasser – Boden – Zementgemisch fließt über den Bohrlochringraum zutage. Bei sehr bindigem Boden kann auch ein vorschneiden schon während des abteufens des Bohrgestänges erfolgen.

3. Arbeitsschritt **Düsen** (Jetten, Soilcretieren):

Gleichzeitig mit dem Erodieren des Bodens wird bei allen Verfahrensarten Zementsuspension unter Druck zugeführt und durch die verfahrensbedingten Turbulenzen im unmittelbaren Produktionsbereich optimal eingemischt.

Das Ziehen und Drehen des Gestänges erfolgt mit vor den Arbeiten festgelegten Werten für Zieh- und Drehgeschwindigkeit, Pumpendruck und Durchflussrate für jede einzelne Flüssigkeit.

Bis zum Ansteifen der Einzelsäule wird durch verfahrenstechnische Maßnahmen am Bohrloch ein Suspensionsüberdruck aufrechterhalten.

2.2.5 Düsenstrahlkörper

2.2.5.1 Einflussgrößen

Der Einfluss der Untergrundverhältnisse stellt einen wichtigen Faktor für die Wahl des Verfahrens und der Ermittlung der, für die Erzielung der gewünschten DSV- Eigenschaften maßgebenden Produktionsparameter. Somit ist eine genaue Baugrundkenntnis eine wichtige Voraussetzung für die Planung und Ausführung.

Dabei sind nicht nur alle bodenmechanischen Kennwerte, sondern auch die Chemie des Bodens und des Grundwassers von großer Bedeutung.

Bei der Baugrunderschließung müssen folgende Aspekte ermittelt werden:

- Lagerungsdichte der grobkörnigen (rolligen) Böden
- Kornverteilungslinien
- Schichtfolgen
- Konsistenz feinkörniger (bindiger) Böden
- Wichten
- Durchlässigkeitsbeiwerte k_s
- Höchster Grundwasserstand
- Zur Zeit der Arbeiten vorhandener Grundwasserstand
- Vorhandensein gespannten oder artesischen Grundwassers
- Hydraulisches Gefälle des Grundwasserspiegels
- Quellender Boden
- Sensitive Tone
- Feste und verfestigte Schichten
- Steine und Blöcke
- Organischer Gehalt
- Torfe
- Chemismus von Grundwasser und Boden, insbesondere (kalk-) aggressive Stoffe
- Auffüllungen und deren Zusammensetzung, insbesondere auch deren Chemismus

Weitere wichtige Erkenntnisse sind zu machen für:

- Etwaige Leitungen (Strom, Gas,...)
- Einbauten unterhalb der Arbeitsebene (z.B.: alte Brunnen)
- Hohlräume

Die Baugrundkenntnis ist nicht nur aus düstechnischen Gründen, sondern auch aus bohrtechnischen Gründen unbedingt erforderlich. Die Lage der DSV – Körper, insbesondere auch derer von dünnwandigen Absperrungen, auf oder unmittelbar neben einer Schichtgrenze mit sehr unterschiedlicher Durchlässigkeiten kann ernste Folgen mit sich bringen.

2.2.5.2 Geometrie der Düsenstrahlkörper

Durch eine hohe geometrische Flexibilität des Verfahrens ist man bei der Herstellung an keine bestimmte Körpergeometrie gebunden. Die Grundformen können beliebig oft aneinandergereiht (tangierend), ineinander übergehend (überschnitten) oder so oft miteinander kombiniert werden, dass nahezu jede Körperform herstellbar ist. Die geometrischen Grundformen werden durch Bewegungen des Bohrgestänges erzeugt:

- Ziehen des Bohrgestänges ohne Rotation ergibt Lamellen, bei Anordnung mehrerer Düsen auch Mehrfachlamellen,
- Ziehen und Schwenken des Gestänges ergibt Teilsäulen.
- Ziehen mit Rotation des Gestänges ergibt Säulen,

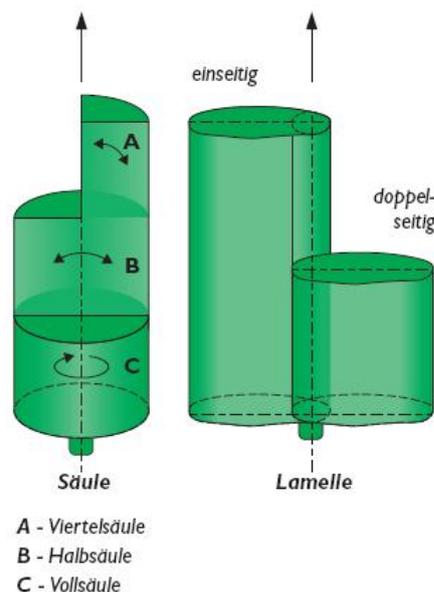


Abb. 9: verschiedene Ausführungsformen (KELLER Grundbau GmbH, 2003)

2.2.5.3 Eigenschaften des fertigen Düsenstrahlkörpers

Durchmesser des Düsenstrahlkörpers

Die erzielbaren DSV- Säulendurchmesser sind primär von den Bodenparametern, wie beispielsweise der Lagerungsdichte, der Konsistenz, der Kohäsion, drainierte- bzw. undrainierter Boden, etc. abhängig. Das erzielbare Ergebnis kann aber wesentlich durch die Wahl, des für die vorherrschenden Untergrundverhältnisse, besten Herstellungsverfahrens

und dessen Produktionsparameter (Pumpendruck, Düsendurchmesser, Düsenzahl, Dreh- und Ziehgeschwindigkeit des Gestänges) beeinflusst werden. Sind die genannten Parameter gut auf den anstehenden Boden abgestimmt, so können problemlos Säulendurchmesser zwischen 60 und 200cm hergestellt werden.

So können beispielsweise in einem tonigen Schluff mit dem Einphasensystem (Dreiphasensystem) Durchmesser zwischen 0,4m bis 0,5m (0,8m bis 1,7m) bei einem schluffigen Sand 0,8m bis 0,9m (1,4m bis 2,3m) und bei einem sandigen Kies 0,9m bis 1,0m (2,0m bis 2,8m) herstellen (KUTZNER, 1991).

Druckfestigkeit

Die Festigkeit des fertigen Düsenstrahlelement ist im Wesentlichen von der Bodenart, der Zusammensetzung der Bindemittelsuspension (W/Z-Wert) den verbleibenden Bodenanteilen im Düsenstrahlelement und vom Wassergehalt im Boden selbst abhängig. Die Bandbreite der heutzutage erzielbaren einaxialen Druckfestigkeiten reichen von 2 bis 25 N/mm² (KELLER Grundbau GmbH, 2003), abhängig vom anstehenden Boden und den gewählten Herstellparametern.

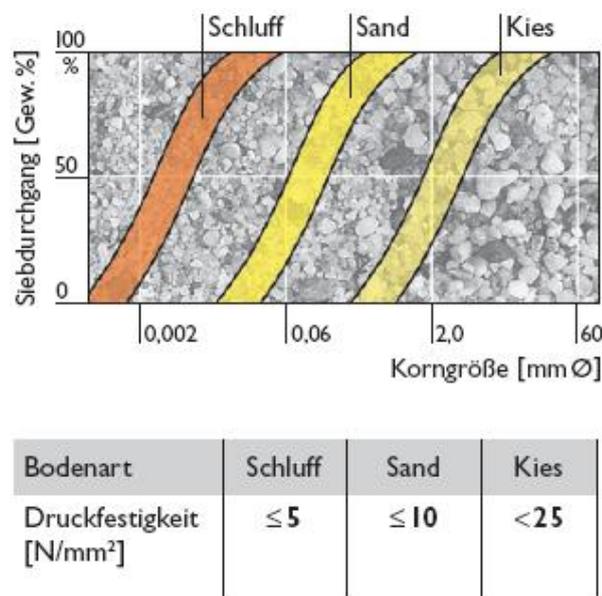


Abb. 10: maximal erreichbare DSV-Druckfestigkeiten (KELLER Grundbau GmbH, 2003)

In Böden mit einer weitgestuften Kornverteilung können, wie aus der Betontechnik bekannt, größere Druckfestigkeiten erzielt werden als in Böden mit einer enggestuften Kornverteilung. Für erdstatische Berechnungen werden jedoch nur zwischen 5 und 10N/mm² zum Ansatz gebracht, was, wenn man den Bodenzementkörper mit dem üblichen Beton vergleicht, ungefähr einer Betonsorte C8/10 entspricht. Wie in Abb. 10 ersichtlich können in Schluffen Druckfestigkeiten bis zu 5N/mm², in Sanden bis 10N/mm² und in Kiesen bis 25N/mm² erreicht werden.

Da es sich bei den hergestellten Elementen um Bodenzementkörper handelt, entwickelt sich bei ihnen, gleich wie bei Beton, ihre Druckfestigkeit erst nach einer gewissen Zeit und nähert sich je nach Bodenart langsamer oder schneller ihrem Endwert an.

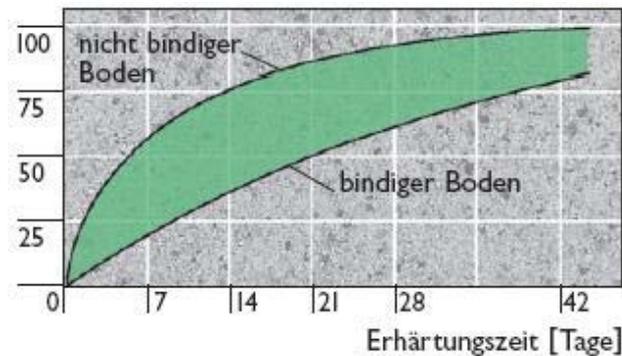


Abb. 11: Entwicklung der Festigkeit von Düsenstrahlkörpern (KELLER Grundbau GmbH, 2003)

Wie in Abb. 11 dargestellt, wird in einem nichtbindigen Boden die endgültige Druckfestigkeit schneller erreicht als in einem bindigen Boden. Die Entwicklung der Druckfestigkeit in DSV-Körpern wird in (BAUMANN, 1984) und (KUTZNER, 1991) ausführlich erörtert und soll hier nicht näher betrachtet werden.

Wichte

Für erdstatische Berechnungen wird je nach Bodenart eine mittlere Elementwichte von 18 bis 21kN/m³ bei Suspensionswichten von 16,7kN/m³ angesetzt. Sie muss jedoch im Einzelfall anhand, der aus der Baugrunduntersuchung erhaltenen Bodenparameter, festgelegt werden.

Wasserdurchlässigkeit

Die wesentlichsten Einflussgrößen auf die Durchlässigkeit eines Düsenstrahlkörpers sind die Bodenart, die Zusammensetzung der Suspension und das Volumenverhältnis von Suspension zu Boden (verbleibende Menge an anstehenden Boden im Element). In nicht kohäsiven Böden können Durchlässigkeiten von 10⁻⁷ bis 10⁻⁹m/s, unter Beimischung von Bentonit zur Zementsuspension (Tonzementsuspension) können noch geringere Durchlässigkeiten von etwa 10⁻⁹ bis 10⁻¹¹m/s erzielt werden (KUTZNER, 1991). Die Beimischung von Bentonit verursacht eine geringere Druckfestigkeit des DSV-Körpers.

2.2.5.4 Anwendungsbereich und Anwendungsgrenzen

Im Unterschied zu den herkömmlichen Injektionsverfahren, bei denen es lediglich zu einer Verfüllung der Poren und Hohlräume kommt und somit die Kornstruktur unverändert bleibt, kommt es beim Düsenstrahlverfahren durch die hohe Austrittsenergie des

Flüssigkeitsstrahles zu einer Erodierung (Veränderung der Kornstruktur) und folglich zu einer gleichmäßigen Verteilung der Bindemittelsuspension.

Durch die hohe Energie des Flüssigkeitsstrahles lässt sich das Düsenstrahlverfahren auch in Böden anwenden, in denen eine klassische Injektion nicht mehr durchführbar wäre. Es kann in allen Lockergesteinen bis hin zum nicht dicht gelagerten Ton angewendet werden.

Bei größeren Böden mit Körnern deren Durchmesser $> 60\text{mm}$ sind, ist nicht nur die Festigkeit gegenüber der Erosion des Düsenstrahles maßgebend, sondern auch die Förderung der groben Körner durch den Ringraum an die Oberfläche zu berücksichtigen (KUTZNER, 1991).

Infolge unterschiedlicher Bodenverhältnisse (z.B. dichtere Lagerung, größere bindige Anteile, ...) können DÜSSCHATTEN durch Hindernisse im Baugrund (z.B. größere Steine, Blöcke, Holzreste, unbekannte Pfähle und Brunnen, ...) entstehen und zu Undichtigkeiten der DSV-Säulen führen.

Bei einer Schichtfolge von einer nicht kohäsive – kohäsive – nicht kohäsive Bodenschicht kann das Lösen der kohäsiven Schichte zu Problemen führen, wenn die Kohäsion des undrainierten Bodens $\sim 40\text{ kN/m}^2$ übersteigt und die Fließgrenze rund $> 40\%$ ist. Bei derart festen Böden besteht die Gefahr, dass der Schneidstrahl diese Schichte nur durchbricht und nicht richtig löst und somit der Einwirkungsradius in der kohäsiven Schicht auf sehr kleine Werte absinkt (KUTZNER, 1991).

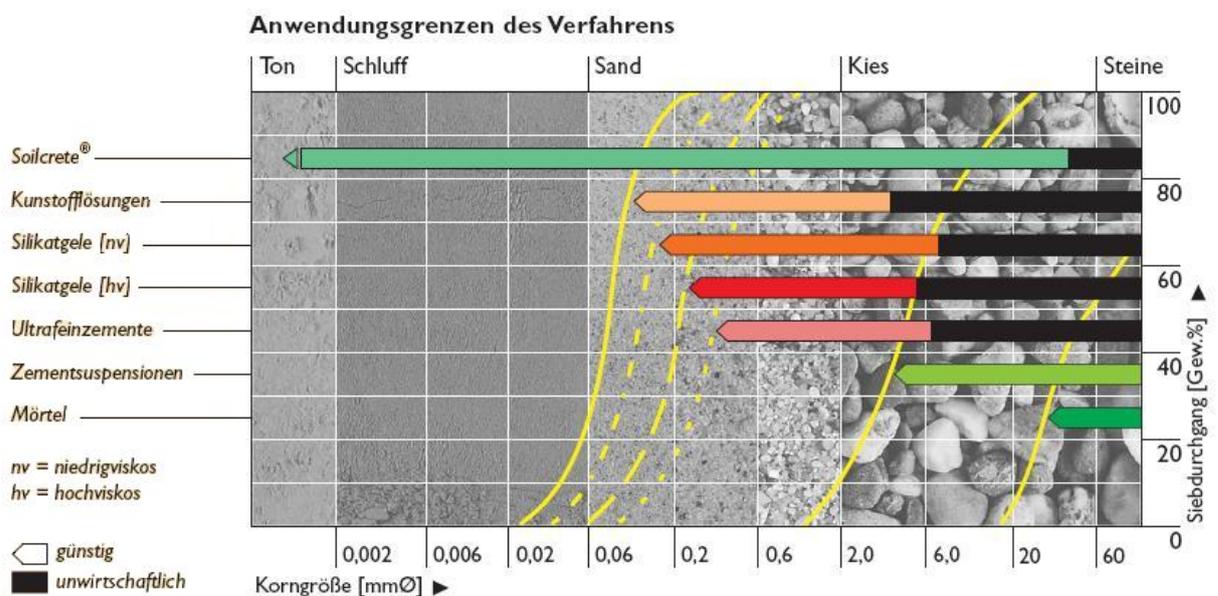


Abb. 12: Anwendungsgrenzen der DSV- Anwendung (KELLER Grundbau GmbH, 2003)

Anhand der Abb. 12 sieht man sehr deutlich den Anwendungsbereich des Düsenstrahlverfahrens von sämtlichen Lockergesteinen bis hin zum mitteldicht gelagerten

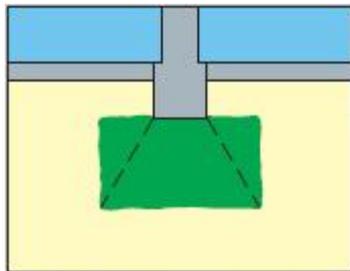
Ton. Dies gilt auch für Mischböden und Wechsellagerungen, organische Partien eingeschlossen. Es wurden auch bereits schon felsiger Baugrund, wie beispielsweise Sandstein mit mäßiger Kornbindung gedüst (KELLER Grundbau GmbH, 2003). Bei Steinschüttungen und Müll ist das Düsenstrahlverfahren anwendbar, allerdings unwirtschaftlich.

2.2.6 Anwendungsgebiete

Das Düsenstrahlverfahren wirkt im Baugrund je nach Aufgabenstellung als Verfestigungs- oder Abdichtungskörper. Kombinationen der beiden Eigenschaften werden in zunehmendem Maße ausgeführt.

DSV zur Verfestigung:

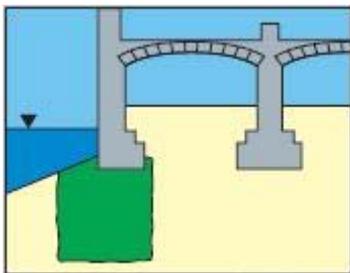
- Gründungsänderungen:



Nutzungsänderungen oder Umbauten erfordern meist eine Ergänzung oder Änderung vorhandener Gründungen.

Abb. 13: (KELLER Grundbau GmbH, 2003)

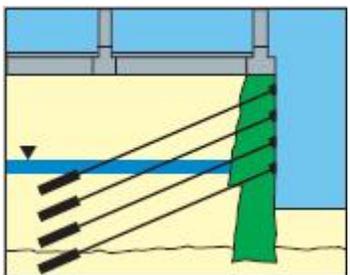
- Gründungssanierungen:



Historische Bauten können bei Setzungen gefährdet sein, mit DSV kann eine sichere Gründung mit höchstmöglicher Schonung des Bauwerkes erreicht werden.

Abb. 14: (KELLER Grundbau GmbH, 2003)

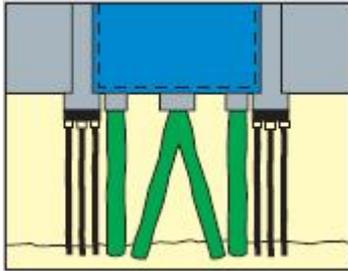
- Unterfangungen:



Verformungsarme Unterfangungen, verankert oder unverankert, auch grundwasserhemmend, der Vorteil liegt in der Ausführbarkeit auch bei beengten Platzverhältnissen.

Abb. 15: (KELLER Grundbau GmbH, 2003)

- Tiefgründungen:



DSV wird auch bei Neugründungen, bei denen die Nachbarbebauungen wie historische Bauten oder moderne Rechenzentren besondere Rücksichtnahme erfordern.

Abb. 16: (KELLER Grundbau GmbH, 2003)

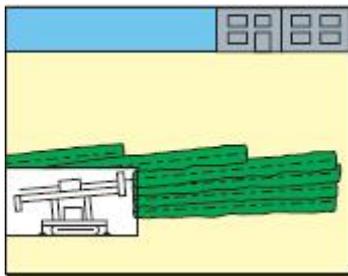
- Tunnelaußenschalen:



DSV- Tunnelschalen werden vorzugsweise in Lockergesteinen unter oder neben gefährdeten Gebäuden ausgeführt.

Abb. 17: (KELLER Grundbau GmbH, 2003)

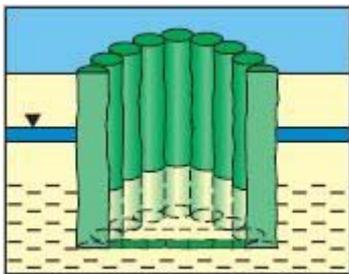
- Horizontale DSV- Körper:



Überschnittene, horizontale DSV- Säulen dienen im Tunnelbau als Vortriebssicherung im Lockergestein. Sie werden von der Ortsbrust aus horizontal oder schwach geneigt hergestellt.

Abb. 18: (KELLER Grundbau GmbH, 2003)

- Schachtverbau:



Schächte werden aus überschrittenen DSV- Säulen hergestellt und werden ausgeführt wenn ein erschütterungsfreier Einbau erforderlich ist und/oder der Schacht ins Grundwasser reicht, als unterer Abschluss wird eine Dichtsohle mit DSV hergestellt.

Abb. 19: (KELLER Grundbau GmbH, 2003)

- Erddruckentlastungen:

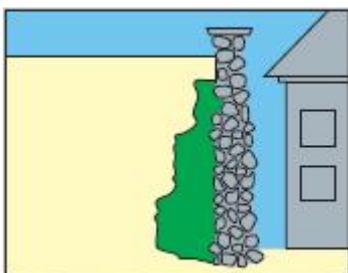


Abb. 20: (KELLER Grundbau GmbH, 2003)

Erddruckbelastete Bauwerke wie denkmalgeschützte Mauern, Widerlager, Lawingalerien, Hangstützanlagen oder Kaianlagen werden nachträglich durch Umwandlung und Ankopplung eines statisch berechneten rückwärtigen DSV-Bodenpaketes entlastet.

DSV zur Abdichtung:

- Lamellenwände:

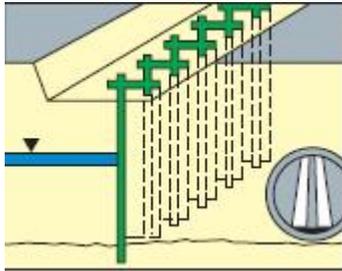


Abb. 21: (KELLER Grundbau GmbH, 2003)

Lamellenwände werden zur Abdichtung gegen Grundwasser unter Straßen und Bauwerken, bei vielfach kreuzenden Rohrleitungen und zur Aufteilung großer Baugruben in einzelne Aushubabschnitte verwendet. Je nach Anforderung können Ein- oder Mehrfachlamellen zur Anwendung kommen.

- Säulenwände:

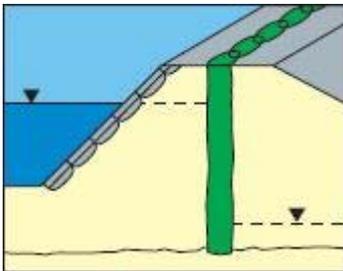


Abb. 22: (KELLER Grundbau GmbH, 2003)

Bei höheren mechanischen Beanspruchungen durch etwaige Scherkräfte, mögliche Auskolkungen oder einfach zur Erreichung höherer Dichtwirkungen können überschnittene DSV- Säulen hergestellt werden.

- Dammbabdichtungen:

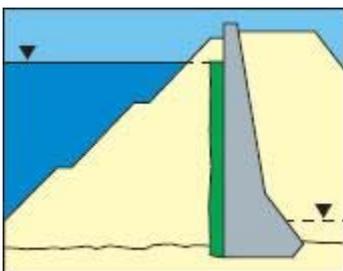
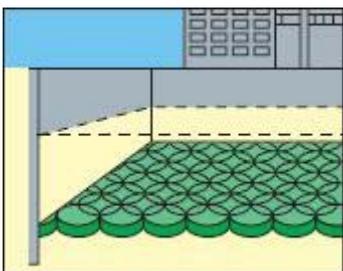


Abb. 23: (KELLER Grundbau GmbH, 2003)

Kommt bei der Sanierung von Dammbabdichtungen oder zur Herstellung von ergänzenden Dichtwänden im Damm oder darunter zur Anwendung.

- Dichtsohlen:



Eine DSV- Dichtsohle wird in einer auftriebssicheren Tiefe aus überschnittenen Säulenscheiben zusammengesetzt. Seitlich schließen sie an das vertikale Dichtsystem an.

Abb. 24: (KELLER Grundbau GmbH, 2003)

- Gewölbesohlen:

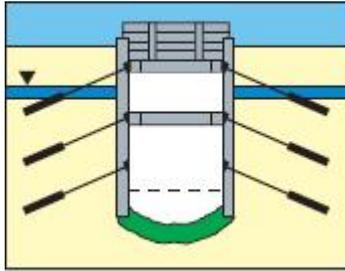
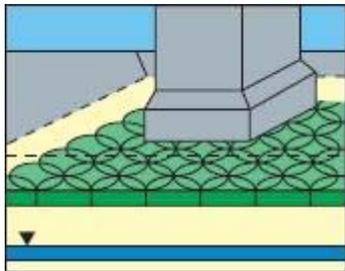


Abb. 25: (KELLER Grundbau GmbH, 2003)

Bei schmalen Baugruben und Schächten wird die geringe Spannweite, um Auftriebskräfte aufnehmen zu können, die Sohle in einer Stützgewölbeform hergestellt. Dies ermöglicht den Verzicht auf eine sonst erforderlich werdende größere Tiefenlage der Sohle um die Auftriebssicherheit gewährleisten zu können.

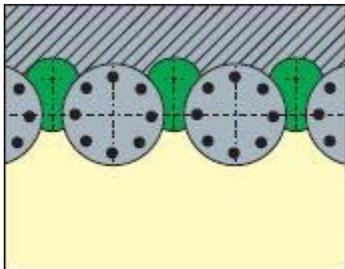
- Dichtungsdeckel:



Der DSV- Deckel schützt das Grundwasser unter Bauwerken gegen Beeinträchtigungen aus darüber liegenden Bauaktivitäten und Altlasten.

Abb. 26: (KELLER Grundbau GmbH, 2003)

- Fugenabdichtung:



Abdichtung von Fugen zwischen Pfählen, Spundwänden oder Bauteilen im Untergrund.

Abb. 27: (KELLER Grundbau GmbH, 2003)

- Grundwasserdurchlässe:

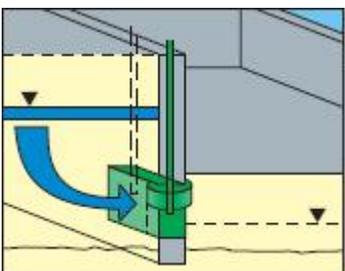


Abb. 28: (KELLER Grundbau GmbH, 2003)

Dichtwände sind häufig temporär genutzte Grundwassersperren. Die Wiedereröffnung von Durchlässen wird durch Auswaschen des Bindemittels in vorbereiteten Feldern unter Verwendung der DSV-Technik erreicht.

3 Bedienungsanleitung Excel File

Das Ziel dieses Excel Programmes ist es, unter der Vorgabe des Achsabstandes der aufgelösten Bohrpfahlwand, des Pfahldurchmessers, der Bodenparameter und der DSV-Parameter, eine rasche Abschätzung der Form und geometrische Abmessung des sich im DSV- Körper ausbildenden Stützbogens zu ermitteln.

Diese „Bedienungsanleitung“ soll das Programm und dessen Hintergrund näher erläutern. Zur leichteren Nachvollziehbarkeit wird das Programm zunächst kurz vorgestellt und dann anhand eines expliziten Beispiels erläutert. Das Excel Programm unterteilt sich in sechs Arbeitsblätter.

3.1 Hintergrund

Die Grundlage für dieses Programm liefert aus der Baustatik die Erkenntnis, dass eine bestimmte Belastungsform einen ganz bestimmten Stützlinienbogen² ergibt, in welchem die Belastung nur in Form von Druckkräften (Normalkräften) abgeleitet wird. Weicht die Belastungsform von der zur jeweiligen Stützlinie zugehörigen Belastungsform ab (siehe Abb. 29, Abb. 30 und Abb. 31) oder wird der Querschnitt des Stützlinienbogens nicht durch den DSV-Querschnitt abgedeckt, so treten neben den Normalkräften auch Querkräfte und Momente auf, welche möglicherweise zu unerwünschten Rissen im DSV-Körper führen können.

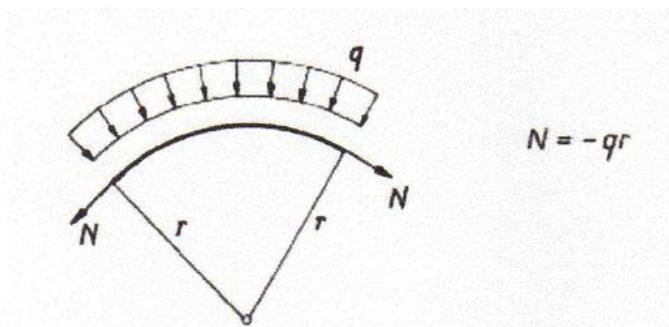


Abb. 29: Kreisbogen unter radialer Gleichlast q (RUBIN, 1994)

Anstehendes Grundwasser wirkt zum Beispiel als radiale Belastung auf den Düsenstrahlkörper, was zur Folge hat, dass der ideale Stützlinienbogen durch einen Kreisbogen beschrieben wird.

² Definition Stützlinienbögen: Bogenachse und Stützlinie (=Ort der Wirkungslinien der resultierenden Schnittkraft) fallen zusammen, $M=0$, $Q=0$, nur N als Schnittgröße vorhanden; aus (RUBIN, 1994).

Abb. 30 zeigt, dass der ideale Stützlinienbogen für eine Bodenauflast durch einen Parabelbogen beschrieben wird.

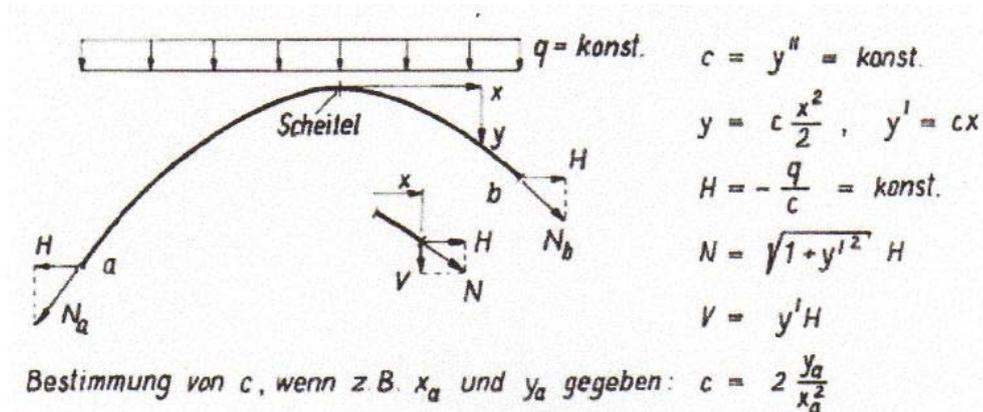


Abb. 30: Parabelbogen unter vertikaler Gleichlast q (RUBIN, 1994)

Abb. 31 zeigt, dass unter einer vertikalen Gleichlast (z.B.: Eigengewicht) sich der ideale Stützlinienbogen in Form einer Cosinushyperbolicuskurve ausbildet. Diese Form der Belastung wurde bei dieser Arbeit nicht berücksichtigt.

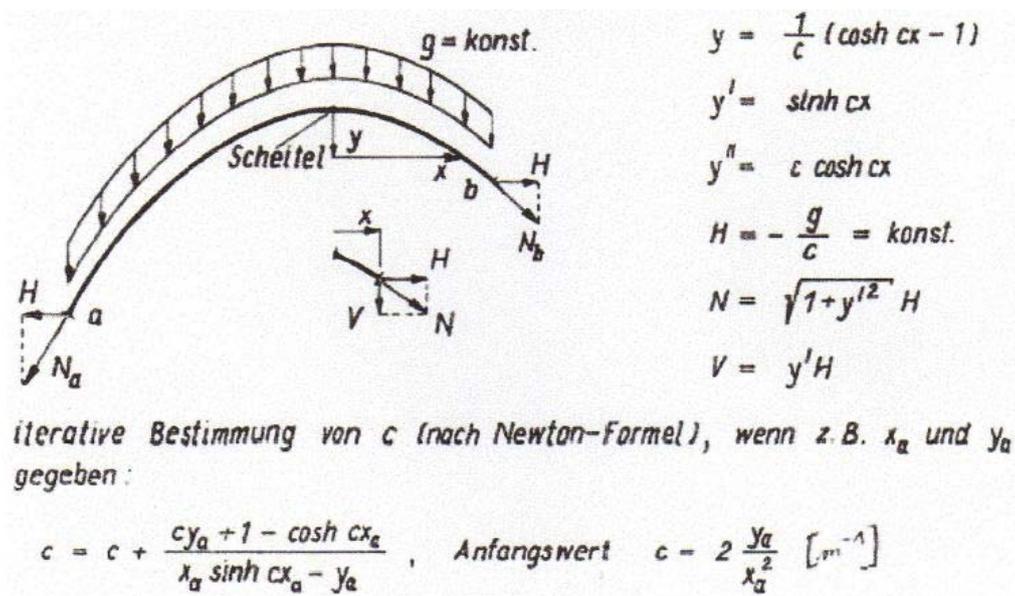


Abb. 31: cosh-Bogen unter vertikaler Gleichlast g (RUBIN, 1994)

3.2 Eingabemaske ERDDRUCK

Das erste Arbeitsblatt „Eingabemaske ERDDRUCK“ dient der Eingabe sämtlicher Parameter, die für die Berechnung des gesamten Programmes erforderlich sind.

Unter sämtlichen Parametern werden **geometrischen Randbedingungen** wie...

- Achsabstand der Pfähle,
- Aushubtiefen,
- Grundwasserstand, etc.);

Bodenkennwerte

- Winkel der inneren Reibung φ ,
- Wandneigung α ,
- Böschungsneigung β ,
- Wandreibungswinkel δ (für Erdruhedruck mit $\delta=0$ und für aktiven Erddruck mit $\delta=2\varphi/3$ angenommen),
- Kohäsion c ,
- Wichte des feuchten Bodens γ_f ,
- Wichte des Bodens unter Auftrieb γ' ,
- Wichte des Wassers γ_w

und DSV- Kennwerte

- Druckfestigkeit σ ,
- Elastizitätsmodul E ,
- Düsenstrahlradius der DSV- Halbsäule R verstanden.

Die Erddruckbemessung beinhaltet auch die Berücksichtigung von Teilsicherheitsbeiwerten für Erdruhedruck, aktiven Erddruck und den erhöhten aktiven Erddruck, welche der nachstehenden Tabelle laut ÖNORM B4434 1993-01-01 Tab.4 Seite 35 entsprechen, sowie ein angenommener Sicherheitsbeiwert vom Faktor 4 (KELLER Grundbau GmbH) für die Festigkeit des DSV-Körpers.

Belastung	γ_{Ep}
aktiver Erddruck	1,5
erhöhter aktiver Erddruck	1,5
Ruhedruck	2,0

Abb. 32: Teilsicherheitsbeiwerte (ÖNORM B4434, 1993)

$$y' = c \times x \quad (3.5)$$

die Normalkraft im Stützbogen bestimmt werden. Die dazu benötigte Horizontalkraft H lässt sich durch

$$H = \frac{-q}{c} \quad (3.6)$$

bestimmen und ist, da der Erddruck über die gesamte Bodenlänge konstant ist, ebenfalls konstant.

Über die aus diesen Berechnungsschritten erhaltene maximale Normalkraft (Druck) in der Stützlinie kann aufgrund einer geforderten Druckspannung des DSV- Körpers auf die erforderliche Breite des Druckbogens geschlossen werden.

$$A = \frac{N_{max}}{\sigma_{DSV}} \quad (3.7)$$

$$b_1 = \frac{A}{100cm} \quad (3.8)$$

Auf der folgenden Seite ist der Ausschnitt der Eingabefelder des Arbeitsblatts „Eingabemaske ERDDRUCK“ dargestellt.

analytische Stabwerktheorie_v1_xlsm - Microsoft Excel

Start Einfügen Selenlayout Formeln Daten Überprüfen Ansicht Entwicklertools Add-Ins

Normal Selenlayout Umbruchvoranschau Benutzerdef. Ganzes Ansicht Blöcke Arbeitsmappanansichten

Zoom 100% Zoommodus: Auswählen

Zoom 100% Zoommodus: Auswählen

Neues Fenster anordnen fixieren Einblenden Ausblenden

Teilen

Hebeneinander anzeigen

Synchroner Bildlauf

Aufgabenbereich speichern wechseln

Fenster wechseln

Flaktors

Flaktors

Legende

Engabewerte
Dunkelgrün
Hellgrün
Schwarz
Braun

Festwerte
ohne Auswirk. auf Ber.
wird autom. berechnet

Halberrechnungen
 $e = 2 \cdot [B_1 \cdot z_1] = 2 \cdot 89229 \cdot m \cdot 1 = 0,39 \text{ m}$
 (ist vorerst nicht angenommen und ja berechnet wurde, MUSS an FE-Ebene)

Hinweis
 bei der Berechnung mittels Parabelbogen muß der Stützpunkt koordinativ festgelegt (abhängigkeit) werden!

Legende Bodenparameter:
 α : Winkel der freien Flöschung
 β : Böschungsmessung
 γ : Vandalungswinkel (angenommen mit 2/3)

Legende DSV-Parameter:
 σ_{DSV} : Druckfestigkeit DSV
 E : Elastizitätsmodul DSV
 R : Disziplin der DSV-Halbbohle

Prinzipalskizze

ERGEBNIS f. BODEN
 Druckstrebenbreite aufgrund Erddruck
 $b_{\text{Boden}} = 3 \text{ cm}$ (Druckstrebenbr.)
 $\beta = 100 \text{ cm}$

max. Flasz. -63,54 kN
 max V -58,40 kN
 konst. H

Bemessung der Betondruckstrebe
 $A_s = 317,68 \text{ cm}^2$

statische Eigenschaften +/- 10cm Toleranz
 Spannweite innen 0,90 m
 Stützabstand 1,050 m

Geometrie
 e Prüflin [m] 0,90 m
 Achsabstand [m] 1,80 m
 Pfeiltoleranz [m] +/- 0,00 m
 BOK bis DSV-UK 9,78 m
 BV-OK bis DSV-UK 8,50 m
 DSV-Radius 1,15 m
 V_{max} 0,10 m

DSV-Parameter
 $\sigma_{DSV} = 8,00 \text{ MN/m}^2$
 $E = 9000 \text{ MN/m}^2$
 $\sigma_{DSV, \text{Zsp}} = 2,00 \text{ MN/m}^2$

Sicherheitsfaktoren
 $\gamma_{DSV} = 4,00$
 $\gamma_{\text{Flasz.}} = 2,00$
 $\gamma_{\text{Flasz.}} = 1,50$
 $\gamma_{\text{Flasz.}} = 1,50$

Erddruckbem.: $E_{\text{akt}} 7,65 \text{ kN/m}$
 errechnete Belastung $q = 64,89 \text{ kN/m}$

Parabelbogen unter vertikaler Gleichlast q
 die Funktion lautet: $y = c' \cdot (x^2)$

Stützlinienform
 0,90 m; 1,050 m
 1,00 m
 0,80 m
 0,60 m
 0,40 m
 0,20 m

Stützlinienform bei Bodenauflast
 Engabemaske ERDRUCK
 Engabemaske WASSERDRUCK
 RESULTAT (Superp.-d.-Stütz)

Quelle: Formelsammlung BAUSTATIK (Bayerh. 128)

erhöhtem aktiven Erddruck 25%, 50% und 100% ausgerechnet werden!

(angenommen nach ABKLÄREN ob das so OKAY ist!)

(es kann hier zwischen Erddruck, aktivem Erddruck, erhöhtem aktiven Erddruck 25%, 50% und 100% ausgerechnet werden)

Abb. 34: Darstellung des Arbeitsblatts „Engabemaske ERDRUCK“

3.2.1 Berechnung Erddruck

Für die Berechnung des Erddruckes wird die Erddruckkomponente an der Düsenstrahlkörperunterkante und einen Meter darüber ermittelt (betrachtet wird somit die ungünstigste, einen Meter dicke Bodenschichte siehe Abb. 35) und daraus der Mittelwert gebildet, der dann zur weiteren Berechnung der Schnittgrößen herangezogen wird. Die tiefste Bodenschichte wurde aufgrund der ungünstigsten Auswirkung auf die Größe der Schnittkräfte herangezogen.

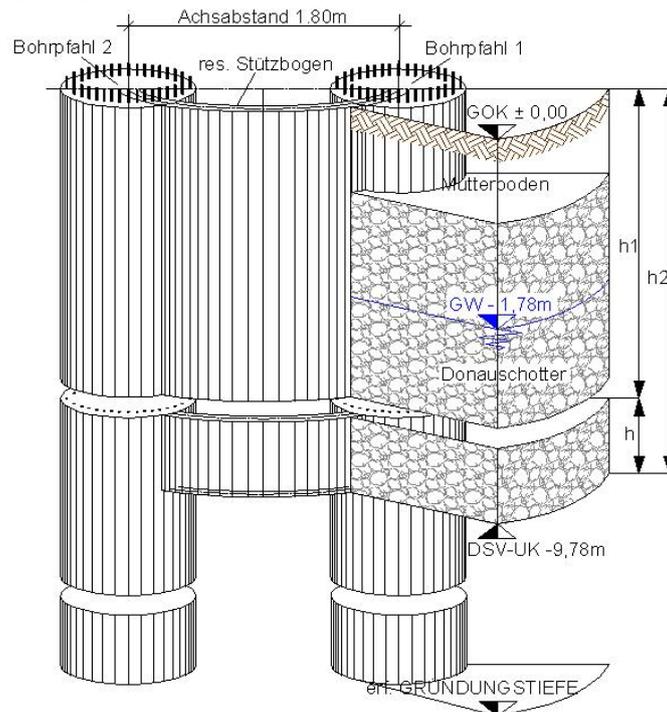


Abb. 35: Darstellung der für die Berechnung relevanten Bodenschichte der Höhe h

3.2.1.1 Erdruhedruck E_0

„Der Ruhedruck ist anzusetzen:

- Bei Bauwerken, die ohne nennenswerte Beeinflussung des In-situ-Spannungszustandes in den Untergrund eingebracht werden und deren Verbindung mit benachbarten oder stützenden Bauteilen oder mit dem Untergrund so starr ist, dass eine Bewegung in Erddruckrichtung nicht auftreten kann, und
- Bei Bauwerken, deren Hinterfüllung verdichtet wird, die aber dabei und auch danach nur so geringe Bewegungen ausführen, dass dadurch der Verdichtungsdruck höchstens bis auf den Ruhedruck abgebaut wird, wie z.B. bei Flügelmauern.“³

³ (ÖNORM B4434, 1993-01-01)

Der Erdruchdruckbeiwert K_{0h} wird gemäß (SIMMER, Grundbau Teil 1, Bodenmechanik und erdstatische Berechnungen, 1980) S.222 Tafel 222.1 mit der Formel

$$K_{0h} = 1 - \sin \varphi \quad (3.9)$$

ermittelt. Der Erdruchdruckbeiwert ist im Wesentlichen von der Geometrie des Geländes (Geländeneigung β) und der Wand (Wandneigung α) sowie von den Reibungsbedingungen sowohl im Erdreich (Winkel der inneren Reibung φ) als auch zwischen Wand und Erdreich (Wandreibungswinkel δ) abhängig (BRANDL, S. Blatt 69). Für dieses Beispiel wurde

$$\alpha = \beta = \delta = 0 \quad (3.10)$$

angenommen.

Mit dem Erdruchdruckbeiwert wird nun die Erddruckkomponente auf Tiefe der Düsenstrahlkörper- UK nach

$$e_{0h2} = \gamma' \times h_2 \times K_{0h} \quad (3.11)$$

und einen Meter darüber mittels

$$e_{0h1} = \gamma' \times h_1 \times K_{0h} \quad (3.11.1)$$

ermittelt und daraus der Mittelwert

$$E_{ah,M} = \left(\frac{e_{01} + e_{02}}{2} \right) \times \gamma_{Ep,Ruhe} \quad (3.12)$$

gebildet. $\gamma_{Ep,Ruhe}$ ist der Teilsicherheitsbeiwert für Erdruchdruck laut Abb. 32. Der Mittelwert der Belastung wird bei Auswahl im Drop-down Menü von E_0 , im Arbeitsblatt „Eingabemaske ERDDRUCK“, zur weiteren Schnittkraftermittlung herangezogen.

3.2.1.2 Aktiver Erddruck E_a

Der aktive Erddruckbeiwert K_{ah} hängt ebenfalls von der Geometrie des Geländes (Geländeneigung β) und der Wand (Wandneigung α) sowie von den Reibungsbedingungen sowohl im Erdreich (Winkel der inneren Reibung φ), als auch zwischen Wand und Erdreich (Wandreibungswinkel δ) ab. Für dieses Beispiel wurde K_{ah} mittels

$$K_{ah} = \frac{(\cos(\varphi - \alpha))^2}{(\cos \alpha)^2 \left[1 + \sqrt{\frac{\sin(\varphi + \delta) \times \sin(\varphi - \beta)}{\cos(\alpha - \delta) \times \cos(\alpha + \beta)}} \right]^2} \quad (3.13)$$

(BRANDL, S. Stdbl.69) und

$$\alpha = 0, \beta = 0, \delta = \frac{2}{3} \varphi \quad (3.14)$$

errechnet. Wie anhand der Formel 3.13 erkennbar können für die Wandneigung α sowie für die Böschungsneigung β verschiedene Winkel eingetragen werden und somit K_{ah} maßgeblich beeinflussen. Mit dem Beiwert für den aktiven Erddruck wurde wie unter (3.2.1.1) die Erddruckkomponente auf Tiefe der Düsenstrahlkörper- UK nach

$$e_{ah2} = \gamma' \times h_2 \times K_{ah} \quad (3.15)$$

und einen Meter darüber mittels

$$e_{ah1} = \gamma' \times h_1 \times K_{ah} \quad (3.15.1)$$

ermittelt. Der Mittelwert der Erddruckkomponente ergibt sich zu,

$$E_{ah,M} = \left(\frac{e_{a1} + e_{a2}}{2} \right) \times \gamma_{Ep,aktiv} \quad (3.16)$$

wobei $\gamma_{Ep,aktiv}$ der Teilsicherheitsbeiwert für den aktiven Erddruck ist (siehe Abb. 32). Der Mittelwert der Belastung wird bei Auswahl im Drop-down Menü von E_a , im Arbeitsblatt „Eingabemaske ERDDRUCK“, zur weiteren Schnittkraftermittlung herangezogen.

3.2.1.3 Erhöhter aktiver Erddruck E_e

„Je nach der Verformungsempfindlichkeit benachbarter Bauwerke bzw. je nach der Nachgiebigkeit der Stützkonstruktion können folgende Ansätze gewählt werden.“⁴

Es kann zwischen einem erhöhten aktiven Erddruck mit einem Ruhedruckanteil von

- 25% (Grabenverbaukonstruktionen, Baugrubensicherungen) -ohne Nachbarbebauung,
- 50% (Gebäudeunterfangungen) und einem
- 75% -sensible Nachbarbebauung,

erhöhten aktiven Erddruck ausgewählt werden. (ÖNORM B4434, 1993-01-01) Der 25% erhöhte aktive Erddruck $E_{eh,25\%}$ wird wie folgt berechnet.

$$E_{eh,25\%} = (0,25 \times E_{0h,m} + 0,75 \times E_{ah,m}) \times \gamma_{Ep,erh.aktiv} \quad (3.17)$$

$\gamma_{Ep,erh.aktiv}$ ist der Teilsicherheitsbeiwert für den erhöhten aktiven Erddruck laut Abb. 32. Entsprechend (3.17) werden auch der 50% und 75% erhöhte aktive Erddruck berechnet. Auch diese Berechnung erfolgt im Hintergrund und wird bei Auswahl im Drop-down Menü von $E_{eh,25\%}$, $E_{eh,50\%}$ oder $E_{eh,75\%}$ im Arbeitsblatt „Eingabemaske ERDDRUCK“ zur weiteren Schnittkraftermittlung herangezogen.

⁴ (ÖNORM B4434, 1993-01-01)

Auf der folgenden Seite ist in Abb. 36 die Ansicht des Arbeitsblatts „Berechnung Erddruck“ dargestellt.

1) a) Erddruckspannungen (ideale Stützlinienform = Parabelbogen)

(Hinweis: es wird eine 1m dicke Bodenschicht betrachtet und mit dem Mittelwert gerechnet)

(gelbes Feld -> für die Berechnungen verwendeter Erddruckbeiwert K_{0p})

(Nichte des Bodens unter Austrieb $\gamma = (1 + \alpha) \cdot (\gamma_s - \gamma_w)$)

(Quelle: Simmer S.289 Tafel 256.1)

(Quelle: Grundkurs / Skriptum, Studienbi 63)

1) Erddruck E_a

Erddruckbeiwert K_{0p} (Quelle: Simmer S. 223)

$\phi = 35.0^\circ$

$K_{0p} = 0.4264$ (für $\delta^\circ = \beta^\circ = 0^\circ$)

$K_{0p} = 0.8192$ (für $\delta^\circ = \beta^\circ = \phi^\circ$)

in Höhe Geländeoberkante $e_{sp} = 0,00 \text{ kNm}$

in Höhe DSV-LUK-1,00 Meter $e_{sp} = 46,43 \text{ kNm}$

in Höhe DSV-LUK $e_{sp} = 51,71 \text{ kNm}$

Mittelwert $E_{a,m} = (e_{sp} + e_{sp,d}) / 2 = 49,07 \text{ kNm}$

inkl. Sicherheit $E_{a,inkl} = E_{a,m} \cdot \gamma_{a,inkl} = 98,14 \text{ kNm}$

2) aktiver Erddruck E_a

Beiwert für den aktiven Erddruck K_{ap}

$K_{ap} = 0,2244$

in Höhe Geländeoberkante $e_{sp} = 0,00 \text{ kNm}$

in Höhe DSV-LUK-1,00 Meter $e_{sp} = 24,43 \text{ kNm}$

in Höhe DSV-LUK $e_{sp} = 27,22 \text{ kNm}$

Mittelwert $E_{a,m} = (e_{sp} + e_{sp,d}) / 2 = 25,82 \text{ kNm}$

inkl. Sicherheit $E_{a,inkl} = E_{a,m} \cdot \gamma_{a,inkl} = 38,74 \text{ kNm}$

3) erhöhter aktiver Erddruck E_a (inklusive Sicherheit)

im einfachen Fall $E_{a,25\%} = (0,25 \cdot E_{a,m} + 0,75 \cdot E_{a,inkl}) \cdot \gamma_{a,inkl} = 47,45 \text{ kNm}$

im allgemeinen Fall $E_{a,50\%} = (0,5 \cdot E_{a,m} + E_{a,inkl}) \cdot \gamma_{a,inkl} = 56,17 \text{ kNm}$

in sehr schwierigen Fällen $E_{a,75\%} = (0,75 \cdot E_{a,m} + 0,25 \cdot E_{a,inkl}) \cdot \gamma_{a,inkl} = 64,89 \text{ kNm}$

30. (Tabelle für Erddruck Drop-down Menü)

E_a	98,14 kNm
E_a	38,74 kNm
$E_{a,25\%}$	47,45 kNm
$E_{a,50\%}$	56,17 kNm
$E_{a,75\%}$	64,89 kNm

Abb. 36: Darstellung des Arbeitsblatts „Berechnung Erddruck“

3.3 Eingabemaske WASSERDRUCK

Im zweiten Arbeitsblatt „Eingabemaske WASSERDRUCK“ werden die Schnittkräfte infolge einer auf den Baugrubenverbau wirkenden hydrostatischen Wasserdruckes ermittelt.

Die dazu notwendigen Parameter werden automatisch aus dem ersten Arbeitsblatt „Eingabemaske ERDDRUCK“ übernommen und müssen somit nicht noch einmal extra eingegeben werden. Die Wasserauflast welche im letzten Arbeitsblatt (genauerer siehe unter Punkt 3.3.1) berechnet wird, wird aus diesem übernommen und für die Berechnung der Normalkraft, welche im Stützbogen wirkt, herangezogen.

Der ideale Stützlinienbogen für eine Wasserauflast (radiale Belastung) wird durch einen Kreisbogen beschrieben. Der Pfahlachsabstand (x-Komponente der Funktion) wird zur genaueren Darstellung der Stützlinie in 5cm Schritten unterteilt und für jede einzelne x-Komponente die y-Komponente berechnet. Die Berechnung der y-Komponenten erfolgt durch einfache Winkelumrechnung in einer Hilfstabelle, welche wie nachfolgend beschrieben berechnet wird.

Mit der jeweiligen x- Koordinate kann der Winkel α

$$\alpha = \sin^{-1} \left(\frac{R}{x} \right) \quad (3.18)$$

berechnet werden. Bei bekanntem Winkel α und dem Radius des Kreisbogens lässt sich die y- Komponente durch

$$y = R - R \times \cos \alpha \quad (3.19)$$

errechnen und ergibt die in Abb. 37 dargestellte Stützlinienform.

Mit bekannter Wasserdruckbelastung kann durch,

$$N = \frac{-q}{R_{Stützl.}} \quad (3.20)$$

die Normalkraft im Stützbogen bestimmt werden.

Über die aus diesem Berechnungsschritt erhaltene maximale Normalkraft in der Stützlinie kann aufgrund einer geforderten Druckspannung des DSV- Körpers wiederum auf eine erforderliche Breite des Druckbogens geschlossen werden.

$$A = \frac{N_{max}}{\sigma_{DSV}} \quad (3.21)$$

$$b_2 = \frac{A}{100cm} \quad (3.22)$$

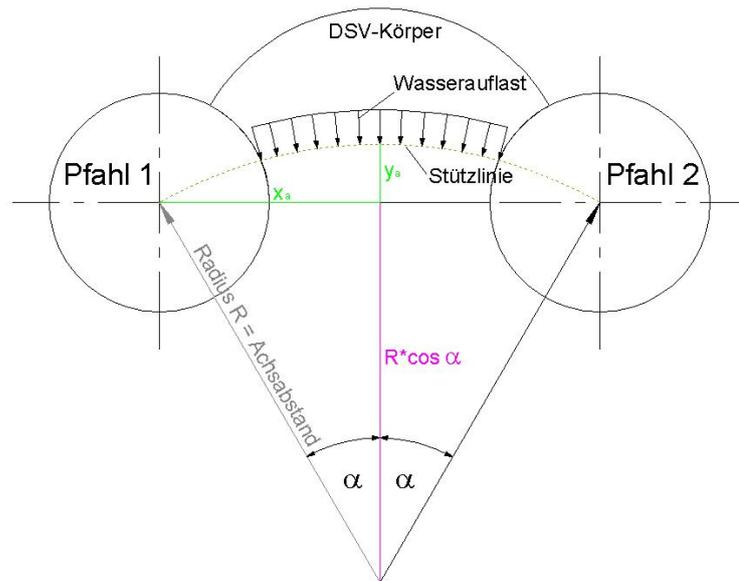


Abb. 37: Skizze Stützlinienbögen bei Wasserauflast; Darstellung der Koordinaten und Winkeln

Auf der folgenden Seite ist in Abb. 38 die Ansicht des Arbeitsblatts „Berechnung Erddruck“ dargestellt.

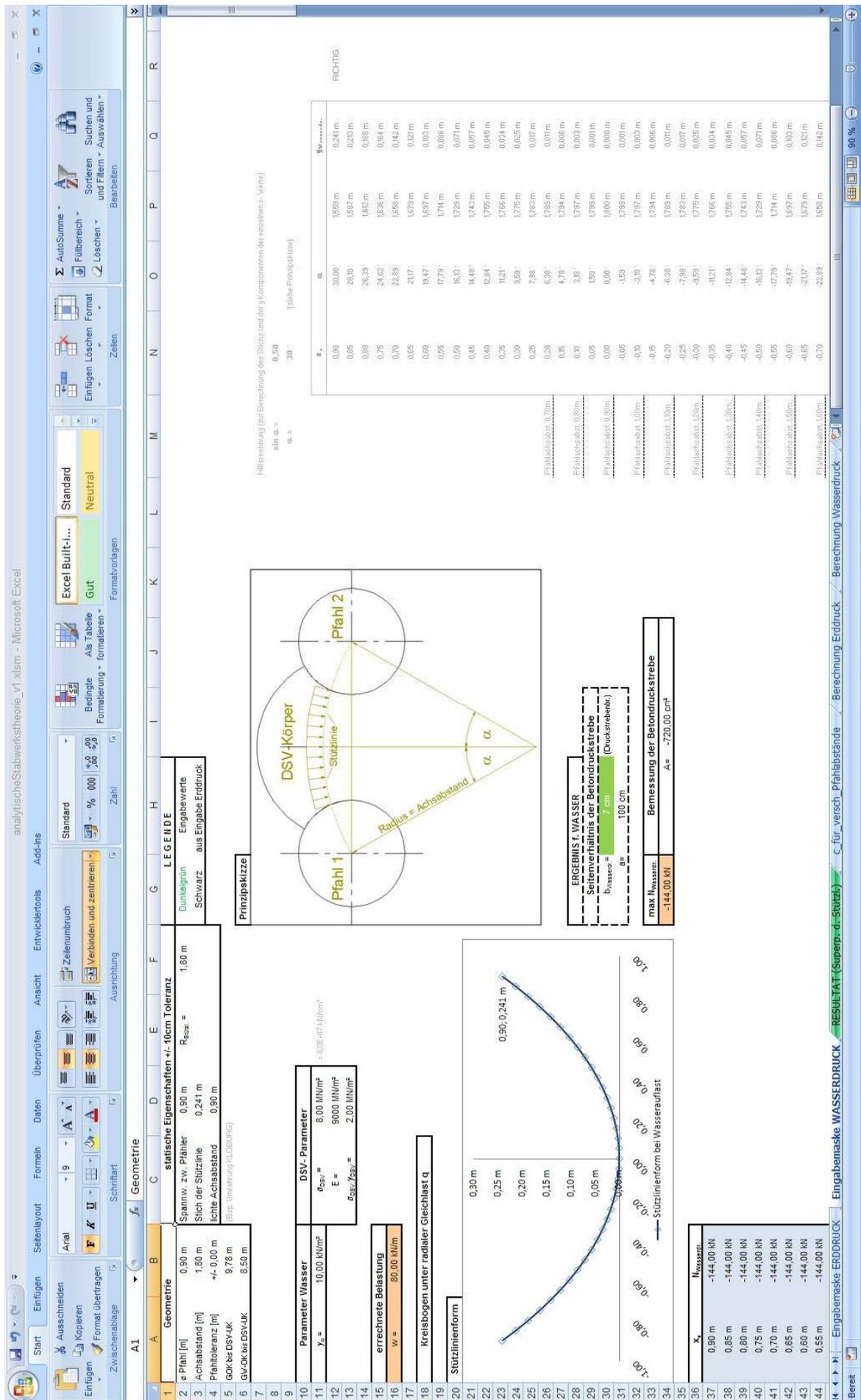


Abb. 38: Darstellung des Arbeitsblatts „Eingabemaske WASSERDRUCK“

3.3.1 Berechnung Wasserdruck

Die Berechnung des Wasserdruckes erfolgt in Arbeitsblatt sieben „Berechnung Wasserdruck“. Auch beim Wasserdruck wird der Mittelwert der tiefsten, ein Meter dicken Bodenschichte, betrachtet.

Der mittlere Wasserdruck der tiefsten, einen Meter dicken Bodenschichte ergibt sich mit

$$q_{w1} = \gamma_w \times h_1 \quad (3.23)$$

und

$$q_{w2} = \gamma_w \times h_2 \quad (3.23.1)$$

wobei

$$h_2 = h_1 - 1,00m \quad (3.24)$$

ist, zu

$$q_{w,m} = \frac{(q_{w1} \times q_{w2})}{2} \quad (3.25)$$

Der Wasserdruck wird über die Eingabe der Parameter im ersten Arbeitsblatt „Eingabemaske ERDDRUCK“ im Hintergrund im Arbeitsblatt „Berechnung Wasserdruck“ ermittelt und in das Arbeitsblatt „Eingabemaske WASSERDRUCK“ als Belastung übertragen und zur Ermittlung der Schnittkräfte infolge Wasserdruck herangezogen.

3.4 Resultat

Nach der separaten Ermittlung der Stützlinie für den Erddruck und der Stützlinie für den Wasserdruck erfolgt die Ermittlung einer Resultierenden Stützlinie für die gegebenen Belastungsformen.

Dazu werden die y-Koordinaten aus der Erddruckberechnung und der Wasserdruckberechnung herangezogen und der Mittelwert gebildet.

$$y_{Res.} = \frac{y_{Erddr.} + y_{Wasserdr.}}{2} \quad (3.26)$$

Die Überlegung, den Mittelwert der beiden y-Komponenten zu verwenden, war folgende. Die ideale Stützlinie für eine Wasserauflast bildet ein Kreisbogen und deren Stich ist kleiner als der Stich der Stützlinie für eine Bodenauflast (Parabelbogen). Folglich wirkt sich eine Wasserauflast auf die Form und somit auf die nötige Reichweite der DSV- Säulen günstig aus.

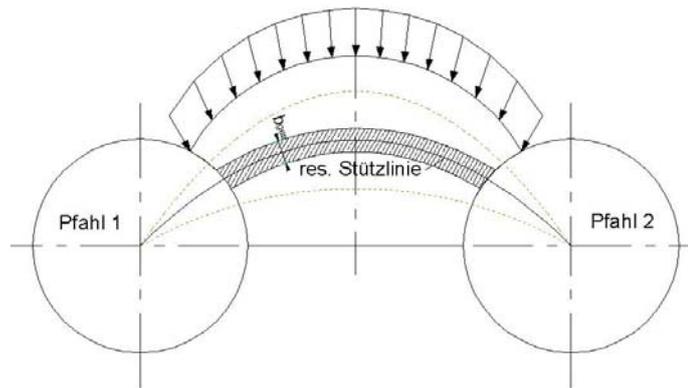


Abb. 39: Mittelwert der Stützlinie aus Bodenauflast und Wasserauflast

Die Ermittlung der Normalkraft in der resultierenden Stützlinie erfolgt durch einfache Addition der Normalkraft aus Erddruck und Wasserdruck.

$$N_{Res.} = N_{Erddr.} + N_{Wasserdr.} \quad (3.27)$$

Durch einfache Addition der ermittelten Druckbogenbreite aus Erddruck und Wasserdruck erfolgt die Ermittlung der Gesamtbreite des Stützlinienbogens.

$$b_{ges} = b_{Erddr.} + b_{Wasserdr.} \quad (3.28)$$

Der so erhaltene Druckbogen muss in vollem Umfang vom DSV-Körper abgedeckt sein, damit die Belastungen ausschließlich über Normalkräfte in die steifen Pfähle abgeleitet werden können. Letztere tragen diese Kräfte in weiterer Folge über ihre Einspannung in den Untergrund ab. Wie in Abb. 39 ersichtlich, kann sich dadurch eine verkleinerte Auflagerfläche des DSV-Körpers am Pfahl ergeben.

3.5 Erläuterung anhand eines konkreten Beispiels

Anhand der Unterlagen über die Detailplanung der „Grundwasserwanne Niedermarkt Objekt BN14.W02“, welche Teil des Projektes „Umfahrung Klosterneuburg“ ist, wird an der dort vorhandenen aufgelösten Bohrpfahlwand nun das Excel-Programm an einem repräsentativem Pfahlachsabstand veranschaulicht.

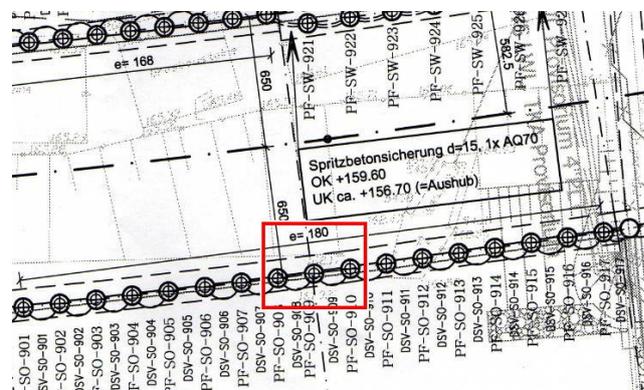


Abb. 40: Ausschnitt aus der Detailplanung Umfahrung Klosterneuburg (KELLER Grundbau GmbH, 2006)

3.5.1 Allgemeines

Entlang des Baustellenabschnittes „Grundwasserwanne Niedermarkt“ wurden mehrere Bodenschichten angetroffen. Zur Vereinfachung der Modellierung wurde aber in diesem Fall nur eine Bodenschicht, ein Donauschotter, angenommen (siehe Abb. 41). Da in diesem Bereich das Grundwasser den wesentlichsten Einflussfaktor auf die Baumaßnahme darstellte, wird auch die Belastung als solche in der Modellierung und Berechnung berücksichtigt.

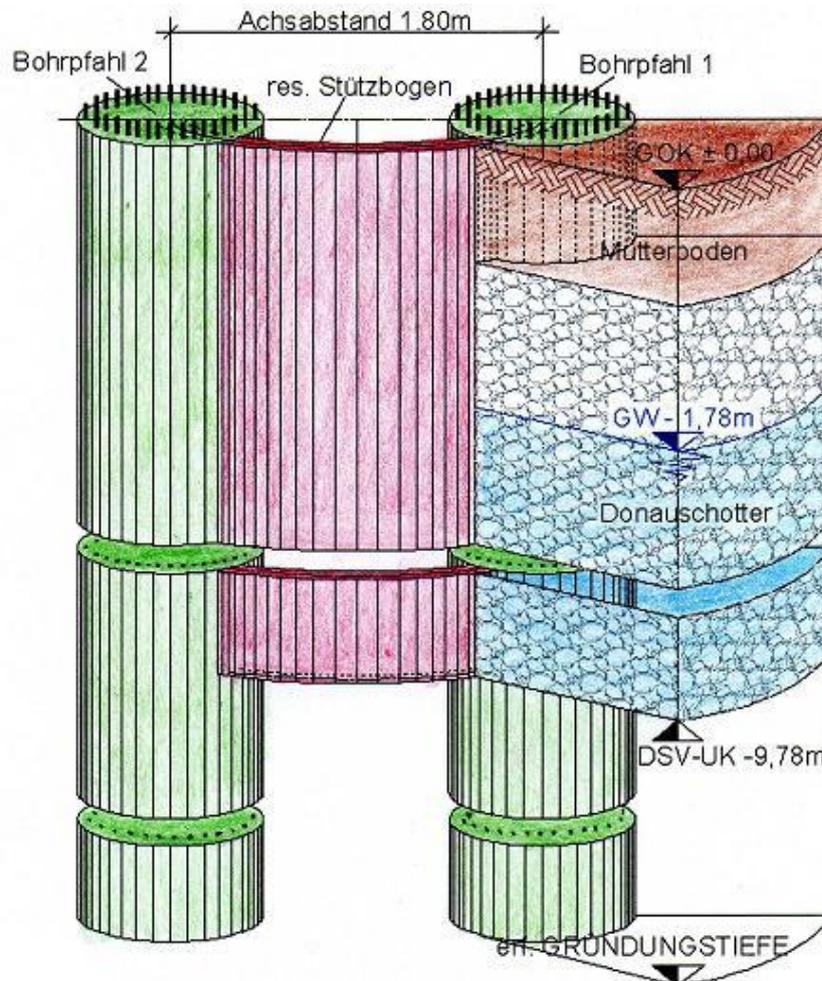


Abb. 41: dreidimensionale Ansicht, Darstellung der Bodenschichte und dem aus der Berechnung resultierenden Stützbogen

3.5.2 Eingabe Arbeitsblatt Erddruck

3.5.2.1 Eingabe der Geometrie

Im ersten Arbeitsblatt erfolgt die Eingabe der Geometriewerte. Der Pfahlachsabstand aus dem gewählten Ausschnitt (siehe Abb. 42) der „Grundwasserwanne Niedermarkt“ beträgt 1,80m. Die Tiefe der DSV-UK befindet sich auf -9,78m und auf den DSV-Körper wirkt eine Wassersäule von 8,50m.

	A	B	C	D	E	F
1	Geometrie		statische Eigenschaften +/- 10cm Toleranz			
2	∅ Pfahl [m]	0,90 m	Spannweite innen	0,90 m		
3	Achsabstand [m]	1,80 m	Stich innen = y_{Stich}	0,700 m		
4	Pfahltoleranz [m]	+/- 0,00 m	Abb. 42: Eingabemaske der Geometrie			
5	GOK bis DSV-UK	9,78 m				
6	GW-OK bis DSV-UK	8,50 m				
7	DSV-Radius	0,80 m				
8	$y_{\text{gewählt}}$	0,10 m				

Neben der Eingabe des Achsabstandes muss bei der Ermittlung der Form der Stützlinie für die Erddruckbelastung auch die Höhe des Stiches abgeschätzt werden und in die Eingabemaske (siehe Abb. 42) eingetragen werden. Der Einfluss des Stiches auf die Stützbogenbreite wird in Kapitel 4 noch genauer anhand einer Sensitivitätsanalyse behandelt.

3.5.2.2 Eingabe der Bodenparameter

Nach dem die Geometriewerte eingegeben wurden, erfolgt die Eingabe der Bodenparameter.

10	Bodenparameter	
11	$\varphi =$	35,0 °
12	$\alpha =$	0,0 °
13	$\beta =$	0,0 °
14	$\delta =$	23,3 °
15	$c =$	0,00 kN/cm ²
16	$\gamma_f =$	21,00 kN/m ³
17	$\gamma' =$	12,00 kN/m ³
18	$\gamma_w =$	10,00 kN/m ³

Abb. 43: Eingabemaske der Bodenkennwerte

Der Winkel der inneren Reibung für den angenommenen Boden (Donauschotter) beträgt $\varphi = 35^\circ$. Die Wandneigung α , sowie die Böschungsneigung β betragen 0° . Für die Berechnung des Erdrudruckes beträgt der Wandreibungswinkel $\delta = 0^\circ$ und für die Berechnung des aktiven Erddruckes beträgt $\delta = 2/3 \times \varphi$. Die Wichte des feuchten Bodens wurde mit $\gamma_f = 21\text{kN/m}^3$ und die Wichte des Bodens unter Auftrieb $\gamma' = 12,0\text{kN/m}^3$ angenommen und die Wichte des Wassers mit $\gamma_w = 10\text{kN/m}^3$. In Abb. 43 wird die Eingabemaske veranschaulicht.

3.5.2.3 Eingabe der DSV- Parameter

Für den Düsenstrahlkörper werden im Wesentlichen nur die Druckfestigkeit σ und der Elastizitätsmodul E, deren Eingabe in Abb. 44 veranschaulicht wird, benötigt.

DSV- Parameter	
$\sigma_{\text{DSV}} =$	8,00 MN/m ²
E =	9000 MN/m ²
$\sigma_{\text{DSV}}/f_{\text{DSV}} =$	2,00 MN/m ²

Abb. 44: Eingabemaske der DSV-Parameter

3.5.2.4 Teilsicherheitsfaktoren

Sicherheitsfaktoren	
$\gamma_{DSV} =$	4,00
$\gamma_{Ep,Ruhe} =$	2,00
$\gamma_{Ep,aktiv} =$	1,50
$\gamma_{Ep,erh.aktiv} =$	1,50

Abb. 45: Teilsicherheitsfaktoren

Die Teilsicherheitsfaktoren wurden gemäß Pkt. 3.2 (S.35 unten) beschrieben angenommen.

3.5.2.5 Auswahl der Erddruckbemessung

Nach der Eingabe sämtlicher Parameter erfolgt die Auswahl der Erddruckbemessung. Gewählt kann, wie bereits schon unter Pkt. 3.2.1 näher erläutert wurde, zwischen

- Erdruhedruck
 - aktivem Erddruck
 - 25% erhöhtem aktiven Erddruck
 - 50% erhöhtem aktiven Erddruck
 - 75% erhöhtem aktiven Erddruck
- werden.

Erdruhedruck E_0 :

20	Erddruckbem.:	E0
21		
22	errechnete Belastung	
23	q =	94,97 kN/m

Abb. 46: Auswahl Erddruckbemessung und automatisiert errechnete Belastung

Bei Auswahl der Erdruhedruckbemessung ergibt sich eine Belastung von 94,97kN/m.

aktiver Erddruck E_a :

20	Erddruckbem.:	Ea
21		
22	errechnete Belastung	
23	q =	37,49 kN/m

Abb. 47: aktiver Erddruck und errechnete Belastung

Bei Auswahl der Bemessung für aktiven Erddruck ergibt sich eine Belastung von 37,49kN/m.

Beispielsweise sei nachfolgend noch die Auswahl der Bemessung des um einen Anteil von 25%, 50%, 75% des Ruhedrucks erhöhten aktiven Erddrucks angeführt.

25% erhöhter aktiver Erddruck $E_{eh,25\%}$:

20	Erddruckbem.:	Eeh.25%
21		
22	errechnete Belastung	
23	q =	45,92 kN/m

Abb. 48: 25% erhöhter aktiver Erddruck mit errechneter Belastung

50% erhöhter aktiver Erddruck $E_{eh,50\%}$:

20	Erddruckbem.:	Eeh.50%
21		
22	errechnete Belastung	
23	q =	54,36 kN/m

Abb. 49: 50% erhöhter aktiver Erddruck mit errechneter Belastung

75% erhöhter aktiver Erddruck $E_{eh,75\%}$:

20	Erddruckbem.:	Eeh.75%
21		
22	errechnete Belastung	
23	q =	62,79 kN/m

Abb. 50: 75% erhöhter aktiver Erddruck mit errechneter Belastung

3.5.2.6 Darstellung der Stützlinie für $E_{eh,75\%}$:

Die automatisierte Darstellung der idealen Stützlinie erfolgt nach Eingabe des Pfahlachsabstandes. Die dafür notwendige Tabelle wurde in x- und y-Koordinaten unterteilt und die x-Werte zur Darstellung der Stützlinie in 5cm Schritten abgestuft, was für eine zufriedenstellende Veranschaulichung des Diagrammes völlig ausreichend ist. Bei Bedarf kann aber natürlich jede beliebige Abstufung gemacht werden.

	x_s	$y_{Erddr.}$	H	y'	V	$N_{Erddr.}$
48						
49	0,90 m	0,650 m	-40,45 kN	1,444	-58,40 kN	-71,04 kN
50	0,85 m	0,580 m	-40,45 kN	1,364	-55,15 kN	-68,40 kN
51	0,80 m	0,513 m	-40,45 kN	1,283	-51,91 kN	-65,81 kN
52	0,75 m	0,451 m	-40,45 kN	1,203	-48,67 kN	-63,28 kN
53	0,70 m	0,393 m	-40,45 kN	1,123	-45,42 kN	-60,82 kN
54	0,65 m	0,339 m	-40,45 kN	1,043	-42,18 kN	-58,44 kN
55	0,60 m	0,289 m	-40,45 kN	0,963	-38,93 kN	-56,14 kN
56	0,55 m	0,243 m	-40,45 kN	0,882	-35,69 kN	-53,94 kN
57	0,50 m	0,201 m	-40,45 kN	0,802	-32,44 kN	-51,85 kN
58	0,45 m	0,162 m	-40,45 kN	0,722	-29,20 kN	-49,89 kN
59	0,40 m	0,128 m	-40,45 kN	0,642	-25,95 kN	-48,06 kN
60	0,35 m	0,098 m	-40,45 kN	0,561	-22,71 kN	-46,39 kN

61	0,30 m	0,072 m	-40,45 kN	0,481	-19,47 kN	-44,89 kN	
62	0,25 m	0,050 m	-40,45 kN	0,401	-16,22 kN	-43,58 kN	
63	0,20 m	0,032 m	-40,45 kN	0,321	-12,98 kN	-42,48 kN	Pfahlsabst. 0,70m
64	0,15 m	0,018 m	-40,45 kN	0,241	-9,73 kN	-41,60 kN	
65	0,10 m	0,008 m	-40,45 kN	0,160	-6,49 kN	-40,97 kN	Pfahlsabst. 0,80m
66	0,05 m	0,002 m	-40,45 kN	0,080	-3,24 kN	-40,58 kN	
67	0,00 m	0,000 m	-40,45 kN	0,000	0,00 kN	-40,45 kN	Pfahlsabst. 0,90m
68	-0,05 m	0,002 m	-40,45 kN	-0,080	3,24 kN	-40,58 kN	
69	-0,10 m	0,008 m	-40,45 kN	-0,160	6,49 kN	-40,97 kN	Pfahlsabst. 1,00m
70	-0,15 m	0,018 m	-40,45 kN	-0,241	9,73 kN	-41,60 kN	
71	-0,20 m	0,032 m	-40,45 kN	-0,321	12,98 kN	-42,48 kN	Pfahlsabst. 1,10m
72	-0,25 m	0,050 m	-40,45 kN	-0,401	16,22 kN	-43,58 kN	
73	-0,30 m	0,072 m	-40,45 kN	-0,481	19,47 kN	-44,89 kN	Pfahlsabst. 1,20m
74	-0,35 m	0,098 m	-40,45 kN	-0,561	22,71 kN	-46,39 kN	
75	-0,40 m	0,128 m	-40,45 kN	-0,642	25,95 kN	-48,06 kN	Pfahlsabst. 1,30m
76	-0,45 m	0,162 m	-40,45 kN	-0,722	29,20 kN	-49,89 kN	
77	-0,50 m	0,201 m	-40,45 kN	-0,802	32,44 kN	-51,85 kN	Pfahlsabst. 1,40m
78	-0,55 m	0,243 m	-40,45 kN	-0,882	35,69 kN	-53,94 kN	
79	-0,60 m	0,289 m	-40,45 kN	-0,963	38,93 kN	-56,14 kN	Pfahlsabst. 1,50m
80	-0,65 m	0,339 m	-40,45 kN	-1,043	42,18 kN	-58,44 kN	
81	-0,70 m	0,393 m	-40,45 kN	-1,123	45,42 kN	-60,82 kN	Pfahlsabst. 1,60m
82	-0,75 m	0,451 m	-40,45 kN	-1,203	48,67 kN	-63,28 kN	
83	-0,80 m	0,513 m	-40,45 kN	-1,283	51,91 kN	-65,81 kN	Pfahlsabst. 1,70m
84	-0,85 m	0,580 m	-40,45 kN	-1,364	55,15 kN	-68,40 kN	
85	-0,90 m	0,650 m	-40,45 kN	-1,444	58,40 kN	-71,04 kN	Pfahlsabst. 1,80m

Tab. 1: Berechnung der x- und y- Koordinaten und Schnittkräfte der Stützlinie

Die in Tab. 1 dargestellten x- und y-Werte ergeben nun den Parabelbogen wie in Abb. 51 dargestellt.

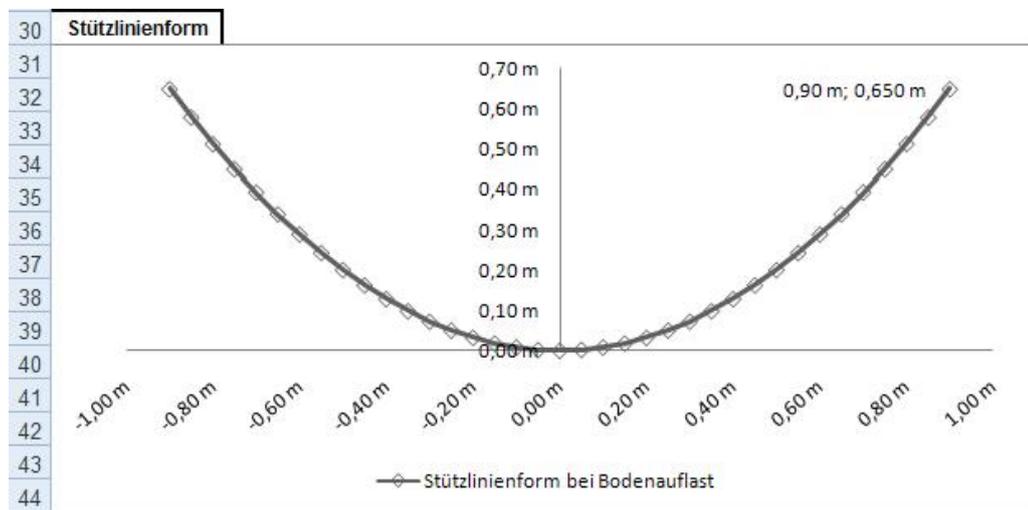


Abb. 51: Stützlinienform (Parabelbogen) durch Bodenauflast

Wie nun in Abb. 52 veranschaulicht, werden aus Tab. 1 die maximalen Schnittkräfte entnommen und die notwendige Breite des Stützlinienbogens, wie unter Punkt 3.2 S. 35 detailliert beschrieben, ermittelt.

ERGEBNIS f. BODEN		
Druckstrebenbreite aufgrund Erddruck		
$b_{\text{Erddr.}}$	3 cm	(Druckstrebenbr.)
a	100 cm	

max $N_{\text{Erddr.}}$	max V	H
-67,19 kN	-56,51 kN	konst.

Bemessung der Betondruckstrebe	
A=	-335,93 cm ²

Abb. 52: Bemessung der Stützbogenbreite

Die erforderliche Stützbogenbreite aus der Bodenauflast ergibt 3 cm.

3.5.3 Eingabe Arbeitsblatt Wasserdruck

3.5.3.1 Eingabe der Geometrie

Die Eingabewerte der Geometrie werden automatisch vom Arbeitsblatt „Eingabemaske ERDDRUCK“ übernommen. (vgl. Punkt 3.5.2.1)

3.5.3.2 Eingabe der Bodenparameter

Auch die Eingabe der Bodenparameter erfolgt bereits im Arbeitsblatt „Eingabemaske ERDDRUCK“ und wird von diesem übernommen. (vgl. Punkt 3.5.2.2) Diese werden aber zwecks Übersicht noch einmal im Arbeitsblatt „Eingabemaske WASSERDRUCK“ angeführt.

3.5.3.3 Eingabe der DSV- Parameter

Die DSV- Parameter werden auch vom Arbeitsblatt „Eingabemaske ERDDRUCK“ übernommen und aus Gründen der Übersichtlichkeit in diesem Arbeitsblatt noch einmal angeführt. (vgl. Punkt 3.5.2.3)

3.5.3.4 Wasserdruckermittlung

Die Belastung durch den Wasserdruck wird durch Eingabe der Höhe des Grundwasserstandes, welche bereits im Arbeitsblatt „Eingabemaske ERDDRUCK“ erfolgt, ermittelt. Näheres zur Berechnung siehe Punkt 3.3.1.

15	errechnete Belastung	
16	w =	80,00 kN/m

Abb. 53: Wasserauflast

3.5.3.5 Darstellung der Stützlinie

Für die Ermittlung, der sich durch eine Wasserauflast ergebenden Stützlinie wurde mit Hilfe eine Hilfstabelle bei gegebenen x-Koordinaten die y-Koordinaten, wie unter Punkt 3.3.1 näher erläutert wurde, herangezogen.

	x_s	α		$y_{Stützlinie}$
	0,90	30,00 °	1,559 m	0,241 m
	0,85	28,18 °	1,587 m	0,213 m
	0,80	26,39 °	1,612 m	0,188 m
	0,75	24,62 °	1,636 m	0,164 m
	0,70	22,89 °	1,658 m	0,142 m
	0,65	21,17 °	1,679 m	0,121 m
	0,60	19,47 °	1,697 m	0,103 m
	0,55	17,79 °	1,714 m	0,086 m
	0,50	16,13 °	1,729 m	0,071 m
	0,45	14,48 °	1,743 m	0,057 m
	0,40	12,84 °	1,755 m	0,045 m
	0,35	11,21 °	1,766 m	0,034 m
	0,30	9,59 °	1,775 m	0,025 m
	0,25	7,98 °	1,783 m	0,017 m
Pfahlachsabst. 0,70m	0,20	6,38 °	1,789 m	0,011 m
	0,15	4,78 °	1,794 m	0,006 m
Pfahlachsabst. 0,80m	0,10	3,18 °	1,797 m	0,003 m
	0,05	1,59 °	1,799 m	0,001 m
Pfahlachsabst. 0,90m	0,00	0,00 °	1,800 m	0,000 m
	-0,05	-1,59 °	1,799 m	0,001 m
Pfahlachsabst. 1,00m	-0,10	-3,18 °	1,797 m	0,003 m
	-0,15	-4,78 °	1,794 m	0,006 m
Pfahlachsabst. 1,10m	-0,20	-6,38 °	1,789 m	0,011 m
	-0,25	-7,98 °	1,783 m	0,017 m
Pfahlachsabst. 1,20m	-0,30	-9,59 °	1,775 m	0,025 m
	-0,35	-11,21 °	1,766 m	0,034 m
Pfahlachsabst. 1,30m	-0,40	-12,84 °	1,755 m	0,045 m
	-0,45	-14,48 °	1,743 m	0,057 m
Pfahlachsabst. 1,40m	-0,50	-16,13 °	1,729 m	0,071 m
	-0,55	-17,79 °	1,714 m	0,086 m
Pfahlachsabst. 1,50m	-0,60	-19,47 °	1,697 m	0,103 m
	-0,65	-21,17 °	1,679 m	0,121 m
Pfahlachsabst. 1,60m	-0,70	-22,89 °	1,658 m	0,142 m
	-0,75	-24,62 °	1,636 m	0,164 m
Pfahlachsabst. 1,70m	-0,80	-26,39 °	1,612 m	0,188 m
	-0,85	-28,18 °	1,587 m	0,213 m
Pfahlachsabst. 1,80m	-0,90	-30,00 °	1,559 m	0,241 m

Tab. 2: Hilfstabelle zur Ermittlung der y- Koordinate der Stützlinie für eine Wasserauflast

Die so, über einfache Winkelumrechnung ermittelten y-Koordinaten, ergeben die in Abb. 54 abgebildete Stützlinienform.

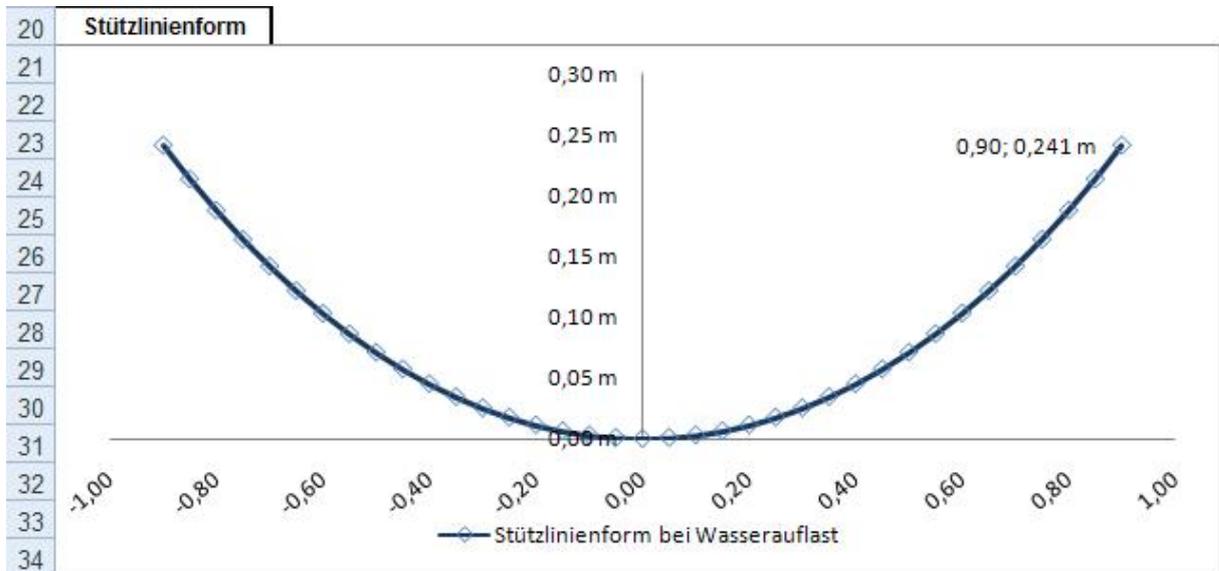


Abb. 54: Stützlinienform (Kreisbogen) durch Wasserauflast

Die ideale Stützlinienform ergibt über die gesamte Länge eine konstante Normalkraft von $N_{\text{Wasserdr.}} = -144,00 \text{ kN}$ (Druck), welche sich über die Druckfestigkeit des DSV- Körpers zu einer Stützbogenbreite von $b_{\text{ges}} = 7 \text{ cm}$ (siehe Abb. 55) errechnen lässt.

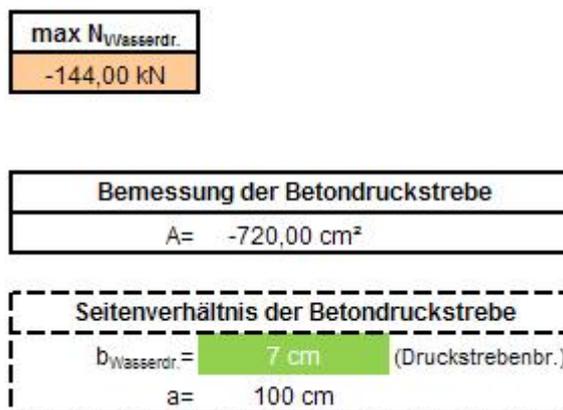


Abb. 55: Bemessung der Stützbogenbreite

3.5.4 Resultat

Die Überlagerung der idealen Stützlinie durch die Bodenauflast und aus einer Wasserauflast ergibt die in Abb. 56 dargestellte Stützlinie.

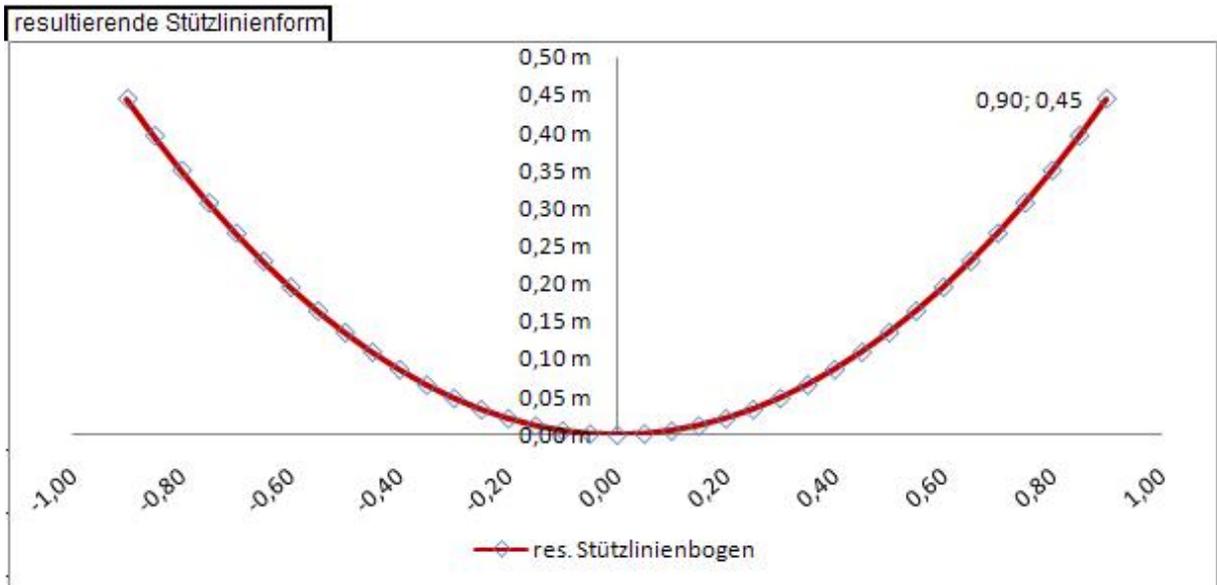


Abb. 56: Darstellung der resultierenden Stützlinienform aus Bodenauflast und Wasserauflast

Die gesamte Stützbogenbreite ergibt im Fall eines Pfahlachsabstandes von 1,80m zu 11cm.

gesamte erforderliche Druckstrebenbreite	
$b_{\text{ges}} = b_{\text{Erdr.}} + b_{\text{Wasserd.}} =$	11 cm (s. Skizze)

Abb. 57: Resultierende Stützbogenbreite

4 Sensitivitätsanalyse

4.1 Allgemeines

Jeder Planer stellt sich zu Beginn der Planungsphase für eine aufgelöste Bohrpfahlwand mit dazwischenliegender DSV-Ausfachung die Frage, wie die auftretenden Lasten sicher und wirtschaftlich am günstigsten, in den Untergrund abgeleitet werden können.

Ziel dieser Sensitivitätsanalyse ist es, für einen bestimmten Boden und eine bestimmte Aushubtiefe, rasch und einfach, eine plausible Abschätzung des größtmöglichen Pfahlachsabstandes zu ermöglichen.

Um nun gezieltere Aussagen über die Sensitivität des „analytischen Stabwerkmodells“ treffen zu können, wurde eine Variation verschiedener Parameter durchgeführt, auf welche im folgenden Punkt näher eingegangen wird.

4.2 Parametervariationen

Als Grundlage wurden für die Parametervariationen aus der, wie unter Punkt 3.5 bereits erwähnten Detailplanung der „Grundwasserwanne Niedermarkt Objekt BN14.W02“ drei repräsentative Pfahlachsabstände mit 1,80m, 2,20m und 2,80m herangezogen und an diesen durchgeführt.

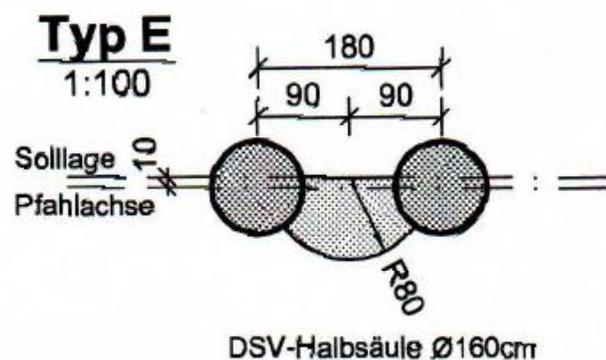


Abb. 58: Repräsentativer Pfahlachsabstand von 1,80m für die Parametervariation (KELLER Grundbau GmbH, 2006)

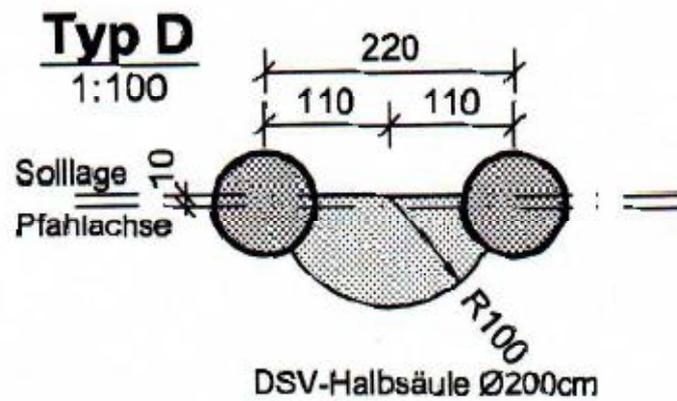


Abb. 59: Repräsentativer Pfahlachsabstand von 2,20m für die Parametervariation (KELLER Grundbau GmbH, 2006)

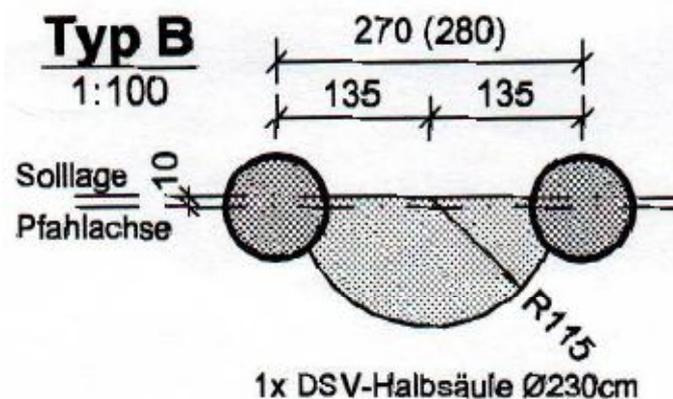


Abb. 60: Repräsentativer Pfahlachsabstand von 2,80m für die Parametervariation (KELLER Grundbau GmbH, 2006)

Der Grund für die Wahl dieser Pfahlachsabstände war die im Projekt vorgesehene Ausführung mittels **einer** DSV-Halbsäule und nicht **zweier** DSV-Halbsäulen (siehe Abb. 58, Abb. 59 und Abb. 60).

Die Ausführung **einer** DSV-Halbsäule wird durch das „analytische Stabwerksmodell“ (vgl. Kapitel 3 „Bedienungsanleitung Excel File“) gegenüber anderen Herstellungsvarianten (zwei- oder drei DSV-Halbsäulen) besser beschrieben.

Im folgenden Unterpunkt wird auf die Annahme, welche für die Parametervariationen getroffen wurde, näher eingegangen.

4.2.1 Annahme für die Parametervariationen

Die Parametervariationen wurden der Vereinfachung halber nur für eine Erdauflast durchgeführt.

Als Boden wurde, wie bereits in Punkt 3.5.2.2 (Eingabe der Bodenparameter) erwähnt, ein Donschotter angenommen. (siehe nochmals in Abb. 61)

10	Bodenparameter	
11	$\varphi =$	35,0 °
12	$\alpha =$	0,0 °
13	$\beta =$	0,0 °
14	$\delta =$	23,3 °
15	$c =$	0,00 kN/cm ²
16	$\gamma_t =$	21,00 kN/m ³
17	$\gamma' =$	12,00 kN/m ³
18	$\gamma_w =$	10,00 kN/m ³

Abb. 61: Bodenkennwerte für die Parametervariationen

4.2.2 Übersicht der Parametervariationen

Folgende Parametervariationen wurden gemacht:

- Variation der Pfahlachsabstände
- Variation der DSV-Festigkeit
- Variation der Lage der DSV-Unterkante

HINWEIS: Die Variationen der Pfahlachsabstände, der Lage der DSV-Unterkante und der DSV-Festigkeit wurde mit einem um 75% Ruhedruck erhöhten aktiven Erddruck durchgeführt.

4.2.2.1 Variation der Pfahlachsabstände

Eine Variation der Pfahlachsabstände unterliegt, aufgrund technischer Herstellungsgrenzen einem direkten Zusammenhang mit dem Radius des DSV-Körpers. Wie bereits zuvor erwähnt, wurde für folgende Pfahlachsabstände eine Studie durchgeführt.

- Pfahlachsabstand 1,80m → DSV-Radius 0,80m
- Pfahlachsabstand 2,20m → DSV-Radius 1,00m
- Pfahlachsabstand 2,80m → DSV-Radius 1,15m

Zusätzlich zu der Variation dieser drei Pfahlachsabstände wird ein Pfahlachsabstand von 3,00m, der beim Objekt „Grundwasserwanne Niedermarkt“ mit zwei DSV-Halbsäulen hergestellt wurde, näher untersucht.

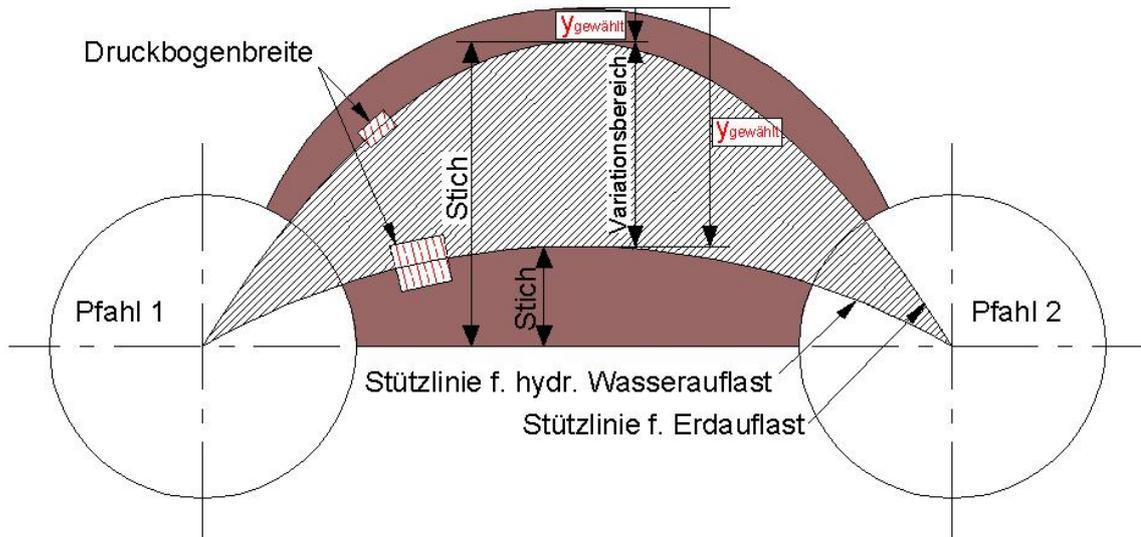


Abb. 62: Darstellung des Variationsbereiches für die Lage der Mittellinie für den idealen Stützlinienbogen

Abb. 62 stellt symbolisch den Variationsbereich des Bogenstiches y_{Stich} dar. Der Ausgangspunkt (obere Grenze) von $y_{\text{gewählt}}$ ist bei jedem Pfahlachsabstand gleich

$$y_{\text{gewählt}} = 0,10 \text{ m} \quad (4.1)$$

daraus folgt,

$$y_{\text{Stich}} = DSV_{\text{Radius}} - y_{\text{gewählt}} \quad (4.2)$$

Als unterste Grenze für den Stich des Parabelbogens wurde der Stich für die Stützlinie, der sich durch eine hydraulische Wasserauflast ergibt angenommen, welcher je nach Pfahlachsabstand variiert.

Bei einem Pfahlachsabstand von 1,80m bildet sich durch die im Excel-File getroffenen Annahmen ein Stich von $\sim 0,25\text{m}$ aus. Um einen Vergleich der Variation der Pfahlachsabstände anhand der Diagramme zu erleichtern wird auch für einen Pfahlachsabstand von 2,20m und 2,80m als unterste Grenze ein Bogenstich von 0,25m gewählt.

In diesem Variationsbereich findet die Sensitivitätsanalyse statt. Sie soll Aufschluss über den Einfluss der Variation des Bogenstiches auf die max. Druckkraft im Auflagerbereich des DSV-Körpers an den Bohrpfählen geben.

„Betrachtet man jedoch das Material (den DSV-Körper) für sich, so hat dies generell die Tendenz sich nach Möglichkeit der Last zu entziehen.“⁵ D.h. den Bereich, der mittels DSV-Körper zur Ableitung der Lasten in die Bohrpfähle zur Verfügung steht, wird bis zum äußersten (geometrischen) Rand ausgenutzt und sich als ideale Stützlinie jene mit dem größtmöglichen Bogenstich ausbilden.

Auf die Ergebnisse der Variation und deren Interpretation wird unter Punkt 4.3 (Ergebnisse und Interpretation) eingegangen.

Pfahlachsabstand 1,80m

Bei einem Pfahlachsabstand von 1,80m wurde der DSV-Körper im Projekt „Umfahrung Klosterneuburg, Grundwasserwanne Niedermarkt“ mit einem Radius von 0,80m ausgeführt. Variiert wird nun, wie unter Pkt. 4.2.2.1 bereits ausführlich beschrieben, die Lage der Mittelachse des parabelförmigen Stützlinienbogens nur für Belastung durch das Bodeneigengewicht.

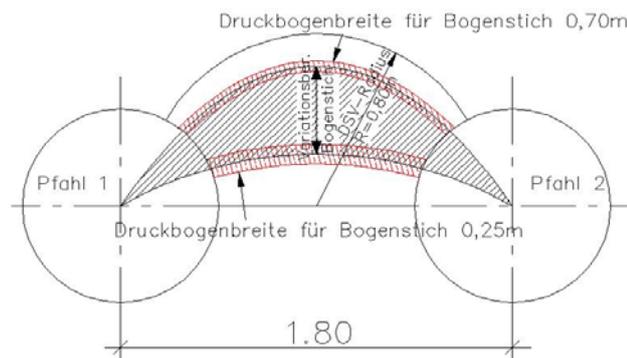


Abb. 63: Darstellung des Bereichs für die mögliche Lage der idealen Stützlinie bei einem Pfahlachsabstand von 1,80m

Wie in Abb. 63 dargestellt, legt die schraffiert hinterlegte Fläche den Variationsbereich des Bogenstiches bei einem Pfahlachsabstand von 1,80m und einem DSV-Radius von 0,80m dar. Wobei, wie bereits im vorigen Punkt erwähnt, die untere Begrenzungslinie der schraffierten Fläche durch die ideale Stützlinie für eine Wasserauflast dargestellt wird. Wie aus der grün hinterlegte Zelle in Abb. 64 ersichtlich ist, wurde als unterste betrachtete Grenze ein Bogenstich von rund 0,25m angenommen.

Die rot schraffierten Flächen um die obere und untere Begrenzungslinie des Variationsbereiches zeigen schematisch die Druckbogenbreiten für den jeweiligen Bogenstich. Auf die Druckbogenbreite wird bei der Interpretation der Ergebnisse noch näher eingegangen.

⁵ Tagungsband der 7. Österreichischen Geotechniktagung, aus dem Beitrag „Erfolgreiche Sanierung des Rettungsschacht RS09 bei der Neubaustrecke der Eisenbahn im Unterinntal Baulos H3-4“, Dipl.-Ing. STANGL (Step-ZT) Seite 291 Punkt 3.2

	A	B	C	D	E	F
1	Geometrie		statische Eigenschaften +/- 10cm Toleranz			
2	∅ Pfahl [m]	0,90 m	Spannw. zw. Pfählen	0,90 m	$R_{Stütz.} =$	1,80 m
3	Achsabstand [m]	1,80 m	Stich der Stützlinie	0,241 m		
4	Pfahltoleranz [m]	+/- 0,00 m	lichte Achsabstand	0,90 m		
5	GOK bis DSV-UK	2,00 m				
6	GW-OK bis DSV-UK	0,00 m				

Abb. 64: Darstellung der „Eingabemaske WASSERDRUCK“, grün hinterlegt die Stichhöhe der idealen Stützlinie

Pfahlachsabstand 2,20m

Bei einem Pfahlachsabstand von 2,20m wurde der DSV-Körper beim Objekt „Grundwasserwanne Niedermarkt“ mit einem Radius von 1,00m ausgeführt.

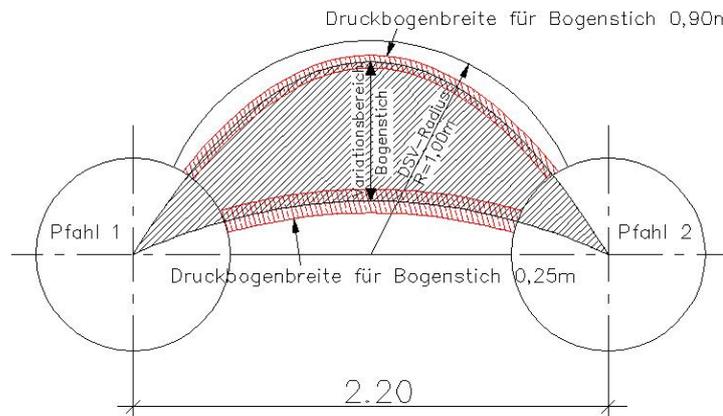


Abb. 65: Darstellung des Bereichs für die mögliche Lage der idealen Stützlinie bei einem Pfahlachsabstand von 2,20m

In Abb. 65 gibt die schraffierte Fläche den möglichen Bereich für die Lage der idealen Stützlinie bei einem Pfahlachsabstand von 2,20m an.

Bei diesem Pfahlachsabstand ergibt sich unter den getroffenen Annahmen bei Berücksichtigung einer Wasserauflast ein Bogenstich von 0,295m (vgl. auf der nächsten Seite in Abb. 66 die grün hinterlegte Zelle).

Zur Vereinfachung der Interpretation wurde die Sensitivitätsanalyse bei diesem Pfahlachsabstand mit der untersten Grenze des Bogenstiches beim Pfahlachsabstand 1,80m, von 0,25m angenommen.

Die rot schraffierten Flächen um die obere und untere Begrenzungslinie des Variationsbereiches zeigen auch hier schematisch die Druckbogenbreiten für den jeweiligen Bogenstich.

	A	B	C	D	E	F
1	Geometrie		statische Eigenschaften +/- 10cm Toleranz			
2	∅ Pfahl [m]	0,90 m	Spannw. zw. Pfählen	1,30 m	$R_{\text{Stütz.}} =$	2,20 m
3	Achsabstand [m]	2,20 m	Stich der Stützlinie	0,295 m		
4	Pfahltoleranz [m]	+/- 0,00 m	lichte Achsabstand	1,30 m		
5	GOK bis DSV-UK	2,00 m				
6	GW-OK bis DSV-UK	0,00 m				

Abb. 66: Darstellung der „Eingabemaske WASSERDRUCK“, grün hinterlegt die Stichhöhe der idealen Stützlinie

Pfahlachsabstand 2,80m

Bei einem Pfahlachsabstand von 2,80m wurde der DSV-Körper beim Objekt „Grundwasserwanne Niedermarkt“ mit einem Radius von 1,15m ausgeführt.

In der Abb. 67 stellt die schraffierte Fläche den möglichen Bereich für die Lage der idealen Stützlinie bei einem Pfahlachsabstand von 2,80m dar.

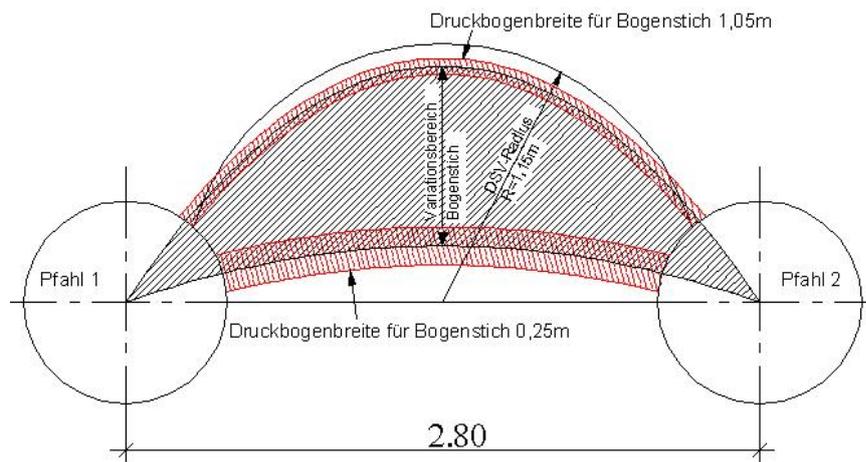


Abb. 67: Darstellung des Bereichs für die mögliche Lage der idealen Stützlinie bei einem Pfahlachsabstand von 2,80m

Bei diesem Pfahlachsabstand ergibt sich unter den getroffenen Annahmen bei Berücksichtigung einer Wasserauflast ein Bogenstich von 0,375m (vgl. auf der nächsten Seite in Abb. 66 die grün hinterlegte Zelle).

Zur Vereinfachung der Interpretation wurde die Sensitivitätsanalyse auch bei diesem Pfahlachsabstand mit der untersten Grenze des Bogenstiches beim Pfahlachsabstand 1,80m, von 0,25m angenommen.

Die rot schraffierten Flächen um die obere und untere Begrenzungslinie des Variationsbereiches zeigen auch hier schematisch die Druckbogenbreiten für den jeweiligen Bogenstich.

	A	B	C	D	E	F
1	Geometrie		statische Eigenschaften +/- 10cm Toleranz			
2	∅ Pfahl [m]	0,90 m	Spannw. zw. Pfählen	1,90 m	$R_{\text{Stütz.}} =$	2,80 m
3	Achsabstand [m]	2,80 m	Stich der Stützlinie	0,375 m		
4	Pfahltoleranz [m]	+/- 0,00 m	lichte Achsabstand	1,90 m		
5	GOK bis DSV-UK	2,00 m				
6	GW-OK bis DSV-UK	0,00 m				

Abb. 68: Darstellung der „Eingabemaske WASSERDRUCK“, grün hinterlegt die Stichhöhe der idealen Stützlinie

Pfahlachsabstand 3,00m

Die Abb. 69 zeigt den beim Objekt „Grundwasserwanne Niedermarkt“ ausgeführten Pfahlachsabstand von 3,00m mittels zwei DSV-Säulen mit einem Radius von jeweils 0,80m.

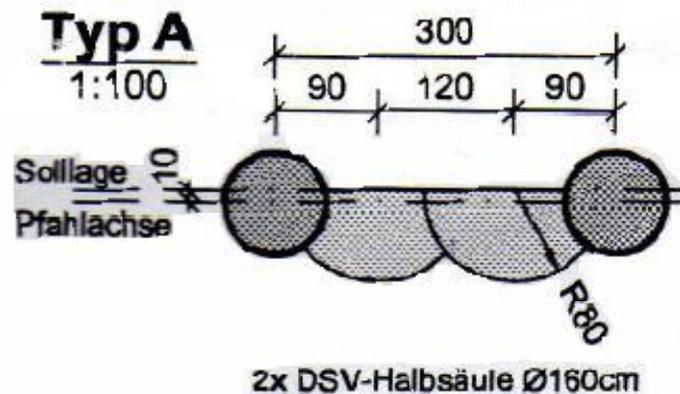


Abb. 69: zeigt eine DSV-Ausfächung für einen Pfahlachsabstand von 3,00m mittels zweier Halbsäulen mit einem Radius von 0,80m (KELLER Grundbau GmbH, 2006)

Verfolgt man hier nun den unter Punkt 4.2.2.1 (auf der Seite 56 oben) zitierten Grundsatz, „Betrachtet man jedoch das Material (den DSV-Körper) für sich, so hat dies generell die Tendenz sich nach Möglichkeit der Last zu entziehen.“, so wird sich der in Abb. 70 abgebildete Stützlinienbogen zur Lastableitung einstellen.

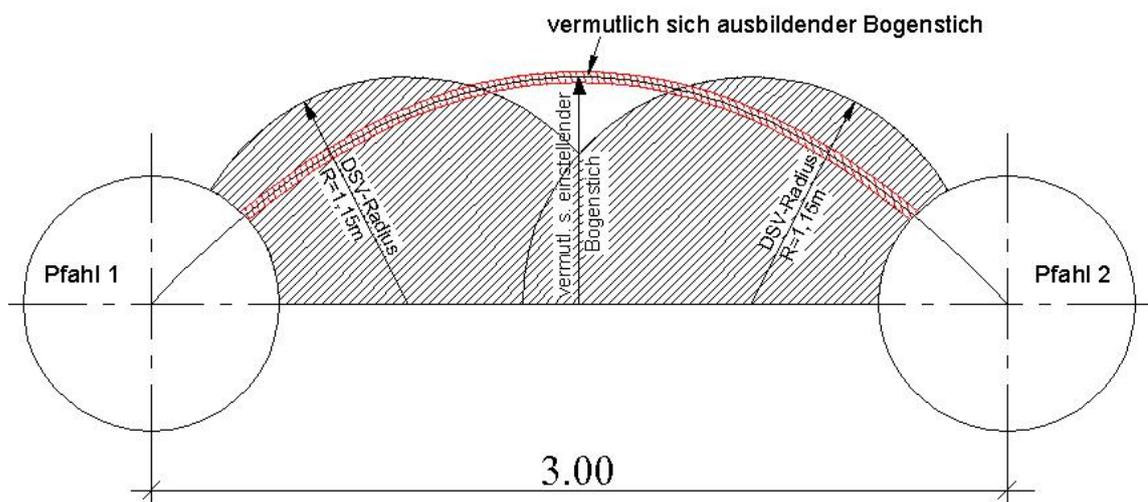


Abb. 70: zeigt den sich vermutlich ausbildenden Bogenstich zur Lastabtragung

Sollte sich, der in der vorigen Abbildung eingezeichnete Bogenstich im DSV-Körper tatsächlich ausbilden, wäre im obersten Bereich der ideale Stützbogen unterbrochen was die Folge hat, das die Belastung nicht alleine durch Druckkräfte zu den Pfählen abgetragen werden kann, sondern zusätzlich Momente und Querkräfte zur Lastabtragung aktiviert werden. Durch diese hervorgerufenen Momente und Querkräfte kann es zu, vielleicht nicht äußerlich erkennbaren, Spannungskonzentrationen kommen, welche Schäden an der Struktur des DSV-Körpers hervorrufen können.

4.2.2.2 Variation der Lage der DSV-Unterkante

Da das „analytische Stabwerksmodell“ jeweils nur die Berechnung in einer Aushubtiefe ermöglicht, somit eine Betrachtung in der Ebene darstellt, wird auch eine Variation der DSV-Unterkante in Kombination mit einer Variation mit den in Punkt 4.2.2.1 vorgestellten Pfahlachsabständen gemacht.

Anhand der gewonnen Diagramme soll es möglich sein, eine technisch und wirtschaftlich günstige DSV-Unterkantengrenze festzulegen und gleichzeitig eine Aussage, über die Ausscheidung der, bei den jeweiligen Tiefen, nicht in Frage kommenden Pfahlachsabständen machen zu können.

Folgende Variationen der Lage der DSV-UK werden untersucht.

- GOK – DSV-UK = 8,00m
- GOK – DSV-UK = 10,00m
- GOK – DSV-UK = 12,00m
- GOK – DSV-UK = 14,00m
- GOK – DSV-UK = 16,00m
- GOK – DSV-UK = 18,00m
- GOK – DSV-UK = 20,00m

4.3 Ergebnisse und Interpretation

4.3.1 Variation der Pfahlachsabstände bei einer Aushubtiefe von 12,00m

- Entwicklung der Druckkraft im Auflagerbereich des idealen Stützlinienbogens bei Variation des Bogenstichs

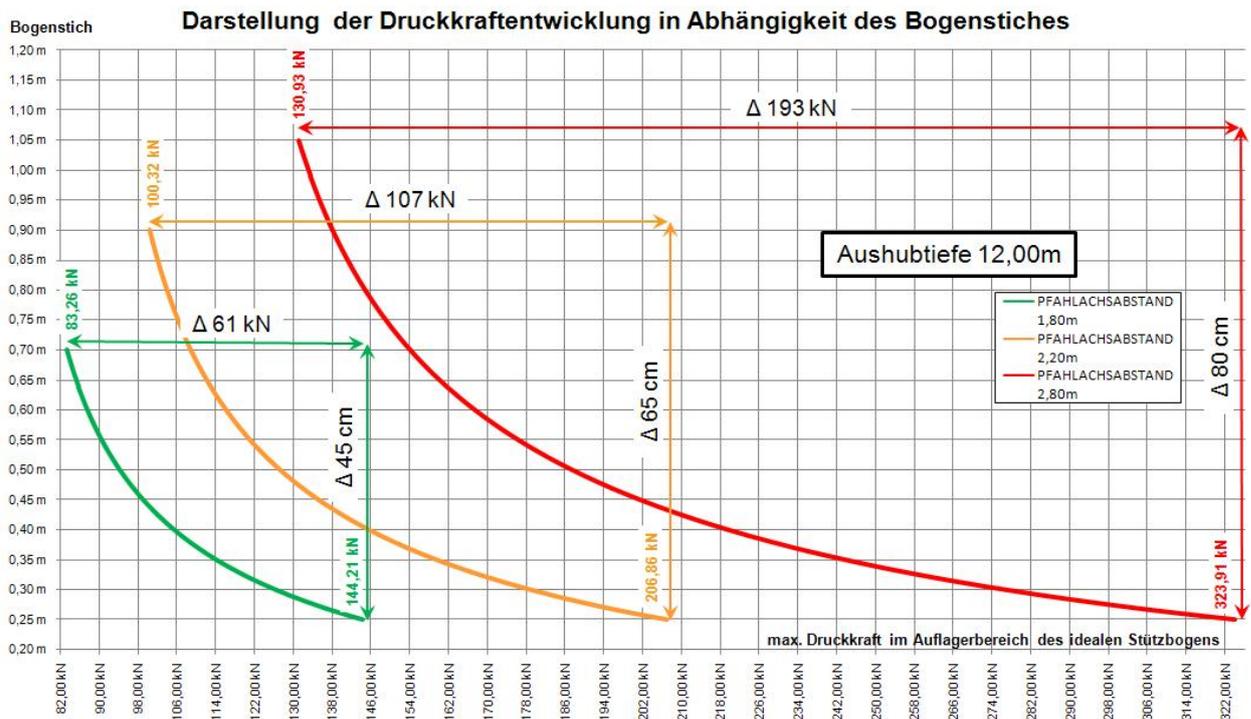


Abb. 71: Darstellung der Druckkraftentwicklung (im Auflagerbereich des „idealen“ Stütz Bogens) bei Variation des Bogenstiches

Abb. 71 zeigt die Druckkraftentwicklung im Auflagerbereich (Kontaktfläche zwischen DSV-Körper und Bohrpfehl) des idealen Stütz Bogens in Abhängigkeit von dessen Stich.

Es wurde eine Variation des Bogenstiches für einen Pfahlachsabstand von 1,80m, 2,20m und 2,80m bei einer Aushubtiefe von 12,00m durchgeführt. Die Druckkräfte entsprechen einem um 75% Ruhedruckanteil erhöhten aktiven Erddruck.

Vergleicht man den auf der Ordinate aufgetragenen Bogenstich mit der, auf der Abszisse aufgetragenen Druckkraft, so lässt sich erwartungsgemäß erkennen, dass bei einem großen (hohen) Bogenstich die Druckkraft im Stützbogen um einiges kleiner ist als bei einem kleinen (niedrigen) Bogenstich. Beträgt die Zunahme bei einem Pfahlachsabstand von 1,80m (grüne Kurve) nicht ganz das Doppelte, so beträgt sie bei einem Pfahlachsabstand von 2,20m bereits schon etwas mehr als das Doppelte und bei einem Pfahlachsabstand von 2,80m bereits knapp das Zweieinhalbfache.

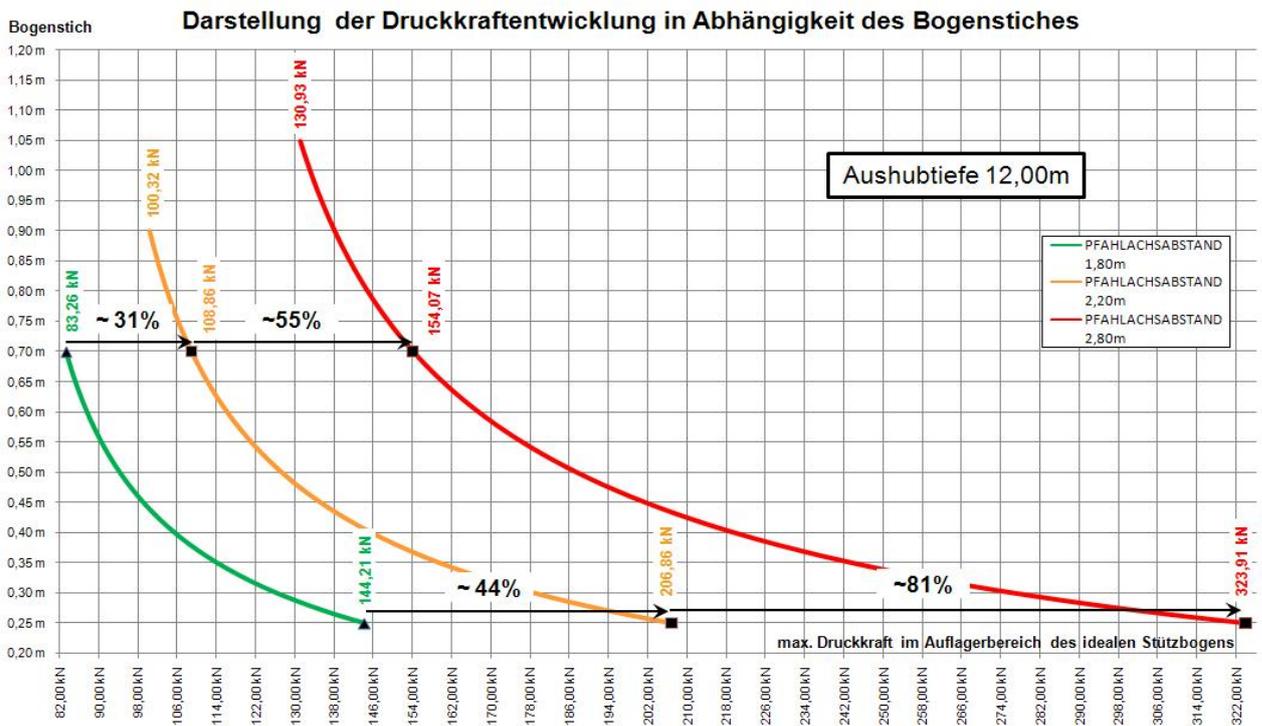


Abb. 72: Darstellung der prozentuellen Erhöhung der Druckkraft in ein und demselben Punkt bei Variation des Pfahlachsabstandes

Betrachtet man nun bei einem Bogenstich (Ordinate) von 0,70m die drei Kurven, so beträgt die Zunahme von einem Pfahlachsabstand von 1,80m auf 2,20m „nur“ 31%, jedoch beträgt die Zunahme bei einem Übergang von einem Pfahlachsabstand von 2,20m auf 2,80m bereits 55%.

Bei einem Bogenstich von nur 0,25m beträgt der Zuwachs von einem Pfahlachsabstand von 1,80m auf 2,20m rund 44% und von einem Pfahlachsabstand von 2,20m auf 2,80m beträchtliche 81%.

Berücksichtigt man hier wieder den Grundsatz „Betrachtet man jedoch das Material (den DSV-Körper) für sich, so hat dies generell die Tendenz sich nach Möglichkeit der Last zu entziehen.“ (STANGL, 2009) so kann man davon ausgehen, dass sich immer der größtmögliche Stich im DSV-Körper ausbilden wird und somit die Grenzen im Bereich der technischen und geometrischen Herstellungsmöglichkeiten liegen.

4.3.2 Variation der Pfahlachsabstände bei einer Aushubtiefe von 12,00m und gleichzeitiger Variation der DSV-Druckfestigkeiten

Da die erreichbare DSV-Druckfestigkeit neben den Bodeneigenschaften auch sehr wesentlich vom Zementgehalt im DSV-Körper abhängig ist, und dieser wiederum einen großen Anteil an den Kosten ausmacht, wird im Folgenden eine Variation der Druckfestigkeiten betrachtet.

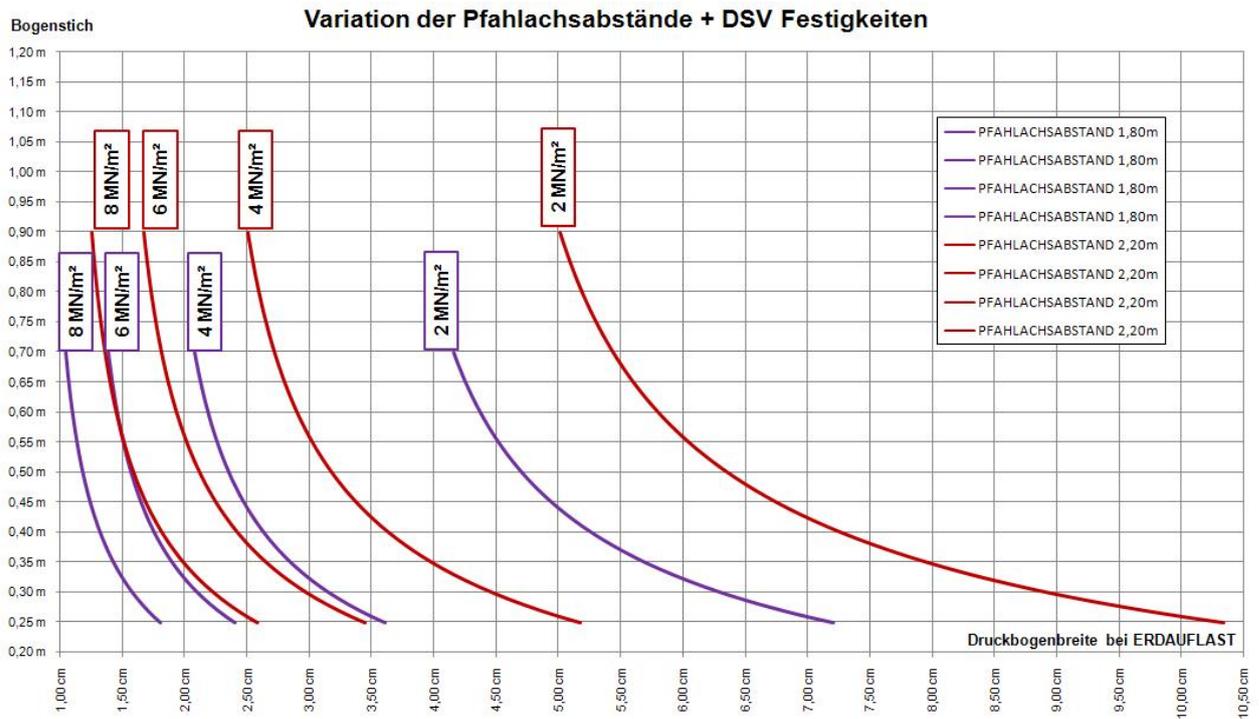


Abb. 73: Darstellung der Entwicklung der Druckbogenbreite bei gleichzeitiger Variation der DSV-Festigkeiten von 2MN/m², 4MN/m², 6MN/m² und 8MN/m² anhand der Pfahlachsabstände von 1,80m und 2,20m

Das Diagramm in Abb. 73 zeigt die Entwicklung der Druckbogenbreite bei einer Erdauflast bei Variation des Bogenstiches und einer gleichzeitigen Variation der DSV-Festigkeiten von 2MN/m², 4MN/m², 6MN/m² und 8MN/m² für die Pfahlachsabstände 1,80m und 2,20m.

Betrachtet man die Abszisse so fällt erstmals auf, dass sich über die betrachteten Bereiche eine relativ geringe Druckbogenbreite um die ideale Stützlinie im DSV-Körper ausbildet.

Zum anschaulichen Vergleich ist in folgender Abbildung schematisch für einen Pfahlachsabstand von 2,20m die Druckbogenbreite für den größten (höchsten) sich ausbildenden Bogenstich und den kleinsten (niedrigsten) sich ausbildenden Bogenstich eingezeichnet.

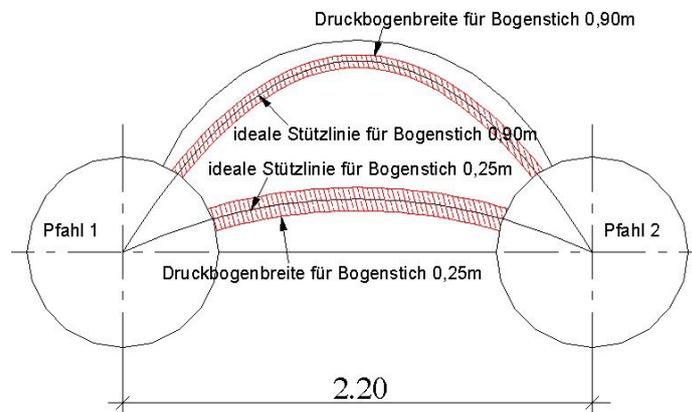


Abb. 74: schematische Darstellung der Druckbogenbreiten für einen Bogenstich von 0,25m und 0,90m

Sehr markant ist in Abb. 73 die sprunghafte Zunahme der Druckbogenbreite bei einer DSV-Druckfestigkeit von 2MN/m^2 . Hierbei ist anzumerken, dass die Datengrundlage für diese Darstellung keine Sicherheit auf Seite der DSV-Festigkeits beinhaltet (vgl. Punkt 3.5.2.4 Teilsicherheitsfaktoren).

Das Diagramm verdeutlicht, dass im Bereich einer Druckfestigkeit von 4MN/m^2 bis 8MN/m^2 aufgrund des relativ geringen Zuwachses an der Druckbogenbreite es unter Umständen vertretbar wäre, in der Ausführungsphase eine bewusste Herabsetzung der DSV-Druckfestigkeit vorzunehmen, um so eine kostengünstigere Herstellung zu erreichen.

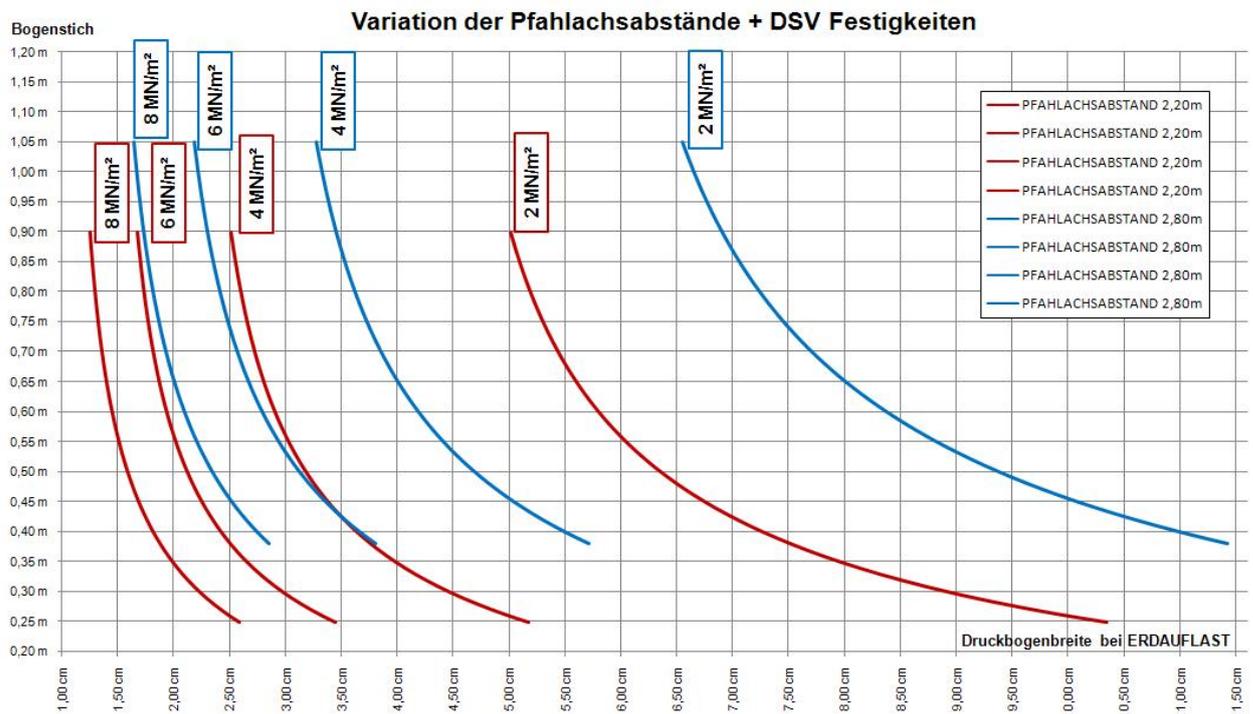


Abb. 75: Darstellung der Entwicklung der Druckbogenbreite bei gleichzeitiger Variation der DSV-Festigkeits von 2MN/m^2 , 4MN/m^2 , 6MN/m^2 und 8MN/m^2 anhand der Pfahlachsabstände von 1,80m und 2,20m

Das Diagramm in Abb. 75 veranschaulicht genau wie das Diagramm in Abb. 73 die Entwicklung der Druckbogenbreite bei einer Erdauflast bei Variation des Bogenstiches und einer gleichzeitigen Variation der DSV-Festigkeits von 2MN/m^2 , 4MN/m^2 , 6MN/m^2 und 8MN/m^2 für die Pfahlachsabstände 2,20m und 2,80m.

Auch in dieser Abbildung ist sehr schön die rasche Zunahme der Druckbogenbreite bei einer DSV-Druckfestigkeit von nur 2MN/m^2 erkennbar.

4.3.3 Variation der Lage der DSV-Unterkante

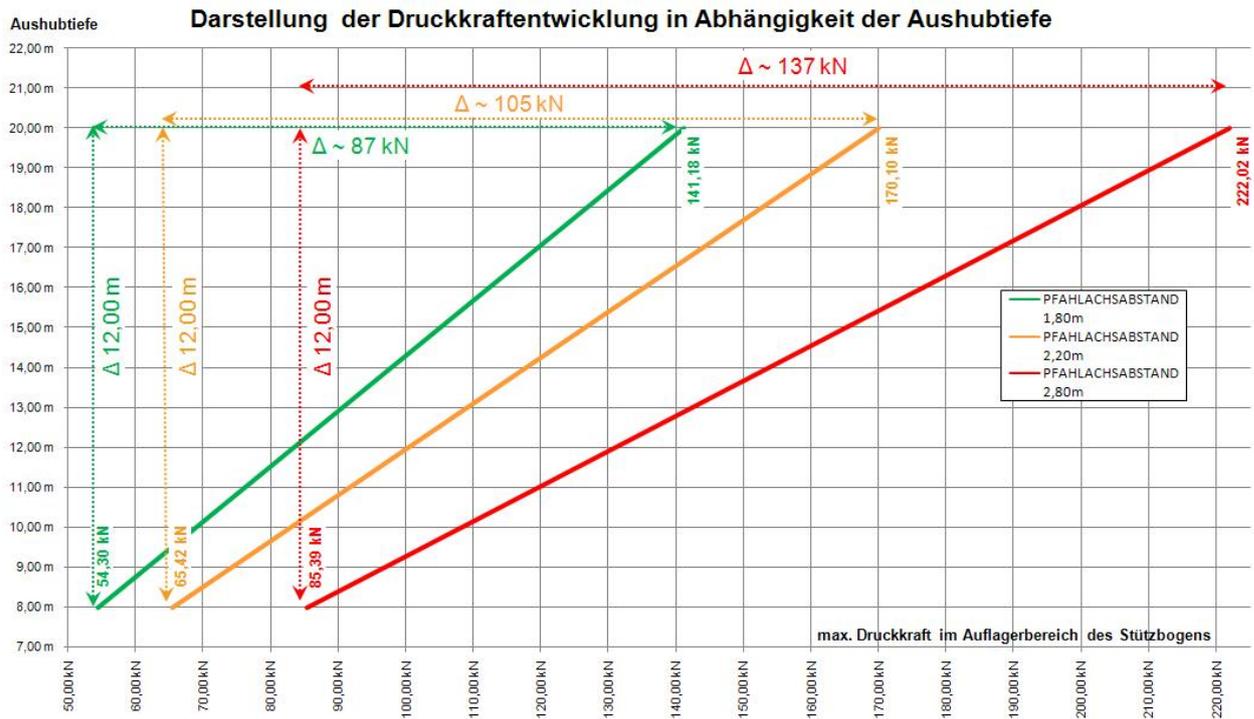


Abb. 76: Darstellung der Druckkraftverläufe für einen Pfahlachsabstand von 1,80m, 2,20m, 2,80m bei Variation der Aushubtiefe

Das Diagramm in Abb. 76 zeigt die Entwicklung der Druckkraft im DSV-Körper für einen Pfahlachsabstand von 1,80m (grüne Linie), 2,20m (orange Linie) und 2,80m (rote Linie).

Als Ausgangspunkt für die Erstellung dieses Diagrammes wurde der unter Punkt 4.2.2.1 (Seite 61 oben) zitierte Grundsatz „Betrachtet man jedoch das Material (den DSV-Körper) für sich, so hat dies generell die Tendenz sich nach Möglichkeit der Last zu entziehen.“ herangezogen und für jeden Pfahlachsabstand der größtmögliche, sich im DSV-Körper ausbildende, Bogenstich herangezogen, um so einen anschaulichen Verlauf zu erhalten.

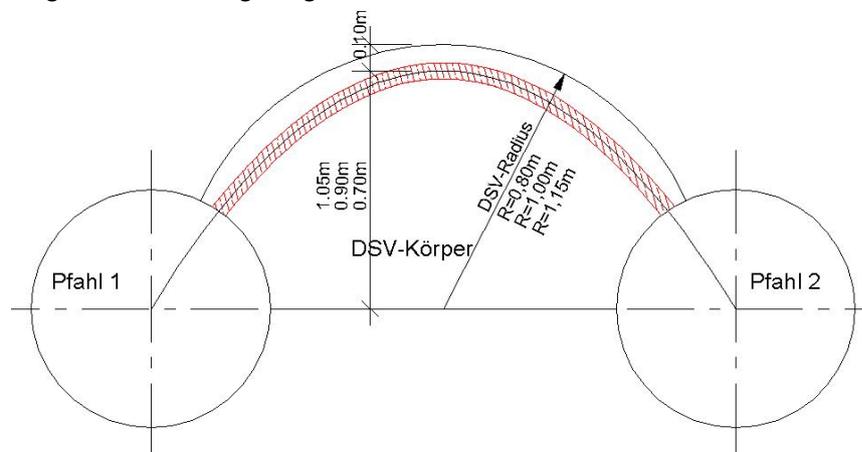


Abb. 77: Darstellung der Wahl des Bogenstichs für die Variation der DSV-Unterkante

Abb. 77 zeigt die Annahme des größtmöglichen Bogenstiches, welcher in einem direkten Zusammenhang mit dem DSV-Radius steht.

Betrachtet wurde für jeden Pfahlachsabstand eine Aushubtiefe von 8,00m, 10,00m, 12,00m, 14,00m, 16,00m, 18,00m und 20,00m.

Deutlich zu erkennen ist, dass sich für jeden Pfahlachsabstand die Kräfte im DSV-Körper entsprechend einer Linearen entwickeln. Nimmt man bei einem Pfahlachsabstand von 1,80m (grüne Linie) den Kräftezuwachs über die Aushubtiefe von 8,00m bis 20,00m mit 100% (87kN) zu so beträgt bei einem Pfahlachsabstand von 2,20m der Zuwachs bereits um 20% und bei einem Pfahlachsabstand von 2,80m bereits um 57% mehr. (Berechnung dazu siehe Tab. 3)

Achsabstand	1,80 m			Zunahme
Tiefe	max $N_{ErdDr.}$			
8,00 m	54,30 kN	86,88 kN	100%	0%
20,00 m	141,18 kN			
Achsabstand	2,20 m			
Tiefe	max $N_{ErdDr.}$			
8,00 m	65,42 kN	104,68 kN		20%
20,00 m	170,10 kN			
Achsabstand	2,80 m			
Tiefe	max $N_{ErdDr.}$			
8,00 m	85,39 kN	136,63 kN		57%
20,00 m	222,02 kN			

Tab. 3: Berechnung des Kräftezuwachses

Das Diagramm in Abb. 78 soll nun einen einfachen Ansatz liefern, um über die fixe Annahme einer maximal erlaubten Druckkraft, für den jeweiligen Pfahlachsabstand eine DSV-Grenztiefe zu erhalten.

Die Maximalkraft kann mit dem, in dieser Arbeit entwickelten (Beschreibung unter Kapitel 3) Excel-Programm, unter Eingabe der Bodenparameter und den gewünschten geometrischen Randbedingungen, rasch errechnet werden.

In folgender Abbildung wurde eine Maximalkraft von 140,00kN gewählt. Verfolgt man von der Ordinate aus die vertikal strichlierte Linie, so kann man auf der Ordinate bei einem gewünschten Pfahlachsabstand eine DSV-Grenztiefe (Aushubtiefe) von 13,90m ablesen. Bei einem Pfahlachsabstand von 2,20m würde die DSV-Grenztiefe (Aushubtiefe) rund 16,50m betragen.

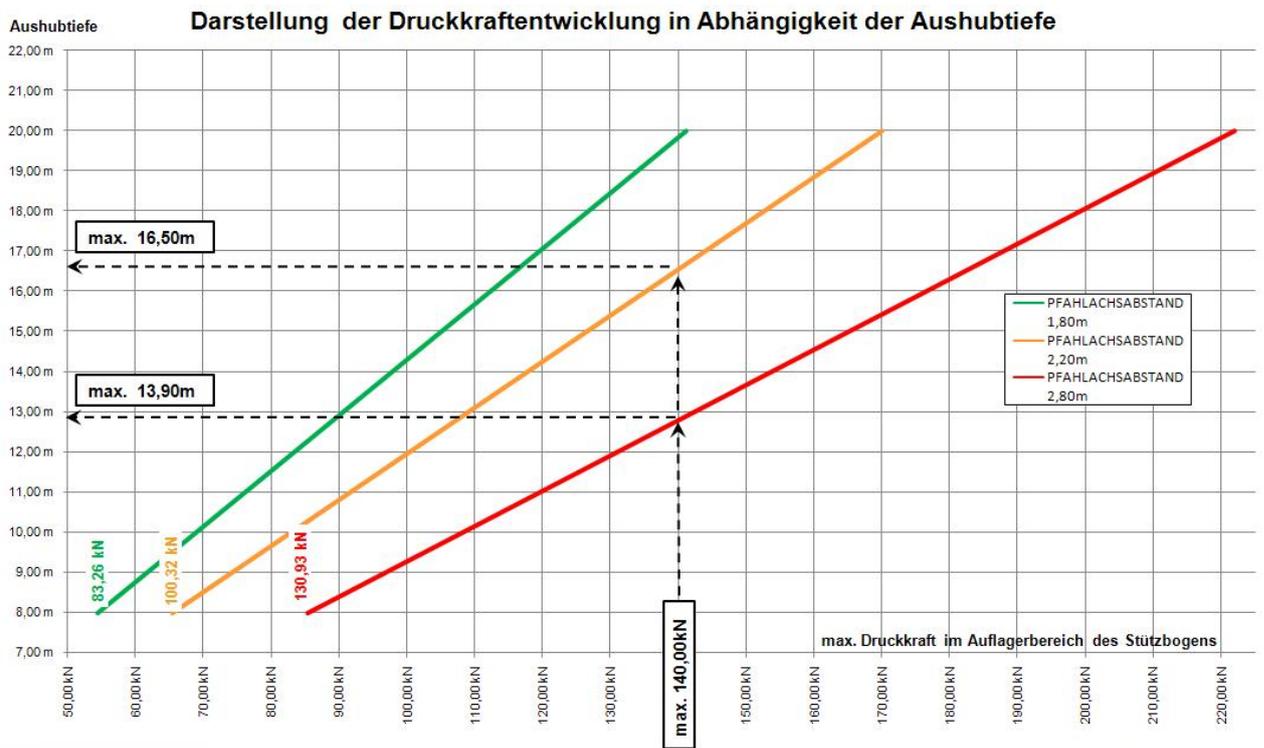


Abb. 78: Darstellung der Wahl eines geeigneten Pfahlachsabstandes für eine gewisse Belastung

4.3.4 Mögliche Ursachen für Schäden an der DSV-Struktur

Im Zuge der genaueren Betrachtung der Unterlagen über die Detailplanung der „Grundwasserwanne Niedermarkt Objekt BN14.W02“ sind im speziellen zwei Pfahlachsabstände aufgefallen, wo es unter den dieser Arbeit zugrundeliegenden Annahmen zu Schadensfällen an der DSV-Struktur im Zuge der Lastableitung kommen könnte.

- Pfahlachsabstand 2,80m
- Pfahlachsabstand 3,00m

Pfahlachsabstand 2,80m

Die Abb. 79 auf der nächsten Seite zeigt, dass unter der Annahme, dass das Material des DSV-Körpers sich nach Möglichkeit der Last zu entziehen versucht, und sich somit der größtmögliche Stich ausbilden wird, im Anschlussbereich vom DSV-Körper an die Bohrpfähle, der Druckbogen nicht zur Gänze durch den DSV-Körper abgedeckt wird (rot umrandeter Bereich).

Gerade im Anschlussbereich, wo die größten Druckkräfte auftreten und in den Bohrpfahl abgeleitet werden müssen, wäre ein großzügigeres „anjetten“ der Bohrpfähle von größter Wichtigkeit.

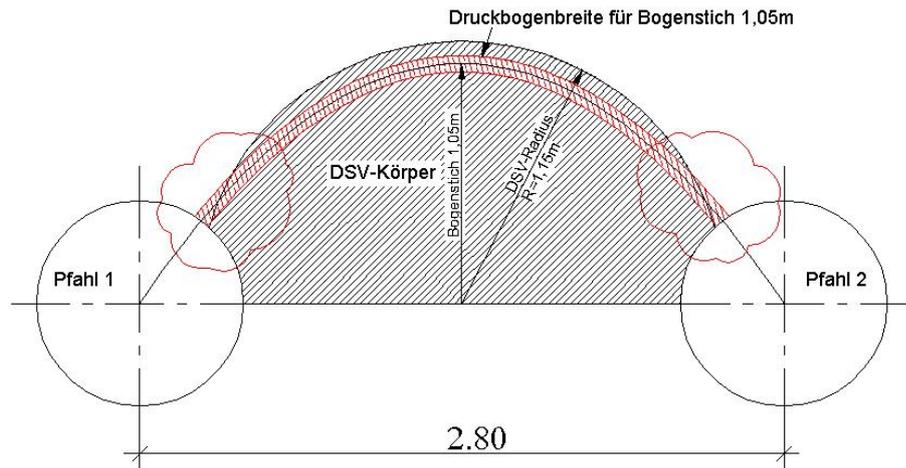


Abb. 79: zeigt eine Störung des Druckbogens durch das Nichtvorhandensein des DSV-Körpers beim Anschlussbereich DSV-Bohrpfähle

Abb. 80 zeigt eine mögliche Lösung um den Lasteinleitungsbereich um den Pfahl zu vergrößern. Hierbei bräuchte bei der Erstellung der DSV-Halbsäule in gegebenem Bereich nur kurzzeitig die Drehbewegung verlangsamt werden, um einen größeren Einflussradius des Schneidstrahles zu erreichen. Eine Veränderung der Drehbewegung während des Düsens müsste hinsichtlich ihrer gerätetechnischen Durchführbarkeit noch überprüft werden.

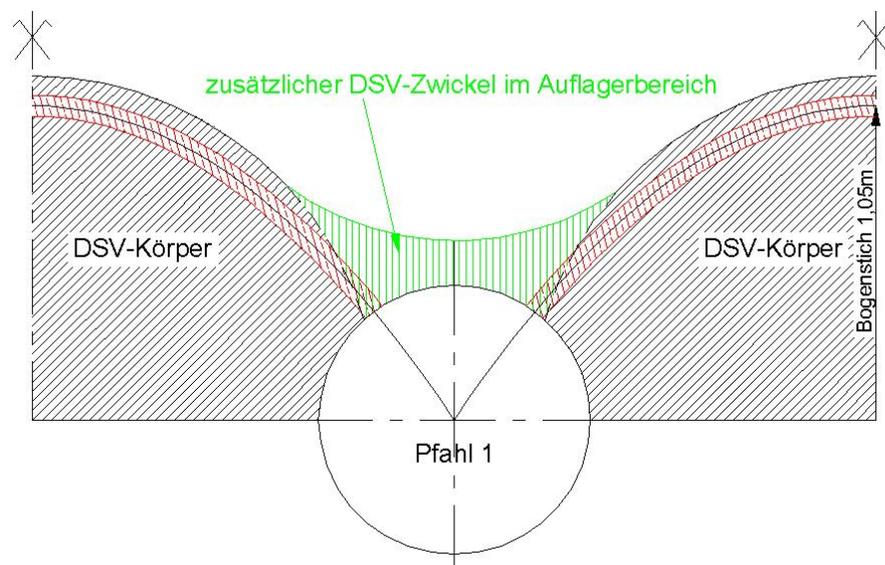


Abb. 80: zeigt eine mögliche Lösung um den Lasteinleitungsbereich im Auflagerbereich zu vergrößern

Pfahlachsabstand 3,00m

Betrachtet man noch einmal die Abb. 70 (siehe Seite 64 unten) so ist deutlich zu erkennen, dass sich im Bereich des Bogenstiches keine Stützlinie ausbilden kann.

Die zusätzlich auftretenden Momente und Querkräfte könnten durch die Ausbildung eines DSV-Zwickels an der „Firste“, zu alleinigen Druckkräften kompensiert werden. Die Ausbildung des Zwickels würde lediglich eine Anpassung der Herstellungsparameter erfordern.

Folgende Abbildung zeigt eine mögliche Form des DSV-Körpers für einen Pfahlachsabstand von 3,00m.

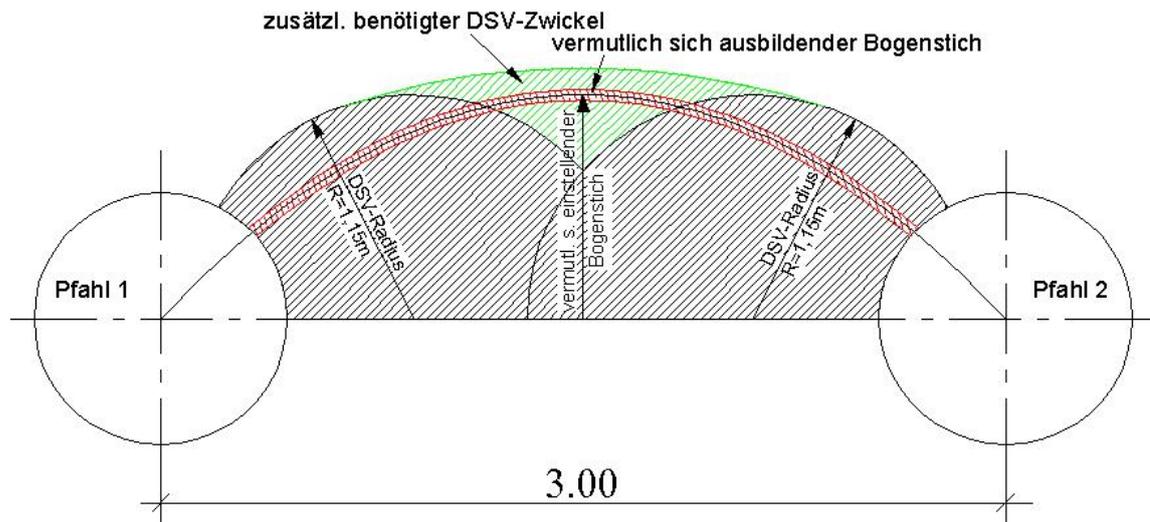


Abb. 81: zeigt eine mögliche Form des DSV-Körpers für die Ausbildung eines Stützbogens bei einem Pfahlachsabstand von 3,00m

5 Zusammenfassung und Ausblick

Das in dieser Arbeit entwickelte analytische Stabwerksmodell auf Basis der Gewölbetheorie stellt einen möglichen Ansatz zur Berechnung des Kraftverlaufes in einem DSV-Körper dar. Es ermöglichte die Ausführung von Parameterstudien und Darstellung von Zusammenhängen zwischen Pfahlabstand, Aushubtiefe, Druckkraftentwicklung etc. Weiters konnten aufgrund des Modells Empfehlungen zur Ausbildung des Anschlussbereiches Pfahlbeton-DSV-Säule entwickelt werden.

Das Stabwerksmodell wurde mittels Excel ® programmtechnisch umgesetzt. Ausführliche Erläuterungen zur Bedienung des Programmes sind in der Arbeit enthalten.

In einem weiteren Schritt wäre es anzustreben, das analytische Stabwerksmodell mit einem geeigneten Finite-Elemente-Programm zu verifizieren. Von größter Wichtigkeit wären in dieser Hinsicht Untersuchungen zur Lageausbildung des Stützbogens im DSV-Körper unter Belastung. Mit der daraus gewonnenen Erkenntnis könnte das analytische Stabwerksmodell verfeinert und optimiert werden.

Modellversuche hingegen erscheinen aus heutiger Sicht nur schwer umsetzbar, da die zur Erfassung der Spannungen im DSV-Körper notwendigen Druckmessdosen kaum so eingebracht werden können, dass sie eine gleichmäßige Bettung aufweisen. Letztere wäre aber für die Aussagekraft der Messungen von entscheidender Bedeutung.

Die vorliegende Arbeit liefert die Grundlagen und einfache Bemessungsansätze für die Problemstellung und kann mittels weiterführender Untersuchungen (z.B. Finite Elemente) zu einem ausgereiften Hilfsmittel für die Planungsphase entwickelt werden.

6 Quellenverzeichnis

- BAUMANN, V. (1984). Das Soilcrete-Verfahren in der Baupraxis. *Vorträge der Baugrundtagung in Düsseldorf DGEG, e.V.*, 43-83.
- BRANDL, H. Zusammenfassung der Erddruckformeln für den allgemeinen Fall. In *Vorlesungsunterlagen Grundbau 1* (S. Blatt 69). Wien.
- BUJA, H. O. (1998). *Handbuch des Spezialtiefbaus - Geräte und Verfahren*. Düsseldorf: Werner Verlag.
- HOHLFELDER, VOGT, & HARTFUSS. (2003). Bohrpfähle im Festgestein, Stand der Technik. *TBG-Fachtagung Spezialtiefbau*. Gelsenkirchen.
- KELLER Academy. (2008). KELLER Academy 2008. *Schwerer Spezialtiefbau - Bohrpfähle*. Wien, ÖSTERREICH: KELLER Grundbau GmbH.
- KELLER Grundbau GmbH. (2003). Firmenprospekt. *Das Düsenstrahlverfahren (Soilcrete®)*. Offenbach, Deutschland.
- KELLER Grundbau GmbH. (2006). Unterlagen Detailplanung Umfahrung Klosterneuburg. *Objekt BN14.W02 Grundwasserwanne Niedermarkt (unveröffentlicht)*.
- KÉZDI, Á. (1969). *Handbuch der Bodenmechanik, Band 1*. VEB Verlag für Bauwesen Berlin, Verlag der Ungarischen Akademie der Wissenschaften Budapest.
- KIRSCH, F., & SONDERMANN, W. (2002). *Zur Gewölbestabilität von Soilcrete Körpern*. Abgerufen am 14. September 2008 von Institut für Grundbau und Bodenmechanik, TU Braunschweig: www.igb.tu-bs.de/veroeff/dgk-2002.pdf
- KUTZNER, C. (1991). *Injektionen im Baugrund*. Stuttgart: Enke.
- LESNIK, M. (2003). *Ermittlung der Reichweite beim Düsenstrahlverfahren unter Berücksichtigung der Herstellparameter und der Bodeneigenschaften mittels Rückflussanalyse*. Technische Universität Graz: Gruppe Geotechnik Graz.
- ÖNORM B4434. (1993). Erd- und Grundbau "Erddruckberechnung". Wien.
- ÖNORM EN12716. (2002). Ausführung von besonderen geotechnischen Arbeiten (Spezialtiefbau) - Düsenstrahlverfahren (Hochdruckinjektion, Hochdruckbodenvermörtelung, Jetting). 1020 Wien, Wien, Österreich.
- RUBIN, H. (22. Juni 1994). Baustatik 1, Formelsammlung. *Formelsammlung Baustatik 1 der Technischen Universität Wien*, S. Stdb1.1.28.
- SEITZ, J. M., & SCHMIDT, H.-G. (2000). *Bohrpfähle*. Ernst & Sohn Verlag für Architektur und technische Wissenschaften GmbH, Berlin.
- SIMMER, K. (1980). *Grundbau Teil 1, Bodenmechanik und erdstatische Berechnungen*. B.G. Teubner Stuttgart, 17. neubearbeitete und erweiterte Auflage.

- SIMMER, K. (1992). *Grundbau Teil 2, Baugruben und Gründungen*. B.G. Teubner Stuttgart.
- STANGL, E. (Jänner 2009). Erfolgreiche Sanierung des Rettungsschacht RS 09 bei der Neubaustrecke der Eisenbahn im Unterinntal Baulos H3-4. *Tagungsband der 7. Österreichischen Geotechniktagung*.
- TERZAGHI, K., & PECK, R. B. (1961). *Die Bodenmechanik in der Baupraxis*. Berlin/Göttingen/Heidelberg: Springer-Verlag.
- TOTH, L. (1978). Gewölbewirkung bei einer aufgelösten Bohrfahlwand und Ermittlung der lichten Abstände. In *Die Bautechnik 55, Heft 6* (S. 181-188). Berlin: W.Ernst & Sohn.

7 Abbildungsverzeichnis

Abb. 1: Arbeitsabfolge beim Greiferbohrverfahren aus (Brückner Grundbau GmbH, 2008).	11
Abb. 2: links, Darstellung des Voreilmaßes und der Wasserspiegeldifferenz bei Aushub unter artesisch gespannten Grundwasserverhältnissen; rechts, Nachfüllung zur Einhaltung der Wasserspiegeldifferenz während des Pfahlaushubes (KELLER Grundbau GmbH, 2003)	13
Abb. 3: Arbeitsabfolge für die Herstellung eines Kelly-Pfahls (BAUER Spezialtiefbau GmbH)	14
Abb. 4: Arbeitsabfolge für die Herstellung eines unverrohrten Rohres mittels des Schneckenortbetonverfahrens	15
Abb. 5: Simplexverfahren (KELLER Grundbau GmbH, 2003)	18
Abb. 6: Duplexverfahren (KELLER Grundbau GmbH, 2003)	19
Abb. 7: Triplexverfahren (KELLER Grundbau GmbH, 2003)	20
Abb. 8: Schemaskizze über die Arbeitsabfolge zur Herstellung von DSV-Säulen (KELLER Grundbau GmbH, 2003)	23
Abb. 9: verschiedene Ausführungsformen	25
Abb. 10: maximal erreichbare DSV-Druckfestigkeiten (KELLER Grundbau GmbH, 2003)	26
Abb. 11: Entwicklung der Festigkeit von Düsenstrahlkörpern (KELLER Grundbau GmbH, 2003)	27
Abb. 12: Anwendungsgrenzen der DSV- Anwendung (KELLER Grundbau GmbH, 2003)	28
Abb. 13: (KELLER Grundbau GmbH, 2003)	29
Abb. 14: (KELLER Grundbau GmbH, 2003)	29
Abb. 15: (KELLER Grundbau GmbH, 2003)	29
Abb. 16: (KELLER Grundbau GmbH, 2003)	30
Abb. 17: (KELLER Grundbau GmbH, 2003)	30
Abb. 18: (KELLER Grundbau GmbH, 2003)	30
Abb. 19: (KELLER Grundbau GmbH, 2003)	30
Abb. 20: (KELLER Grundbau GmbH, 2003)	30
Abb. 21: (KELLER Grundbau GmbH, 2003)	31
Abb. 22: (KELLER Grundbau GmbH, 2003)	31
Abb. 23: (KELLER Grundbau GmbH, 2003)	31
Abb. 24: (KELLER Grundbau GmbH, 2003)	31
Abb. 25: (KELLER Grundbau GmbH, 2003)	32
Abb. 26: (KELLER Grundbau GmbH, 2003)	32
Abb. 27: (KELLER Grundbau GmbH, 2003)	32

Abb. 28: (KELLER Grundbau GmbH, 2003).....	32
Abb. 29: Kreisbogen unter radialer Gleichlast q (RUBIN, 1994).....	33
Abb. 30: Parabelbogen unter vertikaler Gleichlast q (RUBIN, 1994).....	34
Abb. 31: cosh- Bogen unter vertikaler Gleichlast g (RUBIN, 1994).....	34
Abb. 32: Teilsicherheitsbeiwerte (ÖNORM B4434, 1993-01-01).....	35
Abb. 33: Skizze Parabelbogen, Darstellung der Anfangskordinaten für die Berechnung der Konstante c	36
Abb. 34: Darstellung des Arbeitsblatts „Eingabemaske ERDDRUCK“	38
Abb. 35: Darstellung der für die Berechnung relevanten Bodenschichte der Höhe h	39
Abb. 36: Darstellung des Arbeitsblatts „Berechnung Erddruck“	42
Abb. 37: Skizze Stützlinienbogen bei Wasserauflast; Darstellung der Koordinaten und Winkeln	44
Abb. 38: Darstellung des Arbeitsblatts „Eingabemaske WASSERDRUCK“	45
Abb. 39: Mittelwert der Stützlinie aus Bodenaufplast und Wasserauflast.....	47
Abb. 40: Ausschnitt aus der Detailplanung Umfahrung Klosterneuburg (KELLER Grundbau GmbH, 2006)	47
Abb. 41: dreidimensionale Ansicht, Darstellung der Bodenschichte und dem aus der Berechnung resultierenden Stützbogen	48
Abb. 42: Eingabemaske der Geometrie.....	49
Abb. 43: Eingabemaske der Bodenkennwerte	49
Abb. 44: Eingabemaske der DSV-Parameter	49
Abb. 45: Teilsicherheitsfaktoren	50
Abb. 46: Auswahl Erddruckbemessung und automatisiert errechnete Belastung	50
Abb. 47: aktiver Erddruck und errechnete Belastung	50
Abb. 48: 25% erhöhter aktiver Erddruck mit errechneter Belastung.....	51
Abb. 49: 50% erhöhter aktiver Erddruck mit errechneter Belastung.....	51
Abb. 50: 75% erhöhter aktiver Erddruck mit errechneter Belastung.....	51
Abb. 51: Stützlinienform (Parabelbogen) durch Bodenaufplast.....	52
Abb. 52: Bemessung der Stützbogenbreite	53
Abb. 53: Wasserauflast.....	53
Abb. 54: Stützlinienform (Kreisbogen) durch Wasserauflast	55
Abb. 55: Bemessung der Stützbogenbreite	55
Abb. 56: Darstellung der resultierenden Stützlinienform aus Bodenaufplast und Wasserauflast	56
Abb. 57: Resultierende Stützbogenbreite	56
Abb. 58: Repräsentativer Pfahlachsabstand von 1,80m für die Parametervariation (KELLER Grundbau GmbH, 2006)	57

Abb. 59: Repräsentativer Pfahlachsabstand von 2,20m für die Parametervariation (KELLER Grundbau GmbH, 2006)	58
Abb. 60: Repräsentativer Pfahlachsabstand von 2,80m für die Parametervariation (KELLER Grundbau GmbH, 2006)	58
Abb. 61: Bodenkennwerte für die Parametervariationen	59
Abb. 62: Darstellung des Variationsbereiches für die Lage der Mittellinie für den idealen Stützlinienbogen	60
Abb. 63: Darstellung des Bereichs für die mögliche Lage der idealen Stützlinie bei einem Pfahlachsabstand von 1,80m	61
Abb. 64: Darstellung der „Eingabemaske WASSERDRUCK“, grün hinterlegt die Stichhöhe der idealen Stützlinie	62
Abb. 65: Darstellung des Bereichs für die mögliche Lage der idealen Stützlinie bei einem Pfahlachsabstand von 2,20m	62
Abb. 66: Darstellung der „Eingabemaske WASSERDRUCK“, grün hinterlegt die Stichhöhe der idealen Stützlinie	63
Abb. 67: Darstellung des Bereichs für die mögliche Lage der idealen Stützlinie bei einem Pfahlachsabstand von 2,80m	63
Abb. 68: Darstellung der „Eingabemaske WASSERDRUCK“, grün hinterlegt die Stichhöhe der idealen Stützlinie	64
Abb. 69: zeigt eine DSV-Ausfachung für einen Pfahlachsabstand von 3,00m mittels zweier Halbsäulen mit einem Radius von 0,80m (KELLER Grundbau GmbH, 2006).....	64
Abb. 70: zeigt den sich vermutlich ausbildenden Bogenstich zur Lastabtragung.....	64
Abb. 71: Darstellung der Druckkraftentwicklung (im Auflagerbereich des „idealen“ Stütz bogens) bei Variation des Bogenstichs	66
Abb. 72: Darstellung der prozentuellen Erhöhung der Druckkraft in ein und demselben Punkt bei Variation des Pfahlachsabstandes.....	67
Abb. 73: Darstellung der Entwicklung der Druckbogenbreite bei gleichzeitiger Variation der DSV-Festigkeiten von 2MN/m ² , 4MN/m ² , 6MN/m ² und 8MN/m ² anhand der Pfahlachsabstände von 1,80m und 2,20m	68
Abb. 74: schematische Darstellung der Druckbogenbreiten für einen Bogenstich von 0,25m und 0,90m.....	68
Abb. 75: Darstellung der Entwicklung der Druckbogenbreite bei gleichzeitiger Variation der DSV-Festigkeiten von 2MN/m ² , 4MN/m ² , 6MN/m ² und 8MN/m ² anhand der Pfahlachsabstände von 1,80m und 2,20m	69
Abb. 76: Darstellung der Druckkraftverläufe für einen Pfahlachsabstand von 1,80m, 2,20m, 2,80m bei Variation der Aushubtiefe.....	70
Abb. 77: Darstellung der Wahl des Bogenstichs für die Variation der DSV-Unterkante.....	70

Abb. 78: Darstellung der Wahl eines geeigneten Pfahlachsabstandes für eine gewisse Belastung	72
Abb. 79: zeigt eine Störung des Druckbogens durch das nichtvorhandensein des DSV-Körpers beim Anschlussbereich DSV-Bohrpfähle	73
Abb. 80: zeigt eine mögliche Lösung um den Lasteinleitungsbereich im Auflagerbereich zu vergrößern	73
Abb. 81: zeigt eine mögliche Form des DSV-Körpers für die Ausbildung eines Stützbogens bei einem Pfahlachsabstand von 3,00m	74

8 Tabellenverzeichnis

Tab. 1: Berechnung der x- und y- Koordinaten und Schnittkräfte der Stützlinie.....	52
Tab. 2: Hilfstabelle zur Ermittlung der y- Koordinate der Stützlinie für eine Wasserauflast...	54
Tab. 3: Berechnung des Kräftezuwachses	71
Tab. 4: Datenblatt für Abb. 71 und Abb. 72 (Pfahlachsabstand 1,80m)	84
Tab. 5: Datenblatt für Abb. 71 und Abb. 72 (Pfahlachsabstand 2,20m)	85
Tab. 6: Datenblatt für Abb. 71 und Abb. 72 (Pfahlachsabstand 2,80m)	87
Tab. 7: Datenblatt für Abb. 73 (Pfahlachsabstand 1,80m DSV-Druckfestigkeit 2,00 MN/²)...	88
Tab. 8: Datenblatt für Abb. 73 (Pfahlachsabstand 1,80m DSV-Druckfestigkeit 4,00 MN/²)...	89
Tab. 9: Datenblatt für Abb. 73 (Pfahlachsabstand 1,80m DSV-Druckfestigkeit 6,00 MN/²)...	90
Tab. 10: Datenblatt für Abb. 73 (Pfahlachsabstand 1,80m DSV-Druckfestigkeit 8,00 MN/²).	91
Tab. 11: Datenblatt für Abb. 73 und Abb. 75 (Pfahlachsabstand 2,20m DSV-Druckfestigkeit 2,00 MN/²).....	93
Tab. 12: Datenblatt für Abb. 73 und Abb. 75 (Pfahlachsabstand 2,20m DSV-Druckfestigkeit 4,00 MN/²).....	94
Tab. 13: Datenblatt für Abb. 73 und Abb. 75 (Pfahlachsabstand 2,20m DSV-Druckfestigkeit 6,00 MN/²).....	95
Tab. 14: Datenblatt für Abb. 73 und Abb. 75 (Pfahlachsabstand 2,20m DSV-Druckfestigkeit 8,00 MN/²).....	97
Tab. 15: Datenblatt für Abb. 75 (Pfahlachsabstand 2,80m DSV-Druckfestigkeit 2,00 MN/²).	99
Tab. 16: Datenblatt für Abb. 75 (Pfahlachsabstand 2,80m DSV-Druckfestigkeit 4,00 MN/²)	100
Tab. 17: Datenblatt für Abb. 75 (Pfahlachsabstand 2,80m DSV-Druckfestigkeit 6,00 MN/²)	102
Tab. 18: Datenblatt für Abb. 75 (Pfahlachsabstand 2,80m DSV-Druckfestigkeit 8,00 MN/²)	104
Tab. 19: Datenblatt für Abb. 76 und Abb. 78, Pfahlachsabstand 1,80m.....	104
Tab. 20: Datenblatt für Abb. 76 und Abb. 78, Pfahlachsabstand 2,20m.....	104
Tab. 21: Datenblatt für Abb. 76 und Abb. 78, Pfahlachsabstand 2,80m.....	105

9 Anhang

9.1 Datenblätter für die Sensitivitätsanalyse

9.1.1 Daten für die Variation der Pfahlachsabstände bei einer Aushubtiefe von 12,00m

- Pfahlachsabstand 1,80m

SENSITIVITÄTSSTUDIE ygewählt				
Achsabstand	1,80 m	GW Höhe	10,00 m	
DSV-Radius	0,80 m			
Tiefe	12,00 m			
sDSV =	2,00 MN/m ²			
q	77,82 kN/m	w	95,00 kN/m	
BODENAUF LAST				
	ygewählt	yStich,Boden	max NErddr.	bErddr.
	0,10 m	0,70 m	83,26 kN	4,16 cm
	0,11 m	0,69 m	83,61 kN	4,18 cm
	0,12 m	0,68 m	83,98 kN	4,20 cm
	0,13 m	0,67 m	84,36 kN	4,22 cm
	0,14 m	0,66 m	84,76 kN	4,24 cm
	0,15 m	0,65 m	85,18 kN	4,26 cm
	0,16 m	0,64 m	85,61 kN	4,28 cm
	0,17 m	0,63 m	86,07 kN	4,30 cm
	0,18 m	0,62 m	86,54 kN	4,33 cm
	0,19 m	0,61 m	87,03 kN	4,35 cm
	0,20 m	0,60 m	87,54 kN	4,38 cm
	0,21 m	0,59 m	88,08 kN	4,40 cm
	0,22 m	0,58 m	88,64 kN	4,43 cm
	0,23 m	0,57 m	89,23 kN	4,46 cm
	0,24 m	0,56 m	89,84 kN	4,49 cm
	0,25 m	0,55 m	90,49 kN	4,52 cm
	0,26 m	0,54 m	91,16 kN	4,56 cm
	0,27 m	0,53 m	91,87 kN	4,59 cm
	0,28 m	0,52 m	92,62 kN	4,63 cm
	0,29 m	0,51 m	93,40 kN	4,67 cm
	0,30 m	0,50 m	94,22 kN	4,71 cm
	0,31 m	0,49 m	95,09 kN	4,75 cm
	0,32 m	0,48 m	96,00 kN	4,80 cm
	0,33 m	0,47 m	96,96 kN	4,85 cm
	0,34 m	0,46 m	97,97 kN	4,90 cm
	0,35 m	0,45 m	99,04 kN	4,95 cm
	0,36 m	0,44 m	100,18 kN	5,01 cm
	0,37 m	0,43 m	101,37 kN	5,07 cm
	0,38 m	0,42 m	102,64 kN	5,13 cm
	0,39 m	0,41 m	103,99 kN	5,20 cm
	0,40 m	0,40 m	105,42 kN	5,27 cm
	0,41 m	0,39 m	106,93 kN	5,35 cm
	0,42 m	0,38 m	108,55 kN	5,43 cm

	0,43 m	0,37 m	110,27 kN	5,51 cm
	0,44 m	0,36 m	112,11 kN	5,61 cm
	0,45 m	0,35 m	114,07 kN	5,70 cm
	0,46 m	0,34 m	116,18 kN	5,81 cm
	0,47 m	0,33 m	118,43 kN	5,92 cm
	0,48 m	0,32 m	120,85 kN	6,04 cm
	0,49 m	0,31 m	123,45 kN	6,17 cm
	0,50 m	0,30 m	126,26 kN	6,31 cm
	0,51 m	0,29 m	129,29 kN	6,46 cm
	0,52 m	0,28 m	132,57 kN	6,63 cm
	0,53 m	0,27 m	136,12 kN	6,81 cm
	0,54 m	0,26 m	139,99 kN	7,00 cm
	0,55 m	0,25 m	144,21 kN	7,21 cm

Tab. 4: Datenblatt für Abb. 71 und Abb. 72 (Pfahlachsabstand 1,80m)

- Pfahlachsabstand 2,20m

SENSITIVITÄTSSTUDIE ygewählt				
Achsabstand	2,20 m	GW Höhe	10,00 m	
DSV-Radius	1,00 m			
Tiefe	12,00 m			
sDSV =	2,00 MN/m ²			
q	77,82 kN/m	w	95,00 kN/m	
BODENAUFPLAST				
	ygewählt	yStich,Boden	max NErddr.	bErddr.
	0,10 m	0,90 m	100,32 kN	5,02 cm
	0,11 m	0,89 m	100,62 kN	5,03 cm
	0,12 m	0,88 m	100,94 kN	5,05 cm
	0,13 m	0,87 m	101,27 kN	5,06 cm
	0,14 m	0,86 m	101,61 kN	5,08 cm
	0,15 m	0,85 m	101,95 kN	5,10 cm
	0,16 m	0,84 m	102,31 kN	5,12 cm
	0,17 m	0,83 m	102,69 kN	5,13 cm
	0,18 m	0,82 m	103,07 kN	5,15 cm
	0,19 m	0,81 m	103,47 kN	5,17 cm
	0,20 m	0,80 m	103,88 kN	5,19 cm
	0,21 m	0,79 m	104,30 kN	5,21 cm
	0,22 m	0,78 m	104,74 kN	5,24 cm
	0,23 m	0,77 m	105,19 kN	5,26 cm
	0,24 m	0,76 m	105,66 kN	5,28 cm
	0,25 m	0,75 m	106,15 kN	5,31 cm
	0,26 m	0,74 m	106,65 kN	5,33 cm
	0,27 m	0,73 m	107,17 kN	5,36 cm
	0,28 m	0,72 m	107,71 kN	5,39 cm
	0,29 m	0,71 m	108,28 kN	5,41 cm
	0,30 m	0,70 m	108,86 kN	5,44 cm
	0,31 m	0,69 m	109,46 kN	5,47 cm
	0,32 m	0,68 m	110,09 kN	5,50 cm
	0,33 m	0,67 m	110,74 kN	5,54 cm
	0,34 m	0,66 m	111,42 kN	5,57 cm
	0,35 m	0,65 m	112,13 kN	5,61 cm
	0,36 m	0,64 m	112,86 kN	5,64 cm
	0,37 m	0,63 m	113,63 kN	5,68 cm
	0,38 m	0,62 m	114,42 kN	5,72 cm

	0,39 m	0,61 m	115,25 kN	5,76 cm
	0,40 m	0,60 m	116,12 kN	5,81 cm
	0,41 m	0,59 m	117,02 kN	5,85 cm
	0,42 m	0,58 m	117,96 kN	5,90 cm
	0,43 m	0,57 m	118,95 kN	5,95 cm
	0,44 m	0,56 m	119,98 kN	6,00 cm
	0,45 m	0,55 m	121,05 kN	6,05 cm
	0,46 m	0,54 m	122,18 kN	6,11 cm
	0,47 m	0,53 m	123,36 kN	6,17 cm
	0,48 m	0,52 m	124,59 kN	6,23 cm
	0,49 m	0,51 m	125,89 kN	6,29 cm
	0,50 m	0,50 m	127,25 kN	6,36 cm
	0,51 m	0,49 m	128,68 kN	6,43 cm
	0,52 m	0,48 m	130,18 kN	6,51 cm
	0,53 m	0,47 m	131,76 kN	6,59 cm
	0,54 m	0,46 m	133,42 kN	6,67 cm
	0,55 m	0,45 m	135,17 kN	6,76 cm
	0,56 m	0,44 m	137,02 kN	6,85 cm
	0,57 m	0,43 m	138,97 kN	6,95 cm
	0,58 m	0,42 m	141,04 kN	7,05 cm
	0,59 m	0,41 m	143,22 kN	7,16 cm
	0,60 m	0,40 m	145,53 kN	7,28 cm
	0,61 m	0,39 m	147,98 kN	7,40 cm
	0,62 m	0,38 m	150,59 kN	7,53 cm
	0,63 m	0,37 m	153,35 kN	7,67 cm
	0,64 m	0,36 m	156,30 kN	7,81 cm
	0,65 m	0,35 m	159,44 kN	7,97 cm
	0,66 m	0,34 m	162,79 kN	8,14 cm
	0,67 m	0,33 m	166,37 kN	8,32 cm
	0,68 m	0,32 m	170,21 kN	8,51 cm
	0,69 m	0,31 m	174,33 kN	8,72 cm
	0,70 m	0,30 m	178,76 kN	8,94 cm
	0,71 m	0,29 m	183,52 kN	9,18 cm
	0,72 m	0,28 m	188,67 kN	9,43 cm
	0,73 m	0,27 m	194,24 kN	9,71 cm
	0,74 m	0,26 m	200,28 kN	10,01 cm
	0,75 m	0,25 m	206,86 kN	10,34 cm

Tab. 5: Datenblatt für Abb. 71 und Abb. 72 (Pfahlachsabstand 2,20m)

- Pfahlachsabstand 2,80m

SENSITIVITÄTSSTUDIE ygewählt				
Achsabstand	2,80 m	GW Höhe	10,00 m	
DSV-Radius	1,15 m			
Tiefe	12,00 m			
sDSV =	2,00 MN/m ²			
q	77,82 kN/m	w	95,00 kN/m	
BODENAUFPLAST				
	ygewählt	yStich,Boden	max NErddr.	bErddr.
	0,10 m	1,05 m	130,93 kN	6,55 cm
	0,11 m	1,04 m	131,32 kN	6,57 cm
	0,12 m	1,03 m	131,72 kN	6,59 cm
	0,13 m	1,02 m	132,13 kN	6,61 cm
	0,14 m	1,01 m	132,55 kN	6,63 cm

	0,15 m	1,00 m	132,98 kN	6,65 cm
	0,16 m	0,99 m	133,42 kN	6,67 cm
	0,17 m	0,98 m	133,88 kN	6,69 cm
	0,18 m	0,97 m	134,35 kN	6,72 cm
	0,19 m	0,96 m	134,83 kN	6,74 cm
	0,20 m	0,95 m	135,32 kN	6,77 cm
	0,21 m	0,94 m	135,83 kN	6,79 cm
	0,22 m	0,93 m	136,35 kN	6,82 cm
	0,23 m	0,92 m	136,89 kN	6,84 cm
	0,24 m	0,91 m	137,45 kN	6,87 cm
	0,25 m	0,90 m	138,01 kN	6,90 cm
	0,26 m	0,89 m	138,60 kN	6,93 cm
	0,27 m	0,88 m	139,21 kN	6,96 cm
	0,28 m	0,87 m	139,83 kN	6,99 cm
	0,29 m	0,86 m	140,47 kN	7,02 cm
	0,30 m	0,85 m	141,13 kN	7,06 cm
	0,31 m	0,84 m	141,81 kN	7,09 cm
	0,32 m	0,83 m	142,51 kN	7,13 cm
	0,33 m	0,82 m	143,24 kN	7,16 cm
	0,34 m	0,81 m	143,99 kN	7,20 cm
	0,35 m	0,80 m	144,76 kN	7,24 cm
	0,36 m	0,79 m	145,56 kN	7,28 cm
	0,37 m	0,78 m	146,38 kN	7,32 cm
	0,38 m	0,77 m	147,23 kN	7,36 cm
	0,39 m	0,76 m	148,11 kN	7,41 cm
	0,40 m	0,75 m	149,02 kN	7,45 cm
	0,41 m	0,74 m	149,96 kN	7,50 cm
	0,42 m	0,73 m	150,94 kN	7,55 cm
	0,43 m	0,72 m	151,94 kN	7,60 cm
	0,44 m	0,71 m	152,99 kN	7,65 cm
	0,45 m	0,70 m	154,07 kN	7,70 cm
	0,46 m	0,69 m	155,19 kN	7,76 cm
	0,47 m	0,68 m	156,35 kN	7,82 cm
	0,48 m	0,67 m	157,55 kN	7,88 cm
	0,49 m	0,66 m	158,81 kN	7,94 cm
	0,50 m	0,65 m	160,10 kN	8,01 cm
	0,51 m	0,64 m	161,45 kN	8,07 cm
	0,52 m	0,63 m	162,85 kN	8,14 cm
	0,53 m	0,62 m	164,31 kN	8,22 cm
	0,54 m	0,61 m	165,82 kN	8,29 cm
	0,55 m	0,60 m	167,40 kN	8,37 cm
	0,56 m	0,59 m	169,04 kN	8,45 cm
	0,57 m	0,58 m	170,75 kN	8,54 cm
	0,58 m	0,57 m	172,53 kN	8,63 cm
	0,59 m	0,56 m	174,39 kN	8,72 cm
	0,60 m	0,55 m	176,33 kN	8,82 cm
	0,61 m	0,54 m	178,36 kN	8,92 cm
	0,62 m	0,53 m	180,48 kN	9,02 cm
	0,63 m	0,52 m	182,69 kN	9,13 cm
	0,64 m	0,51 m	185,01 kN	9,25 cm
	0,65 m	0,50 m	187,43 kN	9,37 cm
	0,66 m	0,49 m	189,97 kN	9,50 cm
	0,67 m	0,48 m	192,64 kN	9,63 cm
	0,68 m	0,47 m	195,44 kN	9,77 cm
	0,69 m	0,46 m	198,37 kN	9,92 cm
	0,70 m	0,45 m	201,46 kN	10,07 cm
	0,71 m	0,44 m	204,71 kN	10,24 cm
	0,72 m	0,43 m	208,14 kN	10,41 cm
	0,73 m	0,42 m	211,75 kN	10,59 cm

	0,74 m	0,41 m	215,56 kN	10,78 cm
	0,75 m	0,40 m	219,58 kN	10,98 cm
	0,76 m	0,39 m	223,84 kN	11,19 cm
	0,77 m	0,38 m	228,35 kN	11,42 cm
	0,78 m	0,37 m	233,13 kN	11,66 cm
	0,79 m	0,36 m	238,20 kN	11,91 cm
	0,80 m	0,35 m	243,60 kN	12,18 cm
	0,81 m	0,34 m	249,35 kN	12,47 cm
	0,82 m	0,33 m	255,48 kN	12,77 cm
	0,83 m	0,32 m	262,03 kN	13,10 cm
	0,84 m	0,31 m	269,04 kN	13,45 cm
	0,85 m	0,30 m	276,56 kN	13,83 cm
	0,86 m	0,29 m	284,64 kN	14,23 cm
	0,87 m	0,28 m	293,34 kN	14,67 cm
	0,88 m	0,27 m	302,73 kN	15,14 cm
	0,89 m	0,26 m	312,89 kN	15,64 cm
	0,90 m	0,25 m	323,91 kN	16,20 cm

Tab. 6: Datenblatt für Abb. 71 und Abb. 72 (Pfahlachsabstand 2,80m)

9.1.2 Daten für die Variation der Pfahlachsabstände bei einer Aushubtiefe von 12,00m und gleichzeitiger Variation der DSV-Druckfestigkeiten

- Pfahlachsabstand 1,80m, DSV-Festigkeit 2,00 MN/m²

SENSITIVITÄTSSTUDIE ygewählt				
Achsabstand	1,80 m	GW Höhe	10,00 m	
DSV-Radius	0,80 m			
Tiefe	12,00 m			
$\sigma_{DSV} =$	2,00 MN/m ²			
q	77,82 kN/m	w	95,00 kN/m	
BODENAUFPLAST				
	ygewählt	yStich,Boden	max NErddr.	bErddr.
	0,10 m	0,70 m	83,26 kN	4,16 cm
	0,11 m	0,69 m	83,61 kN	4,18 cm
	0,12 m	0,68 m	83,98 kN	4,20 cm
	0,13 m	0,67 m	84,36 kN	4,22 cm
	0,14 m	0,66 m	84,76 kN	4,24 cm
	0,15 m	0,65 m	85,18 kN	4,26 cm
	0,16 m	0,64 m	85,61 kN	4,28 cm
	0,17 m	0,63 m	86,07 kN	4,30 cm
	0,18 m	0,62 m	86,54 kN	4,33 cm
	0,19 m	0,61 m	87,03 kN	4,35 cm
	0,20 m	0,60 m	87,54 kN	4,38 cm
	0,21 m	0,59 m	88,08 kN	4,40 cm
	0,22 m	0,58 m	88,64 kN	4,43 cm
	0,23 m	0,57 m	89,23 kN	4,46 cm
	0,24 m	0,56 m	89,84 kN	4,49 cm
	0,25 m	0,55 m	90,49 kN	4,52 cm
	0,26 m	0,54 m	91,16 kN	4,56 cm
	0,27 m	0,53 m	91,87 kN	4,59 cm
	0,28 m	0,52 m	92,62 kN	4,63 cm

	0,29 m	0,51 m	93,40 kN	4,67 cm
	0,30 m	0,50 m	94,22 kN	4,71 cm
	0,31 m	0,49 m	95,09 kN	4,75 cm
	0,32 m	0,48 m	96,00 kN	4,80 cm
	0,33 m	0,47 m	96,96 kN	4,85 cm
	0,34 m	0,46 m	97,97 kN	4,90 cm
	0,35 m	0,45 m	99,04 kN	4,95 cm
	0,36 m	0,44 m	100,18 kN	5,01 cm
	0,37 m	0,43 m	101,37 kN	5,07 cm
	0,38 m	0,42 m	102,64 kN	5,13 cm
	0,39 m	0,41 m	103,99 kN	5,20 cm
	0,40 m	0,40 m	105,42 kN	5,27 cm
	0,41 m	0,39 m	106,93 kN	5,35 cm
	0,42 m	0,38 m	108,55 kN	5,43 cm
	0,43 m	0,37 m	110,27 kN	5,51 cm
	0,44 m	0,36 m	112,11 kN	5,61 cm
	0,45 m	0,35 m	114,07 kN	5,70 cm
	0,46 m	0,34 m	116,18 kN	5,81 cm
	0,47 m	0,33 m	118,43 kN	5,92 cm
	0,48 m	0,32 m	120,85 kN	6,04 cm
	0,49 m	0,31 m	123,45 kN	6,17 cm
	0,50 m	0,30 m	126,26 kN	6,31 cm
	0,51 m	0,29 m	129,29 kN	6,46 cm
	0,52 m	0,28 m	132,57 kN	6,63 cm
	0,53 m	0,27 m	136,12 kN	6,81 cm
	0,54 m	0,26 m	139,99 kN	7,00 cm
	0,55 m	0,25 m	144,21 kN	7,21 cm

Tab. 7: Datenblatt für Abb. 73 (Pfahlachsabstand 1,80m DSV-Druckfestigkeit 2,00 MN/m²)

- Pfahlachsabstand 1,80m, DSV-Festigkeit 4,00 MN/m²

SENSITIVITÄTSSTUDIE ygewählt				
Achsabstand	1,80 m	GW Höhe	10,00 m	
DSV-Radius	0,80 m			
Tiefe	12,00 m			
$\sigma_{DSV} =$	4,00 MN/m ²			
q	77,82 kN/m	w	95,00 kN/m	
BODENAUFPLAST				
	ygewählt	yStich,Boden	max NErddr.	bErddr.
	0,10 m	0,70 m	83,26 kN	2,08 cm
	0,11 m	0,69 m	83,61 kN	2,09 cm
	0,12 m	0,68 m	83,98 kN	2,10 cm
	0,13 m	0,67 m	84,36 kN	2,11 cm
	0,14 m	0,66 m	84,76 kN	2,12 cm
	0,15 m	0,65 m	85,18 kN	2,13 cm
	0,16 m	0,64 m	85,61 kN	2,14 cm
	0,17 m	0,63 m	86,07 kN	2,15 cm
	0,18 m	0,62 m	86,54 kN	2,16 cm
	0,19 m	0,61 m	87,03 kN	2,18 cm
	0,20 m	0,60 m	87,54 kN	2,19 cm
	0,21 m	0,59 m	88,08 kN	2,20 cm
	0,22 m	0,58 m	88,64 kN	2,22 cm
	0,23 m	0,57 m	89,23 kN	2,23 cm
	0,24 m	0,56 m	89,84 kN	2,25 cm

	0,25 m	0,55 m	90,49 kN	2,26 cm
	0,26 m	0,54 m	91,16 kN	2,28 cm
	0,27 m	0,53 m	91,87 kN	2,30 cm
	0,28 m	0,52 m	92,62 kN	2,32 cm
	0,29 m	0,51 m	93,40 kN	2,33 cm
	0,30 m	0,50 m	94,22 kN	2,36 cm
	0,31 m	0,49 m	95,09 kN	2,38 cm
	0,32 m	0,48 m	96,00 kN	2,40 cm
	0,33 m	0,47 m	96,96 kN	2,42 cm
	0,34 m	0,46 m	97,97 kN	2,45 cm
	0,35 m	0,45 m	99,04 kN	2,48 cm
	0,36 m	0,44 m	100,18 kN	2,50 cm
	0,37 m	0,43 m	101,37 kN	2,53 cm
	0,38 m	0,42 m	102,64 kN	2,57 cm
	0,39 m	0,41 m	103,99 kN	2,60 cm
	0,40 m	0,40 m	105,42 kN	2,64 cm
	0,41 m	0,39 m	106,93 kN	2,67 cm
	0,42 m	0,38 m	108,55 kN	2,71 cm
	0,43 m	0,37 m	110,27 kN	2,76 cm
	0,44 m	0,36 m	112,11 kN	2,80 cm
	0,45 m	0,35 m	114,07 kN	2,85 cm
	0,46 m	0,34 m	116,18 kN	2,90 cm
	0,47 m	0,33 m	118,43 kN	2,96 cm
	0,48 m	0,32 m	120,85 kN	3,02 cm
	0,49 m	0,31 m	123,45 kN	3,09 cm
	0,50 m	0,30 m	126,26 kN	3,16 cm
	0,51 m	0,29 m	129,29 kN	3,23 cm
	0,52 m	0,28 m	132,57 kN	3,31 cm
	0,53 m	0,27 m	136,12 kN	3,40 cm
	0,54 m	0,26 m	139,99 kN	3,50 cm
	0,55 m	0,25 m	144,21 kN	3,61 cm

Tab. 8: Datenblatt für Abb. 73 (Pfahlachsabstand 1,80m DSV-Druckfestigkeit 4,00 MN/m²)

- Pfahlachsabstand 1,80m, DSV-Festigkeit 6,00 MN/m²

SENSITIVITÄTSSTUDIE ygewählt				
Achsabstand	1,80 m	GW Höhe	10,00 m	
DSV-Radius	0,80 m			
Tiefe	12,00 m			
$\sigma_{DSV} =$	6,00 MN/m ²			
q	77,82 kN/m	w	95,00 kN/m	
BODENAUF LAST				
	ygewählt	yStich,Boden	max NErddr.	bErddr.
	0,10 m	0,70 m	83,26 kN	1,39 cm
	0,11 m	0,69 m	83,61 kN	1,39 cm
	0,12 m	0,68 m	83,98 kN	1,40 cm
	0,13 m	0,67 m	84,36 kN	1,41 cm
	0,14 m	0,66 m	84,76 kN	1,41 cm
	0,15 m	0,65 m	85,18 kN	1,42 cm
	0,16 m	0,64 m	85,61 kN	1,43 cm
	0,17 m	0,63 m	86,07 kN	1,43 cm
	0,18 m	0,62 m	86,54 kN	1,44 cm
	0,19 m	0,61 m	87,03 kN	1,45 cm
	0,20 m	0,60 m	87,54 kN	1,46 cm

	0,21 m	0,59 m	88,08 kN	1,47 cm
	0,22 m	0,58 m	88,64 kN	1,48 cm
	0,23 m	0,57 m	89,23 kN	1,49 cm
	0,24 m	0,56 m	89,84 kN	1,50 cm
	0,25 m	0,55 m	90,49 kN	1,51 cm
	0,26 m	0,54 m	91,16 kN	1,52 cm
	0,27 m	0,53 m	91,87 kN	1,53 cm
	0,28 m	0,52 m	92,62 kN	1,54 cm
	0,29 m	0,51 m	93,40 kN	1,56 cm
	0,30 m	0,50 m	94,22 kN	1,57 cm
	0,31 m	0,49 m	95,09 kN	1,58 cm
	0,32 m	0,48 m	96,00 kN	1,60 cm
	0,33 m	0,47 m	96,96 kN	1,62 cm
	0,34 m	0,46 m	97,97 kN	1,63 cm
	0,35 m	0,45 m	99,04 kN	1,65 cm
	0,36 m	0,44 m	100,18 kN	1,67 cm
	0,37 m	0,43 m	101,37 kN	1,69 cm
	0,38 m	0,42 m	102,64 kN	1,71 cm
	0,39 m	0,41 m	103,99 kN	1,73 cm
	0,40 m	0,40 m	105,42 kN	1,76 cm
	0,41 m	0,39 m	106,93 kN	1,78 cm
	0,42 m	0,38 m	108,55 kN	1,81 cm
	0,43 m	0,37 m	110,27 kN	1,84 cm
	0,44 m	0,36 m	112,11 kN	1,87 cm
	0,45 m	0,35 m	114,07 kN	1,90 cm
	0,46 m	0,34 m	116,18 kN	1,94 cm
	0,47 m	0,33 m	118,43 kN	1,97 cm
	0,48 m	0,32 m	120,85 kN	2,01 cm
	0,49 m	0,31 m	123,45 kN	2,06 cm
	0,50 m	0,30 m	126,26 kN	2,10 cm
	0,51 m	0,29 m	129,29 kN	2,15 cm
	0,52 m	0,28 m	132,57 kN	2,21 cm
	0,53 m	0,27 m	136,12 kN	2,27 cm
	0,54 m	0,26 m	139,99 kN	2,33 cm
	0,55 m	0,25 m	144,21 kN	2,40 cm

Tab. 9: Datenblatt für Abb. 73 (Pfahlachsabstand 1,80m DSV-Druckfestigkeit 6,00 MN/m²)

- Pfahlachsabstand 1,80m, DSV-Festigkeit 8,00 MN/m²

SENSITIVITÄTSSTUDIE ygewählt				
Achsabstand	1,80 m	GW Höhe	10,00 m	
DSV-Radius	0,80 m			
Tiefe	12,00 m			
$\sigma_{DSV} =$	8,00 MN/m ²			
q	77,82 kN/m	w	95,00 kN/m	
BODENAUF LAST				
	ygewählt	yStich,Boden	max NErddr.	bErddr.
	0,10 m	0,70 m	83,26 kN	1,04 cm
	0,11 m	0,69 m	83,61 kN	1,05 cm
	0,12 m	0,68 m	83,98 kN	1,05 cm
	0,13 m	0,67 m	84,36 kN	1,05 cm
	0,14 m	0,66 m	84,76 kN	1,06 cm
	0,15 m	0,65 m	85,18 kN	1,06 cm
	0,16 m	0,64 m	85,61 kN	1,07 cm

	0,17 m	0,63 m	86,07 kN	1,08 cm
	0,18 m	0,62 m	86,54 kN	1,08 cm
	0,19 m	0,61 m	87,03 kN	1,09 cm
	0,20 m	0,60 m	87,54 kN	1,09 cm
	0,21 m	0,59 m	88,08 kN	1,10 cm
	0,22 m	0,58 m	88,64 kN	1,11 cm
	0,23 m	0,57 m	89,23 kN	1,12 cm
	0,24 m	0,56 m	89,84 kN	1,12 cm
	0,25 m	0,55 m	90,49 kN	1,13 cm
	0,26 m	0,54 m	91,16 kN	1,14 cm
	0,27 m	0,53 m	91,87 kN	1,15 cm
	0,28 m	0,52 m	92,62 kN	1,16 cm
	0,29 m	0,51 m	93,40 kN	1,17 cm
	0,30 m	0,50 m	94,22 kN	1,18 cm
	0,31 m	0,49 m	95,09 kN	1,19 cm
	0,32 m	0,48 m	96,00 kN	1,20 cm
	0,33 m	0,47 m	96,96 kN	1,21 cm
	0,34 m	0,46 m	97,97 kN	1,22 cm
	0,35 m	0,45 m	99,04 kN	1,24 cm
	0,36 m	0,44 m	100,18 kN	1,25 cm
	0,37 m	0,43 m	101,37 kN	1,27 cm
	0,38 m	0,42 m	102,64 kN	1,28 cm
	0,39 m	0,41 m	103,99 kN	1,30 cm
	0,40 m	0,40 m	105,42 kN	1,32 cm
	0,41 m	0,39 m	106,93 kN	1,34 cm
	0,42 m	0,38 m	108,55 kN	1,36 cm
	0,43 m	0,37 m	110,27 kN	1,38 cm
	0,44 m	0,36 m	112,11 kN	1,40 cm
	0,45 m	0,35 m	114,07 kN	1,43 cm
	0,46 m	0,34 m	116,18 kN	1,45 cm
	0,47 m	0,33 m	118,43 kN	1,48 cm
	0,48 m	0,32 m	120,85 kN	1,51 cm
	0,49 m	0,31 m	123,45 kN	1,54 cm
	0,50 m	0,30 m	126,26 kN	1,58 cm
	0,51 m	0,29 m	129,29 kN	1,62 cm
	0,52 m	0,28 m	132,57 kN	1,66 cm
	0,53 m	0,27 m	136,12 kN	1,70 cm
	0,54 m	0,26 m	139,99 kN	1,75 cm
	0,55 m	0,25 m	144,21 kN	1,80 cm

Tab. 10: Datenblatt für Abb. 73 (Pfahlachsabstand 1,80m DSV-Druckfestigkeit 8,00 MN/m²)

- Pfahlachsabstand 2,20m, DSV-Festigkeit 2,00 MN/m²

Achsabstand	2,20 m	GW Höhe	10,00 m	
DSV-Radius	1,00 m			
Tiefe	12,00 m			
$\sigma_{DSV} =$	2,00 MN/m ²			
q	77,82 kN/m	w	95,00 kN/m	
B O D E N A U F F L A S T				
	ygewählt	yStich,Boden	max NErddr.	bErddr.
	0,10 m	0,90 m	100,32 kN	5,02 cm
	0,11 m	0,89 m	100,62 kN	5,03 cm
	0,12 m	0,88 m	100,94 kN	5,05 cm
	0,13 m	0,87 m	101,27 kN	5,06 cm
	0,14 m	0,86 m	101,61 kN	5,08 cm

	0,15 m	0,85 m	101,95 kN	5,10 cm
	0,16 m	0,84 m	102,31 kN	5,12 cm
	0,17 m	0,83 m	102,69 kN	5,13 cm
	0,18 m	0,82 m	103,07 kN	5,15 cm
	0,19 m	0,81 m	103,47 kN	5,17 cm
	0,20 m	0,80 m	103,88 kN	5,19 cm
	0,21 m	0,79 m	104,30 kN	5,21 cm
	0,22 m	0,78 m	104,74 kN	5,24 cm
	0,23 m	0,77 m	105,19 kN	5,26 cm
	0,24 m	0,76 m	105,66 kN	5,28 cm
	0,25 m	0,75 m	106,15 kN	5,31 cm
	0,26 m	0,74 m	106,65 kN	5,33 cm
	0,27 m	0,73 m	107,17 kN	5,36 cm
	0,28 m	0,72 m	107,71 kN	5,39 cm
	0,29 m	0,71 m	108,28 kN	5,41 cm
	0,30 m	0,70 m	108,86 kN	5,44 cm
	0,31 m	0,69 m	109,46 kN	5,47 cm
	0,32 m	0,68 m	110,09 kN	5,50 cm
	0,33 m	0,67 m	110,74 kN	5,54 cm
	0,34 m	0,66 m	111,42 kN	5,57 cm
	0,35 m	0,65 m	112,13 kN	5,61 cm
	0,36 m	0,64 m	112,86 kN	5,64 cm
	0,37 m	0,63 m	113,63 kN	5,68 cm
	0,38 m	0,62 m	114,42 kN	5,72 cm
	0,39 m	0,61 m	115,25 kN	5,76 cm
	0,40 m	0,60 m	116,12 kN	5,81 cm
	0,41 m	0,59 m	117,02 kN	5,85 cm
	0,42 m	0,58 m	117,96 kN	5,90 cm
	0,43 m	0,57 m	118,95 kN	5,95 cm
	0,44 m	0,56 m	119,98 kN	6,00 cm
	0,45 m	0,55 m	121,05 kN	6,05 cm
	0,46 m	0,54 m	122,18 kN	6,11 cm
	0,47 m	0,53 m	123,36 kN	6,17 cm
	0,48 m	0,52 m	124,59 kN	6,23 cm
	0,49 m	0,51 m	125,89 kN	6,29 cm
	0,50 m	0,50 m	127,25 kN	6,36 cm
	0,51 m	0,49 m	128,68 kN	6,43 cm
	0,52 m	0,48 m	130,18 kN	6,51 cm
	0,53 m	0,47 m	131,76 kN	6,59 cm
	0,54 m	0,46 m	133,42 kN	6,67 cm
	0,55 m	0,45 m	135,17 kN	6,76 cm
	0,56 m	0,44 m	137,02 kN	6,85 cm
	0,57 m	0,43 m	138,97 kN	6,95 cm
	0,58 m	0,42 m	141,04 kN	7,05 cm
	0,59 m	0,41 m	143,22 kN	7,16 cm
	0,60 m	0,40 m	145,53 kN	7,28 cm
	0,61 m	0,39 m	147,98 kN	7,40 cm
	0,62 m	0,38 m	150,59 kN	7,53 cm
	0,63 m	0,37 m	153,35 kN	7,67 cm
	0,64 m	0,36 m	156,30 kN	7,81 cm
	0,65 m	0,35 m	159,44 kN	7,97 cm
	0,66 m	0,34 m	162,79 kN	8,14 cm
	0,67 m	0,33 m	166,37 kN	8,32 cm
	0,68 m	0,32 m	170,21 kN	8,51 cm
	0,69 m	0,31 m	174,33 kN	8,72 cm
	0,70 m	0,30 m	178,76 kN	8,94 cm
	0,71 m	0,29 m	183,52 kN	9,18 cm
	0,72 m	0,28 m	188,67 kN	9,43 cm
	0,73 m	0,27 m	194,24 kN	9,71 cm

	0,74 m	0,26 m	200,28 kN	10,01 cm
	0,75 m	0,25 m	206,86 kN	10,34 cm

Tab. 11: Datenblatt für Abb. 73 und Abb. 75 (Pfahlachsabstand 2,20m DSV-Druckfestigkeit 2,00 MN/m²)

- Pfahlachsabstand 2,20m, DSV-Festigkeit 4,00 MN/m²

SENSITIVITÄTSSTUDIE ygewählt				
Achsabstand	2,20 m	GW Höhe	10,00 m	
DSV-Radius	1,00 m			
Tiefe	12,00 m			
$\sigma_{DSV} =$	4,00 MN/m ²			
q	77,82 kN/m	w	95,00 kN/m	
BODENAUFPLAST				
	ygewählt	yStich,Boden	max NErddr.	bErddr.
	0,10 m	0,90 m	100,32 kN	2,51 cm
	0,11 m	0,89 m	100,62 kN	2,52 cm
	0,12 m	0,88 m	100,94 kN	2,52 cm
	0,13 m	0,87 m	101,27 kN	2,53 cm
	0,14 m	0,86 m	101,61 kN	2,54 cm
	0,15 m	0,85 m	101,95 kN	2,55 cm
	0,16 m	0,84 m	102,31 kN	2,56 cm
	0,17 m	0,83 m	102,69 kN	2,57 cm
	0,18 m	0,82 m	103,07 kN	2,58 cm
	0,19 m	0,81 m	103,47 kN	2,59 cm
	0,20 m	0,80 m	103,88 kN	2,60 cm
	0,21 m	0,79 m	104,30 kN	2,61 cm
	0,22 m	0,78 m	104,74 kN	2,62 cm
	0,23 m	0,77 m	105,19 kN	2,63 cm
	0,24 m	0,76 m	105,66 kN	2,64 cm
	0,25 m	0,75 m	106,15 kN	2,65 cm
	0,26 m	0,74 m	106,65 kN	2,67 cm
	0,27 m	0,73 m	107,17 kN	2,68 cm
	0,28 m	0,72 m	107,71 kN	2,69 cm
	0,29 m	0,71 m	108,28 kN	2,71 cm
	0,30 m	0,70 m	108,86 kN	2,72 cm
	0,31 m	0,69 m	109,46 kN	2,74 cm
	0,32 m	0,68 m	110,09 kN	2,75 cm
	0,33 m	0,67 m	110,74 kN	2,77 cm
	0,34 m	0,66 m	111,42 kN	2,79 cm
	0,35 m	0,65 m	112,13 kN	2,80 cm
	0,36 m	0,64 m	112,86 kN	2,82 cm
	0,37 m	0,63 m	113,63 kN	2,84 cm
	0,38 m	0,62 m	114,42 kN	2,86 cm
	0,39 m	0,61 m	115,25 kN	2,88 cm
	0,40 m	0,60 m	116,12 kN	2,90 cm
	0,41 m	0,59 m	117,02 kN	2,93 cm
	0,42 m	0,58 m	117,96 kN	2,95 cm
	0,43 m	0,57 m	118,95 kN	2,97 cm
	0,44 m	0,56 m	119,98 kN	3,00 cm
	0,45 m	0,55 m	121,05 kN	3,03 cm
	0,46 m	0,54 m	122,18 kN	3,05 cm
	0,47 m	0,53 m	123,36 kN	3,08 cm
	0,48 m	0,52 m	124,59 kN	3,11 cm
	0,49 m	0,51 m	125,89 kN	3,15 cm

	0,50 m	0,50 m	127,25 kN	3,18 cm
	0,51 m	0,49 m	128,68 kN	3,22 cm
	0,52 m	0,48 m	130,18 kN	3,25 cm
	0,53 m	0,47 m	131,76 kN	3,29 cm
	0,54 m	0,46 m	133,42 kN	3,34 cm
	0,55 m	0,45 m	135,17 kN	3,38 cm
	0,56 m	0,44 m	137,02 kN	3,43 cm
	0,57 m	0,43 m	138,97 kN	3,47 cm
	0,58 m	0,42 m	141,04 kN	3,53 cm
	0,59 m	0,41 m	143,22 kN	3,58 cm
	0,60 m	0,40 m	145,53 kN	3,64 cm
	0,61 m	0,39 m	147,98 kN	3,70 cm
	0,62 m	0,38 m	150,59 kN	3,76 cm
	0,63 m	0,37 m	153,35 kN	3,83 cm
	0,64 m	0,36 m	156,30 kN	3,91 cm
	0,65 m	0,35 m	159,44 kN	3,99 cm
	0,66 m	0,34 m	162,79 kN	4,07 cm
	0,67 m	0,33 m	166,37 kN	4,16 cm
	0,68 m	0,32 m	170,21 kN	4,26 cm
	0,69 m	0,31 m	174,33 kN	4,36 cm
	0,70 m	0,30 m	178,76 kN	4,47 cm
	0,71 m	0,29 m	183,52 kN	4,59 cm
	0,72 m	0,28 m	188,67 kN	4,72 cm
	0,73 m	0,27 m	194,24 kN	4,86 cm
	0,74 m	0,26 m	200,28 kN	5,01 cm
	0,75 m	0,25 m	206,86 kN	5,17 cm

Tab. 12: Datenblatt für Abb. 73 und Abb. 75 (Pfahlachsabstand 2,20m DSV-Druckfestigkeit 4,00 MN/m²)

- Pfahlachsabstand 2,20m, DSV-Festigkeit 6,00 MN/m²

SENSITIVITÄTSSTUDIE ygewählt				
Achsabstand	2,20 m	GW Höhe	10,00 m	
DSV-Radius	1,00 m			
Tiefe	12,00 m			
$\sigma_{DSV} =$	6,00 MN/m ²			
q	77,82 kN/m	w	95,00 kN/m	
BODENAUFPLAST				
	ygewählt	yStich,Boden	max NErddr.	bErddr.
	0,10 m	0,90 m	100,32 kN	1,67 cm
	0,11 m	0,89 m	100,62 kN	1,68 cm
	0,12 m	0,88 m	100,94 kN	1,68 cm
	0,13 m	0,87 m	101,27 kN	1,69 cm
	0,14 m	0,86 m	101,61 kN	1,69 cm
	0,15 m	0,85 m	101,95 kN	1,70 cm
	0,16 m	0,84 m	102,31 kN	1,71 cm
	0,17 m	0,83 m	102,69 kN	1,71 cm
	0,18 m	0,82 m	103,07 kN	1,72 cm
	0,19 m	0,81 m	103,47 kN	1,72 cm
	0,20 m	0,80 m	103,88 kN	1,73 cm
	0,21 m	0,79 m	104,30 kN	1,74 cm
	0,22 m	0,78 m	104,74 kN	1,75 cm
	0,23 m	0,77 m	105,19 kN	1,75 cm
	0,24 m	0,76 m	105,66 kN	1,76 cm
	0,25 m	0,75 m	106,15 kN	1,77 cm

	0,26 m	0,74 m	106,65 kN	1,78 cm
	0,27 m	0,73 m	107,17 kN	1,79 cm
	0,28 m	0,72 m	107,71 kN	1,80 cm
	0,29 m	0,71 m	108,28 kN	1,80 cm
	0,30 m	0,70 m	108,86 kN	1,81 cm
	0,31 m	0,69 m	109,46 kN	1,82 cm
	0,32 m	0,68 m	110,09 kN	1,83 cm
	0,33 m	0,67 m	110,74 kN	1,85 cm
	0,34 m	0,66 m	111,42 kN	1,86 cm
	0,35 m	0,65 m	112,13 kN	1,87 cm
	0,36 m	0,64 m	112,86 kN	1,88 cm
	0,37 m	0,63 m	113,63 kN	1,89 cm
	0,38 m	0,62 m	114,42 kN	1,91 cm
	0,39 m	0,61 m	115,25 kN	1,92 cm
	0,40 m	0,60 m	116,12 kN	1,94 cm
	0,41 m	0,59 m	117,02 kN	1,95 cm
	0,42 m	0,58 m	117,96 kN	1,97 cm
	0,43 m	0,57 m	118,95 kN	1,98 cm
	0,44 m	0,56 m	119,98 kN	2,00 cm
	0,45 m	0,55 m	121,05 kN	2,02 cm
	0,46 m	0,54 m	122,18 kN	2,04 cm
	0,47 m	0,53 m	123,36 kN	2,06 cm
	0,48 m	0,52 m	124,59 kN	2,08 cm
	0,49 m	0,51 m	125,89 kN	2,10 cm
	0,50 m	0,50 m	127,25 kN	2,12 cm
	0,51 m	0,49 m	128,68 kN	2,14 cm
	0,52 m	0,48 m	130,18 kN	2,17 cm
	0,53 m	0,47 m	131,76 kN	2,20 cm
	0,54 m	0,46 m	133,42 kN	2,22 cm
	0,55 m	0,45 m	135,17 kN	2,25 cm
	0,56 m	0,44 m	137,02 kN	2,28 cm
	0,57 m	0,43 m	138,97 kN	2,32 cm
	0,58 m	0,42 m	141,04 kN	2,35 cm
	0,59 m	0,41 m	143,22 kN	2,39 cm
	0,60 m	0,40 m	145,53 kN	2,43 cm
	0,61 m	0,39 m	147,98 kN	2,47 cm
	0,62 m	0,38 m	150,59 kN	2,51 cm
	0,63 m	0,37 m	153,35 kN	2,56 cm
	0,64 m	0,36 m	156,30 kN	2,60 cm
	0,65 m	0,35 m	159,44 kN	2,66 cm
	0,66 m	0,34 m	162,79 kN	2,71 cm
	0,67 m	0,33 m	166,37 kN	2,77 cm
	0,68 m	0,32 m	170,21 kN	2,84 cm
	0,69 m	0,31 m	174,33 kN	2,91 cm
	0,70 m	0,30 m	178,76 kN	2,98 cm
	0,71 m	0,29 m	183,52 kN	3,06 cm
	0,72 m	0,28 m	188,67 kN	3,14 cm
	0,73 m	0,27 m	194,24 kN	3,24 cm
	0,74 m	0,26 m	200,28 kN	3,34 cm
	0,75 m	0,25 m	206,86 kN	3,45 cm

Tab. 13: Datenblatt für Abb. 73 und Abb. 75 (Pfahlachsabstand 2,20m DSV-Druckfestigkeit 6,00 MN/m²)

- Pfahlachsabstand 2,20m, DSV-Festigkeit 8,00 MN/m²

SENSITIVITÄTSSTUDIE ygewählt				
Achsabstand	2,20 m	GW Höhe	10,00 m	
DSV-Radius	1,00 m			
Tiefe	12,00 m			
$\sigma_{DSV} =$	8,00 MN/m ²			
q	77,82 kN/m	w	95,00 kN/m	
BODENAUF LAST				
	ygewählt	yStich,Boden	max NErddr.	bErddr.
	0,10 m	0,90 m	100,32 kN	1,25 cm
	0,11 m	0,89 m	100,62 kN	1,26 cm
	0,12 m	0,88 m	100,94 kN	1,26 cm
	0,13 m	0,87 m	101,27 kN	1,27 cm
	0,14 m	0,86 m	101,61 kN	1,27 cm
	0,15 m	0,85 m	101,95 kN	1,27 cm
	0,16 m	0,84 m	102,31 kN	1,28 cm
	0,17 m	0,83 m	102,69 kN	1,28 cm
	0,18 m	0,82 m	103,07 kN	1,29 cm
	0,19 m	0,81 m	103,47 kN	1,29 cm
	0,20 m	0,80 m	103,88 kN	1,30 cm
	0,21 m	0,79 m	104,30 kN	1,30 cm
	0,22 m	0,78 m	104,74 kN	1,31 cm
	0,23 m	0,77 m	105,19 kN	1,31 cm
	0,24 m	0,76 m	105,66 kN	1,32 cm
	0,25 m	0,75 m	106,15 kN	1,33 cm
	0,26 m	0,74 m	106,65 kN	1,33 cm
	0,27 m	0,73 m	107,17 kN	1,34 cm
	0,28 m	0,72 m	107,71 kN	1,35 cm
	0,29 m	0,71 m	108,28 kN	1,35 cm
	0,30 m	0,70 m	108,86 kN	1,36 cm
	0,31 m	0,69 m	109,46 kN	1,37 cm
	0,32 m	0,68 m	110,09 kN	1,38 cm
	0,33 m	0,67 m	110,74 kN	1,38 cm
	0,34 m	0,66 m	111,42 kN	1,39 cm
	0,35 m	0,65 m	112,13 kN	1,40 cm
	0,36 m	0,64 m	112,86 kN	1,41 cm
	0,37 m	0,63 m	113,63 kN	1,42 cm
	0,38 m	0,62 m	114,42 kN	1,43 cm
	0,39 m	0,61 m	115,25 kN	1,44 cm
	0,40 m	0,60 m	116,12 kN	1,45 cm
	0,41 m	0,59 m	117,02 kN	1,46 cm
	0,42 m	0,58 m	117,96 kN	1,47 cm
	0,43 m	0,57 m	118,95 kN	1,49 cm
	0,44 m	0,56 m	119,98 kN	1,50 cm
	0,45 m	0,55 m	121,05 kN	1,51 cm
	0,46 m	0,54 m	122,18 kN	1,53 cm
	0,47 m	0,53 m	123,36 kN	1,54 cm
	0,48 m	0,52 m	124,59 kN	1,56 cm
	0,49 m	0,51 m	125,89 kN	1,57 cm
	0,50 m	0,50 m	127,25 kN	1,59 cm
	0,51 m	0,49 m	128,68 kN	1,61 cm
	0,52 m	0,48 m	130,18 kN	1,63 cm
	0,53 m	0,47 m	131,76 kN	1,65 cm

	0,54 m	0,46 m	133,42 kN	1,67 cm
	0,55 m	0,45 m	135,17 kN	1,69 cm
	0,56 m	0,44 m	137,02 kN	1,71 cm
	0,57 m	0,43 m	138,97 kN	1,74 cm
	0,58 m	0,42 m	141,04 kN	1,76 cm
	0,59 m	0,41 m	143,22 kN	1,79 cm
	0,60 m	0,40 m	145,53 kN	1,82 cm
	0,61 m	0,39 m	147,98 kN	1,85 cm
	0,62 m	0,38 m	150,59 kN	1,88 cm
	0,63 m	0,37 m	153,35 kN	1,92 cm
	0,64 m	0,36 m	156,30 kN	1,95 cm
	0,65 m	0,35 m	159,44 kN	1,99 cm
	0,66 m	0,34 m	162,79 kN	2,03 cm
	0,67 m	0,33 m	166,37 kN	2,08 cm
	0,68 m	0,32 m	170,21 kN	2,13 cm
	0,69 m	0,31 m	174,33 kN	2,18 cm
	0,70 m	0,30 m	178,76 kN	2,23 cm
	0,71 m	0,29 m	183,52 kN	2,29 cm
	0,72 m	0,28 m	188,67 kN	2,36 cm
	0,73 m	0,27 m	194,24 kN	2,43 cm
	0,74 m	0,26 m	200,28 kN	2,50 cm
	0,75 m	0,25 m	206,86 kN	2,59 cm

Tab. 14: Datenblatt für Abb. 73 und Abb. 75 (Pfahlachsabstand 2,20m DSV-Druckfestigkeit 8,00 MN/m²)

- Pfahlachsabstand 2,80m, DSV-Festigkeit 2,00 MN/m²

SENSITIVITÄTSSTUDIE ygewählt				
Achsabstand	2,80 m	GW Höhe	10,00 m	
DSV-Radius	1,15 m			
Tiefe	12,00 m			
$\sigma_{DSV} =$	2,00 MN/m ²			
q	77,82 kN/m	w	95,00 kN/m	
BODENAUFPLAST				
	ygewählt	yStich,Boden	max NErddr.	bErddr.
	0,10 m	1,05 m	130,93 kN	6,55 cm
	0,11 m	1,04 m	131,32 kN	6,57 cm
	0,12 m	1,03 m	131,72 kN	6,59 cm
	0,13 m	1,02 m	132,13 kN	6,61 cm
	0,14 m	1,01 m	132,55 kN	6,63 cm
	0,15 m	1,00 m	132,98 kN	6,65 cm
	0,16 m	0,99 m	133,42 kN	6,67 cm
	0,17 m	0,98 m	133,88 kN	6,69 cm
	0,18 m	0,97 m	134,35 kN	6,72 cm
	0,19 m	0,96 m	134,83 kN	6,74 cm
	0,20 m	0,95 m	135,32 kN	6,77 cm
	0,21 m	0,94 m	135,83 kN	6,79 cm
	0,22 m	0,93 m	136,35 kN	6,82 cm
	0,23 m	0,92 m	136,89 kN	6,84 cm
	0,24 m	0,91 m	137,45 kN	6,87 cm
	0,25 m	0,90 m	138,01 kN	6,90 cm
	0,26 m	0,89 m	138,60 kN	6,93 cm
	0,27 m	0,88 m	139,21 kN	6,96 cm
	0,28 m	0,87 m	139,83 kN	6,99 cm
	0,29 m	0,86 m	140,47 kN	7,02 cm

	0,30 m	0,85 m	141,13 kN	7,06 cm
	0,31 m	0,84 m	141,81 kN	7,09 cm
	0,32 m	0,83 m	142,51 kN	7,13 cm
	0,33 m	0,82 m	143,24 kN	7,16 cm
	0,34 m	0,81 m	143,99 kN	7,20 cm
	0,35 m	0,80 m	144,76 kN	7,24 cm
	0,36 m	0,79 m	145,56 kN	7,28 cm
	0,37 m	0,78 m	146,38 kN	7,32 cm
	0,38 m	0,77 m	147,23 kN	7,36 cm
	0,39 m	0,76 m	148,11 kN	7,41 cm
	0,40 m	0,75 m	149,02 kN	7,45 cm
	0,41 m	0,74 m	149,96 kN	7,50 cm
	0,42 m	0,73 m	150,94 kN	7,55 cm
	0,43 m	0,72 m	151,94 kN	7,60 cm
	0,44 m	0,71 m	152,99 kN	7,65 cm
	0,45 m	0,70 m	154,07 kN	7,70 cm
	0,46 m	0,69 m	155,19 kN	7,76 cm
	0,47 m	0,68 m	156,35 kN	7,82 cm
	0,48 m	0,67 m	157,55 kN	7,88 cm
	0,49 m	0,66 m	158,81 kN	7,94 cm
	0,50 m	0,65 m	160,10 kN	8,01 cm
	0,51 m	0,64 m	161,45 kN	8,07 cm
	0,52 m	0,63 m	162,85 kN	8,14 cm
	0,53 m	0,62 m	164,31 kN	8,22 cm
	0,54 m	0,61 m	165,82 kN	8,29 cm
	0,55 m	0,60 m	167,40 kN	8,37 cm
	0,56 m	0,59 m	169,04 kN	8,45 cm
	0,57 m	0,58 m	170,75 kN	8,54 cm
	0,58 m	0,57 m	172,53 kN	8,63 cm
	0,59 m	0,56 m	174,39 kN	8,72 cm
	0,60 m	0,55 m	176,33 kN	8,82 cm
	0,61 m	0,54 m	178,36 kN	8,92 cm
	0,62 m	0,53 m	180,48 kN	9,02 cm
	0,63 m	0,52 m	182,69 kN	9,13 cm
	0,64 m	0,51 m	185,01 kN	9,25 cm
	0,65 m	0,50 m	187,43 kN	9,37 cm
	0,66 m	0,49 m	189,97 kN	9,50 cm
	0,67 m	0,48 m	192,64 kN	9,63 cm
	0,68 m	0,47 m	195,44 kN	9,77 cm
	0,69 m	0,46 m	198,37 kN	9,92 cm
	0,70 m	0,45 m	201,46 kN	10,07 cm
	0,71 m	0,44 m	204,71 kN	10,24 cm
	0,72 m	0,43 m	208,14 kN	10,41 cm
	0,73 m	0,42 m	211,75 kN	10,59 cm
	0,74 m	0,41 m	215,56 kN	10,78 cm
	0,75 m	0,40 m	219,58 kN	10,98 cm
	0,76 m	0,39 m	223,84 kN	11,19 cm
	0,77 m	0,38 m	228,35 kN	11,42 cm
	0,78 m	0,37 m	233,13 kN	11,66 cm
	0,79 m	0,36 m	238,20 kN	11,91 cm
	0,80 m	0,35 m	243,60 kN	12,18 cm
	0,81 m	0,34 m	249,35 kN	12,47 cm
	0,82 m	0,33 m	255,48 kN	12,77 cm
	0,83 m	0,32 m	262,03 kN	13,10 cm
	0,84 m	0,31 m	269,04 kN	13,45 cm
	0,85 m	0,30 m	276,56 kN	13,83 cm
	0,86 m	0,29 m	284,64 kN	14,23 cm
	0,87 m	0,28 m	293,34 kN	14,67 cm
	0,88 m	0,27 m	302,73 kN	15,14 cm

	0,89 m	0,26 m	312,89 kN	15,64 cm
	0,90 m	0,25 m	323,91 kN	16,20 cm

Tab. 15: Datenblatt für Abb. 75 (Pfahlachsabstand 2,80m DSV-Druckfestigkeit 2,00 MN/m²)

- Pfahlachsabstand 2,80m, DSV-Festigkeit 4,00 MN/m²

SENSITIVITÄTSSTUDIE ygewählt				
Achsabstand	2,80 m	GW Höhe	10,00 m	
DSV-Radius	1,15 m			
Tiefe	12,00 m			
$\sigma_{DSV} =$	4,00 MN/m ²			
q	77,82 kN/m	w	95,00 kN/m	
BODENAUFPLAST				
	ygewählt	yStich,Boden	max NErddr.	bErddr.
	0,10 m	1,05 m	130,93 kN	3,27 cm
	0,11 m	1,04 m	131,32 kN	3,28 cm
	0,12 m	1,03 m	131,72 kN	3,29 cm
	0,13 m	1,02 m	132,13 kN	3,30 cm
	0,14 m	1,01 m	132,55 kN	3,31 cm
	0,15 m	1,00 m	132,98 kN	3,32 cm
	0,16 m	0,99 m	133,42 kN	3,34 cm
	0,17 m	0,98 m	133,88 kN	3,35 cm
	0,18 m	0,97 m	134,35 kN	3,36 cm
	0,19 m	0,96 m	134,83 kN	3,37 cm
	0,20 m	0,95 m	135,32 kN	3,38 cm
	0,21 m	0,94 m	135,83 kN	3,40 cm
	0,22 m	0,93 m	136,35 kN	3,41 cm
	0,23 m	0,92 m	136,89 kN	3,42 cm
	0,24 m	0,91 m	137,45 kN	3,44 cm
	0,25 m	0,90 m	138,01 kN	3,45 cm
	0,26 m	0,89 m	138,60 kN	3,47 cm
	0,27 m	0,88 m	139,21 kN	3,48 cm
	0,28 m	0,87 m	139,83 kN	3,50 cm
	0,29 m	0,86 m	140,47 kN	3,51 cm
	0,30 m	0,85 m	141,13 kN	3,53 cm
	0,31 m	0,84 m	141,81 kN	3,55 cm
	0,32 m	0,83 m	142,51 kN	3,56 cm
	0,33 m	0,82 m	143,24 kN	3,58 cm
	0,34 m	0,81 m	143,99 kN	3,60 cm
	0,35 m	0,80 m	144,76 kN	3,62 cm
	0,36 m	0,79 m	145,56 kN	3,64 cm
	0,37 m	0,78 m	146,38 kN	3,66 cm
	0,38 m	0,77 m	147,23 kN	3,68 cm
	0,39 m	0,76 m	148,11 kN	3,70 cm
	0,40 m	0,75 m	149,02 kN	3,73 cm
	0,41 m	0,74 m	149,96 kN	3,75 cm
	0,42 m	0,73 m	150,94 kN	3,77 cm
	0,43 m	0,72 m	151,94 kN	3,80 cm
	0,44 m	0,71 m	152,99 kN	3,82 cm
	0,45 m	0,70 m	154,07 kN	3,85 cm
	0,46 m	0,69 m	155,19 kN	3,88 cm
	0,47 m	0,68 m	156,35 kN	3,91 cm
	0,48 m	0,67 m	157,55 kN	3,94 cm
	0,49 m	0,66 m	158,81 kN	3,97 cm

	0,50 m	0,65 m	160,10 kN	4,00 cm
	0,51 m	0,64 m	161,45 kN	4,04 cm
	0,52 m	0,63 m	162,85 kN	4,07 cm
	0,53 m	0,62 m	164,31 kN	4,11 cm
	0,54 m	0,61 m	165,82 kN	4,15 cm
	0,55 m	0,60 m	167,40 kN	4,18 cm
	0,56 m	0,59 m	169,04 kN	4,23 cm
	0,57 m	0,58 m	170,75 kN	4,27 cm
	0,58 m	0,57 m	172,53 kN	4,31 cm
	0,59 m	0,56 m	174,39 kN	4,36 cm
	0,60 m	0,55 m	176,33 kN	4,41 cm
	0,61 m	0,54 m	178,36 kN	4,46 cm
	0,62 m	0,53 m	180,48 kN	4,51 cm
	0,63 m	0,52 m	182,69 kN	4,57 cm
	0,64 m	0,51 m	185,01 kN	4,63 cm
	0,65 m	0,50 m	187,43 kN	4,69 cm
	0,66 m	0,49 m	189,97 kN	4,75 cm
	0,67 m	0,48 m	192,64 kN	4,82 cm
	0,68 m	0,47 m	195,44 kN	4,89 cm
	0,69 m	0,46 m	198,37 kN	4,96 cm
	0,70 m	0,45 m	201,46 kN	5,04 cm
	0,71 m	0,44 m	204,71 kN	5,12 cm
	0,72 m	0,43 m	208,14 kN	5,20 cm
	0,73 m	0,42 m	211,75 kN	5,29 cm
	0,74 m	0,41 m	215,56 kN	5,39 cm
	0,75 m	0,40 m	219,58 kN	5,49 cm
	0,76 m	0,39 m	223,84 kN	5,60 cm
	0,77 m	0,38 m	228,35 kN	5,71 cm
	0,78 m	0,37 m	233,13 kN	5,83 cm
	0,79 m	0,36 m	238,20 kN	5,96 cm
	0,80 m	0,35 m	243,60 kN	6,09 cm
	0,81 m	0,34 m	249,35 kN	6,23 cm
	0,82 m	0,33 m	255,48 kN	6,39 cm
	0,83 m	0,32 m	262,03 kN	6,55 cm
	0,84 m	0,31 m	269,04 kN	6,73 cm
	0,85 m	0,30 m	276,56 kN	6,91 cm
	0,86 m	0,29 m	284,64 kN	7,12 cm
	0,87 m	0,28 m	293,34 kN	7,33 cm
	0,88 m	0,27 m	302,73 kN	7,57 cm
	0,89 m	0,26 m	312,89 kN	7,82 cm
	0,90 m	0,25 m	323,91 kN	8,10 cm

Tab. 16: Datenblatt für Abb. 75 (Pfahlachsabstand 2,80m DSV-Druckfestigkeit 4,00 MN/m²)

- Pfahlachsabstand 2,80m, DSV-Festigkeit 6,00 MN/m²

SENSITIVITÄTSSTUDIE ygewählt				
Achsabstand	2,80 m	GW Höhe	10,00 m	
DSV-Radius	1,15 m			
Tiefe	12,00 m			
$\sigma_{DSV} =$	6,00 MN/m ²			
q	77,82 kN/m	w	95,00 kN/m	
BODENAUFPLAST				
ygewählt	yStich,Boden	max NErddr.	bErddr.	
0,10 m	1,05 m	130,93 kN	2,18 cm	

	0,11 m	1,04 m	131,32 kN	2,19 cm
	0,12 m	1,03 m	131,72 kN	2,20 cm
	0,13 m	1,02 m	132,13 kN	2,20 cm
	0,14 m	1,01 m	132,55 kN	2,21 cm
	0,15 m	1,00 m	132,98 kN	2,22 cm
	0,16 m	0,99 m	133,42 kN	2,22 cm
	0,17 m	0,98 m	133,88 kN	2,23 cm
	0,18 m	0,97 m	134,35 kN	2,24 cm
	0,19 m	0,96 m	134,83 kN	2,25 cm
	0,20 m	0,95 m	135,32 kN	2,26 cm
	0,21 m	0,94 m	135,83 kN	2,26 cm
	0,22 m	0,93 m	136,35 kN	2,27 cm
	0,23 m	0,92 m	136,89 kN	2,28 cm
	0,24 m	0,91 m	137,45 kN	2,29 cm
	0,25 m	0,90 m	138,01 kN	2,30 cm
	0,26 m	0,89 m	138,60 kN	2,31 cm
	0,27 m	0,88 m	139,21 kN	2,32 cm
	0,28 m	0,87 m	139,83 kN	2,33 cm
	0,29 m	0,86 m	140,47 kN	2,34 cm
	0,30 m	0,85 m	141,13 kN	2,35 cm
	0,31 m	0,84 m	141,81 kN	2,36 cm
	0,32 m	0,83 m	142,51 kN	2,38 cm
	0,33 m	0,82 m	143,24 kN	2,39 cm
	0,34 m	0,81 m	143,99 kN	2,40 cm
	0,35 m	0,80 m	144,76 kN	2,41 cm
	0,36 m	0,79 m	145,56 kN	2,43 cm
	0,37 m	0,78 m	146,38 kN	2,44 cm
	0,38 m	0,77 m	147,23 kN	2,45 cm
	0,39 m	0,76 m	148,11 kN	2,47 cm
	0,40 m	0,75 m	149,02 kN	2,48 cm
	0,41 m	0,74 m	149,96 kN	2,50 cm
	0,42 m	0,73 m	150,94 kN	2,52 cm
	0,43 m	0,72 m	151,94 kN	2,53 cm
	0,44 m	0,71 m	152,99 kN	2,55 cm
	0,45 m	0,70 m	154,07 kN	2,57 cm
	0,46 m	0,69 m	155,19 kN	2,59 cm
	0,47 m	0,68 m	156,35 kN	2,61 cm
	0,48 m	0,67 m	157,55 kN	2,63 cm
	0,49 m	0,66 m	158,81 kN	2,65 cm
	0,50 m	0,65 m	160,10 kN	2,67 cm
	0,51 m	0,64 m	161,45 kN	2,69 cm
	0,52 m	0,63 m	162,85 kN	2,71 cm
	0,53 m	0,62 m	164,31 kN	2,74 cm
	0,54 m	0,61 m	165,82 kN	2,76 cm
	0,55 m	0,60 m	167,40 kN	2,79 cm
	0,56 m	0,59 m	169,04 kN	2,82 cm
	0,57 m	0,58 m	170,75 kN	2,85 cm
	0,58 m	0,57 m	172,53 kN	2,88 cm
	0,59 m	0,56 m	174,39 kN	2,91 cm
	0,60 m	0,55 m	176,33 kN	2,94 cm
	0,61 m	0,54 m	178,36 kN	2,97 cm
	0,62 m	0,53 m	180,48 kN	3,01 cm
	0,63 m	0,52 m	182,69 kN	3,04 cm
	0,64 m	0,51 m	185,01 kN	3,08 cm
	0,65 m	0,50 m	187,43 kN	3,12 cm
	0,66 m	0,49 m	189,97 kN	3,17 cm
	0,67 m	0,48 m	192,64 kN	3,21 cm
	0,68 m	0,47 m	195,44 kN	3,26 cm
	0,69 m	0,46 m	198,37 kN	3,31 cm

	0,70 m	0,45 m	201,46 kN	3,36 cm
	0,71 m	0,44 m	204,71 kN	3,41 cm
	0,72 m	0,43 m	208,14 kN	3,47 cm
	0,73 m	0,42 m	211,75 kN	3,53 cm
	0,74 m	0,41 m	215,56 kN	3,59 cm
	0,75 m	0,40 m	219,58 kN	3,66 cm
	0,76 m	0,39 m	223,84 kN	3,73 cm
	0,77 m	0,38 m	228,35 kN	3,81 cm
	0,78 m	0,37 m	233,13 kN	3,89 cm
	0,79 m	0,36 m	238,20 kN	3,97 cm
	0,80 m	0,35 m	243,60 kN	4,06 cm
	0,81 m	0,34 m	249,35 kN	4,16 cm
	0,82 m	0,33 m	255,48 kN	4,26 cm
	0,83 m	0,32 m	262,03 kN	4,37 cm
	0,84 m	0,31 m	269,04 kN	4,48 cm
	0,85 m	0,30 m	276,56 kN	4,61 cm
	0,86 m	0,29 m	284,64 kN	4,74 cm
	0,87 m	0,28 m	293,34 kN	4,89 cm
	0,88 m	0,27 m	302,73 kN	5,05 cm
	0,89 m	0,26 m	312,89 kN	5,21 cm
	0,90 m	0,25 m	323,91 kN	5,40 cm

Tab. 17: Datenblatt für Abb. 75 (Pfahlachsabstand 2,80m DSV-Druckfestigkeit 6,00 MN/m²)

- Pfahlachsabstand 2,80m, DSV-Festigkeit 8,00 MN/m²

SENSITIVITÄTSSTUDIE ygewählt				
Achsabstand	2,80 m	GW Höhe	10,00 m	
DSV-Radius	1,15 m			
Tiefe	12,00 m			
$\sigma_{DSV} =$	8,00 MN/m ²			
q	77,82 kN/m	w	95,00 kN/m	
BODENAUFPLAST				
	ygewählt	yStich,Boden	max NErddr.	bErddr.
	0,10 m	1,05 m	130,93 kN	1,64 cm
	0,11 m	1,04 m	131,32 kN	1,64 cm
	0,12 m	1,03 m	131,72 kN	1,65 cm
	0,13 m	1,02 m	132,13 kN	1,65 cm
	0,14 m	1,01 m	132,55 kN	1,66 cm
	0,15 m	1,00 m	132,98 kN	1,66 cm
	0,16 m	0,99 m	133,42 kN	1,67 cm
	0,17 m	0,98 m	133,88 kN	1,67 cm
	0,18 m	0,97 m	134,35 kN	1,68 cm
	0,19 m	0,96 m	134,83 kN	1,69 cm
	0,20 m	0,95 m	135,32 kN	1,69 cm
	0,21 m	0,94 m	135,83 kN	1,70 cm
	0,22 m	0,93 m	136,35 kN	1,70 cm
	0,23 m	0,92 m	136,89 kN	1,71 cm
	0,24 m	0,91 m	137,45 kN	1,72 cm
	0,25 m	0,90 m	138,01 kN	1,73 cm
	0,26 m	0,89 m	138,60 kN	1,73 cm
	0,27 m	0,88 m	139,21 kN	1,74 cm
	0,28 m	0,87 m	139,83 kN	1,75 cm
	0,29 m	0,86 m	140,47 kN	1,76 cm
	0,30 m	0,85 m	141,13 kN	1,76 cm

	0,31 m	0,84 m	141,81 kN	1,77 cm
	0,32 m	0,83 m	142,51 kN	1,78 cm
	0,33 m	0,82 m	143,24 kN	1,79 cm
	0,34 m	0,81 m	143,99 kN	1,80 cm
	0,35 m	0,80 m	144,76 kN	1,81 cm
	0,36 m	0,79 m	145,56 kN	1,82 cm
	0,37 m	0,78 m	146,38 kN	1,83 cm
	0,38 m	0,77 m	147,23 kN	1,84 cm
	0,39 m	0,76 m	148,11 kN	1,85 cm
	0,40 m	0,75 m	149,02 kN	1,86 cm
	0,41 m	0,74 m	149,96 kN	1,87 cm
	0,42 m	0,73 m	150,94 kN	1,89 cm
	0,43 m	0,72 m	151,94 kN	1,90 cm
	0,44 m	0,71 m	152,99 kN	1,91 cm
	0,45 m	0,70 m	154,07 kN	1,93 cm
	0,46 m	0,69 m	155,19 kN	1,94 cm
	0,47 m	0,68 m	156,35 kN	1,95 cm
	0,48 m	0,67 m	157,55 kN	1,97 cm
	0,49 m	0,66 m	158,81 kN	1,99 cm
	0,50 m	0,65 m	160,10 kN	2,00 cm
	0,51 m	0,64 m	161,45 kN	2,02 cm
	0,52 m	0,63 m	162,85 kN	2,04 cm
	0,53 m	0,62 m	164,31 kN	2,05 cm
	0,54 m	0,61 m	165,82 kN	2,07 cm
	0,55 m	0,60 m	167,40 kN	2,09 cm
	0,56 m	0,59 m	169,04 kN	2,11 cm
	0,57 m	0,58 m	170,75 kN	2,13 cm
	0,58 m	0,57 m	172,53 kN	2,16 cm
	0,59 m	0,56 m	174,39 kN	2,18 cm
	0,60 m	0,55 m	176,33 kN	2,20 cm
	0,61 m	0,54 m	178,36 kN	2,23 cm
	0,62 m	0,53 m	180,48 kN	2,26 cm
	0,63 m	0,52 m	182,69 kN	2,28 cm
	0,64 m	0,51 m	185,01 kN	2,31 cm
	0,65 m	0,50 m	187,43 kN	2,34 cm
	0,66 m	0,49 m	189,97 kN	2,37 cm
	0,67 m	0,48 m	192,64 kN	2,41 cm
	0,68 m	0,47 m	195,44 kN	2,44 cm
	0,69 m	0,46 m	198,37 kN	2,48 cm
	0,70 m	0,45 m	201,46 kN	2,52 cm
	0,71 m	0,44 m	204,71 kN	2,56 cm
	0,72 m	0,43 m	208,14 kN	2,60 cm
	0,73 m	0,42 m	211,75 kN	2,65 cm
	0,74 m	0,41 m	215,56 kN	2,69 cm
	0,75 m	0,40 m	219,58 kN	2,74 cm
	0,76 m	0,39 m	223,84 kN	2,80 cm
	0,77 m	0,38 m	228,35 kN	2,85 cm
	0,78 m	0,37 m	233,13 kN	2,91 cm
	0,79 m	0,36 m	238,20 kN	2,98 cm
	0,80 m	0,35 m	243,60 kN	3,05 cm
	0,81 m	0,34 m	249,35 kN	3,12 cm
	0,82 m	0,33 m	255,48 kN	3,19 cm
	0,83 m	0,32 m	262,03 kN	3,28 cm
	0,84 m	0,31 m	269,04 kN	3,36 cm
	0,85 m	0,30 m	276,56 kN	3,46 cm
	0,86 m	0,29 m	284,64 kN	3,56 cm
	0,87 m	0,28 m	293,34 kN	3,67 cm
	0,88 m	0,27 m	302,73 kN	3,78 cm
	0,89 m	0,26 m	312,89 kN	3,91 cm

	0,90 m	0,25 m	323,91 kN	4,05 cm
--	--------	--------	-----------	---------

Tab. 18: Datenblatt für Abb. 75 (Pfahlachsabstand 2,80m DSV-Druckfestigkeit 8,00 MN/m²)

9.1.3 Daten für die Variation der Lage der DSV-Unterkante

- Pfahlachsabstand 1,80m, DSV-Festigkeit 4MN/m²

SENSITIVITÄTSSTUDIE ygewählt				
Achsabstand	1,80 m	GW Höhe	0,00 m	
DSV-Radius	0,80 m			
$\sigma_{DSV} =$	4,00 MN/m ²			
BODENAUFPLAST				
Tiefe	ygewählt	yStich,Boden	max NErddr.	bErddr.
8,00 m	0,10 m	0,70 m	54,30 kN	1,36 cm
10,00 m	0,10 m	0,70 m	68,78 kN	1,72 cm
12,00 m	0,10 m	0,70 m	83,26 kN	2,08 cm
14,00 m	0,10 m	0,70 m	97,74 kN	2,44 cm
16,00 m	0,10 m	0,70 m	112,22 kN	2,81 cm
18,00 m	0,10 m	0,70 m	126,70 kN	3,17 cm
20,00 m	0,10 m	0,70 m	141,18 kN	3,53 cm

Tab. 19: Datenblatt für Abb. 76 und Abb. 78, Pfahlachsabstand 1,80m

- Pfahlachsabstand 2,20m, DSV-Festigkeit 4MN/m²

SENSITIVITÄTSSTUDIE ygewählt				
Achsabstand	2,20 m	GW Höhe	0,00 m	
DSV-Radius	1,00 m			
$\sigma_{DSV} =$	4,00 MN/m ²			
BODENAUFPLAST				
Tiefe	ygewählt	yStich,Boden	max NErddr.	bErddr.
8,00 m	0,10 m	0,90 m	65,42 kN	1,64 cm
10,00 m	0,10 m	0,90 m	82,87 kN	2,07 cm
12,00 m	0,10 m	0,90 m	100,32 kN	2,51 cm
14,00 m	0,10 m	0,90 m	117,76 kN	2,94 cm
16,00 m	0,10 m	0,90 m	135,21 kN	3,38 cm
18,00 m	0,10 m	0,90 m	152,65 kN	3,82 cm
20,00 m	0,10 m	0,90 m	170,10 kN	4,25 cm

Tab. 20: Datenblatt für Abb. 76 und Abb. 78, Pfahlachsabstand 2,20m

- Pfahlachsabstand 2,80m, DSV-Festigkeit 4MN/m²

SENSITIVITÄTSSTUDIE ygewählt				
Achsabstand	2,80 m	GW Höhe	0,00 m	
DSV-Radius	1,15 m			
q	50,75 kN/m	w	0,00 kN/m	
BODENAUF LAST				
Tiefe	ygewählt	yStich,Boden	max NErddr.	bErddr.
8,00 m	0,10 m	1,05 m	85,39 kN	2,13 cm
10,00 m	0,10 m	1,05 m	108,16 kN	2,70 cm
12,00 m	0,10 m	1,05 m	130,93 kN	3,27 cm
14,00 m	0,10 m	1,05 m	153,70 kN	3,84 cm
16,00 m	0,10 m	1,05 m	176,47 kN	4,41 cm
18,00 m	0,10 m	1,05 m	199,25 kN	4,98 cm
20,00 m	0,10 m	1,05 m	222,02 kN	5,55 cm

Tab. 21: Datenblatt für Abb. 76 und Abb. 78, Pfahlachsabstand 2,80m