

Talsperre Leibis/Lichte zwischen Blockbauweise und RCC – Tradition contra Moderne

Dam Leibis/Lichte between Block Construction and RCC – Tradition contra Modernity

Michael Heiland, Lars Schaarschmidt, Thomas Roos

Abstract

The 102.5m high Leibis/Lichte Dam, with a concrete volume of 620.000 m³ and a storage capacity of 39,2 million m³, occupies a special place in view of its conventional construction, in a period when RCC technology has become internationally established. What led to the decision for block construction? How would the decision be made today?

Zusammenfassung

Mit ihren 102,5 m Höhe, 620 000 m³ Betonvolumen und 39,2 Mio. m³ Stauraum nimmt die Talsperre Leibis/Lichte aufgrund ihrer konventionellen Bauweise in einer Zeit der sich weltweit etablierenden RCC-Technologie eine Sonderstellung ein. Was führte damals zur Entscheidung für die Blockbauweise? Wie würde man heute entscheiden?

1 Blockbauweise mit Massenbeton

Einleitung

Die Talsperre Leibis/Lichte wurde zwischen Frühjahr 2002 und Herbst 2005 als Gewichtsmauer in traditioneller Blockbauweise errichtet. Das Gesamtvolumen des Sperrenkörpers beträgt 620 000 m³ mit einem Massenbetonanteil von ca. 580 000 m³. Die Mauer wurde auf quarzitischem Tonschiefer gegründet. Über Gründungssohle erreicht sie eine Höhe von 102,5 m bei einer Sohlenbreite von 80,6 m und 369 m Kronenlänge. Die Talsperre schafft einen Stauraum von 39,2 Mio. m³ und dient der Trinkwasserversorgung Ostthüringens.

Die Thüringer Fernwasserversorgung beauftragte die Hydroprojekt Ingenieurgesellschaft mbH für alle Planungsphasen, Bauoberleitung und örtliche Bauüberwachung.

Bereits im Rahmen der Vorplanung (1991) fanden umfangreiche Untersuchungen zu unterschiedlichen Typen von Sperrbauwerken statt, welche in der Entwurfs- und Genehmigungsplanung (1996) auch aus bautechnologischer Sicht vertieft wurden. Aufbauend auf die Erfahrung der 1982 in Betrieb genommenen Talsperre Eibenstock im Erzgebirge entschied man sich für die traditionelle Blockbauweise mit hohem Massenbetonanteil.

Blockabmessungen

Die Blockbauweise wird auch als klassisches Betonierverfahren bezeichnet, nach dem schon die ersten Betonstau Mauern gebaut wurden. In der Staumauerachse werden die Betonierblöcke durch Feldfugen begrenzt. Orthogonal zur Mauerachse werden die Blockabmessungen ent-

sprechend dem Leistungsvermögen der Betonierausrüstung und den zulässigen Zwangsbeanspruchungen bestimmt.

Der Sperrkörper der Talsperre Leibis/Lichte ist in 35 Mauerfelder von 15 m Breite in der Talsohle und 10 m Breite im Hangbereich unterteilt. Die Blocklänge beträgt 10 bis 30 m, die Höhe der Betonierabschnitte ist auf 2,5 m begrenzt. Wasser- und luftseitig sowie im Sohlenbereich sind die Feldfugen durch Dehnfugenbänder gedichtet. In jedem Mauerfeld werden die Arbeitsfugen durch über die gesamte Mauerhöhe verlaufende Kontrollschächte entwässert. Hangparallele und über drei Ebenen verlaufende Kontrollgänge dienen der Bauwerksüberwachung und der Aufnahme von verschiedenen Mess- und Kontrolleinrichtungen (**Bild 1**).

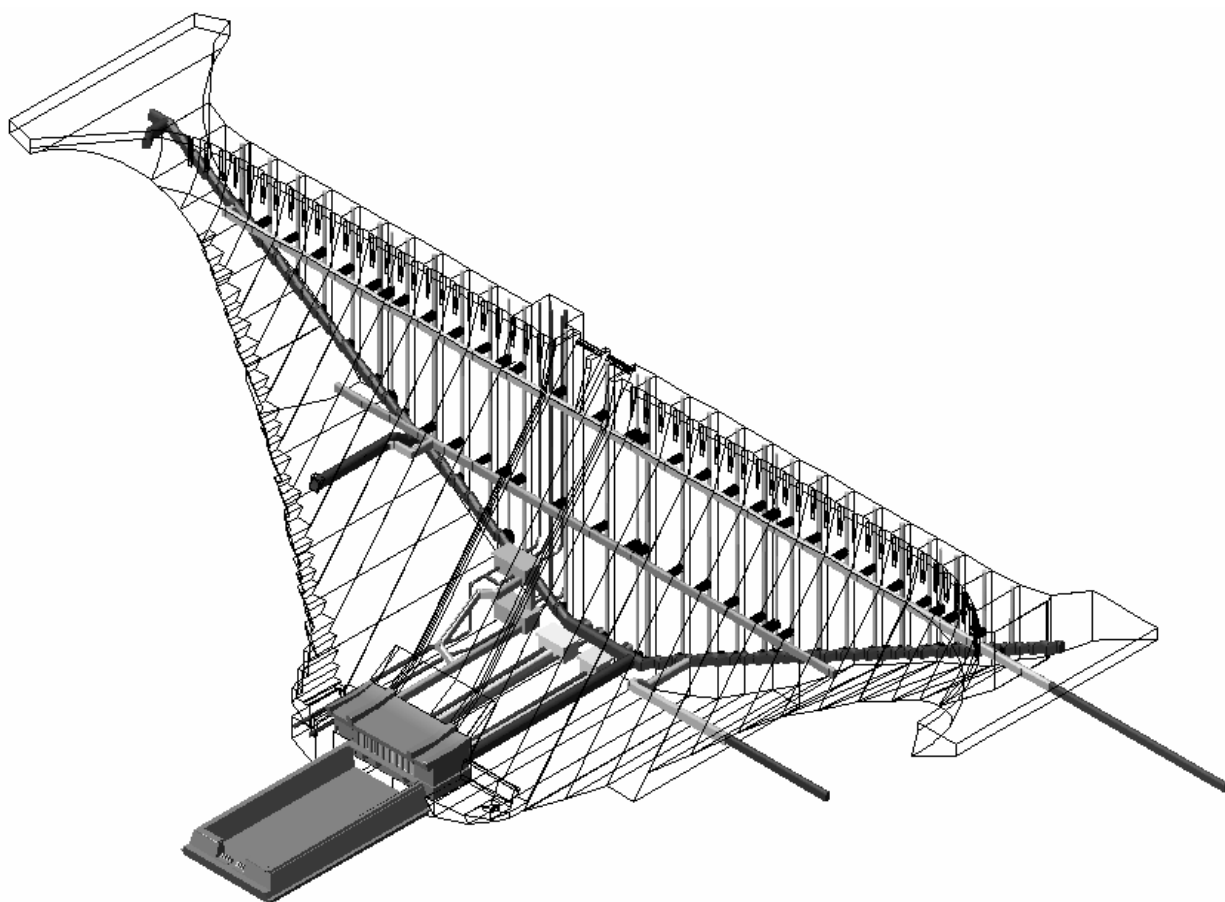


Bild 1: Einbauten und Kontrollgangsystem

Material

Das Sperrbauwerk der Talsperre Leibis/Lichte wurde aus fünf Betonsorten erstellt. Für die beiden Hauptsorten, Kern- und Vorsatzbeton, welche die eigentliche Masse des Betons ausmachen, wurden eine Druckfestigkeit B 20/90, hohe Wasserundurchlässigkeit und eine Festbetonrohddichte von $2\,300\text{ kg/m}^3$ gefordert. Mit dem gewählten Größtkorn von 125 mm und Zementgehalten von 180 kg/m^3 (Kernbeton) und 240 kg/m^3 (Vorsatzbeton) konnten die Bedingungen durch Massentontechnologie gewährleistet werden. Zur Verzögerung der Festigkeits- und Wärmeentwicklung war der Ersatz von max. 25 % des Zementes durch Steinkohlenflugasche zulässig. Des Weiteren war die Frischbetontemperatur auf max. 15 °C begrenzt, was witterungsabhängig durch die Zugabe von Scherbeneis erreicht wurde. Ein zusätzliches

Aufheizen oder auch zu rasches Abkühlen über die Oberfläche wurde durch Einsatz von Dämmmatten verhindert.

Bautechnologie

Insgesamt wurden für den Sperrkörper 1 189 Blöcke in einer Zeitspanne von 38 Monaten betoniert. Durch eine leistungsfähige Betonmischanlage mit 360 m³/h Frischbetonausstoß, Transport durch Kippfahrzeuge zum Kübelkai, Fördern und Schütten des Betons mittels 6-m³-Kübeln an zwei radial verfahrbaren Kabelkränen mit Fixpunkt und sphärisch gekrümmter Gegenfahrbahn, ferner durch maschinelles Verteilen und Verdichten des Betons mit Raupenfahrzeugen mit Innenrüttlern Ø 150 mm und durch den Einsatz von Kletterschalung konnten, abhängig von Bauablauf und Witterungsverhältnissen, Betonierleistungen zwischen 7 100 und 21 300 m³/Monat erreicht werden (**Bild 2**). Leistungsmindernde Bedingungen waren durch den Antransport der Zuschlagstoffe aus ca. 40 km Entfernung, die aufwendige Wartung der Geräte und des Verbotes von Nachtschichtbetrieb gegeben.



Bild 2: Blockbetonage mit Geräteanordnung

Kosten

Die maßgeblichen kostenrelevanten Positionen für die konventionelle Blockbauweise bilden neben der Baustelleneinrichtung vor allem die Schalungs- und Betonpositionen, welche hier mit 20 000 m² wasserseitiger und 23 000 m² luftseitiger Kletterschalung sowie 430 000 m³ Kernbeton und 120 000 m³ Vorsatzbeton zu quantifizieren sind. Hinzu kamen nicht unbeträchtliche Anteile an Sonderschalungen für Einbauten, Kontroll-, Stich- und Verbindungsgänge.

Aufgrund der außerordentlichen Mengen und der in den 90er Jahren konjunkturbedingt absinkenden Preise im Baugewerbe bei gleichzeitiger rasanter Entwicklung der Betontechnologie konnte im Rahmen der technologischen Voruntersuchungen von einer kostenseitigen Verbesserung ausgegangen werden. Bezogen auf den reinen Betonbau des Sperrkörpers konnte ein Herstellungspreis von ca. 90 €/m³ erzielt werden.

RCC-Technologie

Allgemeines

Im Zuge der Planungsarbeiten für die Talsperre Leibis/Lichte wurde 1994 eine Studie zum Stand der Walzbeton-Technologie (Roller Compacted Concrete, RCC) im Vergleich zur konventionellen Blockbauweise durchgeführt. Zu diesem Zeitpunkt waren weltweit bereits 112 RCC-Dämme gebaut worden, weitere 27 befanden sich im Bau.

Der wesentliche Unterschied zur herkömmlichen Betoniermethode besteht in der Transport-, Einbau- und Verdichtungstechnologie, die mit der Bauweise von Schüttdämmen vergleichbar ist. Durch hohe Einbauraten und entsprechend raschen Baufortschritt lassen sich Kostenersparnisse von 20 bis 40 % gegenüber der konventionellen Blockbauweise erzielen.

Um die Anwendung der RCC-Technologie für die Talsperre Leibis/Lichte vergleichbar zu machen, sind neben bautechnologischen Randbedingungen auch spezifische Randbedingungen, wie z. B. behördliche Auflagen, Sicherheitsanspruch, Siedlungsdruck und Ästhetik, zu berücksichtigen.

Materialeigenschaften

RCC ist ein Gemisch von erdfeuchter Konsistenz und niedrigem Zementgehalt, das sich durch Walzen vollständig verdichten lässt. Kornabstufung (Größtkorn max. 75 mm), Zementleim und Wassergehalt müssen so aufeinander abgestimmt werden, dass eine Entmischung während des Einbaus vermieden wird.

Die Mehrheit aller vor 1994 erstellten RCC-Dämme können der Klasse mit hohem Bindemittelgehalt zugeordnet werden. Bei einem Gesamtbindemittelgehalt >150 kg/m³ wurden bei günstigen Bedingungen bereits geringe Durchlässigkeiten erreicht, die mit konventionellen Betonmauern vergleichbar sind. Hohe Bindemittelgehalte verringerten zwar die Durchlässigkeit und verbesserten die Verarbeitbarkeit sowie den Verbund der einzelnen Walzbetonlagen, schafften jedoch Probleme bezüglich größerer Rissneigung, die aufgrund des noch nicht voll ausgereiften Temperaturmanagements schwer beherrschbar waren.

Bautechnologie

Das RCC-Verfahren verlangt eine kontinuierliche Bauweise ohne Unterbrechungen oder gar Stillstandszeiten. Alle Arbeitsprozesse, wie die Anlieferung der Materialien, Betonproduktion, Transport zur Einbaustelle, Verteilung und Verdichtung, müssen optimal aufeinander abgestimmt sein. Optimal für RCC sind große, gut zugängliche Arbeitsflächen, möglichst frei von Einbauten oder komplizierten Bauwerksstrukturen.

Für die Talsperre Leibis/Lichte waren diese wesentlichen Kriterien nicht erfüllt. Aus naturschutzrechtlichen Gründen waren Nachtbauzeiten untersagt. Das für die Talsperre entwickelte

Sicherheitskonzept mit 1 300 m Kontroll- und Verbindungsgängen, 140 Stichgängen und Nischen zur Aufnahme verschiedenster Messeinrichtungen sowie 1 450 lotrechten Kontrollschächten erforderte umfangreiche Einbauten in der Mehrzahl der Mauerblöcke. Ungünstig waren auch die an der Sperrenstelle vorherrschenden topographischen Verhältnisse mit relativ steilen Hängen, die den für die RCC-Bauweise notwendigen Bau und die ständige Anpassung von Zufahrtsstraßen erheblich erschwert hätten. Ein weiteres Hemmnis für RCC waren der hohe Anspruch an die Oberflächenbeschaffenheit und Ästhetik.

Bereits damals war es möglich, RCC direkt gegen eine Schalung aufzubringen. In den 90ern Jahren bestanden jedoch noch enorme Schwierigkeiten, eine vollständige Verdichtung in den Randbereichen zu erreichen. Sichtbare Blasen an der Oberfläche erforderten aufwendige Nacharbeiten. Bei der Verwendung konventioneller Rüttelbetone als Vorsatzschale wäre eine zweite aufwendige Betontechnologie notwendig geworden. Die damals üblichen Verfahren erforderten die Anordnung vertikaler Fugen, die wiederum Probleme in Bezug auf den Verbund zwischen Schale und Kernbeton aufwarfen.

Weiterhin bestand zum damaligen Zeitpunkt Uneinigkeit über die Notwendigkeit, Arbeitsfugen zu bearbeiten. Das Spektrum der Aktivitäten reichte von keinerlei Maßnahmen bis zum Aufbringen von Bettungsmörtel zwischen den Lagen, um den Verbund zu verbessern. Es bestand somit auch eine erhebliche Skepsis bezüglich der Vermeidung von Sickerwegen im Sperrkörper.

Einbauleistung und Kosten

RCC wird meist in Schichten von 30 cm eingebaut. Die Einbaugeschwindigkeit ist auf die Hydratationswärme und die Umgebungstemperatur abzustimmen. Normalerweise werden pro Tag zwei bis vier Schichten erreicht. Durchschnittlich konnte man mit dem damaligen Stand der Technik von einer Einbaurate von 35 000 bis 70 000 m³/Monat ausgehen. Diese bedingte jedoch einfache Geometrien, eine geringe Anzahl von Einbauten und gute Zugänglichkeit.

Der wichtigste Vorteil der RCC-Technologie gegenüber der konventionellen Bauweise, nämlich die Kosteneinsparung durch kürzere Bauzeiten, geringerem Aufwand an Gerätschaften und Personal sowie schließlich durch die Einsparung von Zement, war im Falle der Talsperre Leibis/Lichte nur in geringem Umfang (<10 %) zu erwarten. Zu diesem Ergebnis hat auch der erforderliche Fremdbezug der Zuschlagstoffe aus großer Entfernung beigetragen.

Mit RCC-Technologie hätte die Bauzeit der Talsperre Leibis/Lichte erheblich reduziert werden können, vorausgesetzt, man hätte den Entwurf „RCC-gerecht“ vereinfacht. Das Festhalten an der Tradition einer bewährten Bauweise, der hohe Sicherheitsanspruch und die damit verbundene Skepsis gegenüber einer neuen Technologie standen dem entgegen.

Technologische Weiterentwicklung der Verfahren

RCC

Seit 1994 wurden weitere 109 RCC-Dämme gelistet, zurzeit sind 41 Sperren in Bau. Sperrhöhen über 190 m (Miel 1, Kolumbien; Longtan, China) wurden verwirklicht, wobei bei sehr großen Mauern Einbauraten weit über 100 000 m³/Monat erzielt werden. Je nach Gesamtvolumen des Sperrkörpers, den technologischen Randbedingungen und den in den vergan-

genen Jahren rasant gestiegenen Baupreisen muss man heute von einem Preis für RCC zwischen 50 und 85 €/m³ ausgehen. RCC-Gemische mit hohem Bindemittelgehalt und Anteilen an Puzzolanen oder Flugaschen (bis 50 %) haben sich weitgehend durchgesetzt.

Wie beim konventionellen Massenbeton konzentrierte sich die technologische Weiterentwicklung beim RCC vor allem auf die Beherrschung der Hydratationswärme. Durch eine softwaregesteuerte Betonproduktion auf der Basis eines durch numerische Simulation unterstützten Temperaturmanagements sowie unter Nutzung von modernen Messmethoden (z. B. der verteilten faseroptischen Temperaturmessung, VFTM), verbunden mit einer sorgfältigen Güteüberwachung, können unerwünschte Temperaturspannungen und somit die Bildung von Rissen weitgehend vermieden werden.

Innovation hat auch stattgefunden im Bereich der Transport- und Verteilungstechnologien. Zunehmend werden heute z. B. mobile Förderbandsysteme eingesetzt, die eine flexible Anpassung an Topographie und Förderleistung ermöglichen und die Umwelt weniger beeinträchtigen.

Blockbauweise

Die Weiterentwicklung der Massentontechnologie wurde durch den Bau der Talsperre Leibis/Lichte wesentlich beeinflusst. Durch die hochleistungsfähige Mischanlage und einen optimal abgestimmten Kran-/Kübeltransport konnten zeitweise Einbauleistungen von deutlich über 30 000 m³ pro Monat trotz Zweischichtbetrieb und aufwendiger Einbauten erzielt werden.

Neben der Betontechnologie haben Entwicklungen auch in der Gerätetechnologie, insbesondere bezüglich der Verdichtung, sowie bei Schalungssystemen und Fugenbändern stattgefunden, die der Blockbauweise zugute kommen.

Zusammenfassung und Ausblick

International bietet die RCC-Technologie besonders in den globalen Wachstumsregionen mit Präferenzen für Kosten und Bauzeit einen enormen Wettbewerbsvorteil. Die technologische Entwicklung kann als ausgereift betrachtet werden. Entscheidend für die Effizienz des Verfahrens sind die Sicherung einer kontinuierlichen Bauweise, die Beschaffung der Zuschlagsstoffe, die Zugänglichkeit, einfache Bauwerksstrukturen und ein auf die RCC-Technologie optimal abgestimmter Entwurf. Sind diese Voraussetzungen nicht gegeben, bleibt auch aus heutiger Sicht nur der Wechsel zum konventionellen, betontechnologischen Konzept mit modernem Temperaturmanagement, um Effizienz und Flexibilität zu wahren.

Das Blockbauweise-Verfahren ist gegenüber der RCC-Technologie betontechnologisch durch sein diskontinuierliches Wesen anpassungsfähiger und gegenüber Bauzeitproblemen weniger empfindlich. Bezüglich Frisch- und Festbetoneigenschaften sowie Betonertechnologie wurde das Verfahren zum Zeitpunkt der Planung von Leibis/Lichte im mitteleuropäischen Raum als das ausgereifere Verfahren eingestuft, welches auch die geforderten hohen Qualitäten bezüglich Oberfläche und Einbauten garantieren konnte.

Da die Sensibilität in Bezug auf Sicherheit und Naturschutz sowie die sicherheitsrelevanten Ansprüche hinsichtlich des messtechnischen Aufwandes (Kontrollgänge etc.) und die zwar subjektiven, jedoch in ihrer Bedeutung nicht zu vernachlässigenden Ansprüche an Ästhetik und Dauerhaftigkeit eher noch gewachsen sind, würde man nach heutigen Gesichtspunkten der

RCC-Bauweise im Falle der Talsperre Leibis/Lichte nach wie vor eher kritisch gegenüberstehen.

Festzuhalten ist, dass für Gewichtsstaumauern unter 1,0 Mio. m³ Betonvolumen mit einem hohen Anteil von Kontrollgängen und Einbauten sowie in einem Gebiet mit hohem Siedlungsdruck und strengen behördlichen Auflagen ein flexibles und robustes Bauverfahren benötigt wird. Die technologisch weiterentwickelte konventionelle Blockbauweise stellt für diesen Fall auch aus heutiger Sicht eine attraktive Alternative zur RCC-Technologie dar (**Bild 3**).

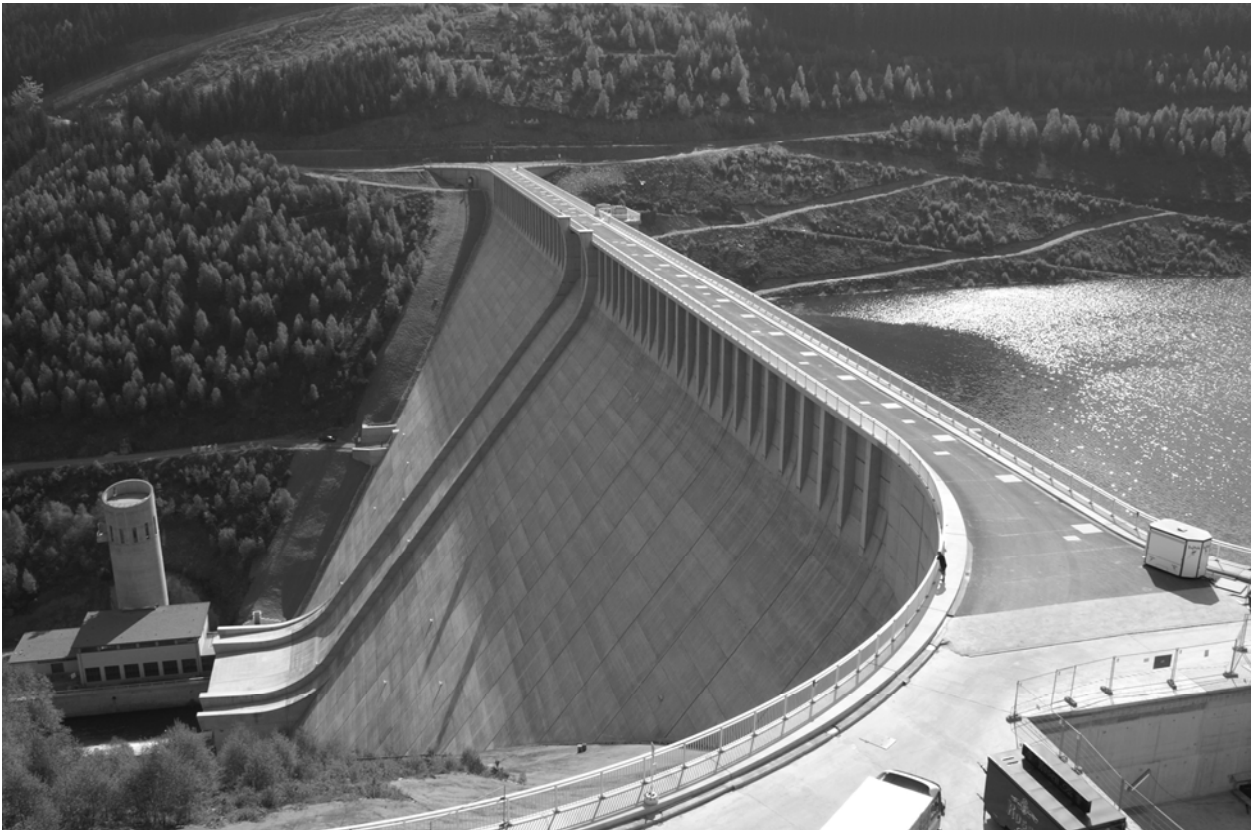


Bild 3: Fertig gestellte Staumauer

Anschrift der Verfasser

Dipl.-Ing. Michael Heiland
Dipl.-Ing. Lars Schaarschmidt
Dipl.-Ing. Thomas Roos
Hydroprojekt Ingenieurgesellschaft mbH
Rießnerstraße 18
99427 Weimar
mh@hydroprojekt.de