

Planungsrechtliche  
Zulassungsentscheidung  
erteilt am 22.09.2014  
591pä/006-2304#005  
Eisenbahn-Bundesamt,  
Außenstelle Karlsruhe/Stuttgart

Im Auftrag

Dr. Johst



Deckblatt

0



## Bodo Siegert

Von der Industrie - und Handelskammer Nürnberg für Mittelfranken  
öffentlich bestellter und vereidigter Sachverständiger für Landschaftsbau:  
Baumpflege, Baumstatik

Fachagrarwirt Baumpflege und Baumsanierung

EU zertifiziert nach: DIN EN ISO/IEC 17024:2003

Für Fachgebiet: Baumstatik, Stand- und Bruchsicherheit von Bäumen,  
Beweissicherungen, Gefährdungsanalysen, Baumwertermittlungen.

Zusatzqualifikation: Technische Untersuchungsverfahren zur Messung  
der Stand- und Bruchsicherheit von Bäumen

Zertifikats Nr. ZN\_20091104\_0056, euro experts EWIV

### Gutachten Nr. 2012036:

S21, PA 1.1; Beweissicherungs- und Schutzmaßnahmen  
für Großbäume im Schlossgarten,  
gemäß Architektenvertrag-/Ingenieurvertrag:

- **TEI 3/11/263594**
- den schriftlichen Ergänzungen zum Angebot
- 4 Plänen (s. Anlage A 1-A 4)

### DB Projektbau GmbH

Großprojekt Stuttgart 21 - Wendlingen - Ulm  
Räppeleinstraße 17  
70191 Stuttgart

### Gutachtenauftrag:

**Fachliche Stellungnahme zu Absenkung und/oder  
Aufhöhung des oberflächennahen Grundwassers im Zuge  
der Baumaßnahme S 21 und deren Auswirkungen auf den  
Baumbestand im Oberen, Unteren und Mittleren Schlossgarten,  
sowie den umliegenden Bereichen im Stadtgebiet Stuttgart.**

### Öbv SV-Büro Bodo Siegert

Von der IHK Nürnberg für Mittelfranken öffentlich bestellter und vereidigter Sachverständiger  
für Landschaftsbau: Baumpflege, Baumstatik - Fachagrarwirt für Baumpflege und Baumsanierung  
Raiffeisenstr. 7, 90518 Altdorf

Tel.: 09187 90 73 35 40 Fax.: 09187 804982 Handy: 0171 77 02 670  
Email: sv@freetree.de BodoSiegert@gmx.net  
Bankverbindung: Hypovereinsbank Kto.Nr.: 4041780 BLZ: 760 200 70

Gutachten

<b>0. Deckblatt</b>	<b>Seite 01</b>
<b>1. Inhaltsverzeichnis</b>	<b>Seite 02</b>
<b>2. Vorbemerkungen</b>	<b>Seite 03</b>
2.1 Anlass und Auftrag der ergänzenden Stellungnahme	Seite 03
2.2 Arbeitsgrundlagen, Vorgehensweise	Seite 05
<b>3. Spezielles</b>	<b>Seite 05</b>
3.1 Abgrenzung der Bereiche von relevanten Flurabständen	Seite 07
3.1.1 Gutachtenrelevante Flächen mit Flurabstands- veränderungen gemäß Aufgabenstellung	Seite 08
3.1.2 Untersuchungsraum A „Schlossgärten“	Seite 09
3.1.3 Zusammenfassung Untersuchungsraum A „Schlossgärten“	Seite 10
3.1.4 Bereiche außerhalb der Schlossgärten Untersuchungsraum B „Stadtgebiet Stuttgart“	Seite 12
3.1.5 Zusammenfassung Untersuchungsraum B Stadtgebiet	Seite 14
3.2 Zur Problematik der Veränderung von Flurabständen	Seite 15
3.2.1 Grundwasserabsenkungen	Seite 15
3.2.2 Hinweise zum Bodenfeuchtemonitoring	Seite 18
3.2.3 Grundwassererhöhung	Seite 22
3.2.4 Bewertung der GW-Erhöhungen	Seite 24
3.2.5 Zusammenfassung	Seite 26
<b>4. Fazit</b>	<b>Seite 30</b>
<b>5. Verfasservermerk</b>	<b>Seite 33</b>
<b>6. Anlage</b>	<b>Seite 34</b>

## Verzeichnis der Abkürzungen

Folgende gutachtenrelevante Abkürzungen wurden verwendet:

- MSG: Mittlerer Schlossgarten
- OSG: Oberer Schlossgarten
- USG: Unterer Schlossgarten
- Mess: Standort des Wasserablaufversuchs
- GOK: Geländeoberkante
- Flw: Flurabstand ab Gelände GOK
- Öbv: Öffentlich bestellter und vereidigter Sachverständiger
- LS: Leitender Sachverständiger vor Ort
- Gw: Grundwasser
- StU: Stammumfang



## 2.1 Anlass und Auftrag der Stellungnahme

Die Deutsche Bahn baut in Stuttgart einen Tiefbahnhof. Dieser schneidet und quert den Stuttgarter Schlossgarten („Talquerung mit Hauptbahnhof“). Dort stockende Vegetation, insbesondere Großbäume, Sträucher und Rasenflächen werden hierdurch entweder direkt beansprucht (Baufeld/Grube) oder durch weiträumige Grundwasserabsenkung möglicherweise tangiert. Die Untersuchungsräume hinsichtlich relevanter Grundwasserveränderungen erfolgen auf den Untersuchungen, Modellrechnungen (PFA 1.1-1.6) der ARGE WUG, vertreten durch Dr. Westhoff. Die für den Auftrag notwendigen Pläne (Flurabstand < 5 m und baubedingte Grundwasserstandsänderungen im Bauschritt 1 - 13) wurden uns durch Aquasoil Ingenieure & Geologen GmbH, in Absprache mit DB Projektbau, zur Verfügung gestellt.

Das geforderte Gutachten soll Handlungs- und Umsetzungsempfehlungen enthalten, um Vegetation, hier Gehölze, Bäume und Großsträucher, vor Einflüssen baubedingter Veränderungen von Flurabständen zu schützen (Grundwasser (= Stand des Grundwassers in mNN) bzw. Flurabstand (= Stand des Grundwassers in m unter GOK), verwendete Abk. Gw oder Flw).

1. Identifikation, Abgrenzung und planliche Darstellung sowie gutachterliche Beschreibung der Areale, bei denen nach nachstehenden methodischen Vorgaben des Planfeststellungsbeschlusses durch die erweiterten Absenktrichter und infiltrationsbedingte Aufstaukegel potentielle Beeinträchtigungen zu befürchten sind:
  - a. Bereiche mit natürlichen Flurabständen  $\leq 5$  m u GOK und baubedingten Absenkungen von  $\geq 1$  m.
  - b. Bereiche mit natürlichen Flurabständen  $\leq 5$  m u GOK und infiltrationsbedingter Reduzierung der Flurabstände auf  $\leq 3,5$  m u GOK.
2. Ergänzend zu Punkt 1 Sachverständigenbewertung und -beschreibung potentieller Vegetationsschäden, ggf. gutachterlicher Vorschlag zur Festlegung/ Abgrenzung zugehöriger Risikoflächen inklusive planlicher Darstellung.

3. Gutachterliche Beschreibung zur organisatorischen und technischen Ausführung des Monitorings von Einflüssen auf die Vegetation und ggf. gutachterliche Vorschläge zu erforderlichen Maßnahmen zur Risikominimierung.

Der Gutachtauftrag wurde in 2 Untersuchungsräume aufgeteilt (Abb. 1):

**Untersuchungsraum A:** Schlossgärten (MSG = Mittlerer Schlossgarten, USG = Unterer Schlossgarten, OSG = Oberer Schlossgarten).

**Untersuchungsraum B:** Bereiche außerhalb der Schlossgärten („Stadtgebiet Stuttgart“, Abb. 1, rote Kreise).

Die geplanten Baugruben queren u. a. den südlichen Mittleren Schlossgarten (Abb. 1 blaue Linie). Dort stellen sich die Auswirkungen einer Grundwasserabsenkung am deutlichsten dar (über sog. Grundwasserabsenktrichter, eine Art Delle in der Grundwasser Oberfläche). Die nahezu ebenen Parkflächen der Schlossgärten (USG, MSG,

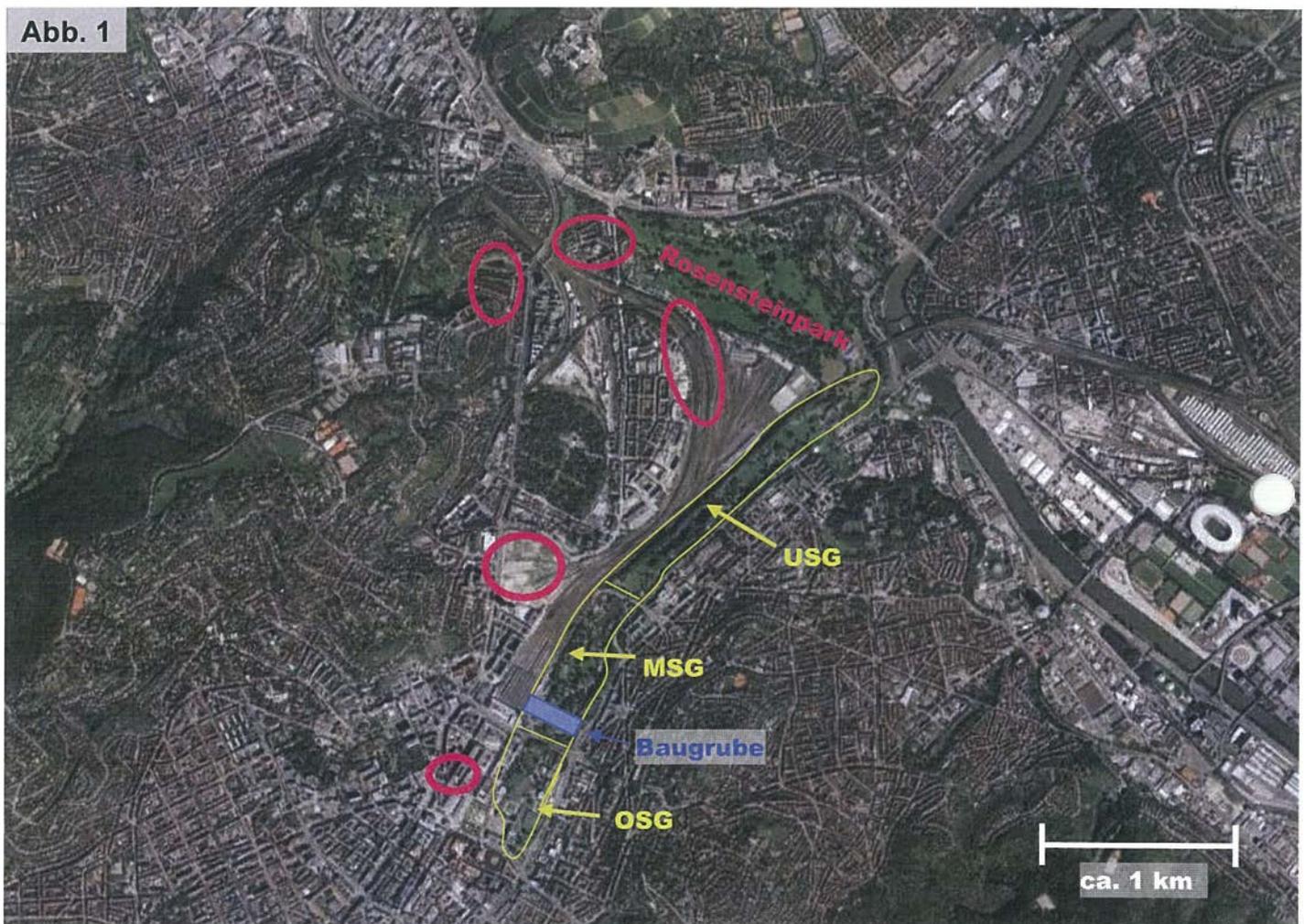


Abb. 1: Luftbild (Google Earth) Teilstadtgebiet von Stuttgart mit Darstellung OSG, USG, MSG und die Lage der den MSG querenden Baugrube. Der Bildausschnitt bezeichnet auch in etwa den Untersuchungsraum.

OSG) liegen mit am tiefsten Punkt in Stuttgart („Talsohle“) und daher allgemein recht dicht zum dort anstehenden Grundwasser. Innerhalb der Schlossgärten wurden rd. 700 Bäume identifiziert, welche innerhalb des Untersuchungsraum stocken. Diese wurde im Rahmen der Beweissicherung erfasst, bewertet und dokumentiert. Unmittelbar an die Schlossgärten steigt das Gelände z. T. senkrecht um einige Meter an. Dort befinden sich u. a. Straßen, Bahnkörper, Bauwerke, etc.. Dahinter verlaufen die Talhänge von Stuttgart, in Teilbereichen recht mächtig und steil. Nordwestlich des USG schließt sich nahezu ebenerdig der nach Norden ansteigende Rosensteinpark sowie Gleisanlagen der DB an. Auch hier ist aufgrund der Tallage der Grundwasserhorizont recht nah zu GOK, in den rot markierten Bereichen (Abb. 1) ca. 5 m.

Neben dem Feststellen des räumlichen relevanten Gebiets einer Grundwasserabsenkung und -anhebung sollen die Auswirkungen auf die dort stockende Vegetation beurteilt werden. Dies setzt bestimmte bodenkundliche Untersuchungen voraus, um einen Überblick über die vorhandene Bodenstruktur im Bereich dort stockender Vegetation, Großsträucher, Bäume (ab Stammumfang 80 cm) zu erlangen. Dies beinhaltet einfache Bodenfeuchtemessungen, Bodensubstratuntersuchungen (Bodenprobenentnahme - Pürckhauersondierungen, Penetrometermessungen (Bodendichte)) und Wasserablaufversuche, sog. Infiltrationsmessungen.

Im weiteren sollen Möglichkeiten aufgezeigt werden, in welchen grundwasserbedingte Veränderungen durch Absenken, bzw. Aufhöhungen kompensiert werden können, um Folgeschäden an der Vegetation auszuschließen.

In Bereichen von Grundwassererhöhungen und -absenkungen sollen Aktionsszenarien festgelegt werden, um vegetationsschädliche Grundwassersituationen abzuwenden oder zu beseitigen.

## **2.2            Arbeitsgrundlagen, Vorgehensweise**

Auf Grundlage der GW - Modellrechnungen zum Projekt S21 zu Antrag auf Planänderung 7, erstellt durch die ARGE WUG, vertreten durch Dr. Westhoff, wurden die Flächen A innerhalb der Schlossparkareale als auch außerhalb, Flächen B, identifiziert.

Im Untersuchungsraum A wurden lokale Bodenstrukturuntersuchungen als auch



Wasserablaufversuche durchgeführt, um Abschätzungen zu Belangen der Vegetation hinsichtlich des Bodenwasserhaushaltes zu erlangen. Sämtliche Bäume innerhalb dieses Untersuchungsraumes wurden wegen Beweissicherung aufgenommen. Die Untersuchungsräume außerhalb der Schlossgärten (siehe Abb. 1), im Wesentlichen das Stadtgebiet Stuttgart, wurden ergänzend untersucht. Grundlage hierzu sind die Modellrechnungen der ARGE WUG, vertreten durch Herrn Dr. Westhoff. Im nächsten Schritt wurden die identifizierten Flächen begangen, um relevante Vegetation (Bäume über StU 80 cm) festzustellen.

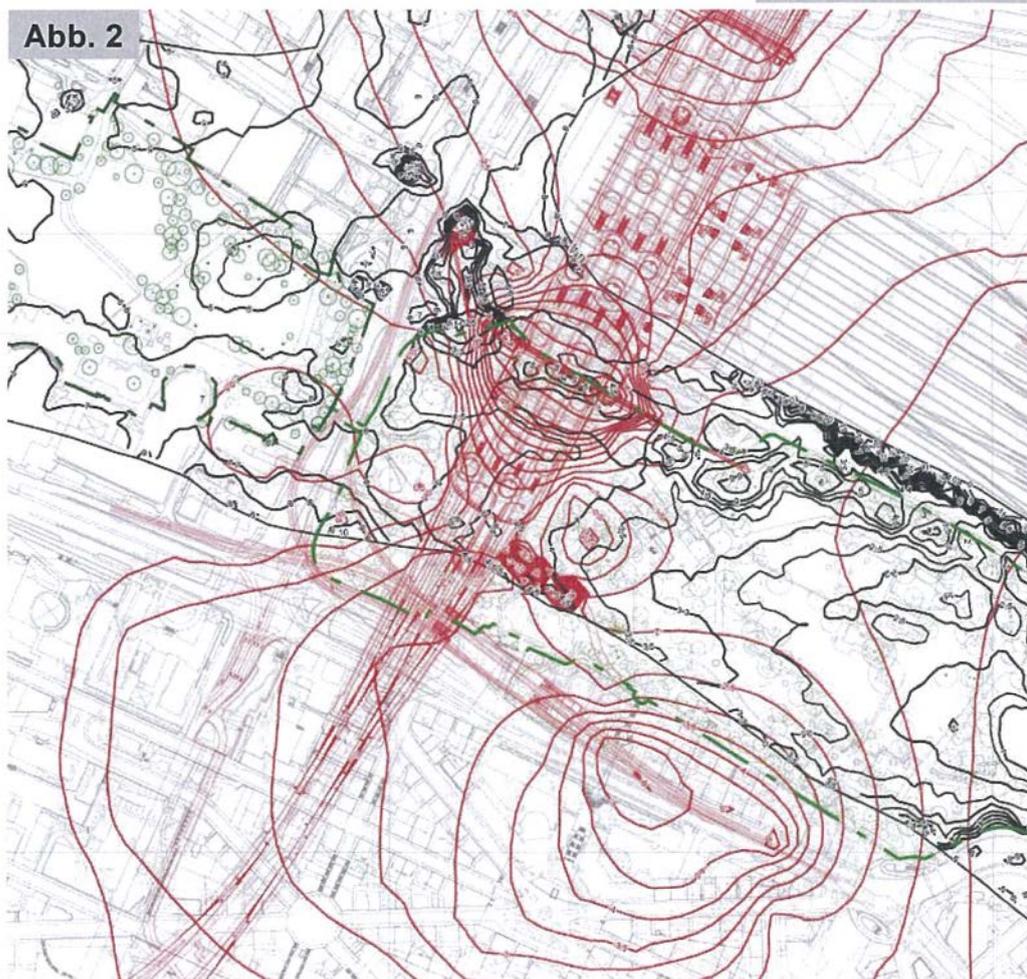


### 3.1 Abgrenzung der Bereiche von relevanten Flurabständen

Für die Beurteilung der Auswirkungen auf die Vegetation (Großbäume) wurde festgelegt, dass nur solche Bereiche zu bewerten sind, bei denen der mittlere Flurabstand näher als 5 m zu GOK ist und in diesen Bereichen eine Absenkung von über 1 m erfolgt. Verringern sich Flurabstände aufgrund von Infiltration kleiner als 3,5 m, sind diese ebenfalls auszuweisen und zu bewerten.

In den von der DB, bzw. durch ARGE WUG, uns zur Verfügung gestellten Karten, sind für den jeweiligen Bauschritt (1-13) die relevanten Flurabstandsisolinien als schwarze Höhenlinien, die Flurwasserabsenkungsdifferenzen in roten Höhenlinien dargestellt (Abb. 2 exemplarisches Bild). Sie grenzen den Untersuchungsraum, gemessen an den Vorgaben, ein (GW näher zu GOK als 5 m, dort baubedingt GW Absenkung größer als 1 m).

Plan unmaßstäblich



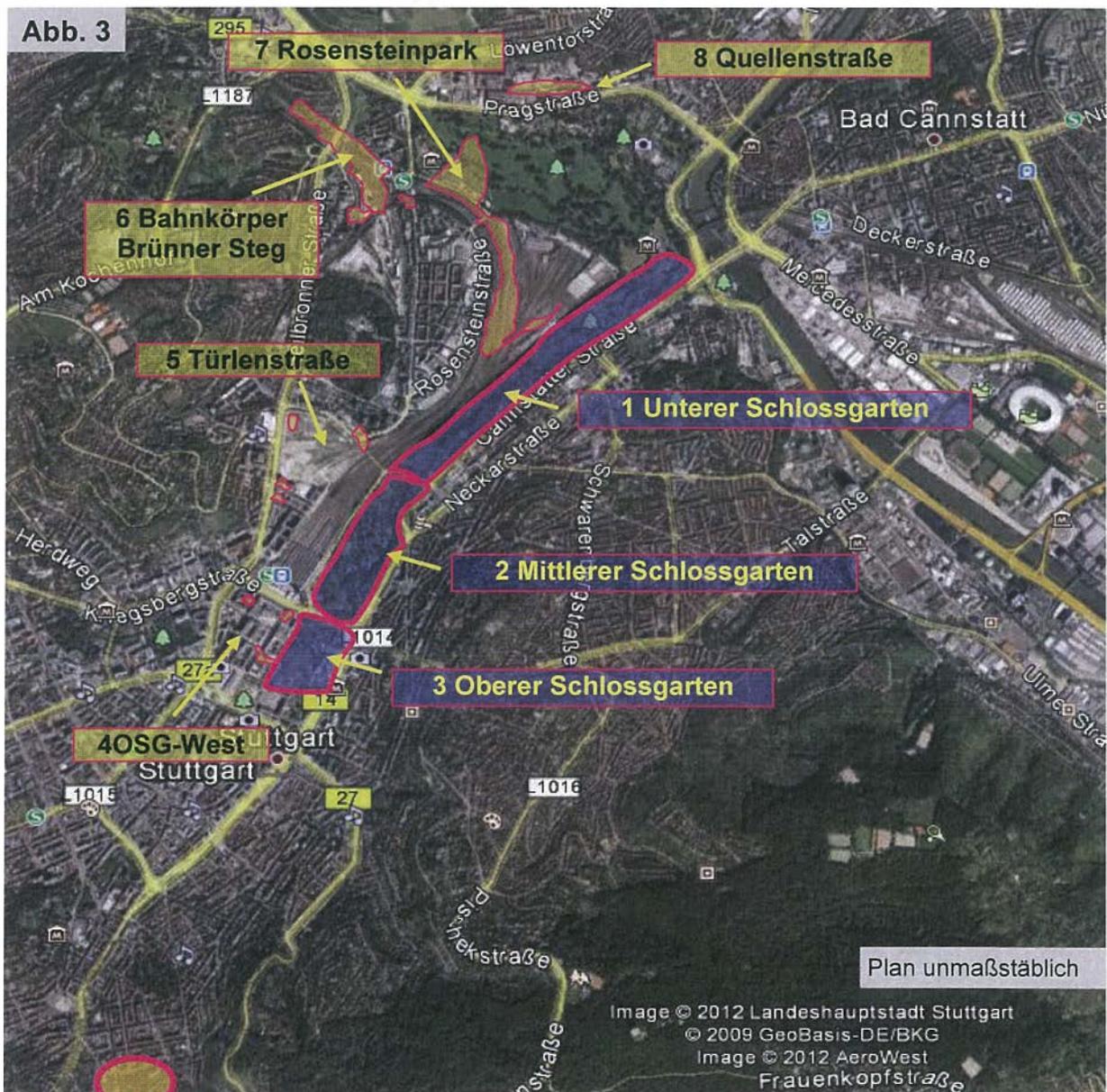
### 3.1.1 Gutachtenrelevante Flächen mit Flurabstandsveränderungen gemäß Aufgabenstellung

Übersichtskarte zu den Untersuchungsräumen:

**A: Schlossgärten**  
**1= Oberer Schlossgarten**  
**2= Mittlerer Schlossgarten**  
**3= Unterer Schlossgarten**

**B: Stadtgebiet Stuttgart**  
**4= OSG West**  
**5= Türlenstraße**  
**6= Bahnkörper „Brünner Steg“**  
**7= Rosensteinpark/Gleiskörper**  
**8= Quellenstraße**

Abb.: 3: Untersuchungsräume A + B mit den 8 Untersuchungsbereichen, in denen es zu relevanten Flurveränderungen kommt (skizzenhafte Darstellung!).



 = Flächen mit Flurabstand.  $\leq 5$  m und GW-Absenkung  $\geq 1$  m und /oder Aufhöhung ab 1,5 m



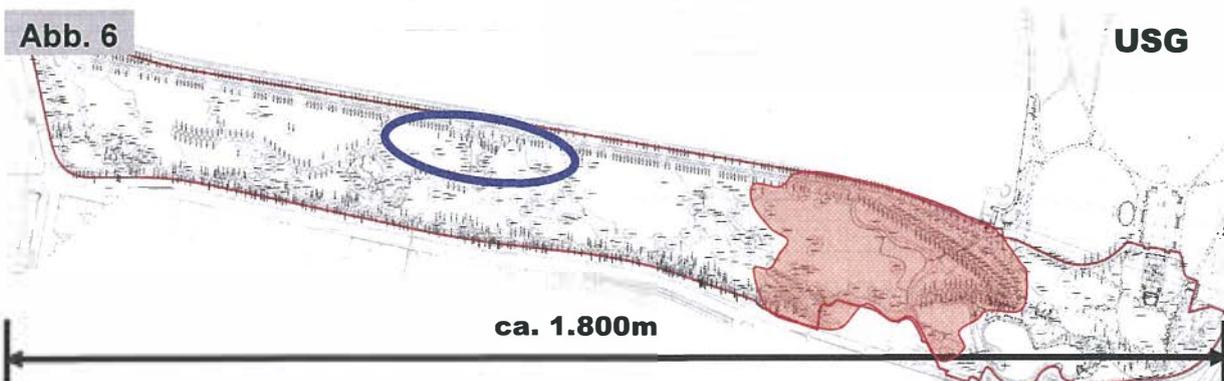
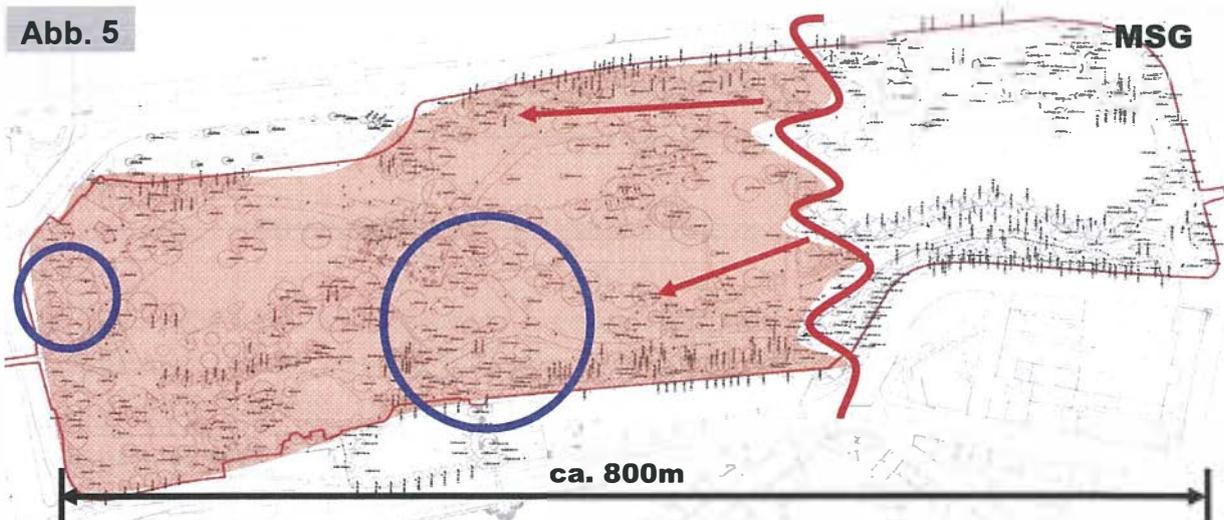
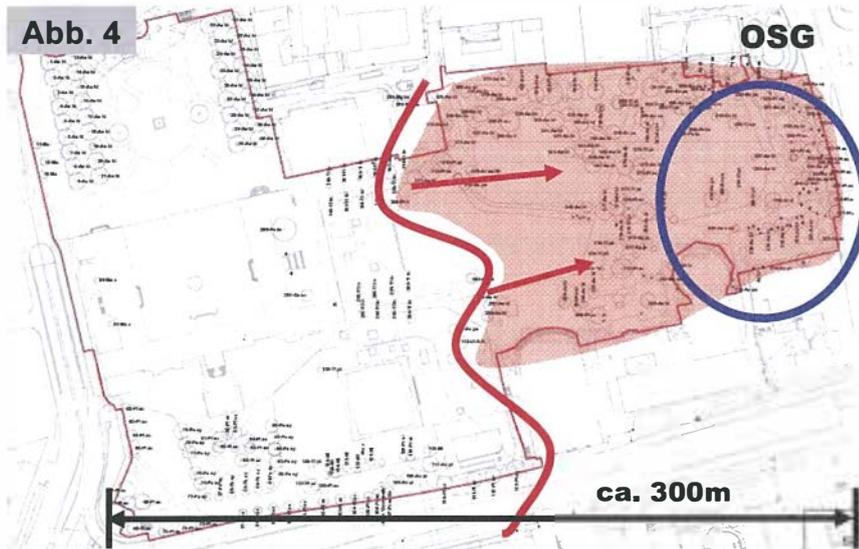
Sachverständigenbüro Bodo Siegart öbv

Raiffeisenstr. 7, 90518 Altdorf, Email: sv@freetree Tel. +49(0) 9187 90733540 GA Nr. 2012036

### 3.1.2 Untersuchungsraum A „Schlossgärten“

Rote Flächen: GW näher als 5 m zu GOK, Absenkung über 1 m.

Blaue Kreise zeigen vereinfacht dargestellt Bereiche, in denen nach Planunterlagen durch Infiltration Flurabstandsreduzierungen vorkommen können (im Wesentlichen nur bei Bauschritt 13).



### 3.1.3 Zusammenfassung Untersuchungsraum A „Schlossgärten“

Im Zuge der Gesamtuntersuchungen war es notwendig bestimmte Anhaltspunkte über die Bodenzusammensetzung innerhalb der Schlossgärten zu gewinnen. Insbesondere im Hinblick auf evtl. spätere notwendige Wassergaben war es wichtig zu wissen, inwieweit die dort anstehenden Böden externe Wassergaben, z.B. über künstliche Beregnung aufnehmen und in tiefere Bodenschichten, den Wurzelraum, ableiten würden. Je wasserdurchlässiger Böden sind, desto schneller trocknen diese aus, lassen sich aber auch schneller wieder befeuchten. Bei bindigen Böden verhält sich dies umgekehrt, sie trocknen langsamer aus, nehmen dafür aber auch zögerlicher Wasser auf. Bei externen Bewässerungen kann es dann zu Wasserablaufbehinderungen kommen, das zugegebene Wasser dringt nicht in den Boden ein und läuft oberflächlich ab. Verstärkt werden kann dies noch durch Bodenverdichtungen.

An bestimmten repräsentativen Punkten wurden verschiedene Bodenmessungen durchgeführt:

1. Schürfgruben zur visuellen Sichtung
2. Bodenprobenentnahme aus Schürfgruben
3. Bodenprobenentnahme mittels Pürckhauersonde
4. Bodenansprache mittels Knetproben
5. Labortechnische Bodenstrukturuntersuchung
6. Bodendichtemessungen mittels Penetrometer
7. Bodenfeuchtemessungen
8. Wasserablaufversuche nach DIN 19682-7, Doppelringmethode

Die Beschreibung des Untersuchungsablaufes, Dokumentation, räumliche Lage und Untersuchungsergebnisse sind im Gutachten 2011122 vom 05.12.2011 ausführlich beschrieben und können dort nachgelesen werden (Seite 21 - 27 und Seite 34 - 59). An dieser Stelle erfolgt eine Kurzzusammenfassung der bodenkundlichen Untersuchungen in den Schlossgärten aus dem Blickwinkel von baubedingten Grundwasserstandsveränderungen im Untersuchungsraum.

Die Bodenstrukturen innerhalb der Schürfgruben zeigten einen sich farblich abgrenzenden, schichtartig aufgebauten, differenten, aber insgesamt bindigen Boden. Es handelt sich um sog. Füllböden unterschiedlichster Herkunft, mit welchen die Schlossgärten nahezu vollflächig und nahezu bretteben verfüllt sind.

Die oberflächennahe (bis ca. 0,5 m Tiefe) Bodenverdichtungssituation zeigte sich im Bereich des südlichen Mittleren Schlossgartens doch erhöht (Relativvergleich zu unbelasteten Flächen).



Im Gutachten Nr. 2011122, Pkt. 4.1.4.4 wurden umfangreiche bodenkundliche Untersuchungen durchgeführt., unter anderem s.g. Wasserablaufversuche (Infiltrationsmessungen, in Anlehnung des instationäres Verfahren gemäß DIN 19682-7), ein Hilfsmittel zur Abschätzung der Bodenwasseraufnahmefähigkeit, für die vorliegende Bewertungsaufgabe als Grundlage für externe Bewässerung. Als Ergebnis der Infiltrationsversuche im Relativvergleich zeigt der südwestliche Teil des MSG (zukünftiges Baufeld) eine verminderte Durchlässigkeit auf (siehe Ergebnisse im Gutachten Nr. 2011122, Pkt. 5.4.4).

Die Durchlässigkeit der Flächen außerhalb des Baufeldes kann im Untersuchungsgebiet als durchlässig bis sogar stark durchlässig bezeichnet werden (siehe Gutachten Nr. 2011122, Pkt. 5.4.4, Seite 51), was zunächst erstaunte. Die Ergebnisse erreichen nämlich ähnliche Werte, wie sie z.B. bei sandigen Böden erreicht wurden (eigene Versuche durch den Unterzeichner in vergleichbaren Böden mit intakten Vegetationsflächen).

Erklärung brachten die labortechnischen Bodenuntersuchungen. Der recht bindige Boden war durchsetzt von einem hohen Stützkornanteil, z.B. wie Steine, Bauschutfractionen, durchsetzt mit Wurzeln und ähnlichem.

Der Boden weist damit mehrere positive Eigenschaften auf:

1. Die allg. Wasserhaltefähigkeit ist aufgrund seiner Bindigkeit gut.
2. Die Feldkapazität des Bodens ist ausreichend, der Bioindikator „Bäume“ zeigt dies mit seiner guter Vitalität.
3. Die Wasserablauftrate ist aufgrund von Stützkornanteilen sehr gut (gute Bewässerungseigenschaft).
4. Aufgrund des Stützkorns ist der Boden verdichtungsstabil (gegen Betreten).
5. Hohe Edaphontätigkeit (Bodenleben), damit gute Nährstoffversorgung.
6. Hohe Edaphontätigkeit, gute Durchlüftung (z.B. durch Regenwurmgänge).

Die vorhandenen Böden sind offensichtlich und eindeutig sehr gut geeignet, um eine vitale und stabile Vegetation zu erzeugen. Grundwasserabsenkungen führen, je nach zeitlicher und räumlicher Gegebenheit, u. U. zu Bodenfeuchteminderungen. Diese führen zu Wasserstress bei Gehölzen, diese haben allerdings ein ausgesprochen weites Reaktionsfenster um auf Wasserstress positiv zu reagieren (z.B. um Verdunstung durch Spaltöffnungsverkleinerung zu minimieren, Blätter einrollen, Blätter mit Wachsschicht überziehen, Stoffwechselreduzierung, usw.). Das bedeutet, dass nicht unbedingt auf jegliche Bodenfeuchteveränderung, z.B. mit Gießen, reagiert werden muss. Ganz im Gegenteil, ein Zuviel an Wasser schadet ebenfalls. Werden bestimmte Stressgrenzen überschritten, muss extern Wasser gegeben werden. Aufgrund der durchlässigen Bodenstruktur gelingt dies auch. Eine flächige kontinuierliche „Beregnung“ füllt den Bodenkörper und damit den Wurzelraum nachhaltig wieder auf.



### 3.1.4 Bereiche außerhalb der Schlossgärten Untersuchungsraum B „Stadtgebiet Stuttgart“

Für die Festlegung des Untersuchungsraumes „Stadtgebiet Stuttgart“ gelten die gleichen Rahmenbedingungen wie zuvor für den Untersuchungsraum Schlossgarten (GW näher als 5 m zu GOK, hierin die GW-Absenkung größer als 1 m, Grundwassererhöhungen, welche näher als 3,5 m zu GOK reichen).

Dazu wurden uns seitens der ARGE WUG, vertreten durch Herrn Dr. Westhoff, 49 GW-Pläne zur Verfügung gestellt, in denen die relevanten Untersuchungsräume planlich dargestellt sind (Literaturquelle Nr. 27).

In Abb. 7 und 7a ist ein solcher Plan/Planausschnitt beispielhaft für den Bauschritt 7 dargestellt. Abb. 7 zeigt den nördlichen Untersuchungsraum mit den Absenktrichtern für den Bereich Bahnkörper „Brünner Steg“, Quellenstraße und Rosensteinpark. Bild 7a hierzu den im vergrößerten Maßstab. Die rote Linie grenzt die Bereiche mit Flurabständen  $\leq 5$  m und somit den sekundären Betrachtungsbereich ein. Die Blautöne stellen die gem. Modellrechnung für den Bauschritt prognostizierten Grundwasserstandsveränderungen dar. Anhand dieser wird der primäre Untersuchungsraum, d.h. die relevanten Flächen innerhalb des sekundären Betrachtungsbereichs identifiziert.

In 7 a wurde die relevante Fläche für Bauschritt 2 gelb markiert.

Dieser Karten ist zu entnehmen, dass für die jeweiligen Bauschritte (1-13) unterschiedliche Auswirkungen auf die Grundwasserstände zu erwarten sind. Das bedeutet, dass z.B. bei Bauschritt 1 eine bestimmte Fläche hinsichtlich einer Grundwasserabsenkung tangiert ist. Bei Bauschritt 2-8 wird diese Fläche nicht oder nur wenig beansprucht, erst im Bauschritt 9 erfolgt z.B. wieder eine Grundwasserabsenkung.

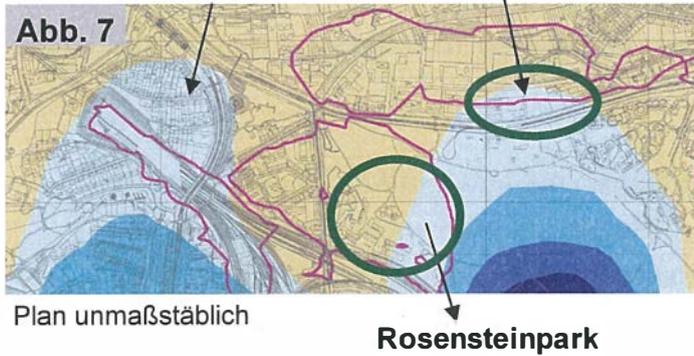
Die Auswirkungen von Grundwasserabsenkungen, welche sich zwischen den Bauschritten verändern, können bezogen auf die jeweiligen Bauschrittzeiten im Rahmen dieses Gutachtens nicht sinnvoll dargestellt werden. Deswegen beginnen die Zeiträume des Bodenfeuchtemonitorings vor dem ersten Bauschritt und enden mit Fertigstellung des letzten Bauschrittes, bzw. nach Stabilisierung der Grundwasserhorizonte (siehe Gutachten Nr. 2011122, Pkt. 5.5.5). Um sich ein Bild der zukünftig beanspruchten Vegetation zu verschaffen, haben die Sachverständigen die betroffenen Bereiche durch Inaugenscheinnahme untersucht und bewertet.



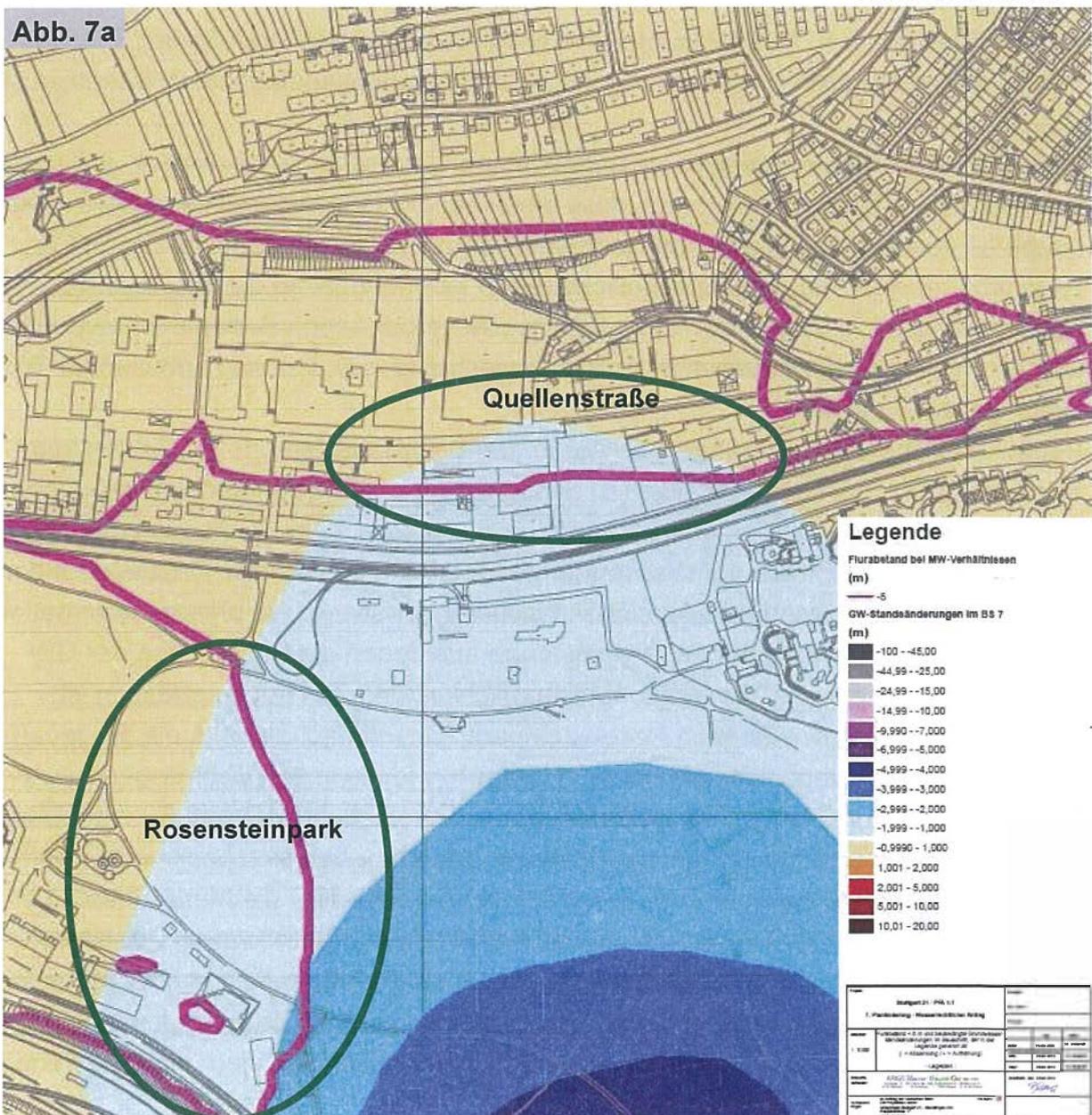
# GW- Kartenausschnitte mit Absenkrichter, nördlicher Bereich von Stuttgart

Bahnkörper  
Brünner Steg

Quellenstraße



Plan unmaßstäblich



Sachverständigenbüro Bodo Siegart öbv

Raiffeisenstr. 7, 90518 Altdorf, Email: sv@freetree Tel. +49(0) 9187 90733540 GA Nr. 2012036

### 3.1.5 Zusammenfassung Untersuchungsraum B Stadtgebiet

Auf Grundlage der Pläne zur Modellrechnung wurden insgesamt, neben den 3 Bereichen Schlossgärten (Bereich 1 - 3), weitere 5 Bereiche identifiziert, bei denen das GW näher als 5 m zu GOK steht und gleichzeitig eine baubedingte Grundwasserveränderung von mehr als 1 m erfolgt. Aufhöhungen spielen im Untersuchungsraum B keine Rolle.

Bereiche:

- 4= OSG West (3 kleine Flächen, 2 Flächen mit relevantem Gehölzbestand).
- 5= Türlenstraße (4 kleine Flächen, 1 Fläche mit relevantem Baumbestand).
- 6= Bahnkörper „Brünner Steg“ (Gleiskörper, kein relevanter Gehölzbestand).
- 7= Rosensteinpark mit Abstellgleis (Park mit Großgehölzen, Abstellgleis mit nicht relevanten Gehölzen).
- 8= Quellenstraße (mit relevantem Gehölzbestand, Straßenbäume).

Auf den Flächen 4, 5, 7 und 8 wurde relevanter Gehölzbestand identifiziert, Fläche Nr. 6 fällt aus der weiteren Untersuchung, da im Untersuchungsgebiet keine Gehölzen stocken.

Betrachtet man die Grundwasserabstände in den Untersuchungsräumen 4, 5, 7 und 8 kann allgemein festgestellt werden, dass diese bei etwas weniger als 5 m liegen. Die baubedingten Absenkungen in den jeweiligen Bauschritten erreichen in diesen Flächen um 1 m. Aus vegetationstechnischer Sicht kann bereits an dieser Stelle festgehalten werden, dass die damit möglicherweise verbundenen Bodenfeuchteveränderungen im Bereich der natürlichen Schwankungsbreite, z.B. bei lang anhaltender Trockenheit liegen dürfte.

Bodenkundliche Untersuchungen, so wie in den Schlossgärten erfolgt, können zum einen aus diesem Grunde entfallen (zu gering erwartende Bodenfeuchteminderung), zum anderen stellen sich urbane Standorte, z.B. Straßen, sehr inhomogen dar. Solche Standorte sind im Hinblick auf Wassermangel über eine qualifizierte Ortsbegehung mit fachgerechter Baumkontrolle ausreichend sicher zu erfassen. Als primäre Information genügt die Überwachung der GW Pegelstände aus denen die Entwicklung der GW Grundwasserabsenkung, die Richtung, Räumlichkeit und Zeit gut zu erfassen ist. Dies gilt ebenso für den Bereich Rosensteinpark. Eine einfache punktuelle Bodenansprache erbrachte vergleichbare Bodenstrukturen, wie sie in den Schlossgärten vorhanden sind (bindige Böden mit grobkörnigen Anteilen). Auf Basis und Erkenntnissen des Bodenfeuchtemonitoring aus den Schlossgärten ergeben sich bestimmte Handlungsrouninen (z.B. Bewässerung), deren Erfolg ebenfalls über die Messsensoren erfasst werden kann. Diese Erfahrungswerte, basierend auf Grundwasserveränderungen, deren Folgen und Kompensation können als Leitlinie für mögliche GW Absenkungen im Rosensteinpark verwendet werden. Daher sind zusätzliche Bodenmonitoringstationen, außer GW Peilrohren, welche bereits vorhanden sind, nicht notwendig.

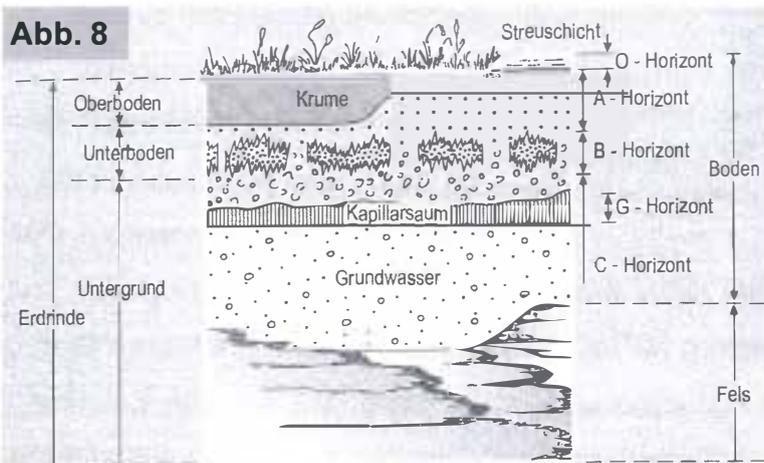


## 3.2 Zur Problematik der Veränderung von Flurabständen

### 3.2.1 Grundwasserabsenkungen

Im Rahmen der geplanten Baumaßnahme im Schlossgarten kann es sowohl zu Grundwasserabsenkungen, als auch zu Grundwassererhöhungen kommen. Über Modellrechnungen der ARGE WUG, vertreten durch Dr. Westhoff, wurden diese dargestellt und sind Grundlage für dieses Gutachten. Für Bäume, die sich über Jahrzehnte an die Bodenwasserverhältnisse im Schlossgarten angepasst haben, ist beides, GW auf, bzw. ab gleichermaßen problematisch. Das wurde bereits in der Bauplanungsphase von den Verantwortlichen erkannt.

Deshalb wurde festgelegt, dass Bäume, die in Bereichen stocken, bei denen der Grundwasserflurabstand höchstens 5 m beträgt und gleichzeitig eine Absenkung des Grundwasserspiegels um mindestens 1 m erwartet wird, besonders zu überprüfen sind. Diese Definition der Überprüfungskriterien anhand der Flurabstände (im Folgenden begrifflich mit „Grundwasserabständen“ gleichzusetzen) sind aus hydrogeologischen Untersuchungen in Bezug auf Wachstum bei Kulturpflanzen abzuleiten, bei denen der Einfluss des sog. Kapillarsaumes, der Höhe des durch Kapillarkräfte aufsteigenden Grundwassers (Abb. 8) für Pflanzen, wenn sie diese überhaupt erreichen, ein wesentliches Element der Wasserversorgung darstellt. Während Ton-

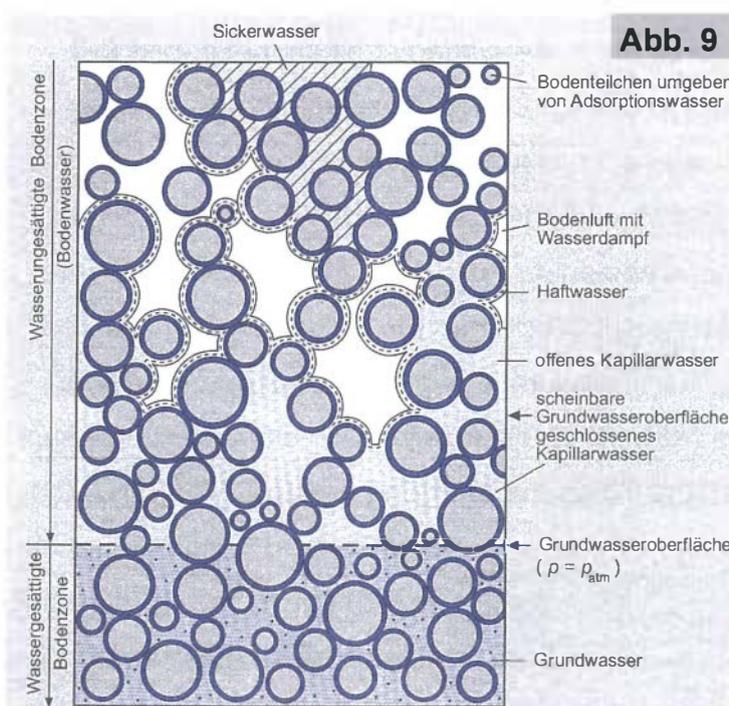


Quelle: Hydrologie; Hölting/Coldewey) Spektrum Verlag 2009

böden einen Kapillarsaum bis zu 3 m aufweisen, weist Sand einen Kapillarsaum von max. 1 m auf und Kiese keinen bzw. nur einen Kapillarsaum von wenigen Zentimetern. Der Großteil der Bäume zieht sein benötigtes Wasser jedoch nicht direkt aus dem Grundwasser anliegenden Kapillarsaum, sondern ver-

sorgt sich im Wesentlichen über aufsteigenden Wasserdampf, vergleichbar mit den Wolken am Himmel (Abb. 9). Der Wasserdampf kondensiert gewissermaßen an Bodenteilchen und füllt die Poren dazwischen auf. Aufgrund der Oberflächenspannung von Wasser lässt sich das Porenwasser nicht immer ohne Weiteres von Wurzeln

lösen. Ist die Saugspannung der Wurzel höher als die Haftstärke des Wassers, kann der Baum es aufnehmen, andernfalls nicht (z. B. in stark verdichteten, extrem bindigen Böden, man spricht hier von nicht-pflanzenverfügbarem Wasser). Können Wurzeln das Wasser lösen, wird dieses mittels spezieller Transportkräfte (Osmotische Spannung, Kapillarkräfte, Transpirationssog aus den Blättern) nach oben „gepumpt“ und erreicht so alle Teile des Baumes. Die stark vereinfachte Darstellung ist in Wirklichkeit wesentlich komplexer, abhängig von Bodenart, Wasserqualität, Lagerungsdichten, Bodenmischungen, Baumart, Vitalität, Bodenleben uvm. (s. auch Graphik auf Seite 36). Die erreichbare bzw. vorhandene Durchwurzelungstiefe von Bäumen wird allgemein



**Abb. 9**

überschätzt. Bäume wurzeln in der Regel nicht direkt oder gar tief in das anstehende Grundwasser. Im Gegenteil - bis auf eine Baumart (Erle) - vermeiden Bäume übermäßig feuchte, nasse oder gar verwässerte Böden (z. B. Staunässe). Denn in solchen Fällen fehlt den Böden der benötigte Sauerstoff, der für Wasseraufnahme durch die Wurzeln zwingend erforderlich ist. Auch das Bodenleben (das Edaphon, Mikroorganismen, Pilze, Regenwürmer etc.) leidet stark unter dem Sauerstoffmangel, dieses bereitet

Quelle: Hydrologie; Hölting/Coldewey) Spektrum Verlag 2009

aber u. a. die im Boden vorhandenen Nährelemente, zusammen mit anderen Stoffen und Stoffwechselfvorgängen in „baumverträglicher Form“ auf. Manche Baumarten verlassen sich sogar im Wesentlichen auf eine Zusammenarbeit mit bestimmten Bodenlebensformen z. B. die Eiche mit dem Mykorrhizapilz, der maßgeblich an der Wasseraufnahme beteiligt ist.

Dass im fallgegenständlichen Untersuchungsgebiet der Wasserhaushalt der Böden als gut zu erachten ist, ist anhand des jetzigen Zustandes des untersuchten Baumbestandes ersichtlich. Im Zuge der Flurabstandsvergrößerung bei Grundwasserab-

senkung muss es demnach nicht zwangsweise zu negativen Veränderungen der Bodenfeuchte kommen, denn die Bodenverdunstung im allgemeinen wird auch bei einem vergrößerten Flurabstand funktionieren. Damit bleibt die durchschnittliche und notwendige Bodenfeuchtigkeit, allenfalls in leicht reduziertem Maße, erhalten. Das muss nicht in allen Bereichen des Absenkungstrichters gleich sein, zu unterschiedlich sind die dort verbauten Füllböden in ihrer Zusammensetzung sein. Die im Schlossgarten vom Sachverständigen durchgeführten Schürfgruben weisen darauf hin. Bäume haben durchaus Reaktionsmechanismen um sich den jeweiligen Bodensituationen anzupassen, alleine deren Existenz und gute Vitalität beweist das eindeutig. Auch können Bäume sich an Stresssituationen durch dynamische Anpassungen, denken wir an Hitzeperioden, gut anpassen.

Entscheidendes Kriterium für den Erhalt von Bäumen ist es, dass bei Grundwasserabsenkungen die Bodenfeuchtigkeit nicht unter die für die betroffene Baumart an diesem Standort typische Feuchtigkeit sinkt, welche außerhalb ihres „angelernten und trainierten Reaktionsfensters“ liegt. Sollte sich dies aber dann doch einstellen, kann eine externe und ausreichende Wasserzuführung den Mangel über den Zeitraum einer Absenkung kompensieren. Dazu ist es notwendig, dass die Bodenschichten das zugeführte Wasserangebot aufnehmen, was über Wasserablaufversuche an repräsentativen Bereichen geprüft wurde. Dabei wurde festgestellt, dass das Wasserschluckvermögen des Bodens in den weiten Bereichen außerhalb des Baufeldes doch recht gut ist. Lediglich der Bereich Baufeld im MSG hat hier geringere Werte gezeigt, was wie bereits erklärt, auf Bodenverdichtungen zurückzuführen ist.

Aus diesen Feststellungen ist zu folgern, dass eine externe Bewässerung zur Bodenfeuchtigkeitserhöhung machbar, im Bedarfsfall sinnvoll und auch notwendig ist. Wann, wie oft und welche Mengen an Wasser zugeführt werden soll, lässt sich nicht eindeutig beantworten, zu unterschiedlich sind die allgemeinen und speziellen Verhältnisse vor Ort (Bodenstruktur, Verteilung der Schichten, Maß und Geschwindigkeit der Grundwasserabsenkung, Reaktionsspektrum des betroffenen Baumes, etc.). Betrachtet man die Flurabstandskarte, wird deutlich wie vielschichtig die Bodensituation und der damit verbundene Flurabstand zu GOK (Geländeoberkante) ist.

Um auf Bodenfeuchtmangel infolge von Grundwasserabsenkungen und



–erhöhungen adäquat zu reagieren, bedarf es eines Bodenfeuchtigkeitsmanagements, welches innerhalb der Schlossgärten über ein Monitoring erreichbar ist. Feuchtigkeitsmessungen können mittels Handmessgeräten (Personalaufwand) oder mit stationären Messeinrichtungen (hohe Investkosten, gute Dokumentation) erfasst werden. Verschiedene Messstellen gemäß Plan S. 35 sind nach Einschätzung des SV ausreichend, um ein effektives Bodenfeuchtigkeitsmanagement, im Hinblick auf den Baumerhalt, zu realisieren. Ein solches hätte auch den Vorteil, dass eben nur bei Bedarf und dann auch nur an Mangelorten (großräumig, nicht für den Einzelbaum) eine Wasserzuführung stattfinden müsste. Im günstigsten Fall genügen einige wenige Wassergaben, im ungünstigen Fall muss der gesamte Bereich stetig und nachhaltig bewässert werden. Hierbei ist zu beachten, dass die Wassergaben so erfolgen, dass der Erdkörper in seiner Räumlichkeit zielgerichtet „befeuchtet“ wird. I. d. R. geht dies nur über ein angepasstes Bewässerungsmanagement, u. U. auch zeitlich durchlaufend.

Parallel zum Monitoring sollte der Zustand der Bäume von einem Fachmann ab Beginn GW Absenkung, in der Vegetationsperiode (März bis November) mindestens einmal monatlich kontrolliert werden (Zeitraum hoher Verdunstungsraten durch Vegetation, ggf. niederschlagsarme Zeiträume), im Winter genügt alle zwei Monate (Reduzierung der Verdunstung durch Vegetation / Vegetationsruhe, höhere bis durchschnittliche Niederschlagsrate).

### **3.2.2 Hinweise zum Bodenfeuchtemonitoring**

Von zentraler Bedeutung ist es die Veränderung der Bodenfeuchtigkeit im Zuge von Grundwassererhöhungen oder –absenkungen zu erfassen. Hierzu gibt es spezielle Monitoringsysteme, welche über Sensoren die Bodenfeuchtigkeit in einer Tiefe von 0,5, 1 und 2 m messen. Die Messung der Bodenfeuchte (volumetrischer Wassergehalt, z.B. über Messsonde TRIME PICO64) über 3 Messtiefen ermöglicht eine Einschätzung, ob eine Bodenaustrocknung von „oben“ startet, demnach natürlichen Ursprungs ist (z.B. Trockenheit), oder ob sich diese rasch von unten nach oben, bei GW Absenkung (baubedingt), entwickelt. Damit kann der Austrocknungsgrund besser der eigentlichen Ursache zugeordnet werden. Im Zusammenspiel mit den GW Absenkungsdaten und zeitlich versetzter Bodenfeuchteveränderung können zudem zeitliche und räumliche Veränderungen der Bodenfeuchte in den Untersuchungsräumen



(respektive Wurzelraum) prognostiziert werden. Dies ist wichtig, um Reaktionshinweise für Bereiche zu erhalten, bei denen nur GW Peilrohre vorhanden sind, z.B. für Bereiche außerhalb des Schlossparks, z.B. Straßenbäume, Rosensteinpark, etc.. Eine Systemskizze einer Bodenfeuchtemonitoringstation ist auf Seite 21 dargestellt. Die Messdaten werden über einen Messwandler und Datalogger zu einem Server übermittelt (Funk) und dort ausgewertet. Treten bestimmte Grenzzustände ein, z. B. das Absinken einer festgestellten durchschnittlichen Bodenfeuchte von **nicht mehr als 10 % in der Vegetationszeit, 15 % außerhalb der Vegetationszeit**, synchron oder zeitlich verzögert zu der gemessenen baubedingten Grundwasserabsenkung (es lässt sich ein Zusammenhang ableiten) und das über einen Zeitraum von 14 Tagen, sind Bewässerungsmaßnahmen notwendig. Die Bewässerung ist langsam unter Beobachtung der aktuellen Bodenfeuchte anzufahren. Die Bewässerung wird bei Erreichen der ursprünglichen Bodenfeuchte, 5 % darüber sind vertretbar, langsam eingestellt. Sinkt die Bodenfeuchte hernach wieder ab, ist die Bewässerung dauerhaft so einzustellen, dass eine gleichmäßige und andauernde Bodenfeuchtesituation zum „Normwert“ erreicht wird.

Das vorgeschlagene Monitoring basiert auf der Kenntnis der durchschnittlichen Bodenfeuchtesituation für das jeweilige Jahreszeitenfenster zu den vorgeschlagenen Monitoringstandorten. Sollten im Vorgriff keine vorlaufenden Daten der Bodenmonitoringstationen vorliegen, können unter Einbeziehung ergänzender situativer und dynamischer Untersuchungen ausreichende Feststellungen getroffen werden. Diese Maßnahmen sind als Messbrücke zu den stationären Monitoringstationen zu sehen und sollen mögliche Datendefizite für den Zeitraum des Bauschrittes 1 kompensieren.

Zum Beispiel:

1. Beobachtung der vorhandenen GW Pegelmessstellen ab Beginn der baubedingten Grundwasserabsenkung
2. Parallele Beobachtung der Bodenfeuchtesituation durch wöchentliche Messung mittels Handmessgerät (Baugleich zur Monitoringstation)
3. Lokale Bodenfeuchteraumuntersuchung an Referenzstandorten (Plausibilitätsmessungen)
4. Lokales Messen der Feldkapazität zur Plausibilitätsprüfung (Tensiometer)
5. Ergänzendes Messen der Feldkapazität über Monitoringstationen bei zeitlich verzögertem Messbeginn (Tensiometer)
6. Saftflussmessungen an Referenzbaum



## Zusammenfassung:

Über das Feststellen einer zeitlich durchschnittlichen Bodenfeuchtesituation können im relativen Vergleich über geeignete Bewässerungsmaßnahmen Trockenstresssituationen an Vegetation vermieden werden. Unbedingt erforderlich ist eine laufende fachliche Plausibilitätsprüfung, ggf. unter Zuhilfenahme weiterer Messtechnik. Im Schlosspark Bereich A ist dies für den Erhalt der Bäume, bedingt durch die räumliche Nähe zur Baumaßnahme, essentiell. Für die angrenzenden Bereiche B können die Erfahrungen im Umgang mit Bodenfeuchteinstandhaltung von den Schlossgärten übertragen werden.

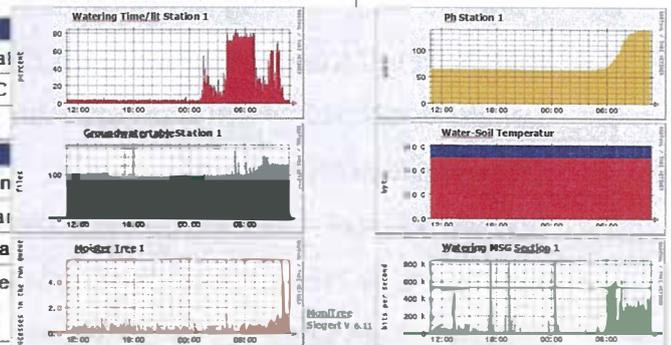
## Beispiel einer tensimetrischen (Saugspannung) Bodenfeuchteüberwachungsstation

Abb. 10

### Monitoring-System Bodenfeuchte mit GPRS-Datenfernübertragung

Das Messverfahren basiert auf der Erfassung der Wärmekapazität, welche im Boden hauptsächlich vom Wasseranteil abhängt. Zur Nutzung dieses Zusammenhangs besitzt der Bodenfeuchtesensor einen porösen Gleichgewichtskörper, dessen Kapillaren mit den wasserführenden Bodenporen in Verbindung stehen. Zwischen Boden und Sensorkopf findet ein stetiger Wasseraustausch statt. Änderungen der Bodenfeuchte können daher als variable Wärmekapazität im Sensorkopf präzise gemessen werden.

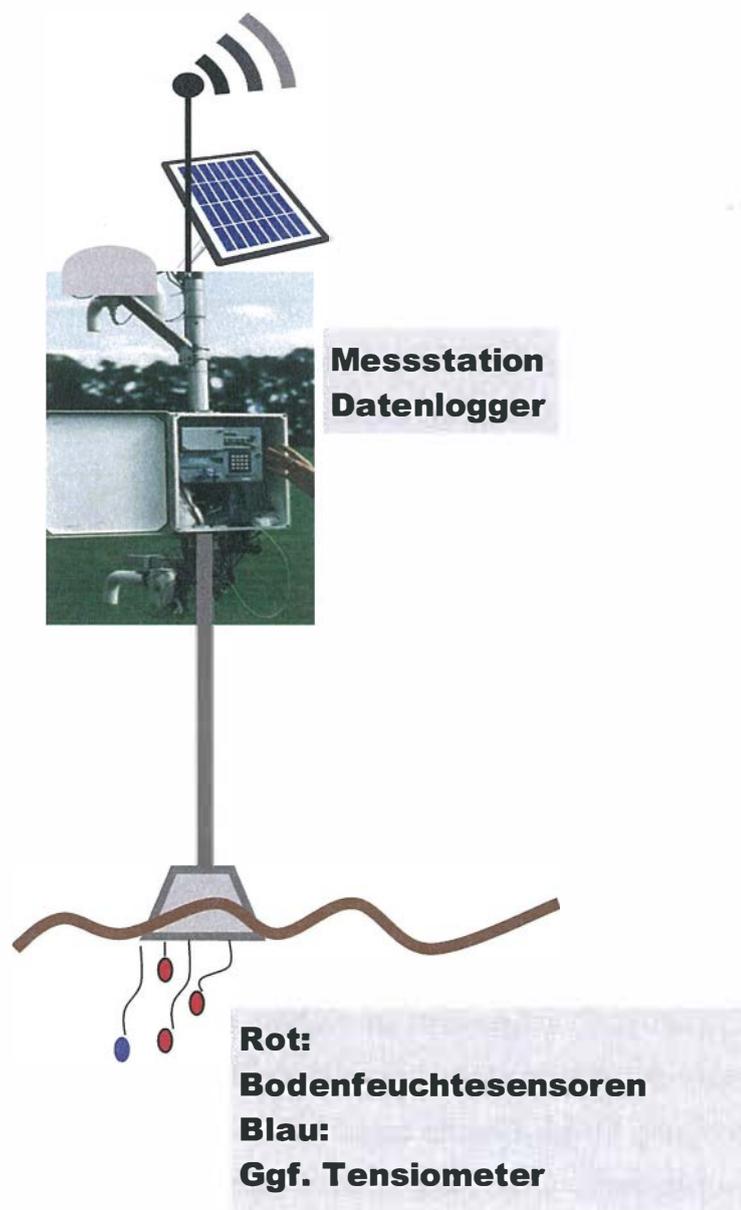
GPRS-Datenlogger	
Parametrisierung	Vollständig über Internetbrowser bedienbar
Datenspeicher	für 400.000 Messpunkte, nichtflüchtiger Flashspeicher
Kanäle	24, bis 24 pF-Meter (via Verteilerdosen)
Lokale Übertragung	über Nahfunk, 433MHz Schnittstelle, bis 20 Meter Reichweite
GSM/GPRS	Motorola Modem, Quad-Band (weltweiter Betrieb)
Übertragungsintervall	ab 15 Minuten aufwärts frei skalierbar
Betriebsbereich	-25°C bis +80°C
Gehäuse	Alu-Druckguß-Gehäuse (Industriestandard)
Überflutungssicher	Schutzklasse IP68
Stromversorgung	12V Akkublock in wetterfestem Schaltschrank
pF-Meter	
Messgröße	Bodenfeuchte als Saug- oder Wasserspannung(Matrixpotenzial)
Messbereich/Auflösung	pF 0...7 = 1...10.000.000 hPa (=mBar); Auflösung 0,01pF
Wartung	Komplett wartungsfrei & frostsicher, keine Wasserbefüllung erforderlich
Einschränkungen	Kein Einfluss hoher Salzgehalte
Ausgangssignal	pF-Werte digital im SDI12-Format
Zusätzliche Messung	gleichzeitige Erfassung der Bodentemperatur (+/- 0,25°C)
Stromversorgung	über GPRS-Datenlogger
Datenübertragung	
Datenfernübertragung	GPRS / M2M-Protokoll (binär), ab 1200 Baud
Übertragungskosten	abhängig vom Anbieter, ab 0,2 C
Antenne	FME-Standard Antenne
Server	
Automation	Datenbankverwaltung, Darstellung
Alarm Management	Einstellbare SMS und E-Mail Alarm
Online Darstellung	Automatische Ganglinien und Tabellen
Online Statusmonitor (Internet Browser)	Ampelfarben für Gehäuseinnentemperatur, Batteriespannung, Signalstärke, Übertragung
Schnittstellen	Nach Anfrage zu Ihrer Analysesoftware automatisierbar
Datenbanken	PostgreSQL/PostGIS, MySQL
Exportformate	CSV, XML, PDF, MS Excel®, weitere auf Anfrage



**Beispielhafter Messaufbau einer Bodenfeuchtemessstation mit volumetrisch erfassenden Sensoren:**

- 3 Feuchtesensoren (volumetrisch) in 3 Tiefen
- 1 Tensiometer (optional, nach Entscheidung der verantwortlichen Bauleitung, z.B. bei zeitlich verzögertem Aufbau der Monitoringstationen)
- Mast mit Messwandler
- Datalogger
- Stromversorgung (Solar oder Batterie)
- Funkübertragungseinrichtung
- Server-Auswertung

Abb. 11



### 3.2.3 Grundwassererhöhung

Aufgrund von Infiltrationsmaßnahmen (Wasserrückführung von abgepumpten Grundwasser in den angrenzenden Boden) kann es in lokalen Bereichen zu begrenzten Grundwassererhöhungen kommen.

In PFA 1.5, in den Bauschritten 1 bis 4a sowie im Bereich des DB-Tunnels in den Bauschritten 10 bis 13 kann es zu großflächigeren GW – Erhöhungen (z. B. im Bereich Felix-Mendelsohn-Bartholdy-Allee, siehe nachfolgende Pläne) kommen.

Dazu ist prinzipiell zu bemerken, dass eine Überflutung des Wurzelbereiches von kurzer Dauer (1—6 Monate) zu Vitalitätsstörungen bzw. Absterben führen kann. Wassersättigung des Bodens verursacht eine Verdrängung der Bodenluft, die Bodenatmung wird verhindert und somit erlischt alles Bodenleben (einschließlich das der Baumwurzeln).

Bäume passen sich im Laufe des Lebens an die aktuellen Grundwasserstände an. Kurzfristige Veränderungen können durchaus toleriert werden, eine längerfristige Anhebung der Grundwasserstände, die weite Teile des Wurzelsystems direkt tangiert, ertragen sie jedoch nicht. Solche Wassererhöhungen sind folglich zu vermeiden oder die betroffenen Bereiche sind dann mittels Brunnen oder Pumpen zu entwässern.

Grundsätzlich sind auch jedoch nicht die tatsächlichen Veränderungen der Grundwasserabstände entscheidend für Überlegungen zu Auswirkungen auf Bäume, sondern, was die Wasserstandsveränderungen im Bereich des wasseraufnehmenden Wurzelhorizontes bewirken. Dieser Wurzelhorizont befindet sich i. d. R. in der oberen Mächtigkeit des Bodens von 1 - 2 m, vereinzelt Wurzeln reichen etwas tiefer. Dies ist im Zusammenhang mit den dort „durchlüfteten Bodenschichten“ zu sehen, denn nur dort ist das für Bäume essentiell notwendige Bodenleben beheimatet. Stirbt das Bodenleben, stirbt der Baum. Im wassergesättigten Boden wird die Bodenluft verdrängt, das sauerstoffbedürftige Bodenleben erstickt. Anhand der Ausführungen kann man schon jetzt verstehen, dass ansteigendes Bodenwasser, wenn es den bodendurchwurzelten Horizont erreicht, sich nachteilig für das Bodenleben und im Nachgang für die Bäume auswirkt. Dennoch gibt es Baumstandorte, bei denen das Grundwasser unter natürlichen Bedingungen näher als 3 m zu GOK reicht, teilweise bis 1 m und weniger. Die einzige heimische Baumart, die eine Ausnahme macht, ist die Erle (im Untersuchungsgebiet nicht vorhanden). Sie kann direkt im



Wasser wurzeln. Alle anderen Baumarten tun das nicht, ganz im Gegenteil, die Versorgungswurzeln enden stets in einem Bodenbereich, der nicht wassergesättigt ist. An Standorten, an welchen das Grundwasser sehr nahe (ca. 1 m) zu GOK reicht, legen Bäume stets ein flachstreichendes, über der Grundwasserschicht verlaufendes Wurzelsystem an. Es schwebt gewissermaßen dicht über dieser wassergesättigten, bodenlebensfeindlichen Zone. Erhöht sich nun der Grundwasserspiegel in einem solchen Bereich in kurzer Zeit geringfügig (über 0,2 - 0,5 m), sind die Auswirkungen erheblich. Das Bodenleben erstickt, mit ihm der Baum und das alles in kürzester Zeit (ca. 1 Vegetationsperiode). Steht das Grundwasser dagegen 5 m tief und wird dort zügig um 2 m angehoben (also auf 3 m zu GOK), wird in aller Regel das Bodenleben und die dort befindlichen Wurzeln wenig, je nach Boden kaum tangiert.

Anhand dieses Beispiels wird deutlich, dass nicht die Pegelstandsunterschiede des GW aus baumkundlicher Sicht interessieren, sondern zunächst der durchschnittliche GW-Abstand, dann die angenommene Pegelstandsveränderung und die sich hieraus einstellende Veränderung der Bodenfeuchte.

Eine Grundwasserabsenkung um 1 - 2 m wirkt sich weniger aus, denn wie bereits beschrieben, wirkt die Grundwasserverdunstung nach wie vor. Bei bestimmten Böden sind daher die Auswirkungen auf die Wasserversorgung nicht oder nur wenig vorhanden. Dazu kommt, dass sich der Baum als dynamisches, äußerst anpassungsfähiges System gut auf solche Situationen einstellen kann. In Wassermangelzeiten schließt er einfach seine Verdunstungsorgane und verbraucht damit deutlich weniger Wasser. Im Hinblick auf die Baumaßnahme und der verbundenen Grundwasserabsenkungen kann hier recht einfach regulativ durch Bewässern eingegriffen werden

(Bodenfeuchtemonitoring) und wenn dann notwendig, eine funktionierende dynamische Bewässerungseinrichtung. Darauf wurde bereits im Kapitel zuvor hingewiesen. Einem Zuviel an Wasser, vor allem wenn sich Staunässe im Wurzelhorizont entwickelt, kann der Baum bzw. das Bodenleben nicht ausweichen, dies führt zwangsläufig zu großer Stressbelastung für den Baum. Daher ist es von großer Wichtigkeit Staunässen zu vermeiden oder, wenn nicht möglich, diese zu beseitigen.

Einfluss auf die Bewertung haben die natürlichen Schwankungen des GW-Abstandes. Die vorliegenden GW-Ganglinien für insgesamt 8 Messstellen (Bereich Baufeld) zeigen relativ geringe jahreszeitliche Schwankungen, in der letzten allerdings einen leichten Grundwasseranstieg.



Die durchschnittlichen Schwankungsbreiten der Grundwasserpegel belaufen sich auf rd. 1 m. Bei Messstelle B20 im Zeitraum von 2003-2009 sind vereinzelte Schwankungen zu erkennen. Messstelle 10 ab 2009 zeigt einen leicht steigenden Trend (+ 0,6 m). B17 steigt von 2009 bis 2011 um 0,5 m.

Zusammenfassend kann aus diesen Messwerten gefolgert werden, dass GW-Schwankungen jahreszeitlich recht gering ausgefallen sind, in den letzten Jahren eine geringe Flurwasseraufhöhung stattgefunden hat. Negative Auswirkungen an Bäumen sind dabei allerdings nicht ableitbar.

### **3.2.4 Bewertung der GW-Erhöhungen**

Aus baumfachlicher Sicht sind Grundwasserpegelerhöhungen soweit zulässig, sofern diese den vorherrschenden Wurzelhorizont nicht unmittelbar mit Wasser erreichen, bzw. der Kapillarsaum den Boden nicht erheblich über das durchschnittliche Mittel befeuchtet.

Folgende Eckpunkte sind im Grundsatz zu beachten:

An grundwassernahen Standorten (0 - 1 m unter GOK) ist eine Pegelerhöhung auszuschließen. Bei grundwasserfernen Standorten (betrachtet werden nur Grundwasserabstände von unter 5 m) können max. Pegelerhöhungen von 1,5 m toleriert werden. In der nachfolgenden Tabelle (Abb. 12) werden zulässige Grenzpegelerhöhungen in Bezug zum vorherrschenden langjährigen Grundwasserpegelstand aufgezeigt. Werden die Grenzbedingungen überschritten, ist das Überschusswasser zwingend abzusenken.

Hinweis: Erst ein qualifiziertes Bodenfeuchtemonitoring erlaubt eine konkrete Beurteilung der Bodenfeuchte-Istzustände - vor, während und nach der Baumaßnahme!



Nachfolgende Tabelle gibt darüber Auskunft, welche Pegelerhöhungen im Bereich des Altbaumbestandes aus fachlicher Sicht möglich sind.

**Abb. 12**

	GW-Abstand Normal	erlaubte Pegelerhöhung	Beurteilung	Kontrolle	Zeitlich begrenzte Pegelerhöhung	Maßnahmen bei Pegelüberschreitung
Level 1	über 5 m	max. 2 m	keine Bedenken	Pegel/ Bodenfeuchte monitoring	Kurzfristig 4 Wochen zulässig	Durch Abpumpen auf normal null ausgleichen
Level 1	4-5 m	max. 1,5 m	keine Bedenken	Pegel/ Bodenfeuchte monitoring	Kurzfristig 4 Wochen zulässig	Durch Abpumpen auf normal null ausgleichen
Level 2	3-4 m	max. 1,0 m	keine Bedenken	Pegel/ Bodenfeuchte monitoring	Kurzfristig 2 Wochen zulässig	Durch Abpumpen auf normal null ausgleichen
Level 3	2-3 m	max 0,5 m	keine Bedenken	Pegel/ Bodenfeuchte monitoring	auch kurzfristig auszuschließen	Durch Abpumpen auf normal null ausgleichen
Level 4	1-2 m	max. 0,2 m	keine Bedenken	Pegel/ Bodenfeuchte monitoring	auch kurzfristig auszuschließen	Durch Abpumpen auf normal null ausgleichen
Level 5	0-1 m	max. 0,0 m	keine Bedenken	Pegel/ Bodenfeuchte monitoring	auch kurzfristig auszuschließen	Durch Abpumpen auf normal null ausgleichen

Werden die vorgegebenen Grenzwerte nicht unterschritten, kann davon ausgegangen werden, dass ein Ansteigen des Grundwasserpegels nicht zu einer erheblichen Bodenfeuchterhöhung bzw. Staunässebildung kommt.

Obwohl bei den vorherrschenden Bodenverhältnissen (stark bindige Böden) nicht davon ausgegangen werden kann, dass Wurzeln an grundwasserfernen Standorten (ü. 5 m) tiefer als 2 - 3 m wurzeln (dort fehlt in solchen Böden i. d. R. der Sauerstoff) ist eine Pegelerhöhung von mehr als 2 m nicht möglich. Denn oberhalb des Flurwasserabstandes befindet sich der Kapillarsaum, ein stark wassergesättigter Bereich, in dem die Bodenluft von Wasser verdrängt ist. Dieser Kapillarsaum wandert mit einer Grundwasserpegelerhöhung zwangsläufig nach oben. Der Sachverständige schätzt die Dicke des Kapillarsaumes - im Anhalt an die Ergebnisse der Bodenuntersuchungen - auf 1 m.

Es kann davon ausgegangen werden, dass Bäume, welche relativ dicht zu Grundwasserständen stocken, hinsichtlich solcher erhöhten Feuchtezustände konditioniert sind. I. d. R. haben sie dort weniger tief reichende Wurzeln bzw. Wurzeln, welche dann überhaupt nicht in Bereiche mit Staunässe vordringen.

### 3.2.5 Zusammenfassung

Grundwassererhöhungen stellen ein Problem für Bäume dar, wenn diese den Wurzelhorizont („Wurzelplatte“) erreichen oder gar in diesen einlaufen (Staunässe).

Nach den vorliegenden Planunterlagen kann es im nahen Bereich der Baugrube und in den Bereichen USG, OSG und MSG zu einer zeitlichen Grundwassererhöhung kommen. Der Bereich OSG ist aus fachlicher Sicht unproblematisch, weil der Flurabstand-normalabstand größtenteils über 5 m, gleichzeitig die Wasseraufhöhung nur bei knapp 1 m liegt.

Bäume im MSG, welche dicht zu den zukünftigen Baugruben stehen, sind durch Grundwassererhöhungen am stärksten betroffen. Der südlich gelegene dicht gestockte Bereich befindet sich je nach Bauschritt in einer Zone von kritischer Wassersenkung.

Wenn die Grenzzustände dort erreicht werden sind entsprechende Maßnahmen, Wassergabe oder Wasserentzug notwendig.

Im nordöstlichen Gebiet können ebenfalls lokale grenzwertige Zustände erreicht werden, diese sind dann ebenfalls zu entwässern. Diese Aussagen treffen u. U. auch für Teilbereiche des Platanenbestandes im USG zu.

Nach Mitteilung der ARGE WUG, vertreten durch Dr. Westhoff (Grundwassermodellberechnungen) sind für die Vegetation schädliche Grundwassererhöhungen durch eine Anpassung der Infiltrationsmenge steuerbar und damit vermeidbar, was aus baumkundlicher Sicht anzustreben wäre. Um die tatsächlichen Wasser- und Bodenfeuchtezustände zu erfassen, ist trotzdem ein Bodenmonitoring unerlässlich. Auf Seite 28 und 29 werden die aus heutiger Sicht notwendigen Messstellen eingehender beschrieben. Die Festlegung der Messorte richtete sich nach den Einschätzungen des Unterzeichners, gestützt und ergänzt durch die ARGE WUG, vertreten durch Dr. Westhoff.

Sollten sich im Laufe der Baumaßnahmen Hinweise auf die Notwendigkeit von weiteren Monitoringmessstellen ergeben, so sind diese nachzurüsten.

Die sich aus dem Bodenmonitoring ergebenden Maßnahmen sind technisch relativ leicht und schnell herzustellen und dann auf das Notwendigste zu betreiben und zu unterhalten.

**Bei Wassermangel:** Gezieltes flächiges und kontinuierliches Bewässern.

**Bei Wasserüberschuss:** Lanzenabsaugung betroffener Gebiete (Kronenschirmfläche).

**bis der Normalzustand erreicht wird!**



Der Sachverständige hat aus vegetationstechnischer Sicht hinsichtlich der Grundwasseraufhöhung dann keine Bedenken wenn...

1. eine Grundwasserpegelerhöhung durch Steuerung der Infiltrationsmenge ausgeschlossen werden kann,
2. Bodenfeuchtemessungen und Pegelmonitoring eine Überwachung der Grundwasserstände erlauben,
3. bei baumschädlichem Wasserüberschuss, Wassermangel mit technischen Maßnahmen reagiert werden kann.



Nach den Planunterlagen ergeben sich in identifizierten Bereichen des Schlossgartens Grundwasserabsenkungen und -anhebungen.

Bei reinen Grundwasserabsenkungen kann über ein Bodenfeuchtemonitoring die Wasserhaushaltssituation für Bäume rasch und eindeutig überwacht werden. Die Maßnahmen bei Wassermangel (Abfallen der durchschnittlichen Bodenfeuchte um 10 %) sind recht einfach, es ist ausreichend Wasser solange durch Wässern flächig zuzuführen, bis der gewünschte Feuchtigkeitsgehalt des Bodens wieder erreicht wird. Dieser ist dann durch eine gleichmäßige Wasserzuführung zu sichern. Kurzfristige Schwankungen (von 5 - max. 10 %) können toleriert werden. Dennoch sollte bei baubedingter Beeinflussung ein gleichmäßiger Bodenfeuchtwert für die Dauer der Baumaßnahme angestrebt werden, um mögliche baubedingte Stresssituationen, im Bezug zum Baumbestand, aus dem Wege zu gehen. Grundwassererhöhungen sind dagegen insgesamt wesentlich problematischer zu sehen. Wird dabei der Wurzelhorizont „überflutet“, wird der Sauerstoff aus dem Boden verdrängt. Bereits nach kurzer Zeit verändert sich die Bodenfauna, ein eng ineinander verzahnter Bereich, Baum - Boden, gerät aus dem Lot. Die fachlich vertretbaren GW-Erhöhungen sind im Bezug zum mittleren Flurabstand zu sehen. Je dichter das Grundwasser bei mittleren Verhältnissen zu GOK bzw. zur Wurzelplatte steht, desto weniger Wasseraufnahmepuffer ist im Boden vorhanden und umso weniger können die an den dortigen Zustand angepassten Bäume darauf reagieren.

Daher ist für die bezeichneten Bereiche ein Grundwasserstands- und Bodenfeuchtemonitoring unerlässlich. Damit kann sichergestellt werden, dass eine schädliche Grundwassererhöhung rechtzeitig festgestellt werden kann. Diese sollte einen Zeitraum von 3 - 4 Wochen nicht überschreiten, weil ansonsten Vitalitätsstörungen an Bäumen zu befürchten sind.

### **Monitoring der Bodenfeuchte, Grundwasserpegel**

Die wesentliche Messgröße in Bezug zur Wasserversorgung von Bäumen ist das Erfassen der Bodenfeuchte in Tiefen von 0,5 m, 1 m und 2 m. Dies erfolgt mittels speziellen Bodenfeuchtesensoren, verbunden zu einem Datalogger, welcher die Messdaten per Funkdatenübertragung an einen Auswertungsrechner überträgt. Sinkt die Bodenfeuchtigkeit unter ein kritisches Maß, wird kontrolliert bewässert, bis sich die benötigte Bodenfeuchtigkeit wieder eingestellt hat. Idealerweise wird versucht, die Bodenfeuchtigkeit durch maßvollen und kontinuierlichen Wassereintrag konstant zu halten. In Bereichen, bei denen nur Grundwasserabsenkungen prognostiziert werden, ist der Messstellenabstand in einem Raster, wie in

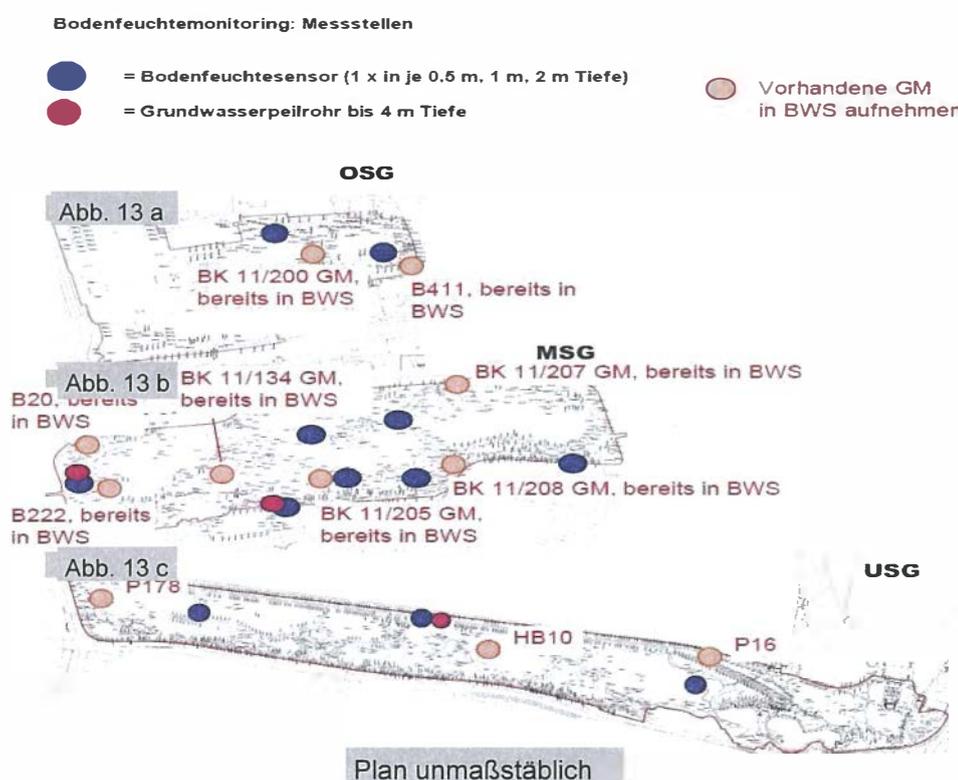


der Planskizze dargestellt, ausreichend. In Bereichen, bei denen eine Grundwassererhöhung vorhergesagt wird, ist grundsätzlich eine Bodenfeuchtemessstelle und ein GW-Peilrohr (wenn nicht schon vorhanden) vorgesehen siehe Abb. 13 a- c.

GW-Peilrohre erlauben quasi in Echtzeit Grundwasserstandsveränderungen aufzuzeigen, die Bodenfeuchte selbst hinkt zeitlich nach. Daher ist es notwendig, die in der Beweissicherung Phase 2 im oberflächennahen Grundwasserleiter erhobenen Grundwasserstände auch hinsichtlich der Wasserversorgung der Bäume zu beurteilen. Beurteilt werden die Grundwasserstände in den identifizierten relevanten Bereichen der Untersuchungsräume A und B. Zu berücksichtigen sind sowohl bestehende als auch die für das Bodenfeuchtemonitoring im Schlossgarten zusätzlich zu erstellenden Grundwassermessstellen (Abb. 13a-c). Die vorgesehene stündliche Messwerterfassung betrachten wir als ausreichend. Die Übertragung der Daten kann gemäß Festlegung zur Beweissicherung erfolgen. Somit liegen die Daten der Warnwertmessstellen und Steuerpegel in den baugrubennahen Bereichen täglich und die der Beweissicherungsmessstellen monatlich zur Beurteilung vor. Bewässerungen werden erst dann eingeleitet, wenn der gesetzte Schwellenwert (durchschnittliche Bodenfeuchte in Volumenprozent) um 10 % unterschritten wird. Grundwasserpegelmessungen können daher als Frühwarnsystem verstanden werden, was auch bei Grundwassererhöhungen ein wichtiger Faktor ist. Denn dort bleibt i. d. R. weniger Zeit zum Handeln Wasserabsenkung), denn eine Boden-/Baumbeschädigung durch Grundwassererhöhung tritt wesentlich schneller ein, als eine Baumschädigung durch Wassermangel.

**Abb. 13a-c: Messstellen in den Schlossgärten zur Bodenfeuchte, sowie GW-Pegel bis max. 4 m Tiefe**

(Angabe Siegert, ergänzt durch ARGE WUG, vertreten durch Dr. Westhoff.



Nach Auswertung der modelltechnischen Prognosen und Begutachtung der identifizierten Flächen vor Ort kommen wir zu dem Schluss, dass bei Durchführung der vorgeschlagenen Maßnahmen von der Umsetzung der Wasserhaltungsmaßnahmen keine Gefahren für die bestehende Vegetation ausgehen.

Es ist, wie beschrieben, eine baubegleitende Bewertung von Grundwasserständen und Daten aus dem Bodenfeuchtemonitoring sowie die regelmäßige Vorortkontrolle in den identifizierten relevanten Bereichen der Untersuchungsräume A und B notwendig. Als Beurteilungsgrundlage werden die in der Beweissicherung im oberflächennahen Grundwasserleiter erhobenen Grundwasserstände sowie die ergänzend im Schlossgarten durchzuführenden Bodenfeuchtemessungen hinsichtlich der Wasserversorgung der Bäume beurteilt.

Das durchschnittliche Mittel der Bodenfeuchtigkeit (gemessen über einen Zeitraum von 3 - 6 Monaten) ist der anzustrebende Wert für den Zeitraum einer GW-Absenkung. Sinkt die Bodenfeuchtigkeit (Schwellenwert -10%) synchron zur GW-Absenkung, ist durch ein kontinuierliches Bewässern des Areals (Einzelbäume, Baumgruppen), angepasst und abgestimmt an die Wasseraufnahmefähigkeit der anstehenden Böden, die Bodenfeuchtigkeit herzustellen, einzustellen und zu halten. Bei lang anhaltender sommerlicher Trockenheit, in Bereichen von Grundwasserabsenkungen, ist möglicherweise eine vorauseilende Bewässerung, zur Stressminimierung, sinnvoll. Dies muss im Einzelfall auf Grundlage fachlicher Daten situativ entschieden werden.

Umgekehrt, bei baubedingten Wassererhöhungen, sind unverzüglich bei Überschreiten der Warngrenzen (s. Abb. 12, Seite 25, Tabelle) technische Lösungen anzuwenden, welche in der Lage sind, die Überhöhungen abzubauen (z.B. Lanzenabsaugverfahren) oder am besten zum Vermeiden beitragen (Steuerung der Infiltrationsmenge).

Für Bereiche außerhalb des Schlossgartens genügen GW-Pegelüberwachungen. Bei baubedingten GW-Veränderungen ist nach Maßgabe der erfassten Messwerte der Schlossgärten zu verfahren. Aufgrund der dortigen Einzelbaumstellungen sind hier externe Wassergaben über mobile Einheiten (Gießwagen) durchzuführen. Die zeitliche Wassergabe muss auf das Schluckvermögen der dortigen Böden abgestellt

sein.

Der Sachverständige legt deshalb auf folgende Feststellungen Wert:

Zeitpunkt, Lage und Umfang der Bewässerung richten sich innerhalb des Schlossparks nach dem aus dem vorlaufenden Bodenmonitoring gewonnenen Basiserkenntnissen (zeitlich durchschnittliche Bodenfeuchte), der lokalen Situationen und den fachlichen Einschätzungen. Hierzu gehört zwingend eine fachliche Begleitung um ggf. über Plausibilitätsprüfungen angepasste und situative Maßnahmen durchzusetzen. Unter bestimmten Voraussetzungen können ergänzende Untersuchungen (wie z. B. tensiometrische Messungen, Saftflussmessungen, etc.) notwendig werden. Diese werden festgelegt auf Grundlage der zur Verfügung stehenden Daten und der Einschätzung der mit der Überwachung beauftragten Institution.

### **Wassermangel:**

Im Bedarfsfall müssen leistungsfähige Wasserzuführungen eingerichtet werden, wie sie z. B. teilweise auf dem Gelände der Wilhelma bestehen. Wichtig ist, dass dieses System so flexibel und dynamisch gehandhabt werden kann, dass es den Bedürfnissen des Baumbestandes dynamisch angepasst werden kann. Bewässerungen müssen flächig erfolgen, die notwendigen Wassergaben sind über den Zeitraum von mehreren Stunden (4 - 6) zu verabreichen, solange bis der anzustrebende Bodenfeuchtigkeitszustand erreicht wird. Dies kann über Kunststoff - Lochleitungen geschehen, welche oberflächlich in der Baumkrone (von oben abregnen) oder unterirdisch als Rasenschlitzleitungen, spiralförmig um den Baum, in Fläche, mit Versickerungsbrunnen verlegt sind.

Eine genaue Mengenangabe kann seitens des Sachverständigen nicht festgelegt werden, zu unterschiedlich sind die Bodenfeuchteschwankungen bei GW-Absenkungen. Als grober Richtwert können für einen kleinen Baum Wassergaben pro Tag von 50 - 100 Liter, bei einem Großbaum (ca. 30 m Baumhöhe) 200 - 1.000 Liter notwendig werden. Es ist allerdings auch denkbar, dass sich die Bodenfeuchte trotz GW-Absenkung überhaupt nicht deutlich verändert (z. B. leistungsfähiger Kapillarsaum, bestimmte Bodenschichtungen etc.). In solchen Fällen soll und darf nicht bewässert werden.

Grundlage der Erfassung von Mangelsituationen ist das unter Kapitel 3.2.2 beschriebene Bodenfeuchtemonitoring, ergänzt je nach situativer Gegebenheit mit der Plausibilitätsprüfung dienender Messungen. Diese dienen auch zur Beurteilung der



Gesamtsituation bei nicht eindeutigen Messzeiträumen oder Messwerten (z. B. Messsensorfehler).

### **Pegelerhöhungen:**

Sollten sich baubedingte Pegelerhöhungen ergeben, sind diese zunächst fachlich zu beurteilen, um - wo notwendig - entsprechende Gegenmaßnahmen rasch einleiten zu können. Dies wäre zunächst durch Steuerung der Infiltrationsmenge zu regeln. Schlimmstenfalls müsste mit Lanzen der Wasserüberschuss im Bereich der Kronentraufe mittels Absauglanzen auf ein vertretbares Maß reduziert werden (Tabelle, Seite 25).

Der Sachverständige empfiehlt das Vegetationsmonitoring, visuelle Zustandskontrolle, dynamische und stationäre Maßnahmen zum Vegetationsschutz, Pegel und der Bodenfeuchtemonitoring, etc. zusammen zu erfassen und von fachkundiger Stelle beobachten und kontrollieren zu lassen.

Bei Erkennen von Defiziten sind seitens der Bauleitung unverzüglich die notwendigen Maßnahmen zum Schutz der Vegetation, insbesondere der Großbäume, einzuleiten.

Eine kontinuierliche Protokollierung der Vegetationsüberwachung sollte aus Gründen der Beweissicherung unbedingt erfolgen.

Das Bodenfeuchtemonitoring inkl. der Überwachung der Grundwasserpegelmessstellen können aus vegetationstechnischer Sicht nach Erreichen der Grundwasserpegelnormalzustände eingestellt werden.



Dieses Sachverständigengutachten wurde in objektiver Abwägung der von uns aufgenommenen Daten und Fakten, unter Berücksichtigung der aktuellen wissenschaftlichen Forschungsergebnisse im Bereich der Baumkunde, Baumbiologie und Baumpflege erstellt.

Dieses Gutachten ist nur für den Gebrauch des Auftraggebers bestimmt und darf von diesem nur in seiner Gesamtheit, ohne Herausnahme von Teilauszügen als Informations- und Arbeitsgrundlage verwendet oder an Dritte weitergegeben werden. Dieses Sachverständigengutachten ist nicht auf andere Bäume, auch gleicher Art oder ähnlicher Situation übertragbar.

Die Abbildungen wurden mit einer digitalen Kamera angefertigt. Der Unterzeichner versichert hiermit, dass keine Manipulationen an den Abbildungen durchgeführt wurden. Es wurden lediglich Vergrößerungen, Verkleinerungen oder Belichtungseinstellungen vorgenommen.

Die Bäume wurden aufgenommen und bewertet von:



**Bodo Siegert**

Von der Industrie – und Handelskammer Nürnberg für Mittelfranken öffentlich bestellter und vereidigter Sachverständiger für Landschaftsbau: Baumpflege, Baumstatik

Fachagrarwirt Baumpflege und Baumsanierung

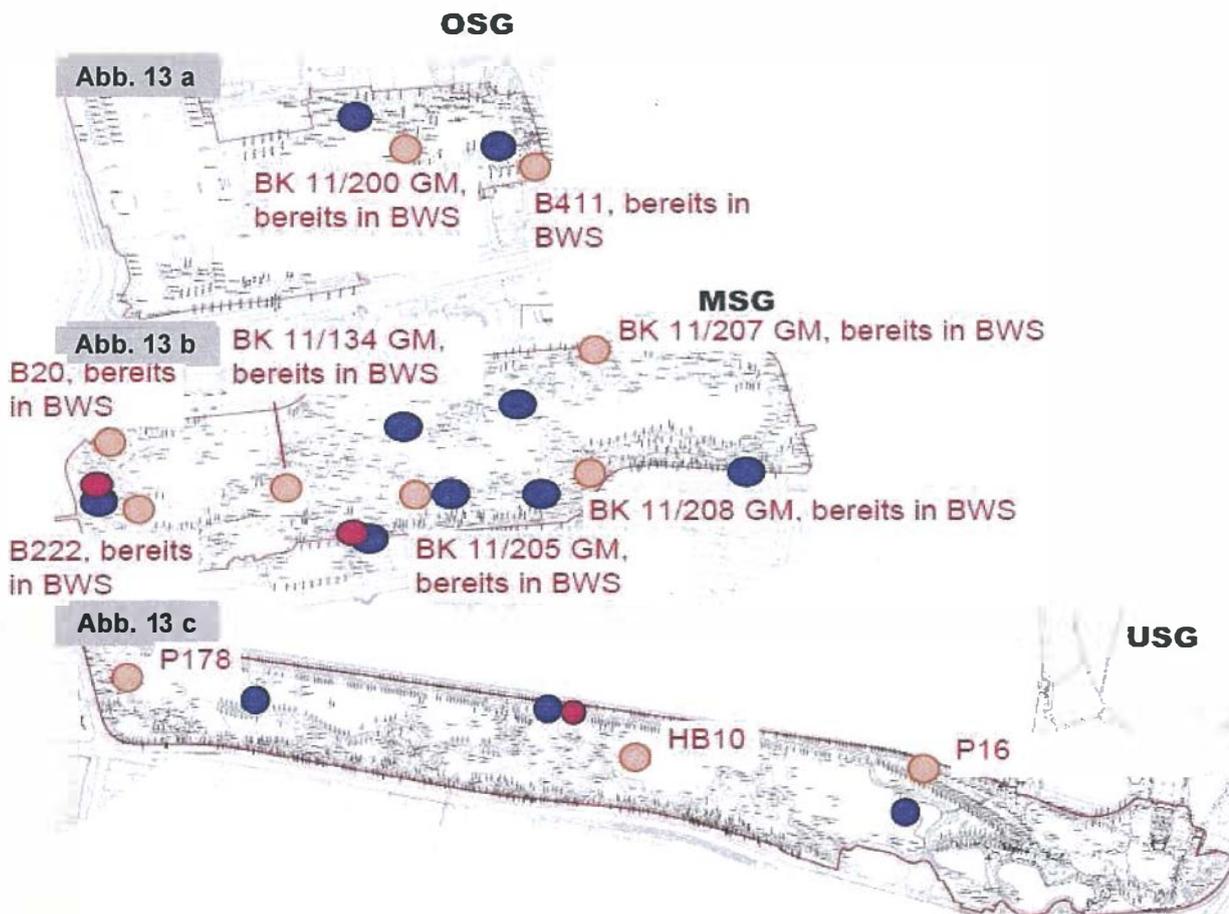
EU zertifiziert nach: DIN EN ISO/IEC 17024:2003  
Für Fachgebiet: Baumstatik, Stand- und Bruchsicherheit von Bäumen, Beweissicherungen, Gefährdungsanalysen, Baumwertermittlungen.  
Zusatzqualifikation: Technische Untersuchungsverfahren zur Messung der Stand- und Bruchsicherheit von Bäumen.  
Zertifikats Nr. ZN\_20091104\_0056, euro experts EWIV

Altdorf, 30.03.2012



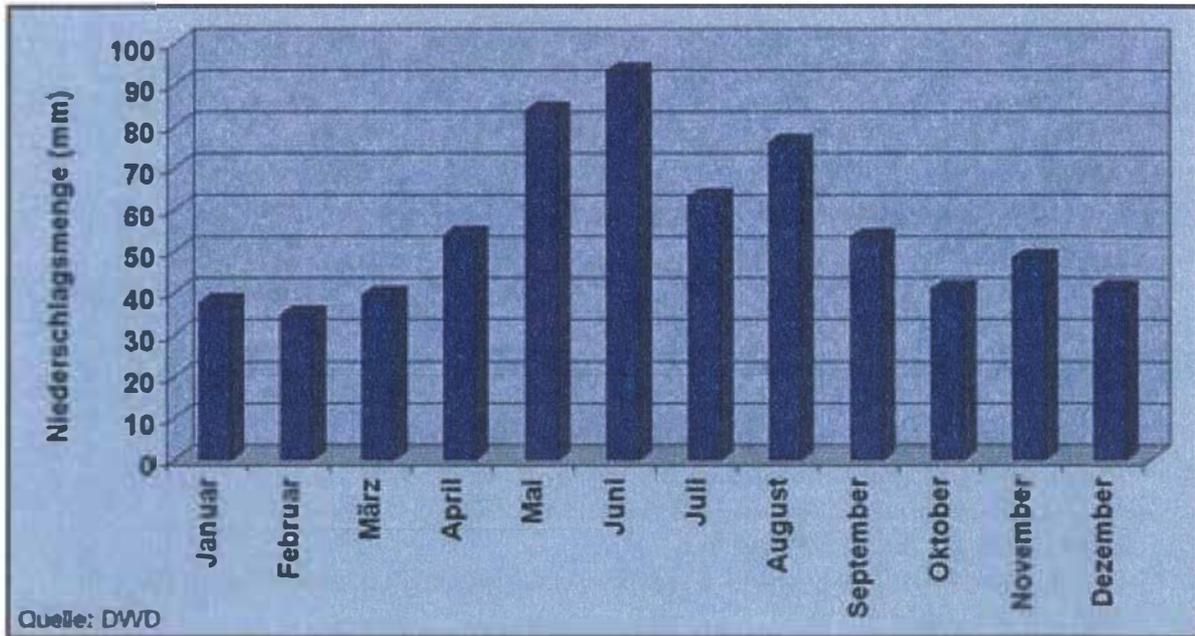
## Bodenfeuchtemonitoring: Messstellen

- = Bodenfeuchtesensor (1 x in je 0,5 m, 1 m, 2 m Tiefe)
- = Grundwasserpeilrohr bis 4 m Tiefe
- = Vorhandene GM in BWS aufnehmen



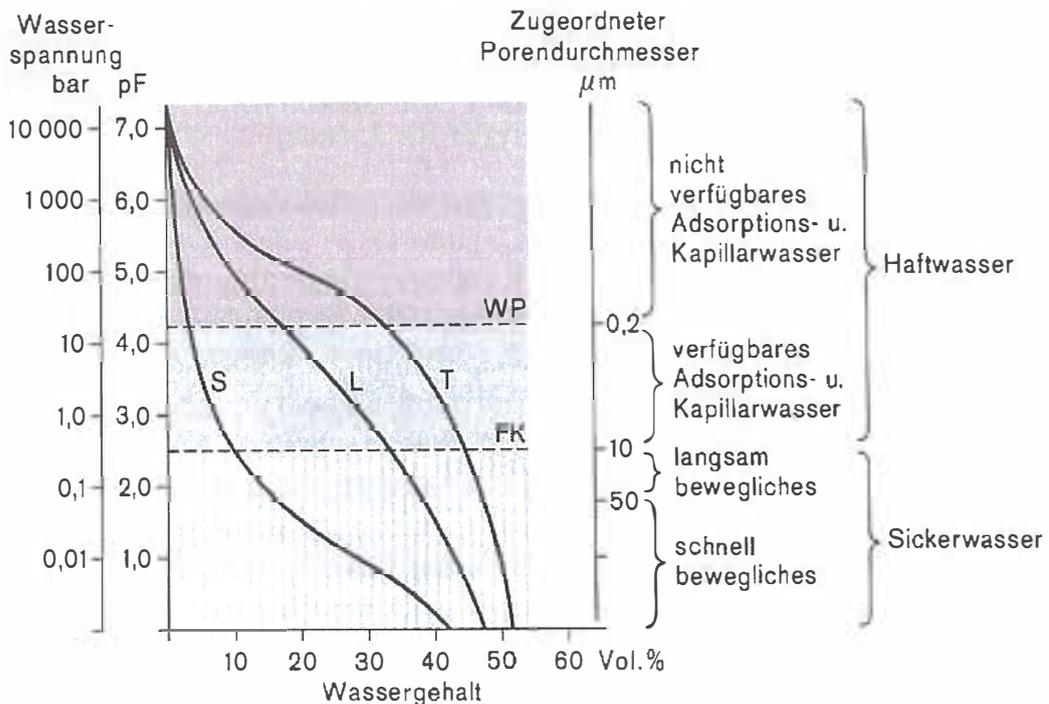
Plan unmaßstäblich

# Niederschlag in Stuttgart



## Grenzen für pflanzenverfügbares Wasser

- Feldkapazität (FK) = maximale Haftwassermenge
- Welkepunkt (WP) = ab hier ist kein pflanzen-verfügbares Wasser im Boden



## Literaturhinweise

- 1 **Fritz Hans Schweingruber**  
Jahrringe und Umwelt - Dendroökologie, 1993, Eidgenössische  
Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft
- 2 **H. J. Braun**  
Bau und Leben der Bäume, 1998, Rombach Verlag, Freiburg
- 3 **Andreas Roloff**  
Baumkronen, 2001, Ulmer Verlag
- 4 **Alexia Stokes**  
The Supporting Roots of Trees and Woody Plants, 1999, Kluwer Academic  
Publishers
- 5 **Claus Mattheck/Helge Breloer**  
Handbuch der Schadenskunde von Bäumen: der Baum in Mechanik und  
Rechtsprechung, 1993, Verlag Rombach, Freiburg
- 6 **FLL Forschungsgesellschaft Landschaftsentwicklung e.V.**  
ZTV-Großbaumverpflanzung, 3. Ausgabe 2005, FLL, Bonn
- 7 **Locher W. P. & De Bakker H.**  
Bodenkunde van Nederland. Deel 1, 1990, Malmberg, Den Bosch (NL)
- 8 **Gerard Passola**  
Apuntes de raíces y de trasplantes, 2006, Asociación Española de  
Arboricultura
- 9 **Verlag der Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen**  
Richtlinien für die Anlage von Straßen (RAS), Teil Landschaftspflege,  
Abschnitt 4: Schutz von Bäumen, Vegetationsbeständen und Tieren bei  
Baumaßnahmen (RAS-LP 4), Ausgabe 1999
- 10 **Deutsches Institut für Normung e. V.**  
DIN 18920: Vegetationstechnik im Landschaftsbau - Schutz von Bäumen,  
Pflanzenbeständen und Vegetationsflächen bei Baumaßnahmen,  
Ausgabe 2002 - 08
- 11 **FLL Forschungsgesellschaft Landschaftsentwicklung e.V.**  
ZTV-Baumpflege, 5. Ausgabe 2006, FLL, Bonn
- 12 **FLL Forschungsgesellschaft Landschaftsentwicklung e.V.**  
Richtlinien für Regelkontrollen zur Überprüfung der Verkehrssicherheit  
von Bäumen - Baumkontrollrichtlinien (BKR), 1. Ausgabe 2010, FLL, Bonn
- 13 **Heinrich Otto Buja**  
Handbuch der Baugrunderkennung: Geräte und Verfahren. 2009, Vieweg +  
Teubner Verlag
- 14 **Aloys Bernatzky**  
Baumkunde und Baumpflege, 5. Auflage, 1994, Bernhard Thalacker Verlag
- 15 **C. C. Konijnendijk, K. Nilsson, T. B. Randrup, J. Schipperijn**  
Urban Forests and Trees, 2005, Springer Verlag
- 16 **Florin Florineth**  
Pflanzen statt Beton, 2004, Patzer Verlag
- 17 **FLL Forschungsgesellschaft Landschaftsentwicklung e.V.**  
Empfehlungen für das Pflanzen von Bäumen, Ausgabe 1999, FLL, Bonn
- 18 **J. von Malek, W. Molitor, K. Peßler, H. Wawrik**  
Der Baumpfleger, 1999, Ulmer Verlag



- 19 Deutsches Institut für Normung e. V.**  
DIN 19682-7: Bodenbeschaffenheit - Felduntersuchungen - Teil 7:  
Bestimmung der Infiltrationsrate mit dem Doppelzylinder-Infiltrometer  
Ausgabe 2007 - 07
- 20 Franz H. Meyer (Hrsg.)**  
Bäume in der Stadt, 2. Auflage, 1982, Ulmer Verlag
- 21 Horst Lyr, Hans Joachim Fiedler, Walter Tranquillini**  
Physiologie und Ökologie der Gehölze, 1992, Gustav Fischer Verlag Jena
- 22 Winfried E. H. Blum**  
Bodenkunde in Stichworten, 6. Auflage, 2007, Gebr. Borntraeger Berlin,  
Stuttgart
- 23 Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe und  
Niedersächsisches Landesamt für Bodenforschung**  
Bodenkundliche Kartieranleitung, 5. Auflage, 2005, Druckhaus „Thomas  
Müntzer“ Bad Langensalza
- 24 Dirk Dujesiefken und W. Liese**  
Das Codit-Prinzip, 2008, Haymarket Media GmbH & Co. KG
- 25 Jochen A. Pfisterer**  
Gehölzschnitt nach den Gesetzen der Natur, 1999, Ulmer Verlag
- 26 Bernward Hölting, Wilhelm G. Coldewey**  
Hydrogeologie, 7. Auflage, 2009, Spektrum Akademischer Verlag, Heidelberg
- 27 Aquasoil Ingenieure & Geologen GmbH, vertreten durch Dr. Westhoff**  
Planunterlagen: Flurabstand < 5 m, hierbei Grundwasseränderungen über  
1 m und baubedingte Grundwasserstandserhöhungen im Bauschritt 1 - 13,  
29.02.2012
- 28 Öbuv Sachverständiger Bodo Siegert**  
Gutachten 2011122, 05.12.2011

