

Universell einsetzbar

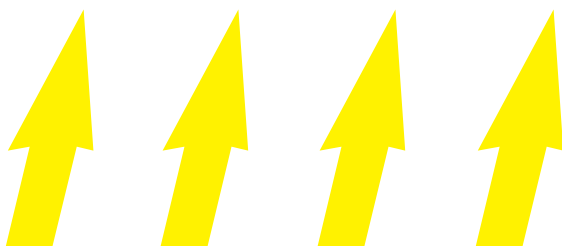
## Pfähle aus duktilem Guss





## **Inhalt**

- 4 Pfähle aus duktilem Guss
- 5 Vorteile des TRM-Pfahlsystems
- 6 Rammen des duktilen Pfahles
- 8 Bestandteile des duktilen Pfahles
- 9 Ausrüstung
- 10 Statischer Nachweis für duktile Rammpfähle
- 11 Anwendungsbeispiele
- 12 Proberammung
- 13 Probelastung des Probepfahls
- 14 Duktiler Gusspfahl zur Nutzung «Erneuerbarer Energie»

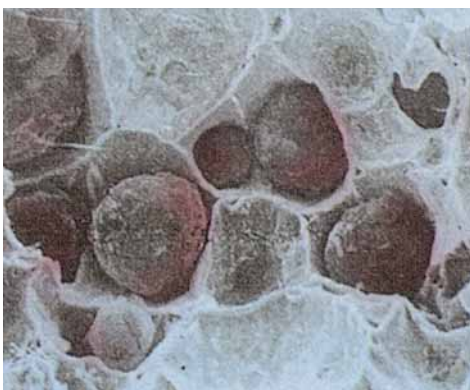




Die Rohre werden im Schleudergussverfahren hergestellt.



Ursprüngliches lamellenartiges Gefüge des Graugusses.



Durch das Nachglühverfahren verändern sich die mechanischen Eigenschaften positiv.

## Pfähle aus duktilem Guss

Pfähle aus duktilem Gusseisen der Tiroler Röhren- und Metallwerke AG sind ein ideales System zur Lastabtragung bei Gründungen aller Art.

### Technische Daten

Dimensionen mm	Wandstärke mm	Widerstandsmoment cm <sup>3</sup>	Querschnitt cm <sup>2</sup>
118	7.5	68	26.04
118	9.0	78	30.82
118	10.6	88	35.77
170	9.0	174	45.52
170	10.6	199	53.08

Standardlänge 5 m

### Pfahlsystem

Das Pfahlsystem besteht aus DUKTILEN Schleudergussrohren mit konischen Muffen und ebenfalls konisch auslaufenden Rohrenden. Dadurch können die einzelnen Rohrelemente im Zuge des fortschreitenden Rammvorganges ohne Spezialwerkzeuge zu längeren Einheiten zusammengesetzt werden und bilden durch die starre Verbindung ein durchgehend homogenes Tragglied – den Pfahl.

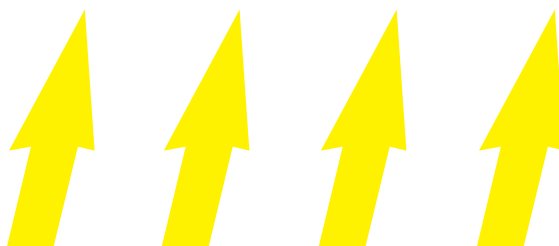
Der DUKTILE Gusseisenpfahl wird je nach Bodenbeschaffenheit als Spitzendruckpfahl oder als betonverpresster Mantelreibungspfahl hergestellt. Die Tragfähigkeit des Pfahles hängt auch von den lokalen Baugrundverhältnissen ab und kann anhand von gemessenen Eindringwiderständen empirisch bestimmt werden.

### Duktiles Gusseisen

Gusseisen wird als Baustoff bereits seit vielen Jahren verwendet und hat vor allem im Rohrleitungsbau aufgrund seiner hohen Beständigkeit gegen mechanische und chemische Einflüsse Tradition. Gusseisen gilt – in Form des Graugusses – nach wie vor als sehr spröder und wenig schlagfester Werkstoff. Diese nachteiligen Eigenschaften des Gusseisens konnten durch die Entwicklung von «Duktilem Gusseisen» entscheidend verbessert werden, sodass der Werkstoff heute der hohen Schlagenergie einer Pfahlrammung einwandfrei standhält. Duktilem Gusseisen ist Gusseisen mit Kugelgraphit und trägt die Kurzbezeichnung GGG.

### Herstellung

In der Schmelze des Gusseisens wird durch Beimengung von Magnesium der Graphit von der spitz auslaufenden Lamellenform (Grauguss) zu einer kugeligen Form (Duktiler Guss) umgewandelt. Nach der Herstellung des Rohres im Schleudergussverfahren wird das Werkstück durch einen langen Nachglühvorgang mit genau abgestimmten Glühzeiten und Glühtemperaturen nachbehandelt. Durch diese Massnahmen verändern sich die mechanischen Eigenschaften weitgehend, die Festigkeit wird angehoben, und der Werkstoff wird zäher. Die chemischen Eigenschaften bleiben gegenüber dem Grauguss praktisch unverändert.



## Vorteile des TRM-Pfahlsystems

**Einfache Baustelleneinrichtung** durch relativ leichte und wendige Geräte (Bagger, Betonpumpe, Rammhammer) ist die Baustelle jederzeit rasch und problemlos – auch bei beengten Platzverhältnissen – einzurichten.

**Nahezu erschütterungsfreies Einbringen der Pfähle** ermöglicht die Pfahlherstellung bis 40 cm Achsabstand von bestehenden Bauwerken.

**Die Pfahlherstellung** kann sowohl vor als auch nach dem Fundamentaushub erfolgen.

**Kraftschlüssige, sichere Verbindung** der einzelnen Pfahlschüsse auf der Baustelle.

**Geringer Verschleiß.** Das abgeschnittene Stück eines Endpfahles kann sofort für die nächste Pfahl-Rammung verwendet werden.

**Kein aufwendiges Nachbearbeiten der Pfahlköpfe**, daher Fortsetzung der Baumeisterarbeiten ohne Verzögerung möglich.

**Tragfähigkeit und Pfahlänge** können bei jedem Pfahl aufgrund der Rammkriterien vor Ort bestimmt werden.

**Die äussere Pfahltragfähigkeit** kann durch Mantelverpressung erhöht werden.

**Extreme Wirtschaftlichkeit!** Geringe Investitionskosten in Gerät und Ausrüstung und eine hohe Produktionsleistung von 200–400 lfm am Tag garantieren wirtschaftlichen und technischen Erfolg.

**Hohe Resistenz gegen Korrosion** aufgrund des duktilen Guss-Materials.

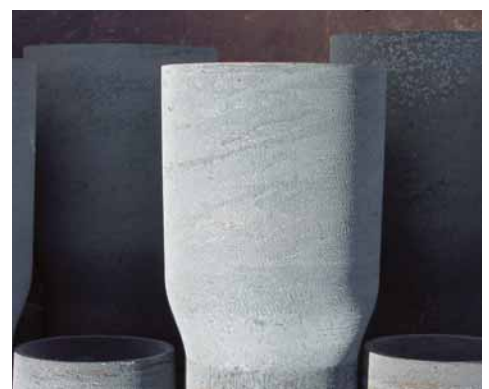
**Pfahlrohre können auf Wunsch auch verzinkt werden.** (Zink + PUR).



Einfache Baustelleneinrichtung: Bagger, Betonlaster, Betonpumpe, Rohre und Rammhammer.



Nahezu erschütterungsfreies Arbeiten ermöglicht Rammung nahe bestehender Gebäude.



Durch die konische Ausführung der Muffen und Rohrenden entsteht eine sichere Verbindung des Pfahles.

## Rammen des duktilen Pfahles



Die Pfähle können mit leichtem ausgebildet. Gerät vom Laster abgeladen und auf der Baustelle transportiert werden.



Dem ersten Pfahl wird ein Schlitz für den Betonaustritt eingesägt.



Das Einsetzen des Pfahles in den Pfahlschuh.

Die geringe Masse der zu rammenden Pfahlrohre ermöglicht die Pfahlherstellung mit einem wendigen Hydraulikbagger mit hydraulischem Schnellschlaghammer. Daher können Pfahlfundierungen auch bei sehr beengten und schwierigen Platzverhältnissen hergestellt werden. Für die Rammung der Pfahlrohre mit dem hydraulischen Schnellschlaghammer genügt eine für Pfahlrammung sehr geringe Einzelschlagenergie zur Erreichung hoher Pfahltragfähigkeiten. Dies ermöglicht die schonende, nahezu erschütterungsfreie Einbringung der Pfähle in den Baugrund in unmittelbarer Nähe bestehender Gebäude. Ein Pfahlachsabstand von 40 cm vom Bestand kann eingehalten werden. Schrägpfähle können bedingt durch die wendigen Geräte in nahezu jeder Neigung und Richtung hergestellt werden.



Die Pfähle werden einer nach dem anderen mit dem am Bagger montierten hydraulischen Schnellschlaghammer in den Untergrund getrieben.

Der erste Rohrschuss wird, versehen mit einem Pfahlschuh, im bereits fertiggestellten Voraushub angesetzt und eingerammt. Der nächste Rohrschuss wird in die konische Muffe des vorhin eingerammten Rohres eingesetzt. Durch den Rammvorgang entsteht eine starre, kraftschlüssige Verbindung. Der Pfahl wird auf die Endtiefe, die aufgrund des Eindringwiderstandes festgestellt wird, eingerammt; der Überstand wird auf planliche Höhe mit der Trennscheibe abgetrennt. Das Reststück wird, versehen mit einem neuen Pfahlschuh, sogleich als erster Rohrschuss des nächsten Pfahles angesetzt. Daher fällt bei der Pfahlherstellung kaum Verschnitt an. Die fertig gerammten Pfähle werden zur Traglasterrhöhung mit Beton ausgefüllt und der Pfahlkopf wird je nach Erfordernis des Lastabtragung mit einer Druckverteilungsplatte oder einer Zusatzbewehrung ausgebildet.



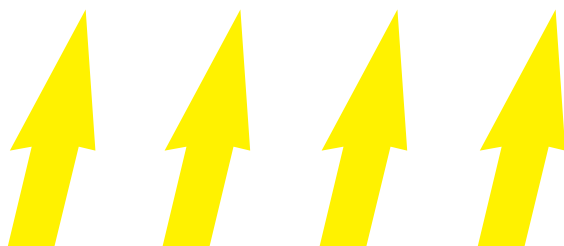
Ein weiterer Pfahl wird auf einen schon gerammten Pfahl gesetzt.



Das überstehende Pfahlstück wird auf einfache Weise mit der Trennscheibe abgesägt und kann als Anfangsstück wieder verwendet werden.

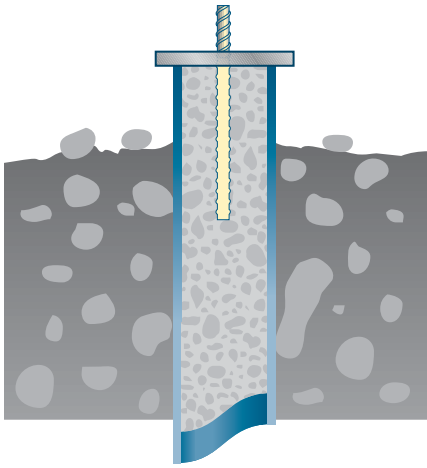


Mit einer Platte abgeschlossener Pfahl und Armierung fertig für den Betonguss.

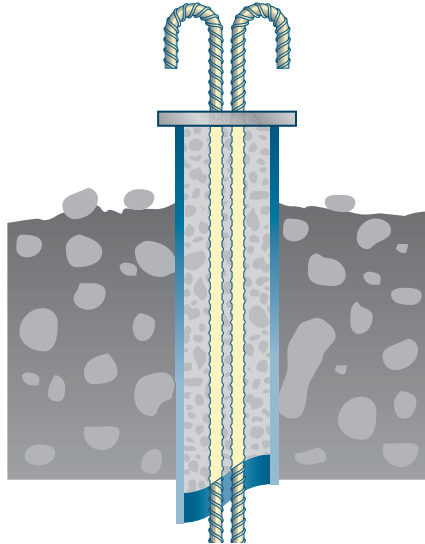


# Bestandteile des duktilen Pfahles

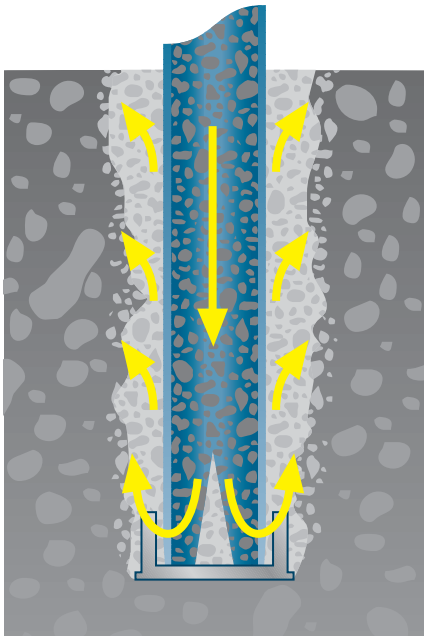
Pfahlkopf Platte



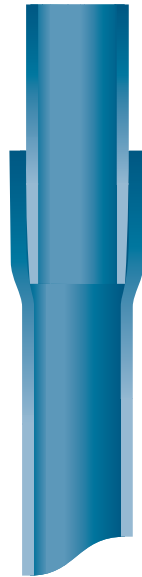
Zugbewehrung nach statischer Erfordernis



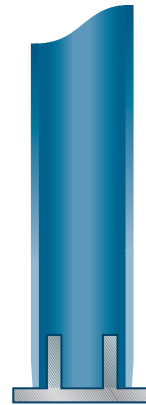
Pfahlschuh für verpresste Pfähle



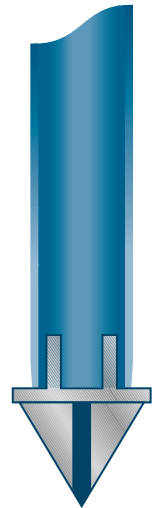
Konische Steckmuffenverbindung



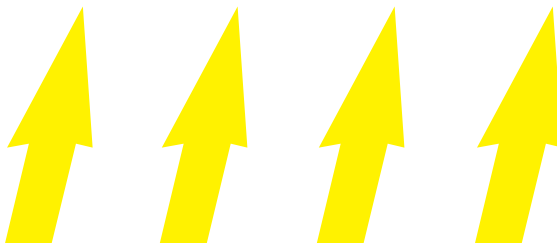
Pfahlschuhe für nicht verpresste Pfähle



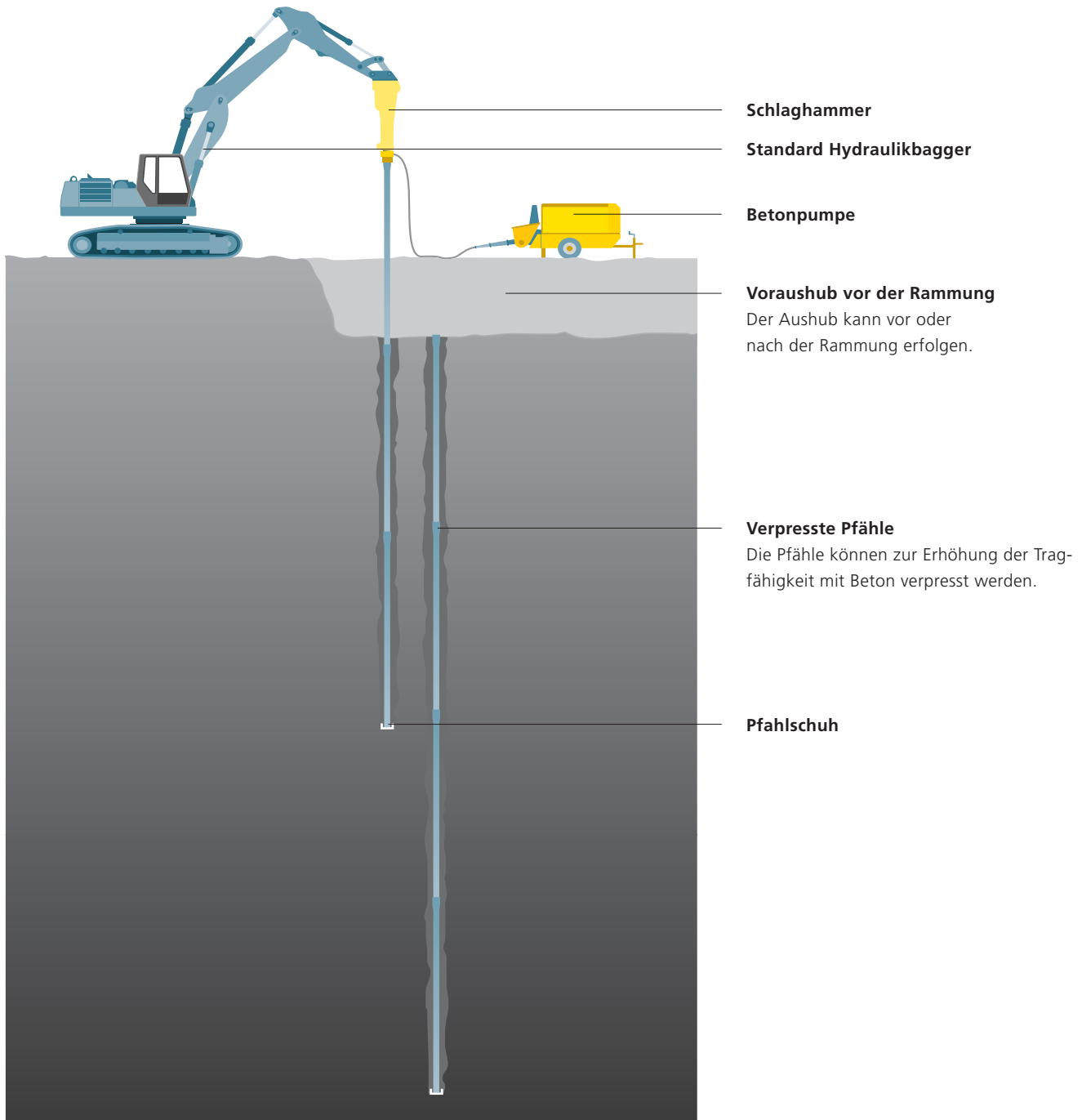
Standard



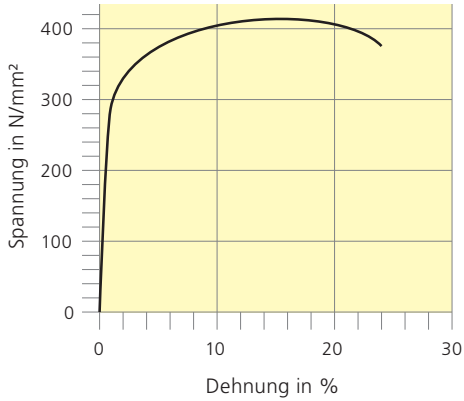
Bei schwierigen Bodenverhältnissen kann auch eine Felsrammspitze verwendet werden.



## Ausrüstung



## Statischer Nachweis für duktile Rammpfähle



### Wesentliche physikalische Kennwerte des duktilen Gusseisens

Druckfestigkeit	900 N/mm <sup>2</sup>
Zugfestigkeit	420 N/mm <sup>2</sup>
Proportionalitätsgrenze, 0.2 % Dehngrenze	300 N/mm <sup>2</sup>
E-Modul	140 000 – 170 000 N/mm <sup>2</sup>
Spez. Gew. Dichte	70.5 KN/m <sup>3</sup>
Brinellhärte	< 250 HB

### Innere Tragfähigkeit

Die innere Tragfähigkeit wird durch die geometrische Form des Pfahles und seinen physikalischen Eigenschaften bestimmt. So ergeben sich beispielsweise bei Festlegung einer zulässigen Spannung von 200 N/mm<sup>2</sup> folgende zulässige Belastungen der einzelnen Pfahltypen (Gebrauchsniveau).



Gut sichtbar wie bei der Mantelverpressung eine Verzahnung mit dem Baugrund erfolgt.

Typ	Wanddicke in mm	Tragfähigkeit in kN (Gebrauchslast)	
		Pfahl	Pfahl + Beton C 20/25
118	7.5	427	470
118	9.0	526	558
118	10.6	567	626
170	9.0	780	890
170	10.6	928	1020

### Äussere Tragfähigkeit

Die äussere Tragfähigkeit wird wie üblich durch Probelastungen oder durch die üblichen Bodenerkundungsmassnahmen wie Rammsondierung, Drucksondierung, Erfahrungswerte, u.s.w. ermittelt. Wir unterscheiden aber immer zwischen den zwei unterschiedlichen Methoden zur Herstellung eines Pfahles.

#### 1. Unverpresste Pfähle

Pfähle werden unverpresst gerammt, wenn sie in eine tragende Bodenschicht eingebunden oder in Fels eingerammt werden (Aufstandspfähle). In diesem Falle kann die zulässige innere Tragkraft ausgenützt werden.

#### 2. Mantelverpressung mit Betonmörtel

Mantelverpressung ist zur Erhöhung der Tragfähigkeit in sandigen und rolligen Böden (Kies) erforderlich. Dabei wird während der Rammung durch das Pfahlrohr Betonmörtel eingepresst, der über einen Pfahlschuh mit grösserem Durchmesser den Ringraum ausfüllt und dadurch die Manteloberfläche des Pfahles vergrössert. Dabei erfolgt auch eine innige Verzahnung mit dem Baugrund.

## Anwendungsbeispiele

### Hochbau (1)

Das Pfahlssystem eignet sich für Gründungen von Gebäuden aller Art. Im Besonderen aber auch bei beengten Platzverhältnissen, vor allem wegen der Wendigkeit der Geräte und der kurzen Ausführungszeit. Die Ausführung von Pfahlrosten in Mauerstärke bringt wesentliche Einsparungen an Fundamentbeton, wodurch die Wirtschaftlichkeit dieses Pfahlsystems noch gesteigert wird.

### Industriebau (2)

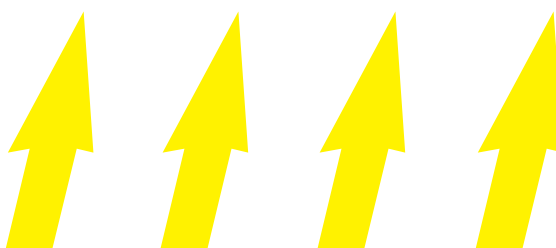
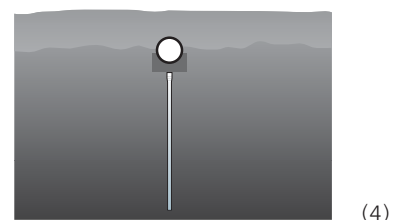
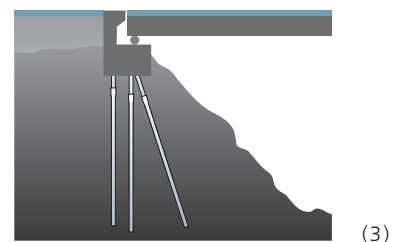
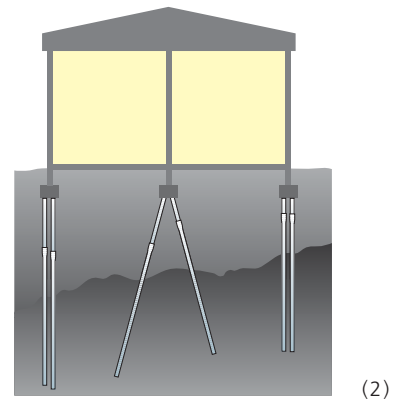
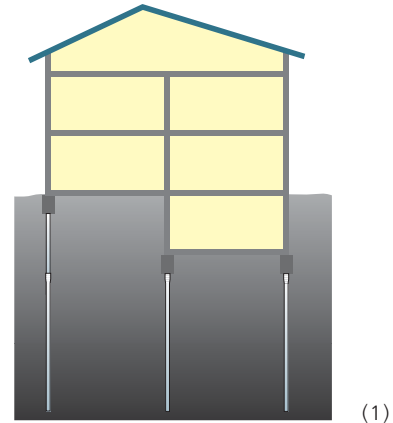
Fundierung von Fertigteilhallen, die heutzutage meist als leichte Konstruktionen ausgebildet sind, aber in Bezug auf Setzungen und vor allem Setzungsdifferenzen sehr empfindlich sind. Die Pfähle können direkt in sehr klein gehaltene Köcherfundamente eingebunden werden und bilden Pfahlböcke, die Wind- und Erdbebenkräfte sicher in den Baugrund abtragen.

### Brückenbau (3)

Bei der Fundierung von Brückenwiederlagern ist die einfache und schnelle Umstellung der Geräte von besonderer Bedeutung. Die Lastabtragung ist nach Lastkomponenten klar zu trennen: Momente werden durch Pfahlböcke und Horizontalkräfte durch schräg geneigte Pfähle abgetragen.

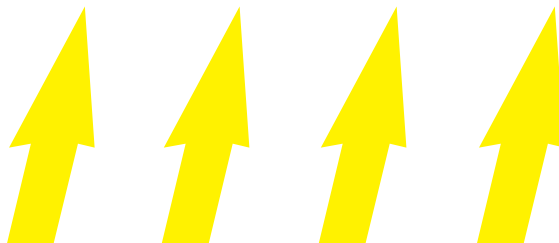
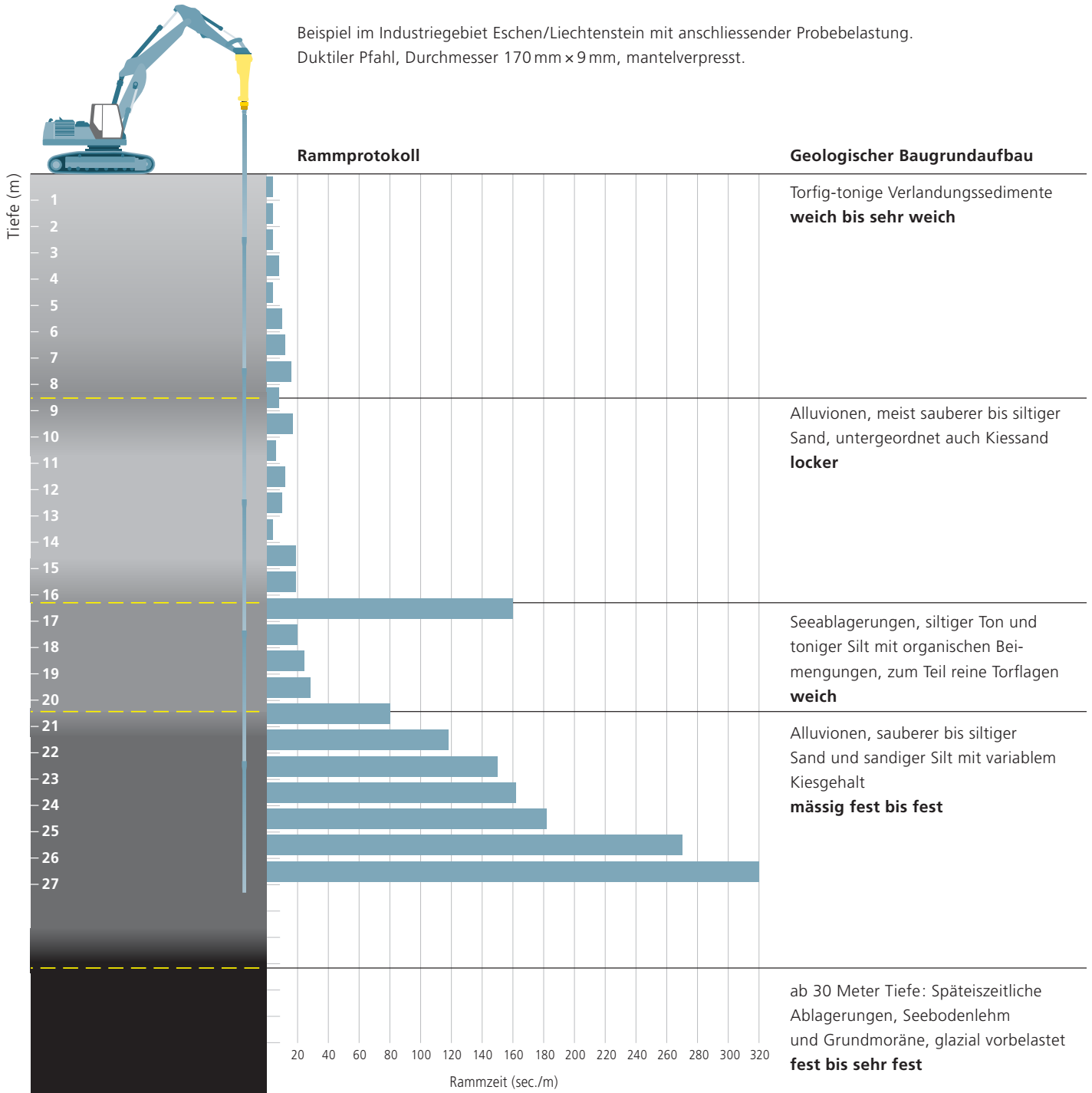
### Fundierung von Rohrleitungen (4)

In weichen Böden zur Vermeidung von unzulässigen Setzungen.



# Proberammung

Beispiel im Industriegebiet Eschen/Liechtenstein mit anschliessender Probebelastung.  
 Duktiler Pfahl, Durchmesser 170 mm x 9 mm, mantelverpresst.

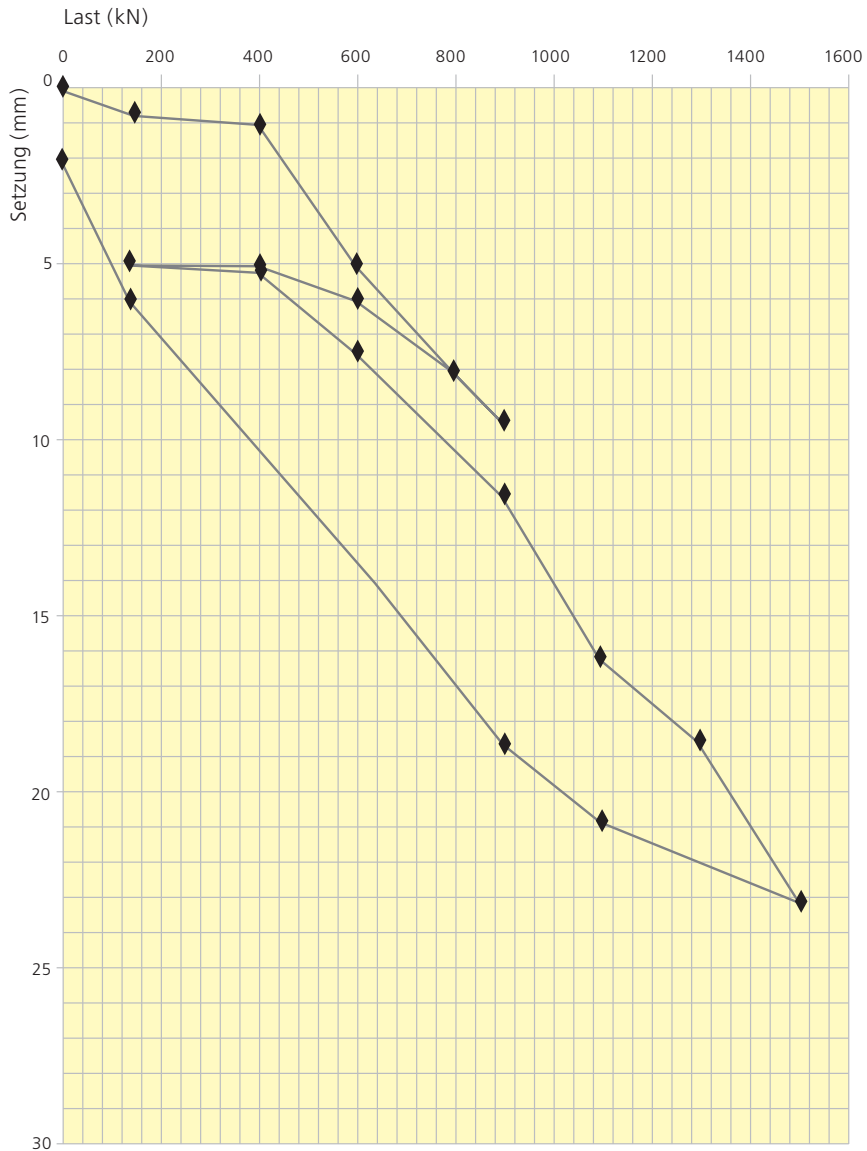


## Probebelastung des Probepfahls

Am Beispiel der Proberammung im Industriegebiet Eschen/Liechtenstein.

Duktiler Pfahl, Durchmesser 170 mm x 9 mm, mantelverpresst.

### Last-Setzungslinie



Die Probebelastung eines Pfahles im Eschner Industriegebiet.

## Duktiler Gusspfahl zur Nutzung «Erneuerbarer Energie»

### Richtwerte

Für eine erste Abschätzung der Leistungsgrößenordnung einer Energiepfahlanlage können folgende Richtwerte herangezogen werden:

### Heizleistung

Erdfeuchtes, lehmig sandiges Erdreich	25–30 W/lm
Wassergesättigtes Erdreich	30–35 W/lm
Wasserführendes Erdreich	>40 W/lm

### Kühlleistung

Erdfeuchtes, lehmig sandiges Erdreich	20–25 W/lm
Wassergesättigtes Erdreich	25–30 W/lm
Wasserführendes Erdreich	>35 W/lm

Pfahllängen je nach statischen Erfordernissen  
15–30 m Länge.

Überall dort wo duktile Gusspfähle aus statischen Gründen zum Abtragen von Gebäude-lasten ins Erdreich eingesetzt werden, lassen sich die Gusspfähle ausgezeichnet und effizient als Energiepfähle zur Gewinnung von Erdwärme zu Heiz- und Kühlzwecken einsetzen.

Um die Abhängigkeit von den langsam versiegenden fossilen Brennstoffen einerseits und um den für unser Klima schädlichen CO<sub>2</sub>-Ausstoss andererseits zu verringern, werden unter anderem vermehrt Anstrengungen unternommen erneuerbare Energien zu nutzen. Eine dieser nutzbaren, erneuerbaren Energien ist die Erdwärme, die in erdoberflächen-nahen Schichten zu Heiz- und Kühlzwecken genutzt werden kann, da in etwa 10 Meter Tiefe die Erd- bzw. Grundwassertemperatur ganzjährig ca. 10°C–12°C beträgt.

### Prinzip Duktiler Gusspfahl als Energiepfahl

Im Falle der Anwendung von duktilen Gusspfählen als sogenannte Energiepfähle wird nach dem Rammen der Pfähle ein Kunststoffschlauch in die Pfahlrohre eingeführt und über einen Verteiler an eine Wärmepumpe zum Betrieb von Fussboden- und/oder Heizwänden angeschlossen. Dem Erdreich wird dabei via die im Pfahlsystem zirkulierenden Sole (Wasser/Glycol-Gemisch) Wärme entzogen.

Zu Kühlzwecken kann beispielsweise über eine Kühldecke Raumwärme entzogen und via Wärmetauscher an die im Pfahlsystem zirkulierende Sole (Wasser/Glycol-Gemisch) abgegeben werden. Dem Erdreich wird dabei Wärme zugeführt und das Erdreich regeneriert (siehe Schema rechte Seite).

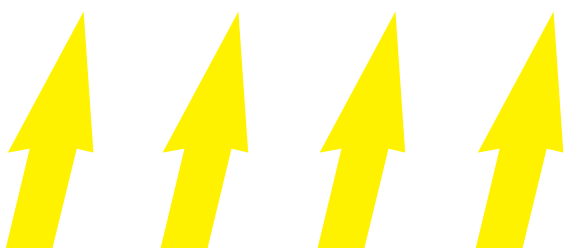
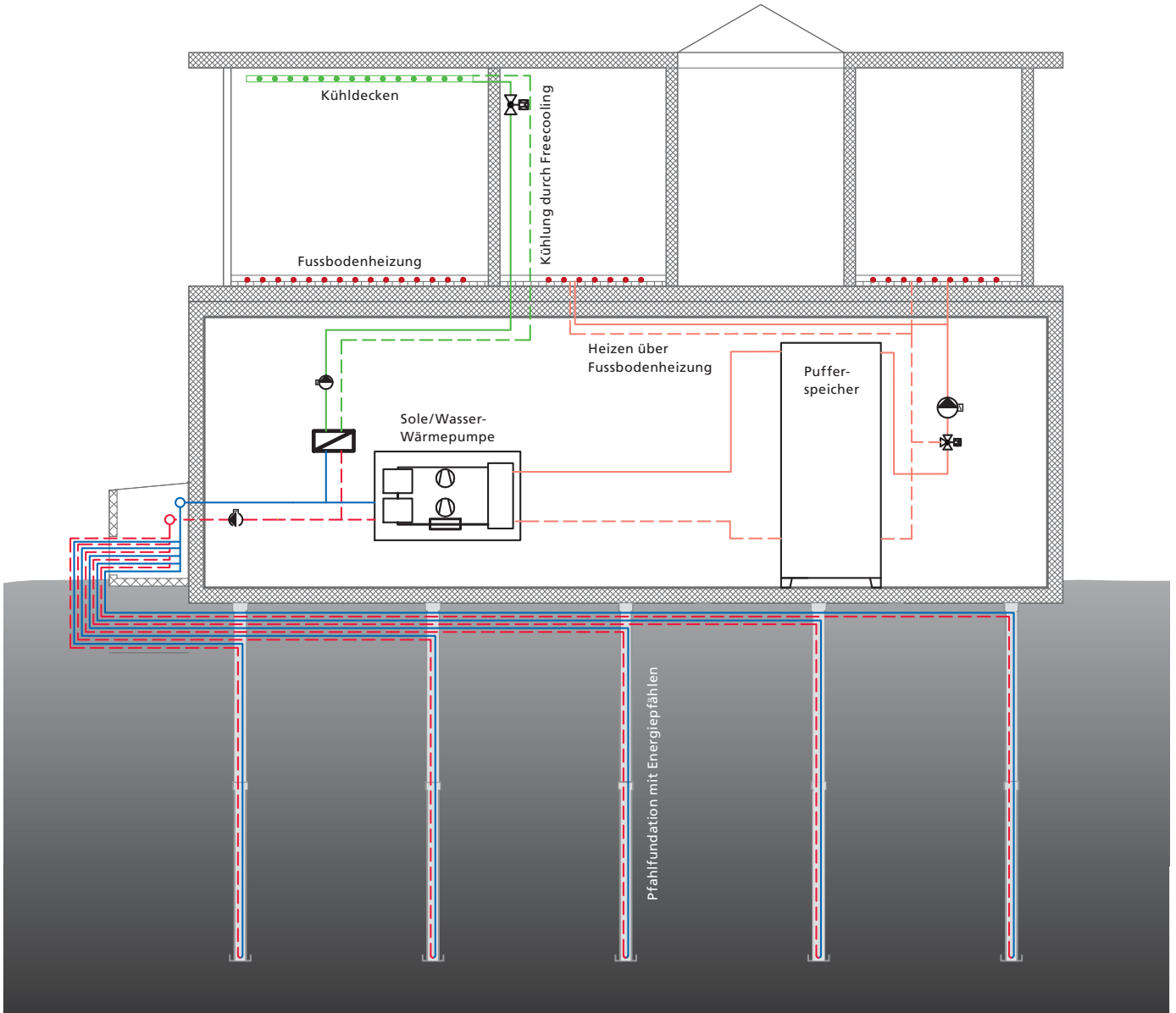
### Planung Energiepfähle

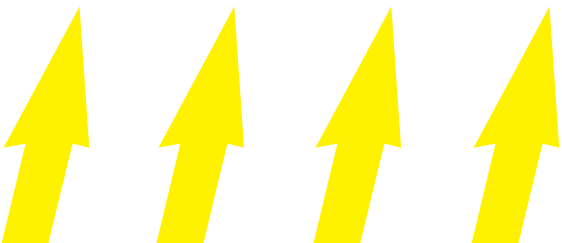
Die Pfahllänge und der Abstand der Pfähle sind von den statischen Erfordernissen her bestimmt. Aus energetischen Gründen ist in der Regel bei den als Energiepfählen genutzten Pfählen einen Abstand von 3 Metern einzuhalten, wobei dieser Abstand bei bestimmten Bodenverhältnissen, z. B. Wasserströmungen, unterschritten werden kann.

Die energetische Kapazität ist von den Bodenverhältnissen unterhalb des Gebäudes und seiner Umgebung (Bodenzusammensetzung, Wassergehalt, Wasserströmung und dgl.), der Anzahl Laufmeter Energiepfähle, der richtigen Dimension der Kunststoffschläuche und der Effizienz der gewählten Heiz- und Kühlsysteme abhängig.

Bei der Berechnung und Auslegung einer Energiepfahlanlage ist darauf zu achten, dass es in keinem der möglichen Betriebsfälle zu Frosterscheinungen unterhalb der Gebäude kommen und dass sich das Erdreich energetisch wieder ausreichend regenerieren kann.

Es ist wichtig, dass bereits in der Vorprojektphase für ein Gebäude die relevanten Planer, wie Architekt, Geologe, Bauingenieur und Haustechnikingenieur eingebunden werden.





**ITW Ingenieurunternehmung AG**

Alte Landstrasse 3, 9496 Balzers, Liechtenstein  
Telefon +423 388 03 03, Fax +423 388 03 00  
itw@itw.li, www.itw.li