Auswertung der Messreihen der meteorologischen und hydrologischen Variablen im Forschungsgebiet Rietholzbach für den 30-jährigen Beobachtungszeitraum 1976–2005 mit besonderer Berücksichtigung des Trockensommers 2003

Analysis of the time series of meteorological and hydrological measurements in the Rietholzbach research catchment between 1976 and 2005 with special consideration of the dry summer 2003

> Joachim Gurtz Seraina Badertscher Christian Milzow Ueli Moser Karl Schroff Reto Stoeckli Ingo Völksch Martin Zingg

Institut für Atmosphäre und Klima der ETH Zürich Dezember 2006

Inhaltsverzeichnis – Table of content

<u>1</u>	Einführung - Introduction	;
<u>2</u>	Das hydrologische Forschungsgebiet Rietholzbach - The Rietholzbach resear	<u>rch</u>
	<u>catchment</u> 6)
<u>2.</u>	<u>.1</u> <u>Geographische Gegebenheiten – Geographical characteristics</u>	6
<u>2.</u>	<u>.2</u> <u>Geologische Situation – Geological situation</u>	6
<u>2.</u>	<u>.3</u> <u>Geomorphologische Situation – Geomorphological situation</u>	7
<u>2.</u>	<u>.4</u> <u>Datenbasis – <i>Data basis</i></u>	8
<u>3</u>	Auswertung der Zeitreihen der meteorologischen Grössen, der Lysimetermessungen u	ind
	des Abflusses von 1976 bis 2005 – Analysis of the meteorological, lysimeter and run	<u>ioff</u>
	<u>measurements 1976–2005</u>)
<u>3.</u>	<u>I</u> <u>Niederschlag - Precipitation</u>	10
<u>3.1.</u>	<u>I</u> Jahressummen – Annual sums	10
3.1.2	<u>2</u> <u>Jahresgang – Seasonal cycle</u>	11
<u>3.1.</u>	<u>Extreme Monats- und Tagessummen sowie ihre prozentuale Verteilung - Extre</u>	<u>me</u>
2.1	<u>monthly and daily totals and their distribution by percentage</u>	11
$\frac{3.1.4}{2.1.4}$	<u>4</u> <u>Sommer- und Winternalbjahr - Summer and winter season</u>	13
<u>3.1.</u>	5 Vergelen von Lysimeterniederschlag und Standardniederschlag – <i>Comparison</i>	
	the hypimotor	<u>15</u>
2	2 Luftemperature	17
<u>)</u>	<u>Luittemperatur – Air temperature</u>	17
$\frac{5.2.}{2.2}$	<u>1</u> <u>Jahreshintterwerte – Meun unnuul uir temperatures</u>	10
3.2.2	<u>2 Jancsgang – Seasonal Cycle</u>	10
<u>J.Z.</u>	<u>5</u> <u>Extreme monthly and daily means and their distribution by percentage</u>	18
324	4 Sommer- und Winterhalbiahr – Summer and winter season	20
3.2	3 Windgeschwindigkeit – <i>Wind velocity</i>	20
33	1 Jahresmittelwerte – Mean annual values	22
330	2 Jahresgang – Seasonal cycle	23
3.3	3 Extreme Monats-, Tages- und Stundenmittelwerte sowie ihre prozentu	ale
	Verteilung – Extreme monthly, daily and hourly means and their distribution	\overline{bv}
	percentage	.24
3.3.4	4 Sommer- und Winterhalbjahr – <i>Summer and winter season</i>	26
3.	.4 Relative Luftfeuchtigkeit – <i>Relative air humidity</i>	28
3.4.	<u>1</u> Jahresmittelwerte – Mean annual values	28
3.4.2	2 Jahresgang – Seasonal cycle	.29
3.4.3	<u>3 Extreme und mittlere Monats- und Tagesmittelwerte sowie ihre prozentu</u>	ale
	Verteilung – Extreme and average monthly and daily values and th	<u>eir</u>
	distribution by percentage	30
3.4.4	<u>4</u> <u>Sommer- und Winterhalbjahr – <i>Summer and winter season</i></u>	31
<u>3.</u>	.5 Bodenfeuchte – <i>Soil moisture</i>	33
<u>3.5.</u>	<u>1</u> <u>Jahresmittelwerte – Mean annual values</u>	33
<u>3.5.2</u>	<u>2</u> <u>Jahresgang – Seasonal cycle</u>	35
<u>3.5.</u>	<u>3</u> Spezifischer Jahresgang des Jahres 2004 – Seasonal cycle in the year 2004	40
<u>3.5.4</u>	4 <u>Extreme und mittlere Monats- und Tagesmittelwerte sowie ihre prozentu</u>	<u>ale</u>
	<u>Verteilung – Extreme and average monthly and daily means and th</u>	<u>eir</u>
	distribution by percentage	42
3.5.	<u>Sommer- und Winterhalbjahr – Summer and winter season</u>	54
3.	<u>.6</u> <u>Globalstrahlung – Global radiation</u>	56
3.6.	<u>I</u> Jahresmittelwerte – Mean annual values	56

<u>3.6.2</u>	Jahresgang – Seasonal cycle	56
<u>3.6.3</u>	Extreme und mittlere Monats- und Tagesmittelwerte sowie ihre prozentua	<u>le</u>
	Verteilung - Extreme and average monthly and daily means and the	ir
	distribution by percentage	57
<u>3.6.4</u>	Sommer- und Winterhalbjahr – Summer and winter season	;9
<u>3.7</u>	Lysimeterdaten – Lysimeter data	50
<u>3.7.1</u>	Jahressummen von Lysimeterniederschlag, -ausfluss und -evapotranspiration	_
	Annual sums of lysimeter precipitation, drainage and evapotranspiration	60
<u>3.7.2</u>	Jahresgänge von Lysimeterniederschlag, -ausfluss und -evapotranspiration	_
	Seasonal cycles of lysimeter precipitation, drainage and evapotranspiration6	52
<u>3.7.3</u>	Extreme und mittlere Monats- und Tagessummen von Evapotranspiration un	<u>ıd</u>
	Ausfluss sowie ihre prozentuale Verteilung - Extreme and mean monthly and	<u>1d</u>
	daily sums of evapotranspiration and drainage and their distribution b	<u>v</u>
	percentage	53
<u>3.7.4</u>	Vergleich des Lysimeterausflusses mit dem Gebietsabfluss beim Pegel Rietholz	<u>: /</u>
	Mosnang - Comparison of the lysimeter drainage with the runoff measured at the	<u>ie</u>
	gauging station Rietholz / Mosnang	57
<u>3.8</u>	<u>Abfluss - Runoff</u>	59
<u>3.8.1</u>	<u>Jahressummen – Annual sums</u> 6	59
<u>3.8.2</u>	<u>Jahresgang – Seasonal cycle</u> 6	59
<u>3.8.3</u>	Extreme und mittlere Monats- und Tagessummen sowie ihre prozentua	le
	Verteilung - Extreme and average monthly and daily sums and their distribution	<u>)n</u>
	by percentage	<i>'</i> 0
<u>3.8.4</u>	Sommer- und Winterhalbjahr – Summer and winter season	'2
<u>4</u> Zusam	menfassung und Schlussfolgerungen – Summary and conclusions	
<u>5</u> Literat	<u>urverzeichnis – Bibliography</u> 76	
<u>6</u> <u>Abbild</u>	lungs- und Tabellenverzeichnis – <i>List of figures and tables</i>	
7 Übersic	ht zu den Publikationen, Dissertationen, Diplomarbeiten und anderen wichtige	en
Arbeit	en zum Forschungsgebiet Rietholzbach - Summary of publications, dissertation	S,
diplon	na thesises and other relevant studies concerning the research catchme	nt
Rietho	<i>lzbach</i>	

1 Einführung - Introduction

Im Rahmen der hydrologischen Grundlagenforschung an der ETH Zürich stellten sich nach einer relativtrockenen Periode und entsprechenden Problemen mit einzelnen Wasserversorgungen vor etwa 35 Jahren Fragen der Grundwasserneubildung in den Vordergrund. Damit war im Prinzip das Problem der Beziehungen zwischen den verfügbaren Wasservorkommen in ihrer Abhängigkeit von den Klimavariationen als dringendes Forschungsthema gestellt. Die damalige Abteilung Hydrologie an der Versuchsanstalt für Wasserbau, Hydrologie und Glaziologie (VAW) war aufgefordert, sich des dringenden Problems anzunehmen und beschloss in der Folge, das hydrologische Forschungs- und Repräsentativgebiet Rietholzbach in den Jahren 1974 - 1976 einzurichten. Galt es doch, die damals noch grossen Wissenslücken über die Niederschlag-Abfluss-Prozesse, über die Evapotranspiration, über den Bodenwasserhaushalt und davon abhängig auch über die Grundwasserbildung besser zu verstehen. Gleichzeitig boten sich mit einem solchen Forschungsgebiet auch wertvolle Möglichkeiten zur Weiterentwicklung von physikalisch besser fundierten hydrologischen Modellen z.B. für Abflussvorhersagen oder für die Abschätzung des Einflusses von Klimaänderungen auf die hydrologischen Verhältnisse im Voralpenraum/Mittelland. Ausserdem war ein solches Forschungsgebiet in der Lehre Unterricht auch für Übungen zu den Vorlesungen sehr erwünscht. Mit der finanziellen Unterstützung zahlreicher Forschungsgesuche durch die ETH Zürich und durch den Schweizerischen Nationalfonds, auch im Rahmen von internationalen Forschungsprojekten, war es möglich, wertvollste und weltweit anerkannte Resultate zu erzielen. Die oben angeführte Abteilung Hydrologie (unter H. Lang) wurde 1983 mit dem Projekt Rietholzbach -Hydrex mit der Gruppe Klimatologie (unter A. Ohmura) im ETH Departement Erdwissenschaften, Geographisches Institut, zusammengeführt, was schliesslich zum ETH Institut für Klimaforschung führte und heute unter dem Namen Institut für Atmosphäre und Klima der ETH (unter Ch. Schär) steht. Mit den Daten des Jahres 2005 existiert im hydrologischen Forschungsgebiet Rietholzbach für viele Messgrössen eine 30-jährige Beobachtungsreihe. Die Verfügbarkeit dieser 30-jährigen Reihen ist Anlass, diese (unter der Leitung von J. Gurtz) einer ausführlicheren Analyse zu unterziehen. Das Fundament für diese Untersuchungen bildet die Diplomarbeit von Michael Moesch (2001), in der die hydrologischen und klimatologischen Aspekte des Forschungsgebietes Rietholzbach für den Beobachtungszeitraum 1976-2000 analysiert und diskutiert werden. Dem schloss sich die Semesterarbeit von Seraina Badertscher (Badertscher, 2005) an, welche nun aber den Beobachtungszeitraum 1976-2004 beinhaltet und dem Jahr 2003 mit dem aussergewöhnlichen Trockensommer besondere Aufmerksamkeit zukommen lässt. Die noch um das Jahr 2005 erweiterten Auswertungen und Schlussfolgerungen werden für diese Messgrössen und den daraus abgeleiteten Variablen im Kapitel 3 dieses Berichtes dargelegt. Dabei wurden die klimatologischen Aspekte noch um zwei Grössen erweitert, nämlich um die Bodenfeuchte und die Globalstrahlung. Allerdings beziehen sich diese beiden Grössen aufgrund der späteren Inbetriebnahme der Messungen der Bodenfeuchte bzw. der Verfügbarkeit zuverlässiger Messergebnisse im Falle der Globalstrahlung (Jaun, 2003) nur auf die 12-jährige Reihe von 1994 bis 2005. Alle in Verbindung mit dem Forschungsgebiet Rietholzbach entstandenen Publikationen, Dissertationen, Diplomarbeiten und anderen relevanten Studien sind im letzten Abschnitt in einer Übersicht zusammengestellt

2 Das hydrologische Forschungsgebiet Rietholzbach – The Rietholzbach research catchment

Das Forschungsgebiet Rietholzbach ist ein kleines hydrologisches Einzugsgebiet von 3.18 km² Grösse im unteren Toggenburg. Es umfasst verschiedene hydrologische und klimatologische Messeinrichtungen, darunter auch die Wasserstands- und Abflussmessstation Rietholz / Mosnang als die den Ausfluss aus dem Einzugsgebiet des Rietholzbaches messende Station, die von der Landeshydrologie in Bern (BWG-BAfU, 1976-2005) betrieben wird. Seit 1975 werden in diesem Gebiet umfangreiche Messungen vorgenommen. Als wichtigste gegenwärtig im Gebiet vorzufindende Instrumentierung sind zu nennen (Abb. 1):

- ein hydroklimatologische Station im Messfeld Büel;
- ein wägbares Lysimeter im Messfeld Büel;
- 15 TDR-Sonden für die Bodenfeuchtemessung in 2 Messprofilen im Messfeld Büel;
- 3 Grundwasser-Beobachtungsrohre (davon eines im Messfeld Büel);
- 3 Abflussmessstationen (eine am Gebietsausflusspegel und 2 in der Nähe des Messfeldes Büel am Oberen Rietholzbach und am Huwillerbach;
- zeitweise waren zusätzliche Messgeräte im Gebiet installiert.

Eine automatische Datenübertragungsanlage ermöglicht die tägliche Übermittlung der Messwerte in das Institut für Atmosphäre und Klima der ETH nach Zürich. Informationen und verschiedene Daten des Forschungsgebietes sind im Internet zu finden unter: http://www.iac.ethz.ch/research/rietholzbach.

Die wichtigsten im Gebiet erfassten Messdaten sind in der Regel als Stunden- und/oder Tageswerte verfügbar.

2.1 Geographische Gegebenheiten – Geographical characteristics

Das Forschungsgebiet Rietholzbach befindet sich im Nordosten der Schweiz im unteren Teil des westlichen Toggenburg auf dem Gebiet der Gemeinden Kirchberg und Mosnang (Kanton St. Gallen). Der Rietholzbach entspringt im Westen des Gebietes und fliesst nach Osten, wo er sich am Ende des Einzugsgebietes in den Gonzenbach ergiesst, welcher seinerseits in die Thur entwässert.

Das Gebiet umfasst grösstenteils südexponierte Hänge, die weniger steil als die nordexponierten Hängen steil abfallen. 23 % der Gebietsfläche ist bewaldet, 4 % entfallen auf Feuchtgebiete, und der Rest besteht aus Fettwiesen, die von der Landwirtschaft (Viehwirtschaft) genutzt werden. Das Gebiet ist nur dünn besiedelt. Der höchste Punkt liegt auf 950 m ü.M. und die mittlere Höhe beträgt 795 m ü.M.

Im Zentrum des Gebietes befindet sich das Messfeld Büel in einer Höhe von 755 m ü.M. und mit den Koordinaten 47° 22' 54'' nördliche Breite sowie 8° 59' 42'' östliche Länge (in Schweizer Koordinaten 717 400 / 248 910). Der mit Rietholz / Mosnang bezeichnete Gebietsausflusspegel des Rietholzbaches hat die Schweizer Koordinaten 718 840 / 248 440 und bildet den tiefsten Punkt des Gebietes in einer Höhe von 682 m ü.M.

In Abbildung 1 ist die Karte des hydrologischen Forschungsgebietes Rietholzbach mit der Lage der wichtigsten Messstationen dargestellt. Die als Klimastation Riet und temporäre Messstationen bezeichneten Standorte wurden nur zeitweilig betrieben und existieren jetzt nicht mehr.

2.2 Geologische Situation – Geological situation

Das Rietholzbachgebiet ist Teil des ostschweizerischen Molasseberglandes. Die heute reliefbildenden Gesteine werden der Oberen Süsswassermolasse zugerechnet. Gemäss der Lage des Gebietes im sogenannten Hörnlischuttfächer sind die Schichten geprägt durch Lagen

von Flussgeröllen, von Flusssanden und teilweise auch von kalkigen Tonen. Die Geröllschüttungen wurden im Laufe der Zeit diagenetisch verfestigt und es entstanden daraus die Nagelfluhen. Entsprechend der Herkunft der Gesteine dominieren kalkige und dolomitische Gerölle.

Nach den letzten grösseren Bewegungen der Alpenfaltung begann sich ein lokales Gewässernetz auszubilden, welches die Härteunterschiede der einzelnen Molasseschichten herauspräparierte. Die Mergel wurden dadurch zu Terrassen ausgeräumt, während die Nagelfluhbänke Steilstufen ausbildeten.

Während der letzten Eiszeiten sind Äste des Thurgletschers jeweils in das Gebiet des Rietholzbaches vorgedrungen. Sie brachten entsprechend ihrer Herkunft helvetische Kalke als Moränenablagerungen in das Gebiet.

Quartäre Ablagerungen sind heute kaum mehr zu finden, weil nacheiszeitliche fluviatile Erosion zur Ausräumung und weitgehender Reliefbildung geführt hat.

1973 befand ein Gutachten des Eidgenössischen Amtes für Wasserwirtschaft, dass infolge der geologischen Gegebenheiten alles aus dem Gebiet fliessende Wasser am Pegel Rietholzbach / Mosnang, der sich auf einer Nagelfluhschicht befindet, erfasst werden kann. Auch wies diese Untersuchung nach, dass ober- und unterirdische Wasserscheiden übereinstimmen.

Genauere Angaben zu den verschiedenen vorkommenden Bodentypen und ihrer flächenhaften Verbreitung im Rietholzbachgebiet finden sich bei Germann (1981) und Bohrer (1998).



Abb. 1: Karte des Forschungsgebietes Rietholzbach mit den Messstationen Map of the research catchment Rietholzbach with measurement locations

2.3 Geomorphologische Situation – Geomorphological situation

Der Rietholzbach musste als seitlicher Zubringer mit der Erosionsbasis des Hauptgerinnes, der Thur, Schritt halten. In Richtung Osten tieft er sich somit rasch ein. Dementsprechend

liegen der Unter- und Mittellauf in engen und steilen Tobeln. Das Gewässernetz ist typisch dendritisch ausgebildet; das gilt sowohl für die seitlichen Zubringer der Thur als auch für jene des Rietholzbaches.

Das Talquerprofil ist asymmetrisch: Die nordexponierten Hänge fallen steiler ein als die südexponierten. Das Haupttal ist West-Ost-orientiert und verläuft damit nahezu quer zum nach NNW ausgerichteten Fallen der Molasseabfolgen.

Das Längsprofil des Rietholzbachs ist ungleichmässig. Den oberen Bereich des Gebietes durchfliesst der Bach mit relativ geringem Gefälle, die rückschreitende Erosion vom Unterlauf hat sich noch nicht durchgesetzt. Im Unterlauf wird das Längsprofil immer wieder durch steile Gefällepartien geprägt. Die Nagelfluhschichten bilden dabei die Stufen. Im Bereich des Unterlaufes nehmen die Stufenhöhen zu; dort befinden sich auch zwei markante Wasserfälle. Gleich nach der Abflussmessstelle verlässt der Bach das Einzugsgebiet, indem er mehrere Meter über eine Nagelfluhstufe hinabstürzt.

2.4 Datenbasis – Data basis

Die in diesem Bericht enthaltenen Auswertungen beziehen sich auf die im Folgenden beschriebene Datenbasis:

Niederschlag: 1976–2005

Für den Zeitraum 1976–2000 werden die von Moesch (2001) homogenisierten Niederschlagsdaten verwendet, wobei sich diese auf die Standardmesshöhe von 1.5m über dem Boden beziehen. Für die Jahre 2001–2005 werden die Messwerte des in gleicher Höhe gemessenen "Standardniederschlages" angefügt.

Lufttemperatur: 1976–2005

Für die Zeitspanne von 1976–2000 wird die von Moesch (2001) und Hutter (1992) verwendete homogenisierte Reihe der Lufttemperatur verwendet, welche für die Jahre 2001–2005 durch die am Vaisala-Gerät gemessene Lufttemperatur verlängert wird.

Windgeschwindigkeit: 1976–2005

Auch hier wird die von Moesch (2001) bearbeitete und sich auf eine Messhöhe von 2.5 m beziehende Reihe für die Periode 1976–2000 verwendet. Diese Reihe wird dann bis 2005 mit den Windgeschwindigkeiten fortgesetzt, die von einem in gleicher Höhe als Backup betriebenen Gerät gemessen werden, nachdem das Haupt-Windmessgerär in 10 m Höhe installiert wurde.

Relative Luftfeuchtigkeit: 1976–2005

Die von Moesch (2001) bearbeiteten Werte bilden die Datengrundlage für den Zeitraum 1976–2000. Für die Folgejahre 2001–2005 werden für die Auswertung die Werte des Vaisala-Gerätes verwendet. Sind diese mit Fehlern behaftet, dann wird auf die Vaisala Luftfeuchtigkeit der Backup-Datei zurückgegriffen. Dies ist der Fall während der Perioden vom 16.10.2001 15h bis 20.10.2001 13h; vom 02.10.2002 16h bis 11.10.2002 17h und vom 22.10.2002 09h bis 29.10.2002, 13h.

Bodenfeuchte: 1994–2005

Die Bodenfeuchte-Daten wurden nicht wie die anderen Daten schon ab 1976 ermittelt. Die Messungen wurden erst im Laufe des Jahres 1993 aufgenommen (Menzel, 1995 und 1997). Deshalb beginnt die Auswertung der Daten ab 1994, da es sich dabei um das erste vollständig erfasste Jahr handelt. In dieser Arbeit werden Bodenfeuchtewerte aus drei verschiedenen Tiefenbereichen benutzt und zwar aus den Bodenschichten 0-30 cm, 0-50 cm und 0-120 cm.

Es werden die Daten von zwei Bodenprofilen verwendet, nämlich von jenen im Lysimeter sowie im Messprofil, welches sich wenige Meter neben dem Lysimeter befindet. Zeitweise, vor allem in der ersten Hälfte des Beobachtungszeitraumes, gab es Messausfälle, so dass zwischen den vorhandenen Werten interpoliert werden musste (Milzow, 2003).

Globalstrahlung: 1994–2005

Die Messung der Globalstrahlung erfolgte nicht über den gesamten 30-jährigen Zeitraum. Sie ist, bedingt durch die Verfügbarkeit und die Entwicklung der Gerätetechnik, besonders häufig durch länger andauernde Messausfälle und den Einsatz veränderter, neuer Messgeräte gekennzeichnet (Jaun, 2003). Aus diesem Grunde stehen für das Messfeld Büel einigermassen zuverlässige Globalstrahlungsmessungen erst seit 1989 zur Verfügung. In Anlehnung an den 12-jährigen Zeitraum von 1994 bis 2005, für den die Bodenfeuchtemesswerte zur Verfügung stehen, wurde dann auch die Auswertung der Globalstrahlung vorgenommen.

Von Völksch (2006) wurde die verfügbaren Messungen der Globalstrahlung einer Untersuchung unterzogen, und unter Verwendung unterschiedlicher Hilfsmittel und Daten wurden die vorhandenen Lücken so rekonstruiert, dass für Modellierungsarbeiten eine 30-jährige Reihe von 1976 bis 2005 der Globalstrahung für das Messfeld Büel zur Verfügung steht.

Lysimeterdaten: 1976–2005

Vom Lysimeter stehen die Reihen der Messung des Gewichtes, der Gewichtsänderung und des Ausflusses zur Verfügung aus denen die Reihen der Evapotranspiration aus dem Lysimeter und des Niederschlags auf das Lysimeter abgeleitet wurden (Moesch, 2000 und 2001; Jaun, 2003).

<u>Abfluss</u>: 1976–2005

Für den gesamten Beobachtungszeitraum 1976–2005 wurden die Stunden- und Tagesmittelwerte der Abflussmessung des Rietholzbaches am Pegel Rietholz / Mosnang verwendet, wie sie von der Landeshydrologie der Schweiz LHG gemessen und publiziert (BWG – BafU, 1976-2005) wurden.

3 Auswertung der Zeitreihen der meteorologischen Grössen, der Lysimetermessungen und des Abflusses von 1976 bis 2005 – Analysis of the meteorological, lysimeter and runoff measurements 1976–2005

3.1 Niederschlag - Precipitation

3.1.1 Jahressummen – Annual sums

Die Jahressummen des Niederschlages am Standort Büel (falls nicht anders vermerkt, handelt es sich im Folgenden immer um den in der Standardhöhe von 1.5 m über dem Boden gemessenen und im Messfehler nicht korrigierten Niederschlag) betragen im Mittel 1450 mm. Sie bewegen sich zwischen 1110 mm und 1820 mm (siehe auch Abb. 2). Der Maximalwert wurde im Jahr 2001 mit 1816.0 mm registriert, der Minimalwert im Jahr 2003 mit 1113.5 mm.

Dabei sind im Jahr 1981 die meisten Niederschlagstage (209) gezählt worden, die Jahressumme des Niederschlages fiel aber mit 1479.6 mm fast 340 mm tiefer aus als 2001. Im Vergleich dazu weist das Jahr 2001 207 Niederschlagstage auf. Die wenigsten Tage mit Niederschlag gab es im Jahre 1997 (150). Im Jahr 2003 wurden 3 Niederschlags mehr als 1997 gezählt, die Jahressumme ist aber trotzdem etwa 100 mm geringer ausgefallen.

Der Trend der Niederschlagssumme ist schwach ansteigend bis gleich bleibend. Die Anzahl Niederschlagstage zeigt einen deutlicheren Trend. Dieser ist, wie in Abbildung 2 zu sehen ist, abnehmend, woraus insgesamt auf eine Erhöhung der Niederschlagsintensität geschlossen werden kann.



Abb. 2: Jahressummen des Niederschlags und Anzahl Niederschlagstage im Beobachtungszeitraum 1976–2005 Annual precipitation sums and number of days with precipitation in the observation period 1976–2005

3.1.2 Jahresgang – Seasonal cycle

Deutlich zu erkennen ist in Abbildung 3 der für das Schweizer Mittelland und die Voralpen typische Jahresgang des Niederschlages mit einem Maximum im Sommer. Der niederschlagsreichste Monat ist der Juni mit durchschnittlich 157.1 mm, gefolgt vom Juli mit durchschnittlich 152.0 mm. Zu den niederschlagsärmsten Monaten gehört der Februar mit 92.7 mm, gefolgt vom Januar mit 96.1 mm.

Das Jahr 2003 fällt aus der Regel. Der Jahresgang weist zwei Spitzen im Mai und im Oktober auf. Zwischen Februar und April sowie zwischen Juni und September fiel der Niederschlag sehr viel geringer aus als im 30-jährigen Durchschnitt. Im Vergleich mit dem langjährigen Mittel wurden im Januar, Mai und Oktober die Monatssummenwerte überschritten, wobei der Oktober einen deutlich höheren Wert anzeigt. Januar und Mai weichen nur minimal vom Mittelwert ab.

Trotz der stark unterdurchschnittlichen Monatssummen im Jahre 2003 wurde einzig im Juni ein neuer Monatsminimalwert von 70.7 mm registriert. Die durchschnittliche Monatssumme im Juni beträgt 157.1 mm.



Abb. 3: Mittlere, maximale und minimale Monatssummen des Niederschlages im Beobachtungszeitraum 1976–2005 sowie Monatssummen des Jahres 2003 Mean, maximum and minimum monthly sums of precipitation in the observation period 1976–2005 and the monthly values of the year 2003

3.1.3 Extreme Monats- und Tagessummen sowie ihre prozentuale Verteilung - *Extreme* monthly and daily sums as well as their distribution by percentage

Der niederschlagsreichste Monat des gesamten Beobachtungszeitraumes ist der September 1984 mit 365.6 mm an 21 Niederschlagstagen. Der niederschlagsärmste Monat ist der Januar 1996 mit 3.4 mm an 3 Niederschlagstagen. In der nachfolgenden Tabelle 1 sind für den gesamten Beobachtungszeitraum für jeden Monat den höchsten, tiefsten und mittleren Niederschlagswerte im direkten Vergleich denen des Jahres 2003 gegenübergestellt.

Wie schon erwähnt, stellt das Jahr 2003 nur im Juni einen neuen Monats-Minimalwert des gesamten beobachteten Zeitraumes auf. Dieser beträgt 70.7 mm bei 10 Niederschlagstagen. Alle anderen Monate weisen Tiefststände in anderen Jahren auf.

Tab. 1: Maximale, minimale und mittlere Monatssummen des Niederschlages 1976–2005und die Monatssummen des Jahres 2003

Maximum, minimum and mean monthly precipitation sums 1976–2005 and the monthly sums of the year 2003

Monat / month	Jahr / year	Monats- maximalwert / maximum monthly value 1976–2005 [mm]	Monats- summen / monthly sums 2003 [mm]	Jahr / year	Monats- minimalwert / minimum monthly value 1976–2005 [mm]	Monats- summen / monthly sums 2003 [mm]	Monats- summen / monthly sums 1976–2005 [mm]
1	2004	218.9	109.0	1996	3.4	109.0	96.1
2	1990	323.3	53.6	1991	15.9	53.6	92.7
3	2001	324.5	60.6	1976	36.1	60.6	108.6
4	2001	229.4	73.6	1981	38.4	73.6	113.9
5	1999	325.9	154.8	1998	37.4	154.8	140.2
6	1980	257.3	70.7	2003	70.7	70.7	157.1
7	2000	300.2	110.0	1983	37	110.0	152.0
8	2005	250.5	73.3	1991	13.9	73.3	140.1
9	1984	365.6	58.1	1986	26.9	58.1	129.1
10	1992	204.9	187.9	1995	4.3	187.9	107.3
11	1992	266.7	92.1	1978	25.8	92.1	105.2
12	1997	207.5	69.8	1998	33.8	69.8	107.3

Tabelle 2 zeigt einen Überblick über die prozentuale Niederschlagsverteilung, wobei das Niederschlagsspektrum in fünf Bereiche unterteilt wurde.

Im gesamten Beobachtungszeitraum sind 5697 Tage mit Niederschlag gemessen worden, dies entspricht 52 % der Periode. Das Jahr 2003 weist 153 Niederschlagstage auf, was nur 42 % der Anzahl Tage des ganzen Jahres ausmacht.

Distributio	Distribution of the daily sums of precipitation							
Niedereebleg /	19	76–2005	2003					
precipitation [mmd ⁻¹]	prozentualer Anteil / percentage	Anzahl Tage von / number of days from 10958	prozentualer Anteil / percentage	Anzahl Tage von / number of days from 365				
> 40	0.7	73	0.3	1				
20 bis 40	4.5	492	3.0	11				
10 bis 20	8.6	939	7.4	27				
2 bis 10	19.9	2178	17.0	62				
0.1 bis 2	18.4	2015	14.2	52				
kein Niederschlag / no precipitation	48.0	5261	58.1	212				

 Tab. 2: Niederschlagsverteilung nach Tagessummen

 Distribution of the daily sums of precipitation

Insgesamt fallen 38 % aller Tage in die Bereiche zwischen 0.1 mm und 10 mm. Nur gerade 5.2 % aller Tage weisen Niederschlagssummen über 20 mm auf. Für das Jahr 2003 weichen

die prozentualen Anteile nur im Niederschlagsbereich > 40 mm deutlich vom durchschnittlichen prozentualen Anteil ab. Dieser beträgt im Jahr 2003 mit 0.3 % weniger als halb so viel wie im Mittel der gesamten Periode.

Obwohl in den anderen Bereichen die Unterschiede jeweils nicht sehr gross sind, so sind die Anteile im Jahr 2003 durchweg kleiner als im gesamten Beobachtungszeitraum, was letztendlich dazu führt, dass der Anteil der Tage ohne Niederschlag im Jahr 2003 um 10 % höher ist als im gesamten Beobachtungszeitraum.

Allgemein regnete es also an vielen Tagen gering bis mässig und nur an vereinzelten Tagen stark. Das war im Jahr 2003 nicht anders. Der maximale Tagesniederschlag im Jahr 2003 wurde am 7. Oktober mit 41.3 mm gemessen. Dieser Wert ist tief für einen Maximalwert, er fällt aber nicht ab. Auch in anderen Jahren wie 1981 (41.2 mm), 1989 (39.1 mm) oder 1992 (45.6 mm) wurden ähnlich tiefe Maximalwerte gemessen.

Abbildung 4 verdeutlicht einerseits die Ähnlichkeit der prozentualen Verteilung der Niederschlagsintensitäten zwischen dem gesamten Beobachtungszeitraum von 1976–2005 und dem Jahr 2003 und zeigt andererseits nochmals, dass im Jahr 2003 für alle Niederschlagsintensitäten weniger Niederschlagstage registriert wurden.

Die Grafik des Jahres 2003 ist weniger glatt, weil der Datensatz für das Einzeljahr 2003 sehr viel kleiner ist als der Datensatz für die gesamte Periode. Diese Tatsache, die auch noch in den später folgenden Dauerlinien auffallen wird, soll aber nicht vom Wesentlichen ablenken.



Abb. 4: Dauerlinie der Tagesniederschlagssummen der Jahre 1976–2005 und 2003 Duration curve of the daily sums of precipitation of the years 1976–2005 and 2003

3.1.4 Sommer- und Winterhalbjahr - Summer and winter season

Die Niederschlagssummen werden nun für Sommer und Winter getrennt betrachtet, sie sind in Abbildung 5 dargestellt. Zum Sommerhalbjahr werden die Monate Mai bis Oktober gezählt

und zum Winterhalbjahr die Monate November bis April. Die Sommerniederschläge sind deutlich höher als die im Winter

Die mittlere Winterniederschlagssumme im Zeitraum 1976–2005 beträgt 623.7 mm. Der niederschlagsreichste Winter ist derjenige von 2000/2001 mit 880.7 mm. Besonders im März 2001 gab es aussergewöhnlich viel Niederschlag. Es wurden 324.5 mm gemessen, was fast dreimal so viel ist wie der mittlere Niederschlag für den Monat März (108.6 mm). Der niederschlagsärmste Winter ist derjenige im Jahre 1990/1991 mit 446.2 mm. Das sind 30 % weniger als der ermittelte Durchschnitt.

Die mittlere Sommerniederschlagssumme beträgt 825.9 mm. Der niederschlagsreichste Sommer war 1978 mit 995.5 mm. Die Monate Juni, Juli, September und Oktober des Sommers 1978 weisen unterdurchschnittliche Niederschlagswerte auf, nur der Mai und der August überschritten das Mittel, dafür aber sehr deutlich. Im Mai wurden 231.3 mm registriert. Verglichen mit dem Durchschnitt (140.2 mm) sind dies also fast 65 % mehr und der August weist mit seinen 241.2 mm einen reichlich 70 % höheren Wert als den Durchschnittswert (140.1 mm) auf. Der niederschlagsärmste Sommer war 2003 mit 654.8 mm. Besonders zu erwähnen ist der Juni 2003, in dem 70.7 mm Niederschlag gemessen wurden, was nur 45 % des durchschnittlichen Monats-Wertes (157.1 mm) sind. Aber auch der Juli, August und September 2003 weisen Werte stark unter dem Mittel auf. Sie befinden sich im Bereich von 45–73 % des Mittels.

Die linearen Trendlinien zeigen, dass der Niederschlag im Sommer eine leicht wachsende, im Winter hingegen eine sinkende Tendenz hat.



Abb. 5: Sommer- und Winterniederschlagssummen vom Sommer 1976 bis Sommer 2005 Summer and winter precipitation sums from summer 1976 to summer 2005

3.1.5 Vergleich von Lysimeterniederschlag und Standardniederschlag – Comparison of the precipitation values measured with the standard method and measured with the lysimeter

In der folgenden Abbildung 6 werden die Jahresgänge des aus den Messungen des Lysimeters bilanzierten "Lysimeterniederschlages" und des Standardniederschlages für die gesamte Periode 1976–2005 und das Jahr 2003 miteinander verglichen.

In allen Fällen misst das Lysimeter höhere Werte als der Standardniederschlag. Drei Tatsachen ergeben für den Standardniederschlag tiefere Messwerte:

- deutlich grössere Windfelddeformation über der Öffnung des Niederschlagsmessers im Vergleich zum Lysimeter
- Haftwasserverlust im Niederschlagsmesser
- Verdunstungsverlust aus dem Niederschlagsmesser im Lysimeter wird dieser erfasst

Im Winter ist bei Schneefall beim Lysimeter mit einem grösseren Messfehler infolge der Ausbildung von Schneebrücken zwischen dem Lysimeter und seiner Umgebung zu rechnen.

Das Niederschlagsmaximum des Zeitraumes 1976–2005 befindet sich bei beiden Messmethoden im Juni. Auch der Jahresgang ist ansonsten vergleichbar. Das Niederschlagsminimum bei der Lysimetermessung ist allerdings im Oktober und bei der Standardmessung im Februar.

Im Jahr 2003 sind die relativen Beziehungen innerhalb einer Messmethode durch das Jahr hinweg etwa die gleichen. Am meisten Niederschlag verzeichnet der Oktober 2003 für den Lysimeter- wie auch für den Standardniederschlag. Aus den Lysimetermessungen ergibt sich der geringste Niederschlag im September, dem Standardniederschlagsmesser zufolge ist dieser im Februar gefallen.



Abb. 6: Vergleich der Jahresgänge des Lysimeter- und des Standardniederschlages im Beobachtungszeitraum 1976–2005 und im Jahr 2003 Seasonal cycle of the lysimeter precipitation in comparison with the precipitation measured with the standard method in the observation period 1976–2005 and in the year 2003

In Abbildung 6 zeigt sich nochmals - wie schon in Abbildung 3 - der ausgebliebene Niederschlag im Jahr 2003, welcher den Mittelwerten der Gesamtperiode zufolge erwartet werden konnte. Vor allem in den Monaten Februar, März, Juni, August und September beträgt der Niederschlag 2003 nur etwa die Hälfte des von 1976 bis 2005 gemittelten Wertes.

In Tabelle 3 ist die Differenz zwischen den mit den zwei verschiedenen Methoden gemessenen mittleren monatlichen Niederschlagssummen im Zeitraum 1976–2005 aufgelistet. Die Abweichungen sind stets positiv, was die bereits erwähnten tieferen Standardniederschlags-Messungen bestätigt. Dabei wird hier deutlich, dass im Winter die Differenz zwischen Lysimeter und Standard sehr viel grösser ist als im Sommer. Die mittlere Abweichung in den Wintermonaten (DJF) beträgt 23.2 % pro Monat. In den Sommermonaten (JJA) steht die mittlere Abweichung bei 0.7 % pro Monat. Während also im Winter das Lysimeter fast 1.25-mal soviel Niederschlag misst wie der Standardmesser, sind sich die Werte im Sommer sehr ähnlich.

Dies kann folgendermassen erklärt werden. Erstens sind im Winter die Windgeschwindigkeiten höher als im Sommer, was im Kapitel 3.3 noch erläutert wird. Folglich sind die Windfelddeformationen über der Öffnung des Niederschlagsmessers grösser und weniger Niederschlag fällt in den Niederschlagsmesser hinein. Zweitens fällt der meiste Niederschlag im Winter in Form von Schnee. Schneeflocken sind leichter als Regentropfen und werden deshalb vom Wind besser in horizontaler Richtung verteilt als Regentropfen. Dies führt ebenfalls zu grösseren Messfehlern. Der Vorteil des Lysimeters ist, dass der Niederschlag bodeneben mit einer viel grösseren Auffangfläche gemessen wird. Es entstehen sehr viel geringere Windfelddeformationen als beim Standardniederschlagsmesser (Gurtz et al., 2003). Andererseits entsteht aber auch im Winter ein grösserer Fehler bei der Gewichtsmessung im Lysimeter infolge der Ausbildung von Schneebrücken zwischen dem Lysimeter und der daran angrenzenden Fläche.

Tab. 3: Differenzen zwischen den mit den zwei verschiedenen Methoden gemessenen
monatlichen Niederschlagssummen (NLYSI = Lysimeter, NST = Standardmethode)
Differences between the monthly precipitation sums measured with the two different
methods (NLYSI = lysimeter, NST = standard method)

Monat / month	NLYSI - NST	Abweichung des NLYSI vom NST / deviation of NLYSI from NST
	[mm]	[%]
1	25.1	26.1
2	23.6	25.5
3	18.5	17.0
4	12.2	10.7
5	2.3	1.6
6	1.1	0.7
7	1.5	1.0
8	0.4	0.3
9	3.9	3.0
10	5.0	4.7
11	13.3	12.6
12	19.2	17.9

3.2 Lufttemperatur – Air temperature

3.2.1 Jahresmittelwerte – Mean annual air temperatures

Der Mittelwert der 30-jährigen Periode 1976-2005 liegt an der Station Büel leicht über 7°C. Die höchsten Jahresmittelwerte des betrachteten Zeitraumes weisen die Jahre 1994 und 2000 mit je 8.8 °C auf (siehe Abb. 7). Das Jahr 2003 folgt nach 2002 (8.5 °C) mit 8.4 °C zusammen mit dem Jahr 1992 auf Platz 4. Die tiefsten Jahresmittelwerte wurden in den Jahren 1978 und 1980 gemessen. Sie betrugen jeweils 4.8 °C.

Teilt man die Periode in zwei Zeiträume zu je 15 Jahren und betrachtet die Zeit von 1976 bis 1990 separat von der Zeitperiode 1991 bis 2005, so fällt auf, dass in den Jahren 1976–1990 der Mittelwert des Gesamtzeitraumes in 10 von den möglichen 15 Jahre unterschritten wurde, in den Jahren 1991–2005 hingegen nur gerade in zwei der möglichen 15 Jahre. Eine Erhöhung der Lufttemperatur im betrachteten Zeitraum ist also offensichtlich vorhanden.

Eine andere Möglichkeit, die Entwicklung der Lufttemperatur zu studieren, ist die Anzahl Tage pro Jahr mit einer mittleren Lufttemperatur unter 0 °C zu betrachten. Die meisten dieser Tage zeigt das Jahr 1981 (104 Tage), die wenigsten wurden 1994 verzeichnet (29 Tage). Das Jahr 2003 zählte 62 Tage mit einer mittleren negativen Lufttemperatur. Es liegt damit unter dem ermittelten Durchschnitt von 67 Tagen pro Jahr, fällt aber nicht erwähnenswert ab.



Abb. 7: Jahresmittelwerte der Lufttemperatur und Anzahl der Tage im Jahr mit mittlerer Lufttemperatur < 0 °C für den Beobachtungszeitraum 1976–2005 Mean annual air temperatures and number of days per year with mean air temperatures < 0 °C in the observation period 1976–2005

Teilt man nun den Beobachtungszeitraum wieder in zwei Hälften, so erkennt man, dass in der ersten Hälfte (1976–1990) in 11 Jahren überdurchschnittlich viele negative Tagestemperaturen erreicht wurden und in der zweiten Hälfte (1991–2005) nur in 4 Jahren. Die Anzahl Tage pro Jahr mit einer mittleren Lufttemperatur unter 0 °C zeigt eine deutlich abnehmende Tendenz.

3.2.2 Jahresgang – Seasonal cycle

Der in Abbildung 8 dargestellte Jahresgang der Lufttemperatur zeigt die typische Kurve mit einem Maximum im Juli (15.7 °C) und einem Minimum im Januar (-1.4 °C). Der Unterschied zwischen Maximum und Minimum beträgt also nur 17.1 °C, was auf ein ozeanisches, ausgeglichenes Klima schliessen lässt. Tatsächlich steht die Alpennordseite auch im Einflussgebiet der Westwinde, welche vom Atlantik her über das Rietholzbachgebiet hinwegwehen und wetterbestimmend sind.





3.2.3 Extreme Monats- und Tagesmittel sowie ihre prozentualen Verteilungen – Extreme monthly and daily values as well as their distribution by percentage

In Tabelle 4 erkennt man, dass der maximale Monatsmittelwert der gesamten 30 Jahre von 1976–2005 zweimal im Jahr 2003 erreicht wurde und zwar im Juni und im August mit 20.1 °C. Es handelt sich hierbei um die einzigen Monatsmittelwerte im Beobachtungszeitraum, welche eine höhere Temperatur als 20 °C erreichten. Über den gesamten Zeitraum gemittelt beträgt die Monatstemperatur im Juni 13.8 °C und im August 15.4 °C. Dies sind 6.3 °C bzw. 4.7 °C weniger als die im Jahr 2003 gemessenen Werte. Der tiefste Monats-Mittelwert wurde im Februar 1986 mit -7.5 °C registriert.

Zu erwähnen ist, dass, obwohl im Jahr 2003 im Juni und August Maximalwerte erzielt wurden, im Oktober wiederum die tiefste gemessene Temperatur des gesamten Beobachtungszeitraumes im Rietholzbachgebiet erreicht wurde. An insgesamt 10 Monaten des Jahres 2003 liegen die Werte über dem langjährigen Mittel, nur in zwei Monaten (Februar und Oktober) wird die Monatsdurchschnittstemperatur des gesamten Beobachtungszeitraumes unterschritten.

Während der 30 Jahre haben nur drei Monate ihre minimale Monatstemperatur in der zweiten Hälfte des Betrachtungszeitraumes (1991–2005) erreicht, hingegen registrierten neun Monate ihren Maximalwert in dieser zweiten Hälfte.

Tab. 4: Maximale, minimale und mittlere Monatsmittelwerte der Lufttemperatur im
Beobachtungszeitraum 1976–2005 und die Monatsmittelwerte des Jahres 2003
Maximum, minimum and mean monthly averages of the air temperature in the
observation period 1976–2005 and the mean monthly values of the vear 2003

· · · · · · · · · · · · · · · · · · ·									
Monat /	Jahr /	Maximal-	Monats-	Jahr /	Minimal-	Monats-	Monats-		
monun	year	wert /	milleiwert /	year	wert /	millerwert /	milleiwert /		
		maximum	mean		minimum	mean	mean		
		value	monthly value		value	monthly value	monthly value		
		1976–2005	2003		1976–2005	2003	1976–2005		
		[°C]	[°C]		[°C]	[°C]	[°C]		
1	1993	3	-0.9	1985	-7.1	-0.9	-1.4		
2	1990	4.6	-4.0	1986	-7.5	-4.0	-0.7		
3	1994	7.5	5.2	1987	-1.6	5.2	3.0		
4	1993	8.6	6.8	1980	2	6.8	5.7		
5	2001	13.5	12.8	1991	6.7	12.8	10.4		
6	2003	20.1	20.1	1980	10.8	20.1	13.8		
7	1983	19.6	17.6	1980	12	17.6	15.7		
8	2003	20.1	20.1	1976	11.7	20.1	15.4		
9	1987	14.8	12.5	1996	8.9	12.5	11.7		
10	2001	12.2	4.9	2003	4.9	4.9	8.1		
11	1994	6.7	4.8	1985	-0.6	4.8	2.5		
12	2000	3.3	0.2	1976	-5.4	0.2	-0.1		

Wird die Lufttemperatur in fünf Bereiche gegliedert, so erkennt man, dass im Mittel 79.5 % aller Temperaturen zwischen 0 °C und 20 °C liegen. Weniger als 2 % aller Tage weisen eine Tagesmitteltemperatur von mehr als 20 °C auf.

Ganz anders ist die prozentuale Verteilung im Jahre 2003. Zwar liegen auch hier 73.9 % aller Tage bei Temperaturen zwischen 0 °C und 20 °C, aber 9 % aller Tage des Jahres weisen gemittelte Tagestemperaturen von über 20 °C auf. Das sind reichlich 4.5-mal soviel, wie der Durchschnitt es angibt.

Distribution of the duty mean values of the differnper dutre							
Lufttemperatur /	19	76–2005	2003				
air temperature	prozentualer Anteil /	Anzahl Tage von / number of days from	prozentualer Anteil /	Anzahl Tage von / number of days from			
r - 1	percentage	10958	percentage	365			
> 20	1.9	209	9.0	33			
10 bis 20	36.0	3946	33.4	122			
0 bis 10	43.5	4769	40.5	148			
-10 bis 0	17.5	1919	16.2	59			
< -10	1.0	115	0.8	3			

 Tab. 5:
 Verteilung der Tagesmittelwerte der Lufttemperatur

 Distribution of the daily mean values of the air temperature

In Abbildung 9 wird die prozentuale Verteilung der Lufttemperaturen in Form einer Dauerlinie für den gesamten Beobachtungszeitraum und das Jahr 2003 grafisch dargestellt. Die Kurven stimmen nur im Bereich oberhalb von ca. 45 % gut überein, das Jahr 2003 zeigt einen deutlich höheren Prozentsatz an warmen Tagen. Während im Durchschnitt reichlich 5 % aller Tage Temperaturen über 18 °C aufweisen, wurden im Jahr 2003 für etwa 20 % aller Tage Temperaturen von 18 °C oder mehr registriert. In beiden Betrachtungszeiträumen, also in der Zeit von 1976–2005 sowie im Jahr 2003, wurden an etwa 20 % aller Tage Temperaturen von 0 °C oder weniger gemessen.



Abb. 9: Dauerlinie aller Tagesmittelwerte der Lufttemperatur von 1976–2005 und 2003 Duration curve of all daily mean values of the air temperature from 1976–2005 as well as from the year 2003

3.2.4 Sommer- und Winterhalbjahr – Summer and winter season

Die mittlere Sommertemperatur des Beobachtungszeitraumes beträgt 12.5 °C. Der Maximalwert wurde im Jahr 2003 mit 14.7 °C erreicht, der Minimalwert von 9.8 °C im Jahre 1978. Teilt man den Betrachtungszeitraum wieder in eine erste Hälfte, die von 1976 bis 1990 reicht, und eine zweite Hälfte, welche von 1991 bis 2005 dauert, so ist zu erkennen, dass in der ersten Hälfte der ermittelte Durchschnittswert zehnmal unterschritten, einmal genau erreicht und viermal überschritten wurde. In der zweiten Hälfte hingegen wurden zweimal unterdurchschnittliche, einmal durchschnittliche und zwölfmal überdurchschnittliche Sommermitteltemperaturen gemessen. Die mittlere Wintertemperatur des beobachteten Zeitraumes beträgt 1.5 °C. Hier wurden die wärmsten Winter 1994/1995 sowie 2001/2002 mit je 3.4 °C gemessen. Die kältesten Winter waren 1978/1979 und 1980/1981 mit -0.6 °C. Betrachtet man auch hier wieder die erste Hälfte des Beobachtungszeitraumes separat von der zweiten Hälfte, so zeigt sich, dass es in der ersten Hälfte 11 Jahre mit unterdurchschnittlichen und vier Jahre mit überdurchschnittlichen Temperaturen im Winterhalbjahr gab. In der zweiten Hälfte wurden ein unterdurchschnittlicher und 13 überdurchschnittliche Temperaturmittelwerte registriert. Eine Tendenz zur Erhöhung der Lufttemperatur liegt nahe. Dies unterstreichen auch die linearen Trendlinien, welche für das Sommer- wie das Winterhalbjahr eine deutlich steigende Tendenz anzeigen (siehe Abb. 10), wobei der Trend für Sommer und Winter etwa in der gleichen Grössenordnung liegt.



Abb. 10:Mittlere Sommer- und Winterlufttemperaturen vom Sommer 1976 bis zum Sommer 2005 Mean summer and winter air temperatures from the summer of 1976 to the summer of 2005

3.3 Windgeschwindigkeit – Wind velocity

3.3.1 Jahresmittelwerte – Mean annual values

Der Mittelwert der Jahreswindgeschwindigkeit im Zeitraum von 1976 bis 2005 beträgt 1.33 ms⁻¹. Der grösste Jahresmittelwert wurde 1982 mit 1.7 ms⁻¹ erreicht, der kleinste im Jahr 2003 mit 1.0 ms⁻¹ (Abb. 11).

Der höchste Tagesdurchschnittswert wurde im Jahr 1992 ermittelt. Er lag bei 10.2 ms⁻¹. Der kleinste maximale Tagesdurchschnittswert eines Jahres wurde wiederum im Jahr 2003 erreicht. Er beträgt 4.4 ms⁻¹. Der zweitkleinste maximale Tagesdurchschnittswert eines Jahres stammt aus dem Jahre 1989 und beträgt 5 ms⁻¹. Das sind 0.6 ms⁻¹ bzw. fast 14 % mehr als im Jahr 2003. Das Jahr 2003 ist das Jahr des Beobachtungszeitraumes, in dem am wenigsten Wind registriert wurde.

Betrachtet man nun für alle Jahre des Beobachtungszeitraumes die mittleren Windgeschwindigkeiten zusammen mit den Jahressummen des Niederschlages, so fallen in 21 von den 30 Jahren unterdurchschnittliche Windgeschwindigkeiten mit unterdurchschnittlichen Niederschlagssummen oder analog dazu überdurchschnittliche Windgeschwindigkeiten mit überdurchschnittlichen Niederschlagssummen zusammen. Dies hat damit zu tun, dass das Forschungsgebiet Rietholzbach wie auch die restliche nördliche Voralpenregion im Einfluss des Westwindes steht. Der vom Atlantik her kommende Wind bringt feuchte Luft und somit nicht selten Regen mit sich.

Die Windgeschwindigkeit zeigt im Beobachtungszeitraum eine leicht abnehmende Tendenz, wie dies in Abbildung 11 auch grafisch dargestellt wird.



Abb. 11Jahresmittelwerte und höchste Tagesmittelwerte der Windgeschwindigkeit im Beobachtungszeitraum 1976–2005 Mean annual wind velocities and highest daily mean values of the wind velocity in the observation period 1976–2005

3.3.2 Jahresgang – Seasonal cycle

Der Jahresgang der mittleren Windgeschwindigkeit (Abb. 12 und Tab. 6) zeigt eine Kurve mit einem Maximum im Januar bei 1.8 ms⁻¹ und einem Minimum im August bei 1.0 ms⁻¹. Die maximalen Stundenmittelwerte zeigen einen ähnlichen Verlauf wie die mittleren Windgeschwindigkeiten. Im Winter können Winde von der Polarfront her gut in die Voralpentäler vorstossen, was die höheren Windgeschwindigkeiten in den Wintermonaten verursacht. Im Sommer, wenn das Azorenhoch über dem Westatlantik der wetterbestimmende Faktor ist, prägen stabile Wetterlagen mit leichten Winden das Wettergeschehen in Mitteleuropa.

Das Jahr 2003 erreicht bzw. überschreitet im Januar und im Oktober die durchschnittlichen mittleren Windgeschwindigkeiten des gesamten Beobachtungszeitraumes, in den restlichen Monaten liegen die Werte des Jahres 2003 immer klar unter dem langjährigen Mittelwert. Speziell zu erwähnen sind in diesem Zusammenhang der Februar und der November 2003 mit durchschnittlichen Windgeschwindigkeiten von 0.9 ms⁻¹ bzw. 0.8 ms⁻¹, was nur 56 % bzw. 62 % des über den gesamten Beobachtungszeitraums ermittelten jeweiligen Monatsmittel-wertes entspricht.

Auch die grössten Stundenmittel des Jahres 2003 erreichen nie ähnlich hohe Werte wie in den anderen Jahren des Beobachtungszeitraumes. Hierzu ist noch anzufügen, dass im gesamten Zeitraum 1976–2005 nur in vier Monaten die grössten Stundendurchschnittswerte in den Jahren nach 1990 gemessen wurden.



Abb. 12Mittlere monatliche Windgeschwindigkeiten und grösste Stundenmittelwerte der Windgeschwindigkeit im Beobachtungszeitraum 1976–2005 und im Jahr 2003 Mean monthly wind speed and highest hourly mean values of the wind speed in the observation period 1976–2005 and in the year 2003

3.3.3 Extreme Monats-, Tages- und Stundenmittelwerte sowie ihre prozentuale Verteilung – Extreme monthly, daily and hourly mean values as well as their distribution by percentage

Die grössten mittleren monatlichen Windgeschwindigkeiten im Beobachtungszeitraum wurden im Januar mit 1.8 ms⁻¹ erreicht, die tiefsten im August mit 1.0 ms⁻¹. Verglichen mit diesen Werten und den Durchschnittswerten für die restlichen Monate zeichnet sich das Jahr 2003 als windarm ab. Die mittleren Monatswindgeschwindigkeiten im Jahr 2003 erreichten nur im Januar und Oktober den Durchschnittswert, in den anderen zehn Monaten blieben die Messwerte unter dem langjährigen Mittel.

Die nachfolgende Tabelle 6 stellt diesen Sachverhalt dar und zeigt ausserdem die höchsten und die tiefsten mittleren monatlichen Windgeschwindigkeiten des Zeitraumes 1976–2005.

Tab.	6:	Maximale, minimale und mittlere Monatsmittelwerte der Windgeschwindigkeit im
		Zeitraum 1976–2005 und mittlere Monatswindgeschwindigkeiten im Jahr 2003
		Maximum, minimum and mean monthly averages of the wind speed in the period
		1976–2005 and mean monthly values of the wind speed in the year 2003

Monat / month	Jahr / year	Maximal- wert / maximum value 1976–2005 [ms ⁻¹]	Monats- mittelwert / mean monthly value 2003 [ms ⁻¹]	Jahr / year	Minimal- wert / minimum value 1976–2005 [ms ⁻¹]	Monats- mittelwert / mean monthly value 2003 [ms ⁻¹]	Monats- mittelwert / mean monthly value 1976–2005 [ms ⁻¹]
1	1982	3.9	1.8	1997	0.4	1.8	1.8
2	1982	3.2	0.9	1986	0.5	0.9	1.6
3	1994	2.8	1.0	diverse Jahre	1.0	1.0	1.6
4	1985	2.0	1.1	diverse Jahre	1.0	1.1	1.4
5	1978, 1982	1.7	1.0	diverse Jahre	0.9	1.0	1.2
6	1985	1.7	0.9	1988, 2003	0.9	0.9	1.2
7	1980, 1998	1.5	0.8	1983, 2003	0.8	0.8	1.1
8	diverse Jahre	1.2	0.8	1976	0.7	0.8	1.0
9	1978	1.7	0.9	1982, 2002	0.7	0.9	1.1
10	1998	2.2	1.2	diverse Jahre	0.7	1.2	1.1
11	1977	2.9	0.8	1978, 1989	0.7	0.8	1.3
12	1993	3.5	1.3	1996	0.8	1.3	1.7

In Tabelle 7 werden die grössten Stundenmittel der Windgeschwindigkeit aus den Jahren von 1976 bis 2005 mit denjenigen aus dem Jahr 2003 verglichen. Wie die Tabelle 6 der Monatsmittelwerte widerspiegelt auch diese Darstellung die Tatsache, dass 2003 ein windarmes Jahr war.

Die höchsten Stundenmittelwerte des Jahres 2003 betragen zwischen 38 % (November) und 78 % (August) der grössten Stundenmittel des gesamten Beobachtungszeitraums.

In acht Monaten wurde das grösste Stundenmittel des Beobachtungszeitraums vor 1990 aufgezeichnet und in vier Monaten nach 1990.

Tab. 7: Maximale Stundenmittelwerte der Windgeschwindigkeit im Zeitraum 1976–2005 und im Jahr 2003

Monat / month	grösster Stundenmittelwert / highest hourly mean value 1976–2005	Jahr / year	grösster Stundenmittelwert / highest hourly mean value 2003
			[ms]
1	15.7	1982	8.8
2	12.2	1977	6
3	12.2	1992	6
4	10.6	1982	7.6
5	10.3	1978	5.3
6	8.5	1994	4.8
7	8.3	1977	5.3
8	8.1	1999	6.3
9	9.4	1990	5.4
10	11.9	1998	7.8
11	11.8	1976, 1984	4.5
12	14.0	1981	8.3

Maximum hourly mean values of the wind speed in the period 1976–2005 and in the year 2003

Unterteilt man die Windgeschwindigkeit in fünf Bereiche, zeigt sich, dass in dem beobachteten 30-jährigen Zeitraum von 1976–2005 in insgesamt 91.5 % aller Tage Windgeschwindigkeiten unter 3 ms⁻¹ gemessen wurden. Von den Tagen, an denen höhere Windgeschwindigkeiten erreicht wurden, verbleiben 6.6 % im Bereich von 3 ms⁻¹ bis 5 ms⁻¹ und 1.9 % im Bereich von 5 ms⁻¹ und mehr, wobei Windgeschwindigkeiten höher als 8 ms⁻¹ sehr selten sind. Nur gerade an neun Tagen während der 30 Jahre wurden solche Spitzenwindgeschwindigkeiten erreicht.

Im Jahr 2003 liegt der prozentuale Anteil der Tage mit Windgeschwindigkeiten unter 3 ms⁻¹ bei 96.7 %. Die restlichen 3.3 % wurden im Bereich 3 ms⁻¹ bis 5 ms⁻¹ gemessen. An keinem Tag des Jahres 2003 wurden im Rietholzbachgebiet Werte von mehr als 5 ms⁻¹ registriert. Im gesamten Beobachtungszeitraum wurden hier immerhin 1.9 % aller Tage gezählt.

Windgeschwin-	19 [.]	76–2005	2003				
digkeit / wind velocity [ms ⁻¹]	prozentualer Anteil / percentage	Anzahl Tage von / number of days from 10958	prozentualer Anteil / percentage	Anzahl Tage von / number of days from 365			
> 8	0.1	9	0	0			
5 bis 8	1.8	197	0	0			
3 bis 5	6.6	725	3.3	12			
1 bis 3	37.6	4123	32.6	119			
0 bis 1	53.9	5904	64.1	234			

Tab. 8: Verteilung der Tagesmittelwerte der WindgeschwindigkeitDistribution of the daily mean values of the wind speed

Die Dauerlinie in Abbildung 13 veranschaulicht nochmals die prozentuale Verteilung und verdeutlicht die geringeren Windgeschwindigkeiten des Jahres 2003 verglichen mit den durchschnittlichen Windgeschwindigkeiten des gesamten Zeitraumes von 1976 bis 2005.



Abb. 13: Dauerlinie der Tagesmittelwerte der Windgeschwindigkeit 1976–2005 und 2003 Duration curve of the daily mean values of the wind speed from 1976–2005 and in the year 2003

3.3.4 Sommer und Winterhalbjahr – Summer and winter season

Die Winterwindgeschwindigkeit gemittelt über die 30 Jahre beträgt 1.5 ms⁻¹. Die grösste mittlere Winterwindgeschwindigkeit wurde 1981/1982 mit 2.4 ms⁻¹ gemessen, die niedrigste erreichte der Winter 1995/1996 mit 1.0 ms⁻¹.

Im Sommer beträgt der Durchschnitt über den Beobachtungszeitraum 1.1 ms⁻¹. Der grösste Mittelwert ist aus den Messungen von 1998 (1.5 ms⁻¹) bestimmt worden. Die geringsten mittleren Sommerwindgeschwindigkeiten wurden in den Jahren 1976, 2003 und 2005 mit 0.9 ms⁻¹ erreicht.

Abbildung 14 verdeutlicht, dass im Winter im Mittel generell höhere Geschwindigkeiten gemessen werden als im Sommer. Ausserdem variieren die Windgeschwindigkeiten im Sommer weniger stark als im Winter. Im Sommer entspricht die geringste mittlere Windgeschwindigkeit 60 % der grössten mittleren Sommerwindgeschwindigkeit, während im Winterhalbjahr die geringste mittlere Windgeschwindigkeit nur 42 % der grössten mittleren Windgeschwindigkeit entspricht. Dabei handelt es sich nicht um einzelne extreme Werte während des Winterhalbjahres. Berechnet man den Durchschnitt der drei grössten und drei kleinsten mittleren Windgeschwindigkeiten des Winters sowie des Sommers im Beobachtungszeitraum und betrachtet nun nochmals die Unterschiede zwischen den Werten, so ergibt sich folgendes. Im Winter beträgt der Durchschnitt der drei grössten mittleren Windgeschwindigkeiten 2.1 ms⁻¹. Das Mittel der drei geringsten mittleren Windgeschwindigkeiten Jahre der drei geringsten mittleren Windgeschwindigkeiten Jahre der drei geringsten mittleren Windgeschwindigkeiten Jahre der drei geringsten mittleren Windgeschwindigkeiten 2.1 ms⁻¹. Das Mittel der drei geringsten mittleren Windgeschwindigkeiten Jahre der Jahre der drei windigsten Halbjahre 1.4 ms⁻¹. Das Mittel der drei windärmsten Jahre ergibt 0.9 ms⁻¹, was 64 % vom Höchstwert sind.

Die linearen Trendlinien zeigen in beiden Halbjahren eine abnehmende Tendenz der Windgeschwindigkeit. Diese ist für die Windgeschwindigkeiten im Winter sehr deutlich, im Sommer hingegen wesentlich geringer ausgeprägt.



Abb. 14: Mittlere Sommer- und Winterwindgeschwindigkeiten Sommer 1976 bis Sommer 2005 Mean summer and winter wind speed from summer 1976 to summer 2005

3.4 Relative Luftfeuchtigkeit – Relative air humidity

3.4.1 Jahresmittelwerte – Mean annual values

Der Jahresdurchschnitt der relativen Luftfeuchte im Zeitraum 1976–2005 im Rietholzbachgebiet beträgt 80.3 %. Der grösste Jahresmittelwert wurde 1987 mit 82.7 % gemessen, der kleinste durchschnittliche Jahreswert im Jahr 2003 mit 76.6 % relativer Luftfeuchtigkeit. Man könnte meinen, dass Jahre mit einer hohen relativen Feuchte auch regnerische Jahre waren. Dies ist aber nicht ohne weiteres der Fall. Vergleicht man die Niederschlagswerte aus Kapitel 3.1 mit den Werten der relativen Luftfeuchte, so stellt man fest, dass es nicht unbedingt einen Zusammenhang gibt. 1987 zeigt eine knapp unterdurchschnittliche Niederschlagssumme an. Das Jahre 1996 mit dem zweitgrössten gemessenen Wert der relativen Feuchte (82.4 %) im Beobachtungszeitraum war mit 1309 mm Niederschlag klar unter dem Durchschnitt von 1450 mm. Im Jahr 2003 hingegen wurden die tiefsten Feuchtewie auch Niederschlagswerte (1113.5 mm) registriert. Das Jahr 1998 mit dem zweitkleinsten Jahresdurchschnitt der relativen Feuchte (77.3 %) des gesamten betrachteten Zeitraumes zeigt auch eine unterdurchschnittliche Niederschlagssumme (1816 mm), wobei die relative Luftfeuchte ebenfall überdurchschnittliche 81.6 % aufweist.



Abb. 1*Sahresmittelwerte der relativen Luftfeuchtigkeit im Beobachtungszeitraum* 1976–2005 *Mean annual values of the relative air humidity in the observation period* 1976–2005

Es gibt also, wie man es erwarten würde, Jahre mit hohen Niederschlagswerten und hohen Luftfeuchtewerten sowie trockene Jahre mit tiefen relativen Feuchten. Allerdings gibt es auch Jahre mit hohen Feuchtewerten und unterdurchschnittlichen Niederschlagssummen oder umgekehrt Jahre, wo die Feuchte über dem langjährigen Mittel liegt und die Niederschlagssummen unterdurchschnittlich ausfielen. Nur in knapp der Hälfte des beobachteten Zeitraumes, nämlich in 14 Jahren, stimmten die beiden Messgrössen relative Luftfeuchte und Niederschlag im Bezug auf ihr jeweiliges langjähriges Mittel überein. Das heisst, dass nur in 14 der 30 Jahre hohe relative Luftfeuchtewerte und hohe Niederschlagswerte oder analog Betrachtet man zusätzlich als dritten Parameter noch die jahresdurchschnittliche Lufttemperatur, so kristallisiert sich immer noch kein eindeutiges Muster über den internen Zusammenhang der einzelnen Komponenten heraus. Was aber durch die ganzen 30 Jahre hinweg zu stimmen scheint, ist die Tatsache, dass bei überdurchschnittlicher Lufttemperatur und unterdurchschnittlichen Niederschlagswerten auch unterdurchschnittliche Luftfeuchtewerte registriert wurden. Ein eindeutiger Trend ist in der vorliegenden Messreihe der Luftfeuchte nicht zu erkennen.

3.4.2 Jahresgang – Seasonal cycle

Der mittlere Jahresgang der relativen Luftfeuchte (Abb. 16, Tab. 9) zeigt sein Minimum im April mit gemittelten 77.2 % und sein Maximum im November mit 83.7 %.

Das Jahr 2003 zeigt verglichen mit dem langjährigen Mittelwert in 4 Monaten überdurchschnittliche und in 8 Monaten unterdurchschnittliche Werte. Die 4 Monate mit den Feuchtewerten über dem Mittel sind alle im Winter oder im Herbst (Januar, Februar, Oktober, November).



Abb. 16*Iahresgang der relativen Luftfeuchtigkeit (Monatsmittelwerte) im Zeitraum* 1976–2005. *Ausserdem dargestellt sind die grössten und die kleinsten zwischen* 1976 *und 2005 beobachteten Monatsmittelwerte sowie die Monatsmittelwerte des Jahres* 2003

Seasonal cycle of the relative air humidity (monthly means) in the observation period 1976–2005. Also shown are the highest and the lowest monthly mean values observed between 1976 and 2005 as well as the monthly means of the year 2003

3.4.3 Extreme und mittlere Monats- und Tagesmittelwerte sowie ihre prozentuale Verteilung – Extreme and mean monthly and daily values as well as their distribution by percentage

Nachfolgende Tabelle 9 zeigt die maximalen, minimalen und mittleren Monats-Luftfeuchtewerte von 1976 bis 2005 sowie die mittleren Monats-Luftfeuchtewerte des Jahres 2003.

In 4 Monaten des Jahres 2003 wurden Minimalwerte der relativen Luftfeuchte registriert, nämlich im März und in den Sommermonaten Juni, Juli und August. In diesen Sommermonaten erreichten die Feuchtewerte nur gerade zwischen 83 % und 92 % des über die 30 Jahre gemittelten Wertes.

 Tab. 9: Maximale, minimale und mittlere Monatsmittelwerte der relativen Luftfeuchtigkeit im

 Zeitraum 1976–2005 sowie die Monatsmittelwerte des Jahres 2003

 Maximum, minimum and average monthly mean values of the relative air humidity in

 the time period 1976–2005 as well as the monthly mean values of the year 2003

Monat /	Jahr /	Maximal-	Monats-	Jahr /	Minimal-	Monats-	Monats-
month	year	wert /	mittelwert /	year	wert /	mittelwert /	mittelwert /
	-	maximum	mean	-	minimum	mean	mean
		value	monthly value		value	monthly value	monthly value
		1976–2005	2003		1976–2005	2003	1976–2005
		[%]	[%]		[%]	[%]	[%]
1	1996	93.4	83.8	1999	74.0	83.8	82.5
2	1986	85.9	82.6	1998	72.0	82.6	80.4
3	2001	84.2	69.3	2003	69.3	69.3	77.8
4	1989	82.5	71.0	1997	70.5	71.0	77.2
5	1994	82.5	76.5	1992	71.2	76.5	77.7
6	1990	82.4	69.3	2003	69.3	69.3	77.7
7	1987	81.6	72.2	2003	72.2	72.2	78.4
8	1996	84.1	65.8	2003	65.8	65.8	79.7
9	2002	87.1	78.3	1991	77.1	78.3	81.9
10	1993	89.1	85.9	1977	78.7	85.9	83.2
11	1993	90.1	83.8	1981	77.3	83.8	83.7
12	2002	89.6	81.3	1997	77.6	81.3	82.9

In Tabelle 10 ist die prozentuale Verteilung der Tagesmittelwerte der relativen Luftfeuchtigkeit zwischen 1976 und 2005 aufgelistet. In 90 % aller Fälle befindet sich im langjährigen Mittel die Luftfeuchtigkeit zwischen 70 % und 95 %, im Jahr 2003 fallen nur gerade gut 70 % in diese Kategorie.

27.4 % aller Tage im Jahr 2003 registrierten eine relative Feuchte kleiner als 70 %. Verglichen mit dem Durchschnittswert der Gesamtperiode sind dies fast 20 % mehr, von 1976 bis 2005 wurden nämlich 9.1 % aller Tage mit einer geringeren Luftfeuchte als 70 % gezählt.

 Tab. 10: Verteilung der Tagesmittelwerte der relativen Luftfeuchtigkeit

 Distribution of the daily mean values of the relative air humidity

relative Luftfeuchtigkeit / relative air humidity [%]	1976–2005		2003	
	prozentualer	Anzahl Tage von /	prozentualer	Anzahl Tage von /
	Anteil /	number of days from	Anteil /	number of days from
	percentage	10958	percentage	365
95 bis 100	1.5	160	0.8	3
85 bis 95	24.7	2705	29.9	109
70 bis 85	64.8	7103	41.9	153
50 bis 70	8.7	949	25.2	92
< 50	0.4	41	2.2	8

3.4.4 Sommer- und Winterhalbjahr – Summer and winter season

Wiederum betrachten wir die Sommermonate getrennt von den Wintermonaten (Abb. 17a). Dabei gilt wie bis anhin der Zeitraum von Mai bis Oktober als Sommer und die Monate November bis April als Winter. Der Jahresdurchschnittswert der relativen Feuchte im Sommer beträgt 79.8 %, im Winter 80.6 %. Ein wesentlicher Unterschied zwischen den beiden Halbjahren ist also nicht erkennbar. Es ist auch kein Trend auszumachen, weshalb hier auf die Trendlinien der Übersichtlichkeit wegen verzichtet wurde.





Dies hat damit zu tun, dass die relative Feuchte stärker im Frühling / Herbst ausgeprägt ist als im Sommer / Winter. Wir betrachten deshalb in Abbildung 17b den Sommer von März bis August und den Winter von September bis Februar.

Nach dieser Aufteilung beträgt der gemittelte Jahresdurchschnitt im Sommer 78.1 % und im Winter 82.4 %. Erwartungsgemäss sind im Winter die Feuchtewerte höher als im Sommer, da die Taupunktkurve bekanntlich eine Exponentialfunktion ist und deshalb bei tieferen Temperaturen, wie sie im Winter vorkommen, die Sättigungsgrenze schneller erreicht ist als bei höheren Temperaturen, wie dies im Sommer der Fall ist.

Der grösste mittlere Winter-Feuchtewert des gesamten Beobachtungszeitraumes wurde 1995/1996 mit 86.8 % gemessen, die kleinsten Winter-Werte wurden 1977/1978 und 1980/1981 mit je 80.0 % notiert. Die Superlative in den Sommermonaten des Zeitraumes 1976–2005 betragen 1988 hohe 81.1 % bzw. im Jahre 2003 nur 70.7 %.

Die Trends sind in dieser Abbildung 17b auch zu erkennen. Im Sommer ist eine abnehmende, im Winter ist eine zunehmende Tendenz der Luftfeuchte zu verzeichnen.



Abb. 17b: Mittlere relative Luftfeuchtigkeit der Monate März bis August und September bis Februar im Zeitraum vom Sommer 1976 bis zum Sommer 2005 Mean relative air humidity from March to August and from September to February in the time period from summer 1976 to summer 2005

3.5 Bodenfeuchte – Soil moisture

Die bodencharakteristische Kennwert der Feldkapazität beträgt im Messfeld Büel etwa 46.7 Volumenprozent, der Permanente Welkepunkt liegt etwa bei 25 %. Es kann von einer Porosität von über 60 % ausgegangen werden.

3.5.1 Jahresmittelwerte – Mean annual values

a) Im Lysimeter – In the lysimeter

Die grössten Schwankungen der Bodenfeuchtewerte findet man in den obersten 30 cm. Je weiter man in den Boden eindringt, desto ausgeglichener werden die Werte.

Die Jahresdurchschnittswerte (Abb. 18) in der Schicht 0-30 cm schwanken zwischen 40.0 % (2003) und 46.6 % (1997). Die Schicht 0-50 cm weist Werte zwischen 42.5 % (2003) und 47.7 % (2001) auf. In der tiefsten hier betrachteten Schicht (0-120 cm) bewegen sich die Messungen im Bereich zwischen 43.1 % (1994) und 45.9 % (2002).

Die Abnahme des Unterschiedes zwischen den gemessenen Extremwerten ist also recht deutlich. Während es bei 0-30 cm Tiefe um 6.6 % zwischen den Extremwerten schwankt, sind zwischen den Superlativen der 0-50 cm-Schicht nur noch 5.2 % und in 0-120 cm Tiefe noch 2.8 %.

Es ist nach diesen Messungen keine Reihenfolge der Feuchtewerte auszumachen. Es gibt also keine Schicht, welche immer einen höheren Bodenfeuchtewert aufweist als eine andere.



Abb. 18: Jahresmittelwerte der Bodenfeuchte im Lysimeter von 1994 bis 2005 Mean annual values of the soil moisture in the lysimeter from 1994 to 2005

b) Im Messprofil – In the measurement profile

In Abbildung 19 sind die Jahresmittelwerte der Bodenfeuchte im Messprofil während des Zeitraumes von 1994 bis 2005 dargestellt. Die Werte der Tiefe 0-30 cm schwanken zwischen 46.6 % (2003) und 51.1 % (2000). Die Bodenfeuchtewerte der Schicht von 0-50 cm bewegen sich im beobachteten Zeitintervall zwischen 45.7 % (2003) und 49.4 % (2000). Die tiefste hier betrachtete Schicht (0-120 cm) weist Werte zwischen 44.1 % (1994) und 48.2 % (2002) auf.

Die Differenzen der registrierten Maximalwerte zeigen anders als im Lysimeter keinen eindeutigen Zusammenhang mit der betrachteten Schichtdicke. Sie betragen für 0-30 cm 4.5 %, für 0-50 cm 3.7 % und für 0-120 cm 4.1 %.

Die Schicht 0-30 cm weist in jedem Jahr den höchsten jahresdurchschnittlichen Bodenfeuchtewert auf, während die Schicht 0-120 cm bis auf das Jahr 2003 stets den kleinsten Wert anzeigt. Im Jahr 2003 registrierte die Schicht 0-120 cm einen etwas höheren Wert (46.2 %) als die Schicht 0-50 cm (45.7 %), wobei die obersten 30 cm aber auch hier den grössten Wert (46.6 %) der drei betrachteten Schichten lieferten.



Abb. 19: Jahresmittelwerte der Bodenfeuchte im Messprofil von 1994 bis 2005 Mean annual values of the soil moisture in the measurement profile from 1994 to 2005

c) Vergleich der Jahresmittelwerte des Lysimeters und des Messprofils – Comparison of the mean annual values in the lysimeter and in the measurement profile

Da die beiden Messstandorte für die Bodenfeuchte – das Lysimeter und das Messprofil – dicht nebeneinander liegen, kann von gleichen klimatologischen Bedingungen ausgegangen werden. Unterschiede in der Feuchtecharakteristika beider Profile können deshalb daraus entstehen, dass sich zum einen die Bodeneigenschaften leicht unterscheiden und zum anderen das Lysimeter nur vertikal durch Versickerung ungehindert entwässert wird, während beim Messprofil ein bodeninnerer lateraler Zu- und Abfluss möglich ist und die vertikale Versickerung im Vergleich zum Lysimeter eher eingeschränkt sein kann. Das Messprofil weist deshalb konstant höhere Messwerte auf als das Lysimeter, wobei die Unterschiede bis zu 6.6 % wie in den Jahren 2003 und 2004 (für 0-30 cm Tiefe) betragen können.

Im Messprofil gilt mit Ausnahme des Jahres 2003 generell die Abnahme der Bodenfeuchte mit zunehmender Schichtdicke innerhalb eines Jahres. Im Lysimeter ist diese Tendenz zwar oft nachvollziehbar, die Messwerte aber zeigen diese Beobachtung nicht durchgehend.

Beiden Messreihen ist gemeinsam, dass die Werte mit zunehmender Dicke der betrachteten Bodenschicht ausgeglichener werden. Im Messprofil ist dies zwar viel weniger deutlich als in den Lysimeter-Daten, aber auch dort ist diese Beobachtung feststellbar.

3.5.2 Jahresgang – Seasonal cycle

a) Im Lysimeter – In the lysimeter

Der Jahresgang der Bodenfeuchte wird durch eine leicht geschwungene Kurve mit einem Maximum im Zeitraum zwischen Januar und Mai und einem Minimum im August beschrieben. Je dicker die betrachtete Bodenschicht ist, desto weniger ausgeprägt ist dieser Jahresgang erkennbar.

Die Unterschiede der Extremwerte sind in jeder betrachteten Schichtdicke im Winter deutlich kleiner als im Sommer. Mit zunehmender Tiefe nehmen die Differenzen zwischen dem Maximal- und dem Minimalwert klar ab.

Das Jahr 2003 zeigt anfangs noch Bodenfeuchtewerte über dem langjährigen Mittel. Sie sinken dann zu Beginn der zweiten Jahreshälfte auf den Tiefststand und weisen bis zum Jahresende die tiefsten je gemessenen Monatswerte der ganzen Reihe auf. Bei der Schicht 0-30 cm sowie 0-50 cm wird der Tiefststand erstmals im Juli erreicht und bei der Schicht 0-120 cm im August.

In den Abbildungen 20-22 sind für das Lysimeter die extremen und mittleren Monatsmittelwerte der Bodenfeuchte des Zeitraums 1994–2005 sowie die mittleren Bodenfeuchtewerte des Jahres 2003 grafisch dargestellt. All diese Erkenntnisse können auch aus der Abbildung 23 entnommen werden. Darin wird der kontinuierliche Jahresgang der Bodenfeuchte im Lysimeter alleine für den Tiefenbereich 0-50 cm dargestellt. Gezeigt werden einerseits die Tagesmittel der Jahre 1994 bis 2005, dann der Jahresgang des Jahres 2003 sowie zwei Kurven, welche die Extremwerte der Bodenfeuchtemessungen zwischen 1994 und 2005 definieren.



Abb. 20:Mittlere, maximale und minimale Monatsmittelwerte der Bodenfeuchte im Zeitraum 1994 bis 2005 sowie die Monatsmittelwerte des Jahres 2003 (Lysimeter, 0-30 cm) Mean, maximum and minimum monthly means of the soil moisture in the time period from 1994 to 2005 and the monthly means of the year 2003 (lysimeter, 0-30 cm)



Abb. 21:Mittlere, maximale und minimale Monatsmittelwerte der Bodenfeuchte im Zeitraum 1994 bis 2005 sowie die Monatsmittelwerte des Jahres 2003 (Lysimeter, 0-50 cm) Mean, maximum and minimum monthly means of the soil moisture in the time period from 1994 to 2005 and the monthly means of the year 2003 (lysimeter, 0-50 cm)



Abb. 22:Mittlere, maximale und minimale Monatsmittelwerte der Bodenfeuchte im Zeitraum 1994 bis 2005 sowie die Monatsmittelwerte des Jahres 2003 (lysimeter, 0-120 cm) Mean, maximum and minimum monthly means of the soil moisture in the time period from 1994 to 2005 and the monthly means of the year 2003 (lysimeter, 0-120 cm)


Abb. 23J:ahresverlauf der Bodenfeuchte (Tagesmittelwerte) im Lysimeter für den Tiefenbereich 0-50 cm. Dargestellt sind das Mittel der Jahre 1994–2005, die Tagesmittelwerte des Jahres 2003 sowie die zwischen 1994 und 2005 gemessenen extremen Tagesmittelwerte.

Seasonal cycle of the soil moisture (daily mean values) in the lysimeter between 0-50 cm depth. Shown are the average of the years 1994–2005, the daily mean values of the year 2003 as well as the extreme daily mean values observed between 1994 and 2005.

b) Im Messprofil – In the measurement profile

Die mittleren Bodenfeuchtewerte der Jahre 1994–2005 erreichen ihr Maximum im Zeitraum zwischen Januar und Juni und das Minimum im August. Die Unterschiede von den Monatsmaxima zu den Monatsminima sind im Sommer deutlich grösser als im Winter und in den oberen Bodenschichten ausgeprägter als in den unteren.

Im Jahr 2003 wurden für die Schichten 0-30 cm und 0-50 cm ab dem Juli bis zum Dezember die Monats-Tiefststände des gesamten Beobachtungszeitraumes gemessen. Für die Schicht 0-120 cm wurde nur im September ein Monats-Tiefststand erreicht.

In den folgenden drei Grafiken (Abb. 24-26) sind die Ergebnisse der Messreihen für den Beobachtungszeitraum 1994–2005 sowie für das Jahr 2003 dargestellt. All diese Erkenntnisse können auch aus der Abbildung 27 entnommen werden. Darin wird der kontinuierliche Jahresgang der Bodenfeuchte im Messprofil allein für den Tiefenbereich 0-50 cm dargestellt. Gezeigt wird einerseits das Mittel der Jahre 1994 bis 2005, dann der Jahresgang des Jahres 2003 sowie zwei Kurven, welche die Extremwerte der Bodenfeuchtemessungen zwischen 1994 und 2005 definieren. Nur im Messprofil stammen die tiefsten gemessenen Bodenfeuchten aus dem Jahre 2003.



Abb. 24:Mittlere, maximale und minimale Monatsmittelwerte der Bodenfeuchte im Zeitraum 1994 bis 2005 sowie die Monatsmittelwerte des Jahres 2003 (Messprofil, 0-30 cm) Mean, maximum and minimum monthly means of the soil moisture between 1994 and 2005 and the monthly means of the year 2003 (measurement profile, 0-30 cm)



Abb. 25:Mittlere, maximale und minimale Monatsmittelwerte der Bodenfeuchte im Zeitraum 1994 bis 2005 sowie die Monatsmittelwerte des Jahres 2003 (Messprofil, 0-50 cm) Mean, maximum and minimum monthly means of the soil moisture between 1994 and 2005 and the monthly means of the year 2003 (measurement profile, 0-50 cm)



Abb. 26: Mittlere, maximale und minimale Monatsmittelwerte der Bodenfeuchte im Zeitraum 1994 bis 2005 sowie die Monatsmittelwerte des Jahres 2003 (Messprofil, 0-120 cm) Mean, maximum and minimum monthly means of the soil moisture between 1994 and 2005 and the monthly means of the year 2003 (measurement profile, 0-120 cm)



Forschungsgebiet Rietholzbach, Jahresgang der Bodenfeuchte im Messprofil, Tiefenbereich 0-50 cm

Abb. 27: Jahresverlauf der Bodenfeuchte (Tagesmittelwerte) im Messprofil für den Tiefenbereich 0-50
cm. Dargestellt sind das Mittel der Jahre 1994–2005, die Tagesmittelwerte des Jahres 2003
s o w i ed i ez w i s c h e n1 9 9 4u n d2 0 0 5Seasonal cycle of the soil moisture (daily mean values) in the measurement profile between
0-50 cm depth. Shown are the average of the years 1994–2005, the daily mean values of the
year 2003 as well as the extreme daily mean values observed between 1994 and 2005.

c) Vergleich zwischen Lysimeter und Messprofil – Comparison of the lysimeter with the measurement profile

Die mittleren Bodenfeuchtewerte des Lysimeters und des Messprofils zeigen die gleiche Entwicklung. Der Jahresgang ist identisch, auch werden in beiden Profilen die Tiefststände des Jahres 2003 in den oberen Bodenschichten jeweils im selben Monat (Juli) erreicht. Die relative Beziehung zwischen den Werten ist also dieselbe, die absoluten Werte sind aber nicht identisch. Das Messprofil zeigt permanent höhere Bodenfeuchtewerte an als das Lysimeter, wobei die Unterschiede bis zu 6 % (Juni, 0-30 cm Tiefe) betragen können.





3.5.3 Spezifischer Jahresgang des Jahres 2004 – Seasonal cycle in the year 2004

Beim Vergleich des kontinuierlichen Jahresverlaufs der Bodenfeuchte im Jahr 2004 im Lysimeter (Abb. 28) und im Messprofil (Abb. 29) sind wiederum einige interessante Aspekte erkennbar. Wie schon in Kapitel 3.5.1.c) erwähnt, ist auch hier deutlich ersichtlich, dass die Bodenfeuchtewerte desto ausgeglichener sind, je grösser die betrachtete Bodenschichtdicke ist. Ebenfalls kann man aus dem Vergleich dieser beiden Graphiken wiederum erkennen, dass beim Messprofil generell um ungefähr 5 % höhere Bodenfeuchtewerte gemessen werden als beim Lysimeter infolge von Unterschieden in den Bodeneigenschaften auch in dieser

unmittelbaren Nachbarschaft dieser beiden Profile und der im Messprofil möglichen horizontalen Feuchteflüsse.

Eine weitere interessante Erkenntnis dabei ist die, dass die tiefer nach unten reichenden Bodenschichten eine grössere Bodenfeuchte haben als die sich weiter oben befindlichen und erst im Herbst 2004 die in anderen Jahren im Herbst übliche Angleichung der Feuchte in den einzelnen Schichten erfolgt. Die starke Austrocknung vor allem der oberen Bodenschichten im Sommer 2003 hat trotz ausreichender Niederschläge nicht zur vollen Auffeuchtung dieser Schichten im Herbst 2003 auf die Feldkapazitätswerte des Frühjahres 2003 geführt. Es ist anzunehmen, dass durch die starke Austrocknung der bodencharakteristische Wert der Feldkapazität und damit auch die Wasserspeicherkapazität des Bodens zeitweilig reduziert waren und erst im Herbst 2004 die ursprünglichen Werte, wie sie sich sonst in allen Jahren in der Regel im Herbst einstellen, erreicht wurden. Da dieses Verhalten nur in den Jahren 2003 und 2004 so eindeutig zu beobachten ist, ist dies als eine Folge des Trockensommers 2003 zu werten. Beim Messprofil hat sich dank des vorhandenen bodeninneren lateralen Zu- und Abflusses die übliche Abfolge wieder schneller eingestellt.



Abb. 29Iahresverlauf der Bodenfeuchte (Tagesmittelwerte) im Jahr 2004 in den verschiedenen Bodenschichten im Messprofil. Zum Vergleich sind ausserdem die Niederschlagstagessummen des Jahres 2004 dargestellt.
Seasonal cycle of the soil moisture (daily mean values) of the different soil layers in the measurement profile in the year 2004. For comparison also the daily sums of precipitation of the year 2004 are shown.

3.5.4 Extreme und mittlere Monats- und Tagesmittelwerte sowie ihre prozentuale Verteilung – Extreme and average monthly and daily means as well as their distribution by percentage

a) Im Lysimeter – In the lysimeter

Nachfolgend sind Tabellen der Monatsmittelwerte für den Zeitraum 1994–2005 sowie für das Jahr 2003 für jede betrachtete Bodenschicht, also für 0-30 cm, 0-50 cm und 0-120 cm, aufgelistet. Dazu sind die Dauerlinien der Bodenfeuchte dieser Schichten gezeichnet, um die Verteilung der Bodenfeuchtewerte zu veranschaulichen. Die Daten stammen aus den Messungen des Lysimeters.

<u>i) 0-30 cm</u>

Als erstes fällt auf, dass von Juli 2003 bis zum April 2004 durchgehend die tiefsten Monatsmittelwerte des gesamten Zeitraums von 1994 bis 2005 gemessen wurden. Nur die Minimalwerte der Monate Mai und Juni stammen aus früherer Zeit - nämlich aus dem Jahr 1998. Der Mittelwert des Monats August 2003 ist dabei der tiefste überhaupt gemessene Wert, die Bodenfeuchte betrug nur noch 28.8 %. Dieser Wert liegt in der Nähe des Permanenten Welkepunktes und beträgt nur noch 72 % des durchschnittlich gemessenen Wertes des Gesamtzeitraums (40.2 %).

Betrachtet man die Tabelle nun noch etwas genauer, so sieht man, dass der maximale Wert des Monats September (46.3 %) im Jahre 2002 erreicht wurde. Konsultiert man die Daten des Jahres 2002, so entdeckt man, dass diese ab dem Mai permanent über dem langjährigen Durchschnitt liegen. Vor allem die Werte des letzten Drittels im Jahr 2002 sind eher hoch. Der September hält - wie erwähnt - den Monats-Maximalwert des Beobachtungszeitraums, der Oktoberwert liegt bei 46.6 %, der Novemberwert bei 47.5 % und der des Dezembers bei 46.8 %. Die Werte von Oktober 2002 bis Dezember 2002 sind zwar keine Maximalwerte, sie liegen aber klar über dem errechneten Mittelwert. Auch Januar und Februar sowie der Mai 2003 waren noch über dem Durchschnittswert der Periode. Dann fielen die Werte aber rasant ab.

Tab. 11: Mittlere, maximale und minimale Monatsmittelwerte der Bodenfeuchte im Lysimeter
(0-30 cm) im Zeitraum 1994–2005 und die Monatsmittelwerte des Jahres 2003
Average, maximum and minimum monthly means of the soil moisture in the lysimeter
(0-30 cm) in the period 1994–2005 and the monthly means of the year 2003

Monat /	Jahr /	Maximal-	Monats-	Jahr /	Minimal-	Monats-	Monats-
month	year	wert /	mittelwert /	year	wert /	mittelwert /	mittelwert /
		maximum	mean monthly		minimum	mean monthly	mean monthly
		value	value		value	value	value
		1994–2005	2003		1994–2005	2003	1994–2005
		[%]	[%]		[%]	[%]	[%]
1	2001	48.2	47.1	2004	40	47.1	45.8
2	1997	49.2	47.2	2004	39.7	47.2	46.4
3	2001	49.9	44.9	2004	40.1	44.9	46.5
4	2001	50.4	45.0	2004	39.2	45.0	46.2
5	1999	48.9	46.8	1998	37.9	46.8	45.0
6	1997	49.9	42.0	1998	36.7	42.0	43.8
7	1997	50.1	31.1	2003	31.1	31.1	41.4
8	2005	45.9	28.8	2003	28.8	28.8	40.2
9	2002	46.3	33.4	2003	33.4	33.4	42.8
10	2000	47.3	37.8	2003	37.8	37.8	43.7
11	1996, 2000	48.0	38.2	2003	38.2	38.2	45.2
12	1996	48.6	38.7	2003	38.7	38.7	45.7

Nirgendwo schneiden sich die Dauerlinien des Jahres 2003 und der Periode 1994–2005 in Abbildung 30. Überall liegt die Kurve des Jahres 2003 unterhalb des langjährigen Mittels. Es sind im Jahr 2003 weniger Tage mit hohen und mehr Tage mit tiefen Bodenfeuchtewerten gezählt worden als dies im Durchschnitt zu erwarten ist. Der deutliche "Knick" in der 2003-Kurve liegt ungefähr bei 45 % der Anzahl Tage. Eine Bodenfeuchte von 40 % wurde im langjährigen Mittel von ca. 15 % der Tage unterschritten, da die dunkelblaue Kurve die Achsenlinie der 40 %-Bodenfeuchte bei etwa 85 % schneidet. Im Jahr 2003 wurden in 50 % aller Tage Bodenfeuchtewerte von weniger als 40 % gemessen.



Abb. 30Dauerlinie der Tagesmittelwerte der Bodenfeuchte im Lysimeter (0-30 cm) im Zeitraum von 1994 bis 2005 und im Jahr 2003 Duration curve of the daily mean values of the soil moisture in the lysimeter (0-30 cm) in the time period from 1994 to 2005 and in the year 2003

<u>ii) 0-50 cm</u>

Die Tabelle zeigt die gleiche Entwicklung wie diejenige für den Bereich 0-30 cm, wobei die Extremwerte etwas weniger vom Mittelwert abweichen.

Tab. 12: Maximale, minimale und mittlere Monatsmittelwerte der Bodenfeuchte im Lysimeter
(0-50 cm) im Zeitraum 1994–2005 und die Monatsmittelwerte des Jahres 2003
Maximum, minimum and average monthly means of the soil moisture in the lysimeter
(0-50 cm) in the period 1994–2005 and the monthly means of the year 2003

Monat /	Jahr /	Maximal-	Monats-	Jahr /	Minimal-	Monats-	Monats-
month	year	wert /	mittelwert /	year	wert /	mittelwert /	mittelwert /
		maximum	mean monthly		minimum	mean monthly	mean monthly
		value	value		value	value	value
		1994–2005	2003		1994–2005	2003	1994–2005
		[%]	[%]		[%]	[%]	[%]
1	2001	48.6	47.8	2004	41.6	47.8	45.7
2	2001	48.3	47.8	2004	41.3	47.8	46.1
3	2001	48.5	46.4	2004	41.6	46.4	46.1
4	2001	50.2	46.9	2004	41.2	46.9	46.3
5	2003	48.8	48.8	1998	40.1	48.8	45.9
6	2001	49.2	46.1	1998	39.5	46.1	45.5
7	1997	49.0	35.3	2003	35.3	35.3	43.7
8	2005	47.4	33.1	2003	33.3	33.3	42.9
9	2002	48.3	36.8	2003	36.8	36.8	44.5
10	2000	48.4	40.5	2003	40.5	40.5	44.9
11	2000	48.9	40.4	2003	40.4	40.4	45.6
12	2000	48.2	40.6	2003	40.6	40.6	45.8

Die Dauerlinie des Zeitraumes 1994–2005 und des Jahres 2003 stimmen bis etwa 40 % der Anzahl Tage gut überein (Abb. 31). Danach fällt die 2003-Kurve stark von der Durchschnittskurve ab, jedoch weniger stark als dies im Bereich 0-30 cm der Fall ist. Der Bodenfeuchtewert von 40 % wird im langjährigen Mittel in 8 % aller Tage unterschritten, im Jahr 2003 in 36 % aller Tage.





iii) 0-120 cm

Die Maximalwerte der Monate September bis Dezember wurden im Jahr 2002 gemessen, diejenigen des Januars, Februars, März und Mai registrierte man im Jahr 2003. Im selben Jahr wurden dann von August bis Dezember 2003 die Monats-Minimalwerte des Gesamtzeitraums 1994–2005 erreicht.

Diese Entwicklung von sehr hohen Bodenfeuchtewerten Ende des Jahres 2002 und Anfang des Jahres 2003 zu den minimalen Bodenfeuchtewerten Ende des Jahres 2003 und Anfang des Jahres 2004 zeigte sich bereits in den oberen Bodenschichten. In der hier betrachteten Schicht handelt es sich dabei aber um die ermittelten Extremwerte.

Die Dauerlinie der Bodenschicht 0-120 cm zeigt in Abbildung 32 zwei ähnliche Kurven. Der "Knick" der 2003-Kurve befindet sich etwa bei der 45 %-Marke der Anzahl Tage. Die 2003-Kurve fällt dort gegenüber der gemittelten Kurve etwas ab, aber nicht so stark wie in den beiden vorhergegangenen Dauerlinien der Schichten 0-30 cm und 0-50 cm.

Der Bodenfeuchtewert von 40 % wird im langjährigen Mittel in 2 % aller Tage unterschritten, im Jahr 2003 war dies in 6 % aller Tage der Fall.

Tab. 13: Maximale, minimale und mittlere Monatsmittelwerte der Bodenfeuchte im Lysimeter
(0-120 cm) im Zeitraum 1994–2005 und die Monatsmittelwerte des Jahres 2003
Maximum, minimum and average monthly means of the soil moisture in the lysimeter
(0-120 cm) in the period 1994–2005 and the monthly means of the year 2003

Monat /	Jahr /	Maximal-	Monats-	Jahr /	Minimal-	Monats-	Monats-
month	year	wert /	mittelwert /	year	wert /	mittelwert /	mittelwert /
		maximum	mean monthly		minimum	mean monthly	mean monthly
		value	value		value	value	value
		1994–2005	2003		1994–2005	2003	1994–2005
		[%]	[%]		[%]	[%]	[%]
1	2003	45.6	45.6	1996	42.7	45.6	43.9
2	2003	45.6	45.6	1996, 2004	42.5	45.6	44.1
3	2002, 2003	45.0	45.0	2004	42.7	45.0	44.0
4	2001	46.6	45.6	1996	42.6	45.6	44.6
5	2003	47.1	47.1	1998	41.4	47.1	44.8
6	2001	47.3	46.6	1998	41.8	46.6	45.2
7	1997	46.6	41.0	1994	40.6	41.0	44.5
8	2005	47.2	39.6	2003	39.8	39.6	44.2
9	2002	47.5	40.9	2003	40.9	40.9	44.7
10	2002	46.5	43.0	1997, 2003	43.0	43.0	44.5
11	2002	46.4	42.4	2003	42.4	42.4	44.5
12	2002	45.7	42.3	2003	42.3	42.3	44.2



Abb. 32:Dauerlinie der Tagesmittelwerte der Bodenfeuchte im Lysimeter (0-120 cm) im Zeitraum von 1994 bis 2005 und im Jahr 2003 Duration curve of the daily mean values of the soil moisture in the lysimeter (0-120 cm) in the time period from 1994 to 2005 and in the year 2003

iv) Prozentuale Verteilung

Die Feldkapazität (FK) des Untergrundes des Lysimeters liegt etwa bei 46.7 %.

Im langjährigen Mittel lagen die Bodenfeuchtewerte der obersten Bodenschicht (0-30 cm) in 34 % aller Tage über der FK, wobei davon 1.2 % aller Tage Werte höher als 51.7 % aufwiesen. Im Jahr 2003 lagen 12.4 % weniger, nämlich 21.6 % aller Tage im Bereich über der FK. Davon wurde an keinem Tag ein Wert über 51.7 % gemessen.

In den tieferen Bodenschichten wird ein etwas anderes Bild vermittelt. Hier liegt im Jahr 2003 ein höherer Prozentsatz aller Tage in den Bereichen über der FK als im durchschnittlich errechneten Wert der Periode. In der Schicht 0-50 cm haben 35 % aller Tage Werte > 46.7 %, im Jahr 2003 etwas mehr, nämlich 37.5 %. In der Bodenschicht 0-120 cm weisen 9.4 % aller Tage Werte über der FK auf, im Jahr 2003 waren es 12.1 %.

Distribution of the daily mean values of the soil moisture in the lysimeter in the period 1994–2005 and in the year 2003. The soil moisture corresponding to the field capacity is printed in bold letters.

Bodenfeuchte /	19	994—2005	2003		
soil moisture 0-30 cm [%]	prozentualer Anzahl Tage von / Anteil / number of days from percentage 4383		prozentualer Anteil / percentage	Anzahl Tage von / number of days from 365	
> 51.7	1.2	53	0.0	0	
46.7 bis 51.7	32.8	1437	21.6	79	
41.7 bis 46.7	43.8	1920	23.0	84	
36.7 bis 41.7	15.0	656	24.9	91	
< 36.7	7.2	317	30.4	111	

Bodenfeuchte /	19	994–2005	2003		
soil moisture 0-50 cm [%]	prozentualer Anzahl Tage von / Anteil / number of days from percentage 4383		prozentualer Anteil / percentage	Anzahl Tage von / number of days from 365	
> 51.7	0.4	17	0.0	0	
46.7 bis 51.7	34.6	1516	37.5	137	
41.7 bis 46.7	52.2	2287	15.1	55	
36.7 bis 41.7	9.5	418	28.5	104	
< 36.7	3.3	145	18.9	69	

Bodenfeuchte /	19	994—2005	2003		
soil moisture	prozentualer Anzahl Tage von /		prozentualer	Anzahl Tage von /	
0-120 cm	Anteil /	number of days from	Anteil /	number of days from	
[%]	percentage	4383	percentage	365	
> 51.7	0.0	0	0.0	0	
46.7 bis 51.7	9.4	411	12.1	44	
41.7 bis 46.7	84.3	3693	61.6	225	
36.7 bis 41.7	6.4	279	26.3	96	
< 36.7	0.0	0	0.0	0	

Der prozentuale Anteil Tage mit Bodenfeuchtewerten unter der FK in den Schichten 0-50 cm und 0-120 cm zeigt aber ein gleiches Bild wie die Schicht 0-30 cm. Für die Schicht 0-30 cm

Tab. 14:Verteilung der Tagesmittelwerte der Bodenfeuchte im Lysimeter im Zeitraum von 1994–2005 und im Jahr 2003. Die der Feldkapazität entsprechende Bodenfeuchte ist fett hervorgehoben.

liegen gemittelt über die gesamte Periode von 1994–2005 7.2 % aller Tage im Bereich unterhalb von 36.7 %, im Jahr 2003 zählen 30.4 % aller Tage zu dieser Gruppe. Für die Bodenschicht 0-120 cm sind im Jahr 2003 26.3 % der Tage mit Bodenfeuchtewerten < 41.7 % ermittelt worden, während der langjährige Durchschnitt 6.4 % beträgt.

Zusammengefasst sind also im Jahr 2003 im Vergleich mit dem 12-jährigen Mittel in allen Bodenschichten eine stark überhöhte Anzahl an Tagen mit geringer Bodenfeuchte registriert worden. Nur in der obersten Bodenschicht wurden aber auch weniger Tage mit einer sehr hohen Bodenfeuchte gemessen als dies im Mittel im Zeitraum von 1994 bis 2005 der Fall war. In den tieferen Bodenschichten entsprechen die Anzahl Tage des Jahres 2003 mit hoher Bodenfeuchte in etwa der erwarteten Anzahl oder übertreffen diese.

b) Im Messprofil – In the measurement profile

Nachfolgend sind in den Tabellen 15, 16 und 17 die Monatsmittelwerte der Bodenfeuchte für den Zeitraum 1994–2005 sowie für das Jahr 2003 für jede betrachtete Bodenschicht (0-30 cm, 0-50 cm und 0-120 cm Tiefe) aufgelistet. Dazu sind die Dauerlinien der Bodenfeuchte dieser Schichten gezeichnet, um die Verteilung der Bodenfeuchtewerte zu veranschaulichen. Die Daten stammen aus den Messungen im Messprofil.

<u>i) 0-30 cm</u>

Acht der zwölf Monats-Maximalwerte stammen aus der zweiten Hälfte der Periode 1994–2005. Davon ist derjenige vom Februar 2003 (52.8 %) 2.1 % über dem langjährigen Durchschnitt. Auch der Januar 2003 weist einen hohen Bodenfeuchtegehalt (52.6 %) auf. Dieser liegt nur 0.2 % unter dem im Jahr 2001 gemessenen Maximalwert.

Andererseits fällt die durchgehende Reihe der minimalen Monatswerte von Juli 2003 bis April 2004 auf. Im August 2003 wurde der kleinste je gemessene Wert von 34.8 % registriert.

Tab. 15: Maximale, minimale und mittlere Monatsmittelwerte der Bodenfeuchte im Messprofil (0-30 cm) im Zeitraum 1994–2005 und die Monatsmittelwerte des Jahres 2003 Maximum, minimum and average monthly means of the soil moisture in the measurement profile (0-30 cm) in the period 1994–2005 and the monthly means of the vear 2003

-	ine yeu	1 2005		r			
Monat /	Jahr /	Maximal-	Monats-	Jahr /	Minimal-	Monats-	Monats-
month	year	wert /	mittelwert /	year	wert /	mittelwert /	mittelwert /
		maximum	mean monthly		minimum	mean monthly	mean monthly
		value	value		value	value	value
		1994–2005	2003		1994–2005	2003	1994–2005
		[%]	[%]		[%]	[%]	[%]
1	2001	52.8	52.6	2004	46.7	52.6	50.0
2	2003	52.8	52.8	2004	46.8	52.8	50.7
3	2001	54.2	51.2	2004	47.0	51.2	51.0
4	2001	55.1	50.8	2004	46.1	50.8	50.8
5	1994	52.5	52.4	1998	40.1	52.4	49.7
6	1997	53.3	49.2	1998	40.7	49.2	49.0
7	1997	53.5	41.0	2003	41.0	41.0	47.6
8	2005	51.3	34.8	2003	34.8	34.8	46.2
9	2002	52.6	39.9	2003	39.9	39.9	48.1
10	2000	52.4	44.5	2003	44.5	44.5	48.7
11	2000	53.1	44.9	2003	44.9	44.9	50.0
12	1996	53.0	45.4	2003	45.4	45.4	50.3

In den Dauerlinien in Abbildung 33 stimmen bis zur 40 %-Marke der Anzahl Tage die Kurve des 12-jährigen Mittels und die Kurve des Jahres 2003 sehr gut überein. Ab der 40 %-Marke fällt dann die 2003-Kurve stark vom Kurs der gemittelten Kurve der Periode ab.

Die Bodenfeuchte von 45 % wurde im Jahr 2003 von 39 % aller Tage unterschritten. Im gemittelten Fall wurden 12 % aller Tage mit tieferen Bodenfeuchtewerten als 45 % gemessen.



Abb. 33 Dauerlinie der Tagesmittelwerte der Bodenfeuchte im Messprofil (0-30 cm) im Zeitraum von 1994 bis 2005 und im Jahr 2003 Duration curve of the daily mean values of the soil moisture in the measurement profile (0-30 cm) in the time period from 1994 to 2005 and in the year 2003

ii) 0-50 cm

Die nachfolgende Tabelle 16 zeigt ein sehr ähnliches Bild wie die vorhergehende Tabelle 15. In der hier betrachteten Schicht 0-50 cm wurden die Maximalwerte in den Monaten Januar, Februar und Mai im Jahr 2003 gemessen. Nur zwei Monate nach dem im Mai registrierten Maximalwert von 50.6 % wurde der Minimalwert des Julis von 41.6 % ermittelt. Ab dem Juli 2003 wurden dann ebenfalls wie in der Schicht 0-30 cm durchgehend bis zum April 2004 die tiefsten Werte der gesamten Periode registriert. Nur drei Monats-Maximalwerte (Juni: 51.1 %, Juli: 51.3 %, Dezember: 50.2 %) stammen aus der ersten Hälfte des Beobachtungszeitraumes. Die Dauerlinie der Tagesmittelwerte der Bodenfeuchte der Schicht 0-50 cm in Abbildung 33 ist der Dauerlinie in Abbildung 32 sehr ähnlich. In Abbildung 33 ist der Unterschied zwischen der 2003-Kurve und der Kurve der Gesamtperiode etwas kleiner.

Die 45 %-Bodenfeuchte-Marke wird im langjährigen Mittel in 14 % aller Tage unterschritten, im Jahr 2003 war dies in 46 % aller Tage der Fall.

Tab. 16: Maximale, minimale und mittlere Monatsmittelwerte der Bodenfeuchte im Messprofil (0-50 cm) im Zeitraum 1994–2005 und die Monatsmittelwerte des Jahres 2003 Maximum, minimum and average monthly means of the soil moisture in the measurement profile (0-50 cm) in the period 1994–2005 and the monthly means of the vear 2003

Monat /	Jahr /	Maximal-	Monats-	Jahr /	Minimal-	Monats-	Monats-
month	year	wert /	mittelwert /	year	wert /	mittelwert /	mittelwert /
		maximum	mean monthly		minimum	mean monthly	mean monthly
		value	value		value	value	value
		1994–2005	2003		1994–2005	2003	1994–2005
		[%]	[%]		[%]	[%]	[%]
1	2001,	50.2	50.2	2004	45.4	50.2	48.0
-	2003						
2	2003	50.2	50.2	2004	45.4	50.2	48.4
3	2001	50.1	49.2	2004	45.7	49.2	48.6
4	2001	52.0	49.1	2004	45.1	49.1	48.7
5	2003	50.6	50.6	1998	41.5	50.6	48.1
6	1997	51.1	48.7	1998	41.9	48.7	47.9
7	1997	51.3	41.6	2003	41.6	41.6	46.9
8	2005	49.6	36.4	2003	36.4	36.4	45.9
9	2002	50.9	40.4	2003	40.4	40.4	47.2
10	2000	50.5	44.2	2003	44.2	44.2	47.5
11	2000	50.7	44.3	2003	44.3	44.3	48.2
12	1996	50.2	44.6	2003	44.6	44.6	48.3



Abb. 34 Dauerlinie der Tagesmittelwerte der Bodenfeuchte im Messprofil (0-50 cm) im Zeitraum von 1994 bis 2005 und im Jahr 2003 Duration curve of the daily mean values of the soil moisture in the measurement profile (0-50 cm) in the time period from 1994 to 2005 and in the year 2003

iii) 0-120 cm

In der Bodenschicht 0-120 cm wurden alle Maximalwerte in der zweiten Hälfte des Beobachtungszeitraums 1994–2005 erreicht.

In der ersten Hälfte des Jahres 2003 registrierten alle Monate mit Ausnahme des Aprils einen Maximalwert des gesamten Beobachtungszeitraumes. Ein Jahr früher, im Jahr 2002, wurden in der zweiten Jahreshälfte zwei Maximalwerte erreicht. Man kann also von einer lückenhaften Serie der Maximalwerte von September 2002 bis Juni 2003 sprechen, da in dieser Zeit nur in drei Monaten der Maximalwert weder im Jahr 2002 noch im Jahr 2003 erreicht wurde.

Bei den Minimalwerten existiert keine Serie wie in den Bodenschichten 0-30 cm und 0-50 cm. Nur der September 2003 erreicht den Monats-Minimalwert von 42.7 %. In neun der möglichen zwölf Monate wurden in den ersten drei Jahren der Messreihe, also 1994–1996, die Minimalwerte erreicht.

Erkundigt man sich nun nach den Niederschlagswerten, so erkennt man, dass die Jahre 2001 und 2002 sehr nasse Jahre waren. Es braucht seine Zeit bis diese Feuchtigkeit in den Boden eingedrungen ist, die tiefste Schicht reagiert also am trägsten, die oberste Schicht am schnellsten auf die äusseren Einflüsse. Je tiefer die betrachtete Bodenschicht liegt, desto eher werden vergangene Wettersituationen widergespiegelt. Dies kommt in Tabelle 17 sehr schön zum Ausdruck. Das weder im Jahr 2004 noch im Jahr 2005 Minimalwerte in Reaktion auf den Trockensommer 2003 erreicht wurden, könnte daran liegen, dass diese tiefe Schicht so träge reagiert, dass für eine Serie an Minimalwerten zwei aufeinander folgende trockene Jahre nötig wären - analog zu den Maximalwerten, wo die Jahre 2001 und 2002 sehr verregnete Jahre waren und dann diese Feuchte erst in den Jahren 2003 und 2004 in die tiefe Bodenschicht eingedrungen ist.

Tab.	17: Maximale, minimale und mittlere Monatsmittelwerte der Bodenfeuchte im Messprofil
	(0-120 cm) im Zeitraum 1994–2005 und die Monatsmittelwerte des Jahres 2003
	Maximum, minimum and average monthly means of the soil moisture in the
	measurement profile (0-120 cm) in the period 1994–2005 and the monthly means of
	the year 2003

			1				
Monat /	Jahr /	Maximal-	Monats-	Jahr /	Minimal-	Monats-	Monats-
month	year	wert /	mittelwert /	year	wert /	mittelwert /	mittelwert /
		maximum	mean monthly		minimum	mean monthly	mean monthly
		value	value		value	value	value
		1994–2005	2003		1994–2005	2003	1994–2005
		[%]	[%]		[%]	[%]	[%]
1	2003	48.3	48.3	1996	44.3	48.3	46.1
2	2003	48.2	48.2	1996	43.6	48.2	46.2
з	2000,	47.7	47.7	100/	11 5	47.7	46.1
5	2003	77.7	77.7	1004	77.5	77.7	40.1
4	2001	49.0	47.9	1995	43.9	47.9	46.6
5	2003	49.3	49.3	1998	43.4	49.3	46.7
6	2003	49.0	49.0	1998	44.0	49.0	47.0
7	2000	49.2	44.9	1994	41.9	44.9	46.6
8	2005	49.0	41.7	1994	41.4	41.7	46.2
9	2002	50.1	42.7	2003	42.7	42.7	46.8
10	2000	49.2	45.4	1995	43.3	45.4	46.6
11	2000	48.9	45.1	1994	44.2	45.1	46.8
12	2002	48.3	45.0	1994	44.4	45.0	46.6

In Abbildung 35 ist die Dauerlinie der Tagesmittelwerte der Bodenfeuchte für die Schicht 0-120 cm gezeichnet. Die 2003-Kurve und die Kurve des Gesamtzeitraumes überlappen sich

gut. Für Bodenfeuchten oberhalb von 47 % ist die 2003-Kurve leicht über der Durchschnitts-Kurve, bei geringeren Bodenfeuchten dann unterhalb der Durchschnitts-Kurve.



Abb. 35:Dauerlinie der Tagesmittelwerte der Bodenfeuchte im Messprofil (0-120 cm) im Zeitraum von 1994 bis 2005 und im Jahr 2003 Duration curve of the daily mean values of the soil moisture in the measurement profile (0-120 cm) in the time period from 1994 to 2005 and in the year 2003

iv) Prozentuale Verteilung

Betrachten wir zuerst die Bodenschicht 0-30 cm (Tabelle 18). Im 12-jährigen Mittel weisen 81 % aller Tage einen Bodenfeuchtewert über der FK von 46.7 % auf. Davon lagen 27.2 % im Bereich > 51.7 %. Im Jahr 2003 sind in 50.2 % aller Tage Werte höher als die FK erreicht worden. Der Anteil der Werte > 51.7 % ist mit 31 % ähnlich wie im Gesamtmittel. Das heisst, dass die ca. 30 % der Tage im Jahr 2003, welche verglichen mit dem Durchschnitt der Periode bei den Werten über der FK fehlen, nicht in den extrem hohen Werten, sondern in den Werten, welche leicht über der FK liegen, vermisst werden. Bei den tiefen Bodenfeuchtewerten unterscheiden sich die prozentualen Anteile auch. Von 1994 bis 2005 sind nur 1.6 % aller Tage im Bereich < 36.7 %, im Jahr 2003 sind es 8.5 %.

Die Bodenschicht 0-50 cm zeigt ein ähnliches, nur weniger extremes Bild als die Schicht 0-30 cm. Im Beobachtungszeitraum lagen 74.5 % aller Tage über der FK, im Jahr 2003 waren es 46.9 %. Im 12-jährigen Mittel wurden 0.9 % aller Tage mit Werten < 36.7 % registriert, im Jahr 2003 waren es 5.5 %.

Betrachtet man die Schicht 0-120 cm, so erscheint das Jahr 2003 als ein sehr durchschnittliches Jahr. Es gibt keine erwähnenswerten Abweichungen des gemittelten Wertes über die Periode von den Prozentzahlen des Jahres 2003.

Tab. 18. Verteilung der Tagesmittelwerte der Bodenfeuchte im Messprofil im Zeitraum 1994–2005 und im Jahr 2003. Die der Feldkapazität entsprechende Bodenfeuchte ist fett hervorgehoben.

Distribution of the daily mean values of the soil moisture in the measurement profile in the period 1994–2005 and in the year 2003. The soil moisture corresponding to the field capacity is printed in bold letters.

Bodenfeuchte /	19	994–2005	2003		
soil moisture	prozentualer	Anzahl Tage von /	prozentualer	Anzahl Tage von /	
0-30 cm	Anteil /	number of days from	Anteil /	number of days from	
[%]	percentage	4383	percentage	365	
> 51.7	27.2	1194	31.0	113	
46.7 bis 51.7	53.8	2359	19.2	70	
41.7 bis 46.7	13.8	607	31.2	114	
36.7 bis 41.7	3.5	153	10.1	37	
< 36.7	1.6	70	8.5	31	

Bodenfeuchte /	19	994–2005	2003		
soil moisture	prozentualer	Anzahl Tage von /	prozentualer	Anzahl Tage von /	
0-50 cm	Anteil /	number of days from	Anteil /	number of days from	
[%]	percentage	entage 4383		365	
> 51.7	3.9	169	4.4	16	
46.7 bis 51.7	70.6	3095	42.5	155	
41.7 bis 46.7	21.6	948	34.2	125	
36.7 bis 41.7	3.0	132	13.4	49	
< 36.7	0.9	39	5.5	20	

Bodenfeuchte /	19	994–2005	2003		
soil moisture	prozentualer	Anzahl Tage von /	prozentualer	Anzahl Tage von /	
0-120 cm	Anteil /	number of days from	Anteil /	number of days from	
[%]	percentage	4383	percentage	365	
> 51.7	0.0	2	0.0	0	
46.7 bis 51.7	49.6	2175	47.7	174	
41.7 bis 46.7	48.4	2122	47.4	173	
36.7 bis 41.7	1.9	84	4.9	18	
< 36.7	0.0	0	0.0	0	

c) Vergleich zwischen Lysimeter und Messprofil – Comparison of the lysimeter with the measurement profile

Die Absolutwerte sind sehr unterschiedlich. Das Messprofil weist permanent höhere Werte auf als das Lysimeter. Deshalb wird bei den Messungen des Messprofils die Feldkapazität viel weniger häufig unterschritten als bei den Messungen des Lysimeters. Diese Differenzen entstehen durch Abweichungen in den Bodenarten. Obwohl das Messprofil direkt neben dem Lysimeter steht, können kleine Unterschiede der Bodenarten schon entscheidend sein. Man kann also davon ausgehen, dass die Feldkapazität im Messprofil höher ist als im Lysimeter. Ausserdem ist das Lysimeter ein in sich abgeschlossenes System. Laterale Flüsse von Wasser und Wärme sind dort unterbunden, im Messprofil hingegen möglich. Auch dies ist ein Grund für die unterschiedlichen Werte.

Trotzdem sind die grundsätzlichen Aussagen der Daten des Lysimeters und des Messprofils identisch, da die internen Relationen die gleichen sind. Je tiefer die betrachtete Bodenschicht ist, desto träger reagiert sie auf äussere Einflüsse und desto ausgeglichener sind die Werte. Das ist der Grund weshalb sich mit zunehmender Tiefe die Dauerlinie des langjährigen Mittels und die Dauerlinie des Jahres 2003 aneinander annähern. Die oberen Bodenschichten an beiden Messstandorten zeigen, dass das Jahr 2003 ein spezielles Jahr war. Die Bodenfeuchtewerte weisen ab Juli 2003 die kleinsten je gemessenen Werte des gesamten Zeitraumes auf und erholen sich nicht mehr bis zum April 2004. Bei den tieferen Schichten ist dies nicht so deutlich erkennbar, da in den vorangegangenen Jahren überdurchschnittlich viel Niederschlag gefallen war und die tieferen Schichten deshalb noch genügend Feuchtigkeit gespeichert hatten.

3.5.5 Sommer- und Winterhalbjahr – Summer and winter season

In den Abbildungen 35, 36 und 37 sind - aufgeteilt nach den unterschiedlichen Schichtdicken - die mittleren Sommer- und Winter-Bodenfeuchten zu sehen. Dabei stehen die Werte des Lysimeters und des Messprofils im direkten Vergleich.

Die Bodenfeuchte des Messprofils ist durchgehend höher als die analog dazu registrierten Werte des Lysimeters. Die Unterschiede zwischen den beiden Messstandorten variieren teilweise sehr stark, wobei im Winter die Unterschiede meist kleiner sind als im Sommer.

Alle Daten befinden sich im Wertebereich zwischen 35 % und 54 %. Je dünner eine Schicht ist bzw. je näher an der Erdoberfläche sie sich befindet, desto deutlicher sind die Differenzen. Je tiefer die betrachtete Bodenschicht wird, desto ausgeglichener werden die Werte in Bezug auf ihren Messstandort (Lysimeter oder Messprofil) und den Zeitpunkt der Messung (Sommer oder Winter).

Allgemein ist die Bodenfeuchte im Winterhalbjahr stets höher als im vorangegangenen Sommer. Die einzigen Ausnahmen von dieser Regel sind in der tiefsten hier betrachteten Schicht (0-120 cm) zu finden.











Abb. 37Mittlere Sommer- und Winter-Bodenfeuchten im Lysimeter und im Messprofil (0-50 cm) im Zeitraum vom Sommer 1994 bis zum Sommer 2005 Mean summer and winter soil moisture in the lysimeter and in the measurement profile (0-50 cm) in the time period from summer 1994 to summer 2005



Abb. 38Mittlere Sommer- und Winter-Bodenfeuchten im Lysimeter und im Messprofil (0-120 cm) im Zeitraum vom Sommer 1994 bis zum Sommer 2005 Mean summer and winter soil moisture in the lysimeter and in the measurement profile (0-120 cm) in the time period from summer 1994 to summer 2005

3.6 Globalstrahlung – Global radiation

3.6.1 Jahresmittelwerte – Mean annual values

Der Mittelwert der Globalstrahlung im Rietholzbachgebiet beträgt in dem hier betrachteten zwölfjährigen Zeitraum von 1994 bis 2005 126.1 Wm⁻². Die einzelnen Jahresmittelwerte bewegen sich zwischen 120.2 Wm⁻² (1999) und 140.6 Wm⁻² (2003). Der im Jahre 2003 gemessene Wert ragt dabei stark hervor. Es ist in dem untersuchten Zeitraum eine Zunahme der Globalstrahlung zu verzeichnen.

Ein entscheidender Faktor für die Globalstrahlung ist der Bewölkungsgrad. 1997 und 2003 zeigen klar überdurchschnittliche Globalstrahlungswerte, in beiden Jahren wurde auch eine klar unterdurchschnittliche Niederschlagsmenge erreicht. Analog dazu wurden in den Jahren 1994 und 1999 deutlich unterdurchschnittliche Globalstrahlungswerte und überdurchschnittliche Niederschlagsmengen registriert.



Abb. 39: Jahresmittelwerte der Globalstrahlung im Beobachtungszeitraum von 1994–2005 Mean annual values of the global radiation in the observation period 1994–2005

3.6.2 Jahresgang – Seasonal cycle

In nachfolgender Abbildung 40 ist der Jahresgang sehr deutlich erkennbar. Die Werte nehmen vom Winter zum Sommer hin stetig zu und danach wieder stetig ab. Das Maximum verzeichnet der Juni mit durchschnittlich 224.1 Wm⁻², das Minimum wird im Dezember mit 31.2 Wm⁻² erreicht. Der grösste Sprung zwischen den Monatsmittelwerten des gesamten Beobachtungszeitraumes erfolgt von August zu September. Im August, welcher nach meteorologischem Kalender als letzter Sommermonat gilt, werden noch 187.5 Wm⁻² erreicht, im September beträgt der Mittelwert noch 131.4 Wm⁻².

Das Jahr 2003 weist in den Monaten Januar, Mai und Oktober unterdurchschnittliche Werte auf. In allen anderen Monaten liegen die Globalstrahlungswerte teilweise sehr deutlich über dem Durchschnittswert des Gesamtzeitraums.





3.6.3 Extreme und mittlere Monats- und Tagesmittelwerte sowie ihre prozentuale Verteilung – Extreme and average monthly and daily means as well as their distribution by percentage

In nachstehender Tabelle 19 folgt die Auflistung der minimalen, maximalen und mittleren Monatsmittelwerte des Beobachtungszeitraumes 1994–2005 sowie des Jahres 2003.

Der höchste Monatsmittelwert des Beobachtungszeitraumes ist im Juni, der kleinste Mittelwert ein halbes Jahr später im Dezember registriert. Auf der Nordhalbkugel ist der 21. Juni der längste Tag, der 21. Dezember der kürzeste. Im Juni scheint die Sonne also sehr viel länger als im Dezember, was der Hauptgrund für den grossen Unterschied von 193 Wm⁻² zwischen den beiden Monaten ist.

Der kleinste Monatsmittelwert zwischen 1994 und 2005 wurde im Dezember 2002 mit 21.3 Wm⁻² gemessen. Die Minimalwerte sind gut über den betrachteten Zeitraum verteilt. In keinem Jahr wurden mehr als zwei der tiefsten Monatsmittelwerte registriert. Kein Jahr fällt also in dieser Hinsicht besonders auf.

Bei den Maximalwerten verhält sich das etwas anders. Das Jahr 2003 sticht klar aus der Tabelle hervor. In sechs Monaten wurde ein Maximalwert erreicht. Davon sind zwei im Winter (Februar, Dezember), einer im Frühling (März), zwei im Sommer (Juni, August) und einer im Herbst (November). Das absolute Maximum erreichte der Juni mit 276.0 Wm⁻², was 123 % des Monatsmittelwertes des Gesamtzeitraumes entspricht.

Vergleicht man diese sechs Monate des Jahres 2003, in denen die höchsten Monatsmittelwerte der Globalstrahlung gemessen wurden, mit den Extremwerten des Niederschlages, so ist nur im Juni der Minimalwert des Niederschlages mit dem Maximalwert der Globalstrahlung korreliert. Es ist schwierig, daraus eine klare Schlussfolgerung zu ziehen, da der Niederschlag seit 1976 gemessen wird und für die erste Hälfte des Beobachtungszeitraumes leider keine verlässlichen Globalstrahlungsdaten zur Verfügung stehen. Es ist gut möglich, dass in den Jahren 1976–1993, noch tiefere Globalstrahlungswerte erreicht wurden, die aber für die Auswertung nicht zur Verfügung standen.

Trotzdem lässt sich ein Zusammenhang zwischen den beiden Parametern Niederschlag und Globalstrahlung herstellen. Abbildung 2 verdeutlicht, dass die Jahresniederschlagssumme 2003 klar die tiefste der Zeitspanne 1976–2005 war. Somit war die Bewölkung gering, die Sonne konnte besser bis zur Erdoberfläche vordringen, was höhere Globalstrahlungswerte zur Folge hatte.

Tab. 19Maximale, minimale und mittlere Monatsmittelwerte der Globalstrahlung im Zeitraum 1994–2005 und die Monatsmittelwerte des Jahres 2003 Maximum, minimum and average monthly means of the global radiation in the period 1994–2005 and the monthly means of the year 2003

periou 1994–2005 and the moninty means of the year 2005							
Monat /	Jahr /	Maximal-	Monats-	Jahr /	Minimal-	Monats-	Monats-
month	year	wert /	Mittelwert /	year	wert /	Mittelwert /	mittelwert /
		maximum	mean monthly		minimum	mean monthly	mean monthly
		value	value		value	value	value
		1994–2005	2003		1994–2005	2003	1994–2005
		[Wm⁻²]	[Wm⁻²]		[Wm⁻²]	[Wm⁻²]	[Wm⁻²]
1	2002	59.8	36.8	2004	33.8	36.8	44.0
2	2003	81.6	81.6	2002	56.7	81.6	70.7
3	2003	149.9	149.9	2001	83.4	149.9	121.3
4	1997	195.4	183.2	1994	133.0	183.2	161.8
5	1997	223.0	186.2	1994	167.5	186.2	195.8
6	2003	276.0	276.0	1998	191.2	276.0	224.1
7	1994	241.4	230.8	1998	172.0	230.8	213.4
8	2003	220.7	220.7	2005	165.8	220.7	187.5
9	1997	157.0	152.8	2001	107.7	152.8	131.4
10	2001	104.7	70.5	2000	65.1	70.5	82.5
11	2003	56.5	56.5	2004	36.0	56.5	46.4
12	2003	39.5	39.5	2002	21.3	39.5	31.2

Es folgt Tabelle 20, welche die prozentuale Verteilung der Globalstrahlung des Zeitraumes 1994–2005 im direkten Vergleich mit dem Jahr 2003 zeigt.

Werte über 320 Wm⁻² wurden prozentual mehr im Gesamtzeitraum (2.8 %) erreicht als im Jahr 2003 (1.6 %). Betrachtet man die Werte im Bereich 240-320 Wm⁻², so wurden diese Werte im Jahr 2003 in 21.1 % aller Tage erreicht, im Zeitraum 1994–2005 in 12.9 % aller Tage.

Bei den tieferen Werten zeigt sich, dass das Jahr 2003 einen geringeren prozentualen Anteil seiner Tage in den Bereichen < 80 Wm⁻² und 80-160 Wm⁻² aufweist als der Durchschnitt. Die eindeutige Botschaft von stark erhöhten Werten, wie sie in Abbildung 39 und Tabelle 19 vermittelt wird, kommt aber in Tabelle 20 nicht so deutlich zum Ausdruck.

Tab. 20:Verteilung der Tagesmittelwerte der Globalstrahlung im Zeitraum 1994–2005 und im Jahr 2003

Globalstrahlung /	199	94—2005	2003		
global radiation	prozentualer Anteil /	Anzahl Tage von / number of days from	prozentualer Anteil /	Anzahl Tage von / number of days from	
[]	percentage	4383	percentage	365	
> 320	2.8	121	1.6	6	
240 bis 320	12.9	564	21.1	77	
160 bis 240	17.0	744	18.4	67	
80 bis 160	26.1	1146	20.0	73	
< 80	41.3	1808	38.9	142	

Distribution of the daily mean values of the global radiation in the period 1994–2005 and in the year 2003

3.6.4 Sommer- und Winterhalbjahr – Summer and winter season

Die mittlere Sommer-Globalstrahlung beträgt 172.4 Wm⁻², die mittlere Winter-Globalstrahlung beträgt 77.1 Wm⁻². Die Sommer- und Winter-Globalstrahlung in Abbildung 41 zeigen beide einen relativ ausgeglichenen Verlauf, wobei im Winter die Messungen noch weniger um ihren Mittelwert variieren als im Sommer.

Der höchste Wert im Winterhalbjahr wurde 1996/1997 mit 84.5 Wm⁻² registriert, dicht gefolgt vom Winter 2002/2003 mit 84.3 Wm⁻². Die geringste Winter-Globalstrahlung mit 71.5 Wm⁻² wurde im Winter 2000/2001 gemessen.

Der Sommer 1998 unterbietet den Mittelwert am deutlichsten (158.1 Wm⁻²). Der Sommer 2003 zeigt die höchste Sommer-Globalstrahlung (189.2 Wm⁻²).



Abb. 41: Mittlere Sommer- und Winterglobalstrahlung vom Sommer 1994 bis Sommer 2005 Mean summer and winter global radiation from summer 1994 to summer 2005

3.7 Lysimeterdaten – Lysimeter data

3.7.1 Jahressummen von Lysimeterniederschlag, -ausfluss und -evapotranspiration – *Annual sums of lysimeter precipitation, drainage and evapotranspiration*

Der durchschnittliche Jahresniederschlag auf das Lysimeter im Zeitraum zwischen 1976 und 2005 beträgt 1575.8 mm, der mittlere Lysimeterausfluss beträgt 1047.1 mm und die mittlere Evapotranspiration erreicht 559.9 mm (Abb. 41).

Im Jahre 2003 wurden der minimale Lysimeterniederschlag mit 1194.0 mm, der minimale Ausfluss mit 642.0 mm und die zweithöchste Evapotranspiration mit 619.1 mm des gesamten Beobachtungszeitraumes 1976–2005 gemessen. Die Evapotranspiration ist also ähnlich hoch wie der Ausfluss. Dies ist in der betrachteten Zeitspanne einmalig.

Beim Lysimeterniederschlag fällt auf, dass die Spannweite der Jahressummen im beobachteten Zeitraum mit der Zeit grösser geworden ist. In der ersten Hälfte des Zeitraumes (1976–1990) wurden Werte zwischen 1209.3 mm (1976) und 1778.7 mm (1988) gemessen. Die Differenz dieser zwei Extremwerte beträgt 569.4 mm. In der zweiten Hälfte des Beobachtungszeitraumes (1991–2005) beträgt der maximal gemessene Niederschlag 1937.5 mm (1995), der geringste wurde mit 1194.0 mm im Jahr 2003 registriert. Berechnet man wiederum die Differenz dieser beiden Extremwerte, so erhält man einen Unterschied von 743.5 mm.

Die Tendenz zu variableren Niederschlagssummen bringt eine Tendenz zu variableren Werten des Lysimeterausflusses mit sich. In der ersten Hälfte schwanken die Werte zwischen 770.7 mm (1976) und 1274.1 mm (1988), in der zweiten Hälfte beträgt der Minimalwert 642.0 mm (2003) und der Maximalwert 1477.6 mm (2002).

Überdurchschnittlicher Lysimeterniederschlag ist bis auf die Jahre 1977 und 1979 immer mit einem überdurchschnittlichen Lysimeterausfluss korreliert. Analog dazu sind unter dem langjährigen Mittel liegende Niederschlagssummen bis auf das Jahr 1982 mit unterdurchschnittlichem Ausfluss gekoppelt.

Die Evapotranspiration lässt sich zu den anderen Lysimetergrössen nicht so direkt in Beziehung setzen. Etwa in der Hälfte der Jahre mit überdurchschnittlichem Lysimeterniederschlag wurden unterdurchschnittliche, in der anderen Hälfte überdurchschnittliche Werte der Evapotranspiration gemessen. Dies hat mit der Komplexität des Systems zu tun. Die Evapotranspiration ist vom verfügbaren Wasser, vom Energieangebot, den Austauschbedingungen und von der vorhandenen Vegetation abhängig. Wird angenommen, dass die Vegetation über die 30 Jahre gleich geblieben ist, so beeinflussen immer noch die anderen zwei Parameter die Evapotranspiration. Je höher die Temperatur und je tiefer der Dampfdruck der Luft ist, desto mehr Wasserdampf kann von der Luft aufgenommen werden und damit verdunsten. Der Betrag der Evapotranspiration hängt also sowohl vom Wasserangebot als auch vom für die Evapotranspiration verfügbaren Energieangebot ab. Zur Veranschaulichung dient nachfolgende Abbildung 42.





Die Entwicklung der Evapotranspiration über den 30-Jahre-Zeitraum wird im Folgenden genauer betrachtet. Abbildung 43 soll dabei behilflich sein.

Die Jahressummen der Evapotranspiration von 1976 bis 2005 zeigen im Vergleich zu Niederschlag und Abfluss relativ wenig Variationen, dagegen verzeichnet die Anzahl der Verdunstungstage eher einen Anstieg. Im Jahr 2003 wurde die zweitgrösste Jahressumme der Evapotranspiration (619.1 mm) und die grösste Anzahl Verdunstungstage (338) im Beobachtungszeitraum erreicht. In keinem anderen Jahr in diesem Zeitraum sind die beiden Werte gleichzeitig sehr hoch. Im Jahr 1989 wurden ähnlich viele Verdunstungstage (335) registriert, die Jahressumme der Evapotranspiration war aber mit 552.5 mm unterdurchschnittlich. Das Jahr 1979 zeigt den umgekehrten Fall. Die Jahressumme war mit 628.9 mm ausgesprochen hoch ausgefallen, die Anzahl der Verdunstungstage erreichte jedoch mit 305 einen deutlich unterdurchschnittlichen Wert.





3.7.2 Jahresgänge von Lysimeterniederschlag, -ausfluss und -evapotranspiration – Seasonal cycle of lysimeter precipitation, drainage and evapotranspiration

In Abbildung 44 wird der über den Gesamtzeitraum 1976–2005 gemittelte Jahresgang der Grössen Lysimeterniederschlag, -ausfluss und -evapotranspiration mit dem Jahresgang dieser Grössen im Jahr 2003 verglichen.

Der mittlere Jahresgang des Lysimeterniederschlages zeigt eine kleine Spitze im März und ein Maximum im Juni. Die Kurve ist ansonsten aber relativ ausgeglichen, die Werte bewegen sich zwischen 110 mm und 160 mm pro Monat. Im Jahr 2003 wurde die erste Spitze im Mai erreicht, eine zweite im Juli und eine dritte im Oktober. Die Werte bewegen sich dabei zwischen knapp 60 mm und 180 mm pro Monat. Die Variabilität ist also viel grösser als im langjährigen Durchschnitt.

Der mittlere Lysimeterausfluss sinkt in der ersten Jahreshälfte tendenziell ab, bis er sein Minimum im August erreicht und steigt danach wieder an. Im Jahr 2003 dauerte die sinkende Tendenz bis in den September an, wobei der Ausfluss fast bis auf Null zurückging. Der niederschlagsreiche Oktober 2003 zeigte dann eine kurzfristige Erholung des Lysimeterausflusses. Innerhalb dieses Monats wurde der maximale mittlere Monatsausfluss des gesamten Jahres gemessen. Der Boden hatte sich aber anscheinend noch nicht ganz von der durch den Sommer andauernden Austrocknung erholt, denn ab November sanken die Ausflusswerte erneut deutlich.

Die Evapotranspiration nimmt im Mittel über den betrachteten Zeitraum 1976–2005 bis zum Juli stetig zu und sinkt dann wieder stetig bis zum Dezember. Im Jahr 2003 war ebenfalls in der ersten Jahreshälfte eine stetige Zunahme der Evapotranspiration auszumachen. Das Maximum wurde im Juni erreicht und danach nahm die Evapotranspiration wieder stetig ab.

Im Juni 2003 war die Bodenfeuchte noch relativ hoch. Mit den hohen Temperaturen und dem geringen Niederschlag, d.h. auch mit dem damit verbundenen hohen Energieangebot bedeutete dies ein Maximum der Evapotranspiration. Dies führte zu einer deutlichen Abnahme der Bodenfeuchte, wodurch dann auch der Wert der Evapotranspiration im Juli so markant abfiel.



Abb. 44:Jahresgänge von Lysimeterniederschlag, -ausfluss und -evapotranspiration im Zeitraum 1976–2005 verglichen mit den entsprechenden Jahresgängen des Jahres 2003 Seasonal cycle of lysimeter precipitation, drainage and evapotranspiration in the time period 1976–2005 compared with the seasonal cycle of the corresponding variables in the year 2003

3.7.3 Extreme und mittlere Monats- und Tagessummen von Evapotranspiration und Ausfluss sowie ihre prozentuale Verteilung – Extreme and mean monthly and daily sums of evapotranspiration and drainage as well as their distribution by percentage

Nachfolgend werden die Monatssummen der Evapotranspiration des gesamten Beobachtungszeitraumes 1976–2005 mit denen des Jahres 2003 verglichen (Tabelle 21).

Im Jahr 2003 übersteigt der Monatsmittelwert den langjährigen Durchschnittswert in insgesamt sieben Monaten und in fünf Monaten unterbietet der Monatsmittelwert des Jahres 2003 denjenigen des Gesamtzeitraumes. Auffällig ist vor allem die Evaporationssumme des Junis 2003. Sie beträgt 150 % des über die 30 Jahre gemittelten Wertes und stellt somit auch ein neues Maximum des gesamten Zeitraumes dar. Es ist auch der einzige Monatsmittelwert des Jahres 2003, der in den dreistelligen Bereich vorrückte.

Tab. 2 Maximale, minimale und mittlere Monatssummen der Evapotranspiration 1976–2005 und die Monatssummen des Jahres 2003 Maximum, minimum and mean monthly sums of evapotranspiration 1976–2005 and the monthly sums of the year 2003

Monat /	Jahr /	Monats-	Monats-	Jahr /	Monats-	Monats-	Monats-
month	year	Maximalwert /	summen /	year	Minimalwert /	summen /	mittelwert /
		maximum	monthly		minimum	monthly	mean monthly
		monthly value	sums		monthly value	sums	value
		1976–2005	2003		1976–2005	2003	1976–2005
		[mm]	[mm]		[mm]	[mm]	[mm]
1	1984	16.7	8.5	1976	2.1	8.5	8.4
2	1980	25.7	12.8	1986	2.0	12.8	11.8
3	1994	43.9	41.1	1987	12.8	41.1	27.0
4	1982	60.6	57.7	1986	25.4	57.7	46.8
5	1979	120.9	81.4	1987	53.5	81.4	80.5
6	2003	134.2	134.2	1987	62.8	134.2	89.2
7	1983	137.2	96.9	2000	74.7	96.9	102.6
8	1992	116.5	86.5	1984	69.7	86.5	87.2
9	1978	96.2	56.9	2002	29.6	56.9	57.0
10	1977	48.3	21.3	1993	14.4	21.3	28.5
11	1977	20.8	11.0	1993	6.3	11.0	11.2
12	1979	25.4	10.5	1988	2.8	10.5	9.5

Unterteilt man die Tagessummen der Evapotranspiration in fünf Bereiche und vergleicht die prozentualen Anteile des Gesamtzeitraumes mit denjenigen des Jahres 2003 (Tabelle 22), so stellt man fest, dass mit Ausnahme der höchsten Tagessummen der Evapotranspiration (> 6 mmd⁻¹) die prozentualen Anteile der Anzahl Tage des Jahres 2003 in den vorgegebenen Evapotranspirationsbereichen kontinuierlich über denjenigen aus der langjährigen Reihe 1976–2005 liegen. Dies wird dann im Bereich der Evapotranspirationstagessummen < 0.1 mmd⁻¹ kompensiert, in welchem das Jahr 2003 nur einen Anteil von 11.0 % aufweist gegenüber 19.3 % aus der langjährigen Reihe.

Tab. 22:Verteilung der Tagessummen der Evapotranspiration im Zeitraum 1976–2005 und *im Jahr 2003*

the year 20	003		1		
Evapotranspiration / evapotranspiration [mmd ⁻¹]	19	76–2005	2003		
	prozentualer Anteil / percentage	Anzahl Tage von / number of days from 10958	prozentualer Anteil / percentage	Anzahl Tage von / number of days from 365	
> 6	0.6	69	0.5	2	
4 bis 6	9.4	1025	10.1	37	
2 bis 4	22.2	2437	24.4	89	

Distribution of the daily sums of evapotranspiration in the period 1976–2005 and in

54.0

11.0

197

40

Der Vollständigkeit halber ist in Abbildung 45 die Dauerlinie der Evapotranspiration im Lysimeter angefügt. Sie visualisiert ebenfalls die kontinuierlich höhere Evapotranspiration des Jahres 2003 gegenüber derjenigen aus der 30-jährigen Reihe.

5307

2120

0.1 bis 2

< 0.1

48.4

19.3



Abb. 45: Dauerlinie der Tagesummen der Evapotranspiration 1976–2005 und 2003 Duration curve of the daily sums of evapotranspiration 1976–2005 and 2003

Tab.	23Maximale, minimale und mittlere Monatssummen des Lysimeterausflusses im
	Zeitraum 1976–2005 und die Monatssummen des Jahres 2003
	Maximum, minimum and mean monthly sums of lysimeter drainage in the time period
	1976–2005 and in the year 2003

Monat /	Jahr /	Monats-	Monats-	Jahr /	Monats-	Monats-	Monats-
month	year	Maximalwert /	summen /	year	Minimalwert /	summen /	mittelwert /
		maximum	monthly		minimum	monthly	mean monthly
		monthly value	sums		monthly value	sums	value
		1976–2005	2003		1976–2005	2003	1976–2005
		[mm]	[mm]		[mm]	[mm]	[mm]
1	1982	258.5	114.6	1992	13.0	114.6	111.8
2	1999	308.7	48.2	1986	13.1	48.2	109.1
3	1988	427.5	81.4	1976	10.6	81.4	117.9
4	2001	216.5	27.8	1982	11.7	27.8	91.4
5	1999	268.7	79.3	1993	6.8	79.3	80.3
6	1995	194.7	18.7	1977	7.6	18.7	77.8
7	2000	161.6	7.5	1979	3.8	7.5	56.2
8	2005	204.4	3.2	2003	3.2	3.2	50.4
9	2002	358.9	1.5	1991	1.1	1.5	72.7
10	1998	183.4	115.5	1985	4.1	115.5	73.7
11	1992	260.2	77.4	1997	9.9	77.4	89.1
12	1997	227.6	67.0	2000	41.8	67.0	116.6

In Tabelle 23 sind die Daten des Lysimeterausflusses zusammengefasst. Die Monatssummen des Jahres 2003 übersteigen im Januar und im Oktober die jeweiligen mittleren Monatssummen des Gesamtzeitraumes, in allen anderen Monaten unterbieten sie diese.

Im August 2003 wurde mit 3.2 mm ein neuer Monatsminimalwert registriert. Er beträgt gerade 6 % des langjährigen Mittelwertes. Im September 2003 wurde dann der Tiefststand des Jahres mit 1.5 mm gemessen. Dies kommt der absolut tiefsten gemessenen Monatssumme aus dem September 1991 mit 1.1 mm sehr nahe. Anschliessend steigen die Werte für den Oktober 2003 um 114 mm steil an.

Die Tagessummen des Lysimeterausflusses des Gesamtzeitraumes 1976–2005 sind ausgeglichener über die einzelnen Bereiche verteilt als die Tagessummen im Jahr 2003. Im Jahr 2003 sind prozentual gesehen weniger Tage mit sehr hohem Lysimeterausfluss und mehr Tage mit sehr geringem Lysimeterausfluss registriert worden. In 0.3 % aller Tage des Jahres 2003 ist ein Lysimeterausfluss höher als 20 mm gemessen worden. Dies entspricht 16 % des langjährigen Mittels. Umgekehrt ist im Jahr 2003 in 76.4 % aller Tage ein Lysimeterausfluss geringer als 2 mm registriert worden. Im Vergleich mit dem analogen Wert des Gesamtzeitraums von 66.6 % ist dies ein um 10 % höherer Wert.

Tab. 24:Verteilung der Tagessummen des Lysimeterausflusses im Zeitraum 1976–2005 und im Jahr 2003

the year 2003								
Lygimotorougflugg /	19	976–2005	2003					
lysimeter drainage [mmd ⁻¹]	prozentualer Anteil / percentage	Anzahl Tage von / number of days from 10958	prozentualer Anteil / percentage	Anzahl Tage von / number of days from 365				
> 20	1.9	212	0.3	1				
10 bis 20	4.2	463	3.0	11				
5 bis 10	8.5	930	4.1	15				
2 bis 5	18.7	2050	16.2	59				
0 bis 2	66.6	7303	76.4	279				

Distribution of the daily sums of lysimeter drainage in the period 1976–2005 and in the year 2003

Die Dauerlinie des Lysimeterausflusses (Abb. 46) bestätigt diese Aussage. Sie zeigt nicht nur, dass die dunkelblaue Kurve des gesamten Beobachtungszeitraumes höher liegt als die 2003-Kurve, sondern auch, dass sie viel höhere Maximalwerte registriert hat. Es gilt dabei zu beachten, dass die Skala semilogarithmisch ist.

Die Ausbuchtung der 2003-Kurve gegenüber der Kurve des Gesamtzeitraumes bei ca. 0.4 mm stellt die relative Zunahme der 2003-Kurve in diesem Bereich dar. Betrachtet man den gesamten Zeitraum von 1976 bis 2005 ist in 10 % aller Tage der Ausfluss geringer als circa 0.25 mmd⁻¹. Im Jahr 2003 trifft dies für reichlich 20 % aller Tage zu.



Abb. 46: Dauerlinie der Tagessummen des Lysimeterausflusses 1976–2005 und 2003 Duration curve of the daily sums of lysimeter drainage 1976–2005 and 2003

3.7.4 Vergleich des Lysimeterausflusses mit dem Gebietsabfluss beim Pegel Rietholz / Mosnang – Comparison of the lysimeter drainage with the runoff measured at the gauging station Rietholz / Mosnang

In Abbildung 47 wird der Jahresgang des Lysimeterausflusses mit dem des Gebietsabflusses beim Pegel Rietholz / Mosnang verglichen. Im Beobachtungszeitraum weisen beide Abflussgrössen Werte in der gleichen Grössenordnung auf. Von Februar bis August hat das Lysimeter einen geringeren, von September bis Januar einen höheren Abfluss-Wert als der am Gebietspegel. Die Ursache dafür ist die Schneeschmelze im Frühling und im Sommer die Abgabe des im Boden und Grundwasser gespeicherten Wassers im Gebiets-Abfluss mehr Eintrag bringen als im Lysimeter.

Betrachtet man das Jahr 2003, fällt als erstes auf, dass vor allem in den Sommermonaten weniger Lysimeterausfluss gemessen wurde als Abfluss am Pegel. Der Lysimeterausfluss und der Abfluss zeigen meistens einen vergleichbaren Wert. Ausnahmen zu dieser Regel bilden die Monate März und Oktober. Im März 2003 wurden am Abflusspegel deutlich höhere Werte als im Lysimeter registriert. Dies könnte darauf zurückzuführen sein, dass gerade die Schneeschmelze einsetzte und diese vom Lysimeter nur ungenügend erfasst wurde. Im Oktober 2003 dann war die Situation umgekehrt. Der Lysimeterausfluss überstieg den Abfluss am Pegel klar. Zu diesem Zeitpunkt regnete es nach einer längeren Trockenzeit wieder. Das Lysimeter erwies sich als weniger speicherungsfähig als das gesamte Einzugsgebiet.



Abb. 47:Vergleich der mittleren Monatssummen des Lysimeterausflusses mit denen des Gebietsabflusses beim Pegel Rietholz / Mosnang im Beobachtungszeitraum 1976–2005 und im Jahr 2003

Comparison of the mean monthly sums of lysimeter drainage with the mean monthly sums of runoff at the gauging station Rietholz / Mosnang in the observation period 1976–2005 and in the year 2003

3.8 Abfluss - Runoff

3.8.1 Jahressummen – Annual sums

Der gemittelte Jahresabfluss des Beobachtungszeitraumes 1976–2005 beträgt 1062 mm. Den maximalen Abfluss verzeichnet das Jahr 1999 mit 1475 mm, im selben Jahr wurde auch der zweitgrösste gemessene Jahresniederschlag (1721 mm) verzeichnet. Der geringste Abfluss wurde 2003 mit 674 mm gemessen, es ist auch unbestritten das Jahr mit dem geringsten Jahresniederschlag (1114 mm) und der höchsten Sommerdurchschnittstemperatur.

In Abbildung 5 wird zwar eine geringe Abnahme des Winterniederschlages, aber auch eine Zunahme des Sommerniederschlages gezeigt. Im Sommer fällt im Forschungsgebiet Rietholzbach mit Abstand der grösste Teil des jährlichen Niederschlages. Er ist so auch für die ganz leichte Zunahme der Abflusssummen, wie dies in Abbildung 48 dargestellt ist, verantwortlich.



Abb. 48: Jahressummen des Abflusses des Rietholzbachgebietes für den Zeitraum 1976–2005 Annual sums of runoff of the Rietholzbach catchment in the time period 1976–2005

3.8.2 Jahresgang – Seasonal cycle

Der Jahresgang des Rietholzbach-Abflusses (Abb. 49) zeigt seine Spitze im März mit durchschnittlich 131.4 mm. Der Grund dafür ist der hohe Niederschlag aus Regen und Schnee im Februar und März verbunden mit einem hohen Anteil aus dem Grundwasserspeicher gebildeten Basisabflusses zusammen mit der zu dieser Zeit immer noch sehr geringen Verdunstung. Dazu kommt die Schneeschmelze aus den höher gelegenen Regionen des Einzugsgebietes. Ansonsten ist das Abflussregime pluvial dominiert, wie es für das Mittelland üblich ist. Das Abfluss-Minimum wird mit 52.5 mm im August erreicht. Der Pegel steigt dann zum Jahresende hin allmählich an, wobei ein grosser Sprung von 84.2 mm im November zu 115.3 mm im Dezember festzustellen ist.

Das Jahr 2003 registrierte nur in zwei Monaten, nämlich im Januar und im Oktober, überdurchschnittliche Abflusswerte. Dabei erreichten die Monate August und September die

überhaupt tiefsten Werte (6.4 mm bzw. 5.8 mm) seit Beginn der Messungen 1976. Der Augustabfluss beträgt nur 12 % des durchschnittlich gemessenen Abflusses im Zeitraum 1976–2005, der Septemberabfluss sogar nur 9 %. Dieses ist zugleich der absolute Minimalwert des Monatsabflusses des gesamten Beobachtungszeitraumes. Der Juni 2003 registrierte ein Drittel, der Juli 2003 ein Fünftel des durchschnittlichen Wertes.



Abb. 49:Mittlere, maximale und minimale Monatssummen des Abflusses im Beobachtungszeitraum 1976–2005 sowie Monatssummen des Jahres 2003 beim Pegel Rietholz / Mosnang

Mean, maximum and minimum monthly sums of runoff in the observation period 1976–2005 as well as the monthly sums of the year 2003 at the gauging station Rietholz / Mosnang

3.8.3 Extreme und mittlere Monats- und Tagessummen sowie ihre prozentuale Verteilung – Extreme and average monthly and daily sums as well as their distribution by percentage

In Tabelle 25 ist noch einmal aufgeführt, was in Abbildung 49 grafisch dargestellt ist. Zusätzlich zum Vergleich der Monatsabflüsse des Jahres 2003 mit den mittleren Monatsabflüssen des Zeitraums 1976–2005 sind ausserdem die maximalen und minimalen Monatsabflüsse des gesamten Beobachtungszeitraumes notiert.

In der zweiten Hälfte des Beobachtungszeitraums (ab 1991) wurden für 7 Monate der Maximalwert des Gesamtzeitraums erreicht und in zwei Dritteln aller Monate der Minimalwert des beobachteten Zeitraumes. Man stellt also wie schon bei den Lysimeterdaten auch beim Abfluss die Tendenz zu variableren Werten fest.

Tab. 25:Maximale, minimale und mittlere Monatssummen des Abflusses im Beobachtungs-
zeitraum 1976–2005 und die mittleren Monatssummen des Jahres 2003
Maximum, minimum and mean monthly sums of runoff in the observation period
1976–2005 and the mean monthly sums of the year 2003

Monat /	Jahr /	Maximal-	Monats-	Jahr /	Minimal-	Monats-	Monats-
month	year	wert /	summen /	year	wert /	summen /	summen /
		maximum	monthly		minimum	monthly	monthly
		value	sums		value	sums	sums
		1976–2005	2003		1976–2005	2003	1976–2005
		[mm]	[mm]		[mm]	[mm]	[mm]
1	1982	308.2	120.0	1992	18.7	120.0	110.1
2	1999	265.4	58.9	1996	17.2	58.9	110.4
3	1988	426.6	118.9	1997	33.1	118.9	130.0
4	2001	220.2	34.9	1981	26.4	34.9	95.1
5	1999	271.5	78.8	1993	9.5	78.8	83.6
6	1991	179.8	27.7	1981	22.0	27.7	81.9
7	1980	162.4	13.2	1983	8.6	13.2	64.5
8	2005	191.4	6.4	2003	6.4	6.4	52.5
9	2002	227.2	5.8	2003	5.8	5.8	65.5
10	1981	183.8	75.4	1985	6.0	75.4	69.2
11	1992	282.1	63.6	1997	12.1	63.6	84.2
12	1981	233.7	70.0	2000	41.4	70.0	115.3

In nachfolgender Tabelle 26 ist die prozentuale Verteilung der Abfluss-Tagessummen aufgelistet. Während im langjährigen Mittel 15 % aller Tage Abflusswerte über 5 mm aufweisen, konnten im Jahr 2003 nur gerade 7.4 % aller Tage mit einer solchen Wasserführung registriert werden. Dies entspricht der Hälfte der durchschnittlich zu erwartenden Anzahl Tage pro Jahr, in welchen man einen solchen Abfluss erwarten kann.

Mittlere Abflüsse im Bereich von 1 mm bis 5 mm sind im Jahr 2003 verglichen mit dem gesamten Beobachtungszeitraum von 1976–2005 etwa gleich viele gezählt worden.

Hingegen ist im langjährigen Mittel in 35.3 % aller Tage ein Abfluss von 0 mm bis 1 mm gemessen worden, im Jahr 2003 trifft dies auf 44.7 % aller Tage zu.

Vergleicht man also das Jahr 2003 mit dem Mittel über den Gesamtzeitraum 1976–2005, so stellt man fest, dass im Jahr 2003 nicht nur viel mehr Tage mit sehr geringem Abfluss sondern auch viel weniger Tage mit hohem Abfluss registriert wurden.

Tab. 26:Verteilung der Tagessummen des Abflusses im Zeitraum 1976–2005 und im Jahr 2003

Distribution of the daily sums of runoff in the time period 1976–2005 and in the year 2003

Abfluss /	19	976–2005	2003		
runoff	prozentualer	Anzahl Tage von /	prozentualer	Anzahl Tage von /	
Imml	Anteil /	number of days from	Anteil /	number of days from	
[]	percentage	10958	percentage	365	
> 10	5.4	593	1.6	6	
5 bis 10	9.6	1049	5.8	21	
2 bis 5	23.3	2558	20.3	74	
1 bis 2	26.4	2892	27.7	101	
0 bis 1	35.3	3866	44.7	163	

In Abbildung 50 ist die Dauerlinie der Abfluss-Tagessummen des Zeitraumes 1976–2005 und des Jahres 2003 dargestellt. Sie ist sehr gut mit der Dauerlinie des Lysimeterausflusses in Abbildung 46 vergleichbar.

Durchschnittlich erreichten 5.4 % aller Tage im gesamten Beobachtungszeitraum einen Abflusswert von mehr als 10 mm, im Jahr 2003 waren es 1.6 %. Man beachte ausserdem die halblogarithmische Skala. Im Gesamtzeitraum beträgt die größte gemessene Tagessumme 88 mm, während im Jahr 2003 maximal 18 mm gemessen wurden. Auffallend ist auch, dass im Jahr 2003 die Kurve bei 75 % der Anzahl Tage gegenüber der Kurve des Gesamtzeitraumes abfällt.

Wie schon bei Tabelle 26 kommentiert, stellt man also auch hier fest, dass im Jahr 2003 nicht nur viel mehr Tage mit geringer Wasserführung sondern auch viel weniger Tage mit hoher Wasserführung existierten.



Abb. 50:Dauerlinie der Abfluss-Tagessummen des Zeitraumes 1976–2005 und des Jahres 2003

Duration curve of the daily sums of runoff of the time period 1976–2005 and the year 2003

3.8.4 Sommer- und Winterhalbjahr – Summer and winter season

Betrachtet man den Winterabfluss getrennt vom Sommerabfluss, so stellt man das für diese Klima- und Höhenzone typische Verhalten fest, dass im kälteren Halbjahr höhere Abflusswerte erreicht werden als im wärmeren Halbjahr. Der mittlere Winterabfluss beträgt 645.1 mm, der durchschnittliche Sommerabfluss 417.4 mm.

Die grösste Abflusssumme überhaupt in den beobachteten 30 Jahren wurde im Winter 1998/1999 mit 891.7 mm gemessen. Den geringsten Winterabfluss beobachtete man im Jahr 1995/1996 mit 446.7 mm.

Der maximale Sommerabfluss wurde im Jahre 2002 mit 634.1 mm registriert, was 152 % des durchschnittlich zu erwartenden Abflusses entspricht. Ein Jahr später, im Jahr 2003, wurde dann der kleinste Wert des gesamten Zeitraums von 1976–2005 mit 207.2 mm (50 % des Mittelwertes) gemessen.

Betrachtet man die Sommer der Jahre 1976–1990 getrennt von denjenigen von 1991–2005, so stellt man folgendes fest. Der durchschnittliche Abfluss in der ersten Periodenhälfte beträgt 402.9 mm, wobei das Maximum im Jahr 1978 135 % des Mittels beträgt. Das Jahr 1983 weist
mit 240.8 mm den minimalen Abfluss dieser ersten Hälfte auf. Er entspricht 60 % des durchschnittlich zu erwartenden Wertes.

Von 1991–2005 beträgt der durchschnittliche Abfluss 431.9 mm. Das Maximum im Jahr 2002 registrierte 147 % dieses Wertes, nämlich 634.1 mm. Das Minimum im Sommer 2003 betrug 207.2 mm, was 48 % des Durchschnitts entspricht.

Aus diesen Tatsachen drängt sich die Vermutung auf, dass nicht nur ein Trend zu höherem Abfluss vorhanden ist, sondern auch eine Tendenz zu extremeren Werten existiert. In der ersten Hälfte des Beobachtungszeitraumes ist zwischen den Maximalwerten ein Unterschied von 75 % des Mittels vorhanden, in der zweiten Hälfte beträgt dieser Unterschied zwischen Maximum und Minimum bereits knapp 100 % des Mittelwertes.

Die Trendlinien der beiden Halbjahre zeigen in Abbildung 51 für den Winter eine leicht abnehmende und im Sommer eine leicht steigende Tendenz in diesem Zeitraum.



Abb. 51: Sommer- und Winterabflusssummen vom Sommer 1976 bis Sommer 2005 Summer and winter runoff sums from summer 1976 to summer 2005

4 Zusammenfassung und Schlussfolgerungen – Summary and conclusions

Mit der in Kapitel 3 in diesem Bericht erfolgten Auswertung der in den dreissig Jahren von 1976 bis 2005 im Forschungsgebiet Rietholzbach vorgenommenen Messungen ist erstmalig eine längerfristige Charakterisierung der meteorologischen und hydrologischen Verhältnisse in diesem Einzugsgebiet möglich. Eine besondere Stellung nimmt in diesem Beobachtungszeitraum der extrem heisse und trockene Sommer 2003 ein. Deshalb soll nachfolgend eine zusammenfassende Betrachtung des Trockensommers 2003 in Vergleich zu dem längerfristigen meteorologischen und hydrologischen Verhalten des Gebietes vorgenommen werden.

Der jährliche in Standardhöhe im Forschungsgebiet Rietholzbach gemessene <u>Niederschlag</u> beträgt im betrachteten Zeitraum von 1976 bis 2005 im Durchschnitt 1450 mm, wobei mit der Zeit die Variabilität der Jahressummen zunimmt. In dieser Region fällt die grösste Niederschlagsmenge im Sommer vor allem in Form konvektiver Niederschläge. Im Jahr 2003 war es von Juni bis September ungewöhnlich trocken. Im Juni wurde sogar ein Monatsminimalwert von 70.7 mm bei 10 Niederschlagstagen erreicht. In diesem Jahr blieben die Starkniederschläge aus und zugleich nahm die Anzahl niederschlagsfreier Tage zu. Dies führte zum erlebten Trockensommer.

Die durchschnittliche Lufttemperatur im Jahr 2003 war hoch, aber nicht extrem. Über den gesamten Beobachtungszeitraum von 1976 bis 2005 betrachtet, beträgt die mittlere Lufttemperatur 7.1 °C. Im Jahr 2003 wurden 8.4 °C registriert. Ähnliches gilt auch für die Anzahl Tage mit einer mittleren Lufttemperatur unter 0 °C. Der Durchschnittswert des gesamten Beobachtungszeitraumes beträgt 67 Tage. Im Jahr 2003 wurden 62 Tage mit einer negativen mittleren Lufttemperatur gezählt. Bemerkenswert ist in den letzten 30 Jahren der deutliche Trend in der Erhöhung der Lufttemperatur sowie in der Abnahme der Tage mit Minustemperaturen. Insofern können die Werte des Jahres 2003 schon als ein Hinweis auf solche sich in der Zukunft sicher häufig ergebene Verhältnisse angesehen werden. Das Jahr 2003 verzeichnet eine vorher noch nie beobachtete Besonderheit. Die durchschnittliche Sommertemperatur des Gesamtzeitraumes beträgt 12.5 °C. Das Jahr 2003 verzeichnet den Maximalwert der mittleren Sommertemperatur des gesamten Beobachtungszeitraumes mit 14.7 °C. Ausserdem wurden im Messzeitraum bis zu jenem Jahr nie durchschnittliche Monatstemperaturen von mehr als 20 °C erreicht. Im Juni und August 2003 wurden jedoch Werte von 20.1 °C gemessen. Im Oktober 2003 wurde dann der tiefste Monatswert (4.9 °C) des gesamten Zeitraumes erreicht.

Die <u>Windgeschwindigkeiten</u> zeigen im Laufe der Jahre eine abnehmende Tendenz. Die mittlere Windgeschwindigkeit des Gesamtzeitraumes beträgt 1.33 ms⁻¹. Im Jahre 2003 wurde mit 1.0 ms⁻¹ der kleinste Jahresmittelwert der beobachteten 30 Jahre gemessen. Auch wurden im besagten Jahr keine grossen Stundenmittelwerte registriert.

Die <u>relative Luftfeuchtigkeit</u> beträgt im langjährigen Durchschnitt 80.3 %. Im Jahr 2003 wurden nur 76.6 % erreicht, was den kleinsten Jahresdurchschnittswert des gesamten Beobachtungszeitraumes darstellt. Sowohl der Sommer als auch der Winter 2003 zeigen unterdurchschnittliche Werte, wobei sich die Werte im Winterhalbjahr im Rahmen des Durchschnittswertes befinden, die Werte im Sommerhalbjahr aber deutlich abfallen.

Die <u>Bodenfeuchte</u> sagt aus, inwieweit der Boden mit Wasser gesättigt ist. Der Boden gilt als ein auf äussere Einflüsse relativ träge reagierender Speicher, wobei die Trägheit mit zunehmender Tiefe ansteigt. Für das Rietholzbachgebiet sind die sich infolge der relativ hohen Niederschläge immer wieder im Bereich der Feldkapazität auffüllenden Bodenfeuchtewerte charakteristisch, wobei im Sommer normalerweise etwas tiefere Werte als im Winter gemessen werden. Von Juli 2003 bis zum April 2004 wurden jeweils die Monatsminimalwerte des gesamten Beobachtungszeitraumes 1994–2005 erreicht. Die beiden Jahre 2001 und 2002 brachten viel Niederschlag. Auch im Jahr 2003 waren "nur" die vier Monate Juni bis September besonders trocken und danach entsprachen die Niederschlagswerte wieder ungefähr den Normalwerten. Trotz eigentlich ausreichenden Niederschlags im Herbst 2003 und Winter 2003/2004 erholten sich die Bodenfeuchtewerte fast ein ganzes Jahr lang nicht mehr von der Trockenheit im Sommer 2003 und pendelten sich erst im Herbst 2004 auf die ursprünglichen Werte der Feldkapazität ein.

Die <u>Globalstrahlung</u> zeigt im Verlaufe der hier ausgewerteten Messungen von 1994 bis 2005 eine ansteigende Tendenz. Der Durchschnittswert dieses Zeitraumes beträgt 126.1 Wm⁻². Erneut sind die Werte des Jahres 2003 aussergewöhnlich. Nicht nur der Jahresdurchschnittswert (140.6 Wm⁻²) ist maximal, auch wurden in sechs Monaten des Jahres die höchsten im Zeitraum zwischen 1994 und 2005 gemessenen Monatsmittelwerte erreicht. Der absolut höchste Monatsdurchschnittswert des Messzeitraumes wurde dabei im Juni 2003 mit 276.0 Wm⁻² registriert.

Auch in den Lysimeterdaten zeigt sich, dass das Jahr 2003 aussergewöhnlich war. Über den gesamten Beobachtungszeitraum betrachtet, wurden Jahresmittelwerte von 1576 mm für den Niederschlag, 1047 mm für den Ausfluss und 560 mm für die Evapotranspiration gemessen. Im Jahr 2003 wurden sowohl für den Niederschlag (1194 mm) als auch für den Ausfluss (642 mm) die kleinsten Jahresmittelwerte der Periode 1976 bis 2005 erreicht. Die Evapotranspiration war im Jahre 2003 mit 619 mm entsprechend sehr gross. Sie stellte in diesem Jahr fast die Hälfte des Wasserverlustes im Boden dar, war also fast so gross wie der Ausfluss. Bemerkenswert ist die Tatsache, dass die Evapotranspiration im Verlaufe der untersuchten 30 Jahre trotz ansteigender Lufttemperaturen eine eher abnehmende Tendenz aufweist. Wie schon beim Standardniederschlag zeigt sich auch in den Werten des Lysimeterniederschlags eine zunehmende Variabilität, was auch zunehmende Schwankungen des Lysimeterausflusses zur Folge hat.

Der <u>Abfluss</u> eines Einzugsgebietes widerspiegelt dessen Wasserhaushaltsreaktion auf den Niederschlag, die Evapotranspiration und die Gebietsspeicherung. Wegen der direkten Abhängigkeit von Niederschlag und Abfluss nimmt mit der zunehmenden Variabilität der Niederschlagssummen auch die Variabilität der Abflusssummen zu. Ausserdem wurde im Zeitfenster von 1976 bis 2005 eine leicht steigende Tendenz des Abflusses registriert. Im langjährigen Mittel erreichten die Jahresabflusssummen 1062 mm. Im Jahre 2003 wurde mit 674 mm die kleinste Jahressumme des Beobachtungszeitraumes verzeichnet. Besonders hervor tritt der September 2003, in dem mit einem Monatsabfluss von 5.8 mm nur 9 % des langjährigen Mittelwertes erreicht wurden. Dies war zugleich der geringste gemessene Monatsabfluss überhaupt. Verglichen mit einem durchschnittlichen Jahr gab es im Jahr 2003 viel mehr Tage mit geringem Abfluss, aber auch deutlich mehr Tage mit hohem Abfluss. Hier zeigt sich wieder die starke Abhängigkeit des Abflusses vom Niederschlag, der wie oben erwähnt die gleiche Tendenz aufweist.

Am Schluss dieses Berichtes soll aber auch darauf hingewiesen werden, dass die Auswertung dieser in den 30 Jahren des Bestehens des Forschungsgebietes Rietholzbach gewonnenen Messreihen nur durch die aufopferungsvolle Kleinarbeit einer Vielzahl von Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern wie auch von Studierenden möglich war, denen dafür der besondere Dank ausgesprochen werden soll. In gleicher Weise gilt dieser Dank auch den Institutionen der ETH Zürich und der Landeshydrologie der Schweiz in Bern, die massgeblich die dafür notwendigen finanziellen und institutionellen Vorraussetzungen bereitgestellt haben. Nicht zuletzt waren und sind diese Messungen eine ganz wichtige Basis für die weitere Erforschung der hydrometeorologischen und hydrologischen Prozesse wie auch für Fortschritte bei ihrer Modellierung, die auch ihren Niederschlag in einer grösseren Anzahl von wissenschaftlichen Arbeiten und Publikationen gefunden haben (siehe Abschnitt 7). Deshalb möge auch das Forschungsgebiet Rietholzbach in Zukunft in diesem Sinne weiter betrieben werden und so eines Tages auch die Auswertung der 50-jährigen Reihen Realität werden,

5 Literaturverzeichnis – Bibliography

- Badertscher, S. (2005): Auswertung der Reihen der meteorologischen und hydrologischen Variablen im Forschungsgebiet Rietholzbach für den Beobachtungszeitraum 1976-2004 unter besonderer Berücksichtigung des Trockenjahres 2003. Semesterarbeit, Institut für Atmosphäre und Klima ETH Zürich.
- Bohrer, M. (1998): Räumlich differenzierte Erfassung der Einzugsgebietskennwerte und Modellierung des Wasserhaushaltes im Rietholzbachgebiet unter Nutzung eines GIS. Diplomarbeit, UNI Zürich und Geographisches Institut ETH Zürich
- BWG –BAfU (1976 2005): Hydrologisches Jahrbuch der Schweiz für die Jahre 1976 bis 2005. Bundesamt für Wasser und Geologie BWG (jetzt Bundesamt für Umwelt BAfU) der Schweiz, Bern.
- Germann, P. (1981): Untersuchungen über den Bodenwasserhaushalt im hydrologischen Einzugsgebiet Rietholzbach. Dissert., Mitteilungen der Versuchsanstalt für Wasserbau, Hydrologie und Glaziologie, ETH Zürich, Nr. 51, 1981, 137 S.
- Gurtz, J., Verbunt, M., Zappa, M., Moesch, M., Pos, F. und Moser, U. (2003). Long-term hydrometeorological measurements and model-based analyses in the hydrological research catchment Rietholzbach. J. Hydrol. Hydromech. 51(3), 162-174.
- Hutter, L. (1992): Homogenisierung von langjährigen Zeitreihen der Lufttemperatur. Diplomarbeit ausgeführt am Geographischen Institut ETH Zürich, 1992, 217 S. Anhang.
- Jaun, S. (2003). Evapotranspiration und Strahlungskomponenten im Forschungsgebiet Rietholzbach. Zürich, Diplomarbeit am Institut für Klimaforschung ETH Zürich.
- Milzow, Ch. (2002): Erstellung und Auswertung einer einheitlichen Bodenfeuchtemessreihe über die Jahre 1994 bis 2002 im Forschungsgebiet Rietholzbach. Semesterarbeit, Institut für Atmosphäre und Klima ETH Zürich.
- Menzel, L (1997): Modellierung der Evapotranspiration im System Boden Pflanze -Atmosphäre. Dissert., Zürcher Geographische Schriften, Heft 67, 1997, Geographisches Institut ETH Zürich, 128 S.
- Menzel, L. (1995): Bodenfeuchtemessung mittels Time Domain Reflectrometry (TDR) -Funktion und Anwendung. Berichte und Skripten, Heft 55, 1995, Geographisches Institut ETH Zürich, 68 S.

Moesch, M. (2000): Rietholzbach: Lysimeter - Datenauswertung 1981 - 1999. Semesterarbeit.

- Moesch, M. (2001). Untersuchungen zur hydrologischen und klimatologischen Charakterisierung des Forschungsgebietes Rietholzbach. Beobachtungszeitraum 1976-2000. Zürich, Diplomarbeit am Institut für Klimaforschung ETH Zürich.
- Völksch, I. (2006): Rekonstruktion vollständiger Zeitreihen von Stunden- und Tageswerten der Globalstrahlung und Sonnenscheindauer für das Forschungsgebiet Rietholzbach für

den Zeitraum von 1976 bis 2005. Arbeitsbericht, Institut für Atmosphäre und Klima ETH Zürich.

6 Abbildungs- und Tabellenverzeichnis – list of figures and tables

Abbildungsverzeichnis

- *Abb. 1: Karte des Forschungsgebietes Rietholzbach mit den Messstationen Map of the research catchment Rietholzbach with measurement locations*
- Abb. 2I:ahressummen des Niederschlags und Anzahl Niederschlagstage im Beobachtungszeitraum 1976–2005 Annual precipitation sums and number of days with precipitation in the observation period 1976–2005
- Abb. 3: Mittlere, maximale und minimale Monatssummen des Niederschlages im Beobachtungszeitraum 1976–2005 sowie Monatssummenwerte des Jahres 2003 Mean, maximum and minimum monthly sums of precipitation in the observation period 1976–2005 as well as the monthly values of the year 2003
- *Abb. 4: Dauerlinie der Tagesniederschlagssummen der Jahre 1976–2005 und 2003 Duration curve of the daily sums of precipitation of the years 1976–2005 and 2003*
- *Abb. 5: Sommer- und Winterniederschlagssummen vom Sommer 1976 bis Sommer 2005 Summer and winter precipitation sums from summer 1976 to summer 2005*
- Abb. 6: Vergleich der Jahresgänge des Lysimeter- und des Standardniederschlages im Beobachtungszeitraum 1976–2005 und im Jahr 2003 Seasonal cycle of the lysimeter precipitation in comparison with the precipitation measured with the standard method in the observation period 1976–2005 and in the year 2003
- *Abb. 7: Jahresmittelwerte der Lufttemperatur und Anzahl der Tage im Jahr mit mittlerer Lufttemperatur < 0 °C für den Beobachtungszeitraum 1976–2005 Mean annual air temperatures and number of days per year with mean air temperatures < 0 °C in the observation period 1976–2005*
- Abb. 8: Jahresgang der Lufttemperatur (Monatsmittelwerte) im Zeitraum 1976–2005. Ausserdem dargestellt sind jeweils die maximalen und minimalen Monatsmittelwerte und die Monatsmittelwerte des Jahres 2003. Seasonal cycle of the air temperature (mean monthly values) in the period 1976–2005. Also shown are the maximum and minimum mean monthly air temperatures and the mean monthly values of the year 2003.
- *Abb. 9: Dauerlinie aller Tagesmittelwerte der Lufttemperatur von 1976–2005 und 2003 Duration curve of all daily mean values of the air temperature from 1976–2005 as well as from the year 2003*
- Abb. 10:Mittlere Sommer- und Winterlufttemperaturen vom Sommer 1976 bis zum Sommer 2005

Mean summer and winter air temperatures from the summer of 1976 to the summer of 2005

- Abb. 11Jahresmittelwerte und höchste Tagesmittelwerte der Windgeschwindigkeit im Beobachtungszeitraum 1976–2005 Mean annual wind velocities and highest daily mean values of the wind speed in the observation period 1976–2005
- Abb. 12 Mittlere monatliche Windgeschwindigkeiten und grösste Stundenmittelwerte der Windgeschwindigkeit im Beobachtungszeitraum 1976–2005 und im Jahre 2003 Mean monthly wind velocities and highest hourly mean values of the wind speed in the observation period 1976–2005 and in the year 2003

- *Abb. 13: Dauerlinie der Tagesmittelwerte der Windgeschwindigkeit 1976–2005 und 2003 Duration curve of the daily mean values of the wind speed from 1976–2005 and in the year 2003*
- Abb. 14: Mittlere Sommer- und Winterwindgeschwindigkeiten Sommer 1976 bis Sommer 2005 Mean summer and winter wind speed from summer 1976 to summer 2005
- Abb. 15ahresmittelwerte der relativen Luftfeuchtigkeit im Beobachtungszeitraum 1976–2005

Mean annual values of the relative air humidity in the observation period 1976–2005

Abb. 16tahresgang der relativen Luftfeuchtigkeit (Monatsmittelwerte) im Zeitraum 1976–2005. Ausserdem dargestellt sind die grössten und die kleinsten zwischen 1976 und 2005 beobachteten Monatsmittelwerte sowie die Monatsmittelwerte des Jahres 2003

Seasonal cycle of the relative air humidity (monthly means) in the observation period 1976–2005. Also shown are the highest and the lowest monthly mean values observed between 1976 and 2005 as well as the monthly means of the year 2003

- Abb. 17a: Mittlere relative Luftfeuchtigkeit im Sommer (Mai–Oktober) und im Winter (November–April) vom Sommer 1976 bis zum Sommer 2005 Mean relative air humidity in summer (Mai–October) and winter (November–April) from summer 1976 to summer 2005
- Abb. 17b: Mittlere relative Luftfeuchtigkeit der Monate März bis August und September bis Februar im Zeitraum vom Sommer 1976 bis zum Sommer 2005 Mean relative air humidity from March to August and from September to February in the time period from summer 1976 to summer 2005
- *Abb. 18: Jahresmittelwerte der Bodenfeuchte im Lysimeter von 1994 bis 2005 Mean annual values of the soil moisture in the lysimeter from 1994 to 2005*
- Abb. 19: Jahresmittelwerte der Bodenfeuchte im Messprofil von 1994 bis 2005 Mean annual values of the soil moisture in the measurement profile from 1994 to 2005
- *Abb. 20:Mittlere, maximale und minimale Monatsmittelwerte der Bodenfeuchte im Zeitraum 1994 bis 2005 sowie die Monatsmittelwerte des Jahres 2003 (Lysimeter, 0-30 cm)*
- Abb. 21:Mittlere, maximale und minimale Monatsmittelwerte der Bodenfeuchte im Zeitraum 1994 bis 2005 sowie die Monatsmittelwerte des Jahres 2003 (Lysimeter, 0-50 cm) Mean, maximum and minimum monthly means of the soil moisture in the time period from 1994 to 2005 and the monthly means of the year 2003 (lysimeter, 0-50 cm)
- Abb. 22:Mittlere, maximale und minimale Monatsmittelwerte der Bodenfeuchte im Zeitraum 1994 bis 2005 sowie die Monatsmittelwerte des Jahres 2003 (Lysimeter, 0-120 cm) Mean, maximum and minimum monthly means of the soil moisture in the time period from 1994 to 2005 and the monthly means of the year 2003 (lysimeter, 0-120 cm)
- Abb. 23Jahresverlauf der Bodenfeuchte (Tagesmittelwerte) im Lysimeter für den Tiefenbereich 0-50 cm. Dargestellt sind das Mittel der Jahre 1994–2005, die Tagesmittelwerte des Jahres 2003 sowie die zwischen 1994 und 2005 gemessenen extremen Tagesmittelwerte.

Seasonal cycle of the soil moisture (daily mean values) in the lysimeter between 0-50 cm depth. Shown are the average of the years 1994–2005, the daily mean values of the year 2003 as well as the extreme daily mean values observed between 1994 and 2005.

Abb. 24:Mittlere, maximale und minimale Monatsmittelwerte der Bodenfeuchte im Zeitraum 1994 bis 2005 sowie die Monatsmittelwerte des Jahres 2003 (Messprofil, 0-30 cm)

Mean, maximum and minimum monthly means of the soil moisture between 1994 and 2005 and the monthly means of the year 2003 (measurement profile, 0-30 cm)

- Abb. 25:Mittlere, maximale und minimale Monatsmittelwerte der Bodenfeuchte im Zeitraum 1994 bis 2005 sowie die Monatsmittelwerte des Jahres 2003 (Messprofil, 0-50 cm) Mean, maximum and minimum monthly means of the soil moisture between 1994 and 2005 and the monthly means of the year 2003 (measurement profile, 0-50 cm)
- Abb. 26: Mittlere, maximale und minimale Monatsmittelwerte der Bodenfeuchte im Zeitraum 1994 bis 2005 sowie die Monatsmittelwerte des Jahres 2003 (Messprofil, 0-120 cm) Mean, maximum and minimum monthly means of the soil moisture between 1994 and 2005 and the monthly means of the year 2003 (measurement profile, 0-120 cm)
- Abb. 27: Jahresverlauf der Bodenfeuchte (Tagesmittelwerte) im Messprofil für den Tiefenbereich 0-50
cm. Dargestellt sind das Mittel der Jahre 1994–2005, die Tagesmittelwerte des Jahres 2003
s o w i ed i ez w i s c h e n1 9 9 4u n d2 0 0 5Seasonal cycle of the soil moisture (daily mean values) in the measurement profile between
0-50 cm depth. Shown are the average of the years 1994–2005, the daily mean values of the
year 2003 as well as the extreme daily mean values observed between 1994 and 2005.
- Abb. 2&Iahresverlauf der Bodenfeuchte (Tagesmittelwerte) im Jahre 2004 in den verschiedenen Bodenschichten im Lysimeter. Zum Vergleich sind ausserdem die Niederschlagstagessummen des Jahres 2004 dargestellt.
 Seasonal cycle of the soil moisture (daily mean values) of the different soil layers in the lysimeter in the year 2004. For comparison also the daily sums of precipitation of the vear 2004 are shown.
- Abb. 29!ahresverlauf der Bodenfeuchte (Tagesmittelwerte) im Jahr 2004 in den verschiedenen Bodenschichten im Messprofil. Zum Vergleich sind ausserdem die Niederschlagstagessummen des Jahres 2004 dargestellt.
 Seasonal cycle of the soil moisture (daily mean values) of the different soil layers in the measurement profile in the year 2004. For comparison also the daily sums of precipitation of the year 2004 are shown.
- Abb. 30Dauerlinie der Tagesmittelwerte der Bodenfeuchte im Lysimeter (0-30 cm) im Zeitraum von 1994 bis 2005 und im Jahr 2003 Duration curve of the daily mean values of the soil moisture in the lysimeter (0-30 cm) in the time period from 1994 to 2005 and in the year 2003
- Abb. 31 Dauerlinie der Tagesmittelwerte der Bodenfeuchte im Lysimeter (0-50 cm) im Zeitraum von 1994 bis 2005 und im Jahr 2003 Duration curve of the daily mean values of the soil moisture in the lysimeter (0-50 cm) in the time period from 1994 to 2005 and in the year 2003
- Abb. 32:Dauerlinie der Tagesmittelwerte der Bodenfeuchte im Lysimeter (0-120 cm) im Zeitraum von 1994 bis 2005 und im Jahr 2003 Duration curve of the daily mean values of the soil moisture in the lysimeter (0-120 cm) in the time period from 1994 to 2005 and in the year 2003
- Abb. 33 Dauerlinie der Tagesmittelwerte der Bodenfeuchte im Messprofil (0-30 cm) im Zeitraum von 1994 bis 2005 und im Jahr 2003 Duration curve of the daily mean values of the soil moisture in the measurement profile (0-30 cm) in the time period from 1994 to 2005 and in the year 2003

Abb. 34Dauerlinie der Tagesmittelwerte der Bodenfeuchte im Messprofil (0-50 cm) im Zeitraum von 1994 bis 2005 und im Jahr 2003 Duration curve of the daily mean values of the soil moisture in the measurement profile (0-50 cm) in the time period from 1994 to 2005 and in the vear 2003

Abb. 35:Dauerlinie der Tagesmittelwerte der Bodenfeuchte im Messprofil (0-120 cm) im Zeitraum von 1994 bis 2005 und im Jahr 2003 Duration curve of the daily mean values of the soil moisture in the measurement profile (0-120 cm) in the time period from 1994 to 2005 and in the year 2003

- Abb. 36Mittlere Sommer- und Winter-Bodenfeuchten im Lysimeter und im Messprofil (0-30 cm) im Zeitraum vom Sommer 1994 bis zum Sommer 2005 Mean summer and winter soil moisture in the lysimeter and in the measurement profile (0-30 cm) in the time period from summer 1994 to summer 2005
- Abb. 37Mittlere Sommer- und Winter-Bodenfeuchten im Lysimeter und im Messprofil (0-50 cm) im Zeitraum vom Sommer 1994 bis zum Sommer 2005 Mean summer and winter soil moisture in the lysimeter and in the measurement profile (0-50 cm) in the time period from summer 1994 to summer 2005
- Abb. 38Mittlere Sommer- und Winter-Bodenfeuchten im Lysimeter und im Messprofil (0-120 cm) im Zeitraum vom Sommer 1994 bis zum Sommer 2005 Mean summer and winter soil moisture in the lysimeter and in the measurement profile (0-120 cm) in the time period from summer 1994 to summer 2005
- *Abb. 39: Jahresmittelwerte der Globalstrahlung im Beobachtungszeitraum von 1994–2005 Mean annual values of the global radiation in the observation period 1994–2005*
- Abb. 40Jahresgang der Globalstrahlung (Monatsmittelwerte) im Zeitraum 1994–2005. Ausserdem dargestellt sind jeweils die maximalen und minimalen Monatsmittelwerte und die Monatsmittelwerte des Jahres 2003. Seasonal cycle of the global radiation (mean monthly values) in the time period 1994–2005. Also shown are the maximum and minimum mean monthly values and the mean monthly values of the year 2003.
- Abb. 41: Mittlere Sommer- und Winterglobalstrahlung vom Sommer 1994 bis Sommer 2005 Mean summer and winter global radiation from summer 1994 to summer 2005
- Abb. 42:Jahressummen von Lysimeterniederschlag (NLYSI), Lysimeterausfluss (LYA) und Evapotranspiration (ET) im Beobachtungszeitraum 1976–2005 Annual sums of lysimeter precipitation (NLYSI), lysimeter drainage (LYA) and evapotranspiration (ET) in the observation period 1976–2005
- Abb. 43Jahressumme der Evapotranspiration im Lysimeter und Anzahl Tage mit Verdunstung im Zeitraum 1976–2005 Annual sums of evapotranspiration in the lysimeter and number of days with

evapotranspiration in the time period 1976–2005 44 Jahresgänge von Lysimeterniederschlag -ausfluss und -evapotranspiration im

Abb. 44Jahresgänge von Lysimeterniederschlag, -ausfluss und -evapotranspiration im Zeitraum 1976–2005 verglichen mit den entsprechenden Jahresgängen des Jahres 2003

Seasonal cycle of lysimeter precipitation, drainage and evapotranspiration in the time period 1976–2005 compared with the seasonal cycle of the corresponding variables in the year 2003

- *Abb.* 45: Dauerlinie der Tagesummen der Evapotranspiration 1976–2005 und 2003 Duration curve of the daily sums of evapotranspiration 1976–2005 and 2003
- *Abb. 46: Dauerlinie der Tagessummen des Lysimeterausflusses 1976–2005 und 2003 Duration curve of the daily sums of lysimeter drainage 1976–2005 and 2003*
- Abb. 47.Vergleich der mittleren Monatssummen des Lysimeterausflusses mit denen des Gebietsabflusses beim Pegel Rietholz / Mosnang im Beobachtungszeitraum 1976–2005 und im Jahr 2003

Comparison of the mean monthly sums of lysimeter drainage with the mean monthly sums of runoff at the gauging station Rietholz / Mosnang in the observation period 1976–2005 and in the year 2003

Abb. 48: Jahressummen des Abflusses des Rietholzbachgebietes für den Zeitraum 1976–2005 Annual sums of runoff of the Rietholzbach catchment in the time period 1976–2005

- Abb. 4Mittlere, maximale und minimale Monatssummen des Abflusses im Beobachtungszeitraum 1976–2005 sowie Monatssummen des Jahres 2003 beim Pegel Rietholz / Mosnang Mean, maximum and minimum monthly sums of runoff in the observation period 1976–2005 as well as the monthly sums of the year 2003 at the gauging station Rietholz / Mosnang
- *Abb.* 50:Dauerlinie der Abfluss-Tagessummen des Zeitraumes 1976–2005 und des Jahres 2003 Duration curve of the daily sums of runoff of the time period 1976–2005 and the year 2003
- *Abb. 51: Sommer- und Winterabflusssummen vom Sommer 1976 bis Sommer 2005 Summer and winter runoff sums from summer 1976 to summer 2005*

Tabellenverzeichnis

- Tab. 1: Maximale, minimale und mittlere Monatssummen des Niederschlages 1976–2005 und die Monatssummen des Jahres 2003 Maximum, minimum and mean monthly precipitation sums 1976–2005 and the monthly sums of the year 2003
- Tab. 2: Niederschlagsverteilung nach TagessummenDistribution of the daily sums of precipitation
- Tab. 3: Differenzen zwischen den mit den zwei verschiedenen Methoden gemessenen monatlichen Niederschlagssummen (NLYSI = Lysimeter, NST =Standardmethode) Differences between the monthly precipitation sums measured with the two different methods (NLYSI = lysimeter, NST = standard method)
- Tab. 4: Maximale, minimale und mittlere Monatsmittelwerte der Lufttemperatur im
Beobachtungszeitraum 1976–2005 und die Monatsmittelwerte des Jahres 2003
Maximum, minimum and mean monthly averages of the air temperature in the
observation period 1976–2005 and the mean monthly values of the year 2003
- Tab. 5: Verteilung der Tagesmittelwerte der LufttemperaturDistribution of the daily mean values of the air temperature
- Tab. 6: Maximale, minimale und mittlere Monatsmittelwerte der Windgeschwindigkeit im
Zeitraum 1976–2005 und mittlere Monatswindgeschwindigkeiten im Jahr 2003
Maximum, minimum and mean monthly averages of the wind speed in the period
1976–2005 and mean monthly values of the wind velocity in the year 2003
- Tab. 7: Maximale Stundenmittelwerte der Windgeschwindigkeit im Zeitraum 1976–2005 und im Jahr 2003
 Maximum hourly mean values of the wind speed in the period 1976–2005 and in the year 2003
- Tab. 8: Verteilung der Tagesmittelwerte der Windgeschwindigkeit

 Distribution of the daily mean values of the wind speed
- Tab. 9: Maximale, minimale und mittlere Monatsmittelwerte der relativen Luftfeuchtigkeit im
Zeitraum 1976–2005 sowie die Monatsmittelwerte des Jahres 2003
Maximum, minimum and average monthly mean values of the relative air humidity in
the time period 1976–2005 as well as the monthly mean values of the year 2003
- Tab. 10: Verteilung der Tagesmittelwerte der relativen Luftfeuchtigkeit

 Distribution of the daily mean values of the relative air humidity
- Tab. 11: Mittlere, maximale und minimale Monatsmittelwerte der Bodenfeuchte im Lysimeter (0-30 cm) im Zeitraum 1994–2005 und die Monatsmittelwerte des Jahres 2003
 Average, maximum and minimum monthly means of the soil moisture in the lysimeter (0-30 cm) in the period 1994–2005 and the monthly means of the year 2003
- Tab. 12: Maximale, minimale und mittlere Monatsmittelwerte der Bodenfeuchte im Lysimeter (0-50 cm) im Zeitraum 1994–2005 und die Monatsmittelwerte des Jahres 2003 Maximum, minimum and average monthly means of the soil moisture in the lysimeter (0-50 cm) in the period 1994–2005 and the monthly means of the year 2003
- Tab. 13: Maximale, minimale und mittlere Monatsmittelwerte der Bodenfeuchte im Lysimeter
(0-120 cm) im Zeitraum 1994–2005 und die Monatsmittelwerte des Jahres 2003
Maximum, minimum and average monthly means of the soil moisture in the lysimeter
(0-120 cm) in the period 1994–2005 and the monthly means of the year 2003

Tab. 14:Verteilung der Tagesmittelwerte der Bodenfeuchte im Lysimeter im Zeitraum von 1994–2005 und im Jahr 2003. Die der Feldkapazität entsprechende Bodenfeuchte ist fett hervorgehoben.

Distribution of the daily mean values of the soil moisture in the lysimeter in the period 1994–2005 and in the year 2003. The soil moisture corresponding to the field capacity is printed in bold letters.

- Tab. 15: Maximale, minimale und mittlere Monatsmittelwerte der Bodenfeuchte im Messprofil
(0-30 cm) im Zeitraum 1994–2005 und die Monatsmittelwerte des Jahres 2003
Maximum, minimum and average monthly means of the soil moisture in the
measurement profile (0-30 cm) in the period 1994–2005 and the monthly means of
the year 2003
- Tab. 16: Maximale, minimale und mittlere Monatsmittelwerte der Bodenfeuchte im Messprofil (0-50 cm) im Zeitraum 1994–2005 und die Monatsmittelwerte des Jahres 2003 Maximum, minimum and average monthly means of the soil moisture in the measurement profile (0-50 cm) in the period 1994–2005 and the monthly means of the year 2003
- Tab. 17: Maximale, minimale und mittlere Monatsmittelwerte der Bodenfeuchte im Messprofil
(0-120 cm) im Zeitraum 1994–2005 und die Monatsmittelwerte des Jahres 2003
Maximum, minimum and average monthly means of the soil moisture in the
measurement profile (0-120 cm) in the period 1994–2005 and the monthly means of
the year 2003
- Tab. 18.Verteilung der Tagesmittelwerte der Bodenfeuchte im Messprofil im Zeitraum 1994–2005 und im Jahr 2003. Die der Feldkapazität entsprechende Bodenfeuchte ist fett hervorgehoben.

Distribution of the daily mean values of the soil moisture in the measurement profile in the period 1994–2005 and in the year 2003. The soil moisture corresponding to the field capacity is printed in bold letters.

- Tab. 19Maximale, minimale und mittlere Monatsmittelwerte der Globalstrahlung im
Zeitraum 1994–2005 und die Monatsmittelwerte des Jahres 2003
Maximum, minimum and average monthly means of the global radiation in the
period 1994–2005 and the monthly means of the year 2003
- Tab. 20:Verteilung der Tagesmittelwerte der Globalstrahlung im Zeitraum 1994–2005 und im Jahr 2003
 Distribution of the daily mean values of the global radiation in the period 1994–2005 and in the year 2003
- Tab. 2 Maximale, minimale und mittlere Monatssummen der Evapotranspiration 1976–2005 und die Monatssummen des Jahres 2003 Maximum, minimum and mean monthly sums of evapotranspiration 1976–2005 and the monthly sums of the year 2003
- Tab. 22:Verteilung der Tagessummen der Evapotranspiration im Zeitraum 1976–2005 und
im Jahr 2003
Distribution of the daily sums of evapotranspiration in the period 1976–2005 and in
- the year 2003 Tab. 23Maximale, minimale und mittlere Monatssummen des Lysimeterausflusses im Zeitraum 1976–2005 und die Monatssummen des Jahres 2003 Maximum, minimum and mean monthly sums of lysimeter drainage in the time period 1976–2005 and in the year 2003
- Tab. 24:Verteilung der Tagessummen des Lysimeterausflusses im Zeitraum 1976–2005 und im Jahr 2003

Distribution of the daily sums of lysimeter drainage in the period 1976–2005 and in the year 2003

- Tab. 25:Maximale, minimale und mittlere Monatssummen des Abflusses im Beobachtungszeitraum 1976–2005 und die mittleren Monatssummen des Jahres 2003 Maximum, minimum and mean monthly sums of runoff in the observation period 1976–2005 and the mean monthly sums of the year 2003
- Tab. 26:Verteilung der Tagessummen des Abflusses im Zeitraum 1976–2005 und im Jahre 2003

Distribution of the daily sums of runoff in the time period 1976–2005 and in the year 2003

7 Übersicht zu den Publikationen, Dissertationen, Diplomarbeiten und anderen wichtigen Arbeiten zum Forschungsgebiet Rietholzbach - Summary of publications, dissertations, diploma thesises and other relevant studies concerning the research catchment Rietholzbach

30 Jahre Forschungsgebiet Rietholzbach RHB 1976-2005

(Dezember 2006, Joachim Gurtz)

Diese Zusammenfassung der Publikationen ist untergliedert in:

- Publikationen einschliesslich Dissertationen (chronologisch geordnet)
- Publikationen einschliesslich Dissertationen (alphabetisch geordnet)
- Diplomarbeiten (chronologisch geordnet)
- Diplomarbeiten (alphabetisch geordnet)
- Semesterarbeiten und Berichte zu Praktika (chronologisch geordnet)

Publikationen einschliesslich Dissertationen

(chronologisch geordnet)

Gurtz, J., Badertscher S., Milzow, Ch., Moser, U., Schroff, K., Stoeckli, R. Voelksch, I. und Zingg, M. (2006): Auswertung der Reihen der meteorologischen und hydrologischen Variablen im Forschungsgebiet Rietholzbach für den 30-jährigen Beobachtungszeitraum 1976-2005 unter besonderer Berücksichtigung des Trockensommers 2003. Bericht am Institut für Atmosphäre und Klima ETH Zürich, 101 S, verfügbar auf CD und im Internet auf der Rietholzbach-Website.

Gurtz, J., M. Verbunt, M. Zappa, M. Moesch, F. Pos and Moser, U. (2003): Long-Term Hydrometeorological Measurements and Model-Based Analyses in the Hydrological Research Catchment Rietholzbach. J. Hydrol. Hydromech., Slovakia, **51**, 2003, 3, 162-174.

Gurtz, J., M. Zappa, K. Jasper, H. Lang, M. Verbunt, A. Badoux and Vitvar, T. (2003): A Comparative Study in Modelling Runoff and its Components in Two Mountainous Catchments. *Hydrol. Process.* **17**, 297-311.

8 Gurtz, J., M. Verbunt, M. Zappa, M. Moesch and Moser, U. (2003): Long-Term Hydrometeorological Measurements and Model Based Analyses in the Hydrological Research Catchment Rietholzbach. Proceed. of International Conference on "Interdisciplinary Approaches in Small Catchment Hydrology: Monitoring and Research. Demànovska dolina, Slovakia, September 25-28, 2002, 6 pp.

P. Germann (2001) Hydromechanical approach to preferential flow. Chapter 10, pages 233-260 In: M.G.Anderson and P.D. Bates (eds.): *Model Validation - Perspectives in Hydrological Sciences*. John Wiley & Sons, Ltd., Chichester, New York, etc. 500 p.

Gurtz, J., M. Zappa, K. Jasper, M. Verbunt, A. Badoux, T. Vitvar and Lang, H. (2001): Modelling of runoff and its components and model validation in Swiss Pre-Alpine and Alpine catchments. International Workshop runoff generation and implications for river basin modelling, 9-12 October 2000, *Freiburger Schriften zur Hydrologie* 13, Freiburg i. Br., Germany, 206-220.

Kirnbauer, R.; Lang, H. und Forster, F. (2000): Hydrologische Forschungsgebiete -Informationsquellen für Wissenschaft und Praxis. Österreichische Wasser- und Abfallwirtschaft, Jg. 52, Heft 5/6, 2000, S. 87-94.

Gurtz, J., Baltensweiler, A. and Lang H. (1999): Spatially distributed hydrotope-based modelling of evapotranspiration and runoff in mountainous basins. Hydrol.Process. 13. 2751-2768.

Vitvar, T., Gurtz, J. and H. Lang (1999): Application of GIS-based distributed hydrological modelling for estimation of water residence times in the small Swiss pre-alpine catchment Rietholzbach. Symposium "Integrated Methods in Catchment Hydrology-Tracer, Remote Sensing and New Hydrometric Techniques", Proceedings of IUGG 99 Symposium HS4, Birmingham, July 1999, IAHS Publ. No. 258, 241-248.

Vitvar, T. (1998): Water Residence Times and Runoff Generation in a Small Prealpine Catchment. Dissert., Zürcher Geographische Schriften, Heft 71, 1998, Geographisches Institut ETH Zürich, 127 S.

Grabs, W. (Ed.), (1997): Impact of Climate Change on Hydrological Regimes and Water Resources Management in the Rhine Basin. International Commission for the Hydrology of Rhine Basin (CHR), CHR-Report no. I-16, 172 S.

Menzel, L (1997): Modellierung der Evapotranspiration im System Boden - Pflanze - Atmosphäre. Dissert., Zürcher Geographische Schriften, Heft 67, 1997, Geographisches Institut ETH Zürich, 128 S.

Schulla, J. (1997): Hydrologische Modellierung von Flussgebieten zur Abschätzung der Folgen von Klimaänderungen. Dissert., Zürcher Geographische Schriften, Heft 69, 1997, Geographisches Institut ETH Zürich, 161 S.

Gurtz, J.; Baltensweiler, A.; Lang, H.; Menzel, L. und Schulla, J. (1997): Auswirkungen von klimatischen Variationen auf Wasserhaushalt und Abfluss im Flussgebiet des Rheins. Projektschlussbericht im Rahmen des NFP31:"Klimaänderungen und Naturkatastrophen", vdf, Hochschulverlag AG ETH Zürich, 1997, 159 S.

Vitvar, T. and Balderer, W. (1997): Estimation of mean water residence times and runoff generation by ${}^{18}_{0}$ measurements in a prealpine catchment (Rietholzbach, Eastern Switzerland). Applied Geochemistry, 12, 1997, pp 787-796.

Gurtz, J.; Baltensweiler, A.; Lang, H. and Schulla, J. (1996): Spatial distribution model approaches to hydrologic processes and river flow from mountainous regions. Ecohydrology of High Mountain Areas. Proceedings of the International Conference, Kathmandu, Nepal, 24-28 March 1996, pp 129-141.

Gurtz, J.; Lang, H.; Menzel, L. und Schulla, J. (1996): Zur Modellierung von Wasserhaushalt und Abfluss im alpinen Raum. Festschrift zum 60. Geburtstag von Prof. Gerd Peschke, IHI-Schriften, Heft 2, 1996, S. 223-235.

Menzel, L. (1996): Development of an evapotranspiration model from research studies in a small prealpine catchment. Ecohydrological Processes in Small Basins, Extended abstracts of the ERB Conference, Strassbourg, 24-26 September 1996, S. 91-95.

Menzel, L. (1996): Modelling Canopy Resistances and Transpiration of Grassland. Physics and Chemistry of the Earth, 21, 1996, No. 3, pp 123-129.

Vitvar, T. (1996): Estimation of mean water residence times and runoff generation by stable isotope measurements in a small prealpine research catchment (Rietholzbach Eastern Switzerland). Ecohydrological Processes in Small Basins, Extended abstracts of the ERB Conference, Strassbourg, 24-26 September 1996, 157.

Menzel, L. (1995): Bodenfeuchtemessung mittels Time Domain Reflectrometry (TDR) - Funktion und Anwendung. Berichte und Skripten, Heft 55, 1995, Geographisches Institut ETH Zürich, 68 S.

Menzel, L. und Nievergelt, J. (1995): Niederschlag und Sickerwasser an fünf schweizerischen Lysimeteranlagen. Bulletin der Bodenkundlichen Gesellschaft der Schweiz, 19, 1995, S. 113-116.

Koenig, P. (1994): Abflussprozesse in einem kleinen voralpinen Einzugsgebiet. Dissert., Zürcher Geographische Schriften, Heft 58, 1994, Geographisches Institut ETH Zürich, 164 S.

Koenig, P.; Lang, H. and Schwarze, R.(1994): On the runoff formation in the small pre-alpine research basin Rietholzbach. Proceedings of the Braunschweig Conference, 11-15 October 1993, IAHS Publication No. 221, 1994, pp 391-398.

Demuth, N.; Lorieri, D. und Menzel, L. (1993): Zur Dynamik der Sickerwasserbewegung in einem Lysimeter - Ergebnisse eines Tracerversuches. Mitteilungen der Deutschen Bodenkundlichen Gesellschaft, 71, 1993, S. 119-122.

Germann, P. (1993): Ein schicksalshaftes Hochwasser. In: Grebner, D. (Ed.) "Aktuelle Aspekte in der Hydrologie", Festschrift zum 60. Geburtstag von Herbert Lang. Zürcher Geographische Schriften, Heft 53, 1993, Geographisches Institut ETH Zürich, S. 185-192.

Koenig, P. und Menzel, L. (1993): Die Forschung im Gebiet Rietholzbach: Eine Standortbestimmung. In: Grebner, D. (Ed.) "Aktuelle Aspekte in der Hydrologie", Festschrift zum 60. Geburtstag von Herbert Lang. Zürcher Geographische Schriften, Heft 53, 1993, Geographisches Institut ETH Zürich, S. 9-24.

Kölla, E. und Zuidema, P. K. (1993): Abflussprozesse während Starkniederschlägen im Modell, in Feldversuchen und in einem Hochwasserschätzverfahren - ein Rückblick auf vor 10 Jahren gemachte Erfahrungen. In: Grebner, D. (Ed.) "Aktuelle Aspekte in der Hydrologie", Festschrift zum 60. Geburtstag von Herbert Lang. Zürcher Geographische Schriften, Heft 53, 1993, Geographisches Institut ETH Zürich, S. 200-207.

Menzel, L. und Demuth, N. (1993): Tracerhydrologische Untersuchungen am Lysimeter Rietholzbach. Berichte und Skripten, Heft 52, 1993, Geographisches Institut ETH Zürich, 27 S.

Müller, G. und Ohmura, A. (1993): Radiation Annual Report ETH No. 2, 1990 und 1991. Zürcher Geographische Schriften, Heft 52, 1990, Geographisches Institut, ETH Zürich.

Menzel, L. (1991): Wasserhaushaltsstudien im Einzugsgebiet der Thur (Ostschweiz). Analyse hydrologischer Feldmessungen 1976-1985. Berichte und Skripten, Heft 46, 1991, Geographisches Institut ETH Zürich, 206 S.

Ohmura, A.; Müller, G.; Schroff, K. und Konzelmann, T. (1990): Radiation Annual ETH Report No. 1, 1987 - 1989. Zürcher Geographische Schriften, Heft 39, 1990, Geographisches Institut, ETH Zürich.

Müller, G. (1989): Methodische Untersuchungen zur Bestimmung der Verdunstung im voralpinen Raum. (Ausgeführt im Rahmen des hydrologisch-klimatologischen Forschungsprojektes Rietholzbach und der ALPEX-EVAPEX-Kampagne im Sommer 1982). Dissert., Zürcher Geographische Schriften, Heft 36, 1989, Geographisches Institut ETH Zürich, 224 S.

Ohmura, A. and Lang, H. (1989): Secular variation of global radiation in Europe. Proceedings of the International Radiation Symposium, Lille, France, 18-24 August 1988, Edited by J. Lenoble and J.F. Geleyn, A. Deepak Publishing, Hampton, USA, 1989, pp 298-301.

Braun, L.N. and Lang, H. (1986): Simulation of snowmelt runoff in lowland and lower Alpine regions of Switzerland. Modelling snowmelt-induced processes, Proceedings of a symposium at Budapest, July 1986, IAHS Publication No. 155, 1986, pp 125-140.

Brutsaert, W. and Kustas, W.P. (1986): Wind profile constants in a neutral atmospheric boundary layer over complex terrain. Boundary Layer Meteorology, Dordrecht, NL, Boston, USA, Vol. 34, 1986, pp 35-54.

Koch, F.; Lang, H. und Moser, U. (1986): Erfahrungen mit einer Anlage zur Datenerfassung und übertragung in einem hydrologischen Forschungsgebiet. Wasser, Energie, Luft, 78, 1986, S. 96-100.

Braun, L.N. (1985): Simulation of snowmelt-runoff in lowland and lower Alpine regions of Switzerland. Dissert., Zürcher Geographische Schriften, Heft 21, 1985, Geographisches Institut ETH Zürich, 166 S.

Brutsaert, W. and Kustas, W.P. (1985): Evaporation and humidity profiles for neutral conditions over rugged hilly terrain. Journal of Climate and Applied Meteorology, Boston, USA, Vol. 24, 1985, pp 915-923.

Braun, L. und Lang, H. (1984): Vergleich von Schneeschmelzmodellen unterschiedlicher Komplexität in zwei voralpinen Einzugsgebieten verschiedener Grösse. Wissenschaftliche Tagung über schneehydrologische Forschung in Mitteleuropa, Hann. Münden, 12.-15. März 1984. Mitteilungen des Deutschen Verbandes für Wasserwirtschaft und Kulturbau, DVWK, Bonn, Nr. 7, 1984, S. 77-90.

Grebner, D. and Brutsaert, W.H. (Eds.) (1984): The EVAPEX-ALPEX Campaign 1982. Zürcher Geographische Schriften, Heft 18, 1984, Geographisches Institut ETH Zürich, 203 S.

Koch, F. and Lang, H. (1984): Experience on the use of an automatic data collection and transmission system in a hydrological research basin. Technical Conference on the Use of Microprocessors and Microcomputers in operational Hydrology, Geneva 4-5 September 1984. Organized by the WMO. In: microprozessors in operational hydrology, edited by WMO, D. Reidel Publishing Company, Dordrecht, 1986, pp 205-212.

Zuidema, P.K. und Kölla, E. (1983): Ein Niederschlag/Abfluss-Modell für kleine Einzugsgebiete. Wasser, Energie, Luft, 75, 1983, S. 124-125.

Braun, L.N. and Zuidema, P.K. (1982): Modelling snowmelt during advection-melt situations in a small basin (Rietholzbach). International Symposium on Hydrological Research Basin and their Use in Water Resources Planning, 21-23 September 1982 Berne. Sonderheft der Landeshydrologie, Bern, 1982, S. 771-780.

Germann, P.; Schädler, B. and Meier, R. (1982): The variation of some hydrological elements within a prealpine basin. International Symposium on Hydrological Research Basins and their Use in Water Resources Planning, 21-23 September 1982 Berne. Sonderheft der Landeshydrologie, Bern, 1982, S. 301-310.

Kölla, E. and Zuidema, P.K. (1982): A conceptual storm runoff model applied to three small Swiss experimental basins: a brief description. International Symposium on Hydrological Research Basins and their Use in Water Resources Planning, 21-23 September 1982 Berne. Sonderheft der Landeshydrologie, Bern, 1982, S. 513-519.

Schädler, B. (1982): The variability of evapotranspiration in the Rietholzbach basin determined using energy balance methods. Mitteilungen der Versuchsanstalt für Wasserbau, Hydrologie und Glaziologie, ETH Zürich, Nr. 46 e, 1982.

Germann, P. (1981): Untersuchungen über den Bodenwasserhaushalt im hydrologischen Einzugsgebiet Rietholzbach. Dissert., Mitteilungen der Versuchsanstalt für Wasserbau, Hydrologie und Glaziologie, ETH Zürich, Nr. 51, 1981, 137 S.

Germann, P.; Schädler, B. und Kuhn, H. (1981): Zusammenhänge zwischen der flächenmässigen Verteilung von Wald und einigen Standortsfaktoren im hydrologischen Einzugsgebiet Rietholzbach. Schweiz. Z. Forstwesen, 132, 1981, S. 257-265.

Meier, R. (1981a): Soil moisture detection with microwave and thermal infrared sensors in the catchment area Rietholzbach (Switzerland). Remote Sensing Series, Band 4, Geographisches Institut, Universität Zürich, 48 S.

Meier, R. (1981b): Möglichkeiten und Grenzen der Fernerkundung als Mittel zur flächenhaften Erfassung der Bodenfeuchte. Wasser und Boden, 33, 1981, Heft 3, S. 96-97.

Meier, R. (1981c): Simulation of the topographic influence on SLAR data for soil moisture detection in a hilly area. Remote Sensing of Environment, 11, 1981, pp. 245-251.

Schädler, B. (1981): Verdunstung aus der Energiebilanz berechnet. Wasser und Boden, 33, 1981, Heft 3, S. 98-101.

Schädler, B. und Koch, F. (1981): Schneedecke automatisch erfasst. Wasser, Energie, Luft, 73, 1981, S. 15-16.

Lang, H. und Schädler, B. (1980): Wasserhaushalt und Wärmehaushalt. Wasser, Energie, Luft, 72, 1980, S. 284-289.

Meier, R. (1980): Fernerkundungsmethoden zur Erfassung der Bodenfeuchtigkeit im hydrologischen Einzugsgebiet Rietholzbach. Mitteilungen der Versuchsanstalt für Wasserbau, Hydrologie und Glaziologie, ETH Zürich, Nr. 45, 1980, 115 S.

Schädler, B. (1980): Der Wasserhaushalt eines Wägelysimeters als Index für ein kleines Einzugsgebiet. Jahrbuch der Schweizerischen Naturforschenden Gesellschaft, wissenschaftlicher Teil, 1980, S. 75-79.

Schädler, B. (1980): Die Variabilität der Evapotranspiration im Einzugsgebiet Rietholzbach bestimmt mit Energiebilanzmethoden. Dissert., Mitteilungen der Versuchsanstalt für Wasserbau, Hydrologie und Glaziologie, ETH Zürich, Nr. 46, 1980, 115 S.

Meier, R. und Schädler, B. (1979): Die Ausaperung der Schneedecke in Abhängigkeit von Strahlung und Relief. Arch. Met. Geoph. Biokl., Serie B, 27, 1979, S. 151-158.

Germann, P., Lang, H. und Schädler, B. (1978): Flächenmässige Interpretation von Lysimeterdaten mit Hilfe von Bodenfeuchtemessungen. Mitteilung Deutsche Bodenkundliche Gesellschaft, 26, 1978, S. 61-66.

Lang, H. (1978): Untersuchungen über den Wasserhaushalt und über Abflussprozesse im hydrologischen Forschungsgebiet Rietholzbach. Tagungsbericht "Wasserhaushaltssysteme naturnaher kleiner Einzugsgebiete", Mai 1978, Grafenau, Schriftenreihe des Bayerischen Staatsministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten, S. 108-117.

Meier, R. (1978): Fernerkundung von Pflanzeneigenschaften zur Beschreibung der Bodenfeuchte. Proceedings ISP-IUFRO International Symposium on Remote Sensing, Freiburg i.Br., Juli 1978, S. 2349-2356.

Lang, H. (1976): Die hydrologische Forschung im Gebiet Rietholzbach. Schweizer Journal, April 1976, S. 39-40.

Publikationen einschliesslich Dissertationen

(alphabetisch geordnet)

Braun, L.N. and Lang, H. (1986): Simulation of snowmelt runoff in lowland and lower Alpine regions of Switzerland. Modelling snowmelt-induced processes, Proceedings of a symposium at Budapest, July 1986, IAHS Publication No. 155, 1986, pp 125-140.

Braun, L.N. (1985): Simulation of snowmelt-runoff in lowland and lower Alpine regions of Switzerland. Dissert., Zürcher Geographische Schriften, Heft 21, 1985, Geographisches Institut ETH Zürich, 166 S.

Braun, L. und Lang, H. (1984): Vergleich von Schneeschmelzmodellen unterschiedlicher Komplexität in zwei voralpinen Einzugsgebieten verschiedener Grösse. Wissenschaftliche Tagung über schneehydrologische Forschung in Mitteleuropa, Hann. Münden, 12.-15. März 1984. Mitteilungen des Deutschen Verbandes für Wasserwirtschaft und Kulturbau, DVWK, Bonn, Nr. 7, 1984, S. 77-90.

Braun, L.N. and Zuidema, P.K. (1982): Modelling snowmelt during advection-melt situations in a small basin (Rietholzbach). International Symposium on Hydrological Research Basin and their Use in Water Resources Planning, 21-23 September 1982 Berne. Sonderheft der Landeshydrologie, Bern, 1982, S. 771-780.

Brutsaert, W. and Kustas, W.P. (1986): Wind profile constants in a neutral atmospheric boundary layer over complex terrain. Boundary Layer Meteorology, Dordrecht, NL, Boston, USA, Vol. 34, 1986, pp 35-54.

Brutsaert, W. and Kustas, W.P. (1985): Evaporation and humidity profiles for neutral conditions over rugged hilly terrain. Journal of Climate and Applied Meteorology, Boston, USA, Vol. 24, 1985, pp 915-923.

Brutsaert, W. and Kustas, W.P. (1986): Wind profile constants in a neutral atmospheric boundary layer over complex terrain. Boundary Layer Meteorology, Dordrecht, NL, Boston, USA, Vol. 34, 1986, pp 35-54.

Demuth, N.; Lorieri, D. und Menzel, L. (1993): Zur Dynamik der Sickerwasserbewegung in einem Lysimeter - Ergebnisse eines Tracerversuches. Mitteilungen der Deutschen Bodenkundlichen Gesellschaft, 71, 1993, S. 119-122.

Germann, P. (2001) Hydromechanical approach to preferential flow. Chapter 10, pages 233-260 In: M.G.Anderson and P.D. Bates (eds.): *Model Validation - Perspectives in Hydrological Sciences*. John Wiley & Sons, Ltd., Chichester, New York, etc. 500 p.

Germann, P. (1993): Ein schicksalshaftes Hochwasser. In: Grebner, D. (Ed.) "Aktuelle Aspekte in der Hydrologie", Festschrift zum 60. Geburtstag von Herbert Lang. Zürcher Geographische Schriften, Heft 53, 1993, Geographisches Institut ETH Zürich, S. 185-192.

Germann, P.; Schädler, B. and Meier, R. (1982): The variation of some hydrological elements within a prealpine basin. International Symposium on Hydrological Research Basins and their Use in Water Resources Planning, 21-23 September 1982 Berne. Sonderheft der Landeshydrologie, Bern, 1982, S. 301-310.

Germann, P.; Lang, H. und Schädler, B. (1978): Flächenmässige Interpretation von Lysimeterdaten mit Hilfe von Bodenfeuchtemessungen. Mitteilung Deutsche Bodenkundliche Gesellschaft, 26, 1978, S. 61-66.

Germann, P. (1981): Untersuchungen über den Bodenwasserhaushalt im hydrologischen Einzugsgebiet Rietholzbach. Dissert., Mitteilungen der Versuchsanstalt für Wasserbau, Hydrologie und Glaziologie, ETH Zürich, Nr. 51, 1981, 137 S.

Germann, P.; Schädler, B. und Kuhn, H. (1981): Zusammenhänge zwischen der flächenmässigen Verteilung von Wald und einigen Standortsfaktoren im hydrologischen Einzugsgebiet Rietholzbach. Schweiz. Z. Forstwesen, 132, 1981, S. 257-265.

Grabs, W. (Ed.), (1997): Impact of Climate Change on Hydrological Regimes and Water Resources Management in the Rhine Basin. International Commission for the Hydrology of Rhine Basin (CHR), CHR-Report no. I-16, 172 S.

Grebner, D. and Brutsaert, W.H. (Eds.) (1984): The EVAPEX-ALPEX Campaign 1982. Zürcher Geographische Schriften, Heft 18, 1984, Geographisches Institut ETH Zürich, 203 S.

Gurtz, J., Badertscher S., Milzow, Ch., Moser, U., Schroff, K., Stoeckli, R. Voelksch, I. und Zingg, M. (2006): Auswertung der Reihen der meteorologischen und hydrologischen Variablen im Forschungsgebiet Rietholzbach für den 30-jährigen Beobachtungszeitraum 1976-2005 unter besonderer Berücksichtigung des Trockensommers 2003. Bericht am Institut für Atmosphäre und Klima ETH Zürich, 83 S, verfügbar auf CD und im Internet auf der Rietholzbach-Website.

Gurtz, J., M. Verbunt, M. Zappa, M. Moesch, F. Pos and Moser, U. (2003):. Long-Term Hydrometeorological Measurements and Model-Based Analyses in the Hydrological Research Catchment Rietholzbach. *J. Hydrol. Hydromech.*, Slovakia, **51**, 2003, 3, 162-174.

Gurtz, J., M. Zappa, K. Jasper, H. Lang, M. Verbunt, A. Badoux and Vitvar, T. (2003). A Comparative Study in Modelling Runoff and its Components in Two Mountainous Catchments. *Hydrol. Process.* **17**, 297-311.

9 Gurtz, J., M. Verbunt, M. Zappa, M. Moesch and Moser, U. (2003): Long-Term Hydrometeorological Measurements and Model Based Analyses in the Hydrological Research Catchment Rietholzbach. Proceed. of International Conference on "Interdisciplinary Approaches in Small Catchment Hydrology: Monitoring and Research. Demànovska dolina, Slovakia, September 25-28, 2002, 6 pp.

Gurtz, J., M. Verbunt, K. Jasper, H. Lang and Zappa, M. (2002). Spatial and temporal variations of hydrological processes in mountainous regions and their modelling. In *Water Resources and Environment Research, Proceedings of ICWRER 2002*, 22-25 July 2002 Dresden, Germany, Band **28**, Volume I, pp. 47-51.

Gurtz, J., M. Zappa, K. Jasper, M. Verbunt, A. Badoux, T. Vitvar and Lang, H. (2001): Modelling of runoff and its components and model validation in Swiss Pre-Alpine and Alpine catchments. International Workshop runoff generation and implications for river basin modelling, 9-12 October 2000, *Freiburger Schriften zur Hydrologie* **13**, Freiburg i. Br., Germany, 206-220.

Gurtz, J., Baltensweiler, A. and Lang H. (1999): Spatially distributed hydrotope-based modelling of evapotranspiration and runoff in mountainous basins. Hydrol.Process. 13. 2751-2768.

Gurtz, J.; Baltensweiler, A.; Lang, H.; Menzel, L. und Schulla, J. (1997): Auswirkungen von klimatischen Variationen auf Wasserhaushalt und Abfluss im Flussgebiet des Rheins. Projektschlussbericht im Rahmen des NFP31:"Klimaänderungen und Naturkatastrophen", vdf, Hochschulverlag AG ETH Zürich, 1997, 159 S.

Gurtz, J.; Lang, H.; Menzel, L. und Schulla, J. (1996): Zur Modellierung von Wasserhaushalt und Abfluss im alpinen Raum. Festschrift zum 60. Geburtstag von Prof. Gerd Peschke, IHI-Schriften, Heft 2, 1996, S. 223-235.

Gurtz, J.; Baltensweiler, A.; Lang, H. and Schulla, J (1996): Spatial distribution model approaches to hydrologic processes and river flow from mountainous regions. Ecohydrology of High Mountain Areas. Proceedings of the International Conference, Kathmandu, Nepal, 24-28 March 1996, pp 129-141.

Kirnbauer, R.; Lang, H. und Forster, F. (2000): Hydrologische Forschungsgebiete -Informationsquellen für Wissenschaft und Praxis. Österreichische Wasser- und Abfallwirtschaft, Jg. 52, Heft 5/6, 2000, S. 87-94.

Koch, F.; Lang, H. und Moser, U. (1986): Erfahrungen mit einer Anlage zur Datenerfassung und übertragung in einem hydrologischen Forschungsgebiet. Wasser, Energie, Luft, 78, 1986, S. 96-100.

Koch, F. and Lang, H. (1984): Experience on the use of an automatic data collection and transmission system in a hydrological research basin. Technical Conference on the Use of Microprocessors and Microcomputers in operational Hydrology, Geneva 4-5 September 1984. Organized by the WMO. In: microprozessors in operational hydrology, edited by WMO, D. Reidel Publishing Company, Dordrecht, 1986, pp 205-212.

Koenig, P. (1994): Abflussprozesse in einem kleinen voralpinen Einzugsgebiet. Dissert., Zürcher Geographische Schriften, Heft 58, 1994, Geographisches Institut ETH Zürich, 164 S.

Koenig, P.; Lang, H. and Schwarze, R. (1994): On the runoff formation in the small pre-alpine research basin Rietholzbach. Proceedings of the Braunschweig Conference, 11-15 October 1993, IAHS Publication No. 221, 1994, pp 391-398.

Koenig, P. und Menzel, L. (1993): Die Forschung im Gebiet Rietholzbach: Eine Standortbestimmung. In: Grebner, D. (Ed.) "Aktuelle Aspekte in der Hydrologie", Festschrift zum 60. Geburtstag von Herbert Lang. Zürcher Geographische Schriften, Heft 53, 1993, Geographisches Institut ETH Zürich, S. 9-24.

Kölla, E. und Zuidema, P. K. (1993): Abflussprozesse während Starkniederschlägen im Modell, in Feldversuchen und in einem Hochwasserschätzverfahren - ein Rückblick auf vor 10 Jahren gemachte Erfahrungen. In: Grebner, D. (Ed.) "Aktuelle Aspekte in der Hydrologie", Festschrift zum 60. Geburtstag von Herbert Lang. Zürcher Geographische Schriften, Heft 53, 1993, Geographisches Institut ETH Zürich, S. 200-207.

Kölla, E. and Zuidema, P.K. (1982): A conceptual storm runoff model applied to three small Swiss experimental basins: a brief description. International Symposium on Hydrological Research Basins and their Use in Water Resources Planning, 21-23 September 1982 Berne. Sonderheft der Landeshydrologie, Bern, 1982, S. 513-519.

Lang, H. und Schädler, B. (1980): Wasserhaushalt und Wärmehaushalt. Wasser, Energie, Luft, 72, 1980, S. 284-289.

Lang, H. (1978): Untersuchungen über den Wasserhaushalt und über Abflussprozesse im hydrologischen Forschungsgebiet Rietholzbach. Tagungsbericht "Wasserhaushaltssysteme naturnaher kleiner Einzugsgebiete", Mai 1978, Grafenau, Schriftenreihe des Bayerischen Staatsministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten, S. 108-117.

Lang, H. (1976): Die hydrologische Forschung im Gebiet Rietholzbach. Schweizer Journal, April 1976, S. 39-40.

Meier, R. (1981a): Soil moisture detection with microwave and thermal infrared sensors in the catchment area Rietholzbach (Switzerland). Remote Sensing Series, Band 4, Geographisches Institut, Universität Zürich, 48 S.

Meier, R. (1981b): Möglichkeiten und Grenzen der Fernerkundung als Mittel zur flächenhaften Erfassung der Bodenfeuchte. Wasser und Boden, 33, 1981, Heft 3, S. 96-97.

Meier, R. (1981c): Simulation of the topographic influence on SLAR data for soil moisture detection in a hilly area. Remote Sensing of Environment, 11, 1981, pp. 245-251.

Meier, R. (1980): Fernerkundungsmethoden zur Erfassung der Bodenfeuchtigkeit im hydrologischen Einzugsgebiet Rietholzbach. Mitteilungen der Versuchsanstalt für Wasserbau, Hydrologie und Glaziologie, ETH Zürich, Nr. 45, 1980, 115 S.

Meier, R. und Schädler, B. (1979): Die Ausaperung der Schneedecke in Abhängigkeit von Strahlung und Relief. Arch. Met. Geoph. Biokl., Serie B, 27, 1979, S. 151-158.

Meier, R. (1978): Fernerkundung von Pflanzeneigenschaften zur Beschreibung der Bodenfeuchte. Proceedings ISP-IUFRO International Symposium on Remote Sensing, Freiburg i.Br., Juli 1978, S. 2349-2356.

Menzel, L.(1997): Modellierung der Evapotranspiration im System Boden - Pflanze - Atmosphäre. Dissert., Zürcher Geographische Schriften, Heft 67, 1997, Geographisches Institut ETH Zürich, 128 S.

Menzel, L. (1996): Development of an evapotranspiration model from research studies in a small prealpine catchment. Ecohydrological Processes in Small Basins, Extended abstracts of the ERB Conference, Strassbourg, 24-26 September 1996, S. 91-95.

Menzel, L. (1996): Modelling Canopy Resistances and Transpiration of Grassland. Physics and Chemistry of the Earth, 21, 1996, No. 3, pp 123-129.

Menzel, L. (1995): Bodenfeuchtemessung mittels Time Domain Reflectrometry (TDR) - Funktion und Anwendung. Berichte und Skripten, Heft 55, 1995, Geographisches Institut ETH Zürich, 68 S.

Menzel, L. und Nievergelt, J. (1995): Niederschlag und Sickerwasser an fünf schweizerischen Lysimeteranlagen. Bulletin der Bodenkundlichen Gesellschaft der Schweiz, 19, 1995, S. 113-116.

Menzel, L. und Demuth, N. (1993): Tracerhydrologische Untersuchungen am Lysimeter Rietholzbach. Berichte und Skripten, Heft 52, 1993, Geographisches Institut ETH Zürich, 27 S.

Menzel, L. (1991): Wasserhaushaltsstudien im Einzugsgebiet der Thur (Ostschweiz). Analyse hydrologischer Feldmessungen 1976-1985. Berichte und Skripten, Heft 46, 1991, Geographisches Institut ETH Zürich, 206 S.

Müller, G. und Ohmura, A. (1993): Radiation Annual Report ETH No. 2, 1990 und 1991. Zürcher Geographische Schriften, Heft 52, 1990, Geographisches Institut, ETH Zürich.

Müller, G. (1989): Methodische Untersuchungen zur Bestimmung der Verdunstung im voralpinen Raum. (Ausgeführt im Rahmen des hydrologisch-klimatologischen Forschungsprojektes Rietholzbach und der ALPEX-EVAPEX-Kampagne im Sommer 1982). Dissert., Zürcher Geographische Schriften, Heft 36, 1989, Geographisches Institut ETH Zürich, 224 S.

Ohmura, A.; Müller, G.; Schroff, K. und Konzelmann, T. (1990): Radiation Annual ETH Report No. 1, 1987 - 1989. Zürcher Geographische Schriften, Heft 39, 1990, Geographisches Institut, ETH Zürich.

Ohmura, A. and Lang, H. (1989): Secular variation of global radiation in Europe. Proceedings of the International Radiation Symposium, Lille, France, 18-24 August 1988, Edited by J. Lenoble and J.F. Geleyn, A. Deepak Publishing, Hampton, USA, 1989, pp 298-301.

Schädler, B. (1982): The variability of evapotranspiration in the Rietholzbach basin determined using energy balance methods. Mitteilungen der Versuchsanstalt für Wasserbau, Hydrologie und Glaziologie, ETH Zürich, Nr. 46 e, 1982.

Schädler, B. (1980): Die Variabilität der Evapotranspiration im Einzugsgebiet Rietholzbach bestimmt mit Energiebilanzmethoden. Dissert., Mitteilungen der Versuchsanstalt für Wasserbau, Hydrologie und Glaziologie, ETH Zürich, Nr. 46, 1980, 115 S.

Schädler, B. (1981): Verdunstung aus der Energiebilanz berechnet. Wasser und Boden, 33, 1981, Heft 3, S. 98-101.

Schädler, B. und Koch, F. (1981): Schneedecke automatisch erfasst. Wasser, Energie, Luft, 73, 1981, S. 15-16.

Schädler, B. (1980): Der Wasserhaushalt eines Wägelysimeters als Index für ein kleines Einzugsgebiet. Jahrbuch der Schweizerischen Naturforschenden Gesellschaft, wissenschaftlicher Teil, 1980, S. 75-79.

Schulla, J. (1997): Hydrologische Modellierung von Flussgebieten zur Abschätzung der Folgen von Klimaänderungen. Dissert., Zürcher Geographische Schriften, Heft 69, 1997, Geographisches Institut ETH Zürich, 161 S.

Vitvar, T. (1996): Estimation of mean water residence times and runoff generation by stable isotope measurements in a small prealpine research catchment (Rietholzbach Eastern Switzerland). Ecohydrological Processes in Small Basins, Extended abstracts of the ERB Conference, Strassbourg, 24-26 September 1996, 157.

Vitvar, T. and Balderer, W. (1997): Estimation of mean water residence times and runoff generation by ${}^{18}_{0}$ measurements in a prealpine catchment (Rietholzbach, Eastern Switzerland). Applied Geochemistry, 12, 1997, pp 787-796.

Vitvar, T., Gurtz, J. and Lang, H. (1999): Application of GIS-based distributed hydrological modelling for estimation of water residence times in the small Swiss pre-alpine catchment Rietholzbach. Symposium "Integrated Methods in Catchment Hydrology-Tracer, Remote Sensing and New Hydrometric Techniques", Proceedings of IUGG 99 Symposium HS4, Birmingham, July 1999, IAHS Publ. No. 258, 241-248.

Vitvar, T. (1998): Water Residence Times and Runoff Generation in a Small Prealpine Catchment. Dissert., Zürcher Geographische Schriften, Heft 71, 1998, Geographisches Institut ETH Zürich, 127 S.

Zappa, M., F. Pos, U. Strasser, P. Warmerdam and Gurtz, J. (2003): Seasonal Water Balance of an Alpine Catchment as Evaluated by Different Methods for Spatially Distributed Snow Melt Modelling. *Nordic Hydrology* **34**(3), 2003, 179-202.

Zappa, M. and Gurtz, J. (2002).:. The Spatial Resolution of Physiographic Data Simulations in Prealpine and Alpine Catchments. In *Water Resources and Environment Research, Proceedings of ICWRER 2002*,22-25 July 2002 Dresden, Germany, Band **28**, Volume I, 101-105.

Zuidema, P.K. und Kölla, E. (1983): Ein Niederschlag/Abfluss-Modell für kleine Einzugsgebiete. Wasser, Energie, Luft, 75, 1983, S. 124-125.

Diplomarbeiten

(chronologisch geordnet)

Jaun, S. (2003): Evapotranspiration und Strahlungskomponenten im Forschungsgebiet Rietholzbach. Diplomarbeit (Diploma thesis), Institut für Atmosphäre und Klima der ETH Zürich, 117 S.

Walther, Ch. (2003): Wasserhaushaltsmodellierung mit BATS und PREVAH im Rietholzbachgebiet und Parameteroptimierung mit der Software PEST. Diplomarbeit (Diploma thesis), Institut für Atmosphäre und Klima der ETH Zürich, 91 S.

Perl, M., 2002. Verdunstungsmodellierung für die Schweiz - Regionale Auswertung. Geographisches Institut der Universität Zürich / Institut für Atmosphäre und Klima ETH Zürich, 108 S.

Pos, F. (2001): Spatially distributed modelling of snow accumulation and melt in pre-alpine and alpine catchments. Diplomarbeit (Diploma thesis), Institute for Climate Research of ETH Zürich / Department of Environmental Sciences of Wageningen University, 95 S.

Moesch, M. (2001): Untersuchungen zur hydrologischen und klimatologischen Klimatisierung des Forschungsgebietes Rietholzbach. Diplomarbeit (Diploma thesis), Institut für Klimaforschung ETH Zürich, 85 S.

Achleitner P. (2000): Untersuchungen zu den Komponenten des Wasserhaushaltes und ihrer Modellierung im Einzugsgebiet des Rietholzbaches. Diplomarbeit ausgeführt am Institut für Klimaforschung ETH Zürich, 2000, 60 S. und Anhang.

Bohrer, M. (1998): Räumlich differenzierte Erfassung der Einzugsgebietskennwerte und Modellierung des Wasserhaushaltes im Rietholzbachgebiet unter Nutzung eines GIS. Diplomarbeit, UNI Zürich und Geographisches Institut ETH Zürich, 92S. und Anhang.

Baltensweiler, A. (1995): Modellierung der Evapotranspiration in ihrer räumlichen und zeitlichen Veränderung für das Einzugsgebiet der Thur unter Nutzung eines Geographischen Informationssystems. Diplomarbeit ausgeführt am Geographischen Institut ETH Zürich, 1995, 98 S.

Fürholz, B. (1994): Die Berechnung der Wasserhaushaltsbilanz an einem voralpinen Einzugsgebiet mit einem Wasserhaushaltsmodell. Diplomarbeit ausgeführt am Geographischen Institut ETH Zürich, 1994, 64 S. und Anhang.

Hutter, L. (1992): Homogenisierung von langjährigen Zeitreihen der Lufttemperatur. Diplomarbeit ausgeführt am Geographischen Institut ETH Zürich, 1992, 217 S. inkl. Anhang.

Demierre, J.C. (1992): Analyse des Geschiebetransportes in Beziehung zum Abfluss im Rietholzbach. Diplomarbeit ausgeführt am Geographischen Institut ETH Zürich, 1992, 152 S.

Burgthaler, B. (1992): Untersuchungen über Abflussbildungsprozesse mittels Tracerversuchen in einem niederalpinen Einzugsgebiet der Ostschweiz. Diplomarbeit ausgeführt am Institut für Physische Geographie/Professur für Hydrologie, Albert-Ludwigs-Universität Freiburg, 1992, 97 S. und Anhang.

Menzel, L. (1989): Wasserhaushaltsstudien im Einzugsgebiet der Thur (Ostschweiz). Analyse hydrologischer Feldmessungen 1976-1985. Diplomarbeit ausgeführt am Geographischen Institut ETH Zürich, 1989, 207 S.

Hutterli, M. (1983): Anwendung von Sauerstoffisotopen für hydrologische Untersuchungen im Gebiet Rietholzbach, Kt. St. Gallen. Diplomarbeit ausgeführt am Geographischen Institut ETH Zürich, 1983, 80 S.

Gallus, A. (1979): Die Interzeption von flüssigem Niederschlag im hydrologischen Forschungsgebiet Rietholzbach. Diplomarbeit ausgeführt am Geographischen Institut ETH Zürich, 1979, 105 S.

Diplomarbeiten

(alphabetisch geordnet)

Achleitner P. (2000): Untersuchungen zu den Komponenten des Wasserhaushaltes und ihrer Modellierung im Einzugsgebiet des Rietholzbaches. Diplomarbeit ausgeführt am Institut für Klimaforschung ETH Zürich, 2000, 60 S. und Anhang.

Baltensweiler, A. (1995): Modellierung der Evapotranspiration in ihrer räumlichen und zeitlichen Veränderung für das Einzugsgebiet der Thur unter Nutzung eines Geographischen Informationssystems. Diplomarbeit ausgeführt am Geographischen Institut ETH Zürich, 1995, 98 S.

Bohrer, M. (1998): Räumlich differenzierte Erfassung der Einzugsgebietskennwerte und Modellierung des Wasserhaushaltes im Rietholzbachgebiet unter Nutzung eines GIS. Diplomarbeit, UNI Zürich und Geographisches Institut ETH Zürich, 92 S. und Anhang..

Burgthaler, B. (1992): Untersuchungen über Abflussbildungsprozesse mittels Tracerversuchen in einem niederalpinen Einzugsgebiet der Ostschweiz. Diplomarbeit ausgeführt am Institut für Physische Geographie/Professur für Hydrologie, Albert-Ludwigs-Universität Freiburg, 1992, 97 S. und Anhang.

Demierre, J.C. (1992): Analyse des Geschiebetransportes in Beziehung zum Abfluss im Rietholzbach. Diplomarbeit ausgeführt am Geographischen Institut ETH Zürich, 1992, 152 S.

Fürholz, B. (1994): Die Berechnung der Wasserhaushaltsbilanz an einem voralpinen Einzugsgebiet mit einem Wasserhaushaltsmodell. Diplomarbeit ausgeführt am Geographischen Institut ETH Zürich, 1994, 64 S. und Anhang.

Gallus, A. (1979): Die Interzeption von flüssigem Niederschlag im hydrologischen Forschungsgebiet Rietholzbach. Diplomarbeit ausgeführt am Geographischen Institut ETH Zürich, 1979, 105 S.

Hutter, L. (1992): Homogenisierung von langjährigen Zeitreihen der Lufttemperatur. Diplomarbeit ausgeführt am Geographischen Institut ETH Zürich, 1992, 217 S. inkl. Anhang.

Hutterli, M. (1983): Anwendung von Sauerstoffisotopen für hydrologische Untersuchungen im Gebiet Rietholzbach, Kt. St. Gallen. Diplomarbeit ausgeführt am Geographischen Institut ETH Zürich, 1983, 80 S.

Jaun, S. (2003): Evapotranspiration und Strahlungskomponenten im Forschungsgebiet Rietholzbach. Diplomarbeit (Diploma thesis), Institut für Atmosphäre und Klima der ETH Zürich, 117 S.

Menzel, L. (1989): Wasserhaushaltsstudien im Einzugsgebiet der Thur (Ostschweiz). Analyse hydrologischer Feldmessungen 1976-1985. Diplomarbeit ausgeführt am Geographischen Institut ETH Zürich, 1989, 207 S.

Moesch, M. (2001): Untersuchungen zur hydrologischen und klimatologischen Klimatisierung des Forschungsgebietes Rietholzbach. Diplomarbeit (Diploma thesis), Institut für Klimaforschung ETH Zürich, 85 S.

Perl, M., 2002. Verdunstungsmodellierung für die Schweiz - Regionale Auswertung. Geographisches Institut der Universität Zürich / Institut für Atmosphäre und Klima ETH Zürich,108 pp.

Pos, F. (2001): Spatially distributed modelling of snow accumulation and melt in pre-alpine and alpine catchments. Diplomarbeit (Diploma thesis), Institute for Climate Research of ETH Zürich / Department of Environmental Sciences of Wageningen University, 95 S.

Walther, Ch. (2003): Wasserhaushaltsmodellierung mit BATS und PREVAH im Rietholzbachgebiet und Parameteroptimierung mit der Software PEST. Diplomarbeit (Diploma thesis), Institut für Atmosphäre und Klima der ETH Zürich, 91 S.

Semesterarbeiten und Berichte zu Praktika

(chronologisch geordnet)

Badertscher S. (2005): Auswertung der Reihen der meteorologischen und hydrologischen Variablen im Forschungsgebiet Rietholzbach für den Beobachtungszeitraum 1976-2005 unter besonderer Berücksichtigung des Trockenjahres 2003. Semesterarbeit, Institut für Atmosphäre und Klima ETH Zürich.

Milzow, Ch. (2002): Erstellung und Auswertung einer einheitlichen Bodenfeuchtemessreihe über die Jahre 1994 bis 2002 im Forschungsgebiet Rietholzbach. Semesterarbeit, Institut für Atmosphäre und Klima ETH Zürich.

Corti, M. (2002): Abflusskomponentenanalyse mit DIFGA 2000 für das Einzugsgebiet des Rietholzbaches und den Zeitraum 1975-2000. Semesterarbeit, Institut für Atmosphäre und Klima ETH Zürich.

Koschni, A. (2002): Auswertung von Messreihen im Rietholzbach-Einzugsgebiet. Praktikumsbericht, Universität Rostock (D) / Institut für Atmosphäre und Klima ETH Zürich.

Moesch, M. (2000): Rietholzbach: Lysimeter - Datenauswertung 1981 - 1999. Semesterarbeit.

Mieglitz, K. und Schuller, Ch. (1997): Messpraktikum im Rietholzbachgebiet - 28. Juli bis 4.September 1997. (Niederschlag, Interzeption, Abfluss).

Zappa, M. (1997): Empfindlichkeitsanalyse der Modellierung der Evapotranspiration im Programm HBVEVARB. Semesterarbeit ausgeführt am Geographischen Institut der ETH Zürich.

Mecklenburg, S. (1995): Auswertung von Niederschlagsmessungen. Pratikumsarbeit ausgeführt am Geographischen Institut der ETH Zürich.

Lorieri, D. (1992): Sickervorgang und Stofftransport im Lysimeter Rietholzbach. Seminararbeit, Geographisches Institut, Universität Bern, 34 S.

Schulla, J. (1992): Untersuchungen zur Berechnung des Bodenwasserhaushaltes und der Abflussbildung kleiner Flächen mit dem Bodenwasserhaushaltsmodell BOWAM. Forschungsbeleg, Institut für Hydrologie und Meteorologie, TU Dresden, 56 S.

Friese, H. (1992): Das hydrologische Forschungsgebiet Rietholzbach. Praktikumsbericht ausgeführt am Geographischen Institut ETH Zürich, 29 S.

Kölla, E. und Zuidema, P. (1984): Feldarbeiten Sommer 1983. Arbeitsbericht über Beregnungsversuche und Niederschlagsmessungen, Rietholzbach (4 Standorte). Interner Bericht, VAW, ETH Zürich, 33 S.

Culley, S. (1982): The implications of runoff coefficients for subsurface stormflow. Versuchsanstalt für Wasserbau, Hydrologie und Glaziologie, VAW ETH Zürich, 32 S.

Bazuin, P.(1980): About snowmelt. (Thesis for a six months subject in hydrology). 64 S.

Abu Shoura, Y. (1979): Calibration of a discharge measuring Structure at Rietholzbach river using scale models. MSc-Course in Soil Science and Water Management, Agricultural University, Wageningen, NL, 77 S.

Prak, H. (1979): Das hydrologische Forschungsgebiet Rietholzbach. Ein Vergleich zwischen dem Laufzeitverfahren und einem einfachen Niederschlag-Abfluss-Modell. Praktikumsarbeit, 80 S. und 46 S. Anhang.

Kuhn, H. (1979): Bodenkartierung Hydrex. A 4 vervielfältigt, geheftet mit 3 Plänen1:5000, 64 S.

Sieber, A.(1978): Befliegungsprojekt Rietholzbach: Schweiz. Int. Bericht IB 551-78/4. DFVLR, Inst. f. Flugfunk und Mikrowellen, Oberpfaffenhofen BRD.