

**Dezentrale Trinkwasserversorgung von Bad Wildungen -
Hydrogeologische Grundlagen**

Dissertation
zur Erlangung des Doktorgrades
der Mathematisch-Naturwissenschaftlichen Fakultäten
der Georg-August-Universität zu Göttingen

vorgelegt von
Stefan Steinmetz
aus Göttingen

Göttingen 2001

D 7

63 S., 38 Abb., 32 Tab., 10 Anl.

Referent: Prof. Dr. D. Meischner

Korreferent: Prof. Dr. J. Paul

Tag der mündlichen Prüfung: 26.06.2001

Vorwort

Durch das besondere Interesse von Professor Dr. Dieter Meischner am Kellerwald, bin ich zu meinen hydrogeologischen Arbeiten im nördlichen Kellerwald gekommen. Ich bedanke mich bei Herrn Meischner für die Betreuung und Unterstützung. Er gab mir durch diese Dissertation die Möglichkeit, meine Kenntnisse und Erfahrungen in der Hydrogeologie durch praktische Arbeiten zu erweitern.

Bei dem Geschäftsführenden Leiter Dr. v. Ploetz und dem technischen Leiter der Abteilung Wasser, Herrn Tent, der Bad Wildunger Kraftwagenverkehrs- und Wasserversorgungsgesellschaft mbH - BKW bedanke ich mich für die gute Zusammenarbeit und für die überlassenen Daten der Wildunger Wasserversorgung. Herr Tent ermöglichte mir das Sammeln von grundlegenden Erfahrungen in der Wasserversorgung. Frau Günther und Herr Liese haben mich bei meinen Arbeiten in Bad Wildungen tatkräftig unterstützt. Dafür bedanke ich mich herzlich.

Einen Dank auch allen Angehörigen der Abteilung Sediment-Geologie, die durch ihren Beitrag zum Fortkommen dieser Arbeit mitgewirkt haben. Bei Professor Dr. Josef Paul und Dr. Hermann Huckriede bedanke ich mich besonders für die zahlreichen kritischen und konstruktiven Diskussionen. Dr. Antje Schwalb und Dieter Wehmeyer bin ich für die Durchsicht des Manuskripts dankbar.

Mein besonderer Dank gilt meiner Frau Inka Reiche für ihre Geduld und ihre Unterstützung während der Anfertigung dieser Dissertation.

Kurzfassung

Die Bad Wildunger Kraftwagenverkehrs- und Wasserversorgungsgesellschaft mbH stellt für 20.000 Einwohner von Bad Wildungen jährlich 2 Mio. m³ Trinkwasser bereit. Dabei verbraucht der Kurbetrieb in Bad Wildungen mit 0,8 Mio. m³/a knapp die Hälfte der Wassermenge, die in die Kernstadt gefördert wird. Das Stadtgebiet von Bad Wildungen reicht vom Zentrum des Kellerwalds über die Wildunger Randstaffelzone bis an den Rand der Hessischen Senke. Da das Gebirge in kleine geologische Einheiten zerstückelt ist, fehlen ausgedehnte Grundwasserreservoirs. Um Bad Wildungen mit seinem hohen Wasserbedarf unter komplizierten hydrogeologischen Gegebenheiten aus örtlichen Wasservorkommen zu versorgen, betreibt die BKW ein dezentrales Wasserversorgungsnetz mit 16 Gewinnungsanlagen. Bad Wildungen beabsichtigt, sich weiterhin eigenständig aus örtlichen Wasservorkommen zu versorgen. Eine Erweiterung der bewilligten Fördermengen um mindestens 500.000 m³/a würde dieses Vorhaben langfristig sichern.

In einem Kataster der vorhandenen Gewinnungsanlagen werden die Bauweise der Brunnen und Quellen, ihre hydrogeologische Lage und ihr Erhaltungszustand beurteilt und Vorschläge für Sanierung, Neufassung oder Erweiterung der Wasserfassungen gemacht. Bei der Prospektion auf erschließbare Grundwasservorkommen habe ich durch Abflußmessungen die höchsten mittleren Abflußspenden von 2,5 bis 5,9 l/(s*km²) und Raten der Grundwasserneubildung von 3,0 bis 4,0 l/(s*km²) in den Höhenlagen des Kellerwalds bestimmt. Im Buntsandsteingebiet des Elimer Grabens schätze ich die Grundwasserneubildung auf lediglich 1,0 l/(s*km²).

Der Hahnberg-Sandstein, als Hauptgrundwasserleiter des unteren tektonischen Stockwerks im Hundsdorfer Sattel, kann zur Versorgung von Albertshausen im Sillbach-Tal gefaßt werden. Armsfeld und Hundsdorf haben die Möglichkeit, ihren Bedarf aus dem mittleren Stockwerk an der Großen Aschkoppe zu decken. Die kompetenten Schichtenfolgen der Schuppenzone des Auen-Bergs sind ein ergiebiger Kluftgrundwasserleiter im Kellerwald. Zwischen Odershausen und Haddenberg kann die Wasserfassung Auen-Berg durch weitere Brunnen vergrößert werden. Die geförderten Wassermengen könnten im freien Gefälle über Odershausen nach Bad Wildungen geführt werden. Eine Versuchsbohrung am Nordwesthang des Keller-Zugs hat unter mächtigem Hangschutt die Ense-Schuppen auf 170 m Mächtigkeit durchteuft. Die Cephalopoden-Kalke der Ense-Schuppen haben ein durch Anlösung vergrößertes Kluftvolumen. Die eingeschalteten Tonschieferlagen mindern jedoch die hydraulische Leitfähigkeit. Der Durchlässigkeitsbeiwert beträgt 2,7 bis 4,7 * 10⁻⁶ m/s. Nach der Auswertung von zwei Pumpversuchen und einer aufgestellten Wasserbilanz schätze ich die Förderleistung eines ausgebauten Brunnens hier auf 600 bis 900 m³/d. Am Nordwesthang des Braunauer Bergs können die Ense-Schuppen zusätzlich zur Dargebotserweiterung für Braunau genutzt werden.

Nach vorliegenden Schätzungen hat Bad Wildungen erschließbare Dargebotsreserve von über 700.000 bis 800.000 m³/a und kann sich so zukünftig weiterhin eigenständig aus eigenen Grundwasservorkommen über ein dezentrales Netz versorgen.

Abstract

The Bad Wildunger Kraftwagenverkehrs- und Wasserversorgungsgesellschaft mbH provides an annual 2 mio. m³ of drinking water for 20,000 inhabitants of Bad Wildungen. The spa uses almost half of the total amount of the water (0.8 mio. m³/a) piped into the centre of the town. The Bad Wildungen town area extends from the centre of the Kellerwald Horst over the Wildunger marginal faulted zone to the fringe of the Hessian Depression. Fragmentation of the mountains into small geological units impedes the formation of extensive groundwater reservoirs. The BKW operates a decentralized water supply grid using 16 water catchment plants in order to meet the high water demands of the town under these complex hydrogeological conditions. Bad Wildungen intends to continue the water supply from local sources. An expansion of the approved water volume by at least 500,000 m³/a would ensure this project's viability in the long term.

A register shows existing water catchment plants including building structures of wells and sources as well as their hydrogeological positions and levels of maintenance. Also, modernisations for new kerbings or the expansions of existing kerbings are proposed. During the prospection of the ground water resources to be tapped at higher elevations of the Kellerwald, I determined the highest mean run-offs to be 2.5 to 5.9 l/(s*km²) with the rates of groundwater recharge at 3.0 to 4.0 l/(s*km²) by using flow measurements. In the Buntsandstein area of the Elimer Graben I estimate the groundwater recharge at only 1.0 l/(s*km²).

The Hahnberg Sandstone, the main aquifer of the lower tectonic floor in the Hundsdorfer Anticline, could be kerbed in the Sillbach Valley to supply the village Albertshausen with water. The villages Armsfeld and Hundsdorf have the possibility to cover their water supply from the middle tectonic floor at the Große Aschkoppe mountain. The duplex formation of the Auen-Berg mountain with its competent strata sequences is a rich joint aquifer in the Kellerwald Horst. The Auen-Berg water catchment can be expanded by tapping a greater number of wells between the villages Odershausen and Haddenberg. The produced groundwater would be piped to Bad Wildungen via Odershausen in a head. A test drilling in the north western slope of the Keller Range penetrated the Ense Wedges underneath a substantial layer of debris with a thickness of 170 m. The cephalopod limestones of the Ense Wedges provide a higher usable joint volume due to dissolution. Interspersed layers of clay slate, however, reduce the hydraulic conductivity. The coefficient of permeability is between 2.7 and 4.7 * 10⁻⁶ m/s. Two pumping tests and a water balance calculation yield a mean volume of an expanded well of 600 to 900 m³/d. The Ense Wedges can be used as a supply expansion for Braunau on the north western slope of the Braunauer Mountain.

Bad Wildungen has an exploitable water supply resource of over 700.000 to 800.000 m³/a. The town can continue the self-supply from local groundwater resources in the future.

Steinmetz, S. (2001): Dezentrale Trinkwasserversorgung von Bad Wildungen - Hydrogeologische Grundlagen.- Diss. Univ. Göttingen, 63 S., 38 Abb., 32 Tab., 10 Anl.; Göttingen.

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung.....	1
2	Überblick über die Trinkwasserversorgung von Bad Wildungen (Abb. 2, Abb. 3).....	1
3	Kataster der Wasserfassungen (Tab. 1, Abb. 3 - Abb. 5).....	3
3.1	Wasserfassungen im Versorgungsgebiet Kernstadt.....	3
3.1.1	WF Großer Brunnen.....	3
3.1.2	WF Blauer Bruch.....	5
3.1.3	WF Mühlenberg.....	5
3.1.4	WF Naumburger Graben.....	6
3.1.5	WF Sölzer Wiese	7
3.1.6	Wasserfassung Waldquellen.....	8
3.2	Wasserfassungen im Versorgungsgebiet Stadtteile	9
3.2.1	WF Armsfeld	9
3.2.2	WF Auenberg.....	9
3.2.3	WF Bergfreiheit	9
3.2.4	WF Braunau.....	10
3.2.5	WF Frebershausen	10
3.2.6	WF Hüddingen	11
3.2.7	WF Hundsdorf.....	11
3.2.8	WF Mandern	13
3.2.9	WF Odershausen	13
3.2.10	WF Wega	14
4	Bilanzen der Wasserversorgung von Bad Wildungen	14
4.1	Wasserbilanz für das Versorgungsgebiet Kernstadt.....	15
4.2	Wasserbilanz für das Versorgungsgebiet Stadtteile	16
5	Erkundung nutzbarer Wasservorkommen im Stadtgebiet von Bad Wildungen.....	18
5.1	Geologische und hydrogeologische Übersicht	18
5.2	Klima	22
5.3	Ausgewählte Untersuchungsgebiete	23
5.3.1	UG Sillbach.....	23
5.3.1.1	Geologische und hydrogeologische Lage (Anl. 1, Anl. 2)	23
5.3.1.2	Wasserhaushalt (Anl. 3).....	25
5.3.1.3	Dargebotsabschätzung	26
5.3.2	UG Auen-Berg	27
5.3.2.1	Geologische und hydrogeologische Lage (Anl. 4)	27

5.3.2.2	Wasserhaushalt (Anl. 5)	29
5.3.2.3	Möglichkeiten der Grundwassererschließung	32
5.3.3	UG Große Aschkoppe	33
5.3.3.1	Geologische und hydrogeologische Lage (Anl. 6)	33
5.3.3.2	Wasserhaushalt (Anl. 7)	35
5.3.3.3	Möglichkeiten der Wassererschließung	37
5.3.4	UG Mühlenberg	37
5.3.4.1	Geologische und hydrogeologische Lage (Anl. 8)	37
5.3.4.2	Wasserhaushalt (Anl. 9)	38
5.3.4.3	Abschätzung des nutzbaren Grundwasservorkommens	40
5.3.5	UG Keller	40
5.3.5.1	Geologische Lage (Anl. 10)	40
5.3.5.2	Hydrogeologische Lage der Versuchsbohrung Kellerwald B1	42
5.3.5.3	Pumpversuche	44
5.3.5.4	Wasserhaushalt im Einzugsgebiet der Versuchsbohrung	50
5.3.5.5	Möglichkeiten der Grundwassererschließung	51
6	Konzept zur Optimierung der Wasserversorgung	52
7	Zusammenfassung	53
8	Literaturverzeichnis	59

Verzeichnis der Abbildungen

- Abb. 1: Übersichtskarte zur Lage von Bad Wildungen mit Stadtgebiet (schraffierte Fläche) und Umgrenzung des Schiefergebirges (Doppellinie)
- Abb. 2: Trinkwasserversorgung von Bad Wildungen - Systemplan
- Abb. 3: Übersichtskarte zur Lage der Wasserfassungen
- Abb. 4: Hydrochemische Übersichtskarte
- Abb. 5: Ionenverhältnisse der Brunnen- und Quellwässer
- Abb. 6: Verlauf des Nitratgehalts im Wasser der Quelle Großer Brunnen von 1974 bis 2000 (BKW)
- Abb. 7: Wasserförderung, -verbrauch und -verlust in Bad Wildungen von 1970 bis 1999 (weiße Balken: verkaufte Wassermengen, schwarze Balken: Wasserverluste, weiße Balken + schwarze Balken: Wasserförderung), Fördermengen von 1970 bis 1977 fehlen
- Abb. 8: Bedarf Q_a im Versorgungsgebiet Kernstadt von 1983 bis 2000 und erwarteter Bedarfsverlauf bis 2010
- Abb. 9: Bedarf Q_a im Versorgungsgebiet Stadtteile von 1983 bis 2000 und erwarteter Bedarfsverlauf bis 2010
- Abb. 10: Bedarf Q_a von ST Albertshausen von 1983 bis 2000 und erwarteter Bedarfsverlauf bis 2010

- Abb. 11: Bedarf Q_a von ST Armsfeld von 1983 bis 2000 und erwarteter Bedarfsverlauf bis 2010
- Abb. 12: Bedarf Q_a von ST Bergfreiheit von 1983 bis 2000 und erwarteter Bedarfsverlauf bis 2010
- Abb. 13: Bedarf Q_a von ST Braunau von 1983 bis 2000 und erwarteter Bedarfsverlauf bis 2010
- Abb. 14: Bedarf Q_a von ST Frebershausen von 1983 bis 2000 und erwarteter Bedarfsverlauf bis 2010
- Abb. 15: Bedarf Q_a von ST Hüdningen von 1983 bis 2000 und erwarteter Bedarfsverlauf bis 2010
- Abb. 16: Bedarf Q_a von ST Hundsdorf von 1983 bis 2000 und erwarteter Bedarfsverlauf bis 2010
- Abb. 17: Bedarf Q_a von ST Mandern von 1983 bis 2000 und erwarteter Bedarfsverlauf bis 2010
- Abb. 18: Bedarf Q_a von ST Odershausen von 1983 bis 2000 und erwarteter Bedarfsverlauf bis 2010
- Abb. 19: Bedarf Q_a von ST Wega von 1983 bis 2000 und erwarteter Bedarfsverlauf bis 2010
- Abb. 20: Geologische Übersichtskarte mit Lage der Wasserfassungen (gestrichelte Linie: Stadtgrenze von Bad Wildungen)
- Abb. 21: Querprofil durch den nördlichen Kellerwald (verändert nach MEISCHNER 1992)
- Abb. 22: Übersichtskarte mit Lage der Untersuchungsgebiete (gestrichelte Linie: Stadtgrenze)
- Abb. 23: Abflußraten im Untersuchungsgebiet Sillbach, an der Meßstelle AS01 im hydrologischen Jahr 1995/96 und wöchentliche Niederschlagshöhen, gemessen im Untersuchungsgebiet Auen-Berg
- Abb. 24: Tagesmittel der Lufttemperatur (dicke Linie), der relativen Feuchte (dünne Linie) und wöchentliche Summen der Niederschläge (Balken), gemessen an der Wetterstation HB Auenberg vom 01.10.1995 bis 03.11.1996
- Abb. 25: Abflußraten im Untersuchungsgebiet Auen-Berg im hydrologischen Jahr 1995/96 und wöchentliche Niederschlagshöhen
- Abb. 26: Klimatische Wasserbilanz, bestimmt aus den gemessenen Niederschlagshöhen und der berechneten potentiellen Evapotranspiration in wöchentlichen Summen für das hydrologische Jahr 1995/96
- Abb. 27: Abflußraten im Untersuchungsgebiet Große Aschkoppe im hydrologischen Jahr 1995/96 und wöchentliche Niederschlagshöhen, gemessen im Untersuchungsgebiet Auen-Berg
- Abb. 28: Abflußraten im Untersuchungsgebiet Mühlenberg im hydrologischen Jahr 1995/96 und wöchentliche Niederschlagshöhen, gemessen im Untersuchungsgebiet Auen-Berg
- Abb. 29: Ganglinie des Wasserspiegels während des Druckluftpumpversuchs an der Versuchsbohrung Kellerwald B1 am 17. und 18.08.1978 bei einer Förderrate von $34 \text{ m}^3/\text{h}$
- Abb. 30: Ganglinie des Wasserspiegels und Förderraten beim Pumpversuch an der Versuchsbohrung Kellerwald B1 vom 22. bis 26.08.1978

- Abb. 31: Ganglinie des Wasserspiegels bei unterschiedlichen Förderraten mit Absenkungsbeträgen pro Dekade (ds) beim Pumpversuch an der Versuchsbohrung Kellerwald B1 vom 22. bis 26.08.1978
- Abb. 32: Leistungscharakteristik der Versuchsbohrung Kellerwald B1 mit Absenkungen nach einer Stunde Pumpzeit beim Pumpversuch vom 22. bis 26.08.1978
- Abb. 33: Spezifische Absenkung an der Versuchsbohrung Kellerwald B1 beim Pumpversuch vom 22. bis 26.08.1978
- Abb. 34: Ganglinie des Wasserspiegels und Förderraten beim Pumpversuch an der Versuchsbohrung Kellerwald B1 vom 28.02. bis 25.03.1998
- Abb. 35: Ganglinie des Wasserspiegels bei unterschiedlichen Förderraten mit Absenkungsbeträgen pro Dekade (ds) beim Pumpversuch an der Versuchsbohrung Kellerwald B1 vom 28.02. bis 25.03.1998
- Abb. 36: Leistungscharakteristik der Versuchsbohrung Kellerwald B1 mit Absenkungen nach 20 Stunde Pumpzeit beim Pumpversuch vom 28.02. bis 25.03.1998
- Abb. 37: Spezifische Absenkung an der Versuchsbohrung Kellerwald B1 beim Pumpversuch vom 28.02. bis 25.03.1998
- Abb. 38: Übersichtsplan zur Trinkwasserversorgung in Bad Wildungen mit Dargebot und Bedarf Q_1 von 2000

Verzeichnis der Tabellen

- Tab. 1: Kataster der Wassergewinnungsanlagen
- Tab. 2: Wasserdargebot Q_d und Q_1 der Wasserfassungen im Versorgungsgebiet Kernstadt
- Tab. 3: Wasserbilanz Q_a und Q_1 für das Versorgungsgebiet Kernstadt
- Tab. 4: Wasserbilanz Q_a und Q_1 von ST Albertshausen
- Tab. 5: Wasserbilanz Q_a und Q_1 von ST Armsfeld
- Tab. 6: Wasserbilanz Q_a und Q_1 von ST Bergfreiheit
- Tab. 7: Wasserbilanz Q_a und Q_1 von ST Braunau
- Tab. 8: Wasserbilanz Q_a und Q_1 von ST Frebershausen
- Tab. 9: Wasserbilanz Q_a und Q_1 von ST Hüddingen
- Tab. 10: Wasserbilanz Q_a und Q_1 von ST Hundsdorf
- Tab. 11: Wasserbilanz Q_a und Q_1 von ST Mandern
- Tab. 12: Wasserbilanz Q_a und Q_1 von ST Odershausen
- Tab. 13: Wasserbilanz Q_a und Q_1 von ST Wega
- Tab. 14: Abfluß und Schüttung im Untersuchungsgebiet Sillbach für das hydrologische Jahr 1995/96 in l/s
- Tab. 15: Abfluß und Abflußspende im Untersuchungsgebiet Sillbach für das hydrologische Jahr 1995/96

- Tab. 16: Tagesmittel der Lufttemperatur, der relativen Feuchte und wöchentliche Summe der Niederschläge, gemessen an der Wetterstation HB Auenberg und Summe der potentiellen Evapotranspiration nach HAUDE (1954) für das hydrologische Jahr 1995/96
- Tab. 17: Abfluß und Schüttung im Untersuchungsgebiet Auen-Berg für das hydrologische Jahr 1995/96 in l/s
- Tab. 18: Abfluß und Abflußspende im Untersuchungsgebiet Auen-Berg für das hydrologische Jahr 1995/96
- Tab. 19: Abfluß und Schüttung im Untersuchungsgebiet Große Aschkoppe für das hydrologische Jahr 1995/96 in l/s
- Tab. 20: Abfluß und Abflußspende im Untersuchungsgebiet Große Aschkoppe für das hydrologische Jahr 1995/96
- Tab. 21: Abfluß und Schüttung im Untersuchungsgebiet Mühlenberg für das hydrologische Jahr 1995/96 in l/s
- Tab. 22: Abfluß und Abflußspende im Untersuchungsgebiet Mühlenberg für das hydrologische Jahr 1995/96
- Tab. 23: Schichtenverzeichnis der Versuchsbohrung Kellerwald B1 (CELLER BRUNNENBAU GMBH, 1978a)
- Tab. 24: Wertetabelle des Druckluftpumpversuchs an der Versuchsbohrung Kellerwald B1 am 17. und 18. 08.1978 (CELLER BRUNNENBAU GMBH, 1978b)
- Tab. 25: Wertetabelle zum Pumpversuch an der Versuchsbohrung Kellerwald B1 vom 22. bis 26.08.1978 (CELLER BRUNNENBAU GMBH, 1978c)
- Tab. 26: Hydrologische Kennwerte aus dem Pumpversuch an der Versuchsbohrung Kellerwald B1 vom 22. bis 26.08.1978
- Tab. 27: Wasseruntersuchung der Probe aus dem Pumpversuch an der Versuchsbohrung Kellerwald B1 vom 24.08.1978 (INSTITUT FÜR UMWELTHYGIENE DER PHILIPPS-UNIVERSITÄT MARBURG, 1978)
- Tab. 28: Wertetabelle zum Pumpversuch an der Versuchsbohrung Kellerwald B1 vom 28.02. bis 25.03.1998
- Tab. 29: Hydrologische Kennwerte aus dem Pumpversuch an der Versuchsbohrung Kellerwald B1 vom 28.02. bis 25.03.1998
- Tab. 30: Ergebnisse der Wasseruntersuchung bei unterschiedlichen Förderraten an der Versuchsbohrung Kellerwald B1 vom 19.03.1998
- Tab. 31: Wasseruntersuchung der Probe aus dem Pumpversuch an der Versuchsbohrung Kellerwald B1 vom 19.03.1998 (STAATLICHES MEDIZINAL-, LEBENSMITTEL-, UND VETERINÄRUNTERSUCHUNGSAMT NORDHESSEN, 1998a)
- Tab. 32: Wasseruntersuchung der Probe aus dem Pumpversuch an der Versuchsbohrung Kellerwald B1 vom 19.03.1998 (STAATLICHES MEDIZINAL-, LEBENSMITTEL-, UND VETERINÄRUNTERSUCHUNGSAMT NORDHESSEN, 1998b)

Lebenslauf

Verzeichnis der Anlagen

[Anl. 1: Geologische Karte vom Untersuchungsgebiet Sillbach 1:25.000](#)

[Anl. 2: Tektonische Karte vom Untersuchungsgebiet Sillbach 1:25.000](#)

[Anl. 3: Abflußspende im Untersuchungsgebiet Sillbach 1:25.000](#)

[Anl. 4: Geologische Karte vom Untersuchungsgebiet Auen-Berg 1:25.000](#)

[Anl. 5: Abflußspenden im Untersuchungsgebiet Auen-Berg 1:25.000](#)

[Anl. 6: Geologische Karte vom Untersuchungsgebiet Große Aschkoppe 1:25.000](#)

[Anl. 7: Abflußspenden im Untersuchungsgebiet Große Aschkoppe 1:25.000](#)

[Anl. 8: Geologische Karte vom Untersuchungsgebiet Mühlenberg 1:25.000](#)

[Anl. 9: Abflußspenden im Untersuchungsgebiet Mühlenberg 1:25.000](#)

[Anl. 10: Geologische Karte vom Untersuchungsgebiet Keller 1:25.000](#)

Verzeichnis der Abkürzungen

A	Abfluß [mm]
A _o	oberirdischer Abfluß [mm]
A _u	unterirdischer Abfluß [mm]
BK	Brunnenkopf
BKW	Bad Wildunger Karftwagenverkehrs- und Wasserversorgungsgesellschaft mbH
Br	Brunnen
DE	Druckerhöhung
DM	Druckminderung
ET	Evapotranspiration [mm]
ET _{akt}	aktuelle Evapotranspiration [mm]
ET _{pot}	potentielle Evapotranspiration [mm]
F _o	Fläche des oberirdischen Einzugsgebiets [km ²]
f _d	Tagesspitzenfaktor
G	Grundwasserneubildung [mm]
GK	Geländekante
HB	Hochbehälter
HLfB	Hessisches Landesamt für Bodenforschung
Hq	höchste Abflußspende [l/(s*km ²)]
HQ	höchster Abfluß [l/s]
MP	Meßpunkt
Mq	mittlere Abflußspende [l/(s*km ²)]
MQ	mittlerer Abfluß [l/s]
maxQ _a	maximale jährliche Förderrate [m ³ /a]
mQ _a	mittlere jährliche Förderrate [m ³ /a]
minQ _a	minimale jährliche Förderrate [m ³ /a]
maxQ _d	maximale tägliche Förderrate [m ³ /d]
mQ _d	mittlere tägliche Förderrate [m ³ /d]
minQ _d	minimale tägliche Förderrate [m ³ /d]
N	Niederschlag [mm]
Nq	niedrigste Abflußspende [l/(s*km ²)]
NQ	niedrigster Abfluß [l/s]
PS	Pumpstation
Q _a	jährliche Förderrate [m ³ /a]
Q ₁	Spitzenförderrate [m ³ /d]
Qu	Quelle
R	Rate der Grundwasserneubildung [l/(s*km ²)]
ROK	Rohroberkante
RWSp	Ruhewasserspiegel
ST	Stadtteil
TB	Tiefbehälter
UG	Untersuchungsgebiet
V	Verdunstung [mm]
VB	Versorgungsbereich
WF	Wasserfassung
WHG	Wasserhaushaltsgesetz

1 Einleitung

Bad Wildungen und Reinhardshausen sind durch ihre Mineralquellen international als modernes Heilbäderzentrum bekannt und mit nahezu 100.000 Gästen und fast 2 Millionen Übernachtungen pro Jahr eines der größten Heilbäder Deutschlands. Die Bad Wildunger Kraftwagenverkehrs- und Wasserversorgungsgesellschaft mbH muß als örtliches Wasserversorgungsunternehmen daher nicht nur die Trinkwasserversorgung für die knapp 20.000 Einwohner von Bad Wildungen sicher stellen, sondern auch den hohen Wasserverbrauch des Kurbetriebs mit entsprechenden Förderkapazitäten decken.

In den sechziger bis achtziger Jahren vergrößerten sich der Kurbetrieb und die Bevölkerung in Bad Wildungen rapide. Die Fördermengen der Quellen und Brunnen im Stadtgebiet konnten den steigenden Wasserbedarf nicht mehr decken. Daher wurden die Förderkapazitäten durch Brunnen im benachbarten Edertal, in den entfernten Randstaffelschollen des Naumberger Grabens und zuletzt im Elimer Graben vergrößert. Seit 1977 blieben alle Prospektionen auf neue Grundwasservorkommen erfolglos. Der komplizierte Gebirgsbau, aufsteigende Mineralwässer und Mülldeponien in den Auskiesungen der Ederschotter erschweren die Exploration um Bad Wildungen. Das Stadtgebiet von Bad Wildungen liegt überwiegend im Kellerwald, dem östlichen Vorsprung des Rheinischen Schiefergebirges und reicht über die Wildunger Randstaffelzone bis an den Rand der Hessischen Senke (Abb. 1). Das Gebirge ist in derart zerstückelt, daß ausgedehnte Grundwasserreservoirs fehlen und Bad Wildungen sich daher über ein dezentrales Trinkwasserrohrnetz mit zahlreichen Gewinnungsanlagen versorgen muß.

Während sich die umliegenden Stadtteile überwiegend aus eigenen Gewinnungsanlagen versorgen können, hätten das bewilligte Dargebot nicht ausgereicht, um den steigenden Bedarf der Kernstadt von Bad Wildungen über das Jahr 2000 zu decken. Von 1993 bis 1998 sank der Wasserbedarf durch den rückläufigen Kurbetrieb, ist seit dem aber wieder steigend.

Die vorliegende Arbeit ist ein Konzept, um Bad Wildungen auch zukünftig eigenständig aus örtlichen Wasservorkommen ausreichend zu versorgen. Ziel ist es, die Förderung der vorhandenen Gewinnungsanlagen zu optimieren und neue Wasservorkommen im Kellerwald zu erkunden.

2 Überblick über die Trinkwasserversorgung von Bad Wildungen (Abb. 2, Abb. 3)

Die BKW betreibt ein dezentrales Netz zur Trinkwasserversorgung von Bad Wildungen. Bad Wildungen ist dabei in das Versorgungsgebiet Kernstadt mit seinen Versorgungsbereichen und das Versorgungsgebiet Stadtteile wie folgt gegliedert:

Versorgungsgebiet Kernstadt

VB Altwildungen
 VB Bad Wildungen
 VB Reinhardshausen
 VB Reitzenhagen
 VB Hoch- und Tiefzone Unterscheid

Versorgungsgebiet Stadtteile

ST Albertshausen
 ST Armsfeld
 ST Bergfreiheit
 ST Braunau mit Gershäuser Hof
 ST Frebershausen
 ST Hüddingen
 ST Hundsdorf
 ST Mandern
 ST Odershausen
 ST Wega

Zudem gibt die BKW nördlich von Bad Wildungen geringe Wassermengen an die Ortschaften Anraff (Gemeinde Edertal) und Königshagen (Gemeinde Naumburg) sowie an das Gut Waldhof (Gemeinde Naumburg) ab.

Die BKW betreibt 16 Wasserfassungen mit 11 Quellen und 12 Brunnen. Davon liegen 14 Wasserfassungen in der Gemeinde Bad Wildungen und jeweils eine in der Gemeinde Edertal und Gemeinde Naumburg. Qu III Hundsdorf der WF Hundsdorf liegt in der Gemeinde Haina. Die Stadtteile haben ihre eigenen Wasserfassungen. ST Armsfeld, ST Bergfreiheit und ST Odershausen werden zusätzlich mit Wasser aus WF Auenberg versorgt. ST Albertshausen bekommt sein Wasser ausschließlich, ST Odershausen, ST Mandern und ST Wega bekommen zusätzlich Wasser aus dem Versorgungsgebiet Kernstadt. Folgende Wasserfassungen sind dem Versorgungsgebiet Kernstadt und dem Versorgungsgebiet Stadtteile zugeteilt:

Wasserfassungen im Versorgungsgebiet Kernstadt

WF Großer Brunnen
 WF Blauer Bruch
 WF Mühlenberg
 WF Naumburg (in Gemeinde Naumburg)
 WF Sölzer Wiese (in Gemeinde Edertal)
 WF Waldquellen

Wasserfassungen im Versorgungsgebiet Stadtteile

WF Armfeld
 WF Auenberg
 WF Bergfreiheit
 WF Braunau
 WF Frebershausen
 WF Hüddingen
 WF Hundsdorf
 WF Mandern
 WF Odershausen
 WF Wega

Das dezentrale Trinkwasserversorgungsnetz der BKW ist ein Verbundsystem ohne Zonentrennung. Im Zentrum liegt das Versorgungsgebiet Kernstadt. Durch das Zentrum verläuft eine Pendelleitung, die HB Schwedenschanze mit HB Waldhaus verbindet. Beide Hochbehälter liegen auf etwa 343 m NN und sind nach dem System der kommunizierenden Röhren verbunden. Wasserstandsunterschiede werden hydraulisch zwischen beiden Hochbehältern ausgeglichen. Wasser aus WF Mühlenberg (Br Mühlenberg) drückt über HB Mühlenberg (ca. 347 m ü. NN) direkt in das Netz der Kernstadt. HB Schwedenschanze wird aus WF Naumburger Graben (Br I - III Naumburg) und WF Sölzer Wiese (Br II Anraff) versorgt. WF Blauer Bruch (Br Blauer Bruch) und WF Großer Brunnen (Qu Großer Brunnen) geben ihr Wasser über TB Wasserwerk und WF Waldquellen (Qu Lembachsteich, Qu Ochsenhude, Qu Schlagbrunnen) ihr Wasser direkt an HB Waldhaus ab. Das Wasser aus den Hochbehältern mischt sich im Leitungsnetz. Die Stadtteile Albertshausen, Mandern, Odershausen und Wega sind an das Versorgungsgebiet Kernstadt angeschlossen. Von HB Waldhaus und über PS Zick Zack wird Wasser in HB Reinhardshausen gefördert, der Reinhardshausen und über DE Albertshausen auch ST Albertshausen versorgt. WF Albertshausen und der zugehörige Hochbehälter wurden stillgelegt. Von Bad Wildungen aus fließt das Wasser im freien Gefälle über DM Wega nach ST Wega und ST Mandern. ST Wega wird zusätzlich aus WF Wega (Qu Mühlenberg) und ST Mandern zusätzlich aus WF Mandern (Qu Mandern) versorgt. ST Odershausen bekommt über PS Am Langen Rod Wasser aus dem Versorgungsgebiet Kernstadt. Zusätzlich bezieht ST Odershausen Wasser über HB Odershausen aus WF Odershausen (Br Odershausen) und über HB Auenberg der WF Auenberg (Br Auenberg). ST Odershausen ist über eine zur Zeit nicht genutzte Leitung mit ST Braunau verbunden. ST Braunau und das Gut Gershausen werden über HB Braunau aus der WF Braunau (Br Braunau) versorgt. HB Auenberg stellt weiterhin Wasser für ST Armsfeld und ST Bergfreiheit bereit. ST Armsfeld bezieht zusätzlich Eigenwasser aus WF Armsfeld (Qu I, II Armsfeld), ST Bergfreiheit aus WF Bergfreiheit (Qu Lochborn). ST Frebershausen, ST Hüddingen und ST Hundsdorf sind nicht mit dem Versorgungsnetz von Bad Wildungen verbunden. ST Frebershausen und ST Hüddingen versorgen sich aus eigenen Brunnen. WF Hundsdorf besteht aus Br Hundsdorf und Qu I und Qu III Hundsdorf. Br Hundsdorf ist außer Betrieb. Das Wasser von Qu I und Qu III fließt im freien Gefälle über HB Hundsdorf nach ST Hundsdorf.

3 Kataster der Wasserfassungen (Tab. 1, Abb. 3 - Abb. 5)

3.1 Wasserfassungen im Versorgungsgebiet Kernstadt

3.1.1 WF Großer Brunnen

WF Großer Brunnen liegt etwa 1,5 km südöstlich von Bad Wildungen, im Tal des gleichnamigen Bachs. Die Wasserfassung besteht aus Qu Großer Brunnen und vier Notbrunnen (Br 1, Br 2, Br

IV, Br V). Die Quelle ist an der nordwestlichen Zipfel einer Bruchscholle gebunden, die zwischen den Bächen Großer Brunnen und Landwehr liegt und in ihrer Längserstreckung von der Wasserfassung bis auf die Höhe Braunauer Warte - Wenzigerode reicht (s. HORN et al. 1973a). Die Scholle ist schwach nach NNW gekippt. Auf der Scholle streichen Bröckelschiefer und Korbacher Sandstein aus. Die Quelle Großer Brunnen ist im Ca₃ Plattendolomit des Zechsteins gefaßt, wo eine aus dem Tal des Landwehrs kommende Verwerfung auf die Hauptverwerfung des Wildunger Abbruchs trifft. Nördlich der Quellfassung streichen am Galgen-Berg Kalke des Zechsteins aus, die den devonischen Kalken der Ense-Schuppen diskordant aufliegen und flach in südliche Richtung einfallen. Der Ca₃ Plattendolomit und vermutlich auch der tiefer liegende Ca₁ Randdolomit der Bruchscholle entwässern zwischen Galgen-Berg und Malstein, entlang des Wildunger Abbruchs, das anströmende Grundwasser aus den westlich angrenzenden Ense-Schuppen und deren durchlässigen Zechsteinauflagen. Die Ense-Schuppen bestehen aus zahlreichen Spezialschuppen, die aus durchlässigen Kalken mit hohen nutzbaren Kluftvolumen, Mergeln und stauenden Tonschiefern aufgebaut sind. Daß in die Bruchscholle infiltrierende Grundwasser strömt mit der Neigung der Bruchscholle bis zum Großen Brunnen und drückt an der Zerrüttung der querenden Verwerfung und vermutlich an den stauenden Schichten der Braunroten Salztone des Z1 auf. Die vorwiegend tonigen Schichtenfolgen des unteren Buntsandsteins dichten die Bruchscholle nach Osten ab. Die Quelle Großer Brunnen hat ein mittleres Dargebot von mQ_d ca. 2.270 m³/d. Die minimale Schüttung liegt bei $minQ_d$ ca. 1.200 m³/d, die maximale Schüttung beträgt $maxQ_d$ ca. 3.500 m³/d. Das Wasser der WF Großer Brunnen ist ein hydrogenkarbonatisches bis sulfatisches, normal erdalkalisches Süßwasser. Calcium, Magnesium und Hydrogenkarbonat stammen vorwiegend aus der Lösung der Kalke und Mergel der Ense-Schuppen und des Plattendolomits (Ca₃) und Randdolomits (Ca₁). Die erhöhten Gehalte an Chlorid und Nitrat werden auf den Austrag landwirtschaftlicher Düngergaben in das Grundwasser zurückgeführt (PETER 1997).

Das Bauwerk der Quellfassung Großer Brunnen wurde 1900 errichtet. Um die Förderleistung aus der Wasserfassung zu verbessern, wurden 1960 und 1961 die Notbrunnen Br 1, Br 2, Br IV und Br V 12 bis 15 m tief in die Quellfassung und im engeren Fassungsbereich der Quelle niedergebracht (PICKEL 1961). Bei Bedarf können die vier Notbrunnen das Dargebot von WF Großer Brunnen um mQ_d ca. 1.000 m³/d erhöhen. Die Notbrunnen gewinnen ihr Grundwasser aus dem Plattendolomit.

Die Wasserfassung Großer Brunnen fördert ca. 40 % der Bedarfsmenge von Bad Wildungen. Von 1974 bis 1990 ist der Gehalt an Nitrat im Wasser der Quelle Großer Brunnen von durchschnittlich 23 auf etwa 50 mg/l gestiegen (Abb. 6). Das Einzugsgebiet der Quelle liegt überwiegend unter landwirtschaftlicher Nutzung, so daß die erhöhte Nitratbelastung des Quellwassers auf übermäßige Stickstoffeinträge aus landwirtschaftlich genutzten Flächen zurückgeführt wird. In einem Pilotprojekt wurden seit 1990 umfangreiche Maßnahmen zur Verringerung des Eintrags an Nitrat in das Grundwasser durchgeführt (DORN et al. 1994, HARRACH & PETER 1994). Der Nitratgehalt ist seit Beginn der Umsetzung der Maßnahmen nicht weiter gestiegen und

pendelt seitdem um 50 mg/l. Nach einer Sanierungsdauer von etwa zehn Jahren blieb eine erwartete Verringerung des Nitratgehalts im Quellwasser von WF Großer Brunnen aus.

3.1.2 WF Blauer Bruch

1955 wurde die Bohrung von Br Blauer Bruch 15 m tief in den Talgrund vom Bach Großer Brunnen 1,5 km östlich Bad Wildungen niedergebracht. Der Brunnen ist zwischen 4 und 10 m u. GK verfiltert und steht nach unsicheren Angaben (s. HORN et al. 1973a, HORN et al. 1973b: 347) in devonischen Kalken der Ense-Schuppen. Durch das Tal verläuft die NNW-SSE streichende Hauptverwerfung des Wildunger Abbruchs. Westlich des Brunnens stehen devonische Cephalopoden-Kalke an, östlich liegen Kalke und Braunrote Salztone des Z1 den devonischen Kalken auf. Nach Pegel- und Durchflußmessungen hat der Brunnen ein Dargebot von mQ_d ca. 350 m³/d. Nach einem 1955 durchgeführten Pumpversuch wurde die Brunnenleistung mit $maxQ_d = 600$ m³/d bei 11,70 m Absenkung unter Oberkante Brunnenkopf bestimmt. Das Brunnenwasser ist ein normal erdalkalisches, hydrogenkarbonatisches bis sulfatisches Süßwasser mit einer Gesamthärte von 20,0 bis 33,1 °dH. Die Gehalte an Sulfat übersteigen gelegentlich den zulässigen Grenzwert von 240 mg/l der Trinkwasserverordnung (TRINKWV 1990). Die hohen Gehalte an Sulfat stammen vermutlich größtenteils aus Gips- oder Anhydrithorizonten des Zechsteins. Im Einzugsgebiet des Brunnens wird intensive Landwirtschaft betrieben, so daß die Gehalte an Nitrat um 40 mg/l nicht verwunderlich sind.

Die derzeitigen mittleren Fassungsverluste von ca. 150 m³/d durch veraltete Rohrsysteme werden durch die neue Pumpstation PS Warteköppel gefaßt. Die Erweiterung von WF Blauer Bruch durch Vertiefung des Brunnens oder Neubohrung weiterer Brunnen ist wegen der ungünstigen geologischen Verhältnisse nicht möglich. Durch die Verringerung des Eintrags von Nitrat in das Grundwasser ist der Nitratgehalt im Brunnenwasser seit 1990 von etwa 50 mg/l auf etwa 40 mg/l gesunken (PETER 1997).

3.1.3 WF Mühlenberg

WF Mühlenberg (Br Mühlenberg) steht ca. 4 km ost-südöstlich Bad Wildungen in den Schichten der Detfurth- und Volpriehausen-Folgen des Mittleren Buntsandsteins, im Elimer Graben bzw. Graben von Wenzigerode (s. KULICK 1998). Die Basis der Bohrung erreichte in den letzten 13 Bohrmeter die Waldeck-Folge des unteren Buntsandsteins (HLFB 1984). Der Brunnen hat eine Fassungstiefe von 130 m. Auf der gesamten Bohrstrecke wurde Filterkies geschüttet. Durch intensive tektonische Bewegungen ist das Buntsandsteingebirge in der Randstaffelzone in kleine Schollen zerstückelt. Ein großflächiges Einzugsgebiet fehlt. Aus hydrogeologischer Sicht ist daher die Gewinnung von Grundwasser in der Randstaffelzone ungünstig. Br Mühlenberg darf täglich maximal mit einer Förderrate von $maxQ_d = 768$ m³/d gefahren werden. Der Brunnen fördert ein überwiegend hydrogenkarbonatisches, normal erdalkalisches Süßwasser.

Seit 1979 ist die Förderleistung des Brunnens kontinuierlich gesunken. Der Ruhewasserspiegel ging gleichzeitig zurück. Bei einem 1994 durchgeführten Pumpversuch betrug die Förderleistung des Brunnens nur noch $\max Q_d$ ca. $311 \text{ m}^3/\text{d}$, der Ruhewasserspiegel lag nach über 48 Stunden Standzeit $85,0 \text{ m u. MP}$. 1977 wurde noch ein Ruhewasserspiegel nach einem Pumpversuch und 48 Stunden Standzeit von $25,1 \text{ m u. MP}$ gemessen. Das Wasser ist stark sandführend. Der Rückgang der Förderleistung mit gleichzeitiger Senkung des Ruhewasserspiegels deutet beim Brunnen Mühlenberg auf einen verminderten Grundwasserzustrom. Vermutlich sind das Wassereinzugsgebiet kleiner als erwartet und die Grundwasserneubildung geringer als geschätzt. Der Brunnen wird wegen der starken Sandführung im Brunnenwasser regelmäßig regeneriert. Das mittlere Dargebot von Br Mühlenberg wird derzeit mit mQ_d ca. $310 \text{ m}^3/\text{d}$ angesetzt.

3.1.4 WF Naumburger Graben

WF Naumburger Graben besteht aus drei Brunnen, die 2 bis 4,5 km südlich Naumburg liegen (HORN & KULICK 1969, HORN & RÖSING 1971, HLFB 1971, HLFB 1977a). Die Brunnen stehen in einer etwa 300 bis 1.000 m breiten und kleinräumig zerstückelten Grabenrandscholle, zwischen der Königshagener Scholle im Westen und dem Naumburger Graben im Osten. Br II und III Naumburg setzen in der Hardeggen-Folge und Br I Naumburg in der Solling-Folge an. Unterer Muschelkalk des Naumburger Grabens grenzt östlich an die Grabenrandscholle. Zwischen dem Graben und Grabenrandscholle streichenden entlang der Hauptverwerfung stellenweise Tonsteine des oberen Buntsandsteins aus. Westlich der Grabenrandscholle schließt die Königshagener Scholle mit der Volpriehausen-Wechselfolge an.

Br I Naumburg ist 151 m tief und reicht von der Schichtenfolge der Karlshafen- und Trendelburg-Schichten der Solling-Folge bis in den Detfurth-Ton. Br II Naumburg ist 160 m tief und reicht von der Hardeggen-Folge bis in die Volpriehausen-Wechselfolge. Br III Naumburg ist 161 m tief und reicht wie Br II Naumburg, von der Hardeggen-Folge bis in die Volpriehausen-Wechselfolge. Die Brunnen haben ein gemeinsames mittleres Dargebot von täglich mQ_d ca. $1.750 \text{ m}^3/\text{d}$. Die Brunnen fördern ein normal erdalkalisches, überwiegend hydrogenkarbonatisches Süßwasser. Mittels der Brunnen werden vorwiegend Schüttungsschwankungen der Wasserfassung Großer Brunnen kompensiert.

Zwischen 1986 und 1995 wurde das bewilligte Dargebot von $Q_d = 2.500 \text{ m}^3/\text{d}$ im Mittel nur zu 43 % ausgeschöpft, weil das nutzbare Grundwasserreservoir der Brunnen geringer als erwartet ist und die Brunnen vorwiegend zur saisonalen Kompensation bei geringen Schüttungen der Wasserfassung WF Großer Brunnen und WF Waldquellen benötigt werden. Die Erweiterung der Wasserfassung WF Naumburger Graben durch einen weiteren Brunnen ist nicht möglich. Bei einer Vertiefung von Br I Naumburg um etwa 100 m könnte der Aquifer des Volpriehausen-Sandsteins erschlossen werden.

3.1.5 WF Sölzer Wiese

Br II Anraff der WF Sölzer Wiese steht in den Schottern im Edertal, 4 km nördlich Bad Wildungen, zwischen den Ortschaften Giflitz und Anraff (s. HORN et al. 1973a). Die Eder strömt ca. 250 m westlich am Brunnen vorbei. Br II Anraff wurde in eine N-S verlaufende Kiesrinne niedergebracht. In der Brunnenbohrung von 1965 wurden unter 0,2 m Auelehm 8,2 m mächtige Grobkiese erschlossen. Diese bestehen vorwiegend aus Kieselschiefer und lagern auf schluffigen Sandstein des Unteren Buntsandsteins. Der Brunnen fördert ein normal erdalkalisches, überwiegend hydrogencarbonatisches als auch ein hydrogencarbonatisches bis sulfatisches Grundwasser.

1991 wurde zur Klärung der hydraulischen Verhältnisse im Fassungsgebiet des Brunnens von der BKW Grundwassermeßstellen zwischen Anraff und Giflitz eingerichtet und vom 13.03. bis 16.04.1992 ein Pumpversuch gefahren (HLfB 1990, 1992). Bei abgeschalteten Brunnen strömt das Grundwasser im Schotterkörper aus W bis NW über den Brunnen hinweg der Eder zu. Der GW-Zustrom aus NW entstammt vorwiegend dem Schotterkegel der Wese, die zwischen Bergheim und Giflitz in das Edertal mündet. Von Westen drückt das Grundwasser aus dem verkarsteten Deckgebirge in die Schotter. Der Zustrom aus W bis NW blieb bei maximaler GW-Absenkung im Brunnen bestehen. Durch die Ausdehnung des Absenkungstrichters infiltrierte zusätzlich Wasser der Eder in den Aquifer (Leckage). Der Absenkungstrichter hat eine ovale Form. Seine Längsausrichtung verläuft NNW-SSE, entlang der Kiesrinne. Durch Starkregenereignisse bedingt schwankte der Wasserspiegel im Brunnen. Bei einer Förderleistung von 40 m³/h beharrte der Wasserspiegel bei 3,90 m u. MP. Nach HGN HYDROGEOLOGIE GMBH (1994) kann aus dem Br II Anraff im Mittel täglich eine Grundwassermenge von $mQ_d = 1.200 \text{ m}^3$ gefördert werden. Die Spitzenentnahme liegt bei $\max Q_d$ ca. $1.500 \text{ m}^3/\text{d}$. Langfristig sollte diese Grundwassermenge durch zwei Brunnen gefördert werden.

Im Dauerbetrieb hängt die Förderleistung des Brunnens von der Infiltrationsrate an Ederwasser in den Aquifer und damit von der Bewirtschaftung der Eder durch die Edertalsperre im Oberlauf ab. Infolge der wasserbaulichen Begradigung der Eder und der Unterbrechung der Schotternachfuhr durch die Edertalsperre, schneidet sich der Fluß in sein Bett ein. Damit sinken zunehmend der Wasserstand der Eder und die Infiltration in den Aquifer des Brunnens. Die Förderleistung von Br Anraff II sollte daher auf den Wasserstand der Eder abgestimmt werden. Nach der Erlaubnis nach § 9 a WHG (1986) hat Br II Anraff ein Dargebot von $mQ_d = 1.036 \text{ m}^3/\text{d}$ und eine kurzzeitige Spitzenentnahme von $\max Q_d = 1.200 \text{ m}^3/\text{d}$. Wegen der Bebauung in den Gemeinden Anraff und Giflitz ist es nicht möglich WF Sölzer Wiese durch weitere Brunnen zu erweitern. Br I Anraff wurde wegen Zutritt haliner Wässer stillgelegt.

3.1.6 Wasserfassung Waldquellen

Zur WF Waldquellen gehören Qu Lembachsteich (1 Quellschacht), Qu Ochsenhude (8 Quellschächte), sowie Qu Schlagbrunnen (1 Quellschacht). Die drei Quellen sind an die verfaltete Schichtenfolge des Hahnberg-Sandsteins (Mittel-Devon) gebunden (s. FÜTTERER 1966). Die Quellen treten bevorzugt in Tallagen aus, wo Querstörungen den Hahnberg-Sandstein verwerfen. Die Waldquellen haben ein gemeinsames mittleres Dargebot von mQ_a ca. $800 \text{ m}^3/\text{d}$. Die minimale Schüttung beträgt $\text{min}Q_d$ ca. $150 \text{ m}^3/\text{d}$, die maximale Schüttung liegt bei $\text{max}Q_d$ ca. $1.350 \text{ m}^3/\text{d}$. WF Waldquellen fördert etwa 10 % des Dargebots für Bad Wildungen. Das Quellwasser der WF Waldquellen ist ein normal erdalkalisches, überwiegend hydrogencarbonatisches Süßwasser.

Qu Lembachsteich

Die Qu Lembachsteich besteht aus einem Quellschacht, dem Sickerleitungen in 2 bis 4 m Tiefe Grundwasser zuführen. Die Quelle liegt etwa 1,7 km nordöstlich ST Hundsdorf unter Wald. Das gefaßte Quellwasser läuft über einen Schieberschacht in eine Hauptleitung zum HB Waldhaus.

Qu Ochsenhude

1,2 km westlich ST Hundsdorf liegen im Quellgebiet des Talgrabens die 8 Quellschächte der Qu Ochsenhude. Die Sickerleitungen leiten 2 bis 4 m u. GK das Quellwasser über die Quellschächte in einen Sammelschacht. Von hier aus läuft das Quellwasser im freien Gefälle über einen Schieberschacht bis HB Waldhaus.

Qu Schlagbrunnen

Die Qu Schlagbrunnen liegt im Talgraben zwischen Bad Wildungen und ST Hundsdorf, nördlich Nickelskopf. Die Quelle tritt am nördlichen Hangfuß des Nickelskopfs aus. Der Quellaustritt ist mit Schottern des wenige Meter westlich vorbei fließenden Bachs bedeckt. Das Quellwasser strömt durch 2 bis 4 m tief liegende Sickerstränge über den Quellschacht und den Schieberschacht der Waldquellen in die Hauptleitung zum HB Waldhaus.

Durch die intensive Verfältelung des Hahnberg-Sandsteins sind die Aquifer der Waldquellen derart begrenzt, daß die Wasserfassung nicht erweitert werden kann.

3.2 Wasserfassungen im Versorgungsgebiet Stadtteile

3.2.1 WF Armsfeld

WF Armsfeld liegt 1,5 km westlich von ST Armsfeld. Sie besteht aus vier Quellen, von denen Qu IV wegen mikrobieller Verunreinigung und Quelle III wegen mangelnder Ergiebigkeit stillgelegt sind. Die Quellschächte von Qu I und Qu II stehen im Diabas und Aschkoppen-Sandstein (Ober-Devon) unter Wald (s. AHRENDT 1965). Die Schächte fassen das Grundwasser im Mittel aus 2,5 m Tiefe. Qu I und Qu II Armsfeld haben ein mittleres Dargebot von mQ_d ca. $20 \text{ m}^3/\text{d}$. Die minimale Schüttung beträgt $\text{min}Q_d$ ca. $11 \text{ m}^3/\text{d}$, die maximale Schüttung liegt bei $\text{max}Q_d$ ca. $64 \text{ m}^3/\text{d}$. Qu I fördert ein normal erdalkalisches, überwiegend hydrogenkarbonatisches Süßwasser, Qu II schüttet ein normal erdalkalisches, hydrogenkarbonatisches bis sulfatisches Süßwasser. Qu I und Qu I Armsfeld versorgen ST Armsfeld mit Trinkwasser. Zur Bedarfsdeckung wird ST Armsfeld zusätzlich mit Wasser aus WF Auenberg versorgt.

3.2.2 WF Auenberg

WF Auenberg (Br Auenberg) liegt ca. 1,5 km nordöstlich von ST Armsfeld am Südosthang des Auen-Bergs, im oberen Kohlbachtal. Der Brunnen hat eine Fassungsstiefe von 215 m u. GOK und steht am Ostrand der Böhmerland-Schuppe der Schuppenzone des Auen-Bergs. Die Brunnenbohrung durchteuft gut geklüfteten Diabas, Aschkoppen-Sandstein und oberdevonische Schiefer (s. BEIERSDORF 1965, s. SCHNEIDER 1965). Die Bohrung hat die Wildunger Überschiebung nicht erreicht. Br Auenberg hat mit einem Dargebot von $mQ_d = 300 \text{ m}^3/\text{d}$ für Schiefergebirgsverhältnisse eine gute Förderleistung. Durch die Aufwölbung des nördlichen Kellerwalds sind die Trennfugen im mittleren Stockwerk (MEISCHNER 1966) gut aufgelockert, so daß der Brunnen weitreichend das Grundwasser erschließt. Br Auenberg fördert ein normal erdalkalisches, überwiegend hydrogenkarbonatisches Süßwasser. Durch eine Aufbereitung werden gelöstes Eisen und Mangan ausgefiltert. Aus dem Br Auenberg werden ST Armsfeld, ST Bergfreiheit und ST Odershausen versorgt.

3.2.3 WF Bergfreiheit

ST Bergfreiheit wird aus WF Bergfreiheit und WF Auenberg versorgt. Hochzone Bergfreiheit wird ausschließlich Wasser aus HB Auenberg zugeführt. Tiefzone Bergfreiheit bekommt Trinkwasser aus HB Bergfreiheit. Durch eine Verbindungsleitung kann HB Bergfreiheit durch Wasser aus HB Auenberg ergänzt werden. WF Bergfreiheit (Qu Lochborn) liegt am westlichen Ortsrand von ST Bergfreiheit (s. BEIERSDORF 1965). Qu Finstertal wurde stillgelegt, weil das Wasser mit Keimen belastet ist. In den Quellschacht von Qu Lochborn strömt Grundwasser aus einem Stollensystem zwischen Auen-Berg und Bergfreiheit. Qu Lochborn hat ein mittleres Dargebot von mQ_d ca. $60 \text{ m}^3/\text{d}$. Die minimale Schüttung liegt bei $\text{min}Q_d$ ca. $21 \text{ m}^3/\text{d}$, die maximale

Schüttung beträgt $\max Q_d$ ca. $150 \text{ m}^3/\text{d}$. Die Quelle fördert ein normal erdalkalisches, hydrogenkarbonatisches Süßwasser.

3.2.4 WF Braunau

Der 1967 abgeteufte Br Braunau steht 1,7 km südlich von ST Braunau in unterkarbonischen Ton- und Kieselschiefern, am Ostrand der Schuppenzone des Auen-Bergs (s. SCHNEIDER 1965). Die unterkarbonischen Kieselschiefer streichen östlich der Wolfswinkel-Schuppe etwa 250 m breit zwischen Katzenköppl im Norden und Haardt-Berg im Süden aus. Das breite Ausstreichen der Kieselschiefer deutet darauf hin, daß die Kieselschiefer in der Umgebung von Br Braunau einem tektonischen Ausgleichsstockwerk angehören (MEISCHNER 1966), das zwischen der Schuppenzone des Auen-Bergs im Westen und dem Schuppenstapel aus Tonschiefern und Diabasen im Osten liegt. Die wirt verfalteten und gut geklüfteten Kieselschiefer sind in ihrer weiten Ausbreitung ein ergiebiger Kluftgrundwasserleiter. Br Braunau ist 65,0 m tief und steht in Verlängerung einer aus W-SW kommenden Verwerfung. Der Brunnen hat ein Dargebot von $mQ_d = 180 \text{ m}^3/\text{d}$. Der Brunnen fördert ein normal erdalkalisches, überwiegend hydrogenkarbonatisches Grundwasser.

Qu Braunau wurde wegen mangelnder Schüttung stillgelegt.

3.2.5 WF Frebershausen

ST Frebershausen wird mit Wasser aus Br Frebershausen versorgt. Brunnen und Hochbehälter liegen am südöstlichen Ortsausgang von ST Frebershausen, am Südwesthang des Anna-Margaret-Köppels (s. GEISSLER 1965). Der Brunnen wurde in einer geologischen, NW-vergente Mulde abgeteuft. Die Muldenachse fällt schwach nach NW ein. Im Kern der spezialverfalteten Mulde stehen am Top des Anna-Margaret-Köppels unterkarbonische Kieselschiefer an. Die Bohrung von Br Frebershausen durchteuft unter 2 m mächtigen Hangschottern den klüftigen oberdevonischen Aschkoppen-Sandstein bis 102 m u. GK. Die Bohrung liegt etwa 50 m nordöstlich einer NW-SE streichenden Verwerfung. Südwestlich der Verwerfung stehen schlecht durchlässige Grauwacken und Tonschiefer des Unter-Karbons an. Das bewilligt Dargebot des Brunnens beträgt $mQ_d = 58,9 \text{ m}^3/\text{d}$. Der Brunnen fördert ein normal erdalkalisches, überwiegend hydrogenkarbonatisches Grundwasser.

Qu Frebershausen wurde wegen mikrobieller Belastung und mangelnder Ergiebigkeit stillgelegt.

3.2.6 WF Hüddingen

WF Hüddingen (Br Hüddingen) liegt ca. 0,8 km west-südwestlich von ST Hüddingen. Br Hüddingen steht im Tal zwischen Katzenhecke im Norden und Bilsenkopf im Süden, an einer tektonischen Stockwerksgrenze (s. FÜTTERER 1966). Südöstlich des Brunnens streichen gering-durchlässige Tonschiefer (Mittel-Devon) und klüftiger Hahnberg-Sandstein (Mittel-Devon) des Hundsdorfer Gewölbes (unteres Stockwerk) aus. Die Brunnenbohrung wurde mit einem Durchmesser von 311 mm im gut geklüfteten mittleren Stockwerk bis 82 m u. GK abgeteuft. Das mittlere Stockwerk besteht hier aus oberdevonischen Schiefen, Aschkoppen-Sandstein und Diabasen. Die Stockwerksgrenze ist intensiv beansprucht, zerrüttet und daher gut wasserführend. Der Brunnen hat ein maximales Dargebot von $\max Q_d = 108 \text{ m}^3/\text{d}$. Wegen des geringen Bedarfs wurde die bewilligte Entnahmemenge auf $\max Q_d = 30 \text{ m}^3/\text{d}$ reduziert. Br Hüddingen fördert ein normal erdalkalisches, überwiegend hydrogenkarbonatisches Grundwasser.

Die 1936 gebaute Qu Hüddingen (50 m Stollenentwässerung), 0,8 km nordöstlich von ST Hüddingen ist wegen ihres geringen Dargebots stillgelegt.

3.2.7 WF Hundsdorf

WF Hundsdorf besteht aus drei Quellen und einem Brunnen:

Qu I Hundsdorf (Qu Rote Bruch, 1 Quellschacht, 1 Sammelschacht),

Qu II Hundsdorf (Qu Gewehrskopf, 1 Quellschacht, stillgelegt),

Br Hundsdorf.

Qu I Hundsdorf

Qu I Hundsdorf liegt ca. 0,5 km südwestlich von ST Hundsdorf, am Hang der Großen Aschkoppe (s. Fütterer 1966). Die Quelfassung steht am Waldrand auf einer Wiese. Der Quellschacht faßt das Grundwasser mittels dreier Sickerstränge mit Längen von 10 bis 12 m, in ca. 2,6 m u. GK, aus den Schiefen des Mittel-Devons im unteren tektonischen Stockwerk. Das Einzugsgebiet der Qu I Hundsdorf liegt S-SW der Quelle, zwischen Hegewald und Große Aschkoppe, vorwiegend im gut klüftigen mittleren Stockwerk mit Aschkoppen-Sandstein und Diabas. Das Grundwasser sickert durch die zerrüttete Stockwerksgrenze und strömt oberflächennah durch die aufgelockerten Schiefer der Quelle zu. Die minimale Schüttung von Qu I beträgt $\min Q_d$ ca. $20 \text{ m}^3/\text{d}$, maximale Quellschüttung liegt bei $\max Q_d$ ca. $60,4 \text{ m}^3/\text{d}$. Qu I Hundsdorf fördert ein normal erdalkalisches, überwiegend hydrogenkarbonatisches Süßwasser.

Die Fördermengen aus Qu I und Qu III werden im HB Hundsdorf gemessen. Der Überlauf beider Quellen wird gemeinsam bestimmt und vor den Eingangszählern abgeleitet. Nach Schätzungen haben beide Quellen ein gemeinsames mittleres Dargebot von $m Q_d$ ca. $70 \text{ m}^3/\text{d}$. Die gemeinsame minimale Schüttung liegt bei $\min Q_d$ ca. $56 \text{ m}^3/\text{d}$. Die gemeinsame maximale Schüttung beträgt $\max Q_d$ ca. $250 \text{ m}^3/\text{d}$. Das bewilligte Dargebot liegt für beide Quelfassungen zusammen bei $\max Q_d = 65 \text{ m}^3/\text{d}$.

Qu II Hundsdorf

Qu II Hundsdorf liegt im Wald am Hang der Großen Aschkoppe, ca. 1 km süd-südwestlich von ST Hundsdorf (s. AHRENDT 1965). Die Quelle ist an eine Zerrüttungszone (Stockwerkgrenze) gebunden, deren brekziierte Gesteine bis zu mehrere Meter mächtig sind. Über der Zerrüttungszone lagert gut durchlässiger Aschkoppen-Sandstein durchsetzt mit Diabasen. Im Liegenden dichten Schiefer des Mittel-Devons den Aschkoppen-Sandstein nach unten ab. Die infiltrierenden Niederschläge sickern durch das klüftige Gestein bis zur Zerrüttungszone und strömen über den Schiefen, bevorzugt entlang Verwerfungen. Zahlreiche Quellen am Hang der Großen Aschkoppe sind an die ausstreichende Stockwerkgrenze gebunden. Hierzu gehört neben Qu II Hundsdorf auch Qu III Hundsdorf. Zwei Sicker galerien in 1,5 bis 2,0 m u. GK mit 60 m Länge leiten das Grundwasser aus der Zerrüttungszone dem Quellschacht der Qu II zu. Das minimale Dargebot der Quelle liegt bei $\min Q_d$ ca. $10 \text{ m}^3/\text{d}$, die maximale Schüttung beträgt $\max Q_d$ ca. $51,8 \text{ m}^3/\text{d}$. Das Quellwasser ist wegen der flachgründigen Fassung hygienisch beeinträchtigt. Deshalb wurde die Quelle stillgelegt. Durch eine tiefere Neufassung der Sickerstränge oder eine Horizontalbohrung könnte das Quellwasser aus der Stockwerkgrenze besser gefaßt werden. Ein erneuter Anschluß der Qu II Hundsdorf könnte im Zusammenschluß mit Qu I und Qu III Hundsdorf den Wasserbedarf für Hundsdorf langfristig sichern.

Qu III Hundsdorf

Qu III Hundsdorf liegt ca. 2 km südlich ST Hundsdorf am Südosthang der Großen Aschkoppe, in der Gemarkung Löhlbach (s. AHRENDT 1965). Die geologische Lage ähnelt der Qu II Hundsdorf. Zwei Sickerstränge mit einer Länge von 10 bis 12 m fassen das Quellwasser aus ca. 2,4 m u. GK. Die minimale Schüttung der Quelle liegt bei $\min Q_d$ ca. $36,5 \text{ m}^3/\text{d}$, die maximale Schüttung beträgt $\max Q_d$ ca. $60,4 \text{ m}^3/\text{d}$. Qu III Hundsdorf fördert ein normal erdalkalisches, überwiegend hydrogenkarbonatisches Süßwasser.

Br Hundsdorf

Br Hundsdorf wurde 1982 zur Verbesserung der Wasserversorgung von ST Hundsdorf östlich Qu I Hundsdorf niedergebracht (s. FÜTTERER 1966). In Trockenzeiten betrug das Wasserdefizit von ST Hundsdorf ca. $50 \text{ m}^3/\text{d}$. Da lediglich geringe Wassermengen zur Deckung des Wasserdefizits benötigt wurden, empfahl das HLFB (1981) eine Brunnenbohrung unmittelbar östlich bis nordöstlich der Qu I Hundsdorf anzusetzen. Die Bohrung sollte die wenig ergiebigen, sandigen Tonschiefer des Mittel-Devons 100 m tief durchteufen. Wegen des niedrigen Erschließungsziels erschien diese Maßnahme gerechtfertigt. Das Dargebot von Br Hundsdorf beträgt $\max Q_d = 60 \text{ m}^3/\text{d}$. Der Brunnen fördert ein normal erdalkalisches, überwiegend hydrogenkarbonatisches Grundwasser. Die erhöhten Eisen- und Mangangehalte des Brunnenwassers stammen vermutlich aus der Verwitterung von Pyrit der erbohrten Tonschiefer. Das Brunnenwasser muß vor Gebrauch als Trinkwasser mittels einer Anlage zur Enteisung und Entmanganung aufbereitet werden.

Nachdem Leitungsverluste zwischen Qu III Hundsdorf und HB Hundsdorf behoben wurden, wird das Wasser des Brunnens derzeit nicht mehr benötigt. Durch die Sanierung von Qu II Hundsdorf könnte ST Hundsdorf seinen Wasserbedarf langfristig aus den Quellen decken.

3.2.8 WF Mandern

Qu Mandern liegt im Tal des Mittelscheids-Bachs, ca. 2 km südwestlich von ST Mandern (s. KULICK 1998). Die Quelle liegt am östlichen Rand des Elimer Grabens (Graben von Wenzigerode) und ist an eine NNW-SSE streichenden Verwerfung gebunden. Im Graben stehen vorwiegend Schichten des mittleren Buntsandsteins an. Westlich und östlich des Grabens streichen Schichtenfolgen des unteren Buntsandsteins aus. Der mittlere Buntsandstein ist generell besser wasserwegsam als der untere Buntsandstein. Das in den Graben infiltrierte Wasser sickert bis zur Grabenrandverwerfung und dringt dort im tiefsten Taleinschnitt in die Bachschotter auf. Qu Mandern gewinnt das Grundwasser aus den Bachschottern. Der Oberlauf des Mittelscheids-Bachs fließt wenige Meter westlich an der Quellfassung vorbei. Die Quellfassung besteht aus zwei Schächten, denen das Grundwasser über mehrere Sickerstränge in einer Tiefe von etwa 2 m u. GK einströmt. Das Einzugsgebiet der Quelle liegt unter Wald. Das mittlere Dargebot der Quelle beträgt mQ_d ca. $98 \text{ m}^3/\text{d}$. Die minimale Schüttung liegt bei $\text{min}Q_d$ ca. $70 \text{ m}^3/\text{d}$, die maximale Schüttung beträgt $\text{max}Q_d$ ca. $110 \text{ m}^3/\text{d}$. Qu Mandern schüttet ein erdalkalisches, überwiegend hydrogencarbonatisches Süßwasser mit höherem Alkaliengehalt.

Br Mandern wurde wegen der Überschreitung der Grenzwerte für Trübung, Färbung und Eisen-gehalt sowie aufgrund der hohen Carbonat-Härte des Brunnenwassers außer Betrieb genommen. Wegen der geringen Förderleistung des Brunnens und wegen der Lage des Brunnens am Ortsrand von Mandern, hat die BKW auf die Sanierung des Brunnens verzichtet.

3.2.9 WF Odershausen

WF Odershausen (Br Odershausen) liegt am südwestlichen Ortsausgang von ST Odershausen, im Tal des Kalteborns-Bachs (s. SCHNEIDER 1965). Der Kalteborns-Bach fließt nur wenige Meter südöstlich am Brunnen vorbei. Br Odershausen steht in einer tektonischen Schuppe, die im Fassungs-bereich des Brunnens durch eine Verwerfung zerrüttet ist. Die Verwerfung quert das Tal des Kalteborns-Bachs und streicht NNW-SSE. Nördlich des Brunnens verwirft die Störung Diabas im Westen gegen oberdevonischen Aschkoppen-Sandstein im Osten. Südlich des Brunnens durchläuft die Verwerfung den Aschkoppen-Sandstein, bis sie westlich von Dickers-Berg in das Tal des Dörnbachs mündet und die östlich anliegende Schuppe quert. Brekzierter Aschkoppen-Sandstein streicht entlang der Störung zwischen Koppe und Dickers-Berg aus. Im Fassungs-bereich von Br Odershausen bedecken Schotter den Talgrund. Br Odershausen hat eine Fassungs-tiefe von 14,6 m u. BK und reicht durch die Schotter bis in die Zerrüttungszone.

Br Odershausen hat ein Dargebot von $\max Q_d = 90 \text{ m}^3/\text{d}$. Der Brunnen fördert ein normal erdalkalisches, überwiegend hydrogenkarbonatisches Süßwasser.

Die Vertiefung des Brunnens, um höhere Fördermengen aus dem Kluffgrundwasserleiter zu gewinnen, ist nicht ratsam. Es besteht die Gefahr, daß kohlenensäurehaltige Mineralwässer erschlossen werden. Ca. 1,2 km NNW von Br Odershausen ist die Talquelle des hessischen Staatsbades Bad Wildungen an dieselbe Zerrüttungszone gebunden.

3.2.10 WF Wega

WF Mandern (Qu Mühlenberg) liegt 2,5 km südlich von ST Wega, im Tal zwischen Mühlen-Berg und Wolfshagen. Qu Mühlenberg ist an einer westlichen Randverwerfung des Elimer Grabens gebunden (s. HORN et al. 1973a). Das Quellwasser stammt vermutlich aus den grobkörnigen Sandsteinen des Mühlen-Bergs, südlich der Quellfassung. Das Einzugsgebiet der Quelle liegt unter Wald. Das Quellwasser wird durch Sickerstränge in etwa 1,5 bis 2,3 m u. GK gefaßt. Die Quellfassung hat ein mittleres Dargebot von mQ_d ca. $35 \text{ m}^3/\text{d}$. Die minimale Schüttung liegt bei $\min Q_d$ ca. $22 \text{ m}^3/\text{d}$, die maximale Schüttung beträgt $\max Q_d$ ca. $60 \text{ m}^3/\text{d}$. Die Quelle schüttet ein normal erdalkalisches, überwiegend hydrogenkarbonatisches Süßwasser.

4 Bilanzen der Wasserversorgung von Bad Wildungen

Die jährliche Wasser-Abgabe (verkaufte Wassermenge) an Bad Wildungen ist von 1970 mit $1.153.298 \text{ m}^3/\text{a}$ bis 1993 auf ein Maximum von $2.013.515 \text{ m}^3/\text{a}$ gestiegen und anschließend bis 1999 wieder auf eine Menge von $1.625.477 \text{ m}^3/\text{a}$ gesunken (Abb. 7). Von 1970 bis zur ersten „Kurkrise“ in 1977 hat sich der Verbrauch jährlich um ca. 88.000 m^3 erhöht. Von 1977 bis zur zweiten „Kurkrise“ von 1983 stieg der jährliche Verbrauch um ca. 66.000 m^3 und zwischen 1983 und 1993 erhöhte sich der Verbrauch nur noch im Mittel um ca. $36.000 \text{ m}^3/\text{a}$. Nach dem höchsten Verbrauch in 1993, sank die Verbrauchsmenge bis zur dritten „Kurkrise“ in 1997 jährlich um ca. 40.000 m^3 und ist 1997 nochmals um ca. $250.000 \text{ m}^3/\text{a}$ zurück gegangen. Seit 1997 schwankt der Wasserverbrauch um $1.600.000 \text{ m}^3/\text{a}$.

Die geförderte Wassermenge liegt im Mittel um 12 % über der Verkaufsmenge. Die Differenz zwischen Förderung und Verkauf ist der Verlust, der durch Filterspülung, Leckagen im Rohrnetz, fehlende Verbrauchsmessungen und scheinbar durch Fehlmessungen entsteht.

1993 hat der Wasserverbrauch in Bad Wildungen mit einer Menge von $2.013.515 \text{ m}^3$ sein Maximum erreicht. Bei einer Einwohnerzahl von rund 20.000 liegt der spezifische Wasserverbrauch einschließlich Industrie im gesamten Stadtgebiet von Bad Wildungen damit im Mittel bei 276 l/Ed . Während der spezifische Verbrauch im Versorgungsgebiet der Stadtteile ca. 130 l/Ed beträgt, berechnet sich dieser im Versorgungsgebiet Kernstadt zu rund 300 l/Ed .

1993 wurde im Versorgungsgebiet Kernstadt eine Wassermenge von etwa 1.610.000 m³ verbraucht. Mit rund 14.500 Einwohnern und einem geschätzten spezifischen Verbrauch von ca. 150 l/Ed, liegt die jährliche Verbrauchsmenge der Einwohner einschließlich Industrie im Versorgungsgebiet Kernstadt bei ca. 800.000 m³. Die verbleibende Verbrauchsmenge von schätzungsweise 810.000 m³ wird durch den intensiven Kurbetrieb (Krankenäuser, Kuranlagen und Hotels) in Bad Wildungen umgesetzt.

Wegen den hohen und stark schwankenden Wasserverbrauch im Kurwesen ist eine zukünftige Verbrauchszunahme nur unter Vorbehalt nach folgenden Annahmen abschätzbar:

- a) Die mittlere jährliche Verbrauchszunahme beträgt zwischen 1970 und 1999 ca. 17.200 m³/a.
- b) Nach der Entwicklung der Einwohnerzahlen von 1989 bis 2000 und einem mittleren angenommenen spezifischen Wasserverbrauch von 150 l/Ed, berechnet sich eine mittlere jährliche Verbrauchszunahme zu ca. 6.500 m³/a.

4.1 Wasserbilanz für das Versorgungsgebiet Kernstadt

Dargebot

Das Wasser-Dargebot ist die für einen Zeitraum nutzbare Menge eines Wasservorkommens. Das Versorgungsgebiet Kernstadt hat ein Gesamtdargebot von $Q_a = 2.378.340 \text{ m}^3/\text{a}$ (Tab.2). Das Spitzendargebot Q_1 (bewilligtes Dargebot der Brunnen und Mindestschüttung der Quellen) liegt bei $Q_1 = 6.210 \text{ m}^3/\text{d}$. Aus dem Dargebot des Versorgungsgebiets Kernstadt werden ST Albertshausen vollständig und teilweise ST Odershausen, ST Mandern und ST Wega versorgt.

Bedarf

Der Wasser-Bedarf ist die benötigte Wassermenge zur ausreichenden künftigen Versorgung. Die mittlere jährliche Bedarfszunahme ab 2000 liegt im Versorgungsgebiet Kernstadt nach der Bevölkerungsentwicklung der letzten zehn Jahre bei ca. 4.100 m³/a (Abb. 8). Durch den rückläufigen spezifischen Wasserverbrauch und den Rückgang des Wasserbedarfs im Kurwesen erscheint die angegebene Zuwachsrate realistisch. Hiernach wird der Bedarf bis 2010 auf Q_a ca. 1.594.000 m³/a bestimmt (Tab. 3). Der Spitzenbedarf wird über den Bedarf nach POSS & HACKER (1991) auf Q_1 ca. 6.000 m³/d berechnet.

Bilanz

Nach der Bilanz in Tab. 3 deckt das Dargebot den ermittelten Bedarf bis über 2010 hinaus. 2010 hat das Versorgungsgebiet Kernstadt noch einen Wasserüberschuß von Q_a ca. 784.000 m³/a, das entspricht einem mittleren Dargebot von Q_d ca. 2.148 m³/d. Auch das Spitzendargebot von $Q_1 = 6.210$ m³/d deckt 2010 den Bedarf von ca. 6.000 m³/d. Nach der vorliegenden Bilanz wird der Wasserbedarf im Versorgungsgebiet Kernstadt bis über das Jahr 2010 hinaus gedeckt.

4.2 Wasserbilanz für das Versorgungsgebiet Stadtteile

Das Versorgungsgebiet Stadtteile hat ca. 1/10 des Gesamtbedarfs von Bad Wildungen. Nach linearer Interpolation über den Bedarf aller Stadtteile, steigt der jährliche Bedarf im Versorgungsgebiet Stadtteile um ca. 3.200 m³/a (Abb. 9). Danach liegt der Bedarf für das Versorgungsgebiet Stadtteile im Jahr 2010 bei etwa 309.000 m³/a. Im Versorgungsgebiet Stadtteile liegt der Spitzenbedarf Q_1 etwa 30 % über dem mittleren Tagesbedarf Q_d . Über den Tagesspitzenfaktor von $f_d = 1,3$ (nach frdl. Mitt. der BKW) berechnet sich daher der Spitzenbedarf für die Wasserbilanz zu $Q_1 = f_d * Q_d$.

ST Albertshausen

ST Albertshausen wird ausschließlich über DE Albertshausen aus dem Versorgungsgebiet Kernstadt versorgt. WF Albertshausen wurde stillgelegt. Nach linearer Extrapolation beträgt die mittlere jährliche Bedarfszunahme ca. 160 m³/a (Abb. 10). Die Bilanz der Wasserversorgung ist durch die Zuspelung aus dem Versorgungsgebiet Kernstadt dauerhaft ausgeglichen (Tab. 4). Die Wasserversorgung von ST Albertshausen ist langfristig gesichert, solange das Dargebot des Versorgungsgebiets Kernstadt ausreicht den Bedarf von ST Albertshausen zu decken.

ST Armsfeld

Der Bedarf von ST Armsfeld wird durch das Dargebot von Qu I und Qu II Armsfeld mit $Q_d = 20$ m³/d ($Q_1 = 11$ m³/d) und von WF Auenberg mit $Q_d = Q_1 = 100$ m³/d gedeckt. Nach linearer Interpolation nimmt der Bedarf in ST Armsfeld jährlich um ca. 6 m³/a zu (Abb. 11). Bei linearer Extrapolation liegt 2010 der Bedarf bei 31 % des Dargebots (Tab. 5). Der Spitzenbedarf Q_1 hat etwa die Hälfte des Spitzendargebots Q_1 . Daher ist der Bedarf von ST Armsfeld bis über 2010 gesichert.

ST Bergfreiheit

Der Bedarf von ST Bergfreiheit wird durch das Dargebot von Qu Lochborn mit $Q_d = 60$ m³/d ($Q_1 = 21$ m³/d) und von WF Auenberg mit $Q_d = Q_1 = 100$ m³/d gedeckt (Tab 6). Nach linearer Interpolation liegt die Bedarfszunahme in ST Bergfreiheit bei ca. 268 m³/a zu (Abb. 12). Der Bedarf von ST Bergfreiheit ist durch das zusätzliche Dargebot von WF Auenberg bis über das Jahr 2010 gesichert. Der Bedarf liegt 2010 bei maximal 46 % des Dargebots.

ST Braunau

Der Bedarf von ST Braunau wird durch das Dargebot von Br Braunau mit $Q_d = Q_1 = 180 \text{ m}^3/\text{d}$ gedeckt. Nach linearer Interpolation nimmt der Bedarf in ST Braunau jährlich um ca. $495 \text{ m}^3/\text{a}$ zu (Abb. 13). Der Bedarf von ST Braunau ist nach linearer Extrapolation bis zum Jahr 2010 gesichert (Tab. 7). Bei weiterer Bedarfszunahme über 2010 hinaus, wird das Dargebot den Bedarf jedoch nicht mehr decken können. Zur langfristigen Bedarfssicherung muß ST Braunau zukünftig entweder zusätzlich mit Wasser über die Versorgungsleitung nach ST Odershausen aus dem Versorgungsgebiet Kernstadt versorgt werden oder seine Wasserefassung um einen Brunnen erweitern.

ST Frebershausen

Der Bedarf von ST Frebershausen wird durch das Dargebot von Br Frebershausen mit $Q_d = 58,9 \text{ m}^3/\text{d}$ ($Q_1 = 86,4 \text{ m}^3/\text{d}$) gedeckt. Nach linearer Interpolation nimmt der Bedarf in ST Frebershausen jährlich um ca. $45 \text{ m}^3/\text{a}$ zu (Abb. 14). Der Bedarf von ST Frebershausen ist bis über das Jahr 2010 gesichert (Tab 8). Der Dargebotsüberschuß Q_d liegt 2010 noch bei ca. 43 % des Dargebots Q_d . Das Spitzendargebot Q_1 deckt mit $86 \text{ m}^3/\text{d}$ den Spitzenbedarf von ca. $43 \text{ m}^3/\text{d}$.

ST Hüddingen

Der Bedarf von ST Hüddingen wird durch das Dargebot von Br Hüddingen mit $Q_d = Q_1 = 30 \text{ m}^3/\text{d}$ gedeckt. Nach linearer Interpolation nimmt der Bedarf in ST Hüddingen jährlich um ca. $2 \text{ m}^3/\text{a}$ ab (Abb. 15). Der Bedarf von ST Hüddingen ist langfristig gesichert. 2010 beträgt der Bedarf ca. 40 % des Dargebots (Tab. 9).

ST Hundsdorf

Der Bedarf von ST Hundsdorf wird durch das Dargebot von Qu I und Qu III Hundsdorf mit $Q_d = 65 \text{ m}^3/\text{d}$ ($Q_1 = 56 \text{ m}^3/\text{d}$) gedeckt. Nach linearer Interpolation liegt die Bedarfszunahme in ST Hundsdorf bei jährlich ca. $25 \text{ m}^3/\text{a}$ (Abb. 16). Der Bedarf von ST Hundsdorf ist bis über 2010 gesichert (Tab. 10).

ST Mandern

ST Mandern wird durch das Dargebot von Qu Mandern mit $Q_d = 136 \text{ m}^3/\text{d}$ ($Q_1 = 70 \text{ m}^3/\text{d}$) versorgt. Nach linearer Interpolation nimmt der Bedarf in ST Mandern jährlich um ca. $580 \text{ m}^3/\text{a}$ zu (Abb. 17). Der Bedarf von ST Mandern ist durch die Zuspiesung aus dem Versorgungsgebiet Kernstadt langfristig gesichert, soweit das Dargebot der Kernstadt selbst gesichert ist.

ST Odershausen

ST Odershausen wird durch das Dargebot von Br Odershausen mit $Q_d = 90 \text{ m}^3/\text{d}$ ($Q_1 = 90 \text{ m}^3/\text{d}$), Br Auenberg mit $Q_d = 100 \text{ m}^3/\text{d}$ ($Q_1 = 100 \text{ m}^3/\text{d}$) und Wasser aus dem Versorgungsgebiet Kernstadt mit Q_d ca. $25 \text{ m}^3/\text{d}$ ($Q_1 = 35 \text{ m}^3/\text{d}$), versorgt. Nach linearer Interpolation der Wasserförderung nimmt der Bedarf in ST Odershausen jährlich um ca. $1.260 \text{ m}^3/\text{a}$ zu (Abb. 18). Das Dargebot aus Br Odershausen und Br Auenberg deckt nicht den Bedarf von ST Odershausen. Durch Zuspeisung aus dem Versorgungsgebiet Kernstadt wird die fehlende Dargebotsmenge bereitgestellt. Daher ist die Bilanz bis über 2010 stets ausgeglichen (Tab. 12).

ST Wega

Der Bedarf von ST Wega wird durch das Dargebot von Qu Mühlenberg mit $Q_d = 35 \text{ m}^3/\text{d}$ ($Q_1 = 22 \text{ m}^3/\text{d}$) und Zuspeisung aus dem Versorgungsgebiet Kernstadt gedeckt. Nach linearer Interpolation nimmt der Bedarf in ST Wega jährlich um ca. $296 \text{ m}^3/\text{a}$ ab (Abb. 19). Das Dargebot aus Qu Mühlenberg deckt nicht den Bedarf von ST Wega. Das fehlende Dargebot wird ST Wega aus dem Versorgungsgebiet Kernstadt zugeleitet (Tab. 13). Daher ist die Bilanz stets ausgeglichen und die Versorgung langfristig gesichert.

Die BKW kann derzeit Bad Wildungen und umliegende Stadtteile mit dem bewilligten Dargebot von $Q_1 = 2.266.650 \text{ m}^3/\text{a}$ ausreichend versorgen.

Bei einer anhaltenden mittleren jährlichen Bedarfszunahme zwischen 1983 und 1995 von ca. 30.000 m^3 , hätte die BKW in wenigen Jahren den Bedarf von Bad Wildungen mit den vorhandenen Förderkapazitäten vermutlich nicht mehr decken können. Um Bad Wildungen nach dem Verbrauchsrückgang auch zukünftig aus örtlichen Wasservorkommen zu versorgen, werden hydrogeologische Grundlagen nutzbarer Grundwasservorkommen im Stadtgebiet von Bad Wildungen erarbeitet und Standorte für mögliche, neue Wasserfassungen und deren Dargebotsmengen erkundet.

5 Erkundung nutzbarer Wasservorkommen im Stadtgebiet von Bad Wildungen

5.1 Geologische und hydrogeologische Übersicht

Das Stadtgebiet von Bad Wildungen reicht vom Zentrum des Kellerwalds über die Wildunger Randstaffelzone bis an den Rand der Hessischen Senke (Abb. 20). Das Gebirge wird nach seinem Bau und zu hydrogeologischen Zwecken in folgende strukturenologische Einheiten gegliedert (Abb. 21):

1. Unteres Stockwerk im Hundsdorfer Gewölbe mit Tonschiefer und Hahnberg-Sandstein (vorwiegend Mittel-Devon),
2. Mittleres Stockwerk mit vorwiegend Aschkoppen-Sandstein, Diabase (spilitisierte Basalte, Kieselschiefer (vorwiegend Ober-Devon und tiefes Unter-Karbon),
3. Oberes Stockwerk mit Kulm-Tonschiefer und -Grauwacken (Unter-Karbon),
4. Schuppen aus Tonschiefer mit eingeschalteten Diabasen zwischen Schuppenzone des Auen-Bergs und Ense-Schuppen (Mittel- und Ober-Devon),
5. Kalke und Tonschiefer der Ense-Schuppen (Mittel- und Ober-Devon),
6. Quarzit-Zug des Kellerwalds (Ober-Devon und Unter-Karbon),
7. Deckgebirge (Perm und Trias),
8. Ederschotter (Quartär).

Auf Dreiviertel des Stadtgebiets von Bad Wildungen streichen intensiv gefaltete und verschuppte paläozoische Gesteinsserien aus. Von Hundsdorf bis zur Georg-Viktor-Quelle zwischen Bad Wildungen und Reinhardshausen verläuft der Kern des Hundsdorfer Sattels mit den Serien des unteren tektonischen Stockwerks. Der Sattelkern ist spezialgefaltet und aufgewölbt (Hundsdorfer Gewölbe). Die NE-SW streichende Achse des Hundsdorfer Sattels streicht südwestlich Hundsdorf unter dem mittleren Stockwerk aus und taucht nach NW zunehmend steiler einfallend, mit über 20° an der Georg-Viktor-Quelle unter die Wildunger Überschiebung. Der Hundsdorfer Sattel schließt als norwestvergenter Großsattel mit steilem, überkipptem Nordwestschenkel und flachem, normal gelagertem Südostschenkel südöstlich an die Kulm-Grauwacken der Dill-Eder-Mulde an. Im Kern des Hundsdorfer Sattels stehen im Haarbach-Tal nördlich Hundsdorf und unterhalb der Rummelskoppe östlich Reinhardshausen die ältesten Serien der hohen Ems-Stufe an (MEISCHNER in HORN et al. 1973b: 239; FÜTTERER 1966: 9). Die jüngeren Serien der Eifel- und Givet-Stufe ummanteln die ältesten Serien des Sattels. Die Schiefer des Grossattels sind vorwiegend schlechte Wasserleiter. Der Hahnberg-Sandstein (hohe Ems-Stufe bis mittlere Eifel-Stufe) ist im unteren Stockwerk der einzig nutzbare Grundwasserleiter. WF Waldquellen und die Quellen im Sillbach-Tal (ehem. WF Albertshausen) sind an diesem Grundwasserleiter gebunden. Die spezialgefalteten Serien tauchen am steilen Nordwestschenkel des Großsattels unter die Schichtenfolge des Ober-Devons und Unter-Karbons. Ober-Devon und tiefes Unter-Karbon (Pericyclus-Stufe und Crenistria-Zone) ummanteln als mittleres Stockwerk in großen Faltenzügen zwischen Bad Wildungen und Kleinern das Mittel-Devon des Hundsdorfer Gewölbes. Die Sandsteine, Kieselschiefer und Diabase des mittleren Stockwerks sind für Schiefergebirgsverhältnisse gute Kluffgrundwasserleiter. Br Frebershausen erschließt sein Grundwasser vorwiegend aus dem mittleren Stockwerk, das am Nordwestschenkel des Hundsdorfer Sattels steil unter die Dill-Eder-Mulde taucht. MEISCHNER (1966: 202) gliedert den Nordwest-Flügel des Hundsdorfer Sattels in drei tektonische Stockwerke:

- Unteres Stockwerk mit spezialgefaltete Schiefer des Mittel-Devons mit Hahnberg-Sandstein,
- Mittleres Stockwerk mit langwellig gefaltetem Aschkoppen-Sandstein, z.T. mit Intrusiv-Diabaslagen und spezialgefaltete Ton- und Kieselschiefer (Ober-Devon und tiefes Unter-Karbon),
- Oberes Stockwerk mit kompakten, mächtigen, sehr langwellig gefalteten Grauwacken-Lagen (Unter-Karbon).

Am flachen Südostschenkel des Hundsdorfer Sattels verläuft zwischen Bad Wildungen und Armsfeld die Wildunger Überschiebung. Südöstlich der Überschiebung schließt dem flachen Schenkel des Hundsdorfer Sattels die Schuppenzone des Auen-Bergs an. MEISCHNER (1966: 198) gliedert den Südostflügel des Hundsdorfer Sattels in ebenfalls drei tektonische Stockwerke:

- Unteres Stockwerk mit spezialgefalteten Schiefen des Mittel-Devons,
- starrer, verschuppter Aschkoppen-Sandstein, Tonschiefer des Ober-Devons des mittleren Stockwerks mit mächtigen Diabaslagen und Kulm-Kieselschiefern,
- Oberes Stockwerk mit kompakten, langwellig gefalteten Kulm-Grauwacken mit Kulm-Tonschiefern.

Die einzelnen Schuppen (Duplex-Strukturen) der Schuppenzone des Auen-Bergs sind zwischen Odershausen und Fischbach jeweils aus den gleichen stratigraphischen Einheiten aufgebaut und haben jeweils die gesamte Schichtenfolge des mittleren Stockwerks. An der Basis der Schuppen befinden sich vereinzelt Reste mitteldevonischer Schiefer, darüber folgen Schiefer und Sandsteine des Ober-Devons und am Top lagern unterkarbonische Kieselschiefer, zum Teil überdeckt von Kulm-Tonschiefer. Die Schichtenfolge ist von Diabaslagen durchsetzt. Zwischen Hetscholds Mühle (nördlich Armsfeld) und dem Brunnen Braunau (südlich Braunau) streichen vier Schuppen aus (SCHNEIDER 1965, 1969). Durch die Aufwölbung des Hundsdorfer Sattels rotiert das Streichen der Schuppen zwischen Odershausen und Fischbach aus der NE-SW-Richtung auf NNE-SSW. Die Schichtflächen der Schuppen fallen mit etwa 40° nach Osten ein. An der Basis der Schuppenzone streichen intensiv brekziierte Gesteine der Wildunger Überschiebung aus. Die Wildunger Überschiebung bietet örtlich gute Wasserwegsamkeiten. An die Wildunger Überschiebung sind mitunter auch Mineralquellen in Bad Wildungen gebunden (STEINMETZ 1994, MEISCHNER & STEINMETZ 2000). Das gefaltete mittlere Stockwerk wie auch das verschuppte Pendant, sind durch ihre gute Wasserwegsamkeit ergiebige Kluffgrundwasserleiter. An ddas am flachen Südostschenkel anliegende mittlere Stockwerk sind die Quellen von Armsfeld, Bergfreiheit und die aufgegebenen Quellen von Braunau und Odershausen gebunden. Br Auenberg, Br Braunau, und Br Odershausen gewinnen ihr Wasser ebenfalls aus

den Gesteinen des mittleren Stockwerks. Die Schuppenzone des Auen-Bergs taucht mit dem Hundsdorfer Sattel nach Nordosten ab. Zwischen Bad Wildungen und Odershausen bedecken Kulm-Grauwacken und -Tonschiefer die Schuppenzüge. Die unterkarbonischen Tonschiefer liegen von den Schuppenzügen abgeschert wirt gefaltet und verschuppt als Ausgleichsstockwerk zwischen den Schuppenzügen und den kompakten Grauwacken-Lagen. Das obere Stockwerk ist im Gegensatz zum mittleren Stockwerk ein Grundwasserhemmer und wegen seines geringen Kluftvolumens zur Grundwassererschließung ungeeignet.

An die Schuppenzone des Auen-Bergs schließt südöstlich ein Streifen von Schuppen aus Tonschiefern mit eingeschalteten Diabasen bzw. Diabas-Mandelstein an (SCHNEIDER 1965). Diese lassen sich am besten am Gershäuser Hof und südlich Fischbach kartieren. Die Tonschiefer haben im Gegensatz zu den Diabasen schlechte Durchlässigkeiten. Wegen der unübersichtlichen und kleinräumigen Verschuppung eignet sich der Streifen zwischen Schuppenzone des Auen-Bergs und Ense-Schuppen nicht zur Wassergewinnung.

Zwischen Bad Wildungen und Braunau, zwischen Gershäuser Hof und Urff und am Nordwesthang des Keller-Zugs streichen die Gesteine der Ense-Schuppen aus. Die Serie der mittel- und oberdevonische Kalke und Schiefer hat eine Mächtigkeit von etwa 50 bis 80 m (MEISCHNER 1966: 70). Die Ense-Schuppen ist in sich stark verschuppt und gefaltet (DENCKMANN 1901). Die Ense-Schuppen sind in der konstruierten Senkrechten etwa 200 m mächtig. Der Schuppenstapel streicht variszisch und fällt mit etwa 15 bis 18° nach Südosten ein. Die sehr ergiebigen Wasserfassungen Großer Brunnen und Br Blauer Bruch haben ihr Einzugsgebiet vorwiegend in den Cephalopoden-Kalken.

Der Quarzit-Zug des Kellerwalds schließt südöstlich an die Ense-Schuppen an. Vom Klapperberg über den Braunauer Berg und vom Ort-Berg bis über den Kamm des Keller-Zugs streichen die intensiv gefalteten, verschuppten und zerscherten kieseligen Schiefer und Quarzite des Quarzit-Zugs aus. Diese sind auf Grund ihres hohen Kluftvolumens zur Grundwassererschließung geeignet.

Auf der Linie Waldeck - Bad Wildungen - Zwesten bricht das Kellerwald-Gebirge über die Wildunger Randstaffelzone zur Hessischen Senke ab. Östlich des Abbruchs liegen den variszisch gefalteten Gesteinsserien im Stadtgebiet von Bad Wildungen Sediment des Zechsteins und des Buntsandsteins auf (Deckgebirge). Die Wasserfassung Großer Brunnen liegt im Ca3 des Zechsteins. Dieser drainiert die Ense-Schuppen am Wildunger Abbruch und ist daher als Grundwasserleiter gut nutzbar. Die Schichtenfolge des Mittleren Buntsandsteins wird von Qu Mandern und Qu Mühlenberg sowie von Br Mühlenberg und Br I - Br III Naumburg zur Grundwassergewinnung genutzt. Die Schichtenfolge des Unteren Buntsandsteins ist durch den erhöhten Tonsteinanteil zur Grundwassererschließung ungeeignet.

Nordöstlich Bad Wildungen schneidet sich das Edertal mit seinen Schottern in das Deckgebirge. Durch die Auskiesung der Schotterflächen, durch zahlreiche wilde Mülldeponien und durch ausgewiesene Naturschutzgebiete sind die Wasservorkommen in den Eder-Schottern im Stadtgebiet von Bad Wildungen zur Grundwassergewinnung nur eingeschränkt geeignet. Der ergiebige Br II Anraff gewinnt sein Dargebot aus den Eder-Schottern, denen Eder-Wasser infiltriert.

Die Anteile der 1995 geförderten Wassermengen verteilen sich wie folgt auf die geologischen Einheiten:

1. Unteres Stockwerk	10 %
2. Mittleres Stockwerk	9 %
3. Oberes Stockwerk	0 %
4. Schuppen aus Tonschiefer mit eingeschalteten Diabasen	0 %
5. Ense-Schuppen (mit teilweise Deckgebirge)	41 %
6. Quarzit-Zug	0 %
7. Deckgebirge	25 %
8. Eder-Schotter	15 %

5.2 Klima

Bad Wildungen liegt in der kühlgemäßigten Zone der Waldklimata, mit einem Übergangsklima zwischen ozeanischem und kontinentalem Klima (TROLL & PAFFEN 1964). Das Stadtgebiet von Bad Wildungen dacht vom kuppigen, paläozoischen Grundgebirge im Südwesten zum hügeligen Deckgebirge im Nordosten ab. Die Große Aschkoppe bei Hundsdorf mit 639,8 m NN und der Wüstegarten im Keller-Zug, mit 675,3 m NN bei Bergfreiheit, sind die höchsten Erhebungen der Untersuchungsgebiete. Das Edertal ist mit ca. 180 m NN der tiefste Punkt im Stadtgebiet von Bad Wildungen. Über die Höhendifferenz von rund 500 m ändern sich die klimatischen Verhältnisse. Während das Klima an der Großen Aschkoppe und am Keller-Zug kühl und feucht ist, nehmen mit der Abdachung nach Nordosten die jährlichen Niederschlagssummen ab und die mittlere jährliche Lufttemperatur zu. Im Edertal herrscht ein warmes, trockenes Klima.

Die mittlere jährliche Lufttemperatur liegt im Edertal bei 8 bis 9 °C, an der Großen Aschkoppe und am Keller-Zug bei 6 bis 7 °C (KNOCH 1950). Mit zunehmender Höhenlage und der Abnahme der Lufttemperatur nimmt die Zahl der Frost- und Eistage zu. Die mittlere jährliche Verdunstung beträgt 450 bis 500 mm (KELLER 1978). Keller unterscheidet aus Maßstabsgründen nicht zwischen den unterschiedlichen orographischen Lagen. Jedoch muß davon ausgegangen werden, daß mit zunehmender Höhe und entsprechend abnehmender Lufttemperatur auch die potentielle Evapotranspiration zurückgeht. Daher schätze ich die mittlere jährliche Verdunstung im

Edertal auf etwa 500 mm und an der Großen Aschkoppe und am Keller-Zug auf maximal 450 mm.

Mit zunehmender Höhe nimmt die mittlere jährliche Niederschlagssumme von unter 600 mm im Edertal auf über 800 mm am Keller-Zug (HESSISCHE LANDESANSTALT FÜR UMWELT 1971) zu. Während im Edertal 5 bis 10 % der Niederschläge als Schnee fallen, sind es an der Großen Aschkoppe 15 bis 20 % (KNOCH 1959).

Mit steigender Höhe nimmt die mittlere Zahl der Nebeltage von weniger als 40 in den Niederungen bis zu 40 bis 80 in den Höhenlagen zu. Über der Höhe von 500 m NN nimmt nach meinen Beobachtungen die Häufigkeit der Nebeltage sprunghaft zu. Durch Nebel sinkt die Verdunstung. Von der Vegetation ausgekämmten Nebeltröpfchen erhöhen als Trauf die jährliche Niederschlagshöhe.

Die Differenz zwischen mittlerer jährlicher Niederschlagshöhe und mittlerer jährlicher Verdunstung beträgt im Edertal ca. 100 mm, an der Großen Aschkoppe und am Keller-Zug ca. 350 mm. Mit steigender Höhenlage nimmt die Differenz zwischen Niederschlag und Verdunstung (klimatische Wasserbilanz) zu und damit der Wasserüberschuß für die Grundwasserneubildung.

5.3 Ausgewählte Untersuchungsgebiete

Zur Exploration nutzbare Grundwasservorkommen, habe ich fünf höfuge Untersuchungsgebiete auf ihre Ergiebigkeit untersucht (Abb. 22). In allen Untersuchungsgebieten habe ich geologische Revisionskartierungen durchgeführt. In UG Auen-Berg hat eine Wetterstation meteorologische Kennwerte zur Bestimmung des Wasserhaushalts erfaßt. Zusätzlich habe ich wöchentliche und vierzehntägige Abfluß- und Schüttungsmessungen durchgeführt. Im Untersuchungsgebiet Keller wurde die Ergiebigkeit des Keller-Zugs mittels eines Pumpversuchs getestet.

5.3.1 UG Sillbach

Im Sillbach-Tal, ca. 1,5 km süd-südwestlich von Albertshausen liegen die Quellschächte der ehemaligen Wasserfassung Albertshausen. Die Quellen wurden wegen mangelnder Ergiebigkeit und wegen bakterieller Verunreinigung stillgelegt. Die Quellen sind am Hahnberg-Sandstein als Hauptgrundwasserleiter des unteren Stockwerks gebunden.

5.3.1.1 Geologische und hydrogeologische Lage (Anl. 1, Anl. 2)

UG Sillbach liegt im Zentrum des Hundsdorfer Gewölbes, im unteren tektonischen Stockwerk (MEISCHNER 1966, 1991). Die mittel-devonischen Tonschiefer und Sandsteine sind kleinräumig

spezialgefaltet. FÜTTERER (1966), MEISCHNER (1966) und MEISCHNER in Horn et al. (1973a, b) gliedern das Unter- und Mittel-Devon des Hundsdorfer Gewölbes in vier lithologische Einheiten:

- Gyroceratites-Schiefer (obere Ems-Stufe),
- Dachschiefer der Wissenbacher Fazies (untere bis obere Eifel-Stufe),
- Hahnberg-Sandstein-Wechselfolge (obere Eifel-Stufe),
- Bänderschiefer (Givet-Stufe).

Die Dachschiefer vom Typ Wissenbacher Schiefer sind die ältesten Gesteine im Untersuchungsgebiet. Es sind dunkelgraue bis schwarze Tonschiefer, die beim Verwittern zu gelbem, lehmigen Grus zerfallen. Sie sind feinkörnig und feingestreift. Die Schieferung ist regelmäßig, engständig und ebenflächig. In den kalkigen Schiefen ist feinkörniger Pyrit homogen verteilt. An den Klippen des Naturdenkmals Totenpfuhl ist der Kalk lagenweise in bis zu Meter große Kalkgeoden konzentriert. Die Dachschiefer wurden im Untersuchungsgebiet in einem kleinen Steinbruch am Ausgang des Sillbach-Tals abgebaut. Die stillgelegte Quelfassung Hüddingen zwischen Dietrichshagen und Totenpfuhl gewinnt ihr Wasser aus einem verschlossenen, etwa 50 m langen Stollen im Dietrichshagen, in dem ebenfalls Dachschiefer abgebaut wurden. Zum Jüngerem werden die Dachschiefer schwach feinsandig. Die kompakten Dachschiefer sind wegen ihres niedrigen Kluftvolumens gering durchlässig.

Der Dachschiefer geht unter zunehmend eingeschalteten Zentimeter mächtigen Sandsteinbänkchen in die Schichtenfolge des Hahnberg-Sandsteins über. Der Hahnberg-Sandstein ist eine Wechselfolge von turbiditischen Sandsteinen mit Tonschiefern. Zum Jüngerem werden die Sandsteinlagen bis zu Dezimeter mächtig. Die Kuppen östlich des Totenpfuhls, des Dietrichshagens, des Eschelbergs, und des Sillbachkopfs sind Reste geologischer Mulden aus verwitterungsresistentem Hahnberg-Sandstein. Die Sandsteinkuppe des Naturdenkmals Halloh ist ein geologischer Sattel. Wegen dieser für das Hundsdorfer Gewölbe typischen Kuppen wird die Landschaft als kuppiges Bergland bezeichnet. Der zerklüftete Hahnberg-Sandstein ist ein zur Wassergewinnung brauchbarer Kluftgrundwasserleiter. WF Waldquelle gewinnt ca. 1,5 km südöstlich des Sillbach-Tals ihr Wasser vorwiegend aus der Schichtenfolge des Hahnberg-Sandsteins. Die Bänderschiefer der Givet-Stufe zwischen Sillbachkopf und Albertshausen sind weitständig geschiefert, zerfallen stückig und sind hart. Zwischen Sillbachkopf und Albertshausen sind sie verkieselte und brechen scharfkantig. Die verkieselten Bänderschiefer gehören in die obere Givet-Stufe. Im frischen Bruch sind sie dunkel und mit hellen, Millimeter bis Zentimeter mächtigen Bändern schichtparallel durchzogen. Die Serie der Bänderschiefer ist wegen ihres geringen Kluftvolumens ebenfalls gering durchlässig.

Die Schichtenfolgen im Untersuchungsgebiet sind intensiv gefaltet. Die Falten sind nordwestvergent. Der normalgelagerte, lange und flache Südostschenkel ist ausgedünnt. Der vorwie-

gend überkippte und steil stehende Nordwestschenkel ist verkürzt und verdickt. Die Faltenachsen streichen SW-NE. Sie fallen im Untersuchungsgebiet mit 5 bis 10° nach NE ein. Die Klüftflächen stehen bevorzugt senkrecht auf den Faltenachsen (225/70 bis 225/90). Die Schieferungsflächen fallen mit 30 bis 50° nach SE ein. Wo in den Dachschiefern Schieferungsflächen und Schichtflächen parallel liegen, sind Schieferplatten gut ausgebildet. Diese wurden am Ausgang des Sillbach-Tals (R: 35 03 770, H: 56 62 950) und unter Tage an der alten Quelle Hüd-dingen (R: 35 02 200, H: 56 62 500) abgebaut. Südöstlich der Totenpfuhl-Überschiebung streicht der Kern des Halloh-Sattels zwischen Hüd-dingen und Albertshausen aus. Durch eine Querverwerfung zwischen Immel-Berg und Hahn-Berg ist die nordöstliche Scholle mit den austreichenden Bänderschiefern abgesenkt. Während der Hahnberg-Sandstein am Totenpfuhl vollkommen abgetragen wurde, schneidet die Geländeoberfläche am Naturdenkmal Halloh erst den Top des Sandsteins. Über kleinere Spezialfalten geht der Halloh-Sattel nach Südosten in die Albertshausener Mulde über. Die Mulde ist im Sillbach-Tal in zwei etwa gleich tief reichende Spezialmulden aufgeteilt. Weiter nach Südosten schließt sich zwischen Eschelberg und Wölffe der Hahnberg-Sattel an. Die Spezialfalten sind durch zahlreiche Querverwerfungen zerstückelt. Infiltrierende Niederschläge gelangen durch die gering mächtige Bodenauflage (Braunerden) in die Klüftgrundwasserleiter der Schiefer und des Sandsteins. Hier sickern sie bevorzugt in den Klüften des eingefalteten Hahnberg-Sandsteins (Hauptgrundwasserleiter) und werden durch die Zerrüttungszonen der Verwerfungen drainiert. Wo Verwerfungen im flachen Kerbtal des Sillbachs die Mulden des Hahnberg-Sandsteins queren, treten Quellen in den Bachschottern aus. Der Grund des Sillbach-Tals ist zugleich der Kern der Albertshausener Mulde, so daß der in den Hängen des Tals eingefaltete Sandstein das Wasser über seine Basisabdichtung (Dachschiefer) zum Muldenkern leitet. Nach den geologischen Verhältnissen entspricht das potentielle Wassereinzugsgebiet etwa dem oberirdischen Einzugsgebiet des Sillbachs. Die Muldenreste des Hahnberg-Sandsteins reichen einige Meter bis wenige Zehnermeter in die Tiefe.

5.3.1.2 Wasserhaushalt (Anl. 3)

Für das hydrologische Jahr 1995/96 wurde der Abfluß des Sillbachs (AS01) am Auslauf eines Kanalrohrs am Überfall gemessen (Tab. 14, Tab. 15, Abb. 23). Zusätzlich wurde die Schüttung der im Tal tiefstgelegenen Quelfassung (SS01) bestimmt. Die wöchentlichen Messungen wurden an niederschlagsfreien Tagen durchgeführt. Mit der Schneeschmelze Ende März 1996 hat der Sillbach seine höchste Abflußrate mit HQ = 6,77 l/s. Der Abfluß erreicht nach knapp 20 Tagen die mittlere Abflußrate von MQ = 1,97 l/s. Im Winter hat der Sillbach während Bodenfrost und der dadurch fehlenden Grundwasserneubildung seinen geringsten Abfluß mit NQ = 1,15 l/s. Nach dem schmalen und hohen Abflußpeak während der Schneeschmelze und dem relativ gleichmäßigen Abfluß über das Jahr hat das Gebirge mit dem Hahnberg-Sandstein als Hauptgrundwasserleiter ein für Schiefergebirgsverhältnisse hohes Retentionsvermögen. Hierdurch hatten die Quellen der WF Sillbach ein kontinuierliches Dargebot. Bei einem oberirdi-

schen Einzugsgebiet von $F_o = 0,79 \text{ km}^2$ berechnet sich die ermittelte mittlere Abflußspende zu $M_q = 2,5 \text{ l/(s*km}^2\text{)}$ und die minimale Abflußspende zu $N_q = 0,9 \text{ l/(s*km}^2\text{)}$. HÖLTING (in HORN 1973b: 279) gibt die Abflußspende (Trockenwetterabfluß N_q) für das Sillbach-Tal mit 1,0 bis $3,0 \text{ l/(s*km}^2\text{)}$ an.

Nach HESSISCHE LANDESANSTALT FÜR UMWELT (1971) beträgt die mittlere jährliche Niederschlagssumme in Bad Wildungen und benachbartem UG Sillbach $N = 650$ bis 700 mm . Nach KELLER (1978) beträgt die mittlere jährliche Verdunstung $V = 450$ bis 500 mm . Nach der Wasserhaushaltsgleichung (ARBEITSKREIS GRUNDWASSERNEUBILDUNG DER FH - DGG 1977) berechnet sich der mittlere jährliche Gesamtabfluß aus UG Sillbach zu:

$$A = N - V$$

$$A = (675 \text{ mm} \pm 25 \text{ mm}) - (475 \text{ mm} \pm 25 \text{ mm})$$

$$A = 200 \text{ mm} \pm 50 \text{ mm.}$$

Nach Angaben der benachbarten Klimastation Bad Wildungen liegt die Niederschlagshöhe in UG Sillbach für das hydrologische Jahr 1995/96 mit $500,3 \text{ mm}$ bei 71 bis 77 % des jährlichen Mittels. Die aktuelle Evapotranspiration wird nach TURC (in HÖLTING 1989: 25) bei einer mittleren Jahrestemperatur von 6 bis 7°C auf $E_{\text{akt}} = 347$ bis 360 mm bestimmt. Damit liegt der Gesamtabfluß für UG Sillbach im hydrologischen Jahr 1995/96 bei

$$A = N - V$$

$$A = 500 \text{ mm} - (354 \text{ mm} \pm 6 \text{ mm})$$

$$A = 146 \text{ mm} \pm 6 \text{ mm.}$$

Die mittlere Abflußspende von $M_q = 2,5 \text{ l/(s*km}^2\text{)}$ entspricht einer Abflußhöhe von $A = 79 \text{ mm}$, das sind 53 bis 56 % der aus der Wasserhaushaltsgleichung bestimmten Abflußhöhe. Der fehlende Abfluß von 61 bis 71 mm ist die Abflußhöhe, die bei Starkregenereignissen zwischen den Messungen und unterirdisch aus dem Untersuchungsgebiet abströmt. Den unterirdisch abgeströmten Abfluß schätze ich auf A_u ca. 30 mm . Nach LILLICH (1970) sind ca. 60 mm der mittleren Abflußhöhe von 79 mm grundwasserbürtig. Der grundwasserbürtige Abfluß und der unterirdische Abstrom addieren sich im hydrologischen Jahr 1995/96 zur Grundwasserneubildung G ca. $2,9 \text{ l/(s*km}^2\text{)}$. Die Grundwasserneubildung dürfte im jährlichen Mittel bei 3,0 bis $3,5 \text{ l/(s*km}^2\text{)}$ liegen.

5.3.1.3 Dargebotsabschätzung

Um ST Albertshausen mit Eigenwasser zu versorgen, ist derzeit ein Dargebot von Q_d ca. $48 \text{ m}^3/\text{d}$ und Q_1 ca. $63 \text{ m}^3/\text{d}$ und im 2010 Q_d ca. 53 und Q_1 ca. $69 \text{ m}^3/\text{d}$ notwendig.

Zur Gewinnung von Grundwasser aus dem Hauptgrundwasserleiter des Hahnberg-Sandsteins, besteht die Möglichkeit eine 50 m tiefe Bohrung am Grund des Sillbach-Tals niederzubringen. Der Bohransatzpunkt sollte in der kleinen, durch Querstörungen zerrütteten Scholle zwischen den beiden Quellen südlich des Sillbachkopfs liegen. Solch eine Versuchsbohrung würde neben dem Einzugsgebiet des Sillbachs entlang der zerrütteten Scholle ein erweitertes Einzugsgebiet von mindestens 1 km² erschließen. Bei einer Grundwasserneubildungsrate von $G = 3,0$ bis $3,5$ l/(s*km²) und einem Einzugsgebiet von 1 km² berechnet sich die mittlere tägliche Neubildung von Grundwasser zu Q_d ca. 259 bis 302 m³/d. Eine hier niedergebrachte Bohrung würde bei einer mittleren Förderrate von $Q_d = 53$ m³/d knapp 20 % des regenerierten Grundwassers nutzen.

5.3.2 UG Auen-Berg

Das Untersuchungsgebiet UG Auen-Berg umfaßt das mittlere Stockwerk der Schuppenzone zwischen Talgraben im Norden und Urf im Süden. Das mittlere Stockwerk ist im nördlichen Kellerwald durch die gute Klüftigkeit des Gebirges ein für die örtliche Wasserversorgung geeigneter Klüftgrundwasserleiter. Die weitläufige Schuppenzone wird derzeit lediglich durch Qu Lochborn, Br Odershausen und Br Auenberg genutzt. Br Auenberg ist mit einem Dargebot von $Q_d = 300$ m³/d ein für Schiefergebirgsverhältnisse ergiebiger Tiefbrunnen.

5.3.2.1 Geologische und hydrogeologische Lage (Anl. 4)

Die Schuppenzone des Auen-Bergs ist ein Paket hintereinander geschobener, tektonischer Schuppen, die jeweils aus den gleichen stratigraphischen Einheiten aufgebaut sind (Duplex-Strukturen) (BEIERSDORF 1965, SCHNEIDER 1966). Das Schuppenpaket liegt dem flachen Südostschenkel des aufgewölbten Hundsdorfer Sattels auf (Abb. 21). MEISCHNER (1966: 198) gliedert den Südost-Flügel des Hundsdorfer Sattels in drei tektonische Stockwerke:

- Spezialgefaltete Schiefer des Mitteldevons; unteres Stockwerk,
- Starre verschuppte Sandsteine, Tonschiefer des Oberdevons mit mächtigen Diabaslagen und Kulm-Kiesel-schiefer; mittleres Stockwerk,
- Kompakte, langwellig gefaltete Kulm-Grauwacken mit Kulm-Tonschiefern; oberes Stockwerk.

Die starren, kompetenten Gesteinsserien des mittleren Stockwerks sind am flachen Südostschenkel des Hundsdorfer Sattels vom duktilen unteren Stockwerk abgeschert. Die Gesteinsserien des mittleren Stockwerks sind völlig vom unterlagernden Stockwerk gelöst und zu einem Schuppenpaket zusammengeschoben. Als Abscherhorizont trennt die Wildunger Überschiebung beide Stockwerke. Entlang der Wildunger Überschiebung liegen an der Basis der Schuppenzone des Auen-Bergs intensiv zerscherte Gesteinsbrekzien. Diese streichen von der Tal-

quelle nordöstlich von Odershausen bis in das Urff-Tal bei Armsfeld. Am Maidekreuz stehen Brekzien an, die vorwiegend aus einem intensiv zerscherten Feinsandstein bestehen. Am Lamperkopf (nördlich Auen-Berg) streichen mehrere Meter mächtige Brekzienlagen aus. Die Brekzien am Lamperkopf und auf den Feldern südwestlich Odershausen leiten sich vom Aschkoppen-Sandstein ab. Diese Brekzien ziehen sich in einem schmalen Streifen bis zum oberen Westhang des Auen-Bergs, sind dort stellenweise tektonisch unterdrückt, streichen aber wieder an den Hängen östlich Armsfeld aus. Die Zerrüttungszone der Wildunger Überschiebung ist eine wasserwegsame Bahn. An ihr sind einige Mineralquellen von Bad Wildungen gebunden (STEINMETZ 1994, MEISCHNER & STEINMETZ 2000).

Zwischen dem Westhang des Auen-Bergs und dem Kirschen-Bach südwestlich Braunau streichen innerhalb der Schuppenzone des Auen-Bergs vier weitläufig kartierbare Schuppen aus. Von Westen nach Osten sind es nach SCHNEIDER (1965):

- Böhmerland-Schuppe (von Armsfeld über Auen-Berg, Pfaffen-Berg bis Br Odershausen),
- Rotestein-Schuppe (Große Leuchte - Herle-Berg - Herberod),
- Kniebrecher-Schuppe (Kniebrecher - Richtung Dachslöcher),
- Wolfswinkel-Schuppe (Spitz-Berg - Rädchen - Eichelgarten).

Stratigraphisch reichen ihre Schichtenfolgen jeweils von der Grenze Mittel-Devon/Ober-Devon bis an die Grenze Pericyclus-Stufe/Goniatites-Stufe (Kulm-Kieselschiefer/Kulm-Tonschiefer) (SCHNEIDER 1969). Den Schichtenfolgen sind lagenweise mächtige Diabase eingeschaltet. Innerhalb der Schuppenzone bilden schwarze, plattige und kieselige Schiefer der Givet-Stufe die Basis der einzelnen Schuppen. Die Adorf-Schwarzschiefer gehen nach Südosten in helle, kieselige Bänderschiefer mit größeren Mächtigkeiten über. Der Aschkoppen-Sandstein dünnt innerhalb der Schuppenzone nach Südosten hin aus. Innerhalb der Böhmerland- und Rotestein-Schuppe reicht der Aschkoppen-Sandstein oberhalb der Adorf-Schwarzschiefer bis in das hohe Ober-Devon. Innerhalb der Kniebrecher-Schuppe verzahnt er sich mit den Rotschiefern der Nehden- und Hemberg-Stufe. Über den gering mächtigen Schiefen der Grenze Ober-Devon/Unter-Karbon bilden Kulm-Kieselschiefer den Top der einzelnen Schuppen. Im Gegensatz zum Hundsdorfer Achsengewölbe sind die Serien der Schuppenzone kaum gefaltet. Im Steinbruch der Kniebrecher-Schuppe (zwischen Dachslöcher und Falkenholz: R: 35 06 090, H: 56 59 200) stehen über mehrere Zehnerquadratmeter nicht gefaltete Schichtflächen aus Kulm-Kieselschiefer an, die mit etwa 40° nach Osten einfallen. Durch die Aufwölbung des Gebirges wurden die Schuppenzüge zwischen Odershausen und Bergfreiheit aus der generellen Streichrichtung herausrotiert, so daß sie hier NNE-SSW streichen und ihre Gesteinsserien nach ESE einfallen. Die Schuppenzone des Auen-Bergs taucht mit dem Hundsdorfer Sattel nach Nordosten ab. Zwischen Odershausen und Bad Wildungen bedecken Kulm-Tonschiefer und-Grauwacken die

Schuppenzüge. Die unterkarbonischen Tonschiefer liegen von den Schuppenzügen abgescert, wirrgefaltet und kleinräumig verschuppt als Ausgleichs-Stockwerk zwischen den Schuppenzügen (mittleres tektonisches Stockwerk) und den kompakten Grauwackenlagen (oberen tektonisches Stockwerk). An den Hängen am Weg von Odershausen in das Sonderbach-Tal stehen intensiv verschuppte Kulm-Tonschiefer an (nördlich des Untersuchungsgebiets). Dem oberen Stockwerk der Schuppenzone schließen südöstlich die Cephalopoden-Kalke der Ense-Schuppen an.

Die Schuppenzone des Auen-Bergs wird von zahlreichen Verwerfungen zerstückelt. Die südöstliche Verlängerung des Reinhardshausener Sprungs kommt von der Talquelle, quert als Zerrüttungszone den Kalteborns-Bach am Br Odershausen, quert den Dörnbach und zieht vom Dickers-Berg in NW-SE-Richtung über den Kirschen-Bach zum Lohkopf. Zwischen Hetscholds Mühle und Braunau und von Armsfeld zum Br Braunau queren zwei weitere Verwerfungen die Schuppenzone.

Die mittel-devonischen Schiefer dichten als Grundwasserhemmer die Schuppenzone als weitläufigen Kluftgrundwasserleiter an ihrer Basis ab. Die einzelnen Schuppen sind innerhalb der Schuppenzone an ihren Sohlflächen durch Tonschiefer der Givet- und Adorf-Stufe und an den Rücken überwiegend durch Kulm-Tonschiefer abgedichtet. Entlang der querenden Verwerfungen stehen die Aquifere der einzelnen Schuppen im hydraulischen Kontakt.

Br Auenberg steht in der Böhmerland-Schuppe im Kohlbach-Tal, am südöstlichen Fuß des Auen-Bergs. Qu Lochborn gewinnt ihr Wasser aus einem Stollensystem in der Kniebrecher-Schuppe. Qu Finstertal ist an eine E-W streichende Verwerfung im Finstertal zwischen Rote-stein- und Kniebrecher-Schuppe gebunden. Br Odershausen steht in der Zerrüttungszone der südöstlichen Verlängerung des Reinhardshausener Sprungs. Qu Braunau liegt an der Basis der Wolfswinkel-Schuppe und gewinnt ihr Wasser aus der Kniebrecher-Schuppe. Br Braunau gewinnt sein Wasser aus dem Ausgleichs-Stockwerk der unterkarbonischen Kieselschiefer östlich der Wolfswinkel-Schuppe.

5.3.2.2 Wasserhaushalt (Anl. 5)

Niederschlag, Verdunstung und Abfluß

KNOCH (1950) gibt die mittlere jährliche Niederschlagssumme im UG Auen-Berg mit $N = 700$ bis 750 mm an. Nach der kleinmaßstäblichen Abbildung von KELLER (1978) beträgt die mittlere jährliche Verdunstung $V = 450$ bis 500 mm. Nach TURC (in HÖLTING 1989: 25) berechnet sich die aktuelle Evapotranspiration bei einer mittleren jährlichen Lufttemperatur von 6 bis 7 °C auf $ET_{akt} = 347$ bis 360 mm. Durch die Abschätzung nach TURC und der generalisierten Darstellung von KELLER schätze ich die Verdunstungshöhe in UG Auen-Berg auf ca. 400 bis 450 mm. Nach der Wasserhaushaltsgleichung (ARBEITSKREIS GRUNDWASSER-NEUBILDUNG DER FH - DGG 1977) berechnet sich demnach die mittlere jährliche Gesamtabfluß wie folgt:

$$A = N - V$$

$$A = (725 \text{ mm} \pm 25 \text{ mm}) - (425 \text{ mm} \pm 25 \text{ mm})$$

$$A = 300 \text{ mm} \pm 50 \text{ mm.}$$

Meteorologische Aufnahmen

Für das hydrologische Jahr 1995/96 habe ich zur Bestimmung des Wasserhaushalts am HB Auen-Berg (R: 35 05 550, H: 56 58 400) eine Wetterstation installiert. Die Wetterstation stand auf einer Höhe von 530 m NN auf einer umzäunten Lichtung im Rotbuchenhochwald. Mit einem Thermohydrographen habe ich kontinuierlich die Lufttemperatur und die relative Feuchte gemessen. Mit einem Niederschlagsmesser nach HELLMANN wurden die wöchentlichen Niederschlagssummen erfaßt. Über die gemessenen, meteorologischen Kenngrößen habe ich die potentielle Evapotranspiration nach HAUDE (1954) berechnet (Tab. 16, Abb. 24).

Die abgetragenen Tagesmittel der Lufttemperatur zeigen im Jahresverlauf entsprechend der solaren Einstrahlung einen sinusförmigen Verlauf mit einem Maximum im Sommer und einem Minimum im Winter. Je nach Bewölkung und Luftzufuhr schwankt die Lufttemperatur etwa in Wochenabständen um mehrere Grad Celsius. Diese Witterungsschwankungen werden von durchziehenden Hoch- und Tiefdruckwetterlagen induziert. Mit $-17,0 \text{ }^{\circ}\text{C}$ war der 25.01.1996 der kälteste Tag und der 07.06.1996 mit $23,3 \text{ }^{\circ}\text{C}$ der wärmste Tag im hydrologischen Jahr 1995/96. Die mittlere Lufttemperatur lag mit $5,0 \text{ }^{\circ}\text{C}$ 1 bis $2 \text{ }^{\circ}\text{C}$ unter dem jährlichen Mittel.

Im hydrologischen Jahr 1995/96 fielen an der Wetterstation $N = 577 \text{ mm}$ Niederschlag, das entspricht 77 bis 82 % des langjährigen Mittels von 700 bis 750 mm. Während die Niederschlagssumme des zweiten Halbjahrs etwa dem jährlichen Mittel entsprach, fielen im ersten Halbjahr nur knapp die Hälfte der Niederschläge.

Das Tagesmittel der relativen Feuchte erreichte gehäuft zwischen Oktober 1995 und Februar 1996 100 % (Nebel- und Reifbildung). Während der Zufuhr von warmen, trockenen Luftmassen sank die relative Feuchte im April auf ein Minimum von 20 %.

Aus den Tagesmitteln der Lufttemperatur und der relativen Feuchte ergibt sich für das hydrologische Jahr 1995/96 eine potentielle Evapotranspiration nach HAUDE (1954) von $ET_{\text{pot}} = 397 \text{ mm}$ (Abb. 26). Diese liegt wegen der kühlen und trockenen Witterung damit 3 bis 53 mm unter der mittleren jährlichen Verdunstung von $V = 400 \text{ bis } 450 \text{ mm}$. Die aktuelle Evapotranspiration nach UHLIG (1959) liegt bei $ET_{\text{akt}} = 181 \text{ mm}$. Nach TURC (in HÖLTING 1989: 25) kann die aktuelle Evapotranspiration mit $ET_{\text{akt}} = 352 \text{ mm}$ abgeschätzt werden. Während die potentielle Evapotranspiration nach HAUDE die maximal mögliche Verdunstung ist, wird über die aktuelle Evapotranspiration nach UHLIG die minimale Verdunstung berechnet. Im hydrologischen Jahr 1995/96 wird die tatsächliche Verdunstung wegen der geringen nutzbaren Feldkapazität der

durchlässigen und geringmächtigen Böden im Untersuchungsgebiet Auen-Berg schätzungsweise bei $V = 250$ bis 350 mm liegen.

Für das hydrologische Jahr 1995/96 berechnet sich so der mittlere jährliche Gesamtabfluß in UG Auen-Berg zu:

$$A = N - V$$

$$A = 577 \text{ mm} - (300 \text{ mm} \pm 50 \text{ mm})$$

$$A = 277 \text{ mm} \pm 50 \text{ mm}.$$

Abfluß und Schüttung

Im hydrologischen Jahr 1995/96 habe ich an niederschlagsfreien Tagen 14-tägig den Abfluß der Bäche aus UG Auen-Berg und die Schüttung von Quellen im Untersuchungsgebiet gemessen (Tab. 17, Tab. 18, Abb. 25). Für das $10,34 \text{ km}^2$ große oberirdische Einzugsgebiet beträgt der maximale Abfluß zur Schneeschmelze im März $HQ = 106 \text{ l/s}$. Der minimale Abfluß im Sommer bis Spätsommer liegt bei $NQ = 10,5 \text{ l/s}$. Der mittlere Abfluß für das hydrologische Jahr 1995/96 beträgt $MQ = 27,3 \text{ l/s}$. Die Schneeschmelze im UG Auen-Berg wurde Anfang März 1996 durch einen Kälteeinbruch unterbrochen. Daher hat der winterliche Hochwasserabfluß zwei Maxima. Durch die hohe Klüftigkeit des Gebirges ist das Retentionsvermögen gering, versickernde Niederschläge können schnell abfließen. Der Abflußquotient liegt bei NQ/HQ ca. $0,1$. Durch das 14-tägige Meßintervall habe ich vermutlich mehrfach Abflußpeaks nach Niederschlägen nicht erfaßt. Bei einem oberirdischen Einzugsgebiet von $F_o = 10,34 \text{ km}^2$ und einem mittleren oberirdischen Abfluß von $A_o = 27,3 \text{ l/s}$ berechnet sich die mittlere Abflußspende für UG Auen-Berg zu $Mq = 2,64 \text{ l/(s*km}^2)$. Die minimale Abflußspende beträgt $Nq = 1,02 \text{ l/(s*km}^2)$.

Die mittlere Abflußspende von $Mq = 2,64 \text{ l/(s*km}^2)$ entspricht einer Abflußhöhe von $A = 83 \text{ mm}$, das sind 25-37 % der aus der Wasserhaushaltsgleichung bestimmten Abflußhöhe. Der fehlende Abfluß von 144 bis 244 mm ist die Abflußhöhe, die bei Starkregenereignissen zwischen den Messungen und unterirdisch aus dem Untersuchungsgebiet abströmt. Im hydrologischen Jahr 1995/96 wurden zudem etwa 90.000 m^3 Grundwasser im UG Auen-Berg gefördert. Diese Fördermenge entspricht, bezogen auf die gesamte Fläche des Einzugsgebiets von $F = 10,34 \text{ km}^2$, einer Spende von $q = 0,28 \text{ l/(s*km}^2)$ (8,7 mm).

Nach LILLICH (1970) sind ca. 55 mm der mittleren Abflußhöhe von 83 mm grundwasserbürtig. Da die Abflußmessungen jedoch ausschließlich an niederschlagsfreien Tagen durchgeführt wurden und der oberirdische Abfluß an den steilen Berghängen schnell abströmt, entspricht die gemessene Abflußganglinie etwa der Trockenwetterabflußlinie. Daher schätze ich die grundwasserbürtige Abflußhöhe mit der Grundwasserentnahme (8,7 mm) auf $A_u = 80$ bis

90 mm. Nach einem 1983 durchgeführten Pumpversuch beträgt der Gebirgs-Durchlässigkeitsbeiwert $k_f = 1,5 \cdot 10^{-8}$ m/s. Über das Darcy'sche Gesetz schätze ich den unterirdischen Grundwasserabstrom in das Urff-Tal auf A_u ca. 10.000 m³/a. Den unterirdischen Abstrom zum Sonder-Bach und zum Wälze-Bach schätze ich zusammen auf A_u ca. 7.000 m³/a. Die unterirdische Abflußhöhe ist mit A_u ca. 2 mm gering. Die Grundwasserneubildung entspricht der unterirdischen Gesamtabflußhöhe von $A_u = 82$ bis 92 mm und beträgt demnach für das hydrologische Jahr 1995/96 $G = 2,6$ bis 2,9 l/(s*km²). Die langjährige mittlere Grundwasserneubildung schätze ich auf $G = 3,3$ bis 3,6 l/(s*km²).

Wasserbilanz

Die klimatische Wasserbilanz sieht für UG Auen-Berg im hydrologischen Jahr 1995/96 wie folgt aus:

Niederschlag: $N = 577$ mm,
 Verdunstung: $V = 300$ mm \pm 50 mm,
 Abfluß: A ca. 277 mm \pm 50 mm,
 Oberridischer Abfluß: $A_o = 190$ mm,
 Unterirdischer Abfluß: A_u ca. 87 mm.

5.3.2.3 Möglichkeiten der Grundwassererschließung

Wegen der guten Klüftigkeit des mittleren Stockwerks innerhalb der Schuppenzone des Auen-Bergs und der relativ hohen Grundwasserneubildungsrate besteht die Möglichkeit die WF Auenberg um ein bis drei Tiefbrunnen zu erweitern. Hierzu könnte zunächst ein ca. 200 m tiefer Brunnen im Dreieck Schüsselwiese - Dachslöcher - Pfaffen-Berg, an der hier E-W verlaufenden Verwerfung, niedergebracht werden. Wegen des flach nach Norden abfallenden Reliefs ist das Retentionsvermögen der Schuppenzone hier höher als am Br Auenberg. Bei einem potentiellen Einzugsgebiet von etwa 3 km² und einer mittleren jährlichen Grundwasserneubildungsrate von 3,3 bis 3,6 l/(s*km²) sollte der Tiefbrunnen ein Dargebot von mindestens Q_d ca. 300 m³/d haben. Hierbei würden etwa 1/3 des regenerierten Grundwassers genutzt. Um eine ausreichende Wassermenge zu fördern, muß der Brunnen bei einer Gebirgs-Durchlässigkeit von k_f ca. $1,5 \cdot 10^{-8}$ m/s vermutlich eine Tiefe von 150 bis 200 m haben. Langfristig besteht weiterhin die Möglichkeit, die südliche Verlängerung der Schuppenzone zur Grundwassererschließung zu nutzen. Hier könnte ein Tiefbrunnen im Urff-Tal 1 km südöstlich Armsfeld (zwischen Große Leuchte und Pickelberg) abgeteuft werden. Ein weiterer Bohransatzpunkt liegt zwischen Kaltebaum und Pickelberg. Durch die Erweiterung der WF Auenberg um drei Tiefbrunnen im mittleren Stockwerk der Schuppenzone könnte WF Auenberg auf ein Dargebot von etwa 1.200 m³/d erweitert werden. Damit könnte aus der Schuppenzone des Auen-Bergs zwischen Odershaußen und Haddenberg ein jährliches Dargebot von Q_a ca. 438.000 m³ für Bad Wildungen gewon-

nen werden. Die Beschaffenheit des geförderten Rohwasser wird vermutlich etwa die Zusammensetzung des Wassers aus Br Auenberg haben.

5.3.3 UG Große Aschkoppe

UG Große Aschkoppe erfaßt die höchste Erhebung im Stadtgebiet von Bad Wildungen zwischen ST Armsfeld, ST Hundsdorf und Löhlbach. In seiner exponierten Lage fällt das Untersuchungsgebiet durch hohe Niederschläge, geringe Evapotranspiration und hohe Abflußspenden auf. Im Untersuchungsgebiet stehen vorwiegend die klüftigen Gesteinsserien des mittleren Stockwerks an, die zur Grundwassererschließung im Kellerwald-Gebirge geeignet sind. Die Ortschaften Armsfeld, Hundsdorf, Haina, Hüttenrode und Löhlbach gewinnen ihr Trinkwasser aus UG Große Aschkoppe.

5.3.3.1 Geologische und hydrogeologische Lage (Anl. 6)

Das Untersuchungsgebiet Große Aschkoppe liegt zwischen den Ortschaften Armsfeld, Hundsdorf und Löhlbach auf einer Höhe zwischen 400 m NN und knapp 640 m NN. Die Große Aschkoppe mit einer Höhe von 639,8 m NN ist im Untersuchungsgebiet und im Nördlichen Kellerwald die höchste Kuppe.

Im Untersuchungsgebiet stehen überwiegend die klüftigen Gesteinsserien des mittleren Stockwerks in der südwestlichen Scheitelverlängerung des Hundsdorfer Sattels an. Nach MEISCHNER (1966) gliedert sich der Scheitel des Hundsdorfer Sattels im Untersuchungsgebiet wie der Nordwestflügel des Hundsdorfer Sattels in drei tektonische Stockwerke:

- Spezialgefaltete Schiefer und Hahnberg-Sandstein des Mittel-Devons; unteres Stockwerk,
- Langwellig gefalteter Aschkoppen-Sandstein (Ober-Devon) mit eingeschalteten Diabaslagen und Kieselschiefern (tiefes Unter-Karbon); mittleres Stockwerk,
- Kompakte, mächtige, sehr langwellig gefaltete Grauwackenlagen (Unter-Karbon); oberes Stockwerk.

Die Gesteine an der Stockwerksgrenze sind durch Ausgleichsbewegungen intensiv spezialgefaltet, verschuppt, zerschert oder brekziiert. Zwischen dem unteren und mittleren tektonischen Stockwerk gleichen bevorzugt Schwarzschiefer der Adorf-Stufe die unterschiedlichen Deformationen aus. Zwischen dem mittleren und oberen Stockwerk bilden vorwiegend Kulm-Kieselschiefer und -Tonschiefer das Ausgleichs-Stockwerk.

Nordwestlich der Hundsdorfer Sattelachse sind die kompetenten Gesteinsserien langwellig gefaltet, während dieselben am flachen Südostschenkel abgetrennt vom unteren Stockwerk vorwiegend verschuppt oder kleinräumig gefaltet und zerschert sind. Intensive Schuppentektonik

ist besonders südöstlich der Linie Battenhausen - Armsfeld - Talquelle (1,5 km nordwestlich Odershausen) innerhalb der Schuppenzone des Auen-Bergs ausgebildet.

Mit den Dachschiefern der Wissenbacher Fazies (untere bis obere Eifel-Stufe) stehen zwischen Hepelshude und Armsfeld und zwischen Hetscholds Mühle und Schier-Berg die ältesten Gesteine im Untersuchungsgebiet an. Zwischen Hepelshude und Heer-Bach und zwischen Kohlbachs-Köppel und Wölftkopf streichen die Tonschiefer der Givet-Stufe aus. Zwischen Hetscholds-Mühle und Wölftkopf steht örtlich Hahnberg-Sandstein (obere Eifel-Stufe) an. Dieser wird von Nordwest nach Südost immer feinkörniger, gering mächtiger und unreiner. Aus den Schiefen und dem Sandstein des unteren Stockwerks kann der 100 m tiefe Br Hundsdorf ein Dargebot von $mQ_d = 43,8 \text{ m}^3/\text{d}$ gewinnen. Qu I Hundsdorf faßt das von der Großen Aschkoppe abströmende Wasser aus den gelockerten, oberflächennahen Schiefen. Die leicht verwitterbaren und nur wenig ergiebigen Gesteinsserien des unteren Stockwerks bilden an der Abdachung zum Urff-Tal die Hänge der Kuppen. Am Top der Kuppen steht verwitterungsresistenter, mit Diabasen durchsetzter, grobkörniger Aschkoppen-Sandstein (Ober-Devon) an. Wie am Michel-Bach und am Hegewald lagern örtlich zwischen Aschkoppen-Sandstein und den Schiefen der Givet-Stufe Schwarzschiefer des tiefen Ober-Devons. Am Schier-Berg und an der Großen Aschkoppe ist das Gestein entlang der Stockwerksgrenze brekziiert. Qu II und Qu III Hundsdorf sind an der Stockwerksgrenze gebunden. Niederschläge infiltrieren durch die geringe Bodenaufgabe in das durchlässige mittlere Stockwerk. Sie werden an der zerrütteten Stockwerksgrenze drainiert und über dem gering durchlässigen unteren Stockwerk gestaut. Das Grundwasser tritt entlang der ausstreichenden Stockwerksgrenze aus. Qu I und Qu II Armsfeld und WF Hüttenrode gewinnen ihr Dargebot unmittelbar aus dem mit Diabasen durchsetztem Aschkoppen-Sandstein. WF Haina ist an einer Verwerfung gebunden, die eine Überschiebung quert. Südlich der Überschiebung stehen als GW-Hemmer mittel-devonische Schiefer an. Das aus dem klüftigen Gebirge abströmende Grundwasser wird von den Schiefen gestaut und an der querenden Verwerfung gefaßt. Durch das weite Einzugsgebiet und die besondere geologische Barriere hat die WF Haina ein hohes Dargebot von etwa $mQ_d = 250 \text{ m}^3/\text{d}$. Zwischen Alte Koppe und Wüstung Elberode liegen dem Aschkoppen-Sandstein Kieselschiefer der Pericyclus-Stufe auf. Im Kontakt zum Diabas sind den Kieselschiefern örtlich Eisenkiesel eingeschaltet. Zwischen Bubenei und WF Löhlbach verläuft eine N-S streichende Verwerfung, an der WF Löhlbach gebunden ist. Westlich dieser Störung streichen graue, monotone Tonschiefer der Goniates-Stufe aus. Diese liegen den unterkarbonischen Kieselschiefern im Untergrund auf. WF Löhlbach gewinnt sein Dargebot aus den klüftigen Kieselschiefern des Unter-Karbons. Südlich der Wasserfassung stauen die schlecht durchlässigen Tonschiefer des Unter-Karbons daß von Norden abströmende Wasser. Auf einer Höhe von 580-590 m NN ist das Untersuchungsgebiet auffällig eingeebnet. Bei der Hochfläche könnte es sich um eine tertiärzeitliche Einebnungsfläche handeln, aus der die Kuppen Alte Koppe, Kleine Aschkoppe, Große Aschkoppe und Winterberg als ehemalige Zeugenberge herausragen. Während am Top der Großen Aschkoppe Diabas-Züge

kartierbar sind, verlieren sich diese am Fuß der Kuppen in der Hochebene unter Schottern aus Aschkoppen-Sandstein.

5.3.3.2 Wasserhaushalt (Anl. 7)

Klima

Das Klima im UG Große Aschkoppe entspricht etwa dem im benachbarten UG Auen-Berg. Durch die exponierte Höhenlage beträgt die mittlere jährliche Niederschlagsmenge $N = 750$ bis 800 mm (HESSISCHE LANDESANSTALT FÜR UMWELT 1971). 15 bis 20 % der Niederschläge fallen als Schnee (KNOCH 1959). Die Zahl der Nebeltage liegt bei 40 bis 80 und die mittlere jährliche Lufttemperatur liegt bei $T = 6$ bis 7 °C. Nach der kleinmaßstäblichen Abbildung von KELLER (1978) beträgt die mittlere jährliche Verdunstung V ca. 450 mm. Nach TURC (in HÖLTING 1989: 25) berechnet sich die aktuelle Evapotranspiration bei einer mittleren jährlichen Lufttemperatur von $T = 6$ bis 7 °C auf $ET_{akt} = 398$ bis 425 mm. Durch die Abschätzung nach TURC und die generalisierten Darstellung von KELLER schätze ich die Verdunstungshöhe in UG Große Aschkoppe auf ca. 420 mm. Nach der Wasserhaushaltsgleichung (ARBEITSKREIS GRUNDWASSER-NEUBILDUNG DER FH - DGG 1977) berechnet sich der mittlere jährliche Gesamtabfluß aus zu:

$$A = N - V$$

$$A = (775 \text{ mm} \pm 25 \text{ mm}) - (412 \text{ mm} \pm 13 \text{ mm})$$

$$A = 364 \text{ mm} \pm 38 \text{ mm.}$$

Im hydrologischen Jahr 1995/96 werden wie im benachbarten Untersuchungsgebiet Auen-Berg etwa 75 % der mittleren jährlichen Niederschläge gefallen sein. Damit setze ich die Niederschlagshöhe auf N ca. 600 mm an. Bei einer mittleren Jahrestemperatur von $T = 5$ °C berechnet sich nach TURC (in HÖLTING 1989: 25) die aktuelle Evapotranspiration zu ET_{akt} ca. 365 mm. Da die nutzbare Feldkapazität der Böden im Untersuchungsgebiet durchweg als gering einzuschätzen ist, wird die aktuelle Evapotranspiration, wie im benachbarten Untersuchungsgebiet Auen-Berg auch bei $ET_{akt} = 250$ bis 350 mm liegen. Demnach schätze ich den mittleren jährlichen Gesamtabfluß in UG Große Aschkoppe auf:

$$A = N - V$$

$$A = 600 \text{ mm} - (300 \text{ mm} \pm 50 \text{ mm})$$

$$A = 300 \text{ mm} \pm 50 \text{ mm.}$$

Abfluß und Schüttung

In hydrologischen Jahr 1995/96 habe ich 14-tägig bei Trockenwetter den Abfluß der Bäche aus UG Große Aschkoppe und die Schüttung von Quellen im Untersuchungsgebiet gemessen (Tab. 19, Tab. 20, Abb. 27). Für das 10,07 km² große oberirdische Einzugsgebiet beträgt der maximale Abfluß im März zur Schneeschmelze HQ = 111 l/s. Der minimale Abfluß im Sommer bis Spätsommer liegt bei NQ = 9,11 l/s. Der mittlere Abfluß für das hydrologische Jahr 1995/96 beträgt MQ = 28,7 l/s. Das klüftige Gebirge hat ein geringes Retentionsvermögen. Versickernde Niederschläge können schnell abfließen. Niederschläge sickern auch während der Vegetationsperiode durch die geringen Bodenauflagen und tragen auch dann zur Grundwasserneubildung bei. Durch das 14-tägige Meßintervall habe ich vermutlich Abflußpeaks von Niederschlagsereignissen nicht erfaßt. Bei einem oberirdischen Einzugsgebiet von $F_o = 10,07 \text{ km}^2$ und einem mittleren oberirdischen Abfluß von $A_o = 28,7 \text{ l/s}$ berechnet sich die mittlere Abflußspende für UG Große Aschkoppe zu $Mq = 2,85 \text{ l/(s*km}^2\text{)}$. Die minimale Abflußspende beträgt $Nq = 0,91 \text{ l/(s*km}^2\text{)}$, die maximale Abflußspende beträgt $Mq = 11,0 \text{ l/(s*km}^2\text{)}$.

Aus UG Große Aschkoppe wurden im hydrologischen Jahr 1995/96 etwa 122.000 m³ Grundwasser gefördert. Diese Fördermenge entspricht, bezogen auf die gesamte Fläche des Einzugsgebiets von $F = 10,07 \text{ km}^2$, einer Spende von $q = 0,38 \text{ l/(s*km}^2\text{)}$ (12 mm).

Nach LILLICH (1970) sind ca. 60 mm der mittleren Abflußhöhe von 90 mm grundwasserbürtig. Da die Abflußmessungen an niederschlagsfreien Tagen durchgeführt wurden und der oberirdische Abfluß an den steilen Berghängen schnell abströmt, entspricht die gemessene Abflußganglinie etwa der der Trockenwetterabflußlinie. Daher schätze ich die grundwasserbürtige Abflußhöhe mit der Grundwasserentnahme (12 mm) auf $A_u = 90$ bis 100 mm. Den unterirdischen Grundwasserabstrom kann ich im Vergleich zu UG Auen-Berg nur grob auf A_u ca. 15.000 m³/a abschätzen. Die unterirdische Abflußhöhe ist mit A_u ca. 1,5 mm gering. Die Grundwasserneubildung entspricht der unterirdischen Gesamtabflußhöhe von $A_u = 92$ bis 102 mm und beträgt demnach im für das hydrologische Jahr 1995/96 $G = 2,9$ bis 3,2 l/(s*km²). Die langjährige mittlere Grundwasserneubildung schätze ich auf $G = 3,7$ bis 4,0 l/(s*km²).

Wasserbilanz

Die klimatische Wasserbilanz ist für UG Große Aschkoppe im hydrologischen Jahr 1995/96 wie folgt:

Niederschlag: N ca. 600 mm,
 Verdunstung: V ca. 300 mm ± 50 mm,
 Abfluß: A ca. 300 mm ± 50 mm,
 Oberirdischer Abfluß: $A_o = 203$ mm,
 Unterirdischer Abfluß: A_u ca. 97 mm.

5.3.3.3 Möglichkeiten der Wassererschließung

UG Große Aschkoppe liegt als Kuppe zwischen Armsfeld, Hundsdorf und Löhlbach. Die in das klüftige mittlere Stockwerk infiltrierenden Niederschläge werden durch das geringe Retentionsvermögen des Gebirges allseitig rasch abgegeben. Nur im Gebiet zwischen Alte Koppe, Kleine Aschkoppe und dem Berg Hain besteht die Möglichkeit, ausreichend Grundwasser zu fassen. Das nach W-SW abströmende Grundwasser im mittleren Stockwerk staut sich an den Kulmtonschiefern zwischen WF Löhlbach und Bubenei. Eine in diesem Einzugsgebiet von F ca. 2,5 km² abgeteufte Bohrung würde vermutlich ein Dargebot von mQ_d ca. 250 m³/d ergeben.

Zur Verbesserung der Eigenversorgung von ST Hundsdorf besteht die Möglichkeit Qu II Hundsdorf neu zu fassen.

Eine Bohrung im mittleren Stockwerk zwischen Winterberg und Schierberg sollte ein Dargebot von mQ_d ca. 80 m³/d erschließen. Hierdurch besteht die Möglichkeit, ST Armsfeld langfristig mit Eigenwasser zu versorgen.

5.3.4 UG Mühlenberg

Das Untersuchungsgebiet Mühlenberg umfaßt das Buntsandsteingebiet zwischen Wega und Wenzigerode. Durch eine geologische Revisionskartierung soll erkundet werden, ob innerhalb der zahlreichen Bruchschollen eine weitere Möglichkeit besteht, Grundwasser zu fassen und das Dargebot der WF Mühlenberg zu vergrößern. Mittels Abflußmessungen wird der Wasserhaushalt im Gebirge untersucht und die Ergiebigkeit des Gebirges abgeschätzt.

5.3.4.1 Geologische und hydrogeologische Lage (Anl. 8)

Das Buntsandsteingebiet zwischen Wega und Wenzigerode ist am Abbruch zur Hessischen Senke in zahlreiche kleinräumige Schollen zerstückelt. Das Untersuchungsgebiet umfaßt den Elimer Graben, den Wegaer Graben und deren Randschollen. Der etwa 600 m breite Elimer Graben ist gegenüber seiner westlichen Randscholle zwischen Correкта-Werk und Dornmannsgrund um ca. 300 m eingesunken. Während am Top des Wolfshagen Korbacher Porensandstein ansteht, grenzt dieser östlich an die Volpriehausener Wechselfolge. Am Top des Mühlenbergs streichen bereits Sandsteine der Detfurth-Folge aus. Westlich des Elimer Grabens verläuft der ca. 250 m breite Wegaer Graben zwischen dem Berghof über Qu Mandern bis zum Kessel. Der Wegaer Graben ist gegenüber den Randschollen um 100 bis 130 m abgesenkt. Beide Gräben und ihre Randschollen sind in verkippten Bruchschollen zerstückelt.

Die Schichtenfolgen des unteren Buntsandsteins sind wegen ihres hohen Tonsteinanteils zur Grundwassererschließung ungeeignet. Sie sind GW-Geringleiter. Geeignet zur Fassung von

Grundwasser ist besonders der Volpriehausener Sandstein, der am Mühlen-Berg durch Br Mühlenberg erschlossen ist. Der Volpriehausener Sandstein hat im Untersuchungsgebiet eine Mächtigkeit von 20-25 m und lagert in beiden Gräben unter der ca. 100 m mächtigen Bedekung der Volpriehausener Wechselfolge. Über der Volpriehausen-Folge steht der ca. 30 m mächtige Detfurth-Sandstein als GW-Leiter in kleinräumigen Bruchschollen zwischen Wolfshagen und Wenzigerode an. Qu Mühlenberg gewinnt aus dem Detfurth-Sandstein ihr Dargebot. Qu Mandern ist an der östlichen Randverwerfung des Wegaer Grabens gebunden. Die stauenden Schichtenfolgen des unteren Buntsandsteins lassen das Grundwasser des Grabens an der Randverwerfung aufsteigen und in den Mittelscheids-Bach überlaufen. Durch die kleinräumig zerstückelten Schollen im Buntsandsteingebiet zwischen Wega und Wenzigerode fehlen weitläufige GW-Einzugsgebiete. Der Volpriehausener Sandstein ist, abgesehen vom unergiebigem und flachgründigen Detfurth-Sandstein, der einzige ergiebige GW-Leiter. Dieser ist aber von der Volpriehausener Wechselfolge bedeckt, die durch ihre geringe Durchlässigkeit die Infiltration der Niederschläge und damit die Grundwasserneubildung hemmt.

5.3.4.2 Wasserhaushalt (Anl. 9)

Klima

Das Klima im UG Mühlenberg entspricht etwa dem der benachbarten Wetterstation Bad Wildungen. Die mittlere jährliche Niederschlagsmenge beträgt 600 bis 650 mm (HESSISCHE LANDESANSTALT FÜR UMWELT 1971). 5 bis 10 % der Niederschläge fallen als Schnee (KNOCH 1959). Die Zahl der Nebeltage liegt unter 40. Die mittlere jährliche Lufttemperatur liegt bei 8-9°C. Die Verdunstung wird mit jährlich V ca. 500 mm angegeben. Nach TURC (in HÖLTING 1989: 25) berechnet sich die aktuelle Evapotranspiration bei einer mittleren jährlichen Lufttemperatur von $T = 8$ bis 9 °C auf $ET_{akt} = 404$ bis 434 mm. Durch die Abschätzung nach TURC und die generalisierten Darstellung von KELLER schätze ich die Verdunstungshöhe in UG Große Aschkoppe auf V ca. 450 mm. Nach der Wasserhaushaltsgleichung (ARBEITSKREIS GRUNDWASSER-NEUBILDUNG DER FH - DGG 1977) berechnet sich der mittlere jährliche Gesamtabfluß zu:

$$A = N - V$$

$$A = (625 \text{ mm} \pm 25 \text{ mm}) - (440 \text{ mm} \pm 20 \text{ mm})$$

$$A = 185 \text{ mm} \pm 45 \text{ mm.}$$

Im hydrologischen Jahr 1995/96 betrug die Niederschlagsmenge an der benachbarten Wetterstation Bad Wildungen $N = 500$ mm. Die mittlere Lufttemperatur an der benachbarten Wetterstation Bad Wildungen lag bei $6,7$ °C. Nach TURC (in HÖLTING 1989: 25) beträgt die aktuelle Evapotranspiration für das hydrologische Jahr 1995/96 $ET_{akt} = 356$ mm. Es folgt:

$$A = N - V$$

$$A = 500 \text{ mm} - 356 \text{ mm}$$

$$A = 144 \text{ mm.}$$

Abfluß und Schüttung

Im hydrologischen Jahr 1995/96 habe ich 14-tägig bei Trockenwetter den Abfluß der Bäche aus UG Mühlenberg und die Schüttung der Wegaer Quelle gemessen (Tab. 21, Tab. 22, Abb. 28). Für das 14,31 km² große oberirdische Einzugsgebiet beträgt der maximale Abfluß zur Schneeschmelze Ende Februar, HQ = 7,82 l/s. Der minimale Abfluß im September 1996 liegt bei NQ = 0,94 l/s. Der mittlere Abfluß für das hydrologische Jahr 1995/96 beträgt MQ = 3,09 l/s. Durch das hohe Retentionsvermögen des Buntsandsteingebirges sind die Trockenwetterfalllinien gegenüber denen aus dem paläozoischen Grundgebirge deutlich flacher. Bei einem oberirdischen Einzugsgebiet von F_o = 14,31 km² und einem mittleren Abfluß von A_o = 3,09 l/s berechnet sich die mittlere Abflußspende für UG Große Aschkoppe zu Mq = 0,22 l/(s*km²). Die minimale Abflußspende beträgt Nq = 0,07 l/(s*km²), die maximale Mq = 0,55 l/(s*km²).

Aus UG Mühlenberg wurden durch Br Mühlenberg, Qu Mandern und Qu Wega im hydrologischen Jahr 1995/96 156.000 m³ Grundwasser gefördert. Diese Fördermenge entspricht, bezogen auf die gesamte Fläche des Einzugsgebiets von F_o = 14,31 km², einer Spende von q = 0,35 l/(s*km²) und einer Wasserhöhe von 11 mm.

Nach LILLICH (1970) sind ca. 5 mm der mittleren Abflußhöhe von 7 mm grundwasserbürtig. Da die Abflußmessungen an niederschlagsfreien Tagen durchgeführt wurden entspricht die gemessene Abflußganglinie etwa der der Trockenwetterabflußlinie. Daher schätze ich die grundwasserbürtige Abflußhöhe mit der Grundwasserentnahme auf A_u ca. 17 mm. Der unterirdische Grundwasserabstrom in das Eder- und Wilde-Tal ist wegen der geringen Gebirgsdurchlässigkeit der tonigen und schluffigen Wechselfolgen vermutlich vernachlässigbar klein. Ich schätze ihn auf A_u ca. 1 mm. Die Grundwasserneubildung entspricht der unterirdischen Gesamtabflußhöhe und der Förderhöhe von A_u ca. = 18 mm und beträgt demnach für das hydrologische Jahr 1995/96 G ca. 0,6 l/(s*km²). Die langjährige mittlere Grundwasserneubildung schätze ich auf G ca. 1,0 l/(s*km²). Den gegenüber dem unterirdischen Abfluß 7-fach höheren oberirdischen Abfluß führe ich auf den großen Anteil landwirtschaftlicher Nutzflächen mit tonigen Böden südlich Mandern zurück.

Wasserbilanz

Die klimatische Wasserbilanz für UG Mühlenberg ist für das hydrologische Jahr 1959/96 wie folgt:

Niederschlag: N = 500 mm,

Verdunstung: V ca. = 356 mm,

Abfluß: A = 144 mm,

Oberirdischer Abfluß: A_o = 126 mm,

Unterirdischer Abfluß: A_u = 18 mm.

5.3.4.3 Abschätzung des nutzbaren Grundwasservorkommens

Bei einer mittleren Förderrate (Br Mühlenberg, Qu Mandern, Qu Wega) von mQ_d ca. $400 \text{ m}^3/\text{d}$ (Q_s ca. $4,6 \text{ l/s}$) und einer mittleren jährlichen Rate der Grundwasserneubildung von $G = 1,0 \text{ l/(s*km}^2)$ errechnet sich das Einzugsgebiet F der Wasserfassungen zusammen über:

$$F = Q_s / G$$

$$F = 4,6 \text{ l/s} / 1,0 \text{ l/(s*km}^2)$$

$$F = 4,6 \text{ km}^2.$$

Diese Fläche entspricht etwa der zur Grundwassererschließung für Bad Wildungen nutzbaren Fläche im Elimer und Wegaer Graben. Einen Zustrom von Grundwasser aus den Schichtenfolgen des Zechsteins des westlichen Grabenrands halte ich nur bedingt für möglich. Durch weitere Erschließungen von Grundwasser im Elimer und Wegaer Graben erwarte ich daher eine langfristige Übernutzung des örtlichen Grundwasservorkommens.

5.3.5 UG Keller

Das Untersuchungsgebiet Keller umfaßt den Nordwesthang des Keller-Zugs zwischen Urff-Tal und Himbeerrain und reicht von der Urff bis über den Top des Quarzit-Zugs zum Jesberger Keller. Ziel meiner GW-Erkundung in diesem Untersuchungsgebiet ist es, die Ausdehnung der vermutlich eingeschalteten Ense-Schuppen zu bestimmen und Ergiebigkeitsbestimmungen an diesem Grundwasserleiter durchzuführen.

5.3.5.1 Geologische Lage (Anl. 10)

UG Keller liegt südlich Bergfreiheit am Höhenzug des Kellerwalds. Der Wüstegarten (675,3 m NN), der Hunsrück (635,9 m NN) und die Sauklippe (584,4 m NN) sind die höchsten Erhebungen des Keller-Zugs. Vom Kamm des Zugs bis zur Urff fällt das Gelände über etwa 2 km nach Nordwesten auf etwa 300 m ü. NN ab. Der Geologische Bau am Nordwesthang des Keller-Zugs ist am deutlichsten senkrecht zum generellen Streichen der Schichtenfolgen, zwischen Fischbach und Hunsrück erkennbar und entspricht etwa dem Profil zwischen Bergfreiheit und Ort-Berg:

Südwestliche Verlängerung der Schuppenzone des Auen-Bergs

Von Fischbach in Richtung Haddenberg streichen die durch zahlreiche Querverwerfungen zerstückelten Schuppen der südwestlichen Verlängerung der Schuppenzone des Auen-Bergs aus (BEIERSDORF 1965, BERING 1966). Inkompetente, ober-devonische Tonschiefer liegen an der Basis der Schuppen, überlagert von Sandsteinen und Schiefen des höheren Ober-Devons. Kompetente Kieselschiefer der Pericyclus-Stufe bilden den Schuppen-Rücken. Mächtige Erguß-

und Intrusiv-Diabase sind den Schuppen eingelagert. Die Schichtenfolgen fallen mit etwa 45 ° nach Südosten ein.

Schuppenstapel mit mittel-devonischen Tonschiefern

Ein Schuppenstapel aus mittel-devonischen Tonschiefern schließt südöstlich an die Schuppenzone des Auen-Bergs an (s. BEIERSDORF 1965 und SCHNEIDER 1965). Den Tonschiefern sind örtlich Diabase eingelagert. Durch mächtige Bodenschutttauflagen und intensiver Verwitterung der Tonschiefer können die einzelnen Schuppengrenzen nur schwer kartiert werden.

Quarzit-Zug und Liegendes

Die harten, verwitterungsresistenten Gesteine des Quarzit-Zugs (Kellerwald-Quarzit und Schifelforner Schichten) bilden den Kamm des Keller-Zugs (s. EDER 1966 und ENGEL 1966). Der Quarzit-Zug fällt entlang der Keller-Überschiebung mit etwa 15 bis 18 ° nach Südosten ein. An der Basis des Quarzit-Zugs streichen unregelmäßig und tektonisch stark beanspruchte Tonschiefer, Flaserschiefer, Sandsteine und Grauwacken des hohen Ober-Devons und tiefen Unter-Karbons aus (MEISCHNER 1991: 128).

Ense-Schuppen

Die Cephalopoden-Kalke der Ense-Schuppen lagern zwischen dem Schuppenstapel der mittel-devonischen Tonschiefer und dem Quarzit-Zug. DENCKMANN (1902) hat an den Hängen des Urf-Tals südlich Gershäuser Hof etwa 15 Spezial-Schuppen kartiert: Die Schichtenfolgen reichen je nach Ausbildung der Spezial-Schuppen von der Ems-Stufe bis in die Wocklum-Stufe:

Ballersbacher Kalk (Ems-Stufe): mergelige Knollen-Kalke.

Günteröder Kalk mit Crinoiden-Kalk (Eifel-Stufe): dunkle, linsige Kalkbänke mit Mergel-Zwischenlagen: Linsige Crinoiden-Kalke.

Odershäuser Kalk (Eifel-Stufe): schwarze Kalklinsen in dunklen Mergel-Schiefer.

Discoides-Kalk (Givet-Stufe): graue, bankige und plattige Kalke mit dunklen Tonschiefern wechsellagernd. An der Basis mehr knollig und unrein, zum Top mehr bankig und rein; mit bis zu drei Bänken eines schwarzen Kalkes.

Adorfer Kalk (Adorf-Stufe): hellgraue bis rötliche, bankige Kalke mit Unterem und Oberem Kellwasser-Kalk. An der Basis „Büdesheimer Schichten“: dunkle, pyritreiche, gebänderte Schiefer mit dünnen Kalkbänken.

Nehden-Kalk (Nehden-Stufe): graue und rötliche, knollige und plattige, unreine Kalke und plattige Mergel-Schiefer.

Hemberg-Kalk (Hemberg-Stufe): rosa gefärbte, dünnplattige Kalke.

Dasberg-Kalk (Dasberg-Stufe): rote, knollige Clymenien-Kalke mit eingeschalteten roten Schiefen.

Wocklumer Kalk (Wocklum-Stufe): gering mächtige, plattige, rötliche Kalke.

Die mittlere Mächtigkeit der gesamten Schichtenfolge gibt MEISCHNER (1991: 122) mit 50 m an. Die einzelnen Schuppen sind oftmals in sich zerschert und verfaltet. Wegen der intensiven, kleinräumigen Verschuppung wurden die Schuppen der Cephalopoden-Kalke aus hydrogeologischen Gründe zu einer geologischen Einheit zusammengefaßt. Nach DENCKMANN (1902), STOPPEL (1961) und auch nach den Arbeiten von BEIERSDORF (1965), BERING (1966) und EDER (1966) stehen die Ense-Schuppen am Nordwesthang des Keller-Zugs nur an wenigen Stellen kleinräumig an. In voller Ausdehnung streichen die Ense-Schuppen an den steilen Hängen des Urff-Tals zwischen Heidekopf und Ort-Berg aus. Diese sind vom Urff-Tal bis zum Neugesäß und zwischen Himbeerrain und Wüstegarten von mächtigem Hangschutt bedeckt. Zwischen Neugesäß und Haingrube werden die Cephalopoden-Kalke vermutlich tektonisch unterdrückt.

5.3.5.2 Hydrogeologische Lage der Versuchsbohrung Kellerwald B1

Bad Wildungen hat 1978 zur Erkundung auf erschließbares Grundwasser die 200 m tiefe Versuchsbohrung Kellerwald B1 am Nordwesthang des Keller-Zugs abteufen lassen (R: 35 07 120, H: 56 55 220, h ca. 500 m ü. NN). Wegen der erfolgreichen Wassererschließung an der ehemaligen Versuchsbohrung für Br Auenbergs und der günstigen Verbindung zu den Stadtteilen Armsfeld, Bergfreiheit und Odershausen wurde kurz darauf die Versuchsbohrung am Auen-Berg zum Tiefbrunnen ausgebaut und die Versuchsbohrung Kellerwald B1 verschlossen.

Nach der geologischen Karte 4920 Armsfeld (DENCKMANN 1902) und der geologischen Karte des südlichen Kellerwalds von STOPPEL (1961) liegt der Ansatzpunkt der Versuchsbohrung Kellerwald B1 in den Schiffelborner Schichten. Diese bestehen vorwiegend aus verkieselten Schiefen des Unter-Karbons, denen Quarzite eingeschaltet sind. Nach DENCKMANN trennt eine Überschiebung 250 m nordwestlich vom Ansatzpunkt der Versuchsbohrung B1 die Schiffelborner Schichten im Hangenden von den mitteldevonischen Tonschiefen mit eingeschalteten Diabasen im Liegenden. Sowohl die Schiffelborner Schichten als auch die mitteldevonischen Schiefer mit Diabasen sind intensiv verschuppt und spezialgefaltet. Die Schuppen beider Serien streichen NE-SW. Nach DENCKMANN, STOPPEL und MEISCHNER (1966, 1991) sind die Cephalopoden-Kalke im Neugesäß, unterhalb des Ansatzpunkts nicht ausgebildet oder tektonisch unterdrückt. Nach MEISCHNER streicht die flach nach Südosten einfallende Keller-Überschiebung am gesamten Nordwesthang des Keller-Zugs zwischen Ort-Berg und Dodenhausen aus. An der Keller-Überschiebung lagern zahlreiche Spezial-Schuppen mit vorwiegend verkieselten Schiefen, die auch am Nordwesthang des Ort-Bergs anstehen. Darüber folgen die Schiffelborner

Schichten mit eingeschalteten Quarziten. Der Quarzit-Zug lagert auf den Ense-Schuppen, die selbst entlang der Ense-Überschiebung flach auf mitteldevonischen Schiefen liegen.

Nach dem Schichtenverzeichnis der Firma Celler Brunnenbau GmbH (Tab. 23) wurden bis 1,1 m u. GK Hangschotter, bis 29 m u. GK Tone und Tonsteine und bis 200 m u. GK Mergel und Kalke durchbohrt. Der geologische Bau der Ense-Schuppen ist am besten im Urff-Tal etwa 1,5 km östlich Bergfreiheit aufgeschlossen. Zwischen Heidekopf und Ort-Berg streichen die Ense-Schuppen im ebenen Gelände etwa 650 m senkrecht zum Streichen aus. Im Taleinschnitt der Urff fällt die Ense- und auch die Keller-Überschiebung mit 15 bis 18 ° nach Südosten ein. Nach geometrischer Konstruktion schätze ich die Mächtigkeit der gestapelten Ense-Schuppen auf 170 bis 200 m. Eine senkrechte Bohrung würde vom Top bis an die Basis ca. 175 bis 210 m der Cephalopoden-Kalke erbohren. Überträgt man diese geologische Situation im Streichen der Schuppen auf den Nordwesthang des Keller-Zugs, so entspricht diese Konstruktion (Anl. 10, Profilschnitt) den erbohrten Schichten. Die Bohrung setzt nach dem Schichtenverzeichnis in Tonschiefern an der Basis des Quarzit-Zuges an und durchteuft die Ense-Schuppen bis 200 m u. GK. Die Basis der Ense-Schuppen wurde dabei nicht erreicht. Diese sollte etwa 30 m unter der Endteufe der Versuchsbohrung liegen. Die Gesteine der Ense-Schuppen sind am Hang des Keller-Zugs großflächig und mehrere Meter mächtig mit Hangschutt verwitterungsresistenter Gesteine des Quarzit-Zugs bedeckt. Daher wurden die leicht verwitterten Kalke bei den Kartierungen von DENCKMANN und STOPPEL vermutlich nicht erfaßt. Resistente Gerölle des Hangschutts vom Quarzit-Zug wurden fälschlich als Anstehendes gedeutet.

Während die Cephalopoden-Kalke der Ense-Schuppen vermutlich teilweise verkarstet und durchlässig sind, wirken die eingeschalteten Tonschiefer als GW-Geringleiter. Die Ense-Schuppen spreche ich daher als teilweise verkarsteten Kluftgrundwasserleiter an. Die gering durchlässigen Tonschiefer im Liegenden der Ense-Schuppen dichten die Cephalopoden-Kalke an ihrer Basis ab. Im Hangenden der Ense-Schuppen liegen die durchlässigen Gesteine des Quarzit-Zugs als Kluftgrundwasserleiter. Sie sind stark zerklüftet (großes Kluftvolumen) und haben durch ihre großflächige Verbreitung ein großes potentiell Einzugsgebiet. Der durch die Bohrung erschlossene Aquifer der Ense-Schuppen ist durch die Lage der Bohrung am Nordwesthang des Keller-Zugs einseitig begrenzt. Die hydrologischen Bedingungen des erbohrten Aquifers der Versuchsbohrung Kellerwald B1 sind daher wie folgt:

1. Die Versuchsbohrung steht in einem teilweise verkarsteten Klufftgrundwasserleiter der Ense-Schuppen. Durch die angelösten Kluffflächen haben die Cephalopoden-Kalke ein vergrößertes Kluffvolumen und erhöhte Durchlässigkeiten.
2. Die in die Kalke eingeschalteten Tonschieferlagen sind GW-Geringleiter.
3. Die Ense-Schuppen drainieren den durchlässigen Klufftgrundwasserleiter des Quarzit-Zugs im Hangenden.
4. Die Ense-Schuppen sind durch Tonschiefer im Liegenden abgedichtet.
5. Der Aquifer der Ense-Schuppen wird durch einen Hang einseitig begrenzt.

5.3.5.3 Pumpversuche

Der Pumpversuch von 1978

Im August 1978 wurde die 200 m tiefe Versuchsbohrung Kellerwald B1 am Nordwesthang des Keller-Zugs abgeteuft. Bei einem anschließenden Druckluftpumpversuch mit Bohrgestänge (Tab. 24, Abb. 29) sank der Wasserspiegel in der Versuchsbohrung bei einer Förderrate von $Q = 34 \text{ m}^3/\text{h}$ ($9,4 \text{ l/s}$) von 31,40 m u. ROK um 26,75 m auf 58,15 m u. ROK. Nach einer Pumpzeit von etwa 2 Stunden schwankte der Wasserspiegel um 58 m u. ROK und beharrte nach 11 Stunden Pumpzeit konstant bei 58,15 m u. ROK. Die Ergiebigkeit der Versuchsbohrung ist mit einer Förderrate von $Q = 34 \text{ m}^3/\text{h}$ bei einer Absenkung von 26,75 m für Schiefergebirgsverhältnisse sehr hoch (Spezifische Absenkung $s/Q = 2,8 \cdot 10^3 \text{ m}^{-2} \cdot \text{s}$). Der Wiederanstieg wurde nicht gemessen.

Wegen der hohen Ergiebigkeit der Versuchsbohrung beim Druckluftpumpversuch, hat die Bad Wildungen vom 22. bis 26.08.1978 einen mehrstufigen Pumpversuch gefahren (Tab. 25, Abb. 30). Die ersten drei Pumpstufen wurden mit Förderraten von $Q_1 = 12,2 \text{ m}^3/\text{h}$, $Q_2 = 20,5 \text{ m}^3/\text{h}$ und $Q_3 = 30,6 \text{ m}^3/\text{h}$ jeweils eine Stunde lang gefahren. Bei einer Förderrate von $Q_1 = 12,2 \text{ m}^3/\text{h}$ sank der Wasserspiegel um $s_1 = 4,45 \text{ m}$ ab. Bei der zweiten Pumpstufe mit einer Förderrate von $Q_2 = 20,5 \text{ m}^3/\text{h}$ betrug die Absenkung $s_2 = 10,03 \text{ m}$ und bei der Förderrate von $Q_3 = 30,6 \text{ m}^3/\text{h}$ erreichte der Wasserspiegel eine Absenkung von $s_3 = 20,00 \text{ m}$. Um die maximal mögliche Absenkung zu erreichen und die höchstmögliche Förderrate zu erzielen, wurde die Förderrate bei voller Pumpenleistung auf $Q_4 = 37,8 \text{ m}^3/\text{h}$ erhöht. Nach einer Pumpzeit von einer Stunde betrug die Absenkung $s_4 = 27 \text{ m}$, nach weiteren 19 Stunden war der Wasserspiegel um weitere 5 m auf eine Absenkung von $s_4' = 32,5 \text{ m}$ gefallen. Um den Wasserspiegel auf einer Absenkungstiefe konstant zu halten, wurde die Förderrate auf $Q_5 = 35,7 \text{ m}^3/\text{h}$ gedrosselt. Während den ersten 9 Stunden blieb der Wasserspiegel bei etwa 65 m u. ROK und fiel dann weiter ab. Daraufhin wurde die Förderrate erneut auf $Q_6 = 30,6 \text{ m}^3/\text{h}$ verringert. Hierbei blieb der Wasserspiegel acht Stunden lang bei etwa 68,6 m u. ROK stehen. Anschließend wurde die Pumpe abgestellt und der Wiederanstieg gemessen. Nach einer Stunde war der Wasserspiegel auf 46,73 m u. ROK gestiegen und die Wiederanstiegsmessung abgebrochen.

In der halblogarithmischen Darstellung des Wasserspiegels während der Pumpzeit (Abb. 31) haben die Typenkurven der ersten vier Pumpstufen einen linearen Absenkungsverlauf. Diesen Absenkungsverlauf haben Brunnen mit einem radialsymmetrischen Fließregime. Die Absenkung pro Dekade beträgt bei $Q_1 = 12,2 \text{ m}^3/\text{h}$ $ds_1 = 1,3 \text{ m}$, bei $Q_2 = 20,5 \text{ m}^3/\text{h}$ $ds_2 = 1,7 \text{ m}$, bei $Q_3 = 30,6 \text{ m}^3/\text{h}$ und bei $Q_4 = 37,5 \text{ m}^3/\text{h}$ $ds_3 = ds_4 = 3,6 \text{ m}$. Nachdem die Förderrate von $Q_4 = 37,5 \text{ m}^3/\text{h}$ auf $Q_5 = 35,7 \text{ m}^3/\text{h}$ gedrosselt wurde, geht die Typenkurve bei Q_5 nach 20 Stunden Pumpzeit in einer etwa 20-stündigen Übergangsphase in einen Kurvenabfall von $ds_5 = 7,2 \text{ m}$ über. Auffällig ist, daß ds_5 den doppelten Betrag von ds_4 hat, und daß die Typenkurve von Q_5 in ihrer Endphase auch linear verläuft. Diesen Charakter haben Brunnen mit einem radialsymmetrischen Fließregime, deren Aquifer einseitig begrenzt ist (s. STOBER, STRAYLE & SCHLOZ 1994: 55). Die Wiederanstiegskurve hat eine Steigung von $ds_7 = 4,2 \text{ m}$.

Nach der Leistungscharakteristik (Abb. 32) folgt die Absenkung der Gleichung

$$s = 0,021 * Q^2 + 0,056 * Q.$$

Die Brunnen-Absenkung s_k des Versuchsbrunnens (Abb. 33) setzt sich aus der aquiferspezifischen Absenkung s_a und der brunnenspezifischen Absenkung s_w zusammen:

$$s_k = s_a + s_w \quad \text{mit } s_a = B * Q \text{ und } s_w = C * Q^2$$

$$s_k = C * Q^2 + B * Q.$$

Der Proportionalitätsfaktor $B = 0,12 \text{ m}^{-2} * \text{h}$ ist der Schnittpunkt der Geradengleichung mit der Achse der spezifischen Absenkung (Abb. 33). Die brunnenspezifische Konstante $C = 0,019 \text{ m}^5 * \text{h}^2$ ist die Steigung der Gerade. Für die auifer- und brunnenspezifische Absenkung gilt demnach:

$$s_a = 0,12 \text{ m}^{-2} * \text{h} * Q,$$

$$s_w = 0,019 \text{ m}^{-5} * \text{h}^2 * Q^2.$$

Die Brunnenabsenkung folgt somit der Gleichung

$$s_k = 0,019 \text{ m}^{-5} * \text{h}^2 * Q^2 + 0,12 \text{ m}^{-2} * \text{h} * Q.$$

Nach dem Verfahren von THEIS (1935) und JACOB (1946) in STOBER, STRAYLE & SCHLOZ (1994) wird die Transmissivität (T) über die Förderrate (Q) und die Kurvensteigung (ds = Absenkung pro Dekade) der abgetragenen Meßwerte bestimmt.

$$T = \frac{2,30 \cdot Q}{4 \cdot \pi \cdot ds} \quad [\text{m}^2/\text{s}]$$

Die Kurvensteigung ds wird graphisch aus der halblogarithmischen Darstellung bestimmt. Aus der Transmissivität (T) und der Grundwassermächtigkeit (M) berechnet sich der Durchlässigkeitsbeiwert (k_f).

$$k_f = \frac{T}{M} \quad [\text{m/s}]$$

Die Transmissivitäten der ersten vier Pumpstufen (T_1 bis T_4) liegen zwischen $4,3 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$ und $6,1 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$ (Tab. 26). Die Durchlässigkeitsbeiwerte werden über die Grundwassermächtigkeit auf $k_f = 2,9 \cdot 10^{-6}$ bis $3,9 \cdot 10^{-6} \text{ m/s}$ berechnet. In Anlehnung an DIN 18130 (in HÖLTING 1989: 102) ist der getestete Aquifer durchlässig bis gering durchlässig. Nach AD-HOC-ARBEITSGRUPPE HYDROGEOLOGIE (1997: 62) wird die so bestimmte Durchlässigkeit der Durchlässigkeitsklasse V (gering) zugeordnet.

Nach dem Ergebnis der Wasseruntersuchung (Tab. 27) liegen die ermittelten Meßwerte, bis auf den Gehalt an Mangan, unter den festgesetzten Grenzwerten der Verordnung für Trinkwasser. Das beprobte Grundwasser ist klar, farblos, ohne Bodensatz und ohne Geruch. Das geförderte Grundwasser hatte eine Temperatur von $9,4 \text{ }^\circ\text{C}$ und war mit einem pH-Wert von $7,39$ schwach alkalisch. Die elektrische Leitfähigkeit ist für Wasser aus einem Aquifer mit Kalken mit $375 \text{ } \mu\text{S/cm}$ gering. Der Sauerstoffgehalt betrug $2,8 \text{ mg/l}$, die Sauerstoffsättigung lag mit gegebener Wassertemperatur bei 25% . Das Wasser ist ein überwiegend hydrogencarbonatisches Süßwasser mit einer Gesamt-Härte von $13,5 \text{ }^\circ\text{dH}$ und ist etwas hart (Härtebereich 2). Die Karbonat-Härte beträgt $12,0 \text{ }^\circ\text{dH}$. Rostschutzverhindernde und aggressive Kohlensäure wurde nicht nachgewiesen. Die Oxidierbarkeit ($\text{Mn}^{\text{VII} \rightarrow \text{II}}$) als O_2 von 2 mg/l und der geringe Monophosphatgehalt von $0,2 \text{ mg/l}$ deuten auf ein reines Grundwasser. Die geringen Gehalte an Ammonium ($0,049 \text{ mg/l}$), Nitrat ($0,05 \text{ mg/l}$) und nichtnachweisbares Nitrit deuten auf einen geringen Eintrag an Stickstoffverbindungen bzw. auf den Abbau dieser Verbindungen. Nitrat wird vermutlich durch die Oxidation des Pyrits in den umliegenden Tochschiefern reduziert. Aus dieser Reaktion dürfte auch der größte Teil des Sulfatgehalts von $26,8 \text{ mg/l}$ stammen.

Der Pumpversuch von 1998

Der Pumpversuch von 1978 erbrachte für Schiefergebirgsverhältnisse auffällig gute Dargebotsergebnisse (hohes Leistungs/Absenkungs-Verhältnis). Jedoch wurden die Pumpzeiten der gefahrenen Leistungsstufen derart kurz gewählt ($1 - 60 \text{ h}$), daß die hydrologischen Eigenschaften und Grenzen der Aquifers nicht ausreichend bestimmt werden konnten. Auffällig ist, daß der Wasserspiegel in der Versuchsbohrung trotz Verringerung der Förderrate von $Q_4 = 37,8 \text{ m}^3/\text{h}$

auf $Q_5 = 35,7 \text{ m}^3/\text{h}$ in seiner Endphase schneller absinkt als bei der höheren Förderrate Q_4 . Eine weitere Drosselung der Förderrate auf $Q_6 = 30,6 \text{ m}^3/\text{h}$ mit wiederum zu kurzer Pumpzeit brachte keine neuen Erkenntnisse, sondern zeigt eher eine Ratlosigkeit.

Um die Ergiebigkeit des erschlossenen Aquifers am Keller-Zug länger als im Pumpversuch von 1978 zu testen, wurde die bis ca. 184 m u. GK verschüttete Versuchsbohrung wieder mit einem Durchmesser von 220 mm erneut bis auf 200 m u. GK freigelegt und ein weiterer Pumpversuch gefahren.

Vor dem Pumpbeginn steht der Ruhewasserspiegel auf 33,24 m u. ROK (Tab. 28, Abb. 34) und liegt damit etwa 4 m unter dem Top der Ense-Schuppen. Die gegen den Nordwesthang des Keller-Zugs einfallenden Schichten der Ense-Schuppen und der besonders am Zwester Keller aufliegende mächtige Hangschutt verhindern ein freies Ausströmen des Grundwassers aus den Cephalopoden-Kalken. Das Grundwasser ist im Bohrloch nicht gespannt. Die erste Pumpstufe wurde während etwa 70 Stunden mit einer Förderrate von $Q_1 = 20,0 \text{ m}^3/\text{h}$ gefahren. Durch den hohen Vordruck am Schieber (20 bar) lief der Induktionszähler sehr unruhig. Die Pumpe mußte zu Beginn der Pumpstufe nachgeregelt werden. Nach etwa 2 Stunden hat die Ganglinie etwa 20 Stunden lang (Anfangsphase) einen Kurvenabfall von $ds_1 = 3,1 \text{ m}$ pro Dekade in der halblogarithmischen Abtragung (Abb. 35). Nach einer Pumpzeit von etwa 30 Stunden verdoppelte sich die Absenkung pro Dekade auf $ds_1' = 6,3 \text{ m}$. Dieser Verlauf der Ganglinie wurde schon beim Pumpversuch von 1978 beobachtet. Es bildet sich zunächst ein radialsymmetrisches Fließregime aus, das nach etwa 20 Stunden vermutlich durch den Nordwesthang des Keller-Zugs begrenzt wird. Der Zustrom halbiert sich, gleichzeitig verdoppelt sich die Absenkungsgeschwindigkeit. Das radialsymmetrische Fließregime bildet sich nur noch einseitig aus. Es stellt sich wiederum eine quasistationäre Absenkung ein. Extrapoliert man die Absenkung auf eine Pumpzeit zwischen 900 und 1.000 Stunden, so würde der Wasserspiegel innerhalb dieser Zeit nur noch um etwa 30 cm fallen, also 3 mm pro Stunde. Dieser Absenkungsbetrag ist bei den turbulenten Strömungsverhältnissen in der Versuchsbohrung nicht mehr auflösbar. Ein Pumpversuch mit einer Pumpzeit von 1.000 Stunden ist aus Kostengründen nicht tragbar.

Nach einer Pumpzeit von 70 Stunden wurde die Förderrate auf $Q_2 = 30,0 \text{ m}^3/\text{h}$ erhöht. Daraufhin bildete sich erneut ein radialsymmetrisches Fließregime in der Anfangsphase der ersten 20 Stunden aus. Die Absenkung pro Dekade betrug $ds_2 = 3,0 \text{ m}$ und verdoppelte sich etwa in der Übergangphase auf $ds_2' = 6,9 \text{ m}$. Wiederum erreichte das Fließregime nach 20 Stunden seine Begrenzung und es bildete sich erneut ein einseitig begrenztes, radialsymmetrisches Fließregime aus. Etwa 80 Stunden lang strebte der Wasserspiegel in der Endphase einer quasistationären Absenkung zu.

Nach einer Pumpzeit von 100 Stunden, mit einer Förderrate von $Q_2 = 30,0 \text{ m}^3/\text{h}$, wurde die Förderrate auf $Q_3 = 40,0 \text{ m}^3/\text{h}$ gesteigert. Abermals senkte sich ein Trichter mit radialsymmetrischem Fließregime in den vorherigen Absenkungstrichter. Durch zusickernde Niederschläge mehrerer Starkregenereignisse flachte die Ganglinie ab. Die Absenkung pro Dekade betrug statt einer erwarteten Absenkung von etwa 3 bis 4 m pro Dekade nur $ds_3 = 2,0 \text{ m}$. Mit nachlassender Niederschlagstätigkeit versteilte sich die Kurve wieder und ging nach einer Übergangsphase in ihre Endphase mit einer Absenkung von $ds_3 = 8,0 \text{ m}$ pro Dekade über. Das Verhalten des Aquifers entspricht dem hydraulischen Verhalten der ersten beiden Pumpstufen. Das erschlossene Grundwasservorkommen wird zudem durch versickernde Niederschläge beeinflusst und vermutlich erneuert.

Mit der Förderrate von $Q_3 = 40,0 \text{ m}^3/\text{h}$, bei einer Pumpzeit von etwa 140 Stunden, wurde lediglich eine Absenkung von knapp 76 m u. ROK erreicht. Um die angestrebte maximale Absenkung des Wasserspiegels von 100 m u. ROK zu erreichen, wurde die Pumpe mit ihrer Maximalleistung gefahren. Wiederum bildete sich in der Anfangsphase ein Trichter mit radialsymmetrischem Fließregime aus. Durch die erzielte Absenkung ging die Förderleistung der Pumpe von 53 auf $51 \text{ m}^3/\text{h}$ zurück. Die Absenkung pro Dekade betrug in der Anfangsphase etwa $ds_4 = 2,6 \text{ m}$, in der Endphase $ds_4 = 11,8 \text{ m}$. In der Endphase bekam die Typenkurve bei der Förderrate von $Q_4 \text{ ca. } 51 \text{ m}^3/\text{h}$ eine parabelförmige Krümmung. Dieses deutet auf die zunehmende Ausbildung eines linearen Fließregimes. Bei dieser hohen Förderrate strömte vermutlich Grundwasser vorwiegend aus der Streichrichtung der Ense-Schuppen der Bohrung zu, also aus NE und SW. Es bildete sich vermutlich ein einseitig begrenzter, ovaler Absenkungstrichter aus. Der Zufluß von Grundwasser konnte die Fördermenge nicht mehr kompensieren. Eine quasi-stationäre Absenkung wurde nicht mehr erreicht. Der Wasserspiegel fiel kontinuierlich und die Versuchsbohrung wurde überbeansprucht.

Nach der Leistungscharakteristik (Abb. 36) folgt die Absenkung der Gleichung

$$s = 0,011 * Q^2 + 0,494 * Q.$$

Die Absenkung des Wasserspiegels in der Versuchsbohrung s_k setzt sich aus der aquiferspezifischen Absenkung s_a und der brunnenspezifischen Absenkung s_w zusammen:

$$s_k = s_a + s_w \quad \text{mit } s_a = B * Q \text{ und } s_w = C * Q^2$$

$$s_k = C * Q^2 + B * Q.$$

Nach Abb. 37 wird der Proportionalitätsfaktor auf $B = 0,42 \text{ m}^{-2} \cdot \text{h}$ und die brunnenspezifische Konstante auf $C = 0,013 \text{ m}^{-5} \cdot \text{h}^2$ bestimmt.

Für die aquiferspezifische und brunnenspezifische Absenkung gilt:

$$s_a = 0,42 \text{ m}^{-2} \cdot \text{h} \cdot Q,$$

$$s_w = 0,013 \text{ m}^{-5} \cdot \text{h}^2 \cdot Q^2.$$

Die Gleichung der Brunnenabsenkung lautet somit:

$$s_k = 0,013 \text{ m}^{-5} \cdot \text{h}^2 \cdot Q^2 + 0,42 \text{ m}^{-2} \cdot \text{h} \cdot Q.$$

Die Typenkurve (Abb. 35) zeigt beim Wiederanstieg die Ganglinie eines Wasserspiegels in einem einseitig begrenzten Absenkungstrichter am Hang. In den ersten drei Minuten des Wiederanstiegs wird die Basis des Absenkungstrichters gefüllt. Der Wasserspiegel steigt schnell um ca. 18 m. Nach etwa einer Stunde hat sich der Absenkungstrichter bis zur Hangbegrenzung gefüllt. Hiernach versteilt sich die Typenkurve erneut, da nur noch der Absenkungstrichter hangaufwärts gefüllt werden kann. Auf der Höhe des Ruhewasserspiegels knickt die Typenkurve ab.

Die Transmissivitäten betragen für die ersten beiden Pumpstufen $T_1 = 3,3 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$ und $T_2 = 5,1 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$ (Tab. 29). Diese Werte liegen in der Größenordnung der berechneten Transmissivitäten aus dem Pumpversuch von 1978. Die Transmissivitäten der beiden letzten Pumpstufen betragen $T_3 = T_4 = 10,2 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$. Diese Werte sind zu hoch, da die Starkregenereignisse vom 6. bis 8. März den Grundwasserspiegel beeinflusst haben. Die Durchlässigkeitsbeiwerte haben für die ersten beiden Pumpstufen Werte von $k_{f1} = 2,7 \cdot 10^{-6} \text{ m/s}$ und $k_{f2} = 4,7 \cdot 10^{-6} \text{ m/s}$. Diese liegen in der Größenordnung der 1978 ermittelten Werte. Nach DIN 18130 (in HÖLTING 1989: 102) ist der getestete Aquifer durchlässig bis gering durchlässig. Nach AD-HOC-ARBEITSGRUPPE HYDROGEOLOGIE (1997: 62) wird die bestimmte Durchlässigkeit der Durchlässigkeitsklasse V (gering) zugeordnet. Die Durchlässigkeitsbeiwerte der Pumpstufen 3 und 4 betragen $k_{f3} = 10,5 \cdot 10^{-6} \text{ m/s}$ und $k_{f4} = 10,7 \cdot 10^{-6} \text{ m/s}$ und täuschen durch die zugesickerten Niederschläge höhere Durchlässigkeiten vor.

Zum Beginn des Pumpversuchs und am Ende jeder Pumpstufe wurde die Beschaffenheit des geförderten Grundwassers untersucht (Tab. 30). Das geförderte Grundwasser war während der gesamten Pumpdauer klar, farblos sowie ohne Geruch. Eine schwache Trübung wurde nur beim Pumpbeginn ermittelt. Die Wassertemperatur betrug zum Beginn des Pumpversuchs $9,3 \text{ }^\circ\text{C}$ und am Ende der letzten Pumpstufe bei $9,4 \text{ }^\circ\text{C}$. Bei einer mittleren Jahreslufttemperatur von $6 \text{ bis } 7 \text{ }^\circ\text{C}$ und einem am benachbarten Br Auenberg abgeschätzten geothermischen Tiefengradienten von $30,3 \text{ m}/^\circ\text{C}$, entstammt das Grundwasser einer mittleren Tiefe von 150 m u GK . Die Versuchsbohrung faßt vermutlich ein Mischwasser aus $50 \text{ bis } 200 \text{ m u GK}$. Die elektrische Leitfähigkeit schwankte zwischen $415 \text{ und } 430 \text{ } \mu\text{S/cm}$. Das Brunnenwasser hatte bei

den Beprobungen einen pH-Wert von 7,6 bis 7,7. Mit zunehmender Förderrate stieg das Redoxpotential von 440 mV auf 517 mV. Mit ansteigendem Redoxpotential verschwand auch der schwache metallische Geschmack des Wassers.

Am 19.03.1998 habe ich vor dem Abstellen der Pumpe eine Wasserprobe bei der Förderrate von $Q_4 = 51 \text{ m}^3/\text{h}$ genommen (Tab. 31). Das Wasser war klar, farblos, ohne Bodensatz und ohne Geruch. Der Geschmack war frisch. Bei einer Lufttemperatur von $4,1 \text{ }^\circ\text{C}$ wurde eine Wassertemperatur von $9,4 \text{ }^\circ\text{C}$ gemessen. Die elektrische Leitfähigkeit betrug $417 \text{ }\mu\text{S}/\text{cm}$, der pH-Wert war mit 7,6 schwach alkalisch. Das Redoxpotential wurde auf 517 mV bestimmt. Der Sauerstoffgehalt lag mit $2,0 \text{ mg}/\text{l}$ unter dem Gehalt der Sauerstoffsättigung von $11,08 \text{ mg}/\text{l}$. Das geförderte Grundwasser lag mit einer Gesamt-Härte von $12,1 \text{ }^\circ\text{dH}$ im Härtebereich 2. Das normal erdalkalische, überwiegend hydrogenkarbonatische Wasser hatte eine Karbonat-Härte von $11,6 \text{ }^\circ\text{dH}$. Der Gehalt an Calcium betrug $49,1 \text{ mg}/\text{l}$, der Gehalt an Magnesium $22,8 \text{ mg}/\text{l}$. Natrium war mit einem Gehalt von $4,9 \text{ mg}/\text{l}$, wie Kalium mit einem Gehalt von $1,4 \text{ mg}/\text{l}$, ein Nebenbestandteil. Unter den Anionen war Hydrogenkarbonat mit $253 \text{ mg}/\text{l}$ der Hauptbestandteil neben Sulfat mit $28,3 \text{ mg}/\text{l}$. Der Gehalt an Chlorid betrug $3,7 \text{ mg}/\text{l}$. Eisen und Mangan traten als Spuren auf. Eisen lag nach dem Ergebnissen der Wasseruntersuchung mit einem Gehalt von $0,74 \text{ mg}/\text{l}$ über den zulässigen Grenzwert von $0,2 \text{ mg}/\text{l}$. Mangan lag mit einem Gehalt von $0,035 \text{ mg}/\text{l}$ im Gegensatz zur Wasseruntersuchung von 1978 unter dem Grenzwert der TrinkwV. Verwunderlich ist der hohe Gehalt an Eisen, da dieser unter den gegebenen pH-Eh-Bedingungen nicht in dieser hohen Konzentration auftreten sollte. Ein Gehalt an Eisen von $0,74 \text{ mg}/\text{l}$ wäre zudem geschmacklich erkennbar gewesen. Zudem sollte bei einem solchen Gehalt an gelöstem Eisen und unter den gemessenen pH-Eh-Bedingungen der Gehalt an Mangan ebenfalls deutlich höher sein. Bei der Untersuchung einer zweiten Probe wurde ein Eisen-Gehalt von $0,13 \text{ mg}/\text{l}$ und ein Mangan-Gehalt von $0,033 \text{ mg}/\text{l}$ bestimmt (Tab. 32). Diese Werte sind bei gegebenen Stabilitätsbedingungen realistisch. Eine zumindest zeitweise Enteisung und Entmanganung kann im Förderbetrieb jedoch notwendig werden.

5.3.5.4 Wasserhaushalt im Einzugsgebiet der Versuchsbohrung

Die mittlere jährliche Niederschlagshöhe liegt am Keller-Zug bei etwa $N = 800$ bis 1.000 mm (KELLER 1978). Nach dem Wasserhaushaltsverfahren beträgt die mittlere jährliche Verdunstungsmenge $V = 450$ bis 500 mm . Nach TURC (in HÖLTING 1989: 25) berechnet sich die aktuelle Evapotranspiration bei einer mittleren jährlichen Lufttemperatur von 6 bis $7 \text{ }^\circ\text{C}$ auf $ET_{\text{akt}} = 404$ bis 446 mm . Bei einer angenommenen mittleren jährlichen Niederschlagsmenge von 900 mm und einer mittleren jährlichen Verdunstung von ca. 450 mm beträgt der mittlere jährliche Gesamtabfluß am Keller-Zug 450 mm ($M_q = 14,3 \text{ l}/(\text{s}\cdot\text{km}^2)$). Die Wasserhaushaltsgleichung ist nach ARBEITSKREIS GRUNDWASSER-NEUBILDUNG DER FH - DGG 1977 wie folgt:

$$A = N - V$$

$$A = (900 \text{ mm} \pm 100 \text{ mm}) - (475 \text{ mm} \pm 25 \text{ mm})$$

$$A = 425 \text{ mm} \pm 125 \text{ mm.}$$

Die mittlere jährliche Grundwasserneubildung schätze ich am Keller-Zug, wie im benachbarten Untersuchungsgebiet Auen-Berg auf $G = 3,3$ bis $3,6 \text{ l/(s*km}^2\text{)}$.

Nach den vorliegenden geologischen Karten schätze ich das Einzugsgebiet der Versuchsbohrung auf F ca. 6 km^2 . Die Cephalopoden-Kalke der Ense-Schuppen drainieren den gesamten Quarzit-Zug zwischen Ort-Berg und Schönstein. Bei einem Einzugsgebiet von F ca. 6 km^2 und gegebener Grundwasserneubildung berechnet sich die faßbare Grundwassermenge zu:

$$Q = F * G$$

$$Q = 6 \text{ km}^2 * (3,3 \text{ bis } 3,6 \text{ l/(s*km}^2\text{)})$$

$$mQ_s \text{ ca } 21 \text{ l/s,}$$

$$mQ_d \text{ ca. } 1.800 \text{ m}^3/\text{d,}$$

$$mQ_a = 662.000 \text{ m}^3/\text{a.}$$

In DIEDERICH et al. (1991, Anl. 2) wird die mittlere Ergiebigkeit einer im erbohrtem Grundwasserstockwerk niedergebrachten Brunnenbohrung pauschal auf 5 bis 15 l/s (432 bis $1.296 \text{ m}^3/\text{d}$) angegeben.

5.3.5.5 Möglichkeiten der Grundwassererschließung

Die 1998 mittels Pumpversuch durchgeführte Ergiebigkeitsuntersuchung an der Versuchsbohrung Kellerwald B1 hat für Bohrungen auf Grundwassererschließungen im Schiefergebirge hohe Ergiebigkeiten erbracht. Die zwischen Ort-Berg und Schönstein verlaufenden Ense-Schuppen drainieren eine Fläche von ca. 6 km^2 , mit einer Grundwasserneubildung von $3,3$ bis $3,6 \text{ l/(s*km}^2\text{)}$. Aufgrund der nachgewiesenen hohen Ergiebigkeit der Versuchsbohrung besteht die Möglichkeit, die Versuchsbohrung zum Tiefbrunnen auszubauen. Hierbei sollte die Bohrung bis auf die ca. 30 m tiefer liegende Basis der Ense-Schuppen vertieft werden. Durch die Erweiterung des Bohrlochdurchmessers auf 600 bis 700 mm werden die Brunnenverluste sinken und die Brunnenleistung steigen. Die Dauerförderleistung eines ausgebauten Brunnens kann erst nach einem kontinuierlichen Förderbetrieb von einigen Jahren festgelegt werden. Das Dargebot eines ausgebauten Tiefbrunnens schätze ich auf $Q_d = 600$ bis $900 \text{ m}^3/\text{d}$. Um eine erhöhte Absenkung in der Endphase der Typenkurve zu vermeiden, sollte sich der Brunnen nach einer Förderzeit von 20 Stunden 4 Stunden regenerieren. Das geförderte Grundwasser könnte über HB Braunau oder HB Auenberg zum Versorgungsgebiet Kernstadt gelangen.

Da sich die Ense-Schuppen sowohl an der WF Großer Brunnen, als auch an der Versuchsbohrung Kellerwald B1 als ergiebiger Grundwasserleiter herausgestellt haben, kann das Grundwasser der Cephalopoden-Kalke zudem am Braunauer Berg zwischen Braunau und Gershäuser Hof gefaßt werden. Ein ca. 150 m tiefer Bohrbrunnen würde am Nordwesthang des Braunauer Bergs ein Einzugsgebiet von F ca. 2 km^2 haben. Bei einer Grundwasserneubildung von G ca. $3 \text{ l/(s*km}^2)$ und einem Einzugsgebiet von F ca. 2 km^2 könnte der Brunnen ein Dargebot von Q_d ca. $300 \text{ m}^3/\text{d}$ haben.

6 Konzept zur Optimierung der Wasserversorgung

Nach den vorliegenden hydrogeologischen Untersuchungen können folgende zusätzlichen Dargebote über Grundwassererschließung mittels Brunnen gefaßt werden:

1. UG Sillbach	Br Albertshausen	Q_d ca. $53 \text{ m}^3/\text{d}$
2. UG Auen-Berg	Br 2 - Br 5 Auenberg	Q_d ca. $3 * 300 \text{ m}^3/\text{d}$
3. UG Große Aschkoppe	Br Armsfeld	Q_d ca. $80 \text{ m}^3/\text{d}$
4. UG Kellerwald	Br Kellerwald	Q_d $600 - 900 \text{ m}^3/\text{d}$
5. Nördlich UG Kellerwald	Br 2 Braunau	Q_d ca. $300 \text{ m}^3/\text{d}$
Summe		Q_d ca. $1.900 - 2.200 \text{ m}^3/\text{d}$ (Q_a ca. $700.000 - 800.000 \text{ m}^3/\text{a}$)

Bei einer möglichen Dargebotsreserve von $Q_a > 500.000 \text{ m}^3/\text{a}$ kann sich Bad Wildungen mit den angeschlossenen Stadtteile langfristig aus eigenen Grundwasservorkommen versorgen. Da weitläufige Einzugsgebiete für Wasserfassungen mit großen Dargeboten fehlen, muß sich Bad Wildungen aus mehreren Wasserfassungen mit kleinen Förderleistungen dezentral versorgen. Dabei sollte zunächst der Bedarf der Stadtteile aus örtlichen Wasserfassungen gedeckt werden. Überschußmengen können dann zusätzlich die Kernstadt versorgen.

Ein Brunnen im Sillbach-Tal könnte den Grundbedarf von ST Albertshausen decken. Das geförderte Dargebot könnte über eine drehzahlgesteuerte Pumpe direkt in das Leitungsnetz von Albertshausen gelangen. Hierbei würde die Sanierung von HB Albertshausen entfallen. ST Armsfeld kann vermutlich seinen gesamten Bedarf aus einem Brunnen im Heerbachtal fördern. Dabei würde das von ST Armsfeld belegte Dargebot ($100 \text{ m}^3/\text{d}$) im Br Auenberg zunächst den fehlenden Bedarf von ST Odershausen decken. Die zusätzliche Versorgung von ST Odershausen aus dem Versorgungsgebiet Kernstadt würde hinfällig. Damit entfielen auch der Pumpbetrieb und die Betriebskosten von Pumpstation Am Langen Rod. Zudem könnte WF Auenberg langfristig um bis zu drei Brunnen erweitert werden. Das Dargebot könnte dann über HB Auenberg und ST Odershausen im freien Gefälle dem Versorgungsgebiet Kernstadt zukommen. ST Mandern und ST Wega haben keine weitere Möglichkeit, aus dem benachbarten Buntsand-

steingebiet zwischen Wega und Wenzigerode zusätzlich Grundwasser zu fassen. Die vorhandenen Mengen werden derzeit von Br Mühlenberg, Qu Mandern und Qu Wega vollständig genutzt. Die Fördermengen aus Br Mühlenberg gelangt jedoch über das Versorgungsgebiet Kernstadt wieder nach Wega und Mandern. Überschüssige Mengen verbleiben im Versorgungsgebiet Kernstadt. Bei anhaltender Bedarfszunahme in ST Bergfreiheit besteht die Möglichkeit, zusätzliches Eigenwasser am Nordwesthang des Braunauer Bergs zu erschließen. Überschüssige Mengen können über die Transportleitung zwischen ST Braunau und ST Odershausen an ST Odershausen abgegeben werden. Die ausgebaute Versuchsbohrung Kellerwald B1 könnte ihr Dargebot über ST Braunau und ST Odershausen dem Versorgungsgebiet Kernstadt im freien Gefälle zuführen.

7 Zusammenfassung

Die Bad Wildunger Kraftwagenverkehrs- und Wasserversorgungsgesellschaft mbH - BKW versorgt knapp 20.000 Einwohner Bad Wildungens mit jährlich etwa 1,5 bis 2 Mio. m³ Trink- und Brauchwasser. Die BKW betreibt ein dezentrales Versorgungsnetz als Verbundsystem ohne Zonentrennung. Im Zentrum liegt das Versorgungsgebiet Kernstadt mit 6 Wasserfassungen. Die Stadtteile von Bad Wildungen liegen um die Kernstadt verteilt als Versorgungsgebiet Stadtteile mit 10 Wasserfassungen. Der jährliche Bedarf Bad Wildungens ist von 1970 mit 1.153.298 m³/a bis 1993 auf ein Maximum von 2.013.515 m³/a gestiegen und wegen dem Rückgang im Kurbetrieb (Kurkrise) bis 1999 wieder auf 1.625.477 m³/a gesunken. Im Versorgungsgebiet Kernstadt werden etwa 90 % der gesamten Fördermenge Bad Wildungens umgesetzt. Der spezifische Wasserverbrauch liegt im Versorgungsgebiet Stadtteile bei 130 l/Ed und im Versorgungsgebiet Kernstadt durch den intensiven Kurbetrieb bei 300 l/Ed. Der Kurbetrieb in Bad Wildungen verbraucht über Hotels und Kurkliniken etwa die Hälfte des Wassers, das für das Versorgungsgebiet Kernstadt bereitgestellt wird. Hohe Bedarfsschwankungen in Bad Wildungen wurden 1977, 1983 und 1997 durch „Kurkrisen“ verursacht. In Bad Wildungen liegen die Wasserverluste durch Rohrbrüche, Leckagen und scheinbaren Verlust aus Fehlmessungen bei ca. 10 %. Wegen des hohen und stark schwankenden Bedarfs im Kurwesen ist eine zukünftige Verbrauchszunahme nur grob abschätzbar. Die mittlere jährliche Verbrauchszunahme zwischen 1970 und 1999 liegt bei 17.200 m³/a. Nach der Entwicklung der Einwohnerzahlen von 1989 bis 2000 und bei einem spezifischen Verbrauch von 150 l/Ed berechnet sich die mittlere Bedarfszunahme zu jährlich 6.500 m³/a. Für das Versorgungsgebiet Kernstadt wird der Bedarf bis 2010 auf Q_a ca. 1.594.000 m³/a geschätzt. Nach POSS & HACKER (1991) berechnet sich der Spitzenbedarf zu Q₁ ca. 5.925 m³/d. Für das Versorgungsgebiet Stadtteile schätze ich den Bedarf bis 2010 auf Q_a ca. 309.000 m³/a. Bei einem Tagesspitzenfaktor von f_d = 1,3 liegt der Spitzenbedarf bei Q₁ ca. 1.100 m³/d.

Das Stadtgebiet von Bad Wildungen reicht vom Zentrum des Kellerwald-Gebirges über die Wildunger Randstaffelzone bis an den Rand der Hessischen Senke. Das Stadtgebiet von Bad Wildungen ist in folgende strukturgeologische Einheiten gegliedert:

1. Unteres Stockwerk im Hundsdorfer Gewölbe mit Tonschiefer und Hahnberg-Sandstein (vorwiegend Mittel-Devon),
2. Mittleres Stockwerk mit vorwiegend Aschkoppen-Sandstein, Diabase (spilitisierte Basalte), Kieselschiefer (vorwiegend Ober-Devon und tiefes Unter-Karbon),
3. Oberes Stockwerk mit Kulm-Tonschiefer und -Grauwacken (Unter-Karbon),
4. Schuppen aus Tonschiefer mit eingeschalteten Diabasen zwischen Schuppenzone des Auen-Bergs und Ense-Schuppen (Mittel- und Ober-Devon),
5. Kalke und Tonschiefer der Ense-Schuppen (Mittel- und Ober-Devon),
6. Quarzit-Zug des Kellerwalds (Ober-Devon und Unter-Karbon),
7. Deckgebirge (Perm und Trias),
8. Ederschotter (Quartär).

Auf dreiviertel des Stadtgebiets von Bad Wildungen streichen intensiv gefaltete und verschuppte paläozoische Gesteinsserien aus. Das Gebirge ist derart kleinräumig zerstückelt, daß weit ausgedehnte Wassereinzugsgebiete fehlen. Zudem erschweren aus der Tiefe aufsteigende Mineralwässer die Grundwassererschließung. Die geförderten Wassermengen verteilen sich wie folgt auf die geologischen Einheiten:

1. Unteres Stockwerk	10 %
2. Mittleres Stockwerk	9 %
3. Oberes Stockwerk	0 %
4. Schuppen aus Tonschiefer mit eingeschalteten Diabasen	0 %
5. Ense-Schuppen (mit teilweise Deckgebirge)	41 %
6. Quarzit-Zug	0 %
7. Deckgebirge	25 %
8. Eder-Schotter	15 %

Die BKW kann derzeit Bad Wildungen und umliegende Stadtteile mit dem bewilligten Dargebot von $Q_1 = 2.266.650 \text{ m}^3/\text{a}$ ausreichend versorgen. Bei einer anhaltenden mittleren jährlichen Bedarfszunahme zwischen 1983 und 1995 von ca. 30.000 m^3 , hätte die BKW in wenigen Jahren den Bedarf von Bad Wildungen mit den vorhandenen Förderkapazitäten nicht mehr decken können. Um Bad Wildungen zukünftig aus örtlichen Wasservorkommen zu versorgen, werden daher hydrogeologische Grundlagen nutzbarer Grundwasservorkommen im Stadtgebiet von Bad Wildungen erarbeitet und Standorte für mögliche, neue Wasserfassungen erkundet.

UG Sillbach

In UG Sillbach besteht die Möglichkeit, den verfalteten Hahnberg-Sandstein des unteren tektonischen Stockwerks mittels eines Bohrbrunnens zu erschließen. Die klimatische Wasserbilanz in UG Sillbach ist wie folgt:

	hydrol. Jahr 1995/96	langjähriges Mittel
Niederschlag [mm]	500	675 ± 25
Verdunstung [mm]	354 ± 6	475 ± 25
Abfluß [mm]	146 ± 6	200 ± 50

Bei einer bestimmten Grundwasserneubildung von $G = 3,0$ bis $3,5 \text{ l/(s*km}^2)$ und einem Einzugsgebiet von 1 km^2 berechnet sich die mittlere tägliche Neubildung des Grundwassers auf 259 bis $302 \text{ m}^3/\text{d}$. Bei einer erwarteten mittleren Förderrate eines etwa 50 m tiefen Brunnens, würde der mittlere Bedarf von ST Albertshausen (Q_d ca. $53 \text{ m}^3/\text{d}$) gedeckt werden. Das geförderte Wasser könnte mittels drehzahlgesteuerter Pumpe in das Leitungsnetz geführt werden.

UG Auen-Berg

Das mittlere tektonische Stockwerk der Schuppenzone des Auen-Bergs bietet sich zur Erschließung von Grundwasser aus folgenden Gründen an:

1. Die Schichtenfolgen der Schuppenzone des Auen-Bergs sind nach dem Pumpversuch an Br Auenberg für Schiefergebirgsverhältnisse ein ergiebiger Kluffgrundwasserleiter.
2. Das mittlere Stockwerk der Schuppenzone ist nach Westen durch Tonschiefer des unteren Stockwerks und nach Osten durch Kulm-Tonschiefer des oberen Stockwerks abgedichtet. Infiltrierende Niederschläge nur über längere Strecken nördlich bei ST Odershausen oder südlich bei Bergfreiheit in die Vorfluter abströmen können.

Die klimatische Wasserbilanz wurde für UG Auen-Berg wie folgt bestimmt:

	hydrol. Jahr 1995/96	langjähriges Mittel
Niederschlag [mm]	577	725 ± 25
Verdunstung [mm]	300 ± 50	425 ± 25
Abfluß [mm]	277 ± 50	300 ± 50

Bei einer Grundwasserneubildung von $G = 3,3$ bis $3,6 \text{ l/(s*km}^2)$ und einem weitläufigen Einzugsgebiet zwischen ST Odershausen und Haddenberg besteht die Möglichkeit, WF Auenberg mit bis zu drei weiteren Tiefbrunnen auf ein mittleres Dargebot von Q_a ca. $438.000 \text{ m}^3/\text{d}$ zu erweitern. Das Dargebot könnte über ST Odershausen dem Versorgungsgebiet Kernstadt zugeführt werden.

UG Große Aschkoppe

Im Untersuchungsgebiet Große Aschkoppe wurden die höchsten Abflußspenden von im $M_q = 2,85 \text{ l/(s*km}^2)$ ermittelt. Da das mittlere tektonische Stockwerk zwischen Hundsdorf, Löhlbach und Armsfeld auf einer weitläufigen Kuppe liegt, strömen infiltrierende Niederschläge allseitig ab. Hieraus werden die Wasserfassungen der umliegenden Ortschaften gespeist. Nur im Gebiet zwischen Alte Koppe, Kleine Aschkoppe und dem Berg Hain besteht die Möglichkeit, ausrei-

chend Grundwasser zu fassen. Das nach W-SW abströmende Grundwasser im mittleren Stockwerk staut sich an den Kulm-Tonschiefern zwischen WF Löhlbach und Bubenei. Die klimatische Wasserbilanz in UG Große Aschkoppe ist wie folgt:

	hydrol. Jahr 1995/96	langjähriges Mittel
Niederschlag [mm]	600	775 ± 25
Verdunstung [mm]	300 ± 50	412 ± 13
Abfluß [mm]	300 ± 50	364 ± 38

Eine in diesem Einzugsgebiet von F ca. 2,5 km² abgeteufte Bohrung würde bei einer Grundwasserneubildung von $G = 3,7$ bis $4,0$ l/(s*km²) ein Dargebot von mQ_d ca. 250 m³/d haben. Zur Verbesserung der Eigenversorgung von ST Hundsdorf besteht die Möglichkeit, Qu II Hundsdorf neu zu fassen. Eine Bohrung im mittleren Stockwerk zwischen Winterberg und Schierberg sollte ein Dargebot von mQ_d ca. 80 m³/d erschließen. Hierdurch besteht die Möglichkeit, ST Armsfeld langfristig mit Eigenwasser zu versorgen.

UG Mühlenberg

Das Buntsandsteingebiet zwischen Wega und Wenzigerode ist am Abbruch zur Hessischen Senke in zahlreiche kleinräumige Schollen zerstückelt. Das Untersuchungsgebiet umfaßt den Elimer Graben, den Wegaer Graben und deren Randschollen. Bei einer mittleren Förderrate (Br Mühlenberg, Qu Mandern, Qu Wega) von mQ_d ca. 400 m³/d (Q_s ca. 4,6 l/s) und einer Grundwasserneubildung von $G = 1,0$ l/(s*km²) errechnet sich das Einzugsgebiet zu F ca. 4,6 km². Diese Fläche entspricht etwa der zur Grundwassererschließung für Bad Wildungen nutzbaren Fläche im Elimer und Wegaer Graben. Durch weitere Erschließungen von Grundwasser im Elimer und Wegaer Graben erwarte ich daher eine langfristige Übernutzung des örtlichen Grundwasservorkommens. Die klimatische Wasserbilanz in UG Mühlenberg ist wie folgt:

	hydrol. Jahr 1995/96	langjähriges Mittel
Niederschlag [mm]	500	625 ± 25
Verdunstung [mm]	356	440 ± 20
Abfluß [mm]	144	185 ± 45

UG Keller

Im UG Keller wurde die 200 m tiefe Versuchsbohrung Kellerwald B1 auf ihre Ergiebigkeit untersucht. Die Versuchsbohrung erschließt den Kluffgrundwasserleiter der Ense-Schuppen. Die Ense-Schuppen streichen am Norwesthang des Keller-Zugs zwischen Ort-Berg und Dodenhausen aus. Die Ense-Überschiebung als auch die Keller-Überschiebung fallen mit ca. 15 bis 18 ° nach Südosten ein. Die Ense-Schuppen sind an ihrer Basis durch einen Schuppenstapel aus Tonschiefern abgedichtet. Die durchlässigen Schichtenfolgen des Quarzit-Zugs liegen den Cephalopoden-Kalken auf. Sie sind stark zerklüftet und haben durch ihre großflächige Verbreitung ein großes potentielles Einzugsgebiet. Die Versuchsbohrung erfaßt durch die drainierenden

Cephalopden-Kalke eine Fläche von etwa 6 km² des Keller-Zugs. Die hydrologischen Bedingungen des erbohrten Aquifers der Versuchsbohrung Kellerwald B1 sind wie folgt:

1. Die Versuchsbohrung steht in einem teilweise verkarsteten Klufftgrundwasserleiter der Ense-Schuppen. Durch die angelösten Kluffflächen haben die Cephalopden-Kalke ein vergrößertes Kluffvolumen und erhöhte Durchlässigkeiten.
2. Die in die Kalke eingeschalteten Tonschieferlagen sind GW-Geringleiter.
3. Die Ense-Schuppen drainieren den durchlässigen Klufftgrundwasserleiter des Quarzit-Zugs im Hangenden.
4. Die Ense-Schuppen sind durch Tonschiefer im Liegenden abgedichtet.
5. Der Aquifer der Ense-Schuppen wird durch einen Hang einseitig begrenzt.

1978 wurde ein Pumpversuch über 3 bis 4 Tage an der Versuchsbohrung gefahren. Die Absenkung folgt der Gleichung der Leistungscharakteristik von

$$s = 0,021 * Q^2 + 0,056 * Q.$$

Der Durchlässigkeitsbeiwert wurde auf $k_f = 2,9 \text{ bis } 3,9 * 10^{-6} \text{ m/s}$ bestimmt.

Beim Pumpversuch von 1978 wurden die einzelnen Pumpstufen derart kurz gefahren, daß keine ausreichende Aussage über das hydrologische Verhalten des Aquifers gemacht werden kann. Zur genaueren Bestimmung der Gebirgsergiebigkeit wurde 1998 ein vierwöchiger Pumpversuch an der Versuchsbohrung gefahren. Dabei wurde mit Förderraten von 20, 30, 40 und 51 bis 53 m³/h wöchentlich gepumpt. Anschließend wurde der Wiederanstieg bis zum Niveau des Ruhewasserspiegels beobachtet. Beim Abschalten der Unterwasserpumpe hatte sich der Wasserspiegel im Bohrloch nach vierwöchigem Pumpbetrieb um lediglich 60 m abgesenkt. Dabei wurde eine Grundwassermenge von $V \text{ ca. } 18.000 \text{ m}^3$ gewonnen und über eine fliegende Leitung abgeführt. Die Typenkurven haben in ihrer Endphase nach einer Übergangszeit von 20 bis 40 Stunden die doppelte Steigung der Anfangsphase. Dabei hat sich in dieser Zeit der Absenkungstrichter bis an den einseitig aquiferbegrenzenden Nordwesthang des Keller-Zugs ausgebreitet. Nach der geologischen Revisionskartierung ist dieses zu erwarten. Die Absenkung nach 20 Stunden Pumpzeit folgt der Gleichung der Leistungscharakteristik von:

$$s = 0,011 * Q^2 + 0,494 * Q.$$

Der Durchlässigkeitsbeiwert wurde auf $k_f = 2,7 \text{ bis } 4,7 * 10^{-6} \text{ m/s}$ bestimmt. Durch die in die Cephalopden-Kalke eingeschalteten Tonschiefer ist die Durchlässigkeit der Ense-Schuppen gering. Das nutzbare Kluffvolumen der Kalke ist durch die angelösten Kluffflächen erhöht.

Die klimatische Wasserbilanz ist für den Keller-Zug wie folgt:

	langjähriges Mittel
Niederschlag [mm]	900 ± 100
Verdunstung [mm]	475 ± 25
Abfluß [mm]	425 ± 125

Bei einer einer geschätzten Grundwasserneubildung von $G = 3,3$ bis $3,6 \text{ l/(s*km}^2\text{)}$ und einem Einzugsgebiet von ca. 6 km^2 kann die Versuchsbohrung eine sich regenerierende Grundwassermenge von täglich Q_d ca. 1.800 m^3 fördern. Das Grundwasser ist nach der Wasseruntersuchung ohne Aufbereitung als Trinkwasser nutzbar. Dennoch könnte im Dauerbetrieb eines ausgebauten Brunnens eine Aufbereitung des Rohwassers zur Minderung des Eisen- und Mangan-gehalts notwendig werden.

Nach der hohen Ergiebigkeit der Ense-Schuppen am Keller-Zug und an WF Großer Brunnen besteht die Möglichkeit, mittels Tiefbrunnen Grundwasser am Nordwesthang des Braunauer Bergs zu fassen. Bei einer Grundwasserneubildung von G ca. $3,0 \text{ l/(s*km}^2\text{)}$ und einem potentiellen Einzugsgebiet von $2,0 \text{ km}^2$ könnte ein Tiefbrunnen ein Dargebot von Q_d ca. $300 \text{ m}^3/\text{d}$ fördern.

Nach den vorliegenden hydrogeologischen Untersuchungen können folgende zusätzliche Dargebote über Grundwassererschließung mittels Brunnen gefaßt werden:

1. UG Sillbach	Br Albertshausen	Q_d ca. $53 \text{ m}^3/\text{d}$
2. UG Auen-Berg	Br 2 - Br 5 Auenberg	Q_d ca. $3 * 300 \text{ m}^3/\text{d}$
3. UG Große Aschkoppe	Br Armsfeld	Q_d ca. $80 \text{ m}^3/\text{d}$
4. UG Kellerwald	Br Kellerwald	Q_d $600 - 900 \text{ m}^3/\text{d}$
5. Nördlich UG Kellerwald	Br 2 Braunau	Q_d ca. $300 \text{ m}^3/\text{d}$
Summe		Q_d ca. $1.900 - 2.200 \text{ m}^3/\text{d}$ (Q_a ca. $700.000 - 800.000 \text{ m}^3/\text{a}$)

Bei einer möglichen Dargebotsreserve von $Q_a > 500.000 \text{ m}^3/\text{a}$ kann sich Bad Wildungen langfristig aus eigenen Grundwasservorkommen versorgen.

Da weitläufige Einzugsgebiete für Wasserfassungen mit großen Dargeboten fehlen, muß sich Bad Wildungen langfristig aus zahlreichen Wasserfassungen mit kleinen Dargeboten dezentral versorgen. Ziel hierbei ist es, zunächst die Stadtteile mit geringem Bedarf aus örtlichen Wasserfassungen mit Eigenwasser zu versorgen und Überschussmengen in das Versorgungsgebiet Kernstadt zu leiten.

8 Literaturverzeichnis

- AD-HOC ARBEITSGRUPPE HYDROGEOLOGIE (1997): Hydrogeologische Kartieranleitung.- Geol. Jb. Reihe G, 2: 157 S., 15 Abb., 6 Tab., 9 Anl.; Hannover.
- ARBEITSKREIS GRUNDWASSERNEUBILDUNG DER FACHSEKTION HYDROGEOLOGIE DER DEUTSCHEN GEOLOGISCHEN GESELLSCHAFT: (1977): Methoden zur Bestimmung der Grundwasserneubildung.- Geol. Jb. Reihe C, 19: 98 S., 30 Abb., 9 Tab.; Hannover.
- AHRENDT, H.: (1965): Devon und Karbon zwischen Altenhaina und Armsfeld (Mtbl. 4919 Frankenau und 4920 Armsfeld, Kellerwald).- Unveröff. Dipl.-Arb., 70 S., 4 Taf., 6 Anl.; Göttingen.
- BEIERSDORF, H. (1965): Devon und Karbon zwischen Armsfeld und dem Ortberg (Mtbl. Armsfeld 4920, Kellerwald).- Unveröff. Dipl.-Arb., 68 S., 1 Abb., 7 Anl.; Göttingen.
- BERING, D. (1966): Stratigraphie, Fazies und Vulkanismus im Devon und Karbon des Gebietes südlich Armsfeld (Mtbl. 4920 Armsfeld, Kellerwald).- Unveröff. Dipl.-Arb., 74 S., 5 Abb., 10 Anl.; Göttingen.
- DENCKMANN, A. (1901): Der geologische Bau des Kellerwaldes. - Kurze Erläuterungen zur Geologischen Uebersichtskarte des Kellerwaldes 1:100.000.- Abh. kgl. preuß. geol. L.-Anst., N.F., **34**: 88 S., 2 geol. Ktn. 1:25:000, 1 geol. Kt. 1:100.000; Berlin.
- DENCKMANN, A. (1902): Erläuterungen zur geologischen Specialkarte von Preussen und benachbarten Bundesstaaten.- 1 geol. Kt. 1:25 000; Berlin.
- DIEDERICH, G., FINKENWIRTH, A., HÖLTING, B., KAUFMANN, E., RAMBOW, D., SCHARPFF, H.-J., STENDEL-RUTKOWSKI, W. & WIEGAND, K. (1991): Hydrogeologisches Kartenwerk Hessen 1:300.000.- 83 S., 3 Abb., 4 Tab., 5 Kt.; Wiesbaden.
- EDER, W. (1966): Devon und Karbon des Kellers (Mtbl. 4920 Armsfeld, Kellerwald).- Unveröff. Dipl.-Arb., 52 S., 3 Abb., 5 Anl.; Göttingen.
- ENGEL, W. (1966): Devon und Karbon am Ostrand des Kellerwaldes zwischen Oberurff und Braunau (Mtbl. 4921 Armsfeld und 4921 Borken).- Unveröff. Dipl.-Arb., 52 S., 4 Anl.; Göttingen.
- FÜTTERER, D. (1966): Das Mittel-Devon im Hundsdorfer Sattel (Mtbl. 4920 Armsfeld, Kellerwald).- Unveröff. Dipl.-Arb., 40 S., 1 Abb., 1 Tab., 2 geol. Ktn. 1:25.000, 2 Anl. (1 geol. Kt. 1:10.000), Göttingen.

- GEISSLER, H. (1965): Oberdevon und Unterkarbon im nordwestlichen Kellerwald zwischen Frankenau und Löhlbach und um Frebershausen (Mtbl. 4919 Frankennau und 4819 MtBl. Fürstenberg).- Unveröff. Dipl.-Arb., 60 S., 6 Taf., 9 Anl., Göttingen.
- GRIMM, A. (1965): Devon und Karbon in der westlichen Umrandung des Hundsdorfer Sattels (Mtbl. 4919 Frankennau und 4920 Armsfeld, Kellerwald).- Unveröff. Dipl.-Arb., 50 S., 4 Abb., 6 Anl., Göttingen.
- HAUDE, W. (1954): Zur praktischen Bestimmung der Aktuellen und Potentiellen Evaporation und Evapotranspiration.- Mitt. dt. Wetterdienst, **1** (8): 1-22; Bad Kissingen.
- HESSISCHE LANDESANSTALT FÜR UMWELT (1971): Sonderplan Wasserversorgung Nordhessen.- 23 Tab., 27 Abb., 14 Ktn; Wiesbaden.
- HÖLTING, B. (1989): Hydrogeologie.- 3., neu bearb. Aufl., 396 S., 109 Abb., 39 Tab.; Stuttgart.
- HORN, M. & KULICK, J. (1969): Geologische Karte von Hessen 1:25.000.- Blatt 4720 Waldeck; Wiesbaden.
- HORN, M., KULICK, J. & MEISCHNER, D. (1973a): Geologische Karte von Hessen 1:25.000.- Blatt 4820 Bad Wildungen; Wiesbaden.
- HORN, M., KULICK, J. & MEISCHNER, D. (1973b): Erl. geol. Kt. Hessen 1:25.000, Bl. 4820 Bad Wildungen.- 386 S., 69 Abb., 20 Tab., 2 Taf., 3 Beibl.; Wiesbaden.
- HORN, M. & RÖSING (1971): Geologische Karte von Hessen 1:25.000.- Blatt 4721 Naumburg; Wiesbaden.
- KELLER, R. (1978): Hydrologischer Atlas der Bundesrepublik Deutschland - Karten und Erläuterungen.- 29 S., 68 Kt.; Boppard.
- KNOCH, K. (1950): Klima-Atlas von Hessen.- 9 Abb., 75 Kt.; Bad Kissingen.
- KULCIK, J. (1998): Geologische Karte von Hessen 1:25.000.- Blatt 4821 Fritzlar; Wiesbaden.
- LILLICH, W. (1970): Vergleich moderner Methoden zur Bestimmung des Grundwasseranteils am Gesamtabfluß an der Erdoberfläche.- Z- Dtsch. Geol. Ges., Sonderh. Hydrogeol.- Hydrochem., S. 17-25, 2 Abb.; Hannover.
- MEISCHNER, D. (1966): Der geologische Bau des Kellerwaldes.- Mit geol. Übersichtskt. 1:25.000, Unveröff. Habil.-Schr. 240 S., 32 Abb., 7 Tab., 1 geol. Kt. 1:25.000; Göttingen.
- MEISCHNER, D. (1991): Kleine Geologie des Kellerwaldes.- Jber. Mitt. oberrhein. geol. Ver., **73**:, 115-142, 10 Abb.; Stuttgart.

- MEISCHNER, D. Steinmetz, S. (2000): Die Mineralquellen von Bad Wildungen (Hessen), tektonische Stellung und Herkunft der gelösten Bestandteile.- Geschenk für die Freunde und Freundinnen des Kellerwaldes zum Treffen in Bad Wildungen am 29. und 30. April 2000, 20 S., 10 Abb., 1 Tab.; Göttingen.
- PETER, M. (1997): Evaluierung eines Sanierungskonzeptes zur Verringerung der Nitratbelastung in einem Trinkwasserschutzgebiet in Nordhessen.- Boden und Landschaft, **16**: 258 S., 83 Abb., 39 Tab.; Gießen.
- POSS, C. & HACKER, G. (1991): Maximale Tages- und Stundenabgabe an Versorgungsgebiete in der Trinkwasserversorgung der Bundesrepublik Deutschland.- GWF-Wasser/Abwasser, **132**; München.
- SCHNEIDER, J. (1965): Oberdevon und Unterkarbon zwischen Odershausen und Armsfeld (Mtbl. Armsfeld 4920, Kellerwald).- Unveröff. Dipl.-Arb., 39 S., 1 Abb., 8 Anl.; Göttingen.
- SCHNEIDER, J. (1969): Das Ober-Devon des nördlichen Kellerwaldes (Rheinisches Schiefergebirge).- Abh. hess. L.-Amt Bodenforsch., **55**: 124 S., 24 Abb., 1 Taf.; Wiesbaden.
- STOBER, I., STRAYLE, G. & SCHLOZ, W. (1994): Ergiebigkeitsuntersuchungen in Festgesteinsaquiferen.- Inform. Geol. L.-Amt Baden-Württemberg, **6**: 114 S., 65 Abb., 11 Tab.; Freiburg i. Br.
- STEINMETZ, S. (1994): Die Mineralquellen von Bad Wildungen: Herkunft und tektonische Stellung - mit strukturgeologischer Kartierung 1:25.000.- Unveröff. Dipl. Arb., 91 S., 7 Tab., 4 Anl.; Göttingen.
- STOPPEL, D. (1961): Der geologische Bau des südlichen Kellerwaldgebirges.- Abh. hess. L.-Amt Bodenforsch., **34**: 114 S., 21 Abb., 2 Tab., 4 Taf., 1 geol. Kt. 1:25 000; Wiesbaden.
- TROLL, C. & PAFFEN, KH. (1964): Jahreszeitenklimata der Erde.- Erdkunde. **18** (1): 1 Anl..
- UHLIG, S. (1959): Wasserhaushaltsbetrachtung nach THORNTHWAITE.- Z. Acker-Pflanzenbau, **109**: 384-407; Berlin.

Unveröffentlichte Gutachten und Berichte

- CELLER BRUNNENBAU GMBH (1978a): Schichtenverzeichnis für Wasserbohrungen - Bohrung Bergfreiheit B1.- 3 S.; Celle.
- CELLER BRUNNENBAU GMBH (1978b): Pumpprotokoll - Bohrung Bergfreiheit B1 (Druckluftpumpversuch).- 1 S.; Celle.
- CELLER BRUNNENBAU GMBH (1978c): Pumpprotokoll - Bohrung Bergfreiheit B1.- 5 S.; Celle.
- DORN, M., GROH, D. & PETER, M. (1994): Abschlußbericht zum Pilotprojekt - Reduzierung des Eintrages von Nitrat in das Grundwasser der Karstquelle „Grosser Brunnen“ der Stadt Bad Wildungen im Landkreis Waldeck-Frankenberg.- Teil 1 Hydrogeologisch-hydrochemischer Untersuchungskomplex. 141 S., 66 Abb, 81 Tab.; Bad Wildungen.
- HARRACH, T. & PETER, M. (1994): Abschlußbericht zum Pilotprojekt - Reduzierung des Eintrages von Nitrat in das Grundwasser der Karstquelle „Grosser Brunnen“ der Stadt Bad Wildungen im Landkreis Waldeck-Frankenberg.- Teil 2 Standortkundlich-pflanzenbaulicher Untersuchungskomplex. 261 S., 74 Abb., 28 Tab., 4 Kt.; Bad Wildungen.
- HGN HYDROGEOLOGIE GMBH (1994): Hydrogeologisches Gutachten - Wasserfassung Sölzer Wiese (Br Anraff II).- 33 S.
- HLFB (1971): Gutachten des Hessischen Landesamtes für Bodenforschung über 8 von der Stadt Bad Wildungen (Landkreis Waldeck) im Gebiet Naumburg - Elbenberg - Heimarshausen (Landkrs. Wolfhagen) ausgeführte Untersuchungsbohrungen (Az. 341-1526/71 Hö-Rw/Ro).- 13 S., 17 Anl.; Wiesbaden.
- HLFB (1977): Gutachten des Hessischen Landesamtes für Bodenforschung zur Festsetzung des Wasserschutzgebietes für die Brunnen der Stadt Bad Wildungen / Kreis Waldeck-Frankenberg am Naumburger Graben im Gebiet des Landkreises Kassel (Az. 341-2449/76 Hö/Str).- 9 S., 1 Anl.; Wiesbaden.
- HLFB (1981): Hydrogeologisches Gutachten des Hessischen Landesamtes zur Verbesserung der Wasserversorgung im Stadteil Hundsdorf der Stadt Bad Wildungen (Landkreis Waldeck-Frankenberg) (Az. 341-1890/81 Hö/Da).- 3 S.; Wiesbaden.
- HLFB (1984): Hydrogeologisches Gutachten des Hessischen Landesamtes zur Festsetzung des Schutzgebietes für den Brunnen Mühlenberg der Stadt Bad Wildungen (Landkreis Waldeck-Frankenberg) (Az. 341-717/84 Hö/Da).- 5 S., 1 Anl.; Wiesbaden.
- HLFB (1990): Gutachten für ein Untersuchungsprogramm zur Klärung der hydraulischen Verhältnisse im Edertal zwischen Bergheim und Anraff (Kreis Waldeck-Frankenberg (Az. 341-1687/90 Schf/Ks).- 5 S., 1 Anl.; Wiesbaden.

- HLFB (1992): Gutachten über das Ergebnis eines Pumpversuchs im Brunnen Anraff II (Sölzer Wiese) der Stadt Bad Wildungen (Az. 341-835/92 Schf/Ta).- 9 S., 6 Anl.; Wiesbaden.
- INSTITUT FÜR UMWELT-HYGIENE DER PHILIPPS-UNIVERSITÄT MARBURG (1978): Wasseruntersuchung (Pumpversuch im Stadtteil Bergfreiheit, Az. 2087/78).- 1 S.; Marburg/L.
- PICKEL, H.-J. (1961): Zusammenfassender Bericht über die Ergebnisse der Bohrungen am Großen Brunnen und bei Bergheim.- 7 S., 15 Anl.; Kassel.
- STAATLICHES MEDIZINAL-, LEBENSMITTEL-, UND VETERINÄRUNTERSUCHUNGSAMT NORDHESSEN (1998a): Wasseruntersuchung gemäß Verordnung über Trinkwasser und über Wasser für Lebensmittelbetriebe vom 5. Dezember 1990 (Trinkwasserverordnung - TrinkwV, Az. 21-98/02936).- 2 S.; Kassel.
- STAATLICHES MEDIZINAL-, LEBENSMITTEL-, UND VETERINÄRUNTERSUCHUNGSAMT NORDHESSEN (1998b): Wasseruntersuchung gemäß Verordnung über Trinkwasser und über Wasser für Lebensmittelbetriebe vom 5. Dezember 1990 (Trinkwasserverordnung - TrinkwV, Az. 21-98/07550).- 1 S.; Kassel.
- STEINMETZ, S. (1998): Bericht über das Ergebnis des Pumpversuchs vom 28.02 bis 25.03.1998 an der Versuchsbohrung Kellerwald B1 der Stadt Bad Wildungen (Landkreis Waldeck-Frankenberg).- 45 S., 10 Abb., 8 Tab.; Göttingen.
- TENT, S. (1996): Studie zur Wasserversorgung der Stadt Bad Wildungen.- 39 S., 9 Anl.; Bad Wildungen.
- TENT, S. (1998): Wasserbilanz für das Versorgungsgebiet Kernstadt der Stadt Bad Wildungen.- 15 S., 2 Anl.; Bad Wildungen.

Normen, Regelwerke und Verordnungen

- WHG, WASSERHAUSHALTSGESETZ (1986): Gesetz zur Ordnung des Wasserhaushalts.- in der Neufassung vom 23. September 1986, BGBl. I S. 1529-1654.
- HWG, HESSISCHES WASSERGESETZ (1990): Hessisches Wassergesetz.- in der Fassung vom 22. Januar 1990, GVBl. I 1990 S. 114, 1994 S. 764, 1996 S. 110, 1996 S. 384, 1997 S. 241.
- TRINKWV, TRINKWASSERVERORDNUNG (1990): Verordnung über Trinkwasser und über Wasser für Lebensmittelbetriebe in der Fassung vom 5. Dezember 1990.- BGBl. Teil I, 2612-2629; Bonn [z.Zt. in Überarbeitung]

Anhang

Methodik

Geologische Kartierung

Die geologischen Revisionskartierungen wurden mittels Lesesteinkartierung im Maßstab 1:10.000 aufgenommen. Tektonische Gefügeelemente habe ich mit einem Geologenkompaß der Firma VEB Freiburger Räsionsmechanik eingemessen.

Meteorologische Aufnahmen

Vom 1. Oktober 1995 bis zum 4. November 1996 habe ich meteorologische Messungen innerhalb der Umzäunung des Hochbehälters Auenberg durchgeführt (R: 35 05 550, H: 56 58 400, h: 530 m ü. NN). Die installierte Wetterstation stand auf einer Lichtung im Rotbuchenhochwald und war mit einem Thermohydrographen der Firma Wilh. Lambrecht GmbH ausgestattet. Der Thermohydrograph stand 2 m ü GK und hat die Lufttemperatur und die relative Feuchte kontinuierlich auf Meßstreifen aufgezeichnet. Für die Niederschlagsmessung wurde ein Regenschirm nach HELLMANN der selben Firma benutzt. Die Meßauffangfläche lag 1 m ü. GK. Es wurden wöchentliche Niederschlagssummen ermittelt.

Die tägliche Lufttemperatur T_d wird nach folgender Gleichung berechnet:

$$T_d = (T_{7 \text{ Uhr}} + T_{14 \text{ Uhr}} + 2 * T_{21 \text{ Uhr}}) / 4 \quad [^{\circ}\text{C}] \text{ (MEZ).}$$

Aus der täglichen Lufttemperatur T_d wird der Sättigungsdampfdruck E wie folgt bestimmt:

$$E = 6,09 * 10^{\frac{7,5 * T_d}{(265,5 + T_d)}} \quad [\text{mbar}] \text{ über Wasser,}$$

$$E = 6,09 * 10^{\frac{9,5 * T_d}{(265,5 + T_d)}} \quad [\text{mbar}] \text{ über Eis.}$$

Die tägliche relative Feuchte r_{F_d} wird nach folgender Gleichung ermittelt:

$$r_{F_d} = (r_{F_{7 \text{ Uhr}}} + r_{F_{14 \text{ Uhr}}} + r_{F_{21 \text{ Uhr}}}) / 3 \quad [^{\circ}\text{C}] \text{ (MEZ).}$$

Die relative Feuchte ist der Quotient aus Dampfdruck e zu Sättigungsdampfdruck E * 100%.

Aus der täglichen relativen Feuchte und der täglichen Lufttemperatur berechnet sich die potentielle Evapotranspiration nach HAUDE (1952) zu:

$$E_{\text{pot}} = f * (E - e) \quad [\text{mm/d}]$$

HAUDE gibt folgende monatliche Korrekturfaktoren f an:

Okt., Nov., Dez., Jan., Feb.: 0,26 Mär.: 0,33 Apr., Mai: 0,39 Jun.: 0,37
Jul.: 0,35 Aug.: 0,33 Sep.: 0,31.

Abfluß- und Schüttungsmessungen

Die Abfluß- und Schüttungsmessungen wurden in wöchentlichen bzw. 14-tägigen Intervallen durchgeführt. Der Abfluß von Bächen und die Schüttung der Quellen wurde mit einem der Abfluß- bzw. Schüttungsmenge angepaßten Meßbecher (1 l), kalibrierten Eimer (5 l und 10 l) und einer kalibrierten Wanne (40 l) sowie einer Stoppuhr bestimmt. Die Abfluß- und Schüttungsraten wurden an Überfällen ermittelt. Für jede Rate wurde der Mittelwert aus drei Messungen berechnet. Die Förderraten der Quellen und Brunnen habe ich bei den zuständigen Wasserversorgungsunternehmen erfragt.

Wasseruntersuchungen

Während des 1998 durchgeführten Pumpversuchs an der Versuchsbohrung Kellerwald B1 habe ich, bei der Beprobung des geförderten Grundwassers, folgende Untersuchungen im Gelände durchgeführt:

Lufttemperatur, Wassertemperatur

Die Lufttemperatur wurde nach DEV C4-2 (1993) mit einem Quecksilberthermometer in 1 m Höhe über der Geländeoberfläche im Schatten gemessen.

Zur Bestimmung der Wassertemperatur mit dem Konduktometer LF 191 der Firma WTW GmbH wurde ein Eimer mit einem Volumen von 5 l an einem zur Beprobung installierten Wasserhahn gefüllt.

Elektrische Leitfähigkeit

Die elektrische Leitfähigkeit wurde nach DEV C8 (1993) ebenfalls mittels dem Konduktometer LF 191 der Firma WTW GmbH und zugehöriger Eintauchmeßzelle mit integriertem Temperaturmeßfühler (Meßzelle LS 1/T-1.5) gemessen. Das Gerät nimmt eine automatische Temperaturkompensation auf 25 °C vor. Gemessen wurde in einem Eimer mit einem Volumen von 5 l.

pH-Wert

Der pH-Wert wurde mit dem pH-Meter Portamess 654 der Firma Knick, einem Temperaturfühler und einer Glaselektroden-Meßkette 405-Kn2 der Firma Ingold elektropotentiometrisch nach DEV C5 (1993) gemessen. Die Meßeinrichtung wurde mit Standard-Pufferlösungen pH 4,01; pH 7,00 und pH 9,21 der Firma Ingold kalibriert. Gemessen wurde in einem Eimer mit einem Volumen von 5 l.

Redoxspannung

Die Redoxspannung wurde nach DEV C6 (1993) mit einem pH/mV/°C-Meter Portamess 654 der Firma Knick, einer Pt-Meßelektrode Pt 851 der Firma Ingold und einer Ag/AgCl-Bezugselektrode 373 ebenfalls der Firma Ingold gemessen. Der KCl-Elektrolyt ist 3 molar. Vor jeder Messung wurde die Pt-Meßelektrode mit einem Styroporschwamm mit Kieselgur von eventuellen Beschichtungen befreit, mit deion. Wasser gespült und mit einem Kleenextuch getrocknet. Die Meßkette wird mit einer auf pH 4 gepufferten Chinhydrin-Hydrochinon-Lösung kalibriert.

Die Temperaturkorrektur berechnet sich nach der Formel:

$$E_{25^{\circ}\text{C}} = E_T - 0,198 \text{ mV/}^{\circ}\text{C} * (T - 25^{\circ}\text{C}).$$

$E_{25^{\circ}\text{C}}$: temperaturkorrigierte Redoxspannung

E_T : gemessene Redoxspannung bei Wassertemperatur

Die temperaturkorrigierte Redoxspannung wird über eine Tabelle auf das Bezugspotential der Wasserstoffelektrode umgerechnet (HÖLTING, 1989: 191).

Trübung

Die Trübung wurde halbquantitativ nach DEV C2-1 (1993) ermittelt.

Färbung

Die Wasserprobe wurde nach DEV C1-1 (1993) in eine 1 l-Duran-Klarglasflasche der Firma Firma Schott gefüllt und die Färbung der Probe beschrieben. Als Hintergrund dient ein weißes Blatt Papier.

Geruch und Geschmack

Eine geruchsfreie Glasflasche von 1 l wurde nach DEV B1/2 (1993) halb mit Wasser gefüllt, verschlossen und kräftig geschüttelt. Unmittelbar nach dem Öffnen der Flasche wurde der Geruch bestimmt.

Der Geschmack wurde bestimmt, indem die Wasserprobe ca. 5 Sekunden im Mundraum bewegt wurde.

Abbildungen

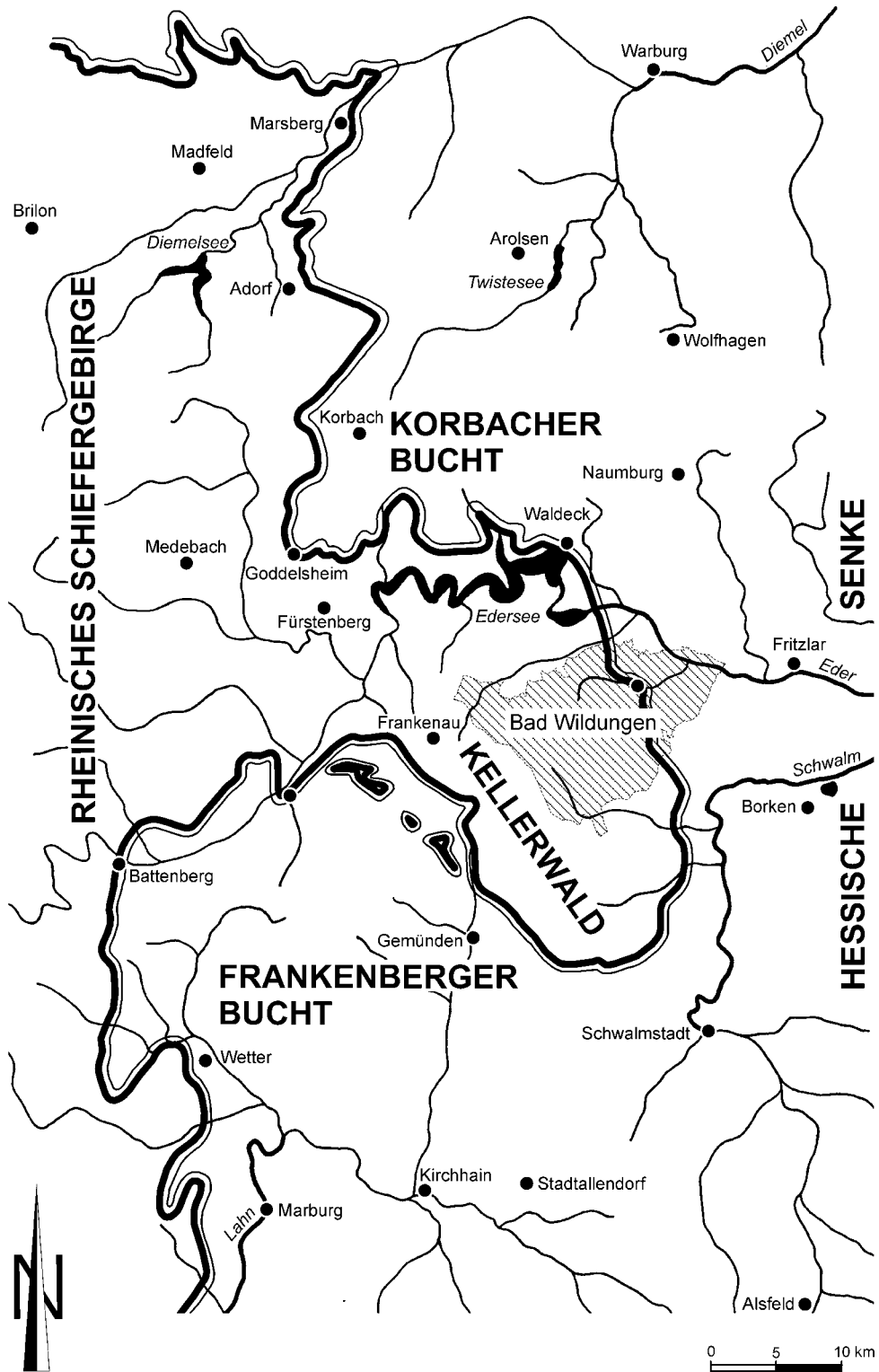
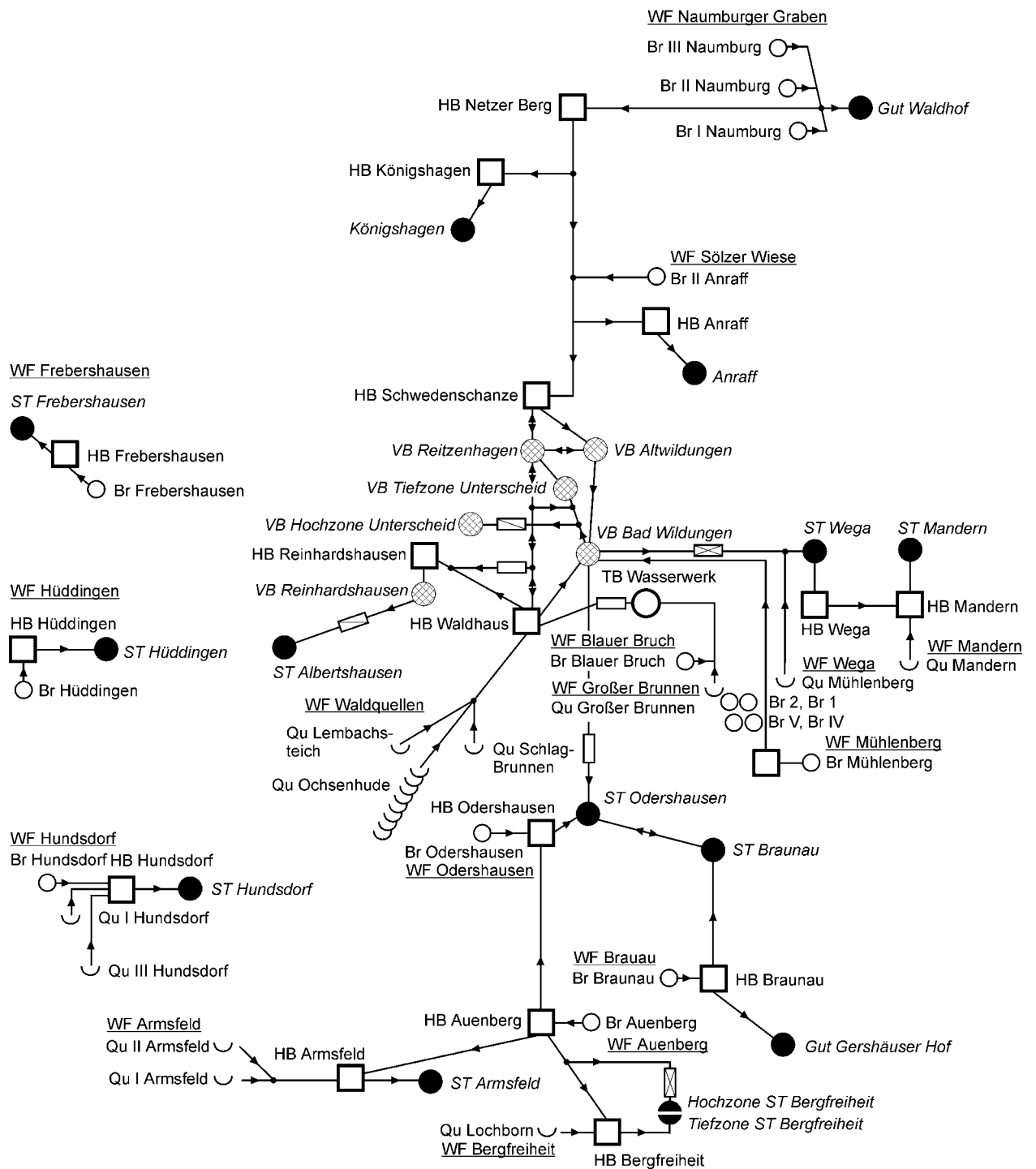


Abb. 1: Übersichtskarte zur Lage von Bad Wildungen mit Stadtgebiet (schraffierte Fläche) und Umgrenzung des Schiefergebirges (Doppellinie)



Legende

- | | | |
|---------------------|------------------------------------------------------|------------------|
| ∩ Quelle (Qu) | ● Stadtteil (ST), Gut und angeschlossene Ortschaften | □ Pumpstation |
| ○ Brunnen (Br) | ⊗ Bereiche im Versorgungsgebiet Kernstadt (VB) | ⊞ Druckerhöhung |
| □ Hochbehälter (HB) | ↔ Wasserleitung mit Verbindung und Strömungsrichtung | ⊞ Druckminderung |
| ○ Tiefbehälter (TB) | | |

Abb. 2: Trinkwasserversorgung von Bad Wildungen - Systemplan

Legende



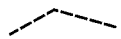
Gewässer:
Bach, Fluß, See, Auskiesung



Schiefergebirgsumrandung
(dicke Linie zeigt zum Schiefergebirge)



Ortschaften:
Stadt,
Dorf



Stadtgrenze von Bad Wildungen



Wasserfassungen mit Bezeichnung:
Brunnen
Quelle

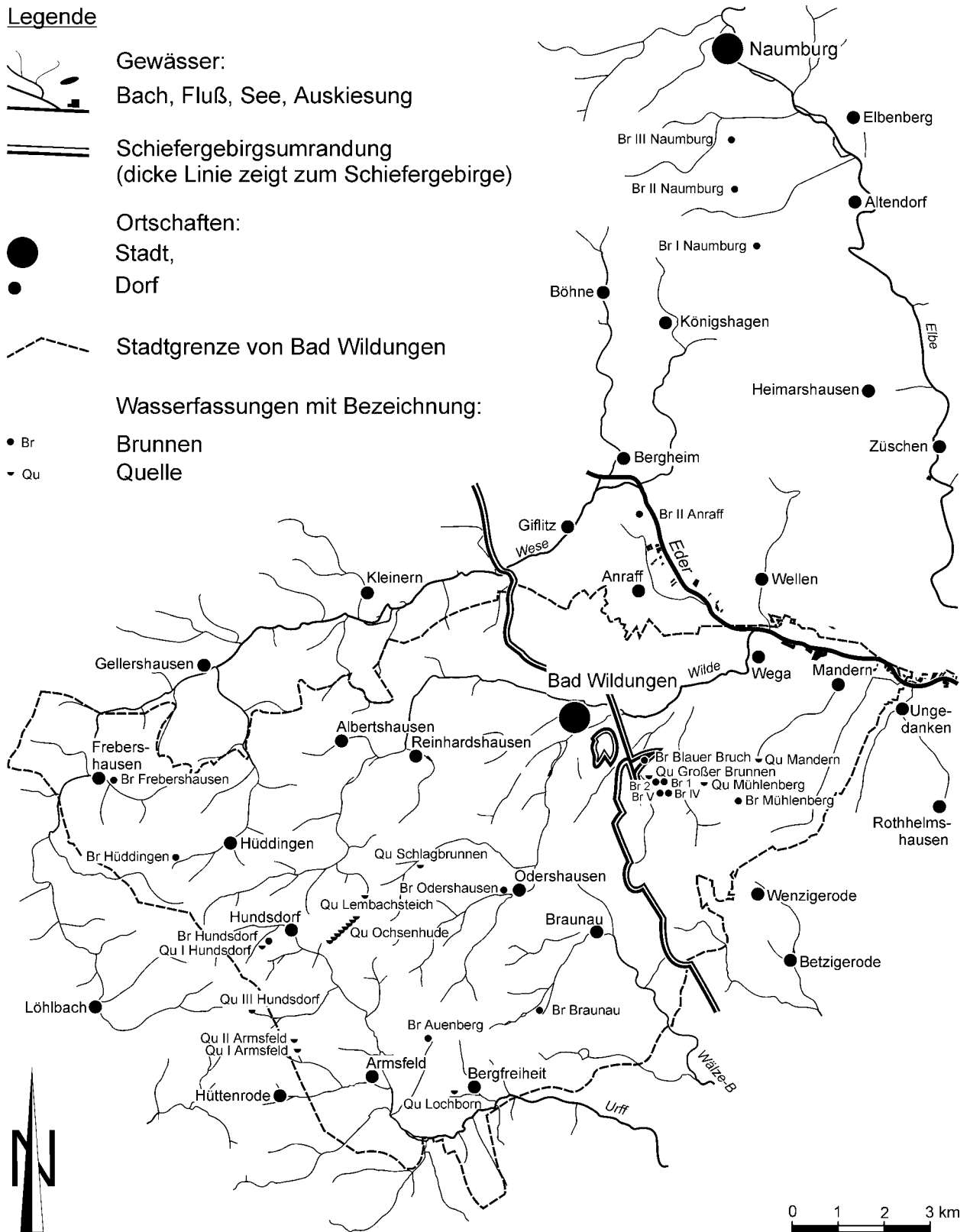


Abb. 3: Übersichtskarte zur Lage der Wasserfassungen

Legende

==== Schiefergebirgsumrandung (dicke Linie zeigt zum Schiefergebirge)

● **BW** Ortschaften:
 Städte, Dörfer (Buchstaben:
 Abkürzung für Ortsname

- - - Gemeindegrenze von Bad Wildungen

Wasserfassungen mit Bezeichnung:
 ● Br Brunnen
 - Qu Quelle

Ionare Zusammensetzung der Quell- und
 Brunnenwässer:

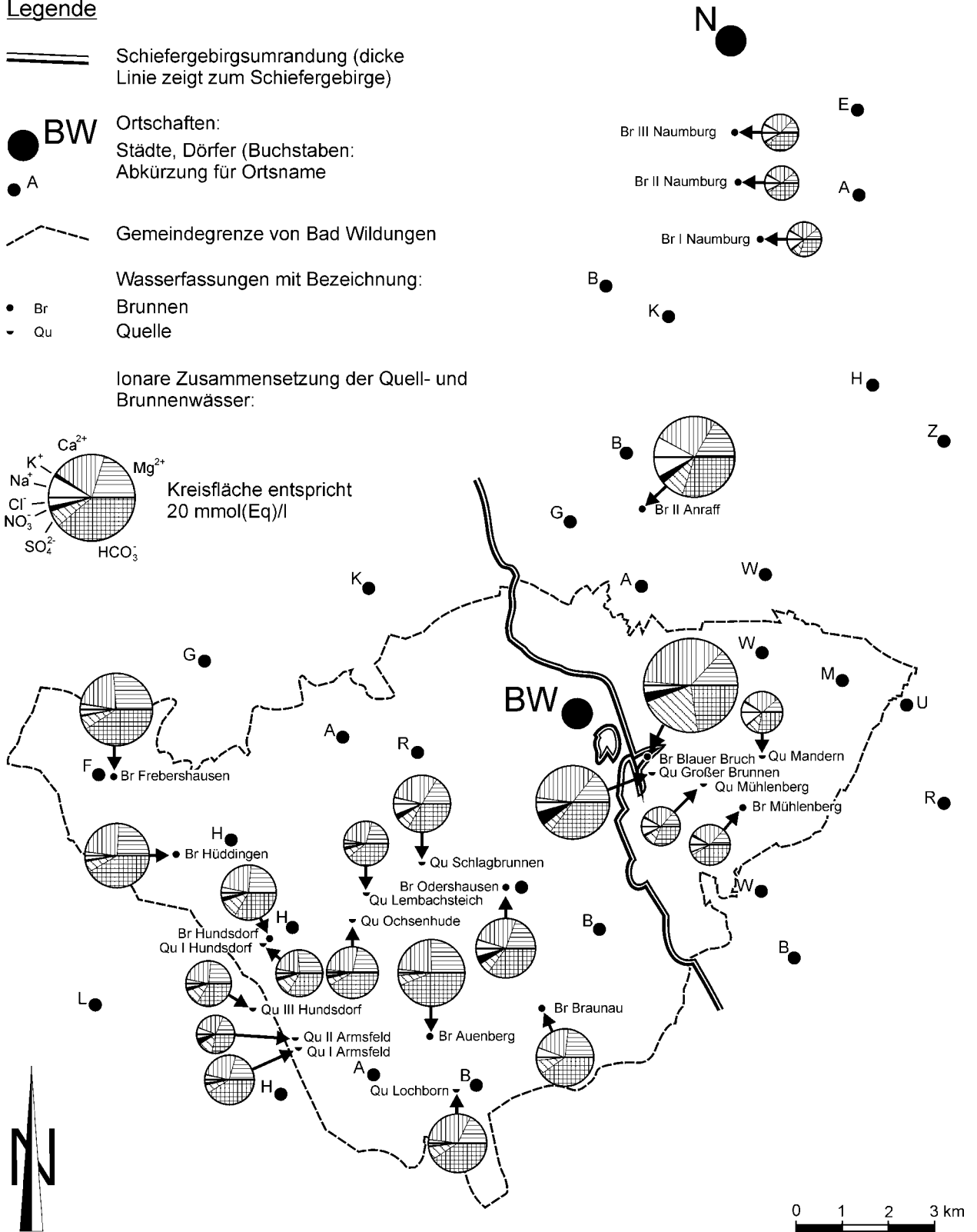
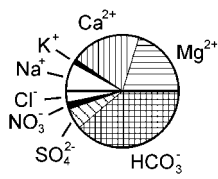
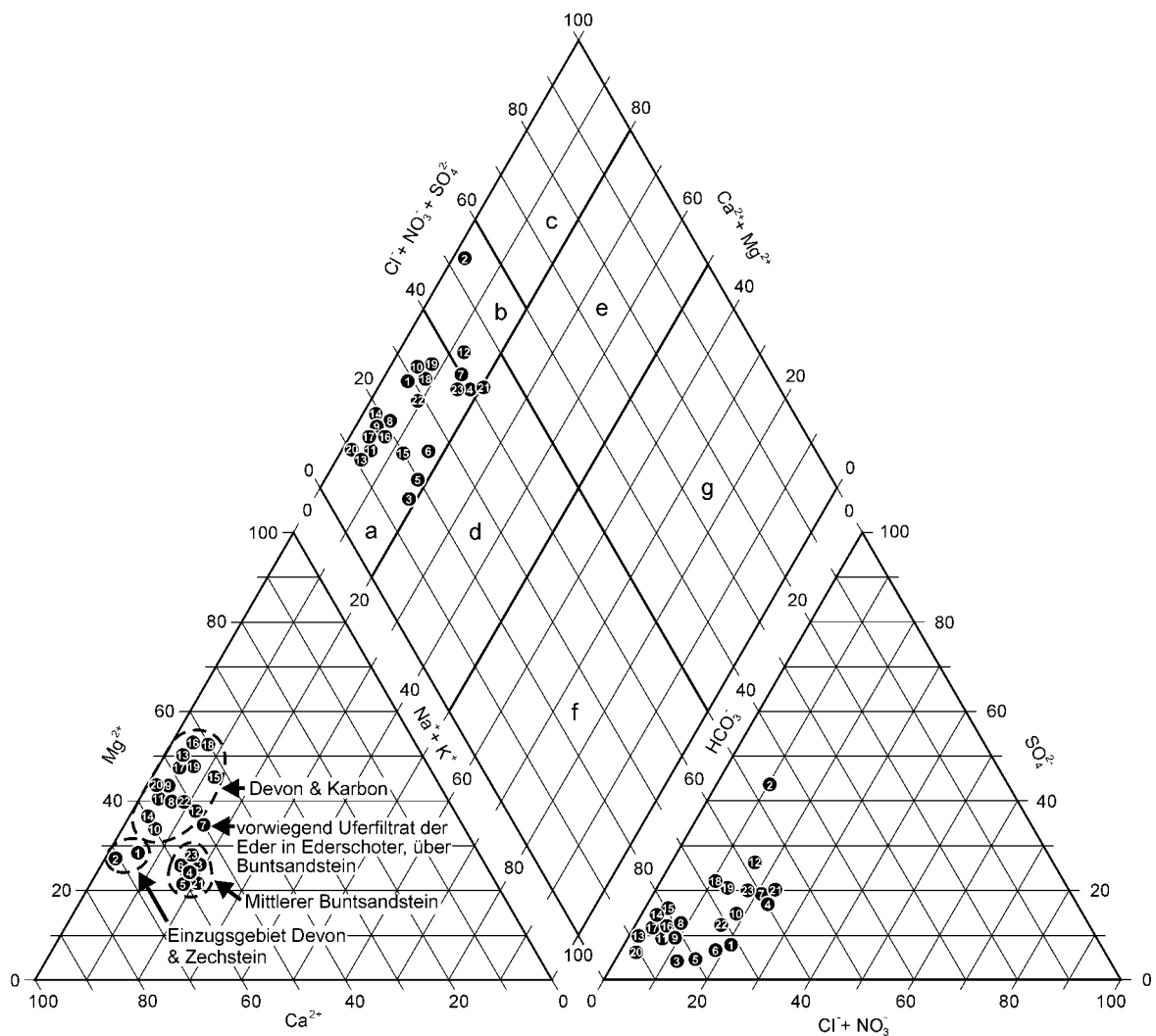


Abb. 4: Hydrochemische Übersichtskarte



Nr Quellen-, Brunnenbezeichnung

- 1 Qu Großer Brunnen
- 2 Br Blauer Bruch
- 3 Br Mühlenberg
- 4 Br I Naumburg
- 5 Br II Naumburg
- 6 Br III Naumburg
- 7 Br II Anraff
- 8 Br Qu Lembachsteich
- 9 Qu Ochsenhude
- 10 Qu Schlagbrunnen
- 11 Qu I Armsfeld
- 12 Qu II Armsfeld
- 13 Br Auenberg
- 14 Qu Lochborn
- 15 Br Braunau
- 16 Br Frebershausen
- 17 Br Hüddingen
- 18 Qu I Hundsdorf
- 19 Qu III Hundsdorf
- 20 Br Hundsdorf
- 21 Qu Mandern
- 22 Br Odershausen
- 23 Qu Mühlenberg

Grundwassertypen

Normal erdalkalische Süßwässer

- a) überwiegend hydrogenkarbonatisch
- b) hydrogenkarbonatisch bis sulfatisch
- c) überwiegend sulfatisch

Erdalkalische Süßwässer mit höherem Alkaliengehalt

- d) überwiegend hydrogenkarbonatisch
- e) überwiegend sulfatisch

Alkalische Süßwässer

- f) überwiegend (hydrogen-)karbonatisch
- g) überwiegend sulfatisch - chloridisch

Abb. 5: Ionenverhältnisse der Brunnen- und Quellwässer

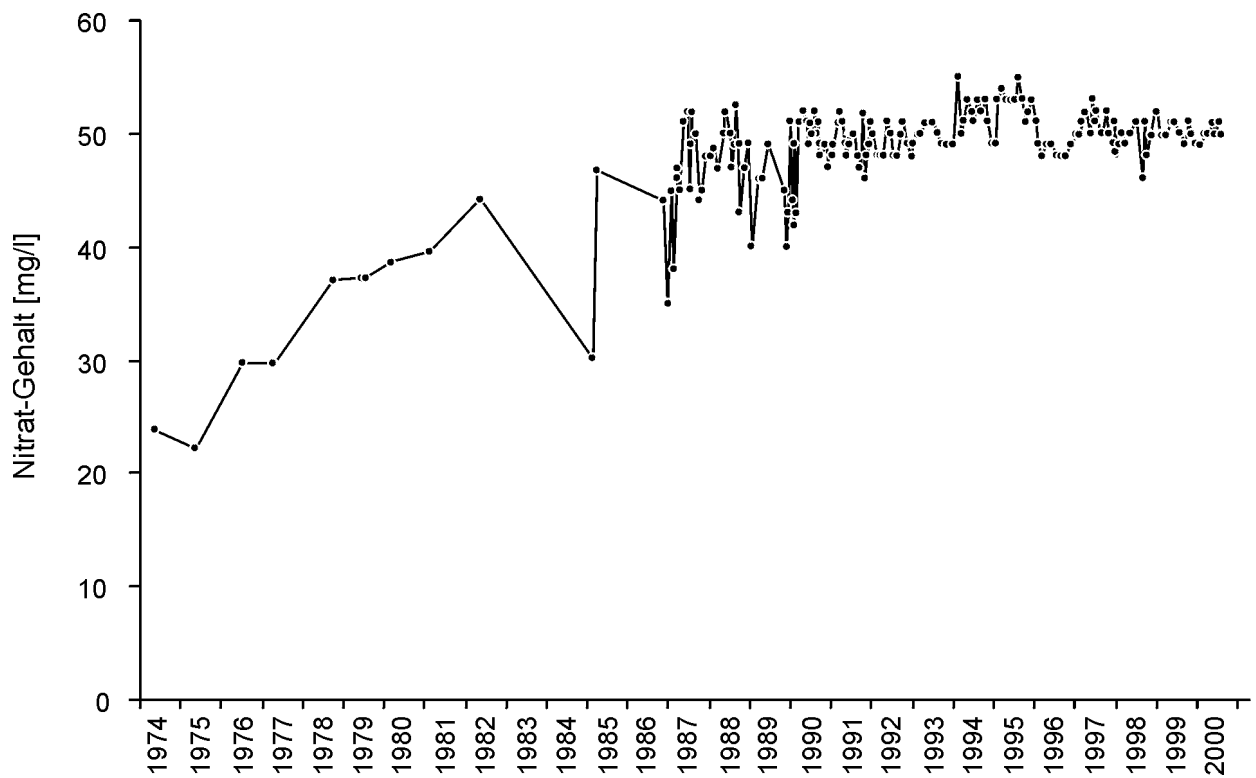


Abb. 6: Verlauf des Nitratgehalts im Wasser der Quelle Großer Brunnen von 1974 bis 2000 (BKW)

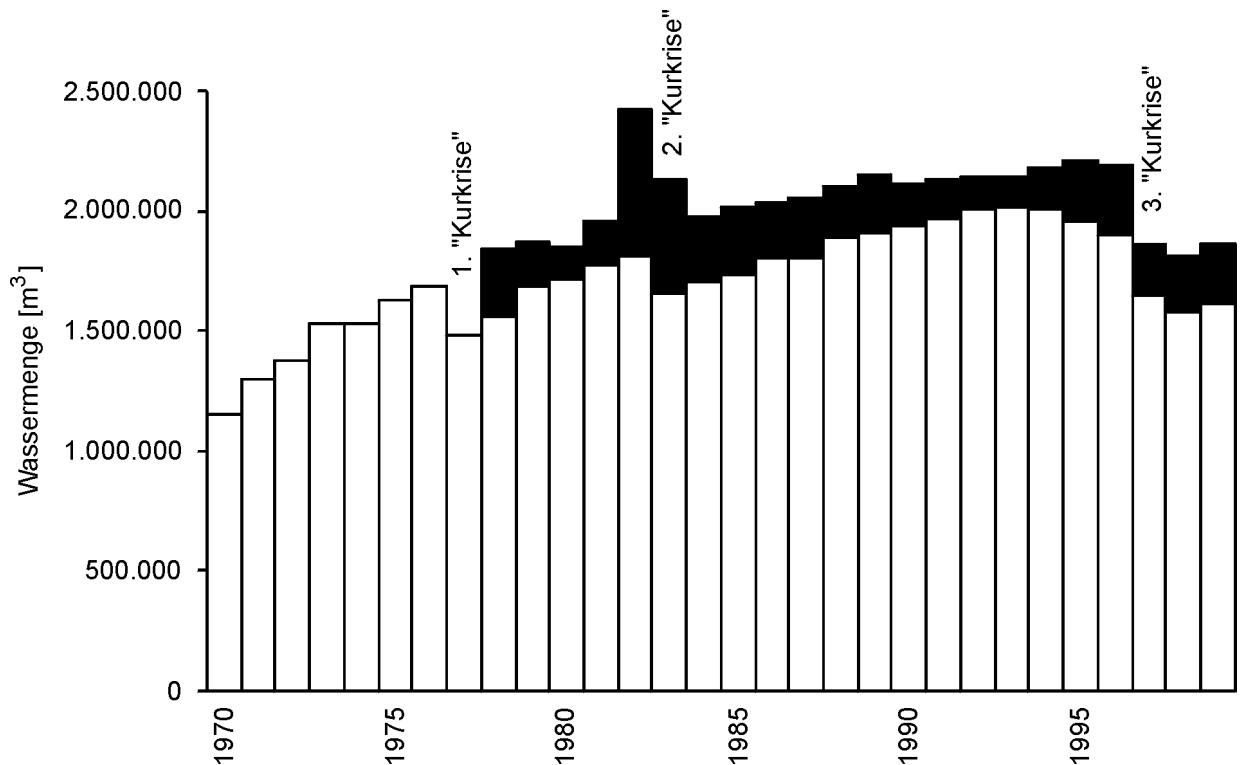


Abb. 7: Wasserrförderung, -verbrauch und -verlust in Bad Wildungen von 1970 bis 1999 (weiße Balken: verkaufte Wassermengen, schwarze Balken: Wasserverluste, weiße Balken + schwarze Balken: Wasserrförderung), Fördermengen von 1970 bis 1977 fehlen

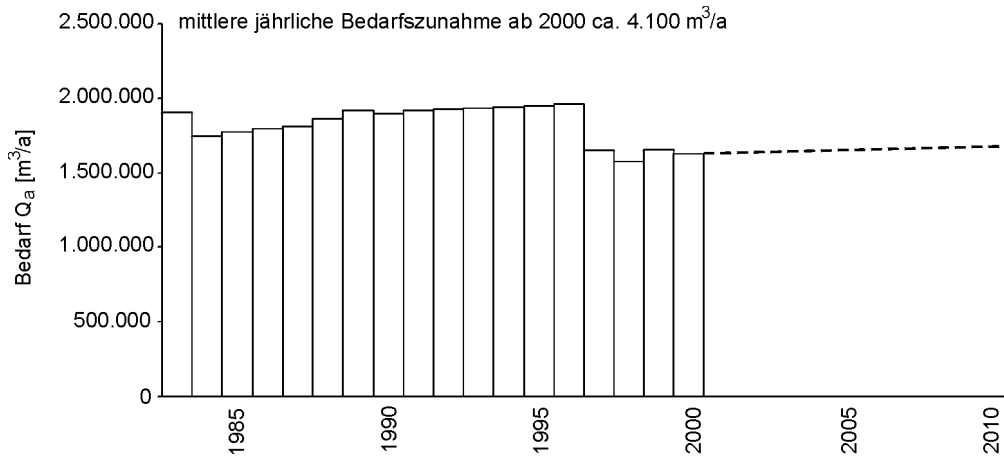


Abb. 8: Bedarf Q_a im Versorgungsgebiet Kernstadt von 1983 bis 2000 und erwarteter Bedarfsverlauf bis 2010

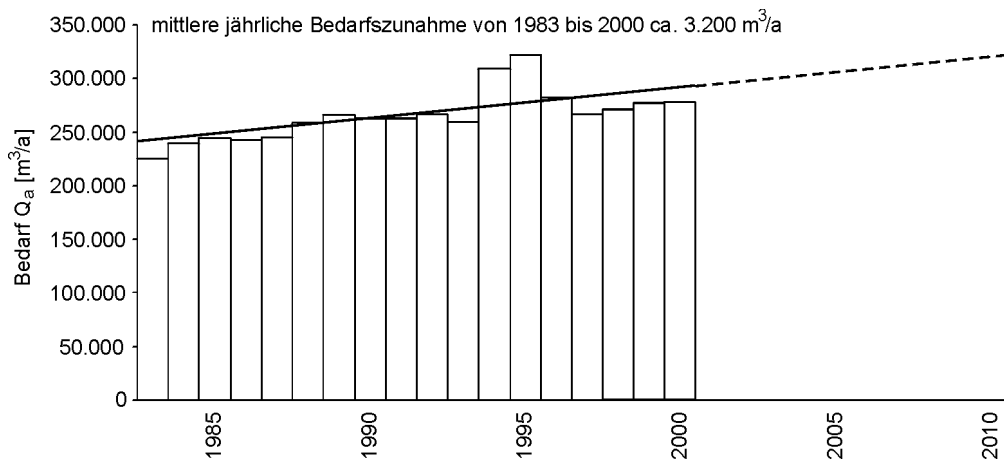


Abb. 9: Bedarf Q_a im Versorgungsgebiet Stadtteile von 1983 bis 2000 und erwarteter Bedarfsverlauf bis 2010

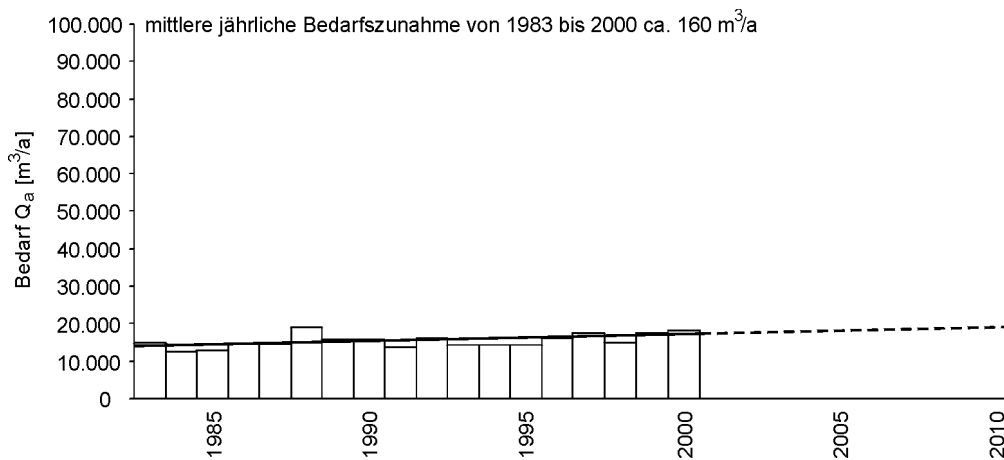


Abb. 10: Bedarf Q_a von ST Albertshausen von 1983 bis 2000 und erwarteter Bedarfsverlauf bis 2010

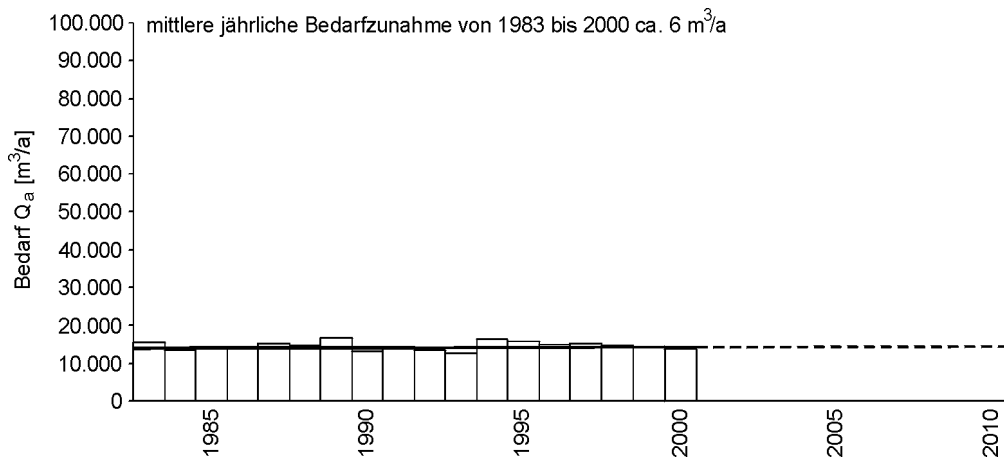


Abb. 11: Bedarf Q_a von ST Armsfeld von 1983 bis 2000 und erwarteter Bedarfsverlauf bis 2010

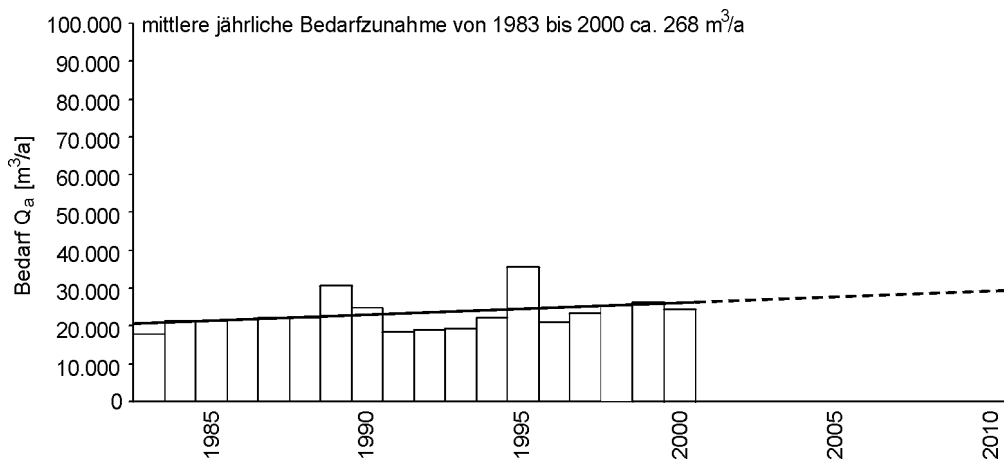


Abb. 12: Bedarf Q_a von ST Bergfreiheit von 1983 bis 2000 und erwarteter Bedarfsverlauf bis 2010

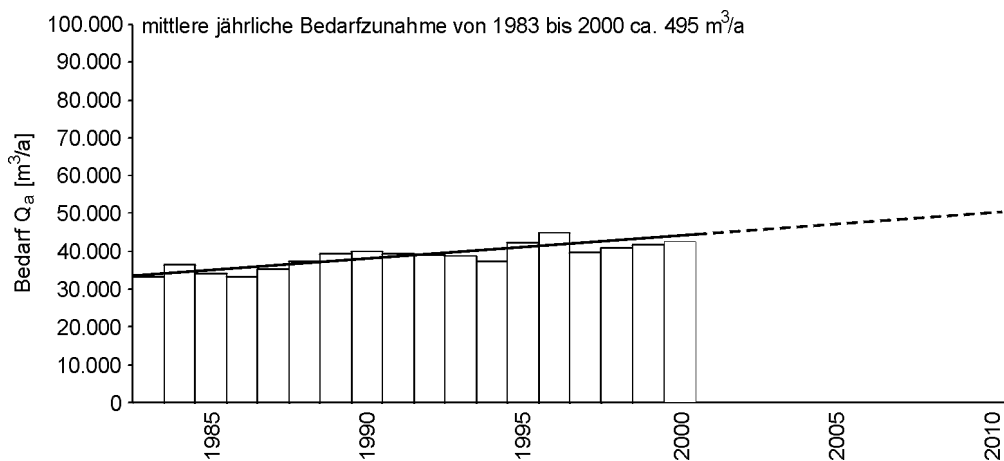


Abb. 13: Bedarf Q_a von ST Braunau von 1983 bis 2000 und erwarteter Bedarfsverlauf bis 2010

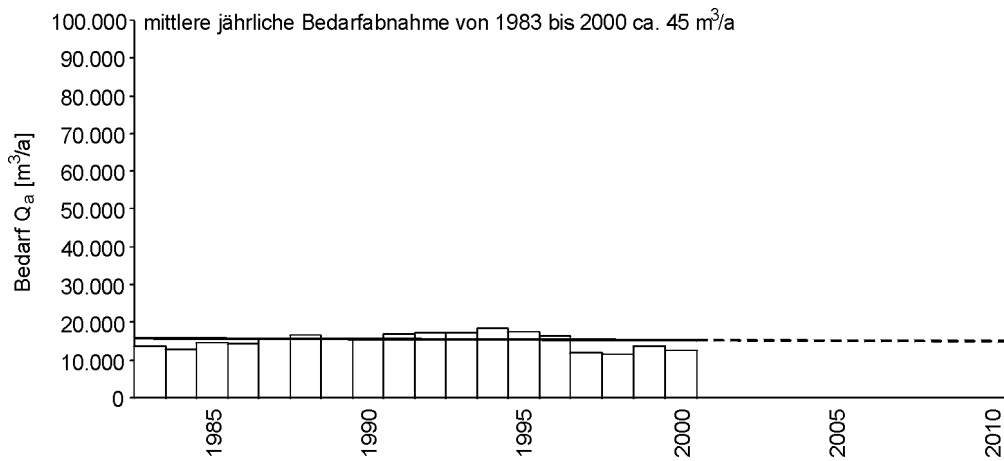


Abb. 14: Bedarf Q_a von ST Frebershausen von 1983 bis 2000 und erwarteter Bedarfsverlauf bis 2010

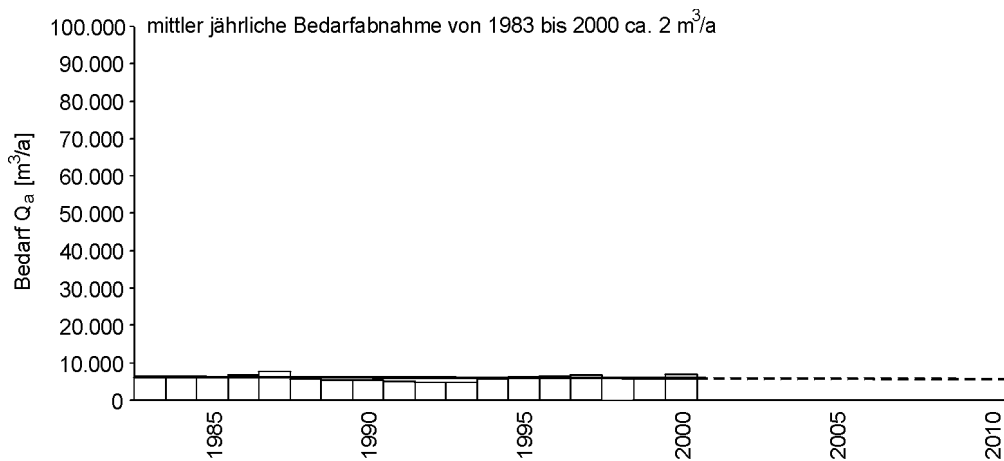


Abb. 15: Bedarf Q_a von ST Hüddingen von 1983 bis 2000 und erwarteter Bedarfsverlauf bis 2010

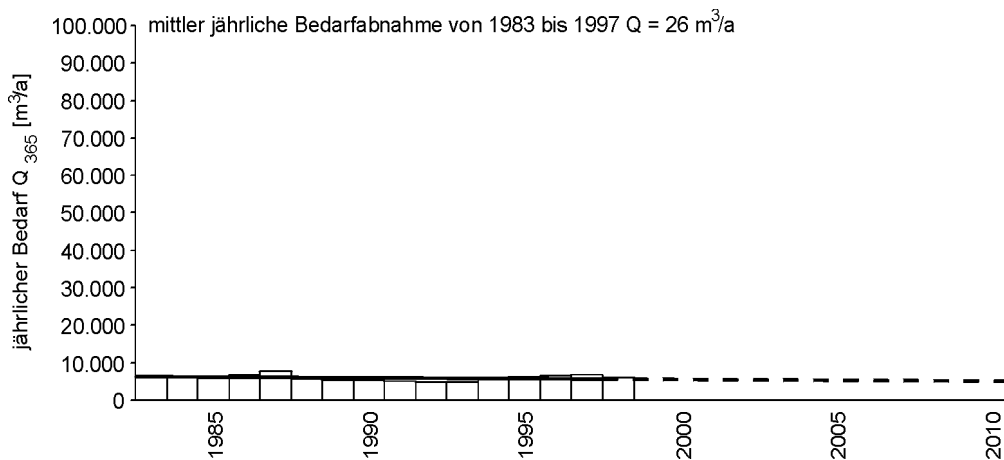


Abb. 16: Bedarf Q_a von ST Hundsdorf von 1983 bis 2000 und erwarteter Bedarfsverlauf bis 2010

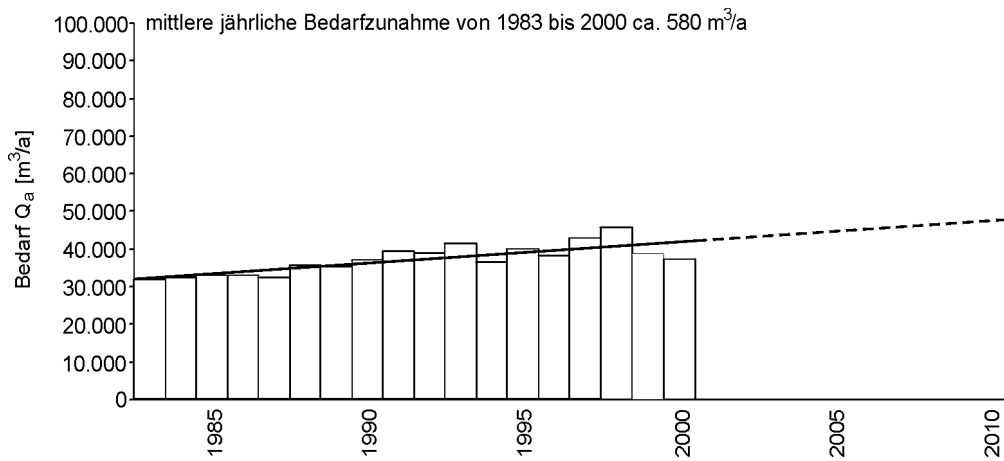


Abb. 17: Bedarf Q_a von ST Mandern von 1983 bis 2000 und erwarteter Bedarfsverlauf bis 2010

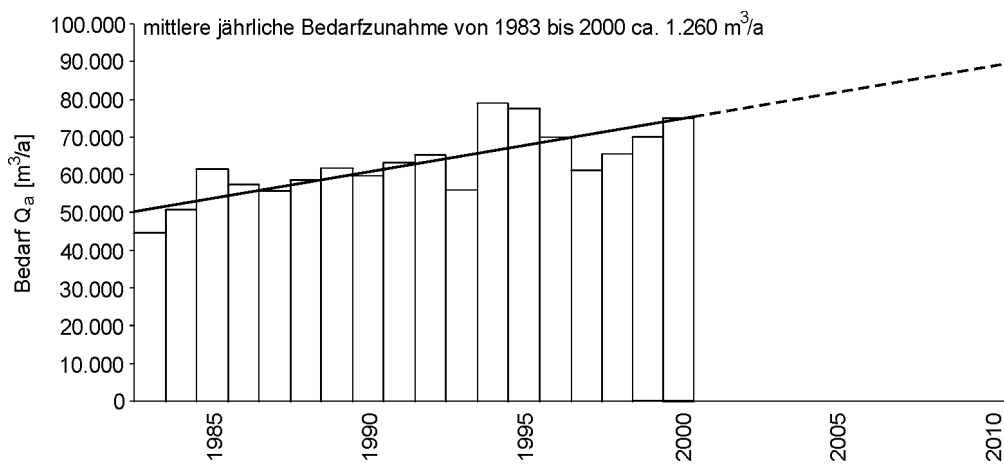


Abb. 18: Bedarf Q_a von ST Odershausen von 1983 bis 2000 und erwarteter Bedarfsverlauf bis 2010

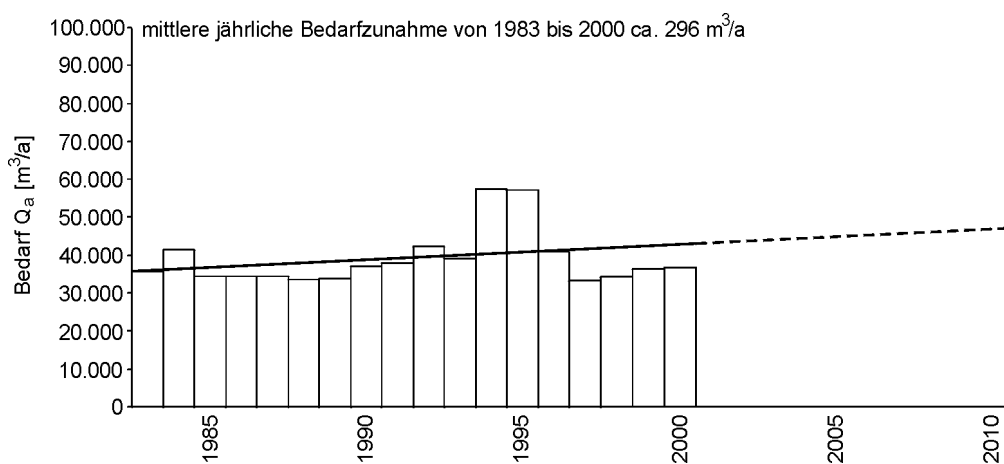
















Abb. 19: Bedarf Q_a von ST Wega von 1983 bis 2000 und erwarteter Bedarfsverlauf bis 2010

Legende

-  Ederschotter
-  Keuper
-  Muschelkalk mit Röt
-  Mittlerer Buntsandstein: Sand- und Tonsteine
-  Unterer Buntsandstein: Ton- und Sandsteine
-  Zechstein: Vorwiegend Tonsteine und Kalke
-  Oberes Stockwerk: Kulm-Tonschiefer und -Grauwacken
-  Mittleres Stockwerk: Vorwiegend Aschkoppen-Sandstein, Kulm-Kieselschiefer und Diabase
-  Ense-Schuppe: Kalke und Tonschiefer
-  Schuppenstapel: Tonschiefer und Diabase
-  Unteres Stockwerk: Tonschiefer mit Hahnberg-Sandstein
-  Quarzit-Zug: vorwiegend kieselige Schiefer und Quarzit
-  Ortschaften
-  Brunnen, Quellen

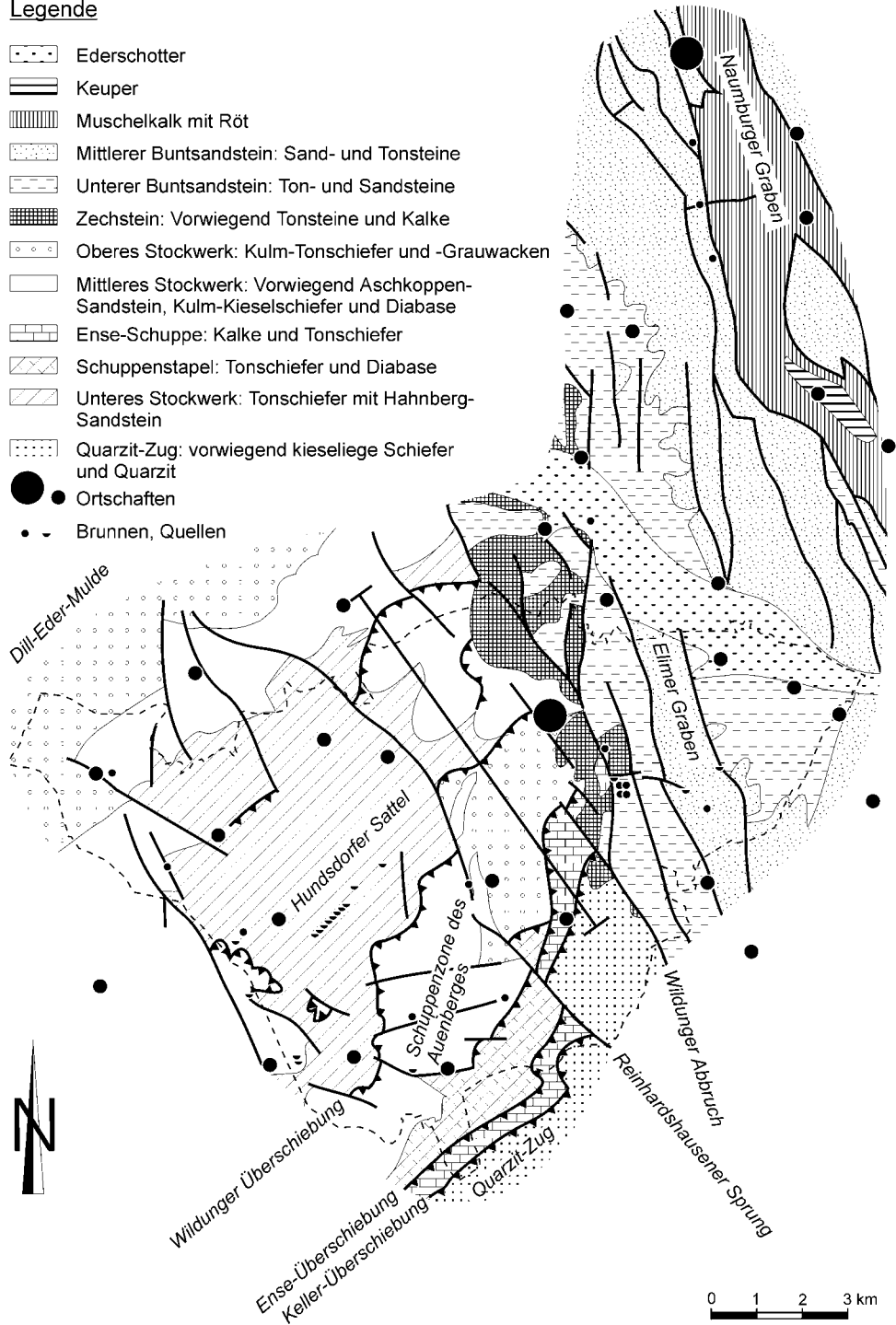
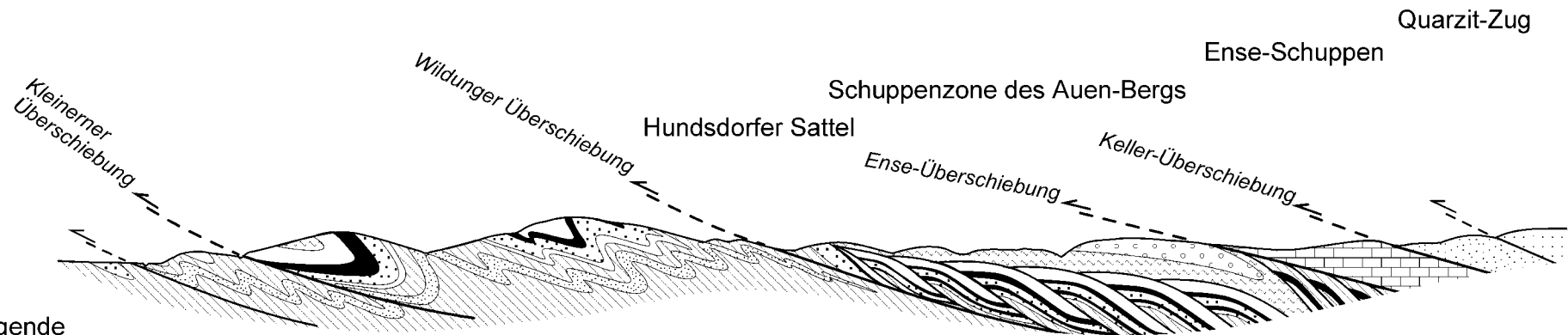


Abb. 20: Geologische Übersichtskarte mit Lage der Wasserfassungen (gestrichelte Linie: Stadtgrenze von Bad Wildungen)

NW

SE



Legende











-  Quarzit-Zug: Vorwiegend kieselige Schiefer und Quarzite
-  Basis des Quarzit-Zugs: Vorwiegend kieselige Schiefer
-  Ense-Schuppe: Kalke, Mergel, Tonschiefer
-  Oberes Stockwerk: Kum-Grauwacken
-  Ausgleichstockwerk: Kulm-Tonschiefer
-  Mittleres Stockwerk: Kulm-Kieselschiefer
-  Diabase
-  Mittleres Stockwerk: Aschkoppen-Sandstein
-  Unteres Stockwerk: Hahnberg-Sandstein
-  Unteres Stockwerk: Tonschiefer



Abb. 21: Querprofil durch den nördlichen Kellerwald (verändert nach MEISCHNER 1992)

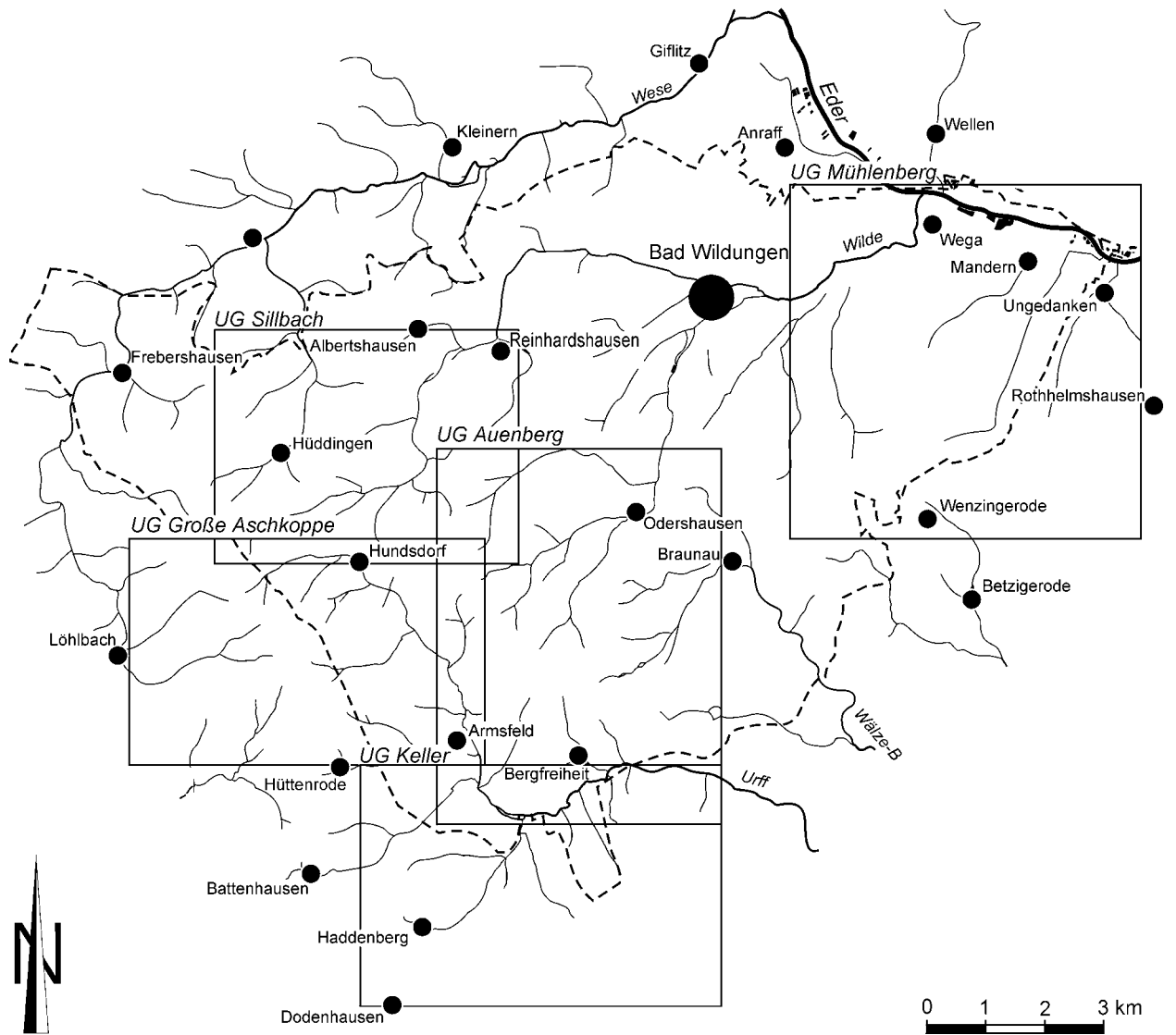


Abb. 22: Übersichtskarte mit Lage der Untersuchungsgebiete (gestrichelte Linie: Stadtgrenze)

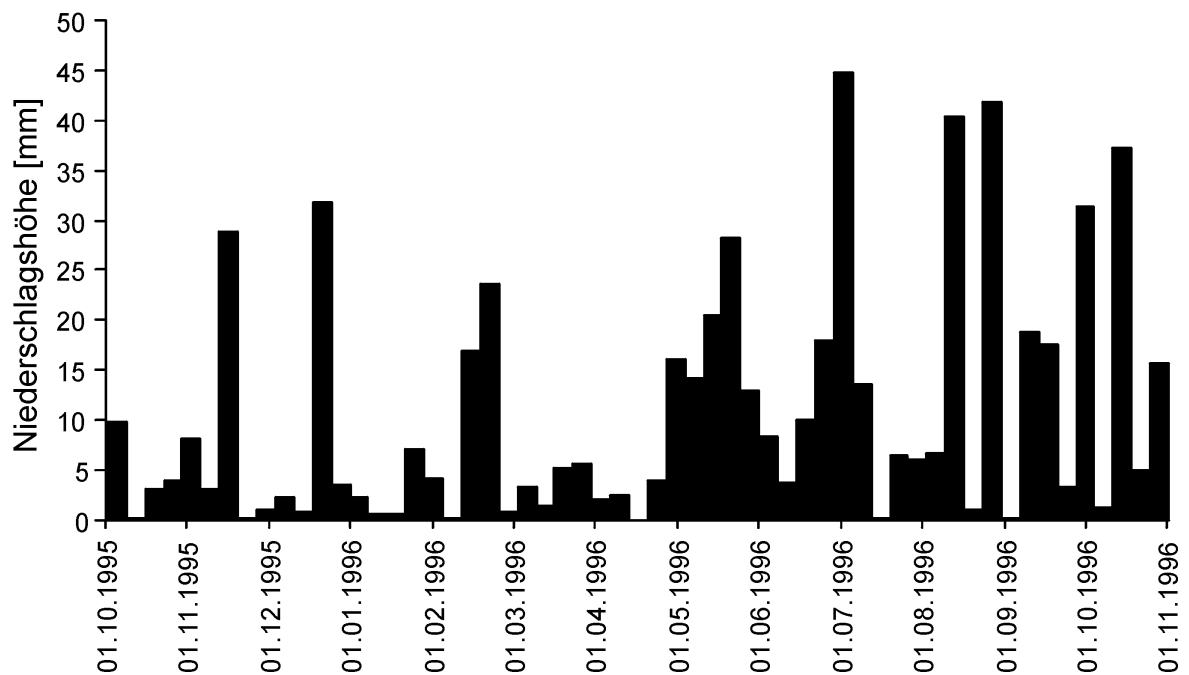
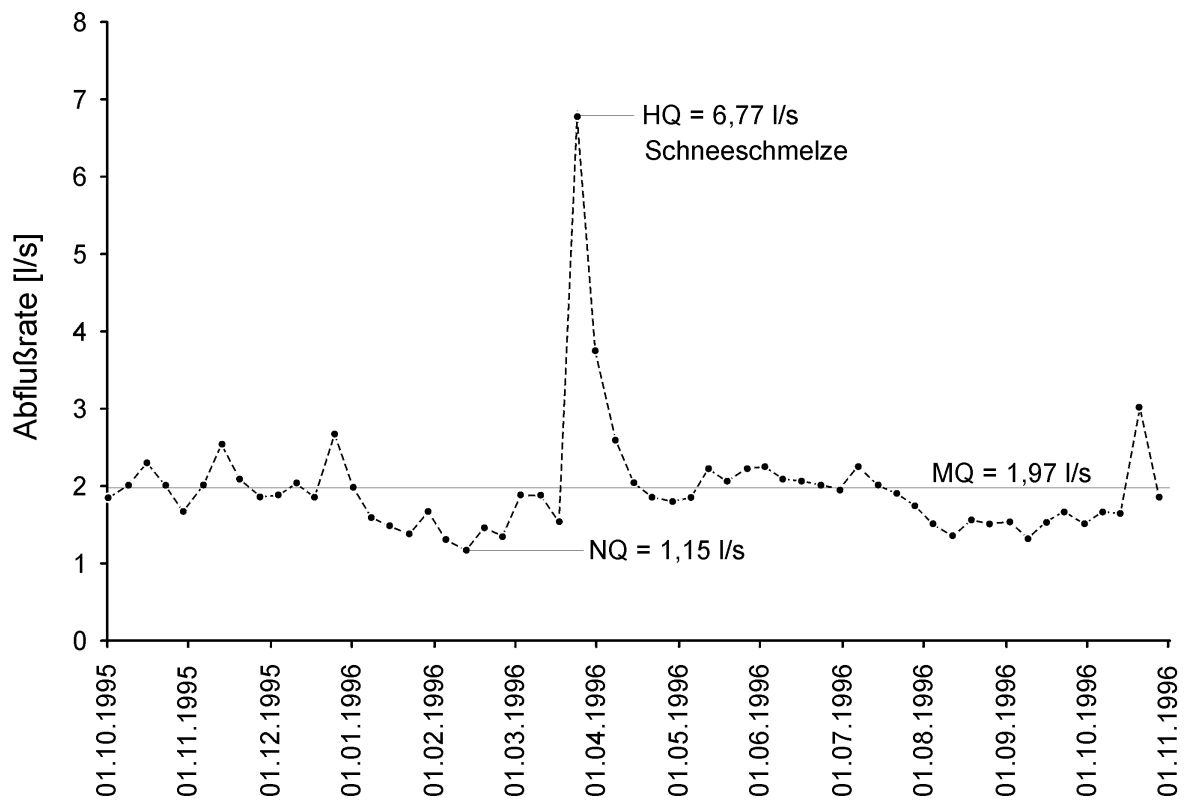


Abb. 23: Abflußraten im Untersuchungsgebiet Sillbach, an der Meßstelle AS01 im hydrologischen Jahr 1995/96 und wöchentliche Niederschlagshöhen, gemessen im Untersuchungsgebiet Auen-Berg

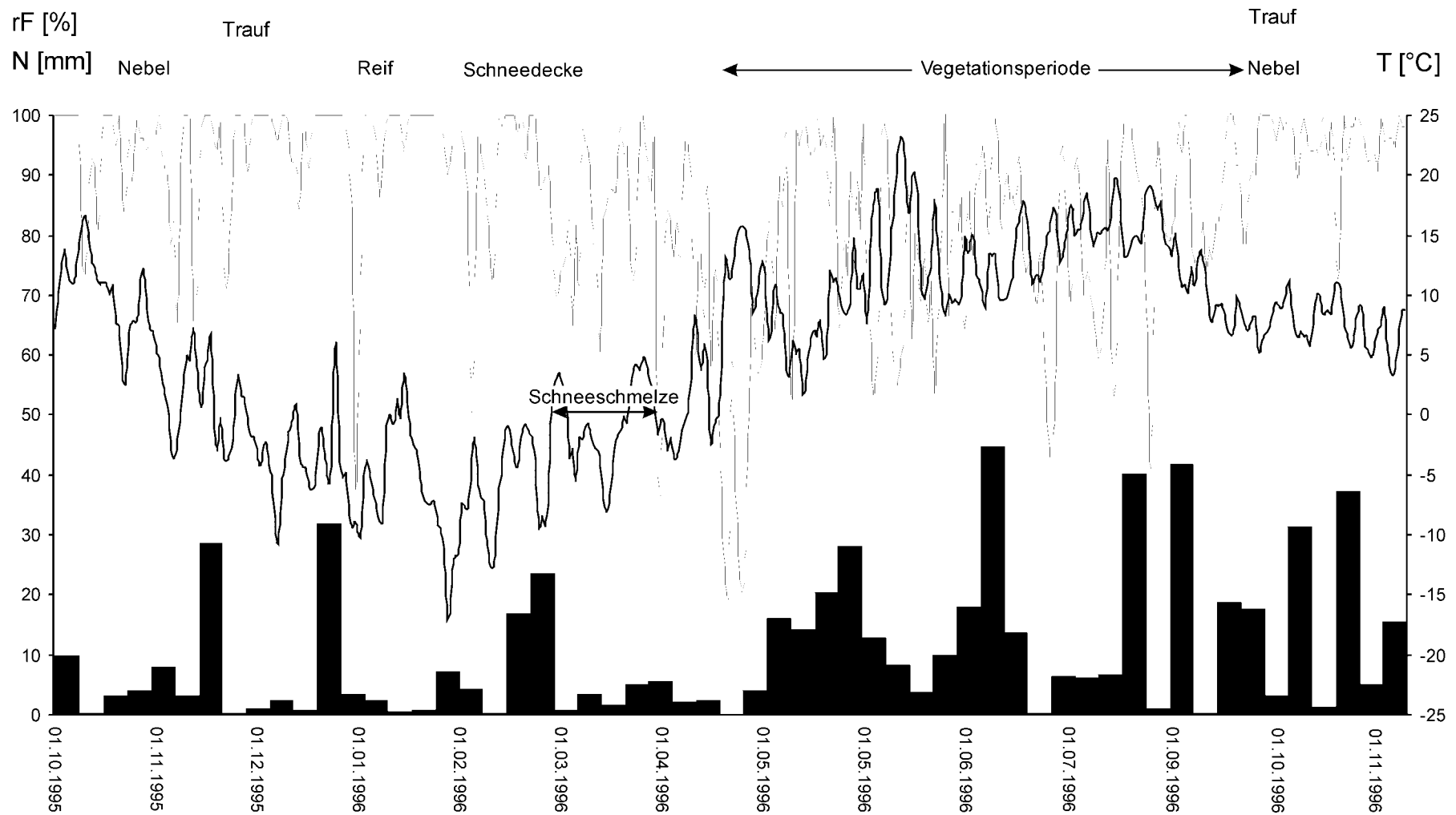


Abb. 24: Tagesmittel der Lufttemperatur (dicke Linie), der relativen Feuchte (dünne Linie) und wöchentliche Summen der Niederschläge (Balken), gemessen an der Wetterstation HB Auenberg vom 01.10.1995 bis 03.11.1996

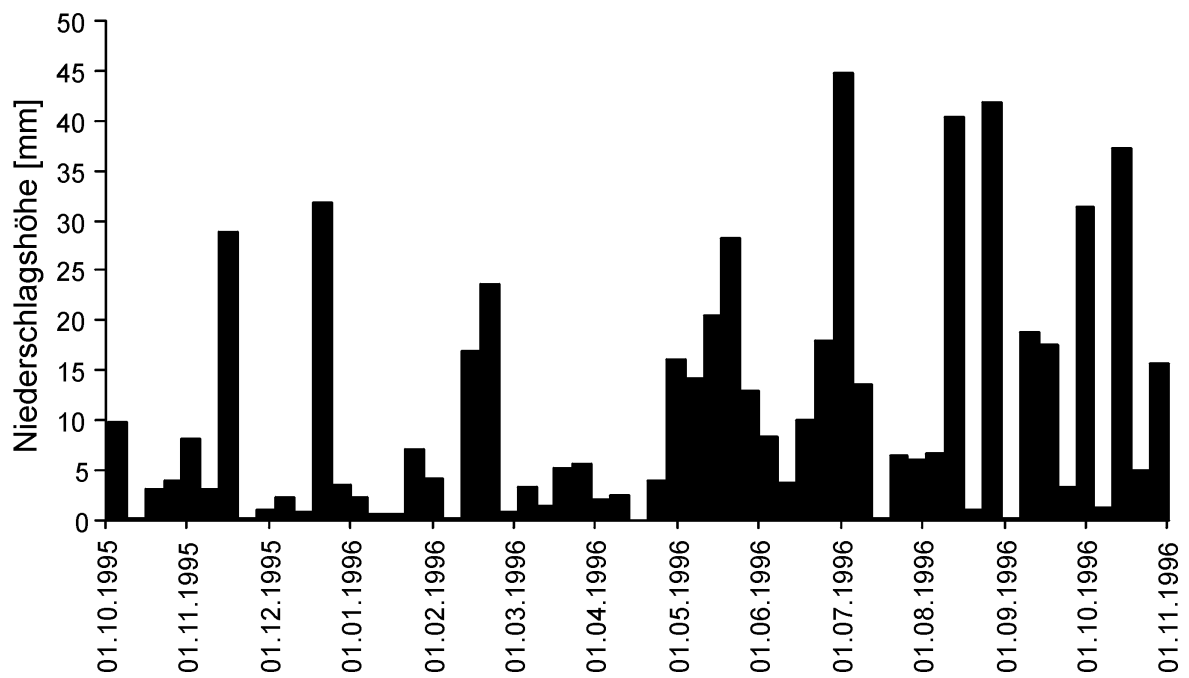
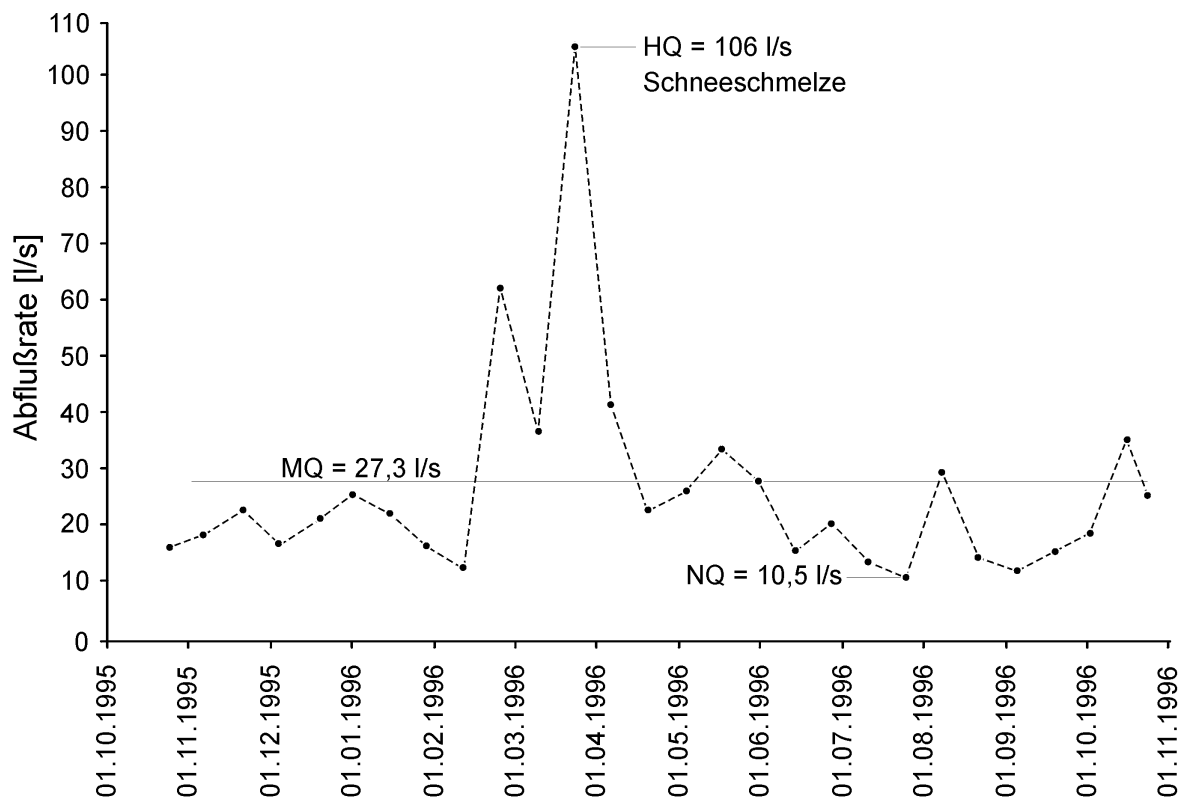


Abb. 25: Abflußraten im Untersuchungsgebiet Auen-Berg im hydrologischen Jahr 1995/96 und wöchentliche Niederschlagshöhen

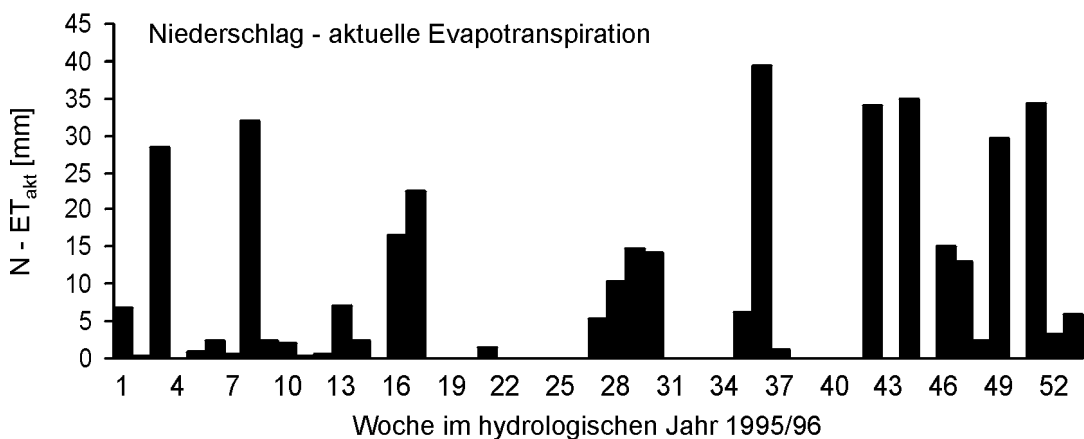
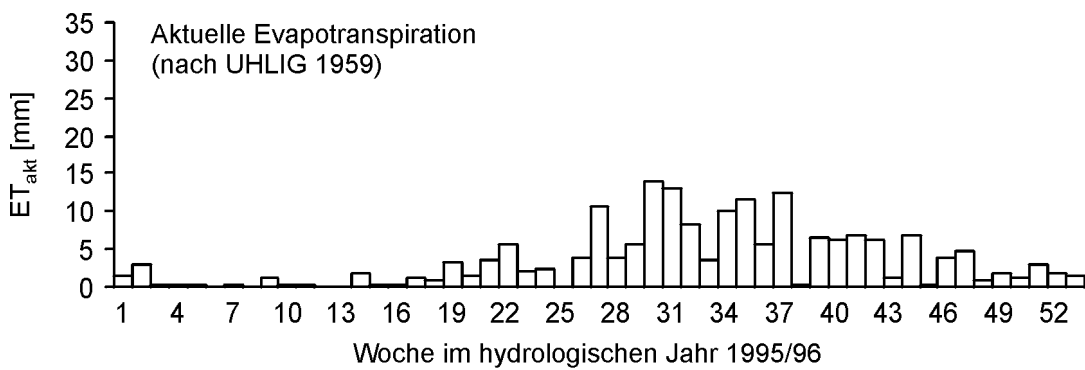
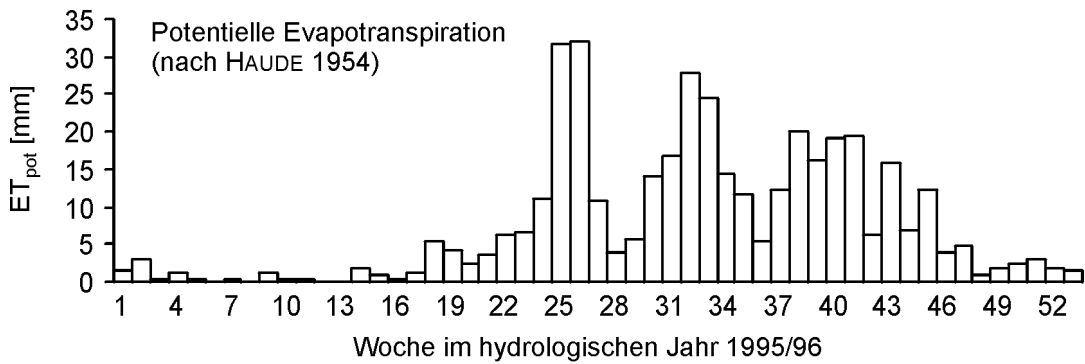
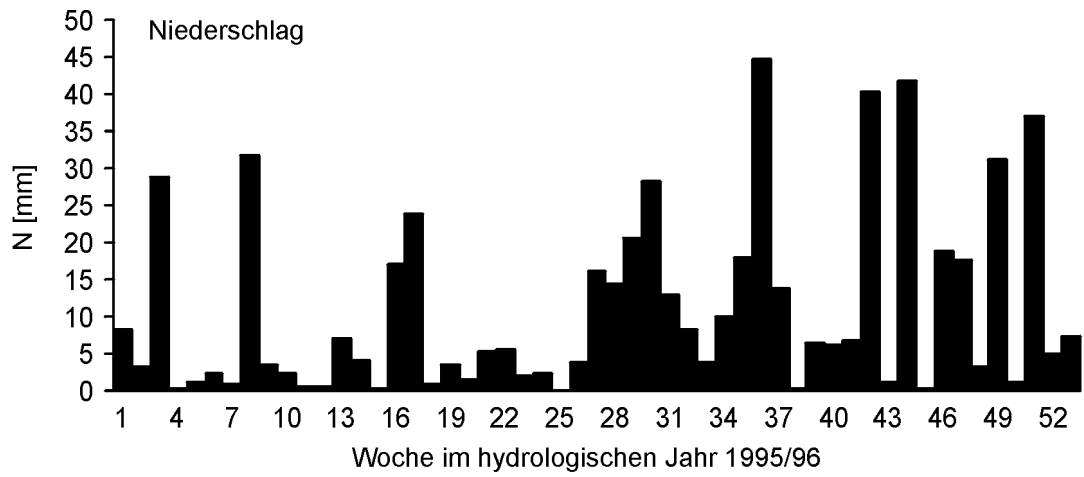


Abb. 26: Klimatische Wasserbilanz, bestimmt aus den gemessenen Niederschlagshöhen und der berechneten potentiellen Evapotranspiration in wöchentlichen Summen für das hydrologische Jahr 1995/96

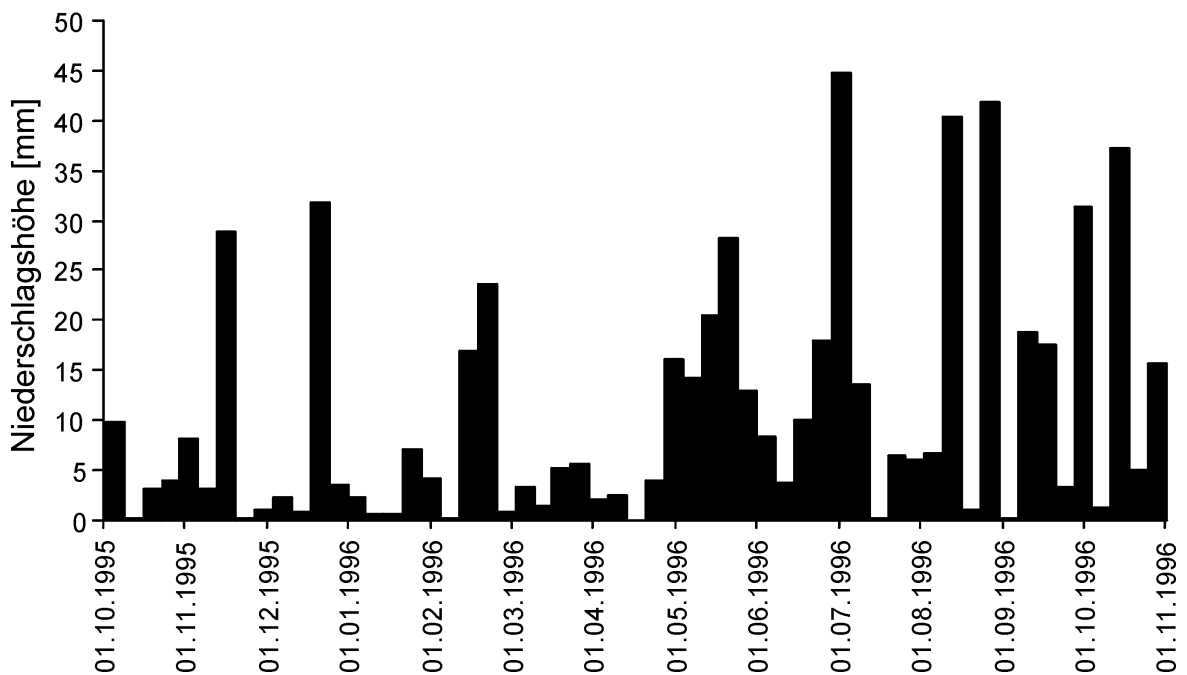
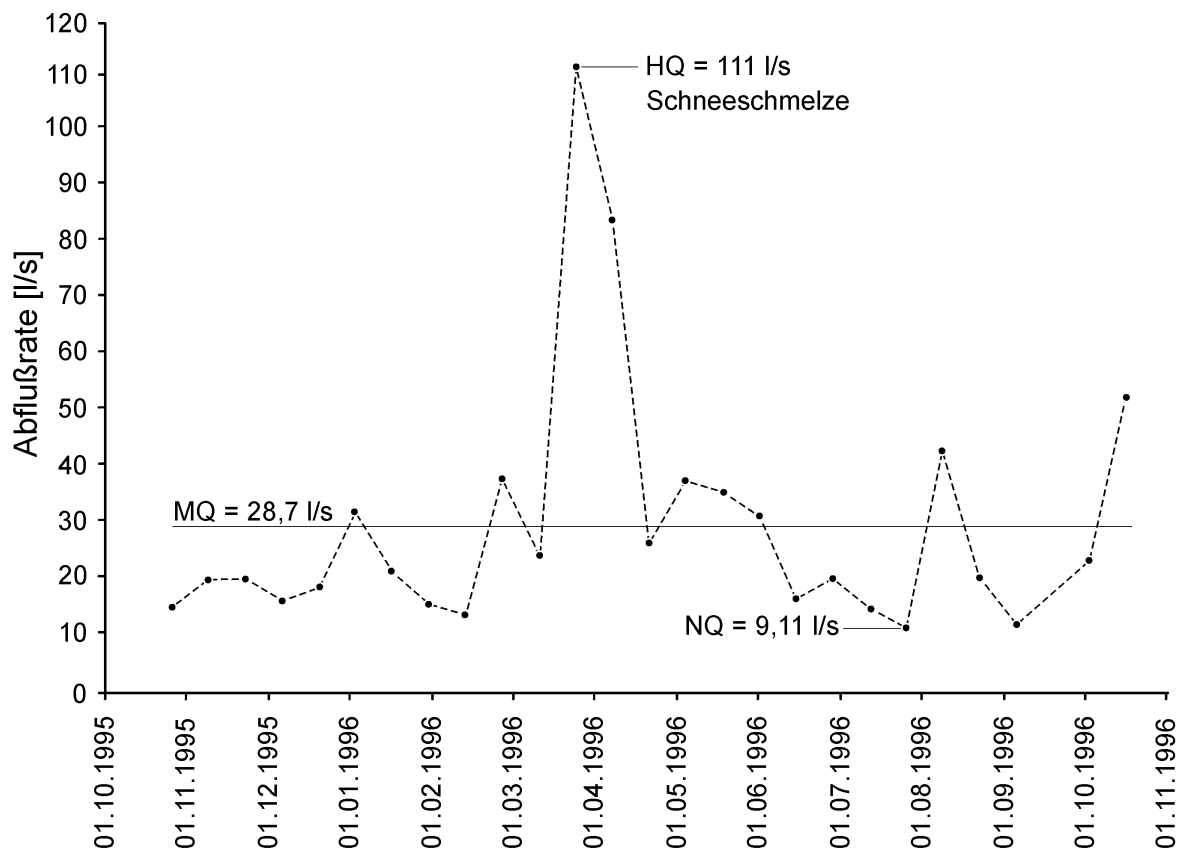


Abb. 27: Abflußraten im Untersuchungsgebiet Große Aschkoppe im hydrologischen Jahr 1995/96 und wöchentliche Niederschlagshöhen, gemessen im Untersuchungsgebiet Auen-Berg

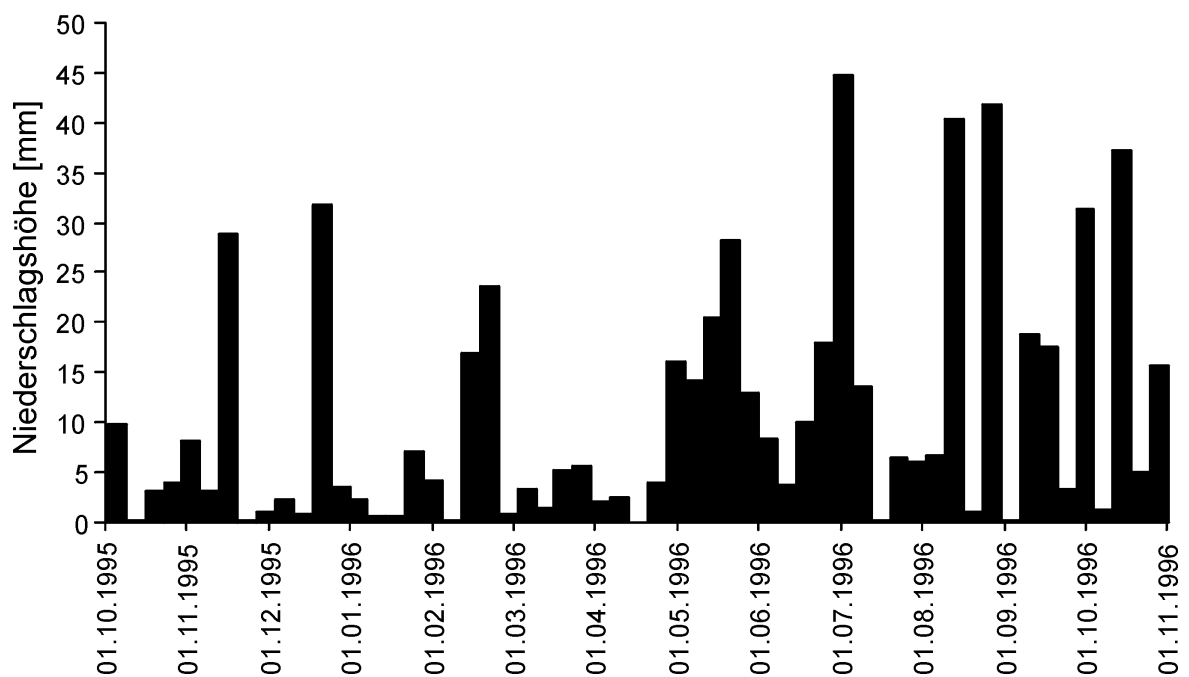
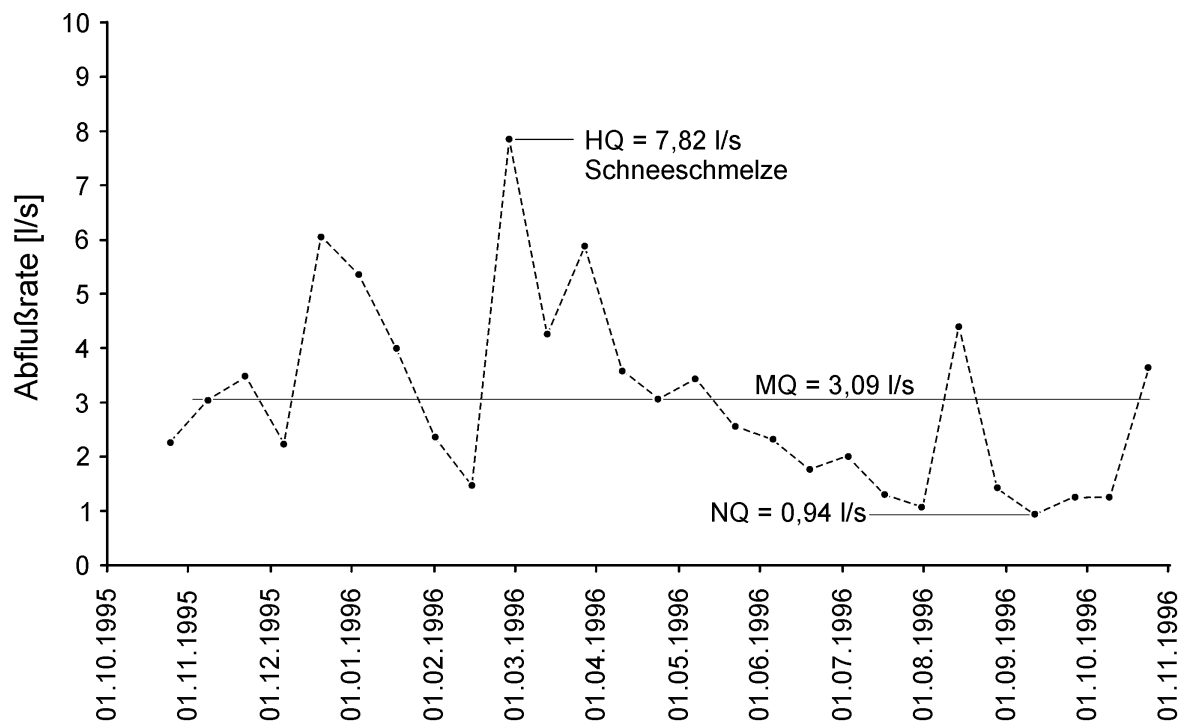


Abb. 28: Abflußraten im Untersuchungsgebiet Mühlenberg im hydrologischen Jahr 1995/96 und wöchentliche Niederschlagshöhen, gemessen im Untersuchungsgebiet Auen-Berg

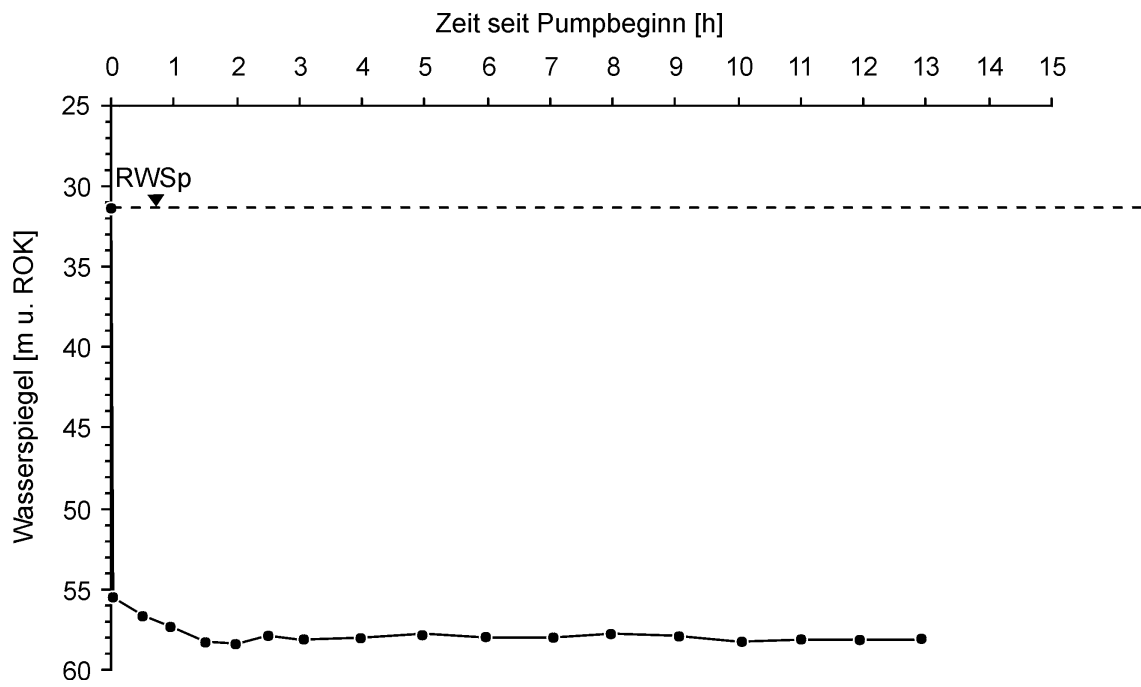


Abb. 29: Ganglinie des Wasserspiegels während des Druckluftpumpversuchs an der Versuchsböhrung Kellerwald B1 am 17. und 18.08.1978 bei einer Förderrate von $34 \text{ m}^3/\text{h}$

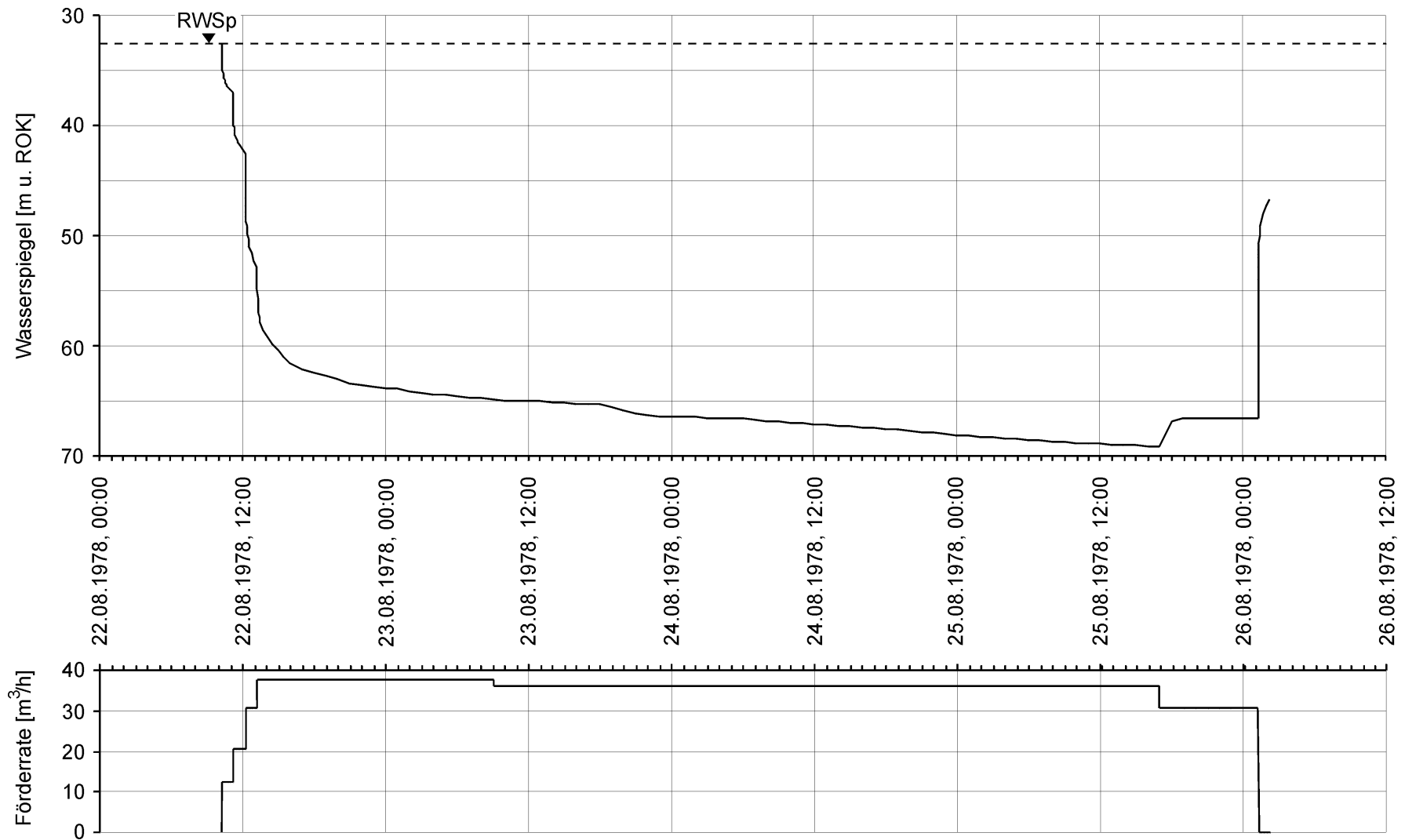


Abb. 30: Ganglinie des Wasserspiegels und Förderraten beim Pumpversuch an der Versuchsbohrung Kellerwald B1 vom 22. bis 26.08.1978

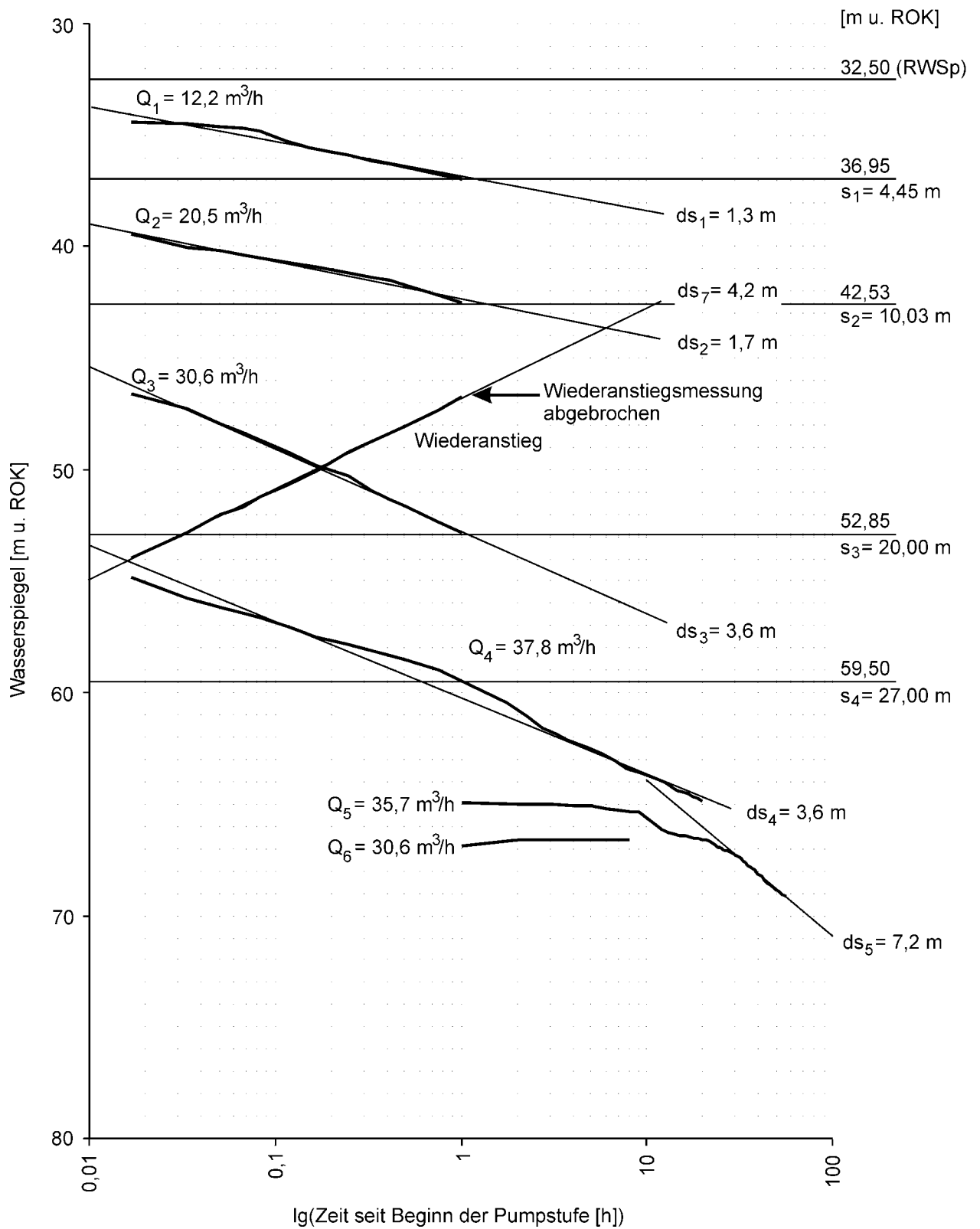


Abb. 31: Ganglinie des Wasserspiegels bei unterschiedlichen Förderraten mit Absenkungsbeiträgen pro Dekade (ds) beim Pumpversuch an der Versuchsbohrung Kellerwald B1 vom 22. bis 26.08.1978

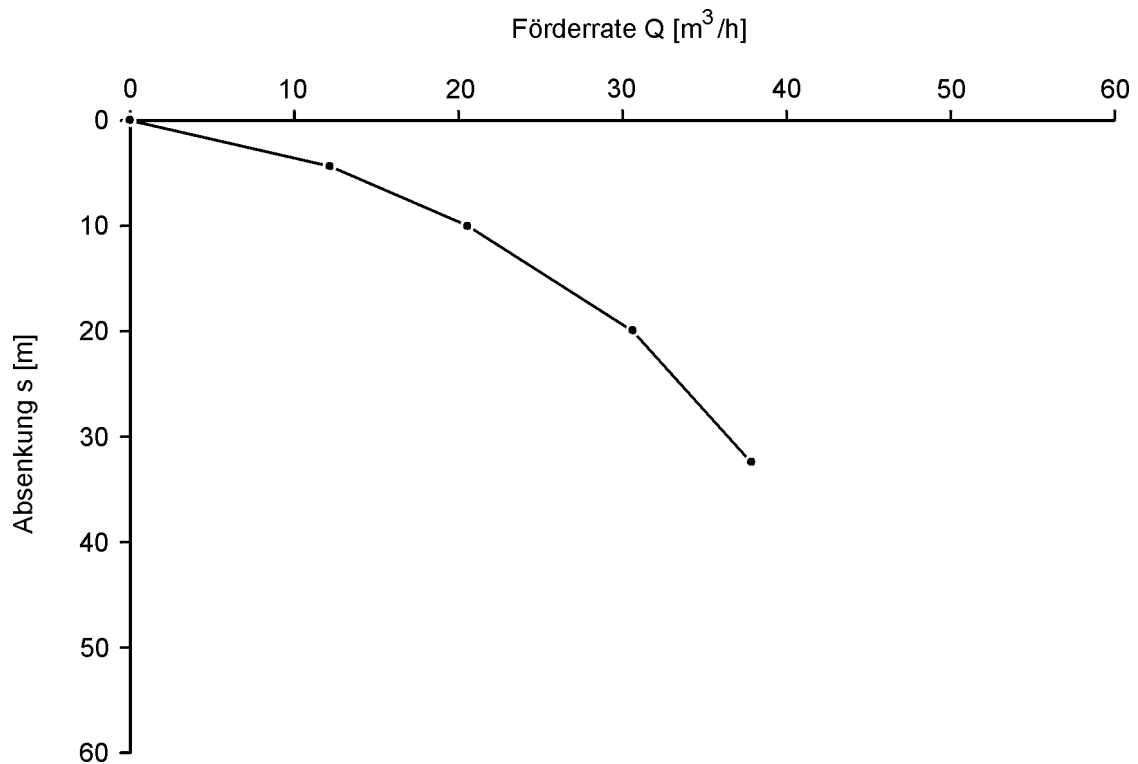


Abb. 32: Leistungscharakteristik der Versuchsbohrung Kellerwald B1 mit Absenkungen nach einer Stunde Pumpzeit beim Pumpversuch vom 22. bis 26.08.1978

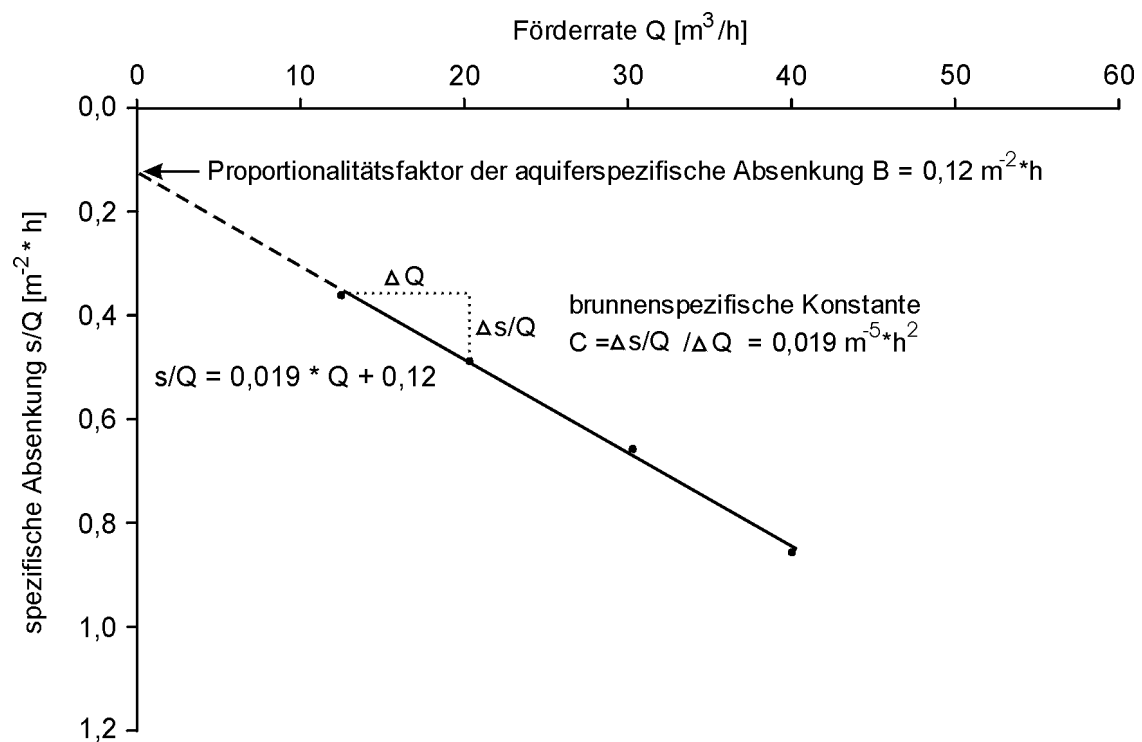


Abb. 33: Spezifische Absenkung an der Versuchsbohrung Kellerwald B1 beim Pumpversuch vom 22. bis 26.08.1978

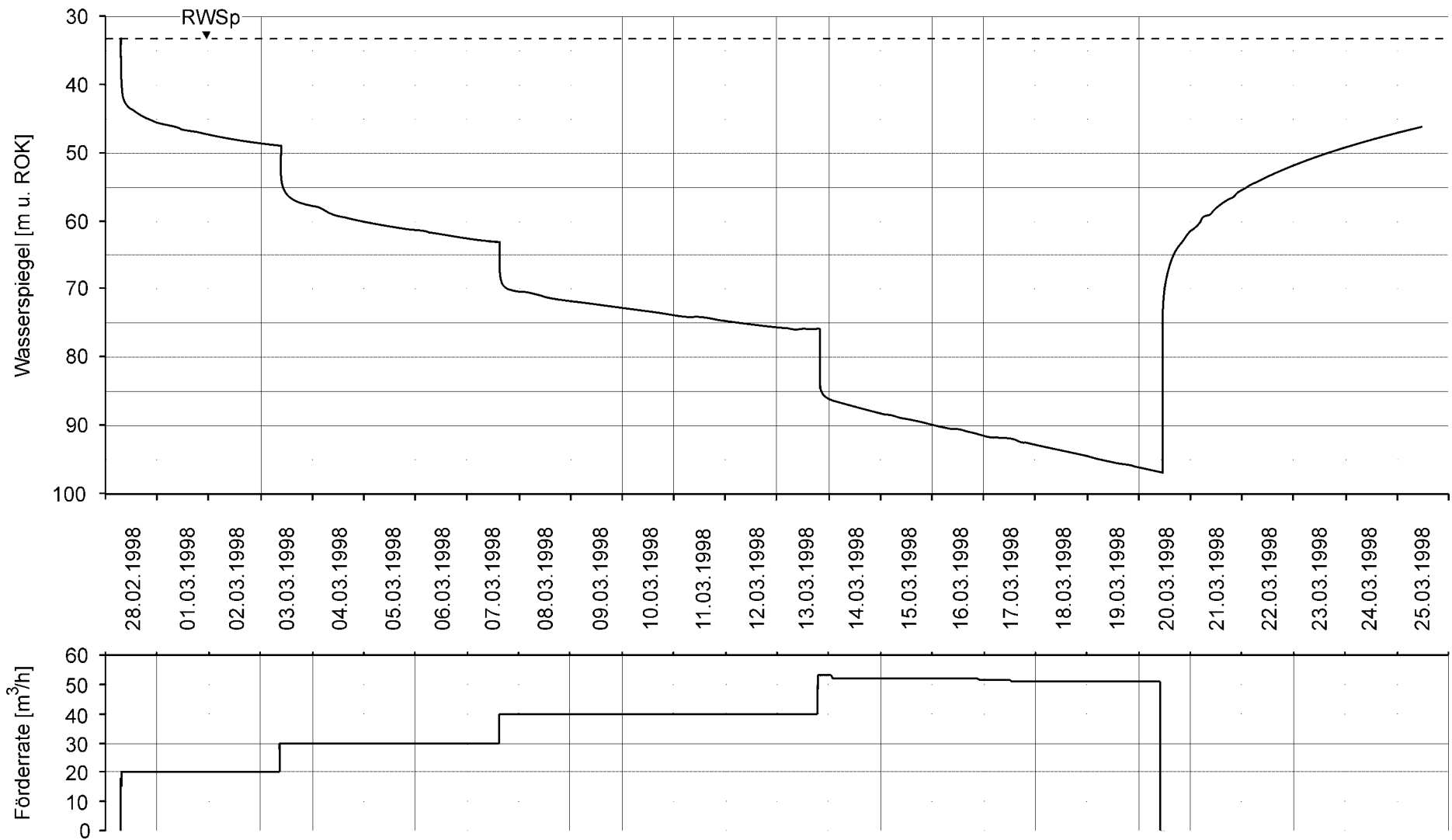


Abb. 34: Ganglinie des Wasserspiegels und Förderraten beim Pumpversuch an der Versuchsbohrung Kellerwald B1 vom 28.02. bis 25.03.1998

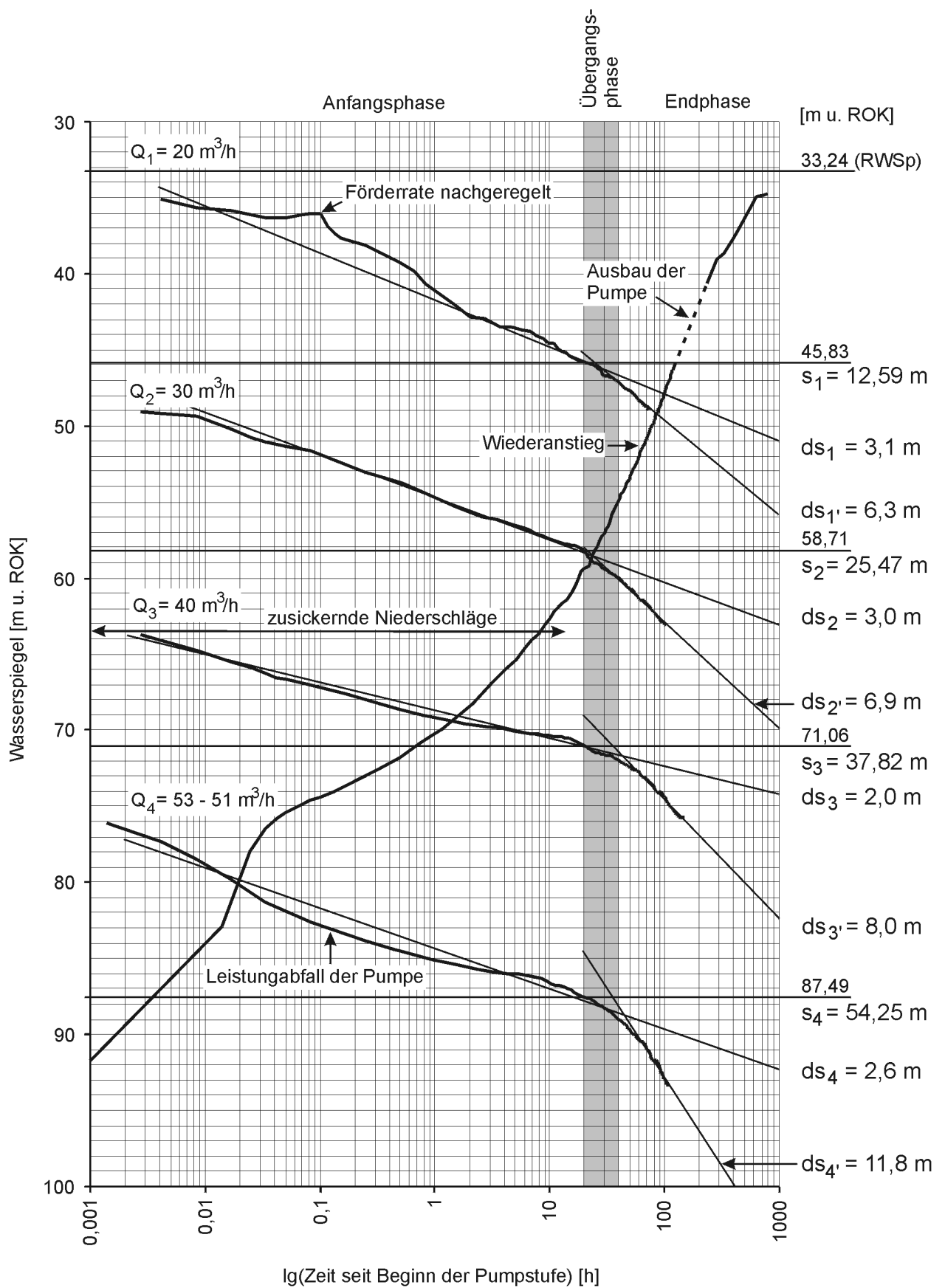


Abb. 35: Ganglinie des Wasserspiegels bei unterschiedlichen Förderraten mit Absenkungsbeiträgen pro Dekade (ds) beim Pumpversuch an der Versuchsbohrung Kellerwald B1 vom 28.02. bis 25.03.1998

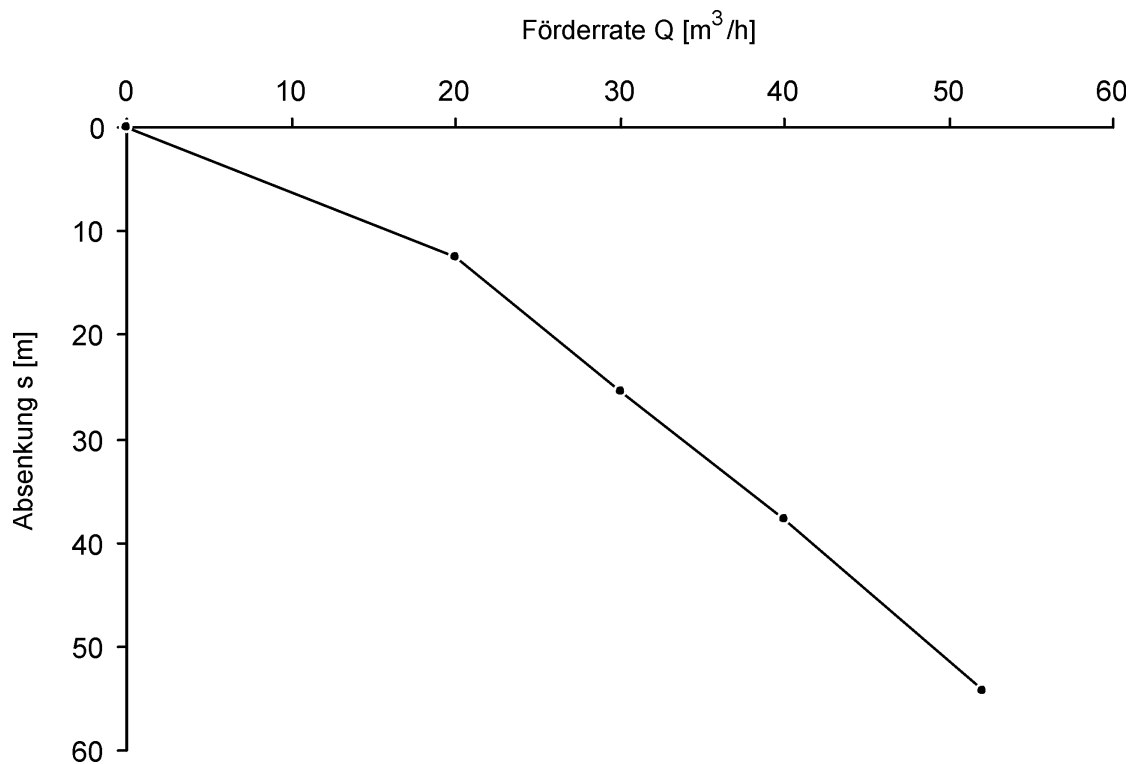


Abb. 36: Leistungscharakteristik der Versuchsbohrung Kellerwald B1 mit Absenkungen nach 20 Stunde Pumpzeit beim Pumpversuch vom 28.02. bis 25.03.1998

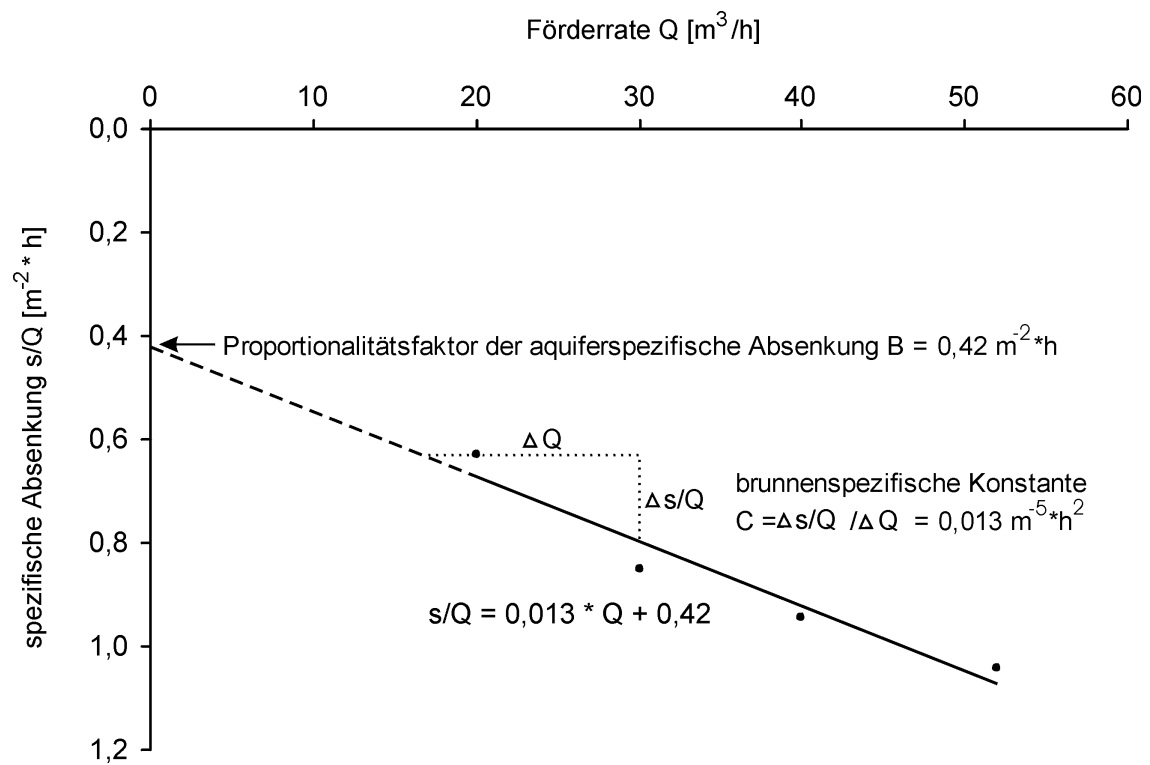


Abb. 37: Spezifische Absenkung an der Versuchsbohrung Kellerwald B1 beim Pumpversuch vom 28.02. bis 25.03.1998

Legende

● Stadtteile, Versorgungsbereiche, Bedarf Q_1 [m^3/d]

○ Wasserfassungen (Brunnen, Quellen), Dargebot Q_1 [m^3/d]

⊞ Lage neuer Brunnen mit erwartetem Dargebot Q_1 [m^3/d]

Kreisflächen entsprechen einer Förder- bzw. Abgaberate von $300 m^3/d$

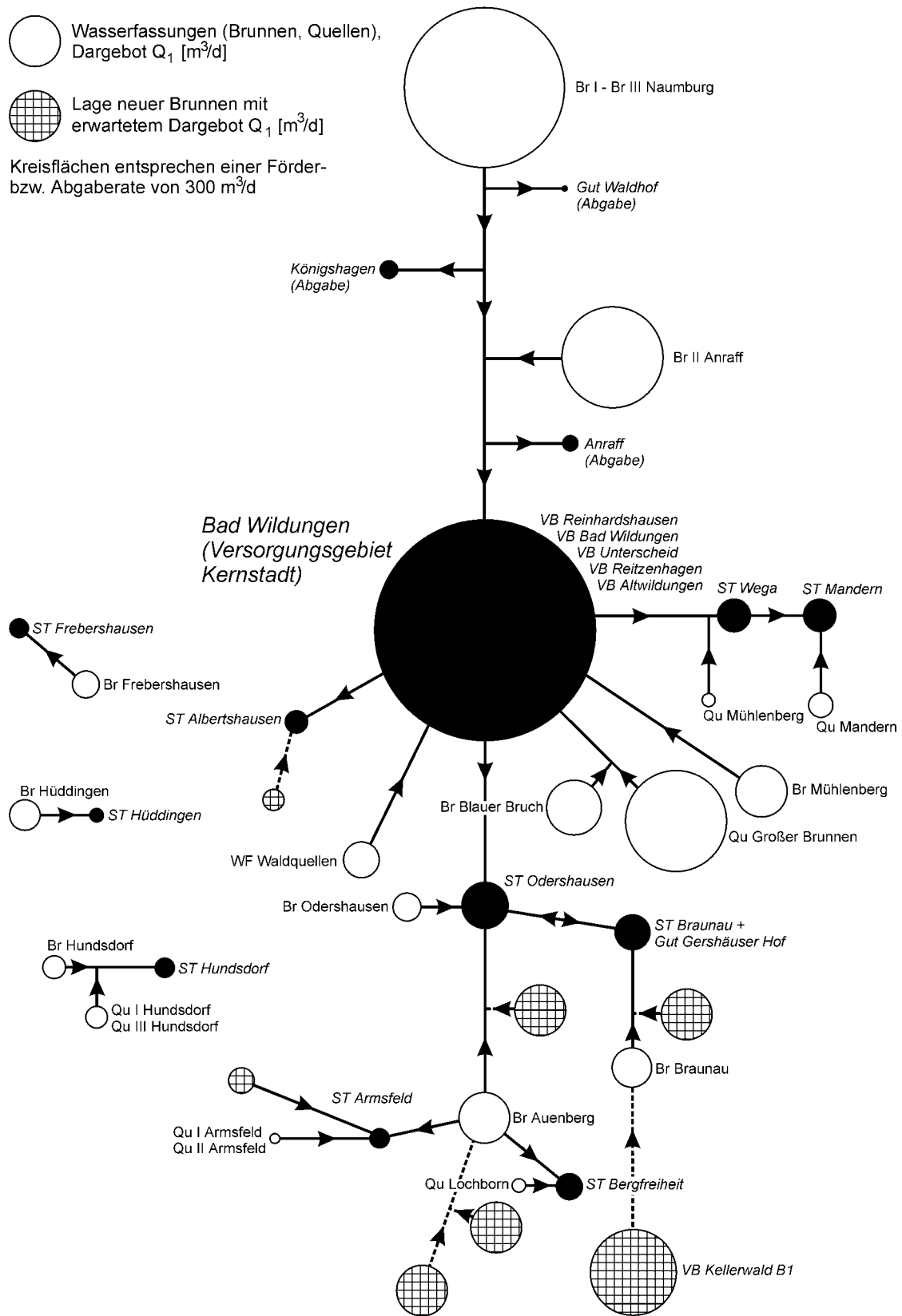


Abb. 38: Übersichtsplan zur Trinkwasserversorgung in Bad Wildungen mit Dargebot und Bedarf Q_1 von 2000

Tabellen

Tab. 1: Kataster der Wassergewinnungsanlagen

Versorgungsgebiet	Bezeichnung der Wasserfassung	Bezeichnung der Gewinnungsanlage	Gauß-Krüger-Koordinaten		Höhe [m NN]	Top. Karte 1 : 25.000	Gemeinde
			Rechts-Wert	Hoch-Wert			
Kernstadt	WF Blauer Bruch	Br Blauer Bruch	35 10 020	56 63 920	241	4820 Bad Wildungen	Bad Wildungen
Altwildungen	WF Großer Brunnen	Qu Großer Brunnen	35 10 110	56 63 710	243	4820 Bad Wildungen	Bad Wildungen
Bad Wildungen		Br 1 Großer Brunnen	35 10 110	56 63 710	242	4820 Bad Wildungen	Bad Wildungen
Reinhardshausen		Br 2 Großer Brunnen	36 10 110	57 63 710	242	4820 Bad Wildungen	Bad Wildungen
Reitzenhagen		Br IV Großer Brunnen	35 10 200	56 63 650	250	4820 Bad Wildungen	Bad Wildungen
Unterscheid		Br V Großer Brunnen	35 10 140	53 63 650	248	4820 Bad Wildungen	Bad Wildungen
mit Abgaben an	WF Mühlenberg	Br Mühlenberg	35 11 860	56 63 220	330	4821 Fritzlar	Bad Wildungen
ST Albertshausen,	WF Naumburger Graben	Br I Naumburg	35 12 420	56 74 840	327	4721 Naumburg	Naumburg
ST Mandern,		Br II Naumburg	35 11 850	56 76 060	335	4722 Naumburg	Naumburg
ST Odershausen,		Br III Naumburg	35 11 900	56 77 170	330	4723 Naumburg	Naumburg
ST Wega	WF Sölzer Wiese	Br II Anraff	35 10 060	56 68 960	188	4820 Bad Wildungen	Edertal
	WF Waldquellen	Qu Lembachsteich	35 04 490	56 61 400	422	4920 Armsfeld	Bad Wildungen
		Qu Ochsenhude	35 04 020 bis	56 60 220 bis	480 bis		
			35 04 500	56 60 640	438	4920 Armsfeld	Bad Wildungen
		Qu Schlagbrunnen	35 05 440	56 61 960	377	4920 Armsfeld	Bad Wildungen
Stadtteile							
ST Armsfeld	WF Armsfeld	Qu I Armsfeld	35 03 080	56 57 930	470	4920 Armsfeld	Bad Wildungen
		Qu II Armsfeld	35 03 090	56 58 000	490	4920 Armsfeld	Bad Wildungen
ST Armsfeld + ST Bergfreiheit + ST Odershausen	WF Auenberg	Br Auenberg	35 05 705	56 58 265	486	4920 Armsfeld	Bad Wildungen
ST Bergfreiheit	WF Bergfreiheit	Qu Lochborn	35 06 140	56 57 220	385	4920 Armsfeld	Bad Wildungen
ST Braunau	WF Braunau	Br Braunau	35 08 060	56 58 991,8	368	4920 Armsfeld	Bad Wildungen
ST Frebershausen	WF Frebershausen	Br Frebershausen	34 99 270	56 63 590	394	4819 Fürstenberg	Bad Wildungen
ST Hüddingen	WF Hüddingen	Br Hüddingen	35 00 694	56 62 133,1	426	4920 Armsfeld	Bad Wildungen
ST Hundsdorf	WF Hundsdorf	Qu I Hundsdorf	35 02 127	56 60 101	503	4920 Armsfeld	Bad Wildungen
		Qu III Hundsdorf	35 02 119	56 58 836	558	4920 Armsfeld	Haina
		Br Hundsdorf	35 02 133	56 60 192	496	4920 Armsfeld	Bad Wildungen
ST Mandern	WF Mandern	Qu Mandern	35 12 415	56 64 126	258	4821 Fritzlar	Bad Wildungen
ST Odershausen	WF Odershausen	Br Odershausen	35 06 991	56 61 334,4	375	4920 Armsfeld	Bad Wildungen
ST Wega	WF Wega	Qu Mühlenberg	35 11 421	56 63 495	293	4820 Bad Wildungen	Bad Wildungen

Forts.Tab. 1: Kataster der Wassergewinnungsanlagen

Bezeichnung der Gewinnungsanlage	Fassungsart	Baujahr	Fassungstiefe [m]	Ruhepegel [m u. GK]	Dargebot minQ _d [m ³ /d]	mQ _d [m ³ /d]	maxQ _d [m ³ /d]	maxQ _d [m ³ /d]
Br Blauer Bruch	Brunnen	1955	12,7	ca. 1	-	350	-	350
Qu Großer Brunnen	Quellschacht	1900	-	ca. 4	ca. 1.200	2.270	ca. 3.500	1.200
Br 1 Großer Brunnen	Brunnen	1961	12,0	3,4	-	Br 1 + Br 2 +	-	Br 1 + Br 2 +
Br 2 Großer Brunnen	Brunnen	1961	12,5	3,6	-	Br IV + Br V	-	Br IV + Br V
Br IV Großer Brunnen	Brunnen	1960	15,0	5,9	-	zusammen	-	zusammen
Br V Großer Brunnen	Brunnen	1960	15,0	3,9	-	ca. 1.000	-	1.000
Br Mühlenberg	Brunnen	1977	130	ca. 25 - 85	-	310	-	310
Br I Naumburg	Brunnen	1972 / 73	151	12	-	Br I - Br III	-	Br I - Br III
Br II Naumburg	Brunnen	1972 / 73	161	42	-	zusammen	-	zusammen
Br III Naumburg	Brunnen	1972 / 73	160	47,3	-	1.750	-	3.000
Br II Anraff	Brunnen	1965	10	2	-	1.036	-	1.2000
Qu Lembachsteich	Quellschacht mit Sickersträngen	um 1890	3,70	-	Waldquellen	Waldquellen	Waldquellen	Waldquellen
Qu Ochsenhude	8 Quellschächte mit Sickersträngen	um 1890	2,5 bis 3,3	-	zusammen	zusammen	zusammen	zusammen
					ca. 150	ca. 800	ca. 1.350	150
Qu Schlagbrunnen	Quellschacht mit Sickersträngen	um 1890	2,70	-				
Qu I Armsfeld	Quellschacht mit Sickersträngen	um 1968	ca. 2,5	-	Qu I + II	Qu I + II	Qu I + II	Qu I + II
Qu II Armsfeld	Quellschacht mit Sickersträngen	um 1968	ca. 2,5	-	ca. 11	= 20	ca. 65	11
Br Auenberg	Brunnen	1983	216	10	-	300	-	300
Qu Lochborn	Quellschacht mit Sickersträngen	1965	2	-	ca. 21	ca. 60	ca. 150	21
Br Braunau	Brunnen	1967	60,0	1,65	-	180	-	180
Br Frebershausen	Brunnen	1975	102	18,6	-	58,9	-	86,4
Br Hüddingen	Brunnen	1970	79,5	16,1	-	30	-	108
Qu I Hundsdorf	Quellschacht mit 3 Sickersträngen	1909	ca. 2,6	-	20	Qu I + II	Qu I + III	Qu I + III
Qu III Hundsdorf	Quellschacht mit 2 Sickersträngen	1968	ca. 2,4	-	56	=65	ca. 250	56
Br Hundsdorf	Brunnen	1982	100	ca. 5	-	43,8	-	60
Qu Mandern	1 Quellschacht mit 2 Sickersträngen	1909	ca. 2	-	ca. 70	ca. 98	ca. 110	70
Br Odershausen	Brunnen	1949	14,6	ca. 1	-	90	-	90
Qu Mühlenberg	Quellschacht mit Sickersträngen	1908	ca. 2,3	-	ca. 22	ca. 35	ca. 60	22

Tab. 2: Wasserdargebot Q_d und Q_1 der Wasserfassungen im Versorgungsgebiet Kernstadt

Wasserfassung	bewilligtes Dargebot Q_d [m^3/d]	förderbares Dargebot mQ_d [m^3/d]	Spitzendargebot * Q_1 [m^3/d]
Großer Brunnen	Gesamtschüttmenge	2.270	1.200
Blauer Bruch	erf. Menge, max. 11,8 m Absenkung	350	350
Mühlenberg	712	310	310
Naumburger Graben	2.500	1.750	3.000
Sölzer Wiese	1.036 **	1.036	1.200
Waldquellen	Gesamtschüttmenge	800	150
Summe		6.516 (2.378.340 m^3/a)	6.210 (2.266.650 m^3/a)

* : Das Spitzendargebot Q_1 der Quellen entspricht dem minimalen Spitzendargebot $\min Q_d$
 Das Spitzendargebot Q_1 der Brunnen entspricht dem mittleren Dargebot mQ_d

** :Widerrufliche Erlaubnis nach § 9 a WHG

Tab. 3: Wasserbilanz Q_a und Q_1 für das Versorgungsgebiet Kernstadt

Jahr	2000	2005	2010
Dargebot Q_a [m^3/a]	2.378.340	2.378.340	2.378.340
Bedarf Q_a [m^3/a]	1.552.573	ca. 1.573.000	ca. 1.594.000
Bilanz Q_a [m^3/a]	825.767	ca. 805.000	ca. 784.000
Dargebot Q_1 [m^3/d]	6.210	6.210	6.210
Bedarf Q_1 [m^3/d]	5.778	5.850	5.925
Bilanz Q_1 [m^3/d]	432	360	285

Tab. 4: Wasserbilanz Q_a und Q_1 von ST Albertshausen

Jahr	2000	2005	2010
Dargebot Q_a [m^3/a]	17.654	18.450	19.250
Bedarf Q_a [m^3/a]	17.654	18.450	19.250
Bilanz Q_a [m^3/a]	0	0	0
Dargebot Q_1 [m^3/d]	63	66	69
Bedarf Q_1 [m^3/d]	63	66	69
Bilanz Q_1 [m^3/d]	0	0	0

Tab. 5: Wasserbilanz Q_a und Q_1 von ST Armsfeld

Jahr	2000	2005	2010
Dargebot Q_a [m^3/a]	43.800	43.800	43.800
Bedarf Q_a [m^3/a]	13.733	13.760	13.790
Bilanz Q_a [m^3/a]	30.040	30.040	30.010
Dargebot Q_1 [m^3/d]	111	111	111
Bedarf Q_1 [m^3/d]	49	49	49
Bilanz Q_1 [m^3/d]	62	62	62

Tab. 6: Wasserbilanz Q_a und Q_1 von ST Bergfreiheit

Jahr	2000	2005	2010
Dargebot Q_a [m^3/a]	58.400	58.400	58.400
Bedarf Q_a [m^3/a]	24.038	25.380	26.720
Bilanz Q_a [m^3/a]	34.362	33.020	31.680
Dargebot Q_1 [m^3/d]	121	121	121
Bedarf Q_1 [m^3/d]	86	90	95
Bilanz Q_1 [m^3/d]	35	31	36

Tab. 7: Wasserbilanz Q_a und Q_1 von ST Braunau

Jahr	2000	2005	2010
Dargebot Q_a [m^3/a]	65.700	65.700	65.700
Bedarf Q_a [m^3/a]	41.557	44.030	46.510
Bilanz Q_a [m^3/a]	24.143	21.670	19.190
Dargebot Q_1 [m^3/d]	180	180	180
Bedarf Q_1 [m^3/d]	148	157	166
Bilanz Q_1 [m^3/d]	32	23	14

Tab. 8: Wasserbilanz Q_a und Q_1 von ST Frebershausen

Jahr	2000	2005	2010
Dargebot Q_a [m^3/a]	21.599	21.599	21.599
Bedarf Q_a [m^3/a]	12.716	12.490	12.270
Bilanz Q_a [m^3/a]	8.883	9.109	9.329
Dargebot Q_1 [m^3/d]	86	86	86
Bedarf Q_1 [m^3/d]	45	44	43
Bilanz Q_1 [m^3/d]	41	42	43

Tab. 9: Wasserbilanz Q_a und Q_1 von ST Hüddingen

Jahr	2000	2005	2010
Dargebot Q_a [m^3/a]	10.950	10.950	10.950
Bedarf Q_a [m^3/a]	6.599	6.590	6.580
Bilanz Q_a [m^3/a]	4.351	4.360	4.370
Dargebot Q_1 [m^3/d]	30	30	30
Bedarf Q_1 [m^3/d]	24	23	23
Bilanz Q_1 [m^3/d]	6	7	7

Tab. 10: Wasserbilanz Q_a und Q_1 von ST Hundsdorf

Jahr	2000	2005	2010
Dargebot Q_a [m^3/a]	23.725	23.725	23.725
Bedarf Q_a [m^3/a]	13.396	13.520	13.650
Bilanz Q_a [m^3/a]	10.329	10.205	10.075
Dargebot Q_1 [m^3/d]	56	56	56
Bedarf Q_1 [m^3/d]	48	48	49
Bilanz Q_1 [m^3/d]	8	8	7

Tab. 11: Wasserbilanz Q_a und Q_1 von ST Mandern

Jahr	2000	2005	2010
Dargebot Q_a [m^3/a]	36.461	39.360	42.260
Bedarf Q_a [m^3/a]	36.461	39.360	42.260
Bilanz Q_a [m^3/a]	0	0	0
Dargebot Q_1 [m^3/d]	130	140	150
Bedarf Q_1 [m^3/d]	130	140	150
Bilanz Q_1 [m^3/d]	0	0	0

Tab. 12: Wasserbilanz Q_a und Q_1 von ST Odershausen

Jahr	2000	2005	2010
Dargebot Q_a [m^3/a]	73.856	80.160	86.460
Bedarf Q_a [m^3/a]	73.856	80.160	86.460
Bilanz Q_a [m^3/a]	0	0	0
Dargebot Q_1 [m^3/d]	263	286	308
Bedarf Q_1 [m^3/d]	263	286	308
Bilanz Q_1 [m^3/d]	0	0	0

Tab. 13: Wasserbilanz Q_a und Q_1 von ST Wega

Jahr	2000	2005	2010
Dargebot Q_a [m^3/a]	36.734	38.210	39.690
Bedarf Q_a [m^3/a]	36.734	38.210	39.690
Bilanz Q_a [m^3/a]	0	0	0
Dargebot Q_1 [m^3/d]	131	136	141
Bedarf Q_1 [m^3/d]	131	136	141
Bilanz Q_1 [m^3/d]	0	0	0

Tab. 14: Abfluß und Schüttung im Untersuchungsgebiet Sillbach für das hydrologische Jahr 1995/96 in l/s

Datum	SS01	AS01	Datum	SS01	AS01
02.10.1995	0,63	1,83	22.04.1996	1,53	1,83
09.10.1995	0,60	2,00	29.04.1996	1,37	1,78
16.10.1995	0,57	2,30	06.05.1996	1,33	1,85
23.10.1995	0,62	2,00	13.05.1996	1,40	2,20
30.10.1995	0,68	1,65	20.05.1996	1,33	2,05
06.11.1995	0,58	2,00	27.05.1996	1,30	2,20
13.11.1995	0,72	2,52	03.06.1996	1,37	2,25
20.11.1995	0,55	2,07	10.06.1996	1,27	2,08
27.11.1995	0,63	1,85	17.06.1996	1,20	2,05
04.12.1995	0,57	1,87	24.06.1996	1,33	2,00
11.12.1995	0,57	2,02	01.07.1996	1,27	1,95
18.12.1995	0,52	1,83	08.07.1996	1,33	2,23
25.12.1995	1,10	2,67	15.07.1996	1,33	2,00
01.01.1996	0,48	1,97	22.07.1996	0,70	1,90
08.01.1996	0,50	1,58	29.07.1996	1,07	1,75
15.01.1996	0,52	1,47	05.08.1996	0,48	1,50
22.01.1996	0,42	1,37	12.08.1996	0,46	1,33
29.01.1996	0,50	1,65	19.08.1996	0,44	1,55
05.02.1996	0,38	1,29	26.08.1996	0,44	1,50
12.02.1996	0,36	1,15	02.09.1996	0,45	1,52
19.02.1996	0,43	1,45	09.09.1996	0,34	1,32
26.02.1996	0,38	1,33	16.09.1996	0,47	1,52
04.03.1996	0,70	1,88	23.09.1996	0,45	1,67
11.03.1996	0,53	1,87	30.09.1996	0,39	1,50
18.03.1996	0,50	1,52	07.10.1996	0,47	1,65
25.03.1996	2,70	6,77	14.10.1996	0,42	1,63
01.04.1996	2,20	3,75	21.10.1996	0,73	3,00
08.04.1996	1,60	2,57	28.10.1996	0,50	1,85
15.04.1996	1,57	2,03			

Tab. 15: Abfluß und Abflußspende im Untersuchungsgebiet Sillbach für das hydrologische Jahr 1995/96

Meß- station Code	oberirdisches Ein- zugsgebiet [km ²]	Abfluß			mittlere Abfluß- spende
		NQ [l/s]	MQ [l/s]	HQ [l/s]	Mq [l/(s*km ²)]
AS01	0,79	1,15	1,97	6,77	2,49

Tab. 16: Tagesmittel der Lufttemperatur, der relativen Feuchte und wöchentliche Summe der Niederschläge, gemessen an der Wetterstation HB Auenberg und Summe der potentiellen Evapotranspiration nach HAUDE (1954) für das hydrologische Jahr 1995/96

Oktober 1995					November 1995					Dezember 1995							
Tag	Datum	T [°C]	rF [%]	ETpot [mm]	N [mm]	Tag	Datum	T [°C]	rF [%]	ETpot [mm]	N [mm]	Tag	Datum	T [°C]	rF [%]	ETpot [mm]	N [mm]
So.	01.10.1995	7,1	100	0	6,4	Mi.	01.11.1995	4,5	100	0		Fr.	01.12.1995	-4,3	100	0	
Mo.	02.10.1995	10,1	100	0		Do.	02.11.1995	2,6	92	0,3		Sa.	02.12.1995	-2,3	100	0	
Di.	03.10.1995	12,1	100	0		Fr.	03.11.1995	0,8	90	0,1		So.	03.12.1995	-4,1	100	0	1,1
Mi.	04.10.1995	13,9	100	0		Sa.	04.11.1995	-2,9	79	0,3		Mo.	04.12.1995	-5,5	99	0	
Do.	05.10.1995	11,9	100	0		So.	05.11.1995	-3,8	82	0,3	8,1	Di.	05.12.1995	-9,3	97	0	
Fr.	06.10.1995	10,9	100	0		Mo.	06.11.1995	-2,5	65	0,5		Mi.	06.12.1995	-10,6	96	0	
Sa.	07.10.1995	12,0	100	0		Di.	07.11.1995	0,3	88	0,2		Do.	07.12.1995	-5,9	100	0	
So.	08.10.1995	14,4	100	0	9,8	Mi.	08.11.1995	2,6	100	0		Fr.	08.12.1995	-4,4	100	0	
Mo.	09.10.1995	15,9	76	1,6		Do.	09.11.1995	5,0	100	0		Sa.	09.12.1995	-1,6	99	0	
Di.	10.10.1995	16,8	73	1,6		Fr.	10.11.1995	4,5	99	0		So.	10.12.1995	-0,9	92	0,1	2,4
Mi.	11.10.1995	14,6	86	1,0		Sa.	11.11.1995	7,3	66	1,2		Mo.	11.12.1995	0,8	92	0	
Do.	12.10.1995	12,9	93	0,2		So.	12.11.1995	4,6	67	1,1	3,2	Di.	12.12.1995	-3,4	83	0	
Fr.	13.10.1995	12,3	90	0,3		Mo.	13.11.1995	0,6	97	0,1		Mi.	13.12.1995	-4,4	97	0	
Sa.	14.10.1995	11,0	81	0,9		Di.	14.11.1995	4,0	100	0		Do.	14.12.1995	-4,4	97	0,2	
So.	15.10.1995	11,0	100	0	0,3	Mi.	15.11.1995	4,6	100	0		Fr.	15.12.1995	-6,0	90	0	
Mo.	16.10.1995	11,1	100	0		Do.	16.11.1995	6,6	100	0		Sa.	16.12.1995	-6,3	99	0	
Di.	17.10.1995	10,0	100	0		Fr.	17.11.1995	0	96	0,1		So.	17.12.1995	-5,9	100	0	0,9
Mi.	18.10.1995	10,8	100	0		Sa.	18.11.1995	-3,0	94	0,1		Mo.	18.12.1995	-1,8	100	0	
Do.	19.10.1995	7,6	94	0,4		So.	19.11.1995	-0,3	98	0	28,8	Di.	19.12.1995	-1,0	100	0	
Fr.	20.10.1995	7,5	100	0		Mo.	20.11.1995	-3,8	77	0,5		Mi.	20.12.1995	-3,3	100	0	
Sa.	21.10.1995	3,1	87	0,6		Di.	21.11.1995	-3,9	71	0,4		Do.	21.12.1995	-5,6	100	0	
So.	22.10.1995	2,5	84	0,6	3,2	Mi.	22.11.1995	-2,8	86	0,2		Fr.	22.12.1995	2,0	100	0	
Mo.	23.10.1995	6,9	97	0,2		Do.	23.11.1995	0,9	100	0		Sa.	23.12.1995	6,0	100	0	
Di.	24.10.1995	7,9	89	0,7		Fr.	24.11.1995	3,4	100	0		So.	24.12.1995	-3,3	100	0	31,9
Mi.	25.10.1995	7,9	99	0		Sa.	25.11.1995	1,5	100	0		Mo.	25.12.1995	-5,3	100	0	
Do.	26.10.1995	10,8	96	0,3		So.	26.11.1995	1,4	99	0	0,3	Di.	26.12.1995	-4,8	99	0	
Fr.	27.10.1995	12,3	96	0,4		Mo.	27.11.1995	-0,8	90	0,2		Mi.	27.12.1995	-8,4	92	0,1	
Sa.	28.10.1995	8,9	94	0,5		Di.	28.11.1995	-1,9	98	0,1		Do.	28.12.1995	-9,5	81	0,2	
So.	29.10.1995	7,1	96	0,2	4,0	Mi.	29.11.1995	-1,9	100	0		Fr.	29.12.1995	-8,9	38	0,6	
Mo.	30.10.1995	7,0	97	0,2		Do.	30.11.1995	-3,3	100	0		Sa.	30.12.1995	-10,1	69	0,2	
Di.	31.10.1995	5,4	97	0,2								So.	31.12.1995	-5,8	99	0	3,5
Monat:		10,0	94	9,9	17,3	Monat:		1,0	91	6,0	40,8	Monat:		-4,5	94	1,4	39,4

Forts. Tab. 16: Tagesmittel der Lufttemperatur, der relativen Feuchte und wöchentliche Summe der Niederschläge, gemessen an der Wetterstation HB Auenberg und Summe der potentiellen Evapotranspiration nach HAUDE (1954) für das hydrologische Jahr 1995/96

Januar 1996

Tag	Datum	T [°C]	rF [%]	ETpot [mm]	N [mm]
Mo.	01.01.1996	-3,8	100	0	
Di.	02.01.1996	-5,1	99	0	
Mi.	03.01.1996	-6,3	98	0,1	
Do.	04.01.1996	-7,9	96	0,1	
Fr.	05.01.1996	-8,9	86	0,2	
Sa.	06.01.1996	-9,0	93	0	
So.	07.01.1996	-1,4	99	0	2,4
Mo.	08.01.1996	0,1	100	0	
Di.	09.01.1996	-0,8	100	0	
Mi.	10.01.1996	1,4	100	0	
Do.	11.01.1996	-0,4	100	0	
Fr.	12.01.1996	3,5	94	0,2	
Sa.	13.01.1996	1,1	98	0	
So.	14.01.1996	-1,3	100	0	0,6
Mo.	15.01.1996	-2,5	100	0	
Di.	16.01.1996	-3,1	100	0	
Mi.	17.01.1996	-4,8	100	0	
Do.	18.01.1996	-6,8	100	0	
Fr.	19.01.1996	-7,5	100	0	
Sa.	20.01.1996	-7,4	100	0	
So.	21.01.1996	-7,1	100	0	0,7
Mo.	22.01.1996	-8,9	98	0	
Di.	23.01.1996	-9,8	97	0	
Mi.	24.01.1996	-11,1	96	0	
Do.	25.01.1996	-17,0	90	0,1	
Fr.	26.01.1996	-16,3	93	0	
Sa.	27.01.1996	-12,0	95	0	
So.	28.01.1996	-11,6	96	0	7,2
Mo.	29.01.1996	-7,3	97	0	
Di.	30.01.1996	-7,8	92	0,1	
Mi.	31.01.1996	-7,9	84	0,2	
Monat:		-6,0	97	1,0	10,9

Februar 1996

Tag	Datum	T [°C]	rF [%]	ETpot [mm]	N [mm]
Do.	01.02.1996	-4,5	50	0,8	
Fr.	02.02.1996	-1,9	66	0,5	
Sa.	03.02.1996	-5,3	96	0,1	
So.	04.02.1996	-6,9	95	0,1	4,2
Mo.	05.02.1996	-7,1	90	0,2	
Di.	06.02.1996	-10,9	85	0,1	
Mi.	07.02.1996	-12,8	73	0,3	
Do.	08.02.1996	-11,3	80	0,2	
Fr.	09.02.1996	-6,8	99	0	
Sa.	10.02.1996	-4,5	98	0	
So.	11.02.1996	-1,3	100	0	0,3
Mo.	12.02.1996	-0,9	100	0	
Di.	13.02.1996	-2,1	100	0	
Mi.	14.02.1996	-4,0	100	0	
Do.	15.02.1996	-4,4	97	0,1	
Fr.	16.02.1996	-1,1	99	0	
Sa.	17.02.1996	-0,8	92	0,2	
So.	18.02.1996	-1,5	100	0	17,0
Mo.	19.02.1996	-1,8	100	0	
Di.	20.02.1996	-4,6	99	0	
Mi.	21.02.1996	-9,5	88	0,2	
Do.	22.02.1996	-8,4	88	0,2	
Fr.	23.02.1996	-9,3	91	0,2	
Sa.	24.02.1996	-6,5	92	0,1	
So.	25.02.1996	0,9	82	0,4	23,7
Mo.	26.02.1996	3,0	69	1,0	
Di.	27.02.1996	3,5	73	1,0	
Mi.	28.02.1996	2,1	75	0,6	
Do.	29.02.1996	1,6	77	1,0	
Monat:		-4,0	88	7,3	45,2

März 1996

Tag	Datum	T [°C]	rF [%]	ETpot [mm]	N [mm]
Fr.	01.03.1996	-3,5	83	0,2	
Sa.	02.03.1996	-2,8	65	1,1	
So.	03.03.1996	-5,5	82	0,6	0,9
Mo.	04.03.1996	-1,9	71	1,0	
Di.	05.03.1996	-2,1	97	0	
Mi.	06.03.1996	-0,8	95	0,2	
Do.	07.03.1996	-1,5	90	0,3	
Fr.	08.03.1996	-2,5	79	0,8	
Sa.	09.03.1996	-2,9	78	0,8	
So.	10.03.1996	-3,4	61	1,1	3,4
Mo.	11.03.1996	-7,0	82	0,4	
Di.	12.03.1996	-8,1	85	0,3	
Mi.	13.03.1996	-7,3	87	0,3	
Do.	14.03.1996	-4,1	88	0,4	
Fr.	15.03.1996	-2,1	87	0,6	
Sa.	16.03.1996	-1,3	99	0	
So.	17.03.1996	0	93	0,3	1,5
Mo.	18.03.1996	-0,8	95	0,2	
Di.	19.03.1996	2,1	78	1,0	
Mi.	20.03.1996	4,0	72	1,3	
Do.	21.03.1996	4,3	82	0,7	
Fr.	22.03.1996	3,6	98	0,1	
Sa.	23.03.1996	4,9	100	0	
So.	24.03.1996	4,3	94	0,4	5,2
Mo.	25.03.1996	2,5	87	0,6	
Di.	26.03.1996	1,1	96	0,2	
Mi.	27.03.1996	-1,6	42	1,5	
Do.	28.03.1996	-0,4	37	1,4	
Fr.	29.03.1996	-0,6	75	1,1	
Sa.	30.03.1996	-3,0	84	0,6	
So.	31.03.1996	-1,8	82	0,8	5,6
Monat:		-1,0	82	18,3	16,6

Forts. Tab. 16: Tagesmittel der Lufttemperatur, der relativen Feuchte und wöchentliche Summe der Niederschläge, gemessen an der Wetterstation HB Auenberg und Summe der potentiellen Evapotranspiration nach HAUDE (1954) für das hydrologische Jahr 1995/96

April 1996

Tag	Datum	T [°C]	rF [%]	ETpot [mm]	N [mm]
Mo.	01.04.1996	-3,8	76	1,0	
Di.	02.04.1996	-3,5	83	0,8	
Mi.	03.04.1996	-2,3	77	0,9	
Do.	04.04.1996	-0,5	96	0,1	
Fr.	05.04.1996	0,6	95	0,2	
Sa.	06.04.1996	4,0	87	0,5	
So.	07.04.1996	8,4	59	3,0	2,1
Mo.	08.04.1996	6,0	75	2,1	
Di.	09.04.1996	3,8	77	1,3	
Mi.	10.04.1996	6,0	66	2,5	
Do.	11.04.1996	3,8	92	0,4	
Fr.	12.04.1996	-2,4	58	1,6	
Sa.	13.04.1996	-0,4	75	1,1	
So.	14.04.1996	0	55	2,1	2,5
Mo.	15.04.1996	6,0	33	3,5	
Di.	16.04.1996	13,1	23	5,3	
Mi.	17.04.1996	11,5	20	3,3	
Do.	18.04.1996	11,5	60	3,9	
Fr.	19.04.1996	14,0	41	4,9	
Sa.	20.04.1996	15,4	29	4,9	
So.	21.04.1996	15,8	20	5,8	0
Mo.	22.04.1996	15,6	23	7,8	
Di.	23.04.1996	13,8	54	4,8	
Mi.	24.04.1996	8,7	72	3,5	
Do.	25.04.1996	9,3	58	4,3	
Fr.	26.04.1996	11,0	57	4,6	
Sa.	27.04.1996	12,9	59	4,1	
So.	28.04.1996	11,0	72	2,9	3,9
Mo.	29.04.1996	6,4	82	1,4	
Di.	30.04.1996	7,4	80	1,7	
Monat:		7,0	62	84,3	8,5

Mai 1996

Tag	Datum	T [°C]	rF [%]	ETpot [mm]	N [mm]
Mi.	01.05.1996	10,9	64	3,5	
Do.	02.05.1996	8,5	89	0,9	
Fr.	03.05.1996	8,4	84	1,1	
Sa.	04.05.1996	3,6	98	0,1	
So.	05.05.1996	3,1	61	2,1	16,2
Mo.	06.05.1996	6,3	53	2,1	
Di.	07.05.1996	5,0	97	0,1	
Mi.	08.05.1996	5,6	95	0,5	
Do.	09.05.1996	1,8	98	0	
Fr.	10.05.1996	2,4	99	0	
Sa.	11.05.1996	5,3	94	0,4	
So.	12.05.1996	7,0	93	0,7	14,3
Mo.	13.05.1996	6,5	100	0	
Di.	14.05.1996	8,0	95	0,6	
Mi.	15.05.1996	4,6	97	0,1	
Do.	16.05.1996	5,0	94	0,5	
Fr.	17.05.1996	12,0	84	2,6	
Sa.	18.05.1996	11,1	100	0	
So.	19.05.1996	11,5	88	1,9	20,5
Mo.	20.05.1996	10,0	65	3,2	
Di.	21.05.1996	8,5	79	1,5	
Mi.	22.05.1996	8,5	73	2,0	
Do.	23.05.1996	9,9	91	0,9	
Fr.	24.05.1996	14,8	73	3,0	
Sa.	25.05.1996	10,5	90	1,4	
So.	26.05.1996	10,5	81	2,0	28,2
Mo.	27.05.1996	11,8	98	0,2	
Di.	28.05.1996	7,6	69	2,1	
Mi.	29.05.1996	12,4	67	2,9	
Do.	30.05.1996	17,5	53	5,3	
Fr.	31.05.1996	18,8	60	6,1	
Monat:		8,5	83	47,8	79,2

Juni 1996

Tag	Datum	T [°C]	rF [%]	ETpot [mm]	N [mm]
Sa.	01.06.1996	11,5	96	0,2	
So.	02.06.1996	9,1	99	0	13,0
Mo.	03.06.1996	9,8	95	0,4	
Di.	04.06.1996	14,5	73	2,6	
Mi.	05.06.1996	17,4	56	4,9	
Do.	06.06.1996	21,1	55	6,5	
Fr.	07.06.1996	23,3	59	6,5	
Sa.	08.06.1996	22,8	63	5,2	
So.	09.06.1996	16,9	89	1,8	8,3
Mo.	10.06.1996	19,5	63	7,4	
Di.	11.06.1996	20,3	80	3,3	
Mi.	12.06.1996	17,4	75	3,4	
Do.	13.06.1996	10,8	68	2,8	
Fr.	14.06.1996	9,6	77	1,9	
Sa.	15.06.1996	11,5	64	3,2	
So.	16.06.1996	12,3	72	2,4	3,7
Mo.	17.06.1996	18,0	54	5,7	
Di.	18.06.1996	14,3	64	2,8	
Mi.	19.06.1996	9,8	84	1,0	
Do.	20.06.1996	8,3	100	0	
Fr.	21.06.1996	10,1	67	2,4	
Sa.	22.06.1996	9,4	84	1,3	
So.	23.06.1996	9,8	83	1,10	10,0
Mo.	24.06.1996	9,1	81	1,1	
Di.	25.06.1996	9,9	86	1,0	
Mi.	26.06.1996	14,8	61	4,5	
Do.	27.06.1996	13,5	87	0,6	
Fr.	28.06.1996	15,1	77	2,8	
Sa.	29.06.1996	11,8	92	0,6	
So.	30.06.1996	11,4	89	1,0	17,9
Monat:		14,0	76	78,4	52,9

Forts. Tab. 16: Tagesmittel der Lufttemperatur, der relativen Feuchte und wöchentliche Summe der Niederschläge, gemessen an der Wetterstation HB Auenberg und Summe der potentiellen Evapotranspiration nach HAUDE (1954) für das hydrologische Jahr 1995/96

Juli 1996

Tag	Datum	T [°C]	rF [%]	ETpot [mm]	N [mm]
Mo.	01.07.1996	10,0	95	0,3	
Di.	02.07.1996	9,0	89	1,1	
Mi.	03.07.1996	13,5	80	1,6	
Do.	04.07.1996	13,3	97	0,0	
Fr.	05.07.1996	13,5	99	0,1	
Sa.	06.07.1996	9,9	94	0,5	
So.	07.07.1996	9,6	81	1,9	44,8
Mo.	08.07.1996	9,8	90	1,0	
Di.	09.07.1996	10,6	86	1,7	
Mi.	10.07.1996	11,9	87	1,2	
Do.	11.07.1996	15,6	84	1,6	
Fr.	12.07.1996	16,1	94	0,8	
Sa.	13.07.1996	17,9	79	2,5	
So.	14.07.1996	17,3	74	3,6	13,7
Mo.	15.07.1996	14,8	76	2,4	
Di.	16.07.1996	11,0	74	1,9	
Mi.	17.07.1996	11,8	69	2,6	
Do.	18.07.1996	11,1	78	1,9	
Fr.	19.07.1996	12,8	64	3,0	
Sa.	20.07.1996	14,6	52	3,9	
So.	21.07.1996	15,6	43	4,4	0,2
Mo.	22.07.1996	17,4	43	4,8	
Di.	23.07.1996	16,3	65	2,7	
Mi.	24.07.1996	12,8	92	0,9	
Do.	25.07.1996	13,5	95	0,7	
Fr.	26.07.1996	14,8	84	1,7	
Sa.	27.07.1996	17,6	69	4,3	
So.	28.07.1996	15,0	90	1,2	6,5
Mo.	29.07.1996	15,5	93	0,7	
Di.	30.07.1996	15,5	83	1,7	
Mi.	31.07.1996	17,4	70	3,9	
Monat:		13,5	80	60,6	71,3

August 1996

Tag	Datum	T [°C]	rF [%]	ETpot [mm]	N [mm]
Do.	01.08.1996	18,6	74	2,7	
Fr.	02.08.1996	16,1	71	3,6	
Sa.	03.08.1996	14,0	66	3,1	
So.	04.08.1996	15,3	62	3,3	6,1
Mo.	05.08.1996	15,1	60	3,4	
Di.	06.08.1996	15,6	69	2,8	
Mi.	07.08.1996	15,4	96	0,2	
Do.	08.08.1996	16,4	66	3,4	
Fr.	09.08.1996	19,8	52	4,6	
Sa.	10.08.1996	19,6	67	4,4	
So.	11.08.1996	17,1	89	0,7	6,7
Mo.	12.08.1996	13,3	99	0,1	
Di.	13.08.1996	13,3	99	0,1	
Mi.	14.08.1996	14,0	99	0,1	
Do.	15.08.1996	15,0	93	0,9	
Fr.	16.08.1996	14,8	89	1,6	
Sa.	17.08.1996	14,3	89	1,0	
So.	18.08.1996	18,3	75	2,4	40,3
Mo.	19.08.1996	19,0	59	4,3	
Di.	20.08.1996	19,1	40	4,2	
Mi.	21.08.1996	18,0	78	1,9	
Do.	22.08.1996	17,1	95	0,6	
Fr.	23.08.1996	17,8	89	1,6	
Sa.	24.08.1996	14,8	83	1,6	
So.	25.08.1996	14,0	79	1,8	1,1
Mo.	26.08.1996	13,3	81	2,2	
Di.	27.08.1996	15,3	84	1,7	
Mi.	28.08.1996	12,4	99	0	
Do.	29.08.1996	10,6	93	0,8	
Fr.	30.08.1996	10,9	100	0	
Sa.	31.08.1996	10,1	100	0	
Monat:		15,5	80	59,1	89,9

September 1996

Tag	Datum	T [°C]	rF [%]	ETpot [mm]	N [mm]
So.	01.09.1996	12,4	79	2,2	41,8
Mo.	02.09.1996	10,8	75	1,8	
Di.	03.09.1996	13,6	75	2,1	
Mi.	04.09.1996	13,0	82	2,2	
Do.	05.09.1996	11,8	74	2,0	
Fr.	06.09.1996	8,4	78	1,3	
Sa.	07.09.1996	7,8	76	1,6	
So.	08.09.1996	9,1	82	1,2	0,2
Mo.	09.09.1996	9,0	82	1,4	
Di.	10.09.1996	9,3	87	0,8	
Mi.	11.09.1996	8,0	94	0,3	
Do.	12.09.1996	6,9	100	0	
Fr.	13.09.1996	6,8	100	0	
Sa.	14.09.1996	9,8	92	0,7	
So.	15.09.1996	9,0	91	0,7	18,9
Mo.	16.09.1996	8,1	79	1,6	
Di.	17.09.1996	7,1	79	1,4	
Mi.	18.09.1996	7,1	89	0,8	
Do.	19.09.1996	8,3	91	0,3	
Fr.	20.09.1996	8,3	90	0,6	
Sa.	21.09.1996	5,1	100	0	
So.	22.09.1996	6,6	100	0	17,6
Mo.	23.09.1996	6,9	100	0	
Di.	24.09.1996	7,4	100	0	
Mi.	25.09.1996	8,9	99	0,1	
Do.	26.09.1996	9,5	95	0,5	
Fr.	27.09.1996	8,9	100	0	
Sa.	28.09.1996	9,0	98	0,2	
So.	29.09.1996	10,4	99	0,1	3,3
Mo.	30.09.1996	11,1	99	0	
Monat:		9,0	90	23,9	40,0

Forts. Tab. 16: Tagesmittel der Lufttemperatur, der relativen Feuchte und wöchentliche Summe der Niederschläge, gemessen an der Wetterstation HB Auenberg und Summe der potentiellen Evapotranspiration nach HAUDE (1954) für das hydrologische Jahr 1995/96

Oktober 1996

Tag	Datum	T [°C]	rF [%]	ETpot [mm]	N [mm]
Di.	01.10.1996	8,5	99	0	
Mi.	02.10.1996	6,5	90	0,7	
Do.	03.10.1996	7,0	95	0,3	
Fr.	04.10.1996	6,5	100	0	
Sa.	05.10.1996	6,6	96	0,3	
So.	06.10.1996	5,8	94	0,4	31,3
Mo.	07.10.1996	8,3	94	0,4	
Di.	08.10.1996	10,1	94	0,4	
Mi.	09.10.1996	10,0	93	0,5	
Do.	10.10.1996	8,4	100	0	
Fr.	11.10.1996	8,8	93	0,5	
Sa.	12.10.1996	8,4	99	0,1	
So.	13.10.1996	10,9	89	0,4	1,3
Mo.	14.10.1996	11,1	71	1,4	
Di.	15.10.1996	10,5	85	0,8	
Mi.	16.10.1996	7,5	100	0	
Do.	17.10.1996	6,8	92	0,5	
Fr.	18.10.1996	5,6	98	0,1	
Sa.	19.10.1996	6,3	98	0,1	
So.	20.10.1996	8,4	100	0	37,2
Mo.	21.10.1996	9,0	98	0	
Di.	22.10.1996	5,8	95	0,2	
Mi.	23.10.1996	5,4	92	0,4	
Do.	24.10.1996	4,8	93	0,3	
Fr.	25.10.1996	5,8	94	0,3	
Sa.	26.10.1996	7,1	91	0,6	
So.	27.10.1996	7,4	99	0	5,0
Mo.	28.10.1996	9,0	96	0,3	
Di.	29.10.1996	5,4	96	0	
Mi.	30.10.1996	3,3	96	0,1	
Do.	31.10.1996	4,0	95	0,2	
Monat:		7,5	94	9,3	81,8

November 1996

Tag	Datum	T [°C]	rF [%]	ETpot [mm]	N [mm]
Fr.	01.11.1996	6,5	100	0	
Sa.	02.11.1996	8,8	98	0,7	
So.	03.11.1996	8,8	98	0,3	15,6
Mo.	04.11.1996			0	

Tab. 17: Abfluß und Schüttung im Untersuchungsgebiet Auen-Berg für das hydrologische Jahr 1995/96 in l/s

Datum	AA01	AA02	AA03	AA04	AA05	AA06	AA07	AA08	AA09	AA10	AA11
11.10.1995	1,08	1,75	0,54	0	4,92	4,58	0,83	1,07	0,75	0,60	1,18
25.10.1995	0,93	1,72	0,29	0	4,27	4,00	0,73	0,87	0,51	0,52	1,03
08.11.1995	1,07	2,30	0,46	0	5,00	4,47	1,47	0,80	0,72	0,56	1,51
22.11.1995	1,35	3,38	0,78	0	6,67	3,93	1,93	1,22	0,78	0,72	1,92
06.12.1995	0,57	1,92	0,39	0	4,33	4,33	1,00	0,98	0,68	0,40	1,08
20.12.1995	1,23	5,13	1,07	0	5,87	4,57	1,80	1,18	1,00	0,83	1,42
03.01.1996	1,83	2,68	0,50	0	7,67	6,10	1,33	1,23	1,17	0,77	1,60
17.01.1996	1,20	1,88	1,07	0	4,83	5,70	2,00	1,00	1,10	0,47	1,93
31.01.1996	0,83	1,67	0,63	0	3,65	4,42	1,38	0,72	0,65	0,35	1,43
14.02.1996	0,58	1,58	0,30	0	3,20	3,65	0,97	0,50	0,47	0,30	1,12
28.02.1996	2,10	3,10	1,53	0,03	17,00	8,37	4,57	3,50	3,37	3,47	5,73
13.03.1996	1,23	1,70	1,07	0,00	15,00	4,47	2,13	1,33	1,33	1,10	2,50
27.03.1996	9,00	13,00	5,50	1,40	25,00	27,00	5,47	6,20	7,00	4,53	5,37
10.04.1996	2,67	5,40	1,13	0,48	13,17	9,83	1,90	2,13	2,27	1,30	2,47
24.04.1996	1,50	3,50	0,55	0,06	5,67	4,60	1,10	1,07	1,02	0,67	1,58
08.05.1996	1,50	3,40	0,87	0,13	5,00	5,50	1,37	1,70	1,73	1,10	2,57
22.05.1996	1,67	4,00	1,00	0,17	9,00	8,50	2,00	2,00	1,90	1,50	2,57
05.06.1996	1,83	4,03	0,87	0,15	7,57	6,50	1,53	2,10	1,73	1,13	1,97
19.06.1996	0,47	2,03	0,33	0	4,50	3,50	0,50	0,77	0,75	0,80	1,57
03.07.1996	0,77	3,00	0,37	0,15	5,13	4,37	1,00	1,23	1,23	0,90	2,03
17.07.1996	0,60	1,50	0,20	0	3,03	2,83	0,73	0,75	0,67	0,60	1,50
31.07.1996	0,37	1,03	0,08	0	2,50	2,27	0,40	0,60	0,60	0,50	1,10
14.08.1996	1,60	3,70	0,63	0,06	8,50	8,03	0,70	1,63	1,40	0,63	1,90
28.08.1996	0,40	1,43	0,40	0	3,50	3,50	0,57	0,62	0,63	0,47	1,20
11.09.1996	0,25	1,00	0,18	0	3,47	3,47	0,35	0,50	0,43	0,30	1,13
25.09.1996	0,67	1,80	0,47	0	3,90	4,23	0,60	0,75	0,67	0,45	1,50
09.10.1996	0,63	2,30	0,53	0	5,57	5,00	0,80	0,75	0,68	0,38	1,50
23.10.1996	2,47	4,93	1,50	0,02	10,33	9,17	1,10	1,83	1,80	0,97	2,53

Forts. Tab. 17: Abfluß und Schüttung im Untersuchungsgebiet Auen-Berg für das hydrologische Jahr 1995/96 in l/s

Datum	AA12	AA13	AA14	AA15	SA01	SA05	SA06	SA07	SA08	SA09	SA10
11.10.1995	0,73	2,97	0	0,09	0	0,06	0,05	0	0,01	0,02	0,07
25.10.1995	0,69	3,13	0	0,08	0	0,05	0,08	0	0	0,02	0,06
08.11.1995	0,99	2,17	0,06	0,41	0	0	0,07	0	0	0,01	0,04
22.11.1995	1,63	2,97	0,11	0,61	0	0,05	0,10	0	0	0,02	0,04
06.12.1995	1,15	2,23	0,07	0,12	0	0,06	0,07	0	0	0,01	0,06
20.12.1995	1,22	2,37	0,07	0,29	0	0,10	0,06	0	0	0,01	0,09
03.01.1996	2,47	2,77	0,08	0,15	0	0,10	0,05	0	0	0,02	0,15
17.01.1996	1,52	2,93	0,12	0,14	0	0,08	0,10	0	0,02	0,02	0,19
31.01.1996	0,97	2,00	0,09	0,10	0	0	0,07	0	0,01	0,02	0,13
14.02.1996	0,68	1,25	0,04	0,06	0	0	0,03	0	0	0,02	0,07
28.02.1996	5,07	8,20	0,23	1,57	0,73	0,63	0,12	0,30	0,43	0,01	0,73
13.03.1996	2,73	5,00	0,10	0,67	0,40	0,11	0,10	0,05	0,05	0,03	0,20
27.03.1996	8,00	10,00	0,68	2,60	1,07	1,93	1,00	0,50	0,83	0,17	1,70
10.04.1996	2,33	4,20	0,27	0,77	0,07	0,31	0,21	0,03	0,11	0,09	0,63
24.04.1996	3,00	3,00	0,08	0,19	0	0,14	0,17	0	0,10	0,07	0,40
08.05.1996	1,73	3,93	0,10	0,60	0	0,22	0,23	0	0,10	0,05	0,23
22.05.1996	1,23	3,50	0,25	0,38	0	0,30	0,15	0,11	0,13	0,05	0,28
05.06.1996	0,89	3,00	0,13	0,22	0	0,14	0,20	0,06	0,10	0,07	0,50
19.06.1996	0,82	1,50	0,03	0,01	0	0,10	0,10	0,03	0,05	0,06	0,23
03.07.1996	1,24	2,00	0,05	0,33	0	0,20	0,19	0,13	0,13	0,05	0,55
17.07.1996	0,67	1,83	0	0	0	0,08	0,07	0,01	0,02	0,03	0,43
31.07.1996	0,56	1,60	0,04	0,08	0	0,04	0,08	0	0,01	0,03	0,17
14.08.1996	1,00	5,00	0,16	0,10	0	0,12	0,17	0,06	0,08	0,03	0,17
28.08.1996	1,15	1,93	0,07	0,05	0	0,08	0,11	0,01	0,02	0,01	0,10
11.09.1996	0,67	1,13	0,02	0	0	0,03	0,08	0	0,02	0,01	0,06
25.09.1996	0,75	1,80	0	0	0	0,04	0,10	0,01	0,03	0,01	0,10
09.10.1996	1,15	2,00	0,13	0,07	0	0,04	0,10	0,01	0,04	0,07	0,13
23.10.1996	2,13	3,50	0,20	0,93	0	0,21	0,33	0,10	0,13	0,02	0,37

Tab. 18: Abfluß und Abflußspende im Untersuchungsgebiet Auen-Berg für das hydrologische Jahr 1995/96

Meßstation Code	oberirdisches Einzugsgebiet [km ²]	Abfluß			mittlere Abfluß- spende Mq [l/(s*km ²)]
		NQ [l/s]	MQ [l/s]	HQ [l/s]	
AA01	0,53	0,37	1,50	9,00	2,83
AA02	1,05	1,03	3,19	13,0	3,04
AA03	0,47	0,08	0,86	5,50	1,83
AA04	0,16	0	0,11	1,40	0,69
AA05	3,27	2,50	7,42	25,0	2,27
AA06	1,87	2,27	6,26	27,0	3,35
AA07	0,52	0,40	1,52	5,47	2,92
AA08	0,43	0,60	1,46	6,20	3,40
AA09	0,57	0,60	1,39	7,00	2,90
AA10	0,48	0,50	0,99	4,53	2,06
AA11	0,77	1,10	2,08	5,37	2,70
AA12	0,55	0,56	1,78	8,00	3,24
AA13	1,15	1,60	3,28	10,0	2,85
AA14	0,13	0,04	0,12	0,68	0,92
AA15	0,36	0,08	0,40	2,60	1,11
SA01	-	0	0,10	1,07	-
SA02	-	0,04	0,17	0,83	-
SA03	-	0,08	0,78	7,50	-
SA05	0,10	0,04	0,20	1,93	3,33
SA06	0,04	0,08	0,15	1,00	3,75
SA07	0,04	0	0,05	0,50	1,25
SA08	0,05	0,01	0,09	0,83	1,80
SA09	0,02	0,03	0,04	0,17	2,00
SA10	0,09	0,17	0,30	1,70	3,33
Summe	10,34	10,54	27,33	106,05	2,64

Tab. 19: Abfluß und Schüttung im Untersuchungsgebiet Große Aschkoppe für das hydrologische Jahr 1995/96 in l/s

Datum	AG01	AG02	AG03	AG04	AG05	AG06	AG07	AG08	AG09	SG01	Rohr
11.10.1995	0,97	0,13	0,13	0,63	2,58	1,18	1,47	3,93	0,98	0,17	0,67
25.10.1995	0,72	0,15	0,15	0,65	2,95	1,78	1,38	3,12	1,47	0,19	0,60
08.11.1995	1,45	0,15	0,15	0,95	2,98	1,50	2,00	7,07	0,68	0,23	0,87
22.11.1995	1,88	0,23	0,26	1,22	3,42	1,28	1,82	6,33	0,67	0,22	0,77
06.12.1995	1,02	0,10	0,11	0,93	2,50	1,33	1,20	5,07	1,37	0,18	0,53
20.12.1995	2,15	0,13	0,14	1,27	3,05	1,47	1,50	5,00	1,13	0,24	0,67
03.01.1996	3,53	0,30	0,30	1,50	3,92	2,87	1,88	9,67	4,83	0,83	0,83
17.01.1996	2,18	0,10	0,10	0,72	2,92	1,77	1,50	6,00	2,97	0,48	0,63
31.01.1996	1,50	0,08	0,08	0,67	2,08	1,33	1,10	4,25	1,67	0,43	0,47
14.02.1996	1,33	0,07	0,07	0,68	1,67	1,25	1,00	3,33	1,33	0,42	0,43
28.02.1996	4,17	0,70	0,70	1,70	6,17	3,78	2,53	8,87	5,57	1,17	1,10
13.03.1996	4,60	0,50	0,50	1,17	4,87	1,60	1,85	4,00	1,58	0,83	0,83
27.03.1996	11,00	1,90	1,90	4,67	16,00	8,50	12,00	30,00	17,00	3,00	5,00
10.04.1996	10,00	0,72	0,70	2,10	13,00	5,47	7,03	22,00	15,00	4,00	3,40
24.04.1996	2,53	0,20	0,20	0,80	7,13	2,67	1,93	5,57	1,37	1,37	1,07
08.05.1996	4,27	0,50	0,27	1,27	7,00	2,13	3,25	9,33	5,00	0,93	2,00
22.05.1996	2,83	0,25	0,15	1,20	7,50	2,43	3,27	9,50	3,25	1,03	2,37
05.06.1996	2,77	0,20	0,20	0,90	6,67	2,50	3,02	8,50	2,23	1,07	1,40
19.06.1996	1,47	0,17	0,03	0,77	4,53	1,80	1,38	2,57	0,50	0,43	0,90
03.07.1996	1,60	0,21	0,06	1,30	5,07	2,67	1,93	3,27	0,90	0,70	0,60
17.07.1996	0,80	0	0,13	0,70	3,70	1,40	1,50	2,75	0,80	0,17	0,80
31.07.1996	0,50	0,13	0	0,80	2,00	0,97	0,88	2,30	0,83	0,10	0,60
14.08.1996	7,20	0,40	0,06	1,40	5,50	2,50	5,07	10,00	7,00	0,90	1,30
28.08.1996	1,50	0,18	0,03	0,97	4,03	0,97	2,05	4,80	3,03	0,35	0,63
11.09.1996	0,50	0,08	0	0,63	3,00	0,70	0,87	2,53	1,10	0,09	0,43
25.09.1996	1,63	0,13	0	0,93	3,73	0,97	1,28	4,57	1,35	0,25	0,80
09.10.1996	2,00	0,28	0	0,77	4,07	1,60	1,53	5,77	4,17	0,50	0,80
23.10.1996	5,50	0,63	0,10	1,37	8,40	3,40	5,07	14,33	9,17	1,63	1,93

Tab. 20: Abfluß und Abflußspende im Untersuchungsgebiet Große Aschkoppe für das hydrologische Jahr 1995/96

Meßstation Code	oberirdisches Einzugsgebiet [km ²]	Abfluß			mittlere Abfluß- spende Mq [l/(s*km ²)]
		NQ [l/s]	MQ [l/s]	HQ [l/s]	
AG01	0,52	0,50	3,07	11,00	5,90
AG02	0,09	0,13	0,32	1,90	3,56
AG03	0,22	0	0,25	1,90	AG03 + Rohr
Rohr	-	0,60	1,24	5,00	6,77
AG04	2,99	0,80	1,25	4,67	0,42
AG05	1,05	2,00	5,30	16,0	5,05
AG06	0,89	0,97	2,31	8,50	2,60
AG07	1,21	0,88	2,65	12,0	2,19
AG08	2,08	2,30	7,63	30,0	3,67
AG09	0,81	0,83	3,89	17,0	4,80
SG01	0,21	0,10	0,82	3,00	3,91
Summe	10,07	9,11	28,73	110,97	2,85

Tab. 21: Abfluß und Schüttung im Untersuchungsgebiet Mühlenberg für das hydrologische Jahr 1995/96 in l/s

Datum	AM01	AM02	AM03	AM04	AM05	AM06	AM07	SM01
11.10.1995	0,65	0,75	0,73	1,48	0	0,18	0,37	0,82
25.10.1995	0,52	0,37	0,34	1,03	0	0,16	0,17	0,76
08.11.1995	0,50	0,50	0,60	1,43	0	0,13	0,70	0,61
22.11.1995	1,00	0,63	0,50	1,31	0	0,10	0,50	0,77
06.12.1995	0,60	0,35	0,50	0,79	0	0,09	0,20	0,69
20.12.1995	1,57	1,23	0,87	2,38	0	0,22	1,12	0,43
03.01.1996	1,27	0,50	0,43	3,13	0	0,13	0,88	0,63
17.01.1996	1,00	0,45	0,40	2,10	0	0,12	0,42	0,61
31.01.1996	0,70	0,40	0	1,23	0	0,08	0,32	0,58
14.02.1996	0,37	0,35	0	0,75	0	0,07	0,17	0,57
28.02.1996	0,73	1,93	2,13	3,03	0	0,25	2,13	0,65
13.03.1996	1,33	0,62	0,13	2,17	0	0,10	0,78	0,72
27.03.1996	1,90	1,63	0,12	2,20	0	0,17	1,20	0,71
10.04.1996	1,40	0,53	0	1,67	0	0,10	0,72	0,65
24.04.1996	1,30	0,25	0,01	1,50	0	0,09	0,52	0,73
08.05.1996	1,80	0,23	0	1,38	0	0,11	1,23	0,91
22.05.1996	1,33	0,06	0	1,17	0	0,06	0,57	0,49
05.06.1996	1,13	0,06	0	1,10	0	0,06	0,50	0,50
19.06.1996	0,87	0	0	0,90	0	0,03	0,53	0,44
03.07.1996	0,87	0	0	1,13	0	0,08	0,80	0,44
17.07.1996	0,70	0	0	0,60	0	0,01	0,50	0,40
31.07.1996	0,47	0	0	0,60	0	0,01	0,50	0,40
14.08.1996	1,10	0,60	0	2,70	0	0,15	0,87	0,40
28.08.1996	0,77	0,23	0	0,40	0	0,08	0,43	0,43
11.09.1996	0,67	0	0	0,27	0	0,06	0,32	0,37
25.09.1996	0,70	0	0	0,53	0	0,08	0,37	0,36
09.10.1996	0,77	0	0	0,50	0	0,08	0,40	0,33
23.10.1996	1,50	0,87	0	1,23	0	0,12	0,50	0,33

Tab. 22: Abfluß und Abflußspende im Untersuchungsgebiet Mühlenberg für das hydrologische Jahr 1995/96

Meßstation Code	oberirdisches Einzugsgebiet [km ²]	Abfluß			mittlere Abfluß- spende Mq [l/(s*km ²)]
		NQ [l/s]	MQ [l/s]	HQ [l/s]	
AM01	2,51	0,67	1,01	0,73	0,40
AM02	3,49	0	0,46	1,93	0,13
AM03	3,60	0	0,24	2,13	0,07
AM04	4,71	0,27	1,38	3,03	0,29
AM05	0,51	0	0	0	0
AM06	0,25	0,06	0,10	0,25	0,40
AM07	1,99	0,32	0,64	2,13	0,32
SM01	0,13	0,37	0,56	0,65	4,31
Summe	14,31	0,94	3,09	7,82	0,22

Tab. 23: Schichtenverzeichnis der Versuchsbohrung Kellerwald B1 (CELLER BRUNNENBAU GMBH, 1978a)

Tiefe [m u. GK]	Mächtigkeit [m]	Schichten
0 - 1,1	1,1	Hangschotter
1,1 - 6,0	4,9	Ton, braun
6,0 - 16,1	10,1	Tonstein, u. Ton, dunkelbraun
16,1 - 29,0	12,9	Tonstein, hellgrau
29,0 - 41,0	12,0	Kalkstein u. Mergel, dunkelgrau
41,0 - 87,0	46,0	Kalkstein, etwas Mergel, dunkelgrün, grau
87,0 - 93,0	6,0	Kalkstein, etwas Mergel, hellgrau
93,0 - 104,0	11,0	Kalkstein, hellgrau, rötlich, braun
104,0 - 118,0	14,0	Kalkstein, grau
118,0 - 123,0	5,0	Kalkstein, dunkelgrau
123,0 - 130,0	7,0	Kalkmergel, dunkelgrau
130,0 - 152,0	22,0	Kalkstein mit Kalkspat, dunkelgrau
152,0 - 154,0	2,0	Kalkstein, dunkelgrau
154,0 - 157,2	3,2	Kalkstein, rotbraun
157,2 - 160,0	2,8	Kalkstein, grauschwarz, rotbraun
160,0 - 164,0	4,0	Kalkstein, grau, braun
164,0 - 180,0	16,0	Kalkstein, dunkelgrau
180,0 - 186,0	6,0	Kalkstein, grau, schwarz, rötlich
186,0 - 200,0	14,0	Kalkstein, dunkelgrau

Tab. 24: Wertetabelle des Druckluftpumpversuchs an der Versuchsbohrung Kellerwald B1 am 17. und 18. 08.1978 (CELLER BRUNNENBAU GMBH, 1978b)

Datum	Uhrzeit [h:min]	Zeit seit Pumpbeginn [h]	Wasserspiegel [m u. ROK]	Absenkung [m]	Förderrate [m ³ /h]
17.08.1978	17:00	0	31,40	0	34
17.08.1978	17:00	0,02	55,50	24,10	34
17.08.1978	17:30	0,5	56,60	25,20	34
17.08.1978	18:00	1,0	57,40	26,00	34
17.08.1978	18:30	1,5	58,20	26,80	34
17.08.1978	19:00	2,0	58,35	26,95	34
17.08.1978	19:30	2,5	57,90	26,50	34
17.08.1978	20:00	3,0	58,15	26,75	34
17.08.1978	21:00	4,0	57,95	26,55	34
17.08.1978	22:00	5,0	57,80	26,40	34
17.08.1978	23:00	6,0	58,05	26,65	34
18.08.1978	0:00	7,0	58,00	26,60	34
18.08.1978	1:00	8,0	57,75	26,35	34
18.08.1978	2:00	9,0	57,90	26,50	34
18.08.1978	3:00	10,0	58,20	26,80	34
18.08.1978	4:00	11,0	58,15	26,75	34
18.08.1978	5:00	12,0	58,15	26,75	34
18.08.1978	6:00	13,0	58,15	26,75	34

Tab. 25: Wertetabelle zum Pumpversuch an der Versuchsbohrung Kellerwald B1 vom 22. bis 26.08.1978 (CELLER BRUNNENBAU GMBH, 1978c)

Uhrzeit	Uhrzeit [h:min]	WSp [m u. ROK]	Q [m ³ /h]	Datum	Uhrzeit [h:min]	WSp [m u. ROK]	Q [m ³ /h]
22.08.1978	10:00	32,50	0	22.08.1978	12:35	50,96	30,6
22.08.1978	10:15	32,50	12,2	22.08.1978	12:40	51,35	30,6
22.08.1978	10:16	34,42	12,2	22.08.1978	12:45	51,64	30,6
22.08.1978	10:17	34,51	12,2	22.08.1978	13:00	52,35	30,6
22.08.1978	10:18	34,59	12,2	22.08.1978	13:15	52,85	30,6
22.08.1978	10:19	34,71	12,2	22.08.1978	13:16	54,82	37,8
22.08.1978	10:20	34,82	12,2	22.08.1978	13:17	55,75	37,8
22.08.1978	10:21	35,07	12,2	22.08.1978	13:18	56,17	37,8
22.08.1978	10:22	35,31	12,2	22.08.1978	13:19	56,42	37,8
22.08.1978	10:23	35,42	12,2	22.08.1978	13:20	56,64	37,8
22.08.1978	10:24	35,57	12,2	22.08.1978	13:22	57,06	37,8
22.08.1978	10:25	35,64	12,2	22.08.1978	13:25	57,49	37,8
22.08.1978	10:27	35,76	12,2	22.08.1978	13:30	57,82	37,8
22.08.1978	10:30	35,91	12,2	22.08.1978	13:45	58,53	37,8
22.08.1978	10:35	36,13	12,2	22.08.1978	14:00	58,95	37,8
22.08.1978	10:40	36,28	12,2	22.08.1978	14:30	59,88	37,8
22.08.1978	10:45	36,45	12,2	22.08.1978	15:00	60,45	37,8
22.08.1978	11:00	36,75	12,2	22.08.1978	15:30	61,06	37,8
22.08.1978	11:15	36,95	12,2	22.08.1978	16:00	61,60	37,8
22.08.1978	11:16	39,43	20,5	22.08.1978	16:30	61,88	37,8
22.08.1978	11:17	40,02	20,5	22.08.1978	17:00	62,13	37,8
22.08.1978	11:18	40,18	20,5	22.08.1978	18:00	62,48	37,8
22.08.1978	11:19	40,38	20,5	22.08.1978	19:00	62,76	37,8
22.08.1978	11:20	40,49	20,5	22.08.1978	20:00	63,05	37,8
22.08.1978	11:22	40,68	20,5	22.08.1978	21:00	63,37	37,8
22.08.1978	11:25	40,90	20,5	22.08.1978	22:00	63,55	37,8
22.08.1978	11:30	41,19	20,5	22.08.1978	23:00	63,66	37,8
22.08.1978	11:35	41,36	20,5	23.08.1978	00:00	63,80	37,8
22.08.1978	11:40	41,54	20,5	23.08.1978	01:00	63,92	37,8
22.08.1978	11:45	41,74	20,5	23.08.1978	02:00	64,10	37,8
22.08.1978	12:00	42,18	20,5	23.08.1978	03:00	64,26	37,8
22.08.1978	12:15	42,53	20,5	23.08.1978	04:00	64,38	37,8
22.08.1978	12:16	46,60	30,6	23.08.1978	05:00	64,48	37,8
22.08.1978	12:17	47,30	30,6	23.08.1978	06:00	64,57	37,8
22.08.1978	12:18	47,92	30,6	23.08.1978	07:00	64,66	37,8
22.08.1978	12:19	48,35	30,6	23.08.1978	08:00	64,75	37,8
22.08.1978	12:20	48,69	30,6	23.08.1978	09:00	64,84	37,8
22.08.1978	12:22	49,18	30,6	23.08.1978	10:00	64,93	35,7
22.08.1978	12:25	49,80	30,6	23.08.1978	11:00	64,98	35,7
22.08.1978	12:30	50,29	30,6	23.08.1978	12:00	65,01	35,7

Forts. Tab. 25: Wertetabelle zum Pumpversuch an der Versuchsbohrung Kellerwald B1
vom 22. bis 26.08.1978 (CELLER BRUNNENBAU GMBH, 1978c)

Datum	Uhrzeit [h:min]	WSp [m u. ROK]	Q [m3/h]	Datum	Uhrzeit [h:min]	WSp [m u. ROK]	Q [m3/h]
23.08.1978	13:00	65,05	35,7	25.08.1978	01:00	68,16	35,7
23.08.1978	14:00	65,08	35,7	25.08.1978	02:00	68,24	35,7
23.08.1978	15:00	65,18	35,7	25.08.1978	03:00	68,31	35,7
23.08.1978	16:00	65,28	35,7	25.08.1978	04:00	68,39	35,7
23.08.1978	17:00	65,31	35,7	25.08.1978	05:00	68,48	35,7
23.08.1978	18:00	65,35	35,7	25.08.1978	06:00	68,57	35,7
23.08.1978	19:00	65,6	35,7	25.08.1978	07:00	68,64	35,7
23.08.1978	20:00	65,86	35,7	25.08.1978	08:00	68,72	35,7
23.08.1978	21:00	66,12	35,7	25.08.1978	09:00	68,78	35,7
23.08.1978	22:00	66,25	35,7	25.08.1978	10:00	68,83	35,7
23.08.1978	23:00	66,37	35,7	25.08.1978	11:00	68,87	35,7
24.08.1978	00:00	66,42	35,7	25.08.1978	12:00	68,92	35,7
24.08.1978	01:00	66,42	35,7	25.08.1978	13:00	68,96	35,7
24.08.1978	02:00	66,49	35,7	25.08.1978	14:00	68,99	35,7
24.08.1978	03:00	66,52	35,7	25.08.1978	15:00	69,06	35,7
24.08.1978	04:00	66,56	35,7	25.08.1978	16:00	69,09	35,7
24.08.1978	05:00	66,58	35,7	25.08.1978	17:00	69,13	35,7
24.08.1978	06:00	66,62	35,7	25.08.1978	18:00	66,86	30,6
24.08.1978	07:00	66,68	35,7	25.08.1978	19:00	66,64	30,6
24.08.1978	08:00	66,79	35,7	25.08.1978	20:00	66,58	30,6
24.08.1978	09:00	66,92	35,7	25.08.1978	21:00	66,62	30,6
24.08.1978	10:00	66,98	35,7	25.08.1978	22:00	66,59	30,6
24.08.1978	11:00	67,05	35,7	25.08.1978	23:00	66,6	30,6
24.08.1978	12:00	67,11	35,7	26.08.1978	00:00	66,58	30,6
24.08.1978	13:00	67,18	35,7	26.08.1978	01:15	66,61	30,6
24.08.1978	14:00	67,23	35,7	26.08.1978	01:16	53,95	0
24.08.1978	15:00	67,28	35,7	26.08.1978	01:17	52,85	0
24.08.1978	16:00	67,36	35,7	26.08.1978	01:18	52,05	0
24.08.1978	17:00	67,44	35,7	26.08.1978	01:19	51,7	0
24.08.1978	18:00	67,53	35,7	26.08.1978	01:20	51,25	0
24.08.1978	19:00	67,63	35,7	26.08.1978	01:22	50,65	0
24.08.1978	20:00	67,74	35,7	26.08.1978	01:25	50,05	0
24.08.1978	21:00	67,82	35,7	26.08.1978	01:30	49,2	0
24.08.1978	22:00	67,91	35,7	26.08.1978	01:45	48,04	0
24.08.1978	23:00	67,98	35,7	26.08.1978	02:00	47,34	0
25.08.1978	00:00	68,09	35,7	26.08.1978	02:15	46,73	0

Tab. 26: Hydrologische Kennwerte aus dem Pumpversuch an der Versuchsbohrung Kellerwald B1 vom 22. bis 26.08.1978

Pumpstufe	1	2	3	4
Förderrate Q [m ³ /h]	12,2	20,5	30,6	37,8
Absenkung s _{1h} [m]	4,45	10,03	20,00	27,00
Absenkung pro Dekade ds [m]	1,3	1,7	3,6	3,6
Transmissivität T [m ² /s]	4,8*10 ⁻⁴	6,1*10 ⁻⁴	4,3*10 ⁻⁴	5,3*10 ⁻⁴
Durchlässigkeitsbeiwert k _f [m/s]	2,9*10 ⁻⁶	3,9*10 ⁻⁶	2,9*10 ⁻⁶	3,8*10 ⁻⁶

Tab. 27: Wasseruntersuchung der Probe aus dem Pumpversuch an der Versuchsbohrung Kellerwald B1 vom 24.08.1978 (INSTITUT FÜR UMWELTHYGIENE DER PHILIPPS-UNIVERSITÄT MARBURG, 1978)

Bezeichnung der Probe	Pumpversuch im Stadtteil Bergfreiheit
Datum der Probenahme	24.08.1978, 10 ⁰⁰ Uhr
Eingang der Probe	24.08.1978
Farbe	farblos
Trübung	klar
Bodensatz	ohne
Geruch	ohne
Temperatur des Wassers	9,4 °C
Temperatur der Luft	18 °C
elektrische Leitfähigkeit	375 µS/cm
pH-Wert	7,39
Sauerstoffgehalt	2,8 mg/l
Eisen, gesamt	0,14 mg/l
Mangan, gesamt	0,16 mg/l
Ammonium	0,049 mg/l
Nitrit	n.n.
Nitrat	0,05 mg/l
Hydrogencarbonat	262 mg/l
Chlorid	6,0 mg/l
Sulfat	26,8 mg/l
Monophosphat(PO ₄ ⁻³)	0,2 mg/l
Gesamt-Härte	13,5 °dH
Nichtkarbonat-Härte	1,5 ° dH
Karbonat-Härte	12,0 °dH
Säurekapazität bis pH 4,3	4,3 mmol/l
Basenkapazität bis pH 8,2	0,25 mmol/l
gebundene Kohlensäure	94,6 mg/l
zugehörige Kohlensäure	20,5 mg/l
Rostschutzverhindernde Kohlens.	n.n.
Aggressive Kohlensäure	n.n.
Oxidierbarkeit (Mn ^{VII→II}) als O ₂	2 mg/l

Tab. 28: Wertetabelle zum Pumpversuch an der Versuchsbohrung Kellerwald B1 vom 28.02. bis 25.03.1998

Datum [d.m.a]	Uhrzeit [h:min:s]	WSp [m u. ROK]	Q [m ³ /h]	Datum [d.m.a]	Uhrzeit [h:min:s]	WSp [m u. ROK]	Q [m ³ /h]
28.02.1998	7:13:00	33,24	0,0	01.03.1998	5:00:00	45,87	20,0
28.02.1998	7:17:00	33,24	18,0	01.03.1998	6:00:00	45,92	20,0
28.02.1998	7:17:15	35,10	ca. 18,0	01.03.1998	7:00:00	45,98	20,0
28.02.1998	7:17:30	35,70	ca. 17,0	01.03.1998	8:00:00	46,08	20,0
28.02.1998	7:18:00	35,85	16,0 - 17,0	01.03.1998	9:00:00	46,14	20,0
28.02.1998	7:19:00	36,33	ca. 16,0	01.03.1998	10:00:00	46,21	20,0
28.02.1998	7:20:00	36,30	15,0	01.03.1998	11:00:00	46,38	20,0
28.02.1998	7:21:00	36,15	ca. 15,0	01.03.1998	12:00:00	46,60	20,0
28.02.1998	7:22:00	36,08	ca. 14,0	01.03.1998	13:00:00	46,71	20,0
28.02.1998	7:23:00	36,04	14,0	01.03.1998	14:00:00	46,71	20,0
28.02.1998	7:24:00	36,90	ca. 20,0	01.03.1998	15:00:00	46,73	20,0
28.02.1998	7:25:00	37,34	20,2 - 20,6	01.03.1998	16:00:00	46,74	20,0
28.02.1998	7:26:00	37,66	20,5	01.03.1998	17:00:00	46,79	20,0
28.02.1998	7:27:00	37,73	20,7	01.03.1998	18:00:00	46,81	20,0
28.02.1998	7:32:00	38,12	21,3	01.03.1998	19:00:00	46,83	20,0
28.02.1998	7:37:00	38,62	21,5	01.03.1998	20:00:00	46,90	20,0
28.02.1998	7:42:00	38,99	22,9	01.03.1998	21:00:00	46,97	20,0
28.02.1998	7:47:00	39,27	22,0	01.03.1998	22:00:00	47,05	20,0
28.02.1998	7:57:00	39,81	20,6	01.03.1998	23:00:00	47,08	20,0
28.02.1998	8:07:00	40,69	20,3	02.03.1998	0:00:00	47,19	20,0
28.02.1998	8:17:00	41,15	21,3	02.03.1998	1:00:00	47,26	20,0
28.02.1998	8:47:00	42,05	21,3	02.03.1998	2:00:00	47,35	20,0
28.02.1998	9:17:00	42,83	20,0	02.03.1998	3:00:00	47,41	20,0
28.02.1998	10:00:00	42,98	20,0	02.03.1998	4:00:00	47,47	20,0
28.02.1998	11:00:00	43,54	20,0	02.03.1998	5:00:00	47,54	20,0
28.02.1998	12:00:00	43,52	20,0	02.03.1998	6:00:00	47,58	20,0
28.02.1998	13:00:00	43,70	20,0	02.03.1998	7:00:00	47,62	20,0
28.02.1998	14:00:00	43,81	20,0	02.03.1998	8:00:00	47,67	20,0
28.02.1998	15:00:00	44,03	20,0	02.03.1998	9:00:00	47,69	20,0
28.02.1998	16:00:00	44,29	20,0	02.03.1998	10:00:00	47,72	20,0
28.02.1998	17:00:00	44,51	20,0	02.03.1998	11:00:00	47,76	20,0
28.02.1998	18:00:00	44,51	20,0	02.03.1998	12:00:00	47,81	20,0
28.02.1998	19:00:00	44,90	20,0	02.03.1998	13:00:00	47,86	20,0
28.02.1998	20:00:00	45,10	20,0	02.03.1998	14:00:00	47,94	20,0
28.02.1998	21:00:00	45,15	20,0	02.03.1998	15:00:00	48,08	20,0
28.02.1998	22:00:00	45,38	20,0	02.03.1998	16:00:00	48,15	20,0
28.02.1998	23:00:00	45,51	20,0	02.03.1998	17:00:00	48,20	20,0
01.03.1998	0:00:00	45,56	20,0	02.03.1998	18:00:00	48,27	20,0
01.03.1998	1:00:00	45,65	20,0	02.03.1998	19:00:00	48,30	20,0
01.03.1998	2:00:00	45,77	20,0	02.03.1998	20:00:00	48,38	20,0
01.03.1998	3:00:00	45,80	20,0	02.03.1998	21:00:00	48,40	20,0
01.03.1998	4:00:00	45,89	20,0	02.03.1998	22:00:00	48,45	20,0

Forts. Tab. 28: Wertetabelle zum Pumpversuch an der Versuchsbohrung Kellerwald B1 vom
28.02. bis 25.03.1998

Datum [d.m.a]	Uhrzeit [h:min:s]	WSp [m u. ROK]	Q [m ³ /h]	Datum [d.m.a]	Uhrzeit [h:min:s]	WSp [m u. ROK]	Q [m ³ /h]
02.03.1998	23:00:00	48,49	20,0	04.03.1998	8:00:00	58,84	30,0
03.03.1998	0:00:00	48,58	20,0	04.03.1998	9:00:00	58,92	30,0
03.03.1998	2:00:00	48,67	20,0	04.03.1998	10:00:00	58,96	30,0
03.03.1998	3:00:00	48,70	20,0	04.03.1998	11:00:00	59,03	30,0
03.03.1998	4:00:00	48,72	20,0	04.03.1998	12:00:00	59,08	30,0
03.03.1998	5:00:00	48,74	20,0	04.03.1998	13:00:00	59,14	30,0
03.03.1998	6:00:00	48,75	20,0	04.03.1998	14:00:00	59,35	30,0
03.03.1998	7:00:00	48,77	20,0	04.03.1998	15:00:00	59,34	30,0
03.03.1998	8:00:00	78,82	20,0	04.03.1998	16:00:00	59,44	30,0
03.03.1998	9:00:00	48,88	20,0	04.03.1998	17:00:00	59,51	30,0
03.03.1998	9:28:00	48,91	30,0	04.03.1998	18:00:00	59,59	30,0
03.03.1998	9:28:10	49,10	30,0	04.03.1998	19:00:00	59,68	30,0
03.03.1998	9:28:30	49,40	30,0	04.03.1998	20:00:00	59,70	30,0
03.03.1998	9:29:00	50,25	30,0	04.03.1998	21:00:00	59,71	30,0
03.03.1998	9:29:30	50,74	30,0	04.03.1998	22:00:00	59,79	30,0
03.03.1998	9:03:00	51,05	30,0	04.03.1998	23:00:00	59,84	30,0
03.03.1998	9:31:00	51,35	30,0	05.03.1998	0:00:00	59,91	30,0
03.03.1998	9:33:00	51,68	30,0	05.03.1998	1:00:00	59,98	30,0
03.03.1998	9:43:00	53,03	30,0	05.03.1998	2:00:00	60,04	30,0
03.03.1998	9:58:00	53,72	30,0	05.03.1998	3:00:00	60,12	30,0
03.03.1998	10:00:00	53,80	30,0	05.03.1998	4:00:00	60,20	30,0
03.03.1998	11:00:00	55,32	30,0	05.03.1998	5:00:00	60,28	30,0
03.03.1998	12:00:00	55,94	30,0	05.03.1998	6:00:00	60,35	30,0
03.03.1998	13:00:00	56,15	30,0	05.03.1998	7:00:00	60,42	30,0
03.03.1998	14:00:00	56,46	30,0	05.03.1998	8:00:00	60,52	30,0
03.03.1998	15:00:00	56,68	30,0	05.03.1998	9:00:00	60,59	30,0
03.03.1998	16:00:00	56,82	30,0	05.03.1998	10:00:00	60,64	30,0
03.03.1998	17:00:00	57,10	30,0	05.03.1998	11:00:00	60,71	30,0
03.03.1998	18:00:00	57,22	30,0	05.03.1998	12:00:00	60,75	30,0
03.03.1998	19:00:00	57,40	30,0	05.03.1998	13:00:00	60,73	30,0
03.03.1998	20:00:00	57,51	30,0	05.03.1998	14:00:00	60,76	30,0
03.03.1998	21:00:00	57,57	30,0	05.03.1998	15:00:00	60,90	30,0
03.03.1998	22:00:00	57,64	30,0	05.03.1998	16:00:00	61,00	30,0
03.03.1998	23:00:00	57,73	30,0	05.03.1998	17:00:00	61,04	30,0
04.03.1998	0:00:00	57,80	30,0	05.03.1998	18:00:00	61,11	30,0
04.03.1998	1:00:00	57,85	30,0	05.03.1998	19:00:00	61,19	30,0
04.03.1998	2:00:00	57,91	30,0	05.03.1998	20:00:00	61,29	30,0
04.03.1998	3:00:00	57,98	30,0	05.03.1998	21:00:00	61,32	30,0
04.03.1998	4:00:00	58,08	30,0	05.03.1998	22:00:00	61,40	30,0
04.03.1998	5:00:00	58,16	30,0	05.03.1998	23:00:00	61,42	30,0
04.03.1998	6:00:00	58,25	30,0	06.03.1998	0:00:00	61,43	30,0
04.03.1998	7:00:00	58,66	30,0	06.03.1998	1:00:00	61,43	30,0

Forts. Tab. 28: Wertetabelle zum Pumpversuch an der Versuchsbohrung Kellerwald B1 vom
28.02. bis 25.03.1998

Datum [d.m.a]	Uhrzeit [h:min:s]	WSp [m u. ROK]	Q [m ³ /h]	Datum [d.m.a]	Uhrzeit [h:min:s]	WSp [m u. ROK]	Q [m ³ /h]
06.03.1998	2:00:00	61,43	30,0	07.03.1998	15:14:30	65,90	40,0
06.03.1998	3:00:00	61,49	30,0	07.03.1998	15:15:00	66,30	40,0
06.03.1998	4:00:00	61,53	30,0	07.03.1998	15:15:30	66,53	40,0
06.03.1998	5:00:00	61,53	30,0	07.03.1998	15:16:00	66,70	40,0
06.03.1998	6:00:00	61,63	30,0	07.03.1998	15:18:00	67,06	40,0
06.03.1998	7:00:00	61,67	30,0	07.03.1998	15:23:00	67,60	40,0
06.03.1998	8:00:00	61,78	30,0	07.03.1998	15:33:00	68,28	40,0
06.03.1998	9:00:00	61,80	30,0	07.03.1998	15:43:00	68,64	40,0
06.03.1998	10:00:00	61,83	30,0	07.03.1998	16:00:00	69,03	40,0
06.03.1998	11:00:00	61,85	30,0	07.03.1998	16:36:00	69,39	40,0
06.03.1998	12:00:00	61,91	30,0	07.03.1998	17:00:00	69,54	40,0
06.03.1998	13:00:00	61,96	30,0	07.03.1998	18:00:00	69,73	40,0
06.03.1998	14:00:00	62,02	30,0	07.03.1998	19:00:00	69,88	40,0
06.03.1998	15:00:00	62,08	30,0	07.03.1998	20:00:00	70,06	40,0
06.03.1998	16:00:00	62,15	30,0	07.03.1998	21:00:00	70,17	40,0
06.03.1998	17:00:00	62,18	30,0	07.03.1998	22:00:00	70,25	40,0
06.03.1998	18:00:00	62,23	30,0	07.03.1998	23:00:00	70,29	40,0
06.03.1998	19:00:00	62,29	30,0	08.03.1998	0:00:00	70,34	40,0
06.03.1998	20:00:00	62,32	30,0	08.03.1998	1:00:00	70,37	40,0
06.03.1998	21:00:00	62,38	30,0	08.03.1998	2:00:00	70,41	40,0
06.03.1998	22:00:00	62,44	30,0	08.03.1998	3:00:00	70,44	40,0
06.03.1998	23:00:00	62,50	30,0	08.03.1998	4:00:00	70,46	40,0
07.03.1998	0:00:00	62,55	30,0	08.03.1998	5:00:00	70,48	40,0
07.03.1998	1:00:00	62,59	30,0	08.03.1998	6:00:00	70,51	40,0
07.03.1998	2:00:00	62,63	30,0	08.03.1998	7:00:00	70,59	40,0
07.03.1998	3:00:00	62,66	30,0	08.03.1998	8:00:00	70,75	40,0
07.03.1998	4:00:00	62,70	30,0	08.03.1998	9:00:00	70,83	40,0
07.03.1998	5:00:00	62,74	30,0	08.03.1998	10:00:00	70,90	40,0
07.03.1998	6:00:00	62,78	30,0	08.03.1998	11:00:00	70,99	40,0
07.03.1998	7:00:00	62,83	30,0	08.03.1998	12:00:00	71,09	40,0
07.03.1998	8:00:00	62,86	30,0	08.03.1998	13:00:00	71,17	40,0
07.03.1998	9:00:00	62,87	30,0	08.03.1998	14:00:00	71,26	40,0
07.03.1998	10:00:00	62,91	30,0	08.03.1998	15:00:00	71,35	40,0
07.03.1998	11:00:00	62,93	30,0	08.03.1998	16:00:00	71,44	40,0
07.03.1998	12:00:00	62,97	30,0	08.03.1998	17:00:00	71,46	40,0
07.03.1998	13:00:00	63,00	30,0	08.03.1998	18:00:00	71,48	40,0
07.03.1998	14:00:00	63,06	30,0	08.03.1998	19:00:00	71,52	40,0
07.03.1998	15:00:00	63,05	30,0	08.03.1998	20:00:00	71,55	40,0
07.03.1998	15:13:00	63,07	40,0	08.03.1998	21:00:00	71,59	40,0
07.03.1998	15:13:10	63,70	40,0	08.03.1998	22:00:00	71,62	40,0
07.03.1998	15:13:30	64,80	40,0	08.03.1998	23:00:00	71,65	40,0
07.03.1998	15:14:00	65,50	40,0	09.03.1998	0:00:00	71,68	40,0

Forts. Tab. 28: Wertetabelle zum Pumpversuch an der Versuchsbohrung Kellerwald B1 vom
28.02. bis 25.03.1998

Datum [d.m.a]	Uhrzeit [h:min:s]	WSp [m u. ROK]	Q [m ³ /h]	Datum [d.m.a]	Uhrzeit [h:min:s]	WSp [m u. ROK]	Q [m ³ /h]
09.03.1998	1:00:00	71,70	40,0	10.03.1998	19:00:00	73,46	40,0
09.03.1998	2:00:00	71,72	40,0	10.03.1998	20:00:00	73,51	40,0
09.03.1998	3:00:00	71,78	40,0	10.03.1998	21:00:00	73,57	40,0
09.03.1998	4:00:00	71,83	40,0	10.03.1998	22:00:00	73,54	40,0
09.03.1998	5:00:00	71,89	40,0	10.03.1998	23:00:00	73,51	40,0
09.03.1998	6:00:00	71,95	40,0	11.03.1998	0:00:00	73,73	40,0
09.03.1998	7:00:00	71,97	40,0	11.03.1998	1:00:00	73,82	40,0
09.03.1998	8:00:00	72,08	40,0	11.03.1998	2:00:00	73,91	40,0
09.03.1998	9:00:00	72,13	40,0	11.03.1998	3:00:00	73,95	40,0
09.03.1998	10:00:00	72,15	40,0	11.03.1998	4:00:00	74,01	40,0
09.03.1998	11:00:00	72,18	40,0	11.03.1998	5:00:00	74,06	40,0
09.03.1998	12:00:00	72,21	40,0	11.03.1998	6:00:00	74,09	40,0
09.03.1998	13:00:00	72,26	40,0	11.03.1998	7:00:00	74,12	40,0
09.03.1998	14:00:00	72,33	40,0	11.03.1998	8:00:00	74,14	40,0
09.03.1998	15:00:00	72,36	40,0	11.03.1998	9:00:00	74,08	40,0
09.03.1998	16:00:00	72,39	40,0	11.03.1998	10:00:00	74,06	40,0
09.03.1998	17:00:00	72,42	40,0	11.03.1998	11:00:00	74,09	40,0
09.03.1998	18:00:00	72,45	40,0	11.03.1998	12:00:00	74,03	40,0
09.03.1998	19:00:00	72,48	40,0	11.03.1998	13:00:00	74,09	40,0
09.03.1998	20:00:00	72,58	40,0	11.03.1998	14:00:00	74,14	40,0
09.03.1998	21:00:00	72,58	40,0	11.03.1998	15:00:00	74,21	40,0
09.03.1998	22:00:00	72,60	40,0	11.03.1998	16:00:00	74,28	40,0
09.03.1998	23:00:00	72,63	40,0	11.03.1998	17:00:00	74,30	40,0
10.03.1998	0:00:00	72,65	40,0	11.03.1998	18:00:00	74,32	40,0
10.03.1998	1:00:00	72,68	40,0	11.03.1998	19:00:00	74,34	40,0
10.03.1998	2:00:00	72,68	40,0	11.03.1998	20:00:00	74,38	40,0
10.03.1998	3:00:00	72,70	40,0	11.03.1998	21:00:00	74,40	40,0
10.03.1998	4:00:00	72,78	40,0	11.03.1998	22:00:00	74,58	40,0
10.03.1998	5:00:00	72,85	40,0	11.03.1998	23:00:00	74,63	40,0
10.03.1998	6:00:00	72,95	40,0	12.03.1998	0:00:00	74,67	40,0
10.03.1998	7:00:00	73,09	40,0	12.03.1998	1:00:00	74,70	40,0
10.03.1998	8:00:00	73,10	40,0	12.03.1998	2:00:00	74,74	40,0
10.03.1998	9:00:00	73,08	40,0	12.03.1998	3:00:00	74,80	40,0
10.03.1998	10:00:00	73,11	40,0	12.03.1998	4:00:00	74,86	40,0
10.03.1998	11:00:00	73,13	40,0	12.03.1998	5:00:00	74,92	40,0
10.03.1998	12:00:00	73,14	40,0	12.03.1998	6:00:00	74,97	40,0
10.03.1998	13:00:00	73,21	40,0	12.03.1998	7:00:00	75,02	40,0
10.03.1998	14:00:00	73,26	40,0	12.03.1998	8:00:00	75,05	40,0
10.03.1998	15:00:00	73,32	40,0	12.03.1998	9:00:00	75,03	40,0
10.03.1998	16:00:00	73,36	40,0	12.03.1998	10:00:00	75,08	40,0
10.03.1998	17:00:00	73,40	40,0	12.03.1998	11:00:00	75,11	40,0
10.03.1998	18:00:00	73,44	40,0	12.03.1998	12:00:00	75,12	40,0

Forts. Tab. 28: Wertetabelle zum Pumpversuch an der Versuchsbohrung Kellerwald B1 vom
28.02. bis 25.03.1998

Datum [d.m.a]	Uhrzeit [h:min:s]	WSp [m u. ROK]	Q [m ³ /h]	Datum [d.m.a]	Uhrzeit [h:min:s]	WSp [m u. ROK]	Q [m ³ /h]
12.03.1998	13:00:00	75,16	40,0	13.03.1998	21:00:00	85,36	53,0
12.03.1998	14:00:00	75,17	40,0	13.03.1998	22:00:00	85,70	53,0
12.03.1998	15:00:00	75,24	40,0	13.03.1998	23:00:00	85,86	53,0
12.03.1998	16:00:00	75,30	40,0	14.03.1998	0:00:00	85,98	53,0
12.03.1998	17:00:00	75,31	40,0	14.03.1998	1:00:00	86,03	53,0
12.03.1998	18:00:00	75,31	40,0	14.03.1998	2:00:00	86,14	52,0
12.03.1998	19:00:00	75,43	40,0	14.03.1998	3:00:00	86,21	52,0
12.03.1998	20:00:00	75,45	40,0	14.03.1998	4:00:00	86,33	52,0
12.03.1998	21:00:00	75,39	40,0	14.03.1998	5:00:00	86,49	52,0
12.03.1998	22:00:00	75,55	40,0	14.03.1998	6:00:00	86,63	52,0
12.03.1998	23:00:00	75,53	40,0	14.03.1998	7:00:00	86,72	52,0
13.03.1998	0:00:00	75,53	40,0	14.03.1998	8:00:00	86,80	52,0
13.03.1998	1:00:00	75,58	40,0	14.03.1998	9:00:00	86,88	52,0
13.03.1998	2:00:00	75,61	40,0	14.03.1998	10:00:00	86,96	52,0
13.03.1998	3:00:00	75,64	40,0	14.03.1998	11:00:00	87,08	52,0
13.03.1998	4:00:00	75,67	40,0	14.03.1998	12:00:00	87,20	52,0
13.03.1998	5:00:00	75,71	40,0	14.03.1998	13:00:00	87,31	52,0
13.03.1998	6:00:00	75,74	40,0	14.03.1998	14:00:00	87,41	52,0
13.03.1998	7:00:00	75,77	40,0	14.03.1998	15:00:00	87,47	52,0
13.03.1998	8:00:00	75,81	40,0	14.03.1998	16:00:00	87,52	52,0
13.03.1998	9:00:00	75,83	40,0	14.03.1998	17:00:00	87,57	52,0
13.03.1998	10:00:00	75,76	40,0	14.03.1998	18:00:00	87,60	52,0
13.03.1998	11:00:00	75,75	40,0	14.03.1998	19:00:00	87,66	52,0
13.03.1998	12:00:00	75,69	40,0	14.03.1998	20:00:00	87,75	52,0
13.03.1998	13:00:00	75,70	40,0	14.03.1998	21:00:00	87,86	52,0
13.03.1998	14:00:00	75,74	40,0	14.03.1998	22:00:00	87,97	52,0
13.03.1998	15:00:00	75,77	40,0	14.03.1998	23:00:00	88,05	52,0
13.03.1998	16:00:00	75,78	40,0	15.03.1998	0:00:00	88,11	52,0
13.03.1998	17:00:00	75,76	40,0	15.03.1998	1:00:00	88,17	52,0
13.03.1998	18:00:00	75,75	40,0	15.03.1998	2:00:00	88,23	52,0
13.03.1998	19:00:00	75,71	40,0	15.03.1998	3:00:00	88,30	52,0
13.03.1998	19:33:00	75,75	53,0	15.03.1998	4:00:00	88,36	52,0
13.03.1998	19:33:05	76,10	53,0	15.03.1998	5:00:00	88,43	52,0
13.03.1998	19:33:15	77,30	53,0	15.03.1998	6:00:00	88,48	52,0
13.03.1998	19:33:30	78,40	53,0	15.03.1998	7:00:00	88,56	52,0
13.03.1998	19:34:00	79,80	53,0	15.03.1998	8:00:00	88,64	52,0
13.03.1998	19:35:00	81,25	53,0	15.03.1998	9:00:00	88,77	52,0
13.03.1998	19:38:00	82,55	53,0	15.03.1998	10:00:00	88,84	52,0
13.03.1998	19:48:00	83,83	53,0	15.03.1998	11:00:00	88,91	52,0
13.03.1998	20:00:00	84,40	53,0	15.03.1998	12:00:00	99,98	52,0
13.03.1998	20:03:00	84,51	53,0	15.03.1998	13:00:00	89,04	52,0
13.03.1998	20:30:00	85,03	53,0	15.03.1998	14:00:00	89,14	52,0

Forts. Tab. 28: Wertetabelle zum Pumpversuch an der Versuchsbohrung Kellerwald B1 vom
28.02. bis 25.03.1998

Datum [d.m.a]	Uhrzeit [h:min:s]	WSp [m u. ROK]	Q [m ³ /h]	Datum [d.m.a]	Uhrzeit [h:min:s]	WSp [m u. ROK]	Q [m ³ /h]
15.03.1998	15:00:00	89,16	52,0	17.03.1998	9:00:00	91,69	51,7
15.03.1998	16:00:00	89,21	52,0	17.03.1998	10:00:00	91,72	51,7
15.03.1998	17:00:00	89,28	52,0	17.03.1998	11:00:00	91,76	51,7
15.03.1998	18:00:00	89,34	52,0	17.03.1998	12:00:00	91,81	51,7
15.03.1998	19:00:00	89,46	52,0	17.03.1998	13:00:00	91,88	51,0
15.03.1998	20:00:00	89,57	52,0	17.03.1998	14:00:00	91,94	51,0
15.03.1998	21:00:00	89,61	52,0	17.03.1998	15:00:00	91,01	51,0
15.03.1998	22:00:00	89,72	52,0	17.03.1998	16:00:00	92,34	51,0
15.03.1998	23:00:00	89,79	52,0	17.03.1998	17:00:00	92,43	51,0
16.03.1998	0:00:00	89,86	52,0	17.03.1998	18:00:00	92,51	51,0
16.03.1998	1:00:00	89,93	52,0	17.03.1998	19:00:00	92,47	51,0
16.03.1998	2:00:00	89,98	52,0	17.03.1998	20:00:00	92,53	51,0
16.03.1998	3:00:00	90,02	52,0	17.03.1998	21:00:00	92,62	51,0
16.03.1998	4:00:00	90,09	52,0	17.03.1998	22:00:00	92,73	51,0
16.03.1998	5:00:00	90,17	52,0	17.03.1998	23:00:00	92,80	51,0
16.03.1998	6:00:00	90,24	52,0	18.03.1998	0:00:00	92,89	51,0
16.03.1998	7:00:00	90,28	52,0	18.03.1998	1:00:00	92,95	51,0
16.03.1998	8:00:00	90,32	52,0	18.03.1998	2:00:00	93,02	51,0
16.03.1998	9:00:00	90,38	52,0	18.03.1998	3:00:00	93,09	51,0
16.03.1998	10:00:00	90,46	52,0	18.03.1998	4:00:00	93,16	51,0
16.03.1998	11:00:00	90,49	52,0	18.03.1998	5:00:00	93,22	51,0
16.03.1998	12:00:00	90,47	52,0	18.03.1998	6:00:00	93,27	51,0
16.03.1998	13:00:00	90,49	52,0	18.03.1998	7:00:00	93,31	51,0
16.03.1998	14:00:00	90,53	52,0	18.03.1998	8:00:00	93,40	51,0
16.03.1998	15:00:00	90,58	52,0	18.03.1998	9:00:00	93,38	51,0
16.03.1998	16:00:00	90,62	52,0	18.03.1998	10:00:00	93,49	51,0
16.03.1998	17:00:00	90,85	52,0	18.03.1998	11:00:00	93,64	51,0
16.03.1998	18:00:00	90,89	52,0	18.03.1998	12:00:00	93,69	51,0
16.03.1998	19:00:00	90,94	52,0	18.03.1998	13:00:00	93,74	51,0
16.03.1998	20:00:00	91,00	52,0	18.03.1998	14:00:00	93,79	51,0
16.03.1998	21:00:00	91,06	52,0	18.03.1998	15:00:00	93,81	51,0
16.03.1998	22:00:00	91,15	51,7	18.03.1998	16:00:00	93,84	51,0
16.03.1998	23:00:00	91,25	51,7	18.03.1998	17:00:00	93,92	51,0
17.03.1998	0:00:00	91,34	51,7	18.03.1998	18:00:00	93,98	51,0
17.03.1998	1:00:00	91,46	51,7	18.03.1998	19:00:00	94,08	51,0
17.03.1998	2:00:00	91,57	51,7	18.03.1998	20:00:00	94,15	51,0
17.03.1998	3:00:00	91,63	51,7	18.03.1998	21:00:00	94,21	51,0
17.03.1998	4:00:00	91,68	51,7	18.03.1998	22:00:00	94,20	51,0
17.03.1998	5:00:00	91,72	51,7	18.03.1998	23:00:00	94,32	51,0
17.03.1998	6:00:00	91,77	51,7	19.03.1998	0:00:00	94,44	51,0
17.03.1998	7:00:00	91,82	51,7	19.03.1998	1:00:00	94,57	51,0
17.03.1998	8:00:00	91,66	51,7	19.03.1998	2:00:00	94,68	51,0

Forts. Tab. 28: Wertetabelle zum Pumpversuch an der Versuchsbohrung Kellerwald B1 vom
28.02. bis 25.03.1998

Datum [d.m.a]	Uhrzeit [h:min:s]	WSp [m u. ROK]	Q [m ³ /h]	Datum [d.m.a]	Uhrzeit [h:min:s]	WSp [m u. ROK]	Q [m ³ /h]
19.03.1998	3:00:00	94,73	51,0	20.03.1998	10:57:00	74,13	0
19.03.1998	4:00:00	94,79	51,0	20.03.1998	10:58:00	73,93	0
19.03.1998	5:00:00	94,84	51,0	20.03.1998	10:59:00	73,76	0
19.03.1998	6:00:00	94,88	51,0	20.03.1998	11:00:00	73,59	0
19.03.1998	7:00:00	94,93	51,0	20.03.1998	11:05:00	72,94	0
19.03.1998	8:00:00	95,02	51,0	20.03.1998	11:10:00	72,48	0
19.03.1998	9:00:00	95,09	51,0	20.03.1998	11:20:00	71,71	0
19.03.1998	10:00:00	95,13	51,0	20.03.1998	11:35:00	70,82	0
19.03.1998	11:00:00	95,21	51,0	20.03.1998	11:50:00	70,14	0
19.03.1998	12:00:00	95,27	51,0	20.03.1998	12:00:00	69,89	0
19.03.1998	13:00:00	95,36	51,0	20.03.1998	13:00:00	68,18	0
19.03.1998	14:00:00	95,44	51,0	20.03.1998	14:00:00	66,85	0
19.03.1998	15:00:00	95,51	51,0	20.03.1998	15:00:00	65,96	0
19.03.1998	16:00:00	95,56	51,0	20.03.1998	16:00:00	65,24	0
19.03.1998	17:00:00	95,60	51,0	20.03.1998	17:00:00	64,53	0
19.03.1998	18:00:00	95,67	51,0	20.03.1998	18:00:00	64,02	0
19.03.1998	19:00:00	95,69	51,0	20.03.1998	19:00:00	63,60	0
19.03.1998	20:00:00	95,71	51,0	20.03.1998	20:00:00	63,08	0
19.03.1998	21:00:00	95,78	51,0	20.03.1998	21:00:00	62,56	0
19.03.1998	22:00:00	95,86	51,0	20.03.1998	22:00:00	62,12	0
19.03.1998	23:00:00	95,92	51,0	20.03.1998	23:00:00	61,80	0
20.03.1998	0:00:00	95,94	51,0	21.03.1998	0:00:00	61,55	0
20.03.1998	1:00:00	96,02	51,0	21.03.1998	1:00:00	61,34	0
20.03.1998	2:00:00	96,11	51,0	21.03.1998	2:00:00	61,06	0
20.03.1998	3:00:00	96,24	51,0	21.03.1998	3:00:00	60,79	0
20.03.1998	4:00:00	96,30	51,0	21.03.1998	4:00:00	60,28	0
20.03.1998	5:00:00	96,43	51,0	21.03.1998	5:00:00	59,81	0
20.03.1998	6:00:00	96,47	51,0	21.03.1998	6:00:00	59,52	0
20.03.1998	7:00:00	96,58	51,0	21.03.1998	7:00:00	59,28	0
20.03.1998	8:00:00	96,65	51,0	21.03.1998	8:00:00	59,17	0
20.03.1998	9:00:00	96,72	51,0	21.03.1998	9:00:00	59,10	0
20.03.1998	10:00:00	96,77	51,0	21.03.1998	10:00:00	58,75	0
20.03.1998	10:50:00	96,88	0,0	21.03.1998	11:00:00	58,31	0
20.03.1998	10:50:01	96,00	0,0	21.03.1998	12:00:00	58,06	0
20.03.1998	10:50:50	82,80	0,0	21.03.1998	13:00:00	57,80	0
20.03.1998	10:51:30	77,89	0,0	21.03.1998	14:00:00	57,58	0
20.03.1998	10:52:00	76,35	0,0	21.03.1998	15:00:00	57,35	0
20.03.1998	10:52:30	75,74	0,0	21.03.1998	16:00:00	57,18	0
20.03.1998	10:53:00	75,36	0,0	21.03.1998	17:00:00	56,94	0
20.03.1998	10:54:00	74,87	0,0	21.03.1998	18:00:00	56,72	0
20.03.1998	10:55:00	74,55	0,0	21.03.1998	19:00:00	56,59	0
20.03.1998	10:56:00	74,30	0,0	21.03.1998	20:00:00	56,38	0

Forts. Tab. 28: Wertetabelle zum Pumpversuch an der Versuchsbohrung Kellerwald B1 vom
28.02. bis 25.03.1998

Datum [d.m.a]	Uhrzeit [h:min:s]	WSp [m u. ROK]	Q [m ³ /h]	Datum [d.m.a]	Uhrzeit [h:min:s]	WSp [m u. ROK]	Q [m ³ /h]
21.03.1998	21:00:00	56,10	0	23.03.1998	15:00:00	50,16	0
21.03.1998	22:00:00	55,77	0	23.03.1998	16:00:00	50,05	0
21.03.1998	23:00:00	55,59	0	23.03.1998	17:00:00	49,97	0
22.03.1998	0:00:00	55,42	0	23.03.1998	18:00:00	49,89	0
22.03.1998	1:00:00	55,23	0	23.03.1998	19:00:00	49,81	0
22.03.1998	2:00:00	55,04	0	23.03.1998	20:00:00	49,74	0
22.03.1998	3:00:00	54,86	0	23.03.1998	21:00:00	49,61	0
22.03.1998	4:00:00	54,66	0	23.03.1998	22:00:00	49,49	0
22.03.1998	5:00:00	54,49	0	23.03.1998	23:00:00	49,36	0
22.03.1998	6:00:00	54,38	0	24.03.1998	0:00:00	49,26	0
22.03.1998	7:00:00	54,26	0	24.03.1998	1:00:00	49,18	0
22.03.1998	8:00:00	54,08	0	24.03.1998	2:00:00	49,10	0
22.03.1998	9:00:00	53,94	0	24.03.1998	3:00:00	49,01	0
22.03.1998	10:00:00	53,81	0	24.03.1998	4:00:00	48,93	0
22.03.1998	11:00:00	53,65	0	24.03.1998	5:00:00	48,85	0
22.03.1998	12:00:00	53,52	0	24.03.1998	6:00:00	48,77	0
22.03.1998	13:00:00	53,38	0	24.03.1998	7:00:00	48,70	0
22.03.1998	14:00:00	53,21	0	24.03.1998	8:00:00	48,59	0
22.03.1998	15:00:00	53,06	0	24.03.1998	9:00:00	48,49	0
22.03.1998	16:00:00	52,91	0	24.03.1998	10:00:00	48,36	0
22.03.1998	17:00:00	52,77	0	24.03.1998	11:00:00	48,23	0
22.03.1998	18:00:00	52,64	0	24.03.1998	12:00:00	48,14	0
22.03.1998	19:00:00	52,50	0	24.03.1998	13:00:00	48,06	0
22.03.1998	20:00:00	52,47	0	24.03.1998	14:00:00	47,95	0
22.03.1998	21:00:00	52,33	0	24.03.1998	15:00:00	47,86	0
22.03.1998	22:00:00	52,15	0	24.03.1998	16:00:00	47,75	0
22.03.1998	23:00:00	52,02	0	24.03.1998	17:00:00	47,64	0
23.03.1998	0:00:00	51,86	0	24.03.1998	18:00:00	47,55	0
23.03.1998	1:00:00	51,68	0	24.03.1998	19:00:00	47,46	0
23.03.1998	2:00:00	51,54	0	24.03.1998	20:00:00	47,37	0
23.03.1998	3:00:00	51,46	0	24.03.1998	21:00:00	47,30	0
23.03.1998	4:00:00	51,37	0	24.03.1998	22:00:00	47,22	0
23.03.1998	5:00:00	51,25	0	24.03.1998	23:00:00	47,15	0
23.03.1998	6:00:00	51,16	0	25.03.1998	0:00:00	47,08	0
23.03.1998	7:00:00	51,04	0	25.03.1998	1:00:00	47,01	0
23.03.1998	8:00:00	50,95	0	25.03.1998	2:00:00	46,94	0
23.03.1998	9:00:00	50,82	0	25.03.1998	3:00:00	46,87	0
23.03.1998	10:00:00	50,69	0	25.03.1998	4:00:00	46,78	0
23.03.1998	11:00:00	50,55	0	25.03.1998	5:00:00	46,69	0
23.03.1998	12:00:00	50,48	0	25.03.1998	6:00:00	46,61	0
23.03.1998	13:00:00	50,39	0	25.03.1998	7:00:00	46,53	0
23.03.1998	14:00:00	50,28	0	25.03.1998	8:00:00	46,45	0

Forts. Tab. 28: Wertetabelle zum Pumpversuch an der Versuchsbohrung Kellerwald B1 vom
28.02. bis 25.03.1998

Datum [d.m.a]	Uhrzeit [h:min:s]	WSp [m u. ROK]	Q [m ³ /h]
25.03.1998	9:00:00	46,36	0
25.03.1998	10:00:00	46,26	0
25.03.1998	11:00:00	46,23	0
25.03.1998	12:00:00	46,14	0
Pumpe gezogen			
30.03.1998	10:45:00	40,56	0
01.04.1998	11:30:00	38,94	0
03.04.1998	9:00:00	38,58	0
06.04.1998	8:30:00	37,52	0
08.04.1998	13:15:00	36,88	0
14.04.1998	10:45:00	35,25	0
16.04.1998	8:15:00	34,87	0
20.04.1998	10:25:00	34,77	0
22.04.1998	7:45:00	34,66	0

Tab. 29: Hydrologische Kennwerte aus dem Pumpversuch an der Versuchsbohrung Kellerwald
B1 vom 28.02. bis 25.03.1998

Pumpstufe	1	2	3	4
Förderrate Q [m ³ /h]	20,0	30,0	40,0	52,0
Absenkung s _{20h} [m]	12,59	25,47	37,82	54,25
Absenkung pro Dekade ds [m]	3,19	3,0	2,0	2,6
Absenkung pro Dekade ds' [m]	6,3	6,9	8,0	11,8
Transmissivität T [m ² /s]	3,3*10 ⁻⁴	5,1*10 ⁻⁴	10,2*10 ⁻⁴ *	10,2*10 ⁻⁴ *
Durchlässigkeitsbeiwert k _f [m/s]	2,7*10 ⁻⁶	4,7*10 ⁻⁶	10,5*10 ⁻⁶ *	12,7*10 ⁻⁶ *

*: Scheinbare Transmissivitäten und Durchlässigkeitsbeiwerte

Tab. 30: Ergebnisse der Wasseruntersuchung bei unterschiedlichen Förderraten an der Versuchsbohrung Kellerwald B1 vom 19.03.1998

Datum, Uhrzeit	28.02.1998, 08:00	03.03.1998, 09:20	07.03.1998, 15:30	13.03.1998, 19:28	19.03.1998, 10:40
Förderrate [m ³ /h]	20,0	20,0	30,0	40,0	51,0
Luft-Temp. [°C]	5,6	4,7	6,2	2,2	4,1
Wasser-Temp. [°C]	9,3	9,8	9,6	9,4	9,4
elektr. Leif. [µS/cm]	420	430	420	415	417
pH-Wert	7,7	7,6	7,7	7,6	7,6
Redoxspannung. [mV]	220	250	270	278	297
Redoxpotential [mV]	440	470	490	500	520
Trübung, qual.	schwache Trübung	ohne	ohne	ohne	ohne
Färbung, qual.	farblos	farblos	farblos	farblos	farblos
Geruch	ohne	ohne	ohne	ohne	ohne
Geschmack	schwach metallisch	schwach metallisch	schwach metallisch	schwach metallisch	frisch

Tab. 31: Wasseruntersuchung der Probe aus dem Pumpversuch an der Versuchsbohrung Kellerwald B1 vom 19.03.1998 (STAATLICHES MEDIZINAL-, LEBENSMITTEL-, UND VETERINÄRUNTERSUCHUNGSAMT NORDHESSEN, 1998a)

Bezeichnung der Probe	Pumpversuch im Stadtteil Bergfreiheit
Datum der Probenahme	19.03.1998, 10:40 Uhr
Eingang der Probe	19.03.1998
Farbe	farblos
Trübung	klar
Bodensatz	ohne
Geruch	ohne
Geschmack	frisch
Temperatur des Wassers	9,4 °C
elektrische Leitfähigkeit	417 µS/cm
pH-Wert	7,63
Sauerstoffgehalt	2,0 mg/l
Sauerstoffsättigungswert	11,08
Calcium	49,1 mg/l
Magnesium	22,8 mg/l
Natrium	4,9 mg/l
Kalium	1,4 mg/l
Eisen, gesamt	0,74 mg/l
Mangan, gesamt	0,035 mg/l
Ammonium	<0,02 mg/l
Nitrit	<0,05 mg/l
Nitrat	0,1 mg/l
Hydrogencarbonat	253 mg/l
Chlorid	3,7 mg/l
Sulfat	28,3 mg/l
Gesamt-Härte	12,1 °dH
Härtebereich	2
Karbonat-Härte	11,6 °dH
Säurekapazität bis pH 4,3	4,1 mmol/l
Basenkapazität bis pH 8,2	0,22 mmol/l
Karbonathärte	12,0 °dH
DOC	0,39 mg/l

Tab. 32: Wasseruntersuchung der Probe aus dem Pumpversuch an der Versuchsbohrung Kellerwald B1 vom 19.03.1998 (STAATLICHES MEDIZINAL-, LEBENSMITTEL-, UND VETERINÄRUNTERSUCHUNGSAMT NORDHESSEN, 1998b)

Bezeichnung der Probe	Pumpversuch im Stadtteil Bergfreiheit
Datum der Probenahme	19.03.1998, 10:40 Uhr
Eingang der Probe	09.07.1998
Farbe	farblos
Trübung	klar
Geruch	ohne
Eisen, gesamt	0,74 mg/l
Mangan, gesamt	0,035 mg/l

Lebenslauf

08.06.1964 geboren in Göttingen, deutsche Staatsbürgerschaft

Schulbildung und Wehrdienst

1971	1. Klasse in der deutschen Schule in Arequipa/Peru
1971 bis 1975	Grundschule in Hann. Münden
1975 bis 1978	Gymnasium in Hann. Münden
1978 bis 1982	Realschule in Hann. Münden
1982 bis 1985	Fachgymnasium in Witzenhausen
19.06.1985	Allgemeine Hochschulreife
1985 - 1986	Wehrdienst in Northeim

Studium

1986 bis 1987	Studium der Elektrotechnik an der TU Braunschweig
1987 bis 1994	Studium der Geographie und Geologie/Paläontologie an der Universität Göttingen mit den Schwerpunkten Hydrogeologie, geologische Kartierungen, Strukturgeologie
06.07.1989	Diplomvorprüfung in Geographie
26.04.1990	Diplomvorprüfung in Geologie/Paläontologie
28.10.1994	Diplomprüfung in Geologie/Paläontologie

Berufstätigkeit und Promotion

Seit 1995	Hydrogeologische Beratung
1995 bis 2001	Promotion an der Universität Göttingen im Fachbereich Geowissenschaften über die hydrogeologischen Grundlagen der dezentralen Trinkwasserversorgung von Bad Wildungen