

Gutachterliche Stellungnahme

Nr. 11272 - 1

Geotechnische Untersuchung der Stauanlage „Teutoburger Waldsee“, Am Höhneberg in Hagen a. T. W.

- Exemplarische Untersuchung der Sickerlinie und der Standsicherheit -

Auftraggeber: Frau Maria Anna Meyer zu Mecklendorf
Am Höhneberg 12
49170 Hagen a. T. W.

Planer: IPW Ingenieurplanung GmbH & Co. KG
Marie-Curie-Str. 4a
49134 Wallenhorst

Auftragnehmer: Prüftechnik ZDL GmbH
Umwelt und Baugrund
Mühlenschweg 5
49090 Osnabrück

Bearbeiter: Dipl.-Geol. Ludger Lünne

Datum: 05. Januar 2010

Die Stellungnahme umfasst 21 Seiten und die Anlagen 0 - 4.

Inhaltsverzeichnis

| | | |
|--|-------|----|
| 0 Aufgabenstellung und Vorbemerkungen | Seite | 4 |
| 1 Untersuchungsbereich „Profil A“ (0+291,288) | Seite | 6 |
| 1.1 Bodenschichtung und Bodeneigenschaften | Seite | 6 |
| 1.2 Grundwasser und Sickerlinie | Seite | 7 |
| 1.3 Standsicherheitsnachweise | Seite | 8 |
| 2 Untersuchungsbereich „Profil B“ (0+235,505) | Seite | 10 |
| 2.1 Bodenschichtung und Bodeneigenschaften | Seite | 10 |
| 2.2 Grundwasser und Sickerlinie | Seite | 11 |
| 2.3 Standsicherheitsnachweise | Seite | 12 |
| 3 Untersuchungsbereich „Profil C“ (0+150,491) | Seite | 14 |
| 3.1 Bodenschichtung und Bodeneigenschaften | Seite | 14 |
| 3.2 Grundwasser und Sickerlinie | Seite | 15 |
| 3.3 Standsicherheitsnachweise | Seite | 17 |
| 4 Untersuchungsbereich „Profil D“ (0+083,280) | Seite | 18 |
| 4.1 Bodenschichtung und Bodeneigenschaften | Seite | 18 |
| 4.2 Grundwasser und Sickerlinie | Seite | 19 |
| 4.3 Standsicherheitsnachweise | Seite | 20 |
| 5 Schlusswort | Seite | 21 |

Anlagenverzeichnis

Anlage 0 Lageplan

Anlage 1 Untersuchungsbereich „Profil A“ (0+291,288)

- Anlage 1.1 Bohrprofile und Rammdiagramme im schematischen Schnitt
- Anlage 1.2 Profilschnitt mit schematischen Bodenprofilen und Sickerlinie (12.2008)
- Anlage 1.3 Standsicherheitsnachweise

Anlage 2 Untersuchungsbereich „Profil B“ (0+235,505)

- Anlage 2.1 Bohrprofile und Rammdiagramme im schematischen Schnitt
- Anlage 2.2 Profilschnitt mit schematischen Bodenprofilen und Sickerlinie (01.2001 und 12.2008)
- Anlage 2.3 Standsicherheitsnachweise

Anlage 3 Untersuchungsbereich „Profil C“ (0+150,491)

- Anlage 3.1 Bohrprofile und Rammdiagramme im schematischen Schnitt
- Anlage 3.2 Profilschnitt mit schematischen Bodenprofilen und Sickerlinie (12.2008)
- Anlage 3.3 Standsicherheitsnachweise

Anlage 4 Untersuchungsbereich „Profil D“ (0+083,280)

- Anlage 4.1 Bohrprofile und Rammdiagramme im schematischen Schnitt
- Anlage 4.2 Profilschnitt mit schematischen Bodenprofilen und Sickerlinie (12.2008)
- Anlage 4.3 Standsicherheitsnachweise

Bearbeitungsunterlagen

- /1/ Ergebnisse der durchgeführten Untersuchungen und Berechnungen
- /2/ Ortstermine und Besprechungen
- /3/ Lageplan vom 06.11.2009
- /4/ Querprofile Wall vom 06.11.2009
- /5/ Gutachterliche Stellungnahme Nr. 01.71.7236.01 der Prüftechnik ZBL GmbH vom 06.02.2001
„Bodenuntersuchungen im Bereich des Teutoburger Waldsees, Hagen a. T. W.“

0 Aufgabenstellung und Vorbemerkungen

Die Prüftechnik ZDL GmbH, Osnabrück, wurde über die IPW Ingenieurplanung GmbH & Co. KG, Wallenhorst, von Frau Maria Anna Meyer zu Mecklenhof beauftragt, eine geotechnische Untersuchung des Erddammes der Stauanlage „Teutoburger Waldsee“ durchzuführen. Der Teutoburger Waldsee liegt an der Grenze zwischen Niedersachsen und Nordrhein-Westfalen in Hagen-Sudenfeld (Hagen a. T. W.).

Ziel der Untersuchung war, den Verlauf der Sickerlinie durch den Erddamm und die Standsicherheit des Erddammes zum Untersuchungszeitpunkt sowie bei maximalem Stau- (See) und Einleiteziel (Teiche) in vier Profilschnitten exemplarisch zu bestimmen.

Die Lage der Profilschnitte, die im Folgenden als Profil A, Profil B, Profil C und Profil D bezeichnet werden, wurde mit dem zuständigen Planer abgestimmt und ist im Lageplan der Anlage 0 verzeichnet.

Bereits im Jahre 2001 erfolgte im Bereich des „Profil B“ eine Erkundung der vorhandenen Untergrundverhältnisse. Hierzu wurden insgesamt 4 Rammkernsondierungen (RKS) und zwei Leichte Rammsondierungen (DPL) bis max. 8 m unter Geländeoberkante (GOK) niedergebracht. Die Ergebnisse sind unserer Gutachterlichen Stellungnahme vom 06.02.2001 (/5/) zu entnehmen. Die Bohrprofile der damaligen Sondierungen werden in die aktuellen Untersuchungen mit eingebunden.

Die durchgeführten Untergrundaufschlüsse konzentrieren sich auf den eigentlichen Staukörper des Dammbauwerkes.

Da die Basisfläche des dem Staukörper noch aufgesetzten Landschaftswalls seeseitig deutlich oberhalb des maximalen Stauziels und auf der seeabgewandten Seite deutlich oberhalb der angetroffenen Grundwasserstände und somit außerhalb des Einflussbereiches jeglicher denkbarer Sickerlinien liegt, wurde eine explizite Untersuchung des Landschaftswalls über dessen gesamte Höhe nicht erforderlich. Hinsichtlich der für die Standsicherheitsberechnung notwendigen Zuordnung der Bodenkennwerte des „Landschaftswalls“ wurden neben den örtlich im morphologischen Fußbereich dieses Walles angesetzten Sondierungen je Profil 5 Bohrstöcke entlang der Profillinie in den Landschaftswall bis 1 m Tiefe eingeschlagen.

Im Rahmen der Geotechnischen Untersuchung erfolgte eine Begehung des Erddammes mit „Inaugenscheinahme“ der Böschungen des Landschaftswalles und der Böschungen zu den Teichen. Hinweise auf (ggf. temporäre) Austritte von Sickerwasser und/oder auf Verformungen der Böschungen infolge von Standsicherheitsbeeinträchtigungen wurden nicht ersichtlich.

Nachfolgend werden die Ergebnisse der Geotechnischen Untersuchung und im Einklang damit auch die Anlagen dieses Berichtes getrennt nach den vier Untersuchungsprofilen dargestellt, erläutert und bewertet.

Je Untersuchungsprofil liegt als Anlage ein schematischer Profilschnitt (Anlagen 1.1, 2.1, 3.1 und 4.1) bei, in dem die erbohrten Schichtenfolgen im Detail höhengerecht als Bohrprofile und die Schlagzahlen der Rammsondierungen als Rammdiagramme dargestellt sind. Den Bohrprofilen sind zudem die Höhen der angetroffenen Grundwasserstände und die schichtbezogene Zuordnung der Bodengruppen gemäß DIN 18196 und der Bodenklassen gemäß DIN 18300 zu entnehmen.

Als weitere Anlage ist je Profil ein Geländeschnitt (Anlagen 1.2, 2.2, 3.2 und 4.2), in dem die (hier schematischen) Bohrprofile eingehängt und die zum Untersuchungszeitpunkt innerhalb des Staukörpers ausgebildete Sickerlinie eingetragen sind, beigefügt.

Zudem sind je Profil die grafischen Nachweise zu den durchgeführten Standsicherheitsberechnungen (Böschungsbruchberechnungen n. DIN 4084neu) für die seeseitigen und die seeabgewandten Situationen „Wasserstand zum Untersuchungszeitpunkt“ und „maximales Stau- und Einleiteziel“ in den Anlagen 1.3, 2.3, 3.3 und 4.3 aufgeführt.

1 Untersuchungsbereich Profil A (0+291,288)

Das Profil A liegt im Norden des Erddammes und beschreibt diesen zwischen dem im Westen gelegenen „Teich 2“ (ehemaliger Schönungsteich) und dem Teutoburger Waldsee im Osten. Zunächst erfolgten am 09. Dezember 2008 entlang dieses Profils vier Untergrundaufschlüsse. Je Untersuchungspunkt wurde dabei eine RKS und eine DPL-10 bis max. 7 m unter GOK abgeteuft. Der Aufschluss RKS/DPL A1 wurde nahe der Wasserkante des Sees angesetzt. Die Aufschlüsse RKS/DPL A2 und A3 wurden am Fuß des Landschaftswalls positioniert. Der Untersuchungspunkt RKS/DPL A 4 liegt an der Wasserkante des „Teich 2“.

1.1 Bodenschichtung und Bodeneigenschaften

Der Erdbaustoff der **Stauanlage und des aufgesetzten Landschaftswalls** lässt sich trotz der vorhandenen Inhomogenität zu einem charakteristischen Bodengemenge in Form eines locker bis mitteldicht gelagerten, schwach schluffigen bis schluffigen, humos beeinflussten Sandes mit vereinzelt Gesteinsfragmenten zusammenfassen. Diese Auffüllungen sind noch zusammendrückbar und mäßig scherfest.

Die **gewachsene Bodenfolge** wird im Bereich der seeseitigen Untersuchungspunkte von nichtbindigen Sanden dominiert, die geringmächtige Torfüberdeckungen und/oder -einlagerungen aufweisen. In Richtung des „Teich 2“ nimmt die Stärke der Torfe zu, die dann im Bereich des „Teich 2“ in organische Schluffe übergehen.

Die Sande sind mitteldicht gelagert und kaum noch zusammendrückbar. Die Scherfestigkeit ist mittelgut. Die Durchlässigkeit dieser nicht suffusionsempfindlichen Böden schwankt in Abhängigkeit von der jeweiligen Kornverteilung zwischen ca. $k_f = 1 \times 10^{-5}$ und 5×10^{-4} m/s und liegt gemäß DIN 18300 im Grenzbereich zwischen durchlässig und stark durchlässig. Bei einer Freilegung sind die Sande oberhalb des Grundwassers bzw. im entwässerten Zustand unter einem Böschungswinkel von max. 45° kurzzeitig standfest. Unter Wasser fließen die Sande bei einem Anschnitt gemeinsam mit dem Grundwasser aus den Böschungen aus und lockern in den Ausschachtungssohlen stark auf.

Die Torfe und die organischen Schluffe sind bei einer weichen Zustandsform locker gelagert, sehr stark zusammendrückbar, gering scherfest und gering-sehr gering wasserdurchlässig. Diese wasserhaltenden, dunkelbraunen Böden sind nicht verdichtbar und bei einer Freilegung bzw. einer Ausschachtung unter Wasser und bei Wasserzutritt stark aufweichungs- bis fließgefährdet. In Verbindung mit Belastungen kann sich ein Porenwasserüberdruck aufbauen, der sich zeitverzögert in Verbindung mit Setzungen abbaut. In Zeiten tiefer Grundwasserstände neigen diese Böden zu austrocknungsbedingten Schrumpfungen.

Bei dem punktuell im unteren Profilabschnitt erbohrten schwach schluffigen, sandigen Kies (s. RKS A3) handelt es sich um Hangschutt, der aufgrund seiner mitteldichten bis dichten Lagerung eine gute Tragfähigkeit und eine hohe Scherfestigkeit besitzt. Die Durchlässigkeit ($k_f = \text{ca. } 5 \times 10^{-4} - 5 \times 10^{-3} \text{ m/s}$) dieses grobkörnigen Bodens ist gut.

1.2 Grundwasser und Sickerlinie

Während der Untersuchung am 09./10. Dezember 2008 wurden nach Abschluss der Bohrarbeiten in den Bohrlöchern mit einem Kabellichtlot Wasserstände zwischen 0,91 m und 3,17 m unter GOK gemessen. Die Grundwasserführung ist innerhalb der gewachsenen Sandfolge gegeben. Die eingelagerten und überdeckenden organischen Böden erwiesen sich dabei ebenfalls als wassergesättigt.

Infolge der Schwankungen des Seewasserstandes ist im zeitlichen Verlauf auch mit wechselnden Grundwasserständen bzw. Höhenlagen der Sickerlinie zu rechnen. Zum Untersuchungszeitpunkt lag der Seewasserspiegel beim Profil A bei 94,10 mNN. Das maximale Einstauziel beträgt 94,3 mNN.

Da zwischen den beiden Sondierungen RKS A1 und A2 bei lediglich knapp 6 m Abstand zueinander eine auffällige Differenz des Grundwasserspiegels von 1,07 m gemessen wurde, gelangte am 10. Dezember 2008 noch die RKS A0 genau mittig zwischen diesen beiden Sondierungen zur Ausführung, um das offensichtlich starke Grundwassergefälle nahe des Seewasserspiegels zu prüfen. Der Grundwasserspiegel wurde im Bohrloch der RKS A0 68 cm tiefer als bei der 3 m entfernten RKS A1 (Seeböschung) und 39 cm höher als bei der ebenfalls nur 3 m entfernten RKS A2 (Fuß des Landschaftswalls) gemessen und verifiziert die Vermutung eines starken Grundwassergefälles bzw. eines starken Gefälles der Sickerlinie im Eintrittsbereich des Seewassers in den Staukörper.

Zwischen der RKS A2 und der am gegenüberliegenden Fuß des Landschaftswalles befindlichen RKS A3 liegen ca. 22,5 m Abstand. Der am 09. Dezember 2008 gemessene Unterschied zwischen den Grundwasserspiegellagen betrug 1,59 m und verdeutlicht ein wesentlich flacheres Gefälle der Sickerlinie mit zunehmendem Abstand zum See.

Im Bereich der RKS A4 wurde der Grundwasserstand bzw. die Sickerlinie 67 cm unter dem Niveau der RKS A3 gemessen und zeigt, dass das Gefälle der Sickerlinie noch weiter (aber geringfügig) abflacht.

In der Tabelle 1 sind die am 09./10.12.2008 mit einem Kabellichtlot innerhalb der Bohrlöcher gemessenen Wasserstände bzw. Höhen der Sickerlinie und deren Gefälle i (gerundet) zusammengefasst.

Tabelle 1: Grundwasserstände am 09./10. Dezember 2008

| RKS | Höhe GOK [mNN] | Niveau Sickerlinie unter GOK [m] | Niveau Sickerlinie [mNN] | Gefälle Sickerlinie [i, gerundet] |
|-----|----------------|----------------------------------|--------------------------|-----------------------------------|
| A1 | 94,93 | 0,91 | 94,02 | See » RKS A1: 0,16 |
| A0 | 95,91 | 2,57 | 93,34 | RKS A1 » A0: 0,23 |
| A2 | 96,12 | 3,17 | 92,95 | RKS A0 » A2: 0,23 |
| A3 | 93,55 | 2,19 | 91,36 | RKS A2 » A3: 0,07 |
| A4 | 91,74 | 1,05 | 90,69 | RKS A3 » A4: 0,05 |

Nach den Untersuchungsergebnissen war die Sickerlinie im Profil A im Dezember 2008 bei einem Seewasserstand von 94,10 mNN, der 20 cm unterhalb des geplanten maximalen Einstauzieles liegt, innerhalb des gewachsenen Bodenprofils ausgebildet. Die Sickerlinie verlief im Bereich des „Landschaftswalls“ deutlich unterhalb der GOK und lag auch am Übergang zum „Teich 2“ ca. 0,5 m tiefer als die Teichsohle.

Auch bei einem maximalen Einstau des Seewassers auf 94,30 mNN ist aufgrund des starkes Gefälles der Sickerlinie nahe des Sees auf der gegenüberliegenden westlichen Seite der Stauanlage kein bzw. kein bedeutsamer Anstieg der Sickerlinie zu erwarten. Aus diesem Grund wird die Sickerlinie bis zum Erreichen des Teiches 2 auch bei maximaler Einstauhöhe von 94,30 mNN weiterhin einen deutlichen Abstand zur GOK aufweisen. Wasseraustritte im „Landschaftswall“ und im Bereich der angrenzenden Umfahrung als Folge eines Anstiegs der Sickerlinie sind hier somit auszuschließen. Aus diesem Grund werden auch keine vorbeugenden Maßnahmen zur Dränung des Böschungsfußes des „Landschaftswalles“ oder anderer Bereiche erforderlich.

1.3 Standsicherheitsnachweise

Die Standsicherheiten wurden nach dem Lamellenverfahren mit kreisförmigen Gleitflächen nach DIN 4084(neu) berechnet. Die Geländemorphologie wurde dem vorliegenden Querprofil „QP 0+291,288“ der IPW GmbH & Co. KG entnommen und die Baugrundschichtung dabei in einem vereinfachten aber repräsentativen Schichtenmodell dargestellt.

Die angesetzten bodenmechanischen Kennwerte (φ = Reibungswinkel, c = Kohäsion und γ = Wichte ü. Wasser) der erbohrten Böden sind den grafischen Darstellungen der Standsicherheitsnachweise in der Anlage 1.3 zu entnehmen. Die Auffüllungen sind in den Darstellungen mit „A“, die Torfe und organischen Schluffe mit „Torf“, die nichtbindigen Sande mit „S, n.b.“ und der Hangschutt mit „HS“ abgekürzt.

Auf Basis der aktuellen Planungsdaten und der angetroffenen Untergrundverhältnisse wurde für die Seeseite (Osten) und die Luftseite (Westen) der Staunlage einschließlich des aufgesetzten Landschaftswalles je eine Standsicherheitsberechnung für die Situation des Seewasserstandes (94,10 mNN), des Wasserstandes „Teich 2“ (91,20 mNN) und der Sickerlinie zum Untersuchungszeitpunkt sowie für die Situation bei maximalem Seewasserstand (94,30 mNN) und gleichzeitigem maximalen Teichwasserstand (91,90 mNN) durchgeführt.

Bezüglich des maximalen Seewasserstandes wurde dabei impliziert, dass die Sickerlinie über ihren gesamten Verlauf den Seewasseranstieg von 20 cm (überzogen ungünstige Annahme) nachzeichnet. Hinsichtlich der Situation des maximalen Wasserstandes im „Teich 2“, bei dem sich ein Gefälle aus dem Teich in das Grundwasser einstellen wird, wurde eine Erhöhung der Sickerlinie im Nahbereich des „Teich 2“ berücksichtigt.

Die mittels der vier Standsicherheitsberechnungen bestimmten Ausnutzungsgrade „1/f“ sind in der nachfolgenden Tabelle zusammengestellt.

Tabelle 2: Zusammenstellung der Ausnutzungsgrade „Profil A“

| Bereich | Wasserstand See [mNN] | Wasserstand „Teich 2“ [mNN] | 1/f |
|-----------|-------------------------------|-------------------------------|------|
| Seeseite | 94,10 (09./10.12.2008) | 91,30 (09./10.12.2008) | 0,84 |
| | 94,30 (maximales Einstauziel) | 91,90 (maximales Einstauziel) | 0,82 |
| Luftseite | 94,10 (09./10.12.2008) | 91,30 (09./10.12.2008) | 0,83 |
| | 94,30 (maximales Einstauziel) | 91,90 (maximales Einstauziel) | 0,80 |

Eine ausreichende Sicherheit gegen Böschungs- und Grundbruch und somit eine ausreichende Standsicherheit ist bei Ausnutzungsgraden „1/f“ ≤ 1 gegeben. Die berechneten Ausnutzungsgrade belegen mit „1/f“ = 0,80 - 0,84 ausreichende Sicherheiten.

2 Untersuchungsbereich Profil B (0+235,505)

Das Profil B beschreibt den Erddamm im Bereich des vorhandenen Absperrbauwerks im Osten und dem zwischen dem „Teich 2“ und dem Trockenbecken befindlichen Trenndamm im Westen. Hier erfolgte bereits im Jahre 2001 eine Erkundung und Bewertung der Untergrundverhältnisse auf Basis von vier Rammkern- und zwei leichten Rammsondierungen (/5/). Diese Sondierungen werden in die aktuellen Betrachtungen einbezogen und demgemäß mit „B“ (RKS B1 - RKS B4) bezeichnet. Um die Bodenschichtung an der Südgrenze des „Teich 2“ in die Standsicherheitsberechnung einzu beziehen, erfolgte hier an der Böschungsoberkante am 10.12.2008 ergänzend der Aufschluss RKS/DPL B5 bis ca. 3,5 m unter Teichsohle. Der Seewasserstand lag zur Zeit der Untersuchungen im Januar 2001 bei 94,04 mNN und am 10.12.2008 quasi höhen gleich bei 94,07 mNN.

2.1 Bodenschichtung und Bodeneigenschaften

Der Erdbaustoff der **Stauanlage und des aufgesetzten Landschaftswalls** wird auch hier von Auffüllungen gebildet, die sich trotz deren Inhomogenität zu einem charakteristischen Bodengemenge zusammenfassen lassen. Dieses kann als locker bis mitteldicht gelagerter, schwach schluffiger/schwach toniger bis schluffiger, humos beeinflusster Sand mit vereinzelt Gesteinsfragmenten (Kieskorngroße) beschrieben werden und ist noch zusammendrückbar und mäßig scherfest.

Die **gewachsene Bodenfolge** wird auch im Bereich dieses Untersuchungsprofils von einer nichtbindigen Sandfolge bestimmt. In diese sind in unregelmäßiger Verteilung, Stärke und Tiefenlage Schlufflagen eingeschaltet, die nach Westen (luftseitig) z. T. organisch beeinflusst sind. Zusammenhängende Schichten aus Torf oder organischen Schluffen wie beim Profil A wurden hier nicht angetroffen. Lediglich mit der RKS B5, die auf dem Trenndamm „Trockenbecken / „Teich 2““ in knapp 15 m Entfernung zum westlichen Fuß des zu untersuchenden Erddammes positioniert wurde, wurde unterhalb der Auffüllung zunächst ein 30 cm starker organischer Schluff erbohrt. Diesem schließt sich ähnlich wie beim Profil A (vgl. RKS A3) grauweißer Hangschutt an.

Die Sandfolge ist mitteldicht und mit zunehmender Tiefe bereichsweise auch dicht gelagert und somit kaum noch zusammendrückbar. Die Scherfestigkeit ist mittelgut. Die Durchlässigkeit dieser nicht suffusionsempfindlichen Böden schwankt in Abhängigkeit von der jeweiligen Kornverteilung zwischen ca. $k_f = 1 \times 10^{-5}$ und 5×10^{-4} m/s und liegt gemäß DIN 18300 im Grenzbereich zwischen durchlässig und stark durchlässig. Hinsichtlich der weiteren Eigenschaften wird auf die Ausführungen unter Abschnitt 1.1 (Seite 6) verwiesen.

Die Schluffe sind bei einer weichen-steifen Zustandsform noch zusammendrückbar, mäßig scherfest und gering-sehr gering wasserdurchlässig. Diese wasserhaltenden Böden sind nur im erdfeuchten (steifen) Zustand wirksam verdichtbar. Bei einer Freilegung bzw. einer Ausschachtung unter Wasser und bei Wasserzutritt sind sie stark aufweichungs- bis fließgefährdet.

Bei dem punktuell erbohrten schwach schluffigen, sandigen Kies handelt es sich wieder um Hangschutt, der aufgrund seiner mitteldichten bis dichten Lagerung eine gute Tragfähigkeit und eine hohe Scherfestigkeit besitzt. Die Durchlässigkeit ($k_f = \text{ca. } 5 \times 10^{-4} - 5 \times 10^{-3} \text{ m/s}$) dieses grobkörnigen Bodens ist gut.

2.2 Grundwasser und Sickerlinie

Während der Untersuchung am 23./24. Januar 2001 wurden Wasserstände zwischen 2,1 m und 4,6 m unter GOK angebohrt bzw. nach Abschluss der Bohrarbeiten in den Bohrlöchern mit einem Kabellichtlot gemessen. Die Wasserführung ist innerhalb der gewachsenen Sandfolge gegeben und reicht nur im Westen im Übergangsbereich zum „Teich 2“ bis in die Basis der Auffüllungen. Die eingelagerten Schluffe wiesen unterschiedliche Wassergehalte auf und waren nur teilweise wassergesättigt.

Infolge der Schwankungen des Seewasserstandes ist im zeitlichen Verlauf auch mit wechselnden Wasserständen bzw. Höhenlagen der Sickerlinie zu rechnen. Zum Untersuchungszeitpunkt im Januar 2001 lag der Seewasserspiegel bei 94,04 mNN und im Dezember 2008 nahezu höhengleich bei 94,07 mNN, so dass sich diesbezüglich bei der Betrachtung der Sickerlinie keine nennenswerten Differenzen ergeben. Auf eine vergleichende Betrachtung, die erneute Bohrungen bedurft hätte, konnte deshalb verzichtet und die Sickerlinie von 2001 zur Bewertung zu Grunde gelegt werden.

In guter Übereinstimmung mit der Situation beim Profil A belegen die Grundwasserspiegelhöhen nahe der Seewasserkante ein starkes, nach Westen gerichtetes, Gefälle der Sickerlinie. Zwischen den 4,2 m auseinander liegenden Sondierungen RKS B1 und B2 wurde eine Höhendifferenz der Sickerlinie von 1,5 m aufgezeichnet. Hingegen betrug die Höhendifferenz der Sickerlinie zwischen der RKS B2 und der ca. 31,5 m weiter westlich (Luftseite der Stauanlage) liegenden RKS B4 nur noch 0,60 m und verdeutlicht eine merkliche Abflachung des Gefälles.

In der Tabelle 3 sind die am 23./24.01.2001 angebohrten und mit einem Kabellichtlot innerhalb der Bohrlöcher gemessenen Wasserstände bzw. die Höhen der Sickerlinie zusammengestellt. In die Beibetrachtung wird der im Bohrloch der RKS B5 am 10.12.2008 gemessene Wasserstand von 91,01 mNN, der ca. 30 cm tiefer als der Wasserstand im angrenzenden „Teich 2“ lag, aufgrund des während der beiden Untersuchungszeitpunkte quasi identischen Seewasserspiegels einbezogen.

Tabelle 3: Grundwasserstände am 23./24.01.2001 (RKS B5 am 09./10.12.2008)

| RKS | Höhe GOK [mNN] | Niveau Sickerlinie unter GOK [m] | Niveau Sickerlinie [mNN] | Gefälle Sickerlinie [i, gerundet] |
|-----|----------------|----------------------------------|--------------------------|-----------------------------------|
| B1 | 96,04 | 2,50 | 93,54 | See » RKS B1: 0,09 |
| B2 | 96,44 | 4,60 | 91,84 | RKS B1 » B2: 0,40 |
| B3 | 93,89 | 2,20 | 91,69 | RKS B3 » B3: 0,01 |
| B4 | 93,34 | 2,10 | 91,24 | RKS B3 » B4: 0,06 |
| B5 | 92,46 | 1,45 | 91,01 | RKS B4 » B5: 0,01 |

Nach den Untersuchungsergebnissen verlief die Sickerlinie im Profil B im Januar 2001 bei einem Seewasserstand von 94,04 mNN, der lediglich 26 cm unterhalb des geplanten maximalen Einstauzieles liegt, grundsätzlich innerhalb des gewachsenen Bodenprofils. Zudem lag Sickerlinie im Bereich des Landschaftswalls und auch der anschließenden Umfahrt deutlich unterhalb der GOK und im Übergang zum „Teich 2“ ca. 0,2 m tiefer als die Teichsohle.

Gemäß den Untersuchungsergebnissen ist auch bei einem maximalen Seewasserstand von 94,30 mNN aufgrund des starkes Gefälles der Sickerlinie im Bereich der Seewasserkante auf der gegenüberliegenden westlichen Seite der Stauanlage ein Anstieg der Sickerlinie kaum zu erwarten. Aus diesem Grund wird die Sickerlinie bis zum Erreichen des „Teich 2“ auch bei maximaler Einstauhöhe von 94,30 mNN einen deutlichen Abstand zur GOK beibehalten. Wasseraustritte im Landschaftswall und im Bereich der angrenzenden Umfahrung als Folge eines Anstiegs der Sickerlinie sind hier auszuschließen. Hinweise auf aktuelle oder ehemalige Wasseraustritte aus der seezugewandeten Böschung des „Teich 2“ sind nicht erkennbar. Aus diesem Grund werden auch keine vorbeugenden Maßnahmen zur Dränung des Böschungsfusses des Landschaftswalles oder der Teichböschung erforderlich.

2.3 Standsicherheitsnachweise

Die Standsicherheitsnachweise wurden nach dem Lamellenverfahren mit kreisförmigen Gleitflächen nach DIN 4084(neu) geführt. Die Geländemorphologie wurde dem vorliegenden Querprofil „QP 0+235,505“ der IPW GmbH & Co. KG entnommen und die Baugrundsichtung dabei in einem vereinfachten aber repräsentativen Schichtenmodell dargestellt.

Die angesetzten bodenmechanischen Kennwerte (φ = Reibungswinkel, c = Kohäsion und γ = Wichte ü. Wasser) der erbohrten Böden sind den grafischen Darstellungen der Standsicherheitsnachweise in der Anlage 2.3 zu entnehmen. Die Auffüllungen sind in den Darstellungen mit „A“, die Schluffe mit „U“, die nichtbindigen Sande mit „S, n.b.“ und der Hangschutt mit „HS“ abgekürzt.

Auf Basis der aktuellen Planungsdaten und der angetroffenen Untergrundverhältnisse wurde für die Seeseite (Osten) und die Luftseite (Westen) der Staunlage einschließlich des aufgesetzten Landschaftswalles jeweils eine Standsicherheitsberechnung für die Situation des Seewasserstandes (94,04 mNN) und der Sickerlinie zum Untersuchungszeitpunkt sowie für die Situation bei maximalem Seewasserstand (94,30 mNN) und gleichzeitigem maximalen Teichwasserstand (91,90 mNN) durchgeführt.

Hinsichtlich des maximalen Seewasserstandes wurde dabei impliziert, dass die Sickerlinie über ihren gesamten Verlauf den Seewasseranstieg von 23 cm (überzogen ungünstige Annahme) nachzeichnet. Hinsichtlich der Situation des maximalen Wasserstandes im „Teich 2“, bei dem sich ein Gefälle aus dem Teich in das Grundwasser einstellen wird, wurde eine Erhöhung der Sickerlinie im Nahbereich des „Teich 2“ berücksichtigt.

Die mittels der vier Standsicherheitsberechnungen bestimmten Ausnutzungsgrade „ $1/f$ “ sind in der nachfolgenden Tabelle zusammengestellt.

Tabelle 4: Zusammenstellung der Ausnutzungsgrade „Profil B“

| Bereich | Wasserstand See [mNN] | Wasserstand „Teich 2“ [mNN] | $1/f$ |
|-----------|-----------------------------------|--------------------------------|-------|
| Seeseite | 94,04 (01.2001) / 94,07 (01.2001) | 91,30 (01.2001 + 12.2008) | 0,74 |
| | 94,30 (maximales Einstauziel) | 91,90 (maximales Einstauziel) | 0,74 |
| Luftseite | 94,04 (01.2001) / 94,07 (01.2001) | 91,30 (01.2001 + 12.2008) | 0,75 |
| | 94,30 (maximales Einstauziel) | 91,90 (maximales Einstauziel) | 0,74 |

Eine ausreichende Sicherheit gegen Böschungs- und Grundbruch und somit eine ausreichende Standsicherheit ist bei Ausnutzungsgraden „ $1/f$ “ ≤ 1 gegeben. Die berechneten Ausnutzungsgrade belegen mit „ $1/f$ “ = 0,74 - 0,75 ausreichende Sicherheiten.

3 Untersuchungsbereich Profil C (0+150,491)

Das Profil C quert den westlichen Ausläufer der Stauanlage und den hier abflachenden Landschaftswall im Bereich des geplanten Überlaufbauwerks und der zukünftigen Überlaufleitungen zum Trockenbecken. Zur Erschließung der Untergrundverhältnisse wurden hier am 10.12.2008 drei Rammkernsondierungen (RKS C1, C2 und C3) sowie drei Rammsondierungen (DPL C1, C2 und C3) bis max. 7 m unter GOK niedergebracht. Der Seewasserstand wurde hier am Untersuchungstag mit 94,08 mNN gemessen. Um auch für dieses Profil eine genaue Aussage zum Verlauf der Sickerlinie im Nahbereich der Seewasserkante zu erlangen, wurde ergänzend am 25.02.2009 die RKS C0 in ca. 4,3 m Abstand zur RKS C3 und in ca. 5,8 m Abstand zur Seewasserkante bis 5 m unter GOK abgeteuft. Der Seewasserspiegel lag hier an diesem Tag gemäß dem Höheneinmaß bei 94,06 mNN, so dass dessen Einfluss auf den Verlauf der Sickerlinie mit dem vom 10.12.2008 als identisch anzusehen ist.

3.1 Bodenschichtung und Bodeneigenschaften

Die den **Staukörper und den Landschaftswall** bildenden Auffüllungen setzen sich überwiegend aus locker bis mitteldicht gelagerten, schwach schluffigen bis schluffigen, humos beeinflussten Sanden zusammen. Lediglich im Nahbereich zum Trockenbecken (RKS C1) besteht die Auffüllung im Wesentlichen aus Geschiebelehm, der den weiteren Auffüllungen hinsichtlich der relevanten Bodenkennwerte nahe steht und deshalb nicht gesondert betrachtet wird. Die Auffüllungen sind insgesamt noch zusammendrückbar und mäßig scherfest.

Die **gewachsene Bodenfolge** baut sich in diesem Untersuchungsprofil nur noch im oberen Abschnitt aus nichtbindigen Sanden auf. Diesen schließt sich, außer im Bereich des Trockenbeckens, grundsätzlich beigeweißer Hangschutt mit bis zu ca. 1,2 m Stärke an. Die erbohrten Bodenprofile schließen jeweils (auch im Bereich des Trockenbeckens) mit einem bindigen Boden in Form eines weichen-steifen Ton-Schluff-Gemisches ab. Am 28. September 2009 wurde außerhalb der Stauanlage im Trockenbecken eine weitere RKS (RKS C4) bis 3 m unter GOK niedergebracht, um ergänzende Auskünfte zur Ausdehnung der angetroffenen Bodenschichten zu erlangen. Die Bodenschichtung beginnt hier mit organischen Sanden, die ab ca. 1,05 m Tiefe vom o. g. Ton-Schluff-Gemisch unterlagert werden.

Die nichtbindigen Sande sind locker-mitteldicht gelagert und somit noch zusammendrückbar und nur mäßig scherfest. Die Durchlässigkeit dieser nicht suffusionsempfindlichen Böden schwankt in Abhängigkeit von der jeweiligen Kornverteilung zwischen ca. $k_f = 5 \times 10^{-6}$ und 5×10^{-4} m/s und ist gemäß DIN 18300 als durchlässig

bis stark durchlässig zu beschreiben. Hinsichtlich der weiteren Eigenschaften wird auf die Ausführungen unter Abschnitt 1.1 (Seite 6) verwiesen.

Bei den erbohrten schwach schluffigen, sandigen Kiesen handelt es sich um Hangschutt. Dieser besitzt aufgrund seiner mitteldichten bis dichten Lagerung eine gute Tragfähigkeit und eine hohe Scherfestigkeit. Die Durchlässigkeit ($k_f = \text{ca. } 5 \times 10^{-4}$ bis 5×10^{-3} m/s) dieses grobkörnigen Bodens ist gut.

Das, die Bohrprofile abschließende, weiche-steife Ton-Schluff-Gemisch ist nur gering bis mäßig tragfähig und mäßig scherfest. Es ist sehr gering wasserdurchlässig ($k_f \leq 1 \times 10^{-8}$) und wasserhaltend. Eine effektive Verdichtung kann nur im erdfeuchten (steifen) Zustand erfolgen. In Verbindung mit einem höheren Wassergehalt führt eine unsachgemäße Verdichtung zu Gefügestörungen und Aufweichungen. Bei einer Freilegung bzw. einer Ausschachtung unter Wasser und bei Wasserzutritt ist dieser Boden stark aufweichungs- bis fließgefährdet.

Die organischen Feinsande (nur Trockenbecken) sind locker gelagert und werden von einer Torflage durchzogen. Diese Böden sind gering durchlässig, wasserhaltend, schlecht tragfähig und sehr gering scherfest.

3.2 Grundwasser und Sickerlinie

Während der Untersuchung am 10. Dezember 2008 und am 25. Februar 2009 wurden bei Seewasserständen von 94,08 mNN bzw. 94,06 mNN nach Abschluss der Bohrarbeiten in den Bohrlöchern mit einem Kabellichtlot Wasserstände zwischen 1,29 m und 3,8 m unter GOK gemessen. Die Grundwasserführung ist in der gewachsenen Sandfolge und dem Hangschutt sowie örtlich in der Auffüllungsbasis gegeben. Das unterlagernde Ton-Schluff-Gemisch bildet die Grundwasserbasis.

Infolge der Schwankungen des Seewasserstandes ist im zeitlichen Verlauf auch mit wechselnden Wasserständen bzw. Höhenlagen der Sickerlinie zu rechnen. Zum Untersuchungszeitpunkt im Dezember 2008 lag der Seewasserspiegel beim Profil C bei 94,08 mNN und im Februar 2009 quasi höhengleich bei 94,06 mNN, so dass sich diesbezüglich bei der Betrachtung der Sickerlinie keine Einfluss nehmenden Abweichungen ergeben. Die Sickerlinie bzw. deren Verlauf kann für den Untersuchungszeitraum „Dezember 2008 / Februar 2009“ somit als gleichartig zu Grunde gelegt werden.

In guter Übereinstimmung mit der Situation bei den Profilen A und B zeigt sich auch hier, dass die Grundwasserspiegelhöhen nahe der Seewasserkante ein starkes Gefälle der Sickerlinie beschreiben. Zwischen den 4,3 m auseinander liegenden Sondierungen RKS C3 und C0 wurde eine Höhendifferenz der Sickerlinie von 1,53 m aufgezeichnet. Hingegen betrug die Höhendifferenz der Sickerlinie zwischen der RKS C0 und der ca.

13 m weiter nördlich (Luftseite der Stauanlage) liegenden RKS C2 nur noch 0,60 m und verdeutlicht eine merkliche Abflachung des Gefälles. In der Tabelle 5 sind die mit einem Kabellichtlot innerhalb der Bohrlöcher gemessenen Wasserstände bzw. Höhen der Sickerlinie zusammengefasst.

In die Bebetrachtung wird der im Bohrloch der RKS C4 am 10.12.2008 gemessene Wasserstand (0,00 m unter GOK) nicht einbezogen, da dieser nicht im unmittelbaren Zusammenhang mit der Sickerlinie zu sehen ist. Unabhängig von dieser und damit auch vom Seewasserstand sind Wassersäulen im Trockenbecken derzeit grundsätzlich auf einen temporären Aufstau von Niederschlags-/Oberflächenwasser zurück zu führen.

Tabelle 5: Grundwasserstände am 10.12.2008 und am 25.02.2009 (nur RKS C0)

| RKS | Höhe GOK [mNN] | Niveau Sickerlinie unter GOK [m] | Niveau Sickerlinie [mNN] | Gefälle Sickerlinie [i, gerundet] |
|-----|----------------|----------------------------------|--------------------------|-----------------------------------|
| C3 | 95,60 | 1,69 | 93,91 | See » RKS C3: 0,1 |
| C0 | 96,18 | 3,80 | 92,38 | RKS C3 » C0: 0,36 |
| C2 | 93,31 | 1,29 | 92,02 | RKS C0 » C2: 0,03 |
| C1 | 93,26 | 1,90 | 91,36 | RKS C2 » C1: 0,07 |
| C4 | 91,20 | - | - | - |

Nach den Untersuchungsergebnissen verlief die Sickerlinie im Profil C im Untersuchungszeitraum „Dezember 2008 / Februar 2009“ bei einem Seewasserstand von 94,08/94,06 mNN, der lediglich 22/24 cm unterhalb des geplanten maximalen Einstauzieles liegt, grundsätzlich innerhalb des gewachsenen Bodenprofils. Die Sickerlinie liegt im Bereich des Landschaftswalls und auch der anschließenden Umfahrung deutlich unterhalb der GOK.

Gemäß den Untersuchungsergebnissen ist auch bei einem maximalen Seewasserstand von 94,30 mNN aufgrund des starken Gefälles der Sickerlinie im Bereich der Seewasserkante auf der dem See gegenüberliegenden nördlichen Seite der Stauanlage kein relevanter Anstieg der Sickerlinie zu erwarten. Aus diesem Grund wird die Sickerlinie bis zum Erreichen des Trockenbeckens auch bei einem maximalen Einstau auf 94,30 mNN einen deutlichen Abstand zur GOK beibehalten. Wasseraustritte im Landschaftswall und im Bereich der angrenzenden Umfahrung als Folge eines Anstiegs der Sickerlinie sind hier nicht wahrscheinlich. Hinweise auf aktuelle oder ehemalige Wasseraustritte aus der dem See zugewandten Böschung des Trockenteichs sind nicht ersichtlich. Aus diesem Grund werden auch keine vorbeugenden Maßnahmen zur Dränung des Böschungsfußes des Landschaftswalles oder der Teichböschung erforderlich.

3.3 Standsicherheitsnachweise

Die Standsicherheitsnachweise wurden nach dem Lamellenverfahren mit kreisförmigen Gleitflächen nach DIN 4084(neu) geführt. Die Geländemorphologie wurde dem vorliegenden Querprofil „QP 0+150,491“ der IPW GmbH & Co. KG entnommen und die Baugrundsichtung dabei in einem vereinfachten aber repräsentativen Schichtenmodell dargestellt.

Die angesetzten bodenmechanischen Kennwerte (φ = Reibungswinkel, c = Kohäsion und γ = Wichte ü. Wasser) der erbohrten Böden sind den grafischen Darstellungen der Standsicherheitsnachweise in der Anlage 3.3 zu entnehmen. Die Auffüllungen sind in den Darstellungen mit „A“, die nichtbindigen Sande mit „S, n.b.“, der Hangschutt mit „HS“ und die Ton-Schluff-Gemische mit „T“ abgekürzt. Die organischen Sande des Trockenbeckens sind mit „OH“ gekennzeichnet.

Auf Basis der vorliegenden Planungsdaten und der festgestellten Untergrundverhältnisse wurde für die Seeseite (Süden) und die Luftseite (Norden) der Stauanlage einschließlich des aufgesetzten Landschaftswalles je eine Standsicherheitsberechnung für die Situation des Seewasserstandes (94,08 mNN) und der Sickerlinie während der Untersuchung sowie für die Situation bei maximalem Seewasserstand (94,30 mNN) und gleichzeitigem maximalen Wasserstand im Trockenbecken (91,90 mNN) durchgeführt.

Hinsichtlich des maximalen Seewasserstandes wurde dabei impliziert, dass die Sickerlinie über ihren gesamten Verlauf den Seewasseranstieg von 22 cm (überzogen ungünstige Annahme) nachzeichnet. Bezogen auf den maximalen Wasserstand im Trockenbecken (91,90 mNN), bei dem sich ein Gefälle aus dem dann entstehenden Teich in das Grundwasser einstellen wird, wurde eine Erhöhung der Sickerlinie im Nahbereich des Trockenbeckens berücksichtigt. Die mittels der vier Standsicherheitsberechnungen bestimmten Ausnutzungsgrade „ $1/f$ “ sind in der nachfolgenden Tabelle zusammengestellt.

Tabelle 6: Zusammenstellung der Ausnutzungsgrade „Profil C“

| Bereich | Wasserstand See [mNN] | Wasserstand Trockenbecken [mNN] | $1/f$ |
|-----------|-------------------------------|------------------------------------|-------|
| Seeseite | 94,08 (10.12.2008) | 91,20 (10.12.2008) | 0,83 |
| | 94,30 (maximales Einstauziel) | 91,90 (maximales Einstauziel) | 0,80 |
| Luftseite | 94,04 (10.12.2008) | 91,20 (10.12.2008) | 0,57 |
| | 94,30 (maximales Einstauziel) | 91,90 (maximales Einstauziel) | 0,64 |

Eine ausreichende Sicherheit gegen Böschungs- und Grundbruch und somit eine ausreichende Standsicherheit ist bei Ausnutzungsgraden „ $1/f$ “ ≤ 1 gegeben. Die berechneten Ausnutzungsgrade belegen mit „ $1/f$ “ = 0,57 - 0,83 ausreichende Sicherheiten.

4 Untersuchungsbereich Profil D (0+083,280)

Das Profil D quert den südlichen Ausläufer des der Stauanlage aufgesetzten Landschaftswalls, der hier in Breite und Höhe deutlich zurücktritt und lediglich einen „Verkehrsdamm“ darstellt. Zur Erkundung des Untergrundes wurden hier drei Rammkernsondierungen (RKS D1, D2 und D3) sowie drei Rammsondierungen (DPL D1, D2 und D3) am 10. und 11. Dezember 2008 bis max. 7 m unter GOK niedergebracht. Der Seewasserstand wurde an den beiden Untersuchungstagen mit 94,07 mNN gemessen. Eine ergänzende Sondierung nach Vorauswertung der Ergebnisse wurde hier nicht erforderlich, da das nahe der Wasserkante auftretende starke Gefälle der Sickerlinie bereits anhand des Wasserstandes im Bohrloch der RKS D1 gut verdeutlicht wird.

4.1 Bodenschichtung und Bodeneigenschaften

Die den hier flachen **Landschaftswall** bildenden Auffüllungen setzen sich, wie in den anderen Untersuchungsprofilen auch, überwiegend aus locker bis mitteldicht gelagerten, schwach schluffigen bis schluffigen, humos beeinflussten Sanden zusammen. Die Auffüllungen sind insgesamt noch zusammendrückbar und mäßig scherfest.

Die **gewachsene Bodenfolge** baut sich in diesem Untersuchungsprofil erneut im oberen Bereich aus nichtbindigen Sanden auf. Diese erwiesen sich im Bereich der RKS D2 über eine Stärke von ca. 1,75 m als vergleichsweise stark organisch. Den Sanden schließt sich bis zu den Endteufen der Sondierungen unmittelbar das bindige Ton-Schluff-Gemisch an. Hangschuttmaterial wurde in diesem Profil nicht angetroffen.

Die nichtbindigen Sande sind locker-mitteldicht gelagert und somit noch zusammendrückbar und nur mäßig scherfest. Die Durchlässigkeit dieser nicht suffusionsempfindlichen Böden schwankt in Abhängigkeit von der jeweiligen Kornverteilung zwischen ca. $k_f = 5 \times 10^{-6}$ und 5×10^{-4} m/s und ist gemäß DIN 18300 als durchlässig bis stark durchlässig zu bewerten. Hinsichtlich der weiteren Eigenschaften wird auf die Ausführungen unter Abschnitt 1.1 (Seite 6) verwiesen. Aufgrund des relativ hohen Organikgehaltes sind die Sande im Bereich der RKS D2 über eine Stärke von ca. 1,75 m stärker zusammendrückbar, wasserempfindlich und geringer scherfest.

Das die Bohrprofile jeweils abschließende weiche-steife Ton-Schluff-Gemisch ist nur gering bis mäßig tragfähig und mäßig scherfest. Es ist sehr gering wasserdurchlässig ($k_f \leq 1 \times 10^{-8}$) und wasserhaltend. Eine effektive Verdichtung kann nur im erdfeuchten (steifen) Zustand erfolgen. In Verbindung mit einem höheren Wassergehalt führt eine unsachgemäße Verdichtung zu Gefügestörungen und Aufweichungen. Bei einer Freilegung bzw. einer Ausschachtung unter Wasser und bei Wasserzutritt sind diese Böden stark aufweichungs- bis fließgefährdet.

4.2 Grundwasser und Sickerlinie

Während der Untersuchung am 10./11. Dezember 2008 wurden bei einem Seewasserstand von 94,07 mNN nach Abschluss der Bohrarbeiten in den Bohrlöchern mit einem Kabellichtlot Wasserstände zwischen 2,95 m und 3,40 m unter GOK im Bereich des Dammes gemessen. Neben dem weiter westlich im tieferen Geländeabschnitt verlaufenden „Grenzgraben“ wurde der Grundwasserstand mit 1,10 m unter GOK (RKS D3) aufgezeichnet. Die Grundwasserführung bzw. die angetroffene Sickerlinie liegt sowohl unterhalb des Dammes als auch neben dem Damm in der gewachsenen Sandfolge. Das Ton-Schluff-Gemisch bildet die Grundwasserbasis.

Infolge der Schwankungen des Seewasserstandes ist im zeitlichen Verlauf auch mit wechselnden Wasserständen bzw. Höhenlagen der Sickerlinie zu rechnen. Zum Untersuchungszeitpunkt im Dezember 2008 lag der Seewasserspiegel beim Profil D bei 94,07 mNN. In guter Übereinstimmung mit der Situation bei den weiteren Untersuchungsprofilen zeigt sich auch hier ein starkes Gefälle der Sickerlinie im Eintrittsbereich des Seewassers. Zwischen der Seewasserkante und der in 3 m Entfernung positionierten Sondierung RKS D1 wurde eine Höhendifferenz der Sickerlinie von 1,20 m aufgezeichnet. Hingegen betrug die Höhendifferenz der Sickerlinie zwischen der RKS D1 und der ca. 10 m weiter westlich (Luftseite) liegenden RKS D2 nur noch 0,62 m und verdeutlicht eine merkliche Abflachung des Gefälles.

In der Tabelle 7 sind die mit einem Kabellichtlot innerhalb der Bohrlöcher gemessenen Wasserstände bzw. Höhen der Sickerlinie und deren Gefälle zusammengefasst.

Tabelle 7: Grundwasserstände am 10. und 11.12.2008

| RKS | Höhe GOK [mNN] | Niveau Sickerlinie unter GOK [m] | Niveau Sickerlinie [mNN] | Gefälle Sickerlinie [l, gerundet] |
|-----|----------------|----------------------------------|--------------------------|-----------------------------------|
| D1 | 95,82 | 2,95 | 92,87 | See » RKS D1: 0,40 |
| D2 | 95,65 | 3,40 | 92,25 | RKS D1 » D2: 0,06 |
| D3 | 92,92 | 1,10 | 91,82 | RKS D2 » D3: 0,05 |

Gemäß den Untersuchungsergebnissen ist auch bei einem maximalen Seewasserstand von 94,30 mNN aufgrund des starken Gefälles der Sickerlinie im Bereich der Seewasserkante auf der dem See gegenüberliegenden westlichen Seite der Stauanlage kein Anstieg der Sickerlinie zu erwarten. Aus diesem Grund wird die Sickerlinie bis zum Erreichen des Grenzgrabens auch bei Eintritt des max. Einstaus im See einen deutlichen Abstand zur GOK beibehalten. Wasseraustritte im Landschaftswall (hier Wegedamm) als Folge eines Anstiegs der Sickerlinie sind auszuschließen. Hinweise auf aktuelle oder ehemalige Wasseraustritte aus der dem See zugewandten Böschung des „Grenzgraben“ sind ebenfalls nicht ersichtlich. Aus diesem Grund werden auch keine vorbeugenden Maßnahmen zur Dränung des Böschungsfußes des „Landschaftswalles“ oder der Grabenböschung erforderlich.

4.3 Standsicherheitsnachweise

Die Standsicherheitsnachweise wurden nach dem Lamellenverfahren mit kreisförmigen Gleitflächen nach DIN 4084(neu) geführt. Die Geländemorphologie wurde dem vorliegenden Querprofil „QP 0+083,280“ der IPW GmbH & Co. KG entnommen und die Baugrundsichtung dabei in einem vereinfachten aber repräsentativen Schichtenmodell dargestellt.

Die angesetzten bodenmechanischen Kennwerte (φ = Reibungswinkel, c = Kohäsion und γ = Wichte ü. Wasser) der erbohrten Böden sind den grafischen Darstellungen der Standsicherheitsnachweise in der Anlage 3.3 zu entnehmen. Die Auffüllungen sind in den Darstellungen mit „A“, die nichtbindigen Sande mit „S, n.b.“, die stärker organisch beeinflussten Sande mit „S, o“ und das Ton-Schluff-Gemisch mit „T“ abgekürzt.

Auf Basis der aktuellen Planungsdaten und der angetroffenen Untergrundverhältnisse wurde für die Seeseite (Osten) und die Luftseite (Westen) der Stauanlage jeweils eine Standsicherheitsberechnung für die Situation des Seewasserstandes (94,07 mNN) und der Sickerlinie zum Untersuchungszeitpunkt sowie für die Situation bei maximalem Seewasserstand (94,30 mNN) und gleichzeitigem erhöhten Wasserstand im „Grenzgraben“ (92,0 mNN) durchgeführt. Hinsichtlich des maximalen Seewasserstandes wurde dabei impliziert, dass die Sickerlinie über ihren gesamten Verlauf den Seewasseranstieg von 23 cm (überzogen ungünstige Annahme) nachzeichnet.

Die mittels der vier Standsicherheitsberechnungen bestimmten Ausnutzungsgrade „ $1/f$ “ sind in der nachfolgenden Tabelle 8 zusammengestellt.

Tabelle 8: Zusammenstellung der Ausnutzungsgrade „Profil D“

| Bereich | Wasserstand See [mNN] | Wasserstand „Grenzgraben“ [mNN] | $1/f$ |
|-----------|-------------------------------|------------------------------------|-------|
| Seeseite | 94,07 (10.12.2008) | 91,32 (10.12.2008) | 0,93 |
| | 94,30 (maximales Einstauziel) | 92,00 (Hochwasserstand) | 0,90 |
| Luftseite | 94,07 (10.12.2008) | 91,32 (10.12.2008) | 0,79 |
| | 94,30 (maximales Einstauziel) | 92,00 (Hochwasserstand) | 0,85 |

Eine ausreichende Sicherheit gegen Böschungs- und Grundbruch und somit eine ausreichende Standsicherheit ist bei Ausnutzungsgraden „ $1/f$ “ ≤ 1 gegeben. Die berechneten Ausnutzungsgrade belegen mit „ $1/f$ “ = 0,70 - 0,93 ausreichende Sicherheiten.

5 **Schlusswort**

Den Ergebnissen der durchgeführten exemplarischen Untersuchungen zufolge ist unter Berücksichtigung der aktuellen Planungsdaten, insbesondere des höchsten Einstauziels des Teutoburger Waldsees von 94,30 mNN, keine Besorgnis einer aktuellen oder zukünftigen Standsicherheitsgefährdung der Stauanlage infolge der Sickerwasserdurchströmung bis zum höchstem Seewassereinstau ableitbar.

Sollten sich aus planerischen oder anderen Gründen hinsichtlich der vorliegenden Bearbeitungsunterlagen und Annahmen Änderungen ergeben ist der Baugrundsachverständige zu informieren.

Für Rückfragen stehen wir gerne zur Verfügung.

Prüftechnik ZDL GmbH


Dipl.-Geol. Ludger Lünne


Dipl.-Geol. Ralf Zielinski