



Internationale Regierungskommission Alpenrhein
Projektgruppe Grundwasser

Grundwassermodell Alpenrhein

Instationäre Modellierung

März 2007



Liechtenstein



Vorarlberg



Graubünden



St. Gallen

TK
CONSULT AG

Engineering
Modellierung
Visualisierung

Dr. J. Trösch
Dr. U. Kuhlmann
Dipl. Ing. ETH/SIA

Postfach, CH-8050 Zürich
☎ ++41(0)44 310 14 70
fax ++41(0)44 315 50 60
✉ tkc@tkconsult.ch
<http://www.tkconsult.ch>

Inhaltsverzeichnis

1	AUFGABENSTELLUNG	4
2	DURCHGEFÜHRTE BESPRECHUNGEN UND SITZUNGEN	4
3	MESSDATEN	4
3.1	Grundwasserpegel	4
3.2	Pegeldaten der Oberflächengewässer	5
3.3	Entnahmemengen der Grundwasserbrunnen	5
3.4	Meteorologische Daten	6
4	INSTATIONÄRE MODELLRANDBEDINGUNGEN	6
4.1	Direkte Grundwasserneubildung	6
4.2	Randzuflüsse	10
4.3	Vorfluter	11
4.4	Kalibrierung Graubünden	13
4.5	Kalibrierung St. Gallen	14
4.6	Kalibrierung Fürstentum Liechtenstein	17
4.7	Kalibrierung Vorarlberg	17
5	VALIDIERUNG	20
6	BILANZIERUNG	20
7	ZUSTRÖMBEREICHE	32
8	LITERATUR	32
9	UNTERSCHRIFT	33
	ANHANG 1: PEGEL GRAUBÜNDEN	34
	ANHANG 2: PEGEL FÜRSTENTUM LIECHTENSTEIN	36

ANHANG 3: PEGEL ST. GALLEN	38
ANHANG 4: PEGEL VORARLBERG	39
ANHANG 5: GANGLINIEN DER PEGEL GRAUBÜNDEN	43
ANHANG 6: PEGEL FÜRSTENTUM LIECHTENSTEIN	58
ANHANG 7: GANGLINIEN DER PEGEL ST. GALLEN (FL)	62
ANHANG 8: GANGLINIEN DER PEGEL VORARLBERG	66

Beilagenverzeichnis

Beilage 1: k-Werte 1:100'000

Beilage 2: Isohypsen MW/NW/HW 1:50'000

Beilage 3: Zuströmbereiche der öffentlichen Brunnen 1:50'000

1 Aufgabenstellung

Die Internationale Regierungskommission Alpenrhein, Projektgruppe Grundwasser, erteilte am 21. Juli 2005 der TK Consult AG den Auftrag zur weiteren Pflege des Grundwassermodells Alpenrhein (C6- Modellpflege 2005/2006) und zur instationären Modellierung (C14-Instationäre Modellierung). Dabei sollten

- das Grundwassermodell Alpenrhein instationär kalibriert werden
- an unabhängigen Daten eine Validierung aufgezeigt werden
- noch zu definierende praktische Fallbeispiele berechnet werden

Als Experte der Projektgruppe Grundwasser amtiert Prof. Fritz Stauffer, ETH Zürich.

2 Durchgeführte Besprechungen und Sitzungen

Es wurden mehrere Sitzungen mit der Projektgruppe Grundwasser der IRKA durchgeführt, sowie eine zusätzliche Sitzung mit dem Kanton St. Gallen:

- | | |
|-------------------|--|
| 10. März 2005 | Projektgruppe GW, Amt für Natur und Umwelt, Chur |
| 22. November 2005 | Projektgruppe GW, Amt für Umweltschutz, St. Gallen |
| 6. Juni 2006 | Projektgruppe Grundwasser, Bregenz |
| 5. Oktober 2006 | Projektgruppe Grundwasser, Amt für Umwelt, Bendorf |

3 Messdaten

Die Auftraggeber erhielten am 20. Februar 2005 eine Liste der erforderlichen Messdaten:

- Ganglinien der Piezometer, möglichst digital
- Daten der Grundwasserbrunnen und temporären Wasserhaltungen
- Pegelganglinien der Fliessgewässer
- Hydrogeologische Untersuchungsberichte
- Meteorologische Daten von Klimastationen

Für den Zeitraum der Modellierung (Kalibrierung und Validierung) waren die Jahre 2002, 2003 und 2004 vorgesehen.

In der Schweiz stehen neben den Messwerten der Kantone zusätzlich Daten der Landeshydrologie und –geologie (LHG) zur Verfügung. Sie umfassen einige

Grundwasserpegel sowie vor allem Messungen an Oberflächengewässern. Die Daten der LHG wurden direkt von der TK Consult AG bestellt.

3.1 Grundwasserpegel

Die Pegel der Länder sind in Anhang 1-4 aufgelistet. Die Pegel der LHG sind bei den jeweiligen Kantone aufgeführt.

Die Datenlage ist sehr unterschiedlich, einerseits was die Anzahl der Pegel und deren topographische Verteilung betrifft, andererseits auch bezüglich des Messrhythmus.

Im Kanton Graubünden wurde im Jahr 2002 im Rheintal an 88 Pegeln einmal im Monat eine Messung durchgeführt. Zusätzlich sind von der LHG Tagesmittel der Pegel Felsberg, Maienfeld B und Maienfeld D verfügbar, die von Limnigraphen registriert wurden. Beim Brunnen Igis sind wöchentliche Ablesungen vorhanden. Leider sind nicht alle Messungen brauchbar. Einige Pegel sind zu wenig tief und fallen gelegentlich trocken, bei anderen ist der Pegelnullpunkt nicht bekannt. Ab 2003 werden leider nur noch wenige Pegel permanent gemessen.

Im Kanton St. Gallen werden nur wenige Pegel gemessen. Aus Spargründen musste das Messnetz stark reduziert werden. Vor allem in Gebieten mit unbedeutender Grundwassernutzung sind keine Daten mehr erhältlich. Insgesamt liegen Daten von 16 Pegeln vor, seit anfangs 2000 sind Stundenmittel verfügbar. Die Aufzeichnung erfolgt elektronisch. Zusätzlich sind LHG-Pegel (Salez D, Salez D, Wartau-Weite B) als Tagesmittel verfügbar. Die Datenlage ist sehr heterogen, wünschbar wäre die Einrichtung von zusätzlichen Pegeln. Die Lage dieser Pegel sollte mit den Nachbarländern koordiniert werden.

Im Fürstentum Liechtenstein liegen von 4 Pegeln Tagesmittel vor, sie liegen alle bei Balzers. Sodann wird an rund 25 Pegeln alle 2 Monate ein Messwert erhoben sowie an weiteren Stellen einmal im Jahr. Die Einrichtung von weiteren Pegeln mit Limnigraphen ist vorgesehen, sie werden für die weitere Verbesserung des Modells sicher von grossem Nutzen sein.

In Vorarlberg sind sehr viele Pegel (ca. 190) vorhanden. Ein Teil (27) ist mit Limnigraphen ausgerüstet, Tagesmittel sind verfügbar. Bei den anderen Pegeln (ca. 160) wird wöchentlich von Hand gemessen. Die Messdichte ist daher sowohl zeitlich wie örtlich sehr hoch. Beim Ill-Frutz-Schwemmfächer ist die Pegeldichte teilweise sehr gross, da Pegel der Illwerke vom Land übernommen wurden. Die Neuvermessung der Pegelnullpunkte ist noch nicht abgeschlossen.

3.2 Pegeldaten der Oberflächengewässer

Für den Bodensee liegen sowohl Messreihen der LHG (Rorschach) und von Vorarlberg (Bregenz) vor, die abgesehen von den unterschiedlichen geodätischen Bezugshorizonten identische Werte liefern sollten. Für die meisten grösseren Flüsse sind Pegeldaten vorhanden. Das Messintervall ist meist im Minutenbereich, für das Grundwassermodell werden jedoch die Tagesmittel verwendet. Dadurch werden Hochwasserspitzen abgeflacht oder, vor allem bei kleineren Gewässern, gänzlich weggelassen.

Diese Gewässerpegel sind eine wichtige instationäre Randbedingung des Modells. Da für ein Gewässer meist nur ein einzelner Pegel vorliegt, müssen für die übrigen Knoten eines Gewässers die Wasserspiegel extrapoliert werden.

3.3 Entnahmemengen der Grundwasserbrunnen

Im Kanton St. Gallen sind von 12 Brunnen die Wasserentnahmen als Jahressummen bekannt, von 27 weiteren als Monatswerte. Vom Kanton Graubünden liegen meist monatliche Mengen vor, die zum Teil von Hand abgelesen wurden. Von einigen Brunnen ist auch nur die Jahresmenge bekannt.

Im Fürstentum Liechtenstein sind Tagesmengen verfügbar, insbesondere die grösseren Industriebetriebe verfügen über Daten des Betriebes. Vom Brunnen Oberau sind Wochenwerte vorhanden.

In Vorarlberg sind die Entnahmemengen bei den Eigentümern der Brunnen wohl oft vorhanden, der Zugriff auf diese Daten ist jedoch schwierig. Die Betriebsleitsysteme sind leider nicht für den digitalen Export der Daten eingerichtet. Die Entnahmemengen für 2002 sind erst im September 2006 bei der TK Consult AG eingetroffen, sie sind auch noch nicht vollständig.

Es wäre wünschbar, bei grösseren Fassungen die täglichen Pumpmengen zu erfassen, elektronisch zu speichern und für die Weitergabe an Behörden bereit zu halten. Mit der heutigen Elektronik müsste dies möglich sein,

3.4 Meteorologische Daten

In Vorarlberg sind Daten von Feldkirch, Altach, Lustenau und Bregenz-Rieden vorhanden. Von Meteo Schweiz sind Klimadaten in Bad Ragaz, Chur und Vaduz verfügbar. Von St. Gallen sind zudem Regenmessungen in Eggersriet, Widnau und Wartau vorhanden, jedoch ohne Klimadaten.

4 Instationäre Modellrandbedingungen

Ein instationäres Modell benötigt vor allem instationäre Randbedingungen :

- Direkte Grundwasserneubildung aus Niederschlag
- Indirekte Grundwasserneubildung über die Einzugsgebiete der Modellränder, im Modell als Randzuflüsse verwendet
- Ganglinien der Vorfluter

Zusätzlich kommen weitere Faktoren in Frage. Die Kolmation eines Gewässers kann sich ändern, beispielsweise nach einem Hochwasser oder durch biologische Einflüsse (Algenwachstum). Solche Effekte werden jedoch nicht berücksichtigt.

4.1 Direkte Grundwasserneubildung

Die direkte Grundwasserneubildung ist die Menge des Niederschlages, die über den Boden ins Grundwasser gelangt. Für das Grundwassermodell wird die Neubildung über eine Bodenbilanz berechnet und anschliessend je nach Flurabstand zeitlich verschoben und ausgemittelt.

Die Bilanz wird in zwei Schritten berechnet. Zuerst wird die Menge Wasser berechnet, die am Tag i versickert:

$$S_i = (N_i - A_i) - V_{a,i} - Z_{w, i-1}$$

wobei

S_i Sickerwasser [mm]

N_i	Niederschlag [mm]
A_i	oberflächlicher Abfluss [mm]
$V_{a,i}$	aktuelle Verdunstung [mm]
$Z_{w, i-1}$	Zehrung der Wurzelzone am Tag i-1 [mm] ($Z_w = 0$ bedeutet gesättigter Boden, $Z_w =$ Feldkapazität bedeutet vollständig trockener Boden)

Wenn die Zehrung der Wurzelzone am Vortag gleich Null ist, wird der gesamte Niederschlag abzüglich des oberflächlichen Abflusses und der Verdunstung versickern. Ist die Zehrung am Vortag grösser als null, muss zuerst der Boden bis zur Feldkapazität gefüllt werden, bevor das Wasser in den Untergrund versickert.

Für das gesamte Rheintal wurde die Bodenvegetation als Grasland angenommen, da nur wenig Wald und stark versiegelte Stadtgebiete vorhanden sind. Damit beträgt die durchschnittliche Feldkapazität 15% und die Wurzeltiefe wird mit 60 cm angenommen.

Im zweiten Schritt wird die Zehrung in der Wurzelzone am Tag i berechnet:

$$Z_{w, i} = Z_{w, i-1} - (N_i - A_i) + V_{a,i} + S_i$$

Mit dieser neuen Zehrung kann die Versickerung für den Folgetag berechnet werden. Die Berechnung ist also iterativ. In Allen et al., 1998 [1] ist das genaue Vorgehen für diese Bilanz beschrieben.

Ein wichtiger Teil dieser Gleichungen ist der oberflächliche Abfluss. Die hier benutzte Abschätzung lautet: Falls der Niederschlag eines Tages 15 mm überschreitet, so fliesst 10% des Niederschlages oberflächlich ab. Diese Schätzung ist vor allem für Gebiete mit flachem Gefälle sinnvoll. In steileren Gebieten könnte der Oberflächenabfluss auch grösser sein. Bewaldete Gebiete haben eine grössere Retention, dort geht der Oberflächenabfluss gegen null.

Für die Berechnung stehen Daten von 5 Klimastationen (Chur, Bad Ragaz, Vaduz, Feldkirch und Bregenz) und 2 Niederschlagsstationen (Altach, Lustenau) zur Verfügung. Die Niederschlagsdaten der Station Altach werden mit den Klimadaten von Feldkirch ergänzt, jene der Station Lustenau mit den Klimadaten aus Bregenz. Für die Österreichischen Stationen sind nur Daten von 2003/04 vorhanden, für die Schweizer Stationen sind die Daten von 2002-04 erhältlich. In Tabelle 1 sind die berechneten Jahressummen der Sickerwassermenge aufgelistet.

	Koordinaten	Höhe m ü.M.	Sickerwassermenge [mm]		
			2002	2003	2004
Chur	09°31' / 46°52'	555	338	88	223
Bad Ragaz	09°30' / 47°01'	496	532	170	1 38
Vaduz	09°31' / 47°07'	460	458	98	178
Feldkirch	09°36' 42'' / 47°16' 17''	440	--	290	43 1
Altach	09°39' 18'' / 47°21' 33''	412	--	311	529
Lustenau	09°40' 08'' / 47°26' 01''	404	--	298	566
Bregenz-Rieden	09°44' 11'' / 47°29' 19''	430	--	4 38	652
Mittel		457	443	242	388

Tabelle 1 Niederschlagsstationen mit Koordinaten, Lagehöhe und berechneten Jahressummen der Sickerwassermenge

Der Nachteil der Methode nach Penman ist, dass sowohl Schneefall als auch die Schneeschmelze nicht berücksichtigt ist. Bei ausgiebigen Schneefällen wie im Januar 2003 werden die Sickerwassermengen entsprechend von Hand reduziert.

Die täglich berechnete Sickerwassermenge kann nicht als direkte Neubildung betrachtet werden, da die Bilanz oberflächennah durchgeführt wird. Das Sickerwasser muss bis zum Grundwasserspiegel noch eine Bodenpassage durchlaufen. Je nach Flurabstand und Bodeneigenschaften ergeben sich verschiedene Neubildungsraten.

Für die Eingabe ins instationäre Modell werden die berechneten Tageswerte der Sickerwassermenge je nach Flurabstand zeitlich verzögert sowie gemittelt. Für Flurabstände kleiner als 4 m wird die Sickerwassermenge um 4 Tage verschoben und über 7 Tage gemittelt. Für Flurabstände grösser als 4 m wird die Sickerwassermenge um 7 Tage verschoben und über 30 Tage gemittelt. Anschliessend werden die Tagesdaten über 10 Tage gemittelt.

In Abbildung 2 sind die Neubildungsraten für Flurabstände kleiner als 4 m dargestellt. Deutlich zu erkennen ist, dass während des Hitzesommers 2003 keine Grundwasserneubildung stattfand. Im November 2002 war die Grundwasserneubildung am höchsten.

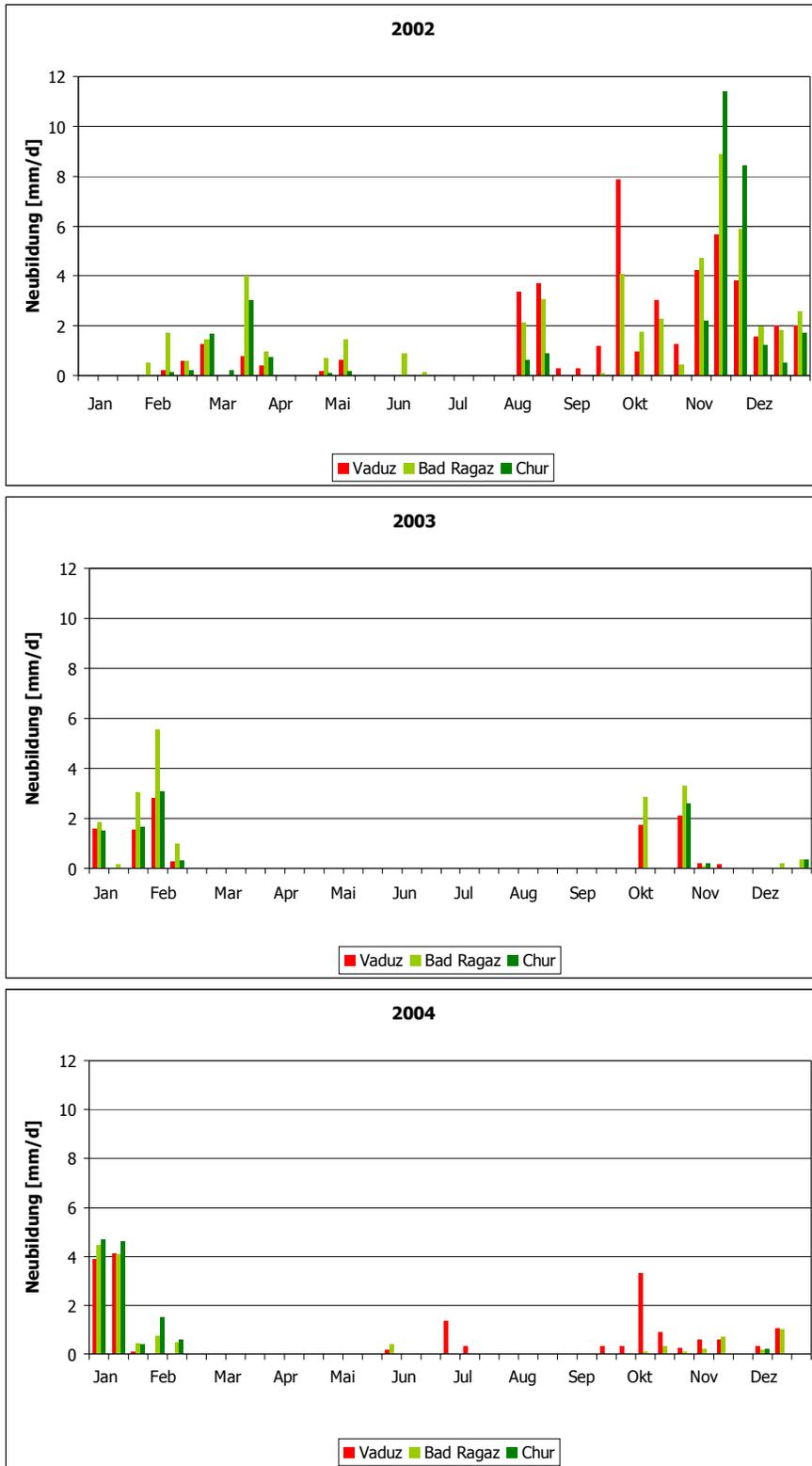


Abbildung 1 Neubildungsraten Schweiz/Liechtenstein für Flurabstand <4m

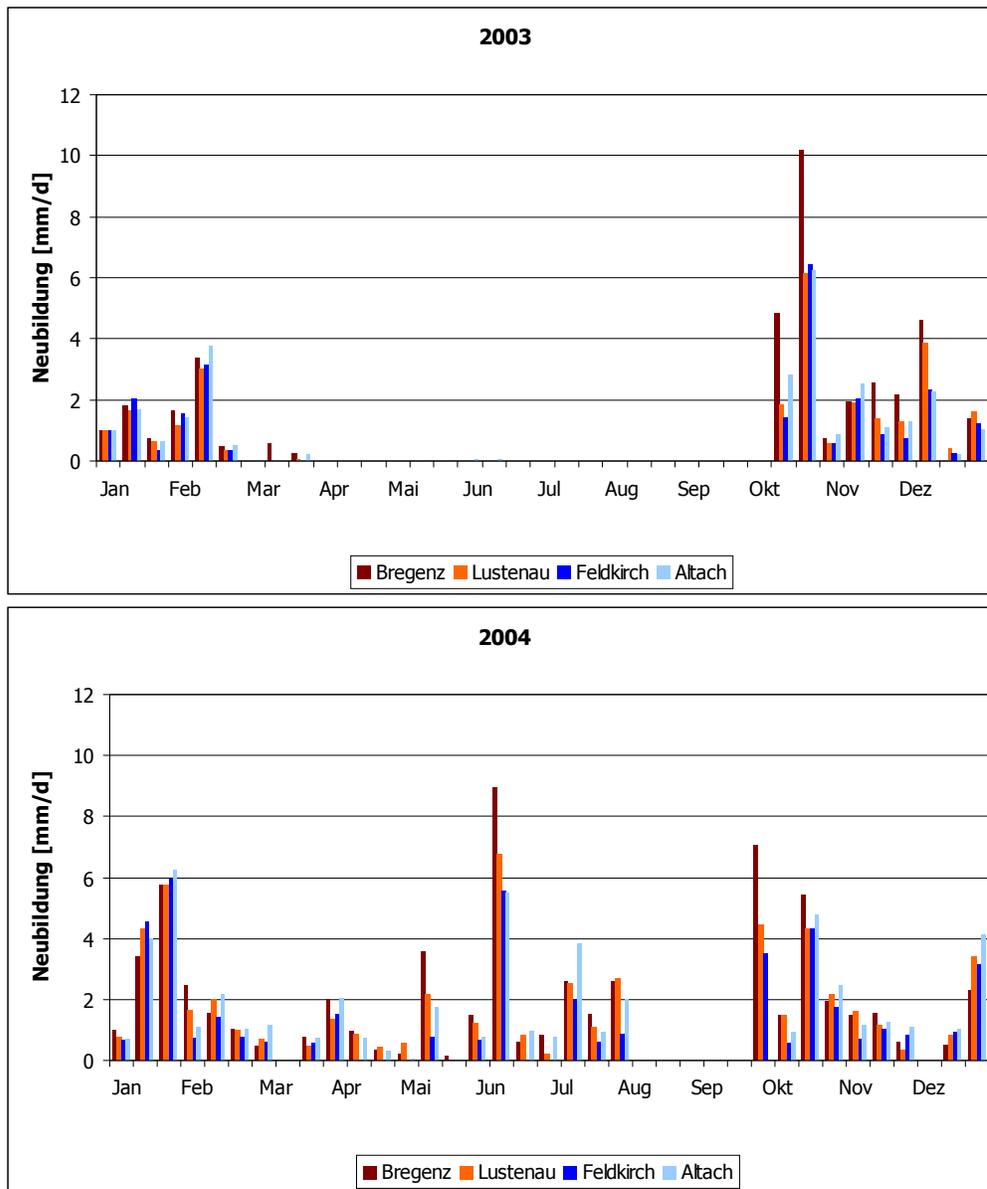


Abbildung 2 Neubildungsraten Österreich für Flurabstand <4 m

4.2 Randzuflüsse

Die Randzuflüsse sind primär abhängig von Geologie, Grösse, Höhenlage und Bodenbedeckung des effektiven Einzugsgebietes. Besonders in Gebieten mit Karst als seitlichen Rändern muss mit hydrogeologischen Einzugsgebieten gerechnet werden, die wesentlich grösser sein können, als das hydrologische Einzugsgebiet. Es ist daher nicht möglich, die Randzuflüsse alleine aufgrund der Niederschlagsdaten festzulegen. Meist ist es notwendig, den Randzufluss so anzupassen, dass gemessene Grundwasserpegel in der Nähe des Randes nachgebildet werden können. Da jedoch (Gesetz von Darcy) der k -Wert und der Durchfluss zusammen den Gradienten des Grundwasserspiegels ergeben, können die beiden Grössen nicht unabhängig voneinander bestimmt werden. Die

instationäre Berechnung und weitere Pegel­daten an anderen Stellen ermöglichen jedoch eine Eingrenzung. Zusätzlich berücksichtigt wird natürlich auch die Plausibilität des kalibrierten K-Wertes und der geschätzten Randzuflüsse.

Die Randzuflüsse werden im Allgemeinen über zehn Tage gemittelt, analog dem Vorgehen bei der Ermittlung der direkten Grundwasserneubildung. Bei starkem Zufluss aus Karstgebieten wird mit Tageswerten gerechnet, da Karstquellen entsprechend dem Niederschlag sehr rasch und mit wenig zeitlicher Verzögerung anspringen und ebensorasch wieder auf minimale Werte zurückfallen.

4.3 Vorfluter

Die Oberflächengewässer mit Pegelstationen sind im Modell berücksichtigt. Beim Rhein, wo vom Bodensee bis nach Reichenau mehrere Pegel vorliegen, konnte für jeden Punkt ein Wert interpoliert werden. Dabei wurden die Ganglinien eines Pegels entsprechend der Sohlenkote in der Höhe verschoben, unter der Annahme, dass die P-Q-Beziehung ebenfalls für den zu interpolierenden Punkt gilt. Bei den anderen Gewässern mit meist nur einem Pegel ist eine Extrapolation notwendig. Da für jeden Gewässerpunkt des Modells eine Kote der Sohle bekannt ist, wurde auch hier die Ganglinie in der Höhe verschoben. Falls ersichtlich ist, dass sich die Wassermenge in grösserer Distanz zum gemessenen Pegel stark ändert, wurde die Amplitude der Ganglinie angepasst. Dies war beispielsweise bei den verschiedenen Binnenkanälen notwendig, die oft Pegel im untersten Teil aufweisen. Am oberen Ende des Kanals fließt weniger Wasser, die Amplitude ist auch entsprechend kleiner.

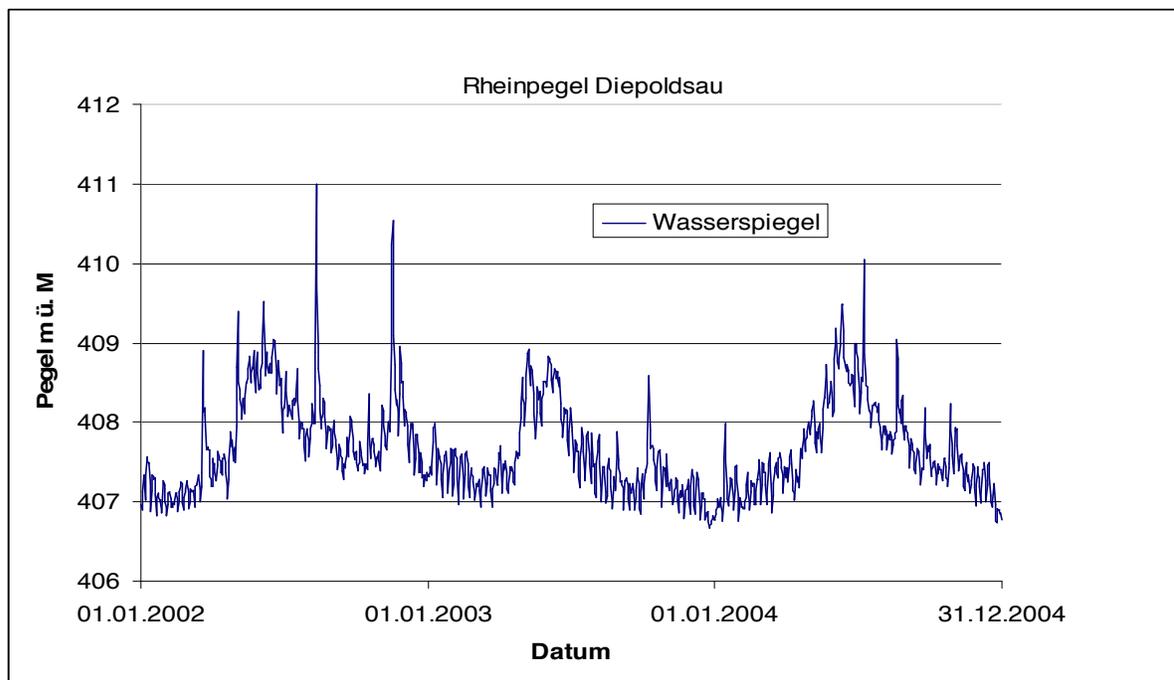


Abbildung 3 Pegelganglinie des Rheins in Diepoldsau 2002-2004

Eine Zusammenstellung der verwendeten Pegel findet sich in Tabelle 2.

Gewässer	Pegelname	Bemerkungen	Zuständigkeit
Landquart	Felsenbach		LHG
Plessur	Chur		LHG
Hinterrhein	Fürstenu		LHG
Vorderrhein	Ilanz		LHG
Rhein	Domat-Ems		LHG
Rhein	Diepoldsau		LHG
Rhein	Wartau, Schleuse Weite	aufgehoben ab 2003	LHG
Rhein	Sennwald, Schleuse	aufgehoben ab 2003	LHG
Rhein	Oberriet-Blatten		LHG
Rhein	Maienfeld	aufgehoben ab 2003	LHG
Bodensee	Rorschach		LHG
Rheintaler Binnenkanal	St. Margrethen		LHG
Werdenberger Binnenkanal	Salez		LHG
Liechtensteiner Binnenkanal	Ruggell		LHG
Rheintaler Binnenkanal	Widnau, Postbrücke		SG
Rheintaler Binnenkanal	Oberriet		SG
Saar Ableitungskanal	Wartau		SG
Trübbach	Wartau		SG
Silbergiessen	Mels		SG
Binnenkanal	Lustenau		VA
Bregenzerach	Kennelbach		VA
Bregenzerach	Bregenz		VA
Dornbirnerach	Lauterach		VA
Dornbirnerach	Hoher Steg		VA
Dornbirnerach	Enz		VA
Frutz	Sulz		VA
Bodensee	Bregenz		VA
Gillbach	Altach		VA
Ill	Gisingen		VA
Rhein	Bangs		VA
Emsbach	Hohenems		VA
Ehbach	Meiningen		VA
Schwarzach	Schwarzach		VA

Tabelle 2 Pegelmessungen an Oberflächengewässern

4.4 Kalibrierung Graubünden

Das Jahr 2002 diente wegen der vorhandenen Messreihen zur Kalibrierung. Schwierig erweist sich vor allem die Abschätzung der Seitenzuflüsse. Zusätzliche Probleme bereiten die verschiedenen Rufenbäche, die vor allem während der Schneeschmelze Wasser führen, das jedoch im Schuttfächer versickert und nur in Ausnahmefällen bis in den Rhein gelangt. Im Sommer sind diese Bäche trocken. Die Wasserführung wurde untersucht und in einem Bericht zusammengestellt. [Sieber Cassina+Handke, 2005]. Die Seitenzuflüsse sind in Tabelle 3 zusammengestellt.

Datum	Bonaduz	Reichenau See	Felsberg	Haldenstein S	Haldenst. M.	Haldenstein N
01.01.2002	5	28	18	0	0	15
10.01.2002	5	15	15	0	0	20
20.01.2002	5	12	12	0	0	20
30.01.2002	5	12	12	0	0	10
09.02.2002	5	12	12	0	0	10
19.02.2002	5	12	12	0	0	10
01.03.2002	5	2	2	0	0	10
11.03.2002	0	2	2	0	0	20
21.03.2002	0	2	2	0	0	20
31.03.2002	0	25	25	0	0	20
10.04.2002	0	45	35	70	5	25
20.04.2002	10	58	48	90	5	35
30.04.2002	10	45	45	170	15	45
10.05.2002	15	45	45	270	15	65
20.05.2002	20	60	50	230	15	70
30.05.2002	20	40	40	220	15	70
09.06.2002	20	30	30	200	5	60
19.06.2002	20	25	25	170	15	50
29.06.2002	15	15	25	150	15	40
09.07.2002	10	8	28	160	5	45
19.07.2002	10	8	28	140	25	45
29.07.2002	10	10	10	120	25	35
08.08.2002	8	10	10	120	25	25
18.08.2002	7	10	10	130	20	20
28.08.2002	5	10	10	120	15	15
07.09.2002	2	15	15	150	15	15
17.09.2002	2	10	10	130	15	15
27.09.2002	2	10	10	120	15	15
07.10.2002	2	15	15	120	15	15
17.10.2002	2	15	15	100	15	15
27.10.2002	1	15	15	80	15	15
06.11.2002	1	15	15	80	15	15
16.11.2002	35	50	70	118	125	95
26.11.2002	25	15	45	120	45	45
06.12.2002	20	10	20	130	15	15
16.12.2002	15	5	15	110	15	15
26.12.2002	10	2	2	110	15	15

Tabelle 3 Seitenzuflüsse im Kanton Graubünden, in l/s auf einer Länge von 100m

Insgesamt liegen von 87 Grundwasser-Pegeln Messungen vor. Davon weisen 42 eine mittlere Abweichung von 0.08-0.20 m vor, weitere 30 von 0.21 bis 0.30m. Die übrigen zeigen grössere Abweichungen, sie liegen entweder an den Talrändern (3C, 4E, 11IA, 11IC, 12C) oder Schwemmfächer von Landquart, wo dreidimensionale Effekte mit geschichteten Leitern schwierig nachzubilden sind. Bei praktisch allen Pegeln kann im Sommer ein Anstieg beobachtet werden. Bei rheinnahen Pegeln ist dies leicht erklärbar durch den höheren Rheinwasserstand. Die rheinfernen Pegel sind jedoch nicht so einfach zu erklären. Typisch sind beispielsweise die Pumpwerke 1APW und 1BPW. Sie liegen im Bereich des Stausees Reichenau, wobei der Seewasserspiegel einige Meter höher liegt und mit kurzzeitigen Ausnahmen, wenn der See bei Hochwasser gespült wird, einen konstanten Spiegel aufweist. Die erhöhten Pegel können durch die Wasserspiegel des Hinter- und Vorderrheins nicht bewirkt werden, sie sind zu weit weg. Ebenso ist die Infiltration vom See wahrscheinlich während des ganzen Jahres relativ konstant. Die einzige Möglichkeit sind erhöhte Seitenzuflüsse im Sommer, erklärbar durch Schneeschmelze in den höher gelegenen Einzugsgebieten.

Eine grosse Schwierigkeit sind die Messwerte in Monatsabständen, da natürlich nicht bekannt ist, ob man gerade ein Maximum gemessen hat oder ob der Pegel noch ansteigt oder absinkt. Die Daten können daher auch nicht zu einer treibenden Randbedingung korreliert werden. Ein Limnigraph mit Tageswerten liefert für die Interpretation wesentlich bessere Aufschlüsse, wie etwa der Pegel Felsberg, gemessen von der LHG, zeigt.

Ein ähnliches Verhalten, mit hohen Messwerten im Sommer, zeigen auch weiter stromabwärts liegende Pegel, erst mit grösseren Randzuflüssen im Sommer kann die notwendige Kote erreicht werden. So liegt der Pegel 10IA sehr nahe am Rhein (ca. 30m), er ist gleichzeitig ein Randknoten. Der Pegel zeigt jedoch im Sommer Werte, die wesentlich über dem nahen Rheinwasserspiegel liegen, daher müssen grössere Seitenzuflüsse postuliert werden, die erst eine Kalibrierung ermöglichen.

Sehr speziell und schwierig sind die Pegel im Raum Landquart. Der Pegel 23IE unterhalb des Engnisses Felsenbach, Minimalkote 440 m. ü. M., liegt im Sommer 4 m höher als im Winter. Pegel 23 IC ist 1600m stromabwärts, Minimalkote 416 m ü. M., liegt neben der Landquart und ist im Sommer ebenfalls 4 m höher. Die Landquart kann nicht der Grund sein für die höheren Grundwasserpegel, die Tagesmittel sind über das Jahr praktisch gleich. Ebenso wenig kommt die direkte Grundwasserneubildung in Frage. Möglich scheint mir daher nur grösserer Seitenzufluss oder unterirdischer Zufluss. Wegen der grossen Mächtigkeit des Grundwasserkörpers sind wohl dreidimensionale Effekte für die Schwierigkeiten verantwortlich. Der Pegel 28 A liegt direkt neben dem Rhein. Während die in der Nähe liegenden Pegel Maienfeld B (LHG) und 3651 (SG) jedoch eine gute Übereinstimmung zeigen, liegen die berechneten Werte bei 28A generell zu hoch. Vermutlich ist bei einem der Pegel der Nullpunkt nicht korrekt eingemessen.

Der Pegel Maienfeld D (Tagesmittelwerte der LHG) liegt in der Ebene unterhalb Jenins und zeigt ebenfalls im Sommer rund 2 m höhere Pegel. Die Ganglinie ist stark gedämpft, was deutlich auf unterirdische Zuflüsse hinweist. Die Schneeschmelze wird auch hier einen wesentlichen Beitrag liefern, sei es durch Speisung der Rüfenbäche oder durch infiltrierendes Hangwasser.

4.5 Kalibrierung St. Gallen

Der Kanton St. Gallen besitzt 14 über das Rheintal verteilte Limnigraphen, die ab dem Jahr 2000 fein auflösend (Stundenwerte) die Messwerte aufzeichnen. Bei der Kalibrierung zeigte sich, dass die elektronische Datenerfassung bei einigen Pegeln nicht

stabil ist. Zusätzlich sind 3 Pegel der LHG vorhanden (Salez C, Salez D, Weite Wartau B).

Die randlichen Zuflüsse sind in Tabelle 4 aufgeführt, wobei die im Modell teilweise verwendeten Tageswerte auf Zehntagessummen addiert wurden.

Datum	Sargans-Sennw.	unterird. Buchs-Sennw.	Altstätten-Berneck	FL Balzers-Eschen
01.01.2002	150	20	6	26
11.01.2002	150	21	3	20
21.01.2002	165	53	23	37
31.01.2002	160	88	87	53
10.02.2002	66	20	5	22
20.02.2002	125	135	91	42
02.03.2002	60	25	6	20
12.03.2002	275	265	65	92
22.03.2002	80	52	32	27
01.04.2002	60	30	2	20
11.04.2002	80	37	12	27
21.04.2002	325	133	112	108
01.05.2002	305	153	58	102
11.05.2002	170	85	5	57
21.05.2002	455	228	54	152
31.05.2002	290	195	44	97
10.06.2002	50	98	18	17
20.06.2002	70	118	49	23
30.06.2002	75	70	11	25
10.07.2002	221	91	81	74
20.07.2002	42	50	10	14
30.07.2002	61	93	6	20
09.08.2002	431	330	126	143
19.08.2002	132	83	14	44
29.08.2002	88	65	116	29
08.09.2002	50	33	2	17
18.09.2002	225	203	213	75
28.09.2002	64	58	52	21
08.10.2002	66	109	63	22
18.10.2002	60	68	37	20
28.10.2002	185	123	128	62
07.11.2002	190	220	122	63
17.11.2002	130	55	29	43
27.11.2002	80	37	22	27
07.12.2002	85	43	27	28
17.12.2002	100	49	23	33

Tabelle 4 Seitenzuflüsse St. Gallen und Liechtenstein, in l/s und 100m

Die geringe Anzahl Pegel macht die Kalibrierung schwierig, da im Prinzip mit einem Pegel nicht unterschiedliche Durchlässigkeiten und zusätzlich Leakagekoeffizienten kalibriert werden können. Die Struktur der Durchlässigkeiten muss daher aus der stationären

Kalibrierung und hydrogeologischen Vorkenntnissen übernommen werden. Unterhalb St. Margrethen sind beispielsweise keine Messdaten vorhanden.

Die Seitenzuflüsse von Bad Ragaz bis Sargans sind ähnlich wie für den Kanton Graubünden. Rheinabwärts bereiten vor allem die Karste des Alpsteins Probleme. Wie die hydrologischen Untersuchungen von Leibundgut et al. zeigen, ist das Einzugsgebiet der Zuflüsse ins Rheintal sehr gross. Die Zuflüsse reagieren zudem sehr rasch, nach einem Niederschlagsereignis springen Karstquellen innert Stunden an, die Wassermengen können lokal sehr gross sein. Von den unterirdisch in den Grundwasserleiter zufließenden Quellen ist natürlich weder Menge noch Ort bekannt. Ein schönes Beispiel ist eine Bohrung für eine Wärmenutzung in Grabs, wo ein solcher Zufluss angebohrt wurde und nun Probleme verursacht (Mitteilung von M. Oberholzer). Die Seitenzuflüsse aus dem Karstgebiet mussten daher in Tageswerten eingeführt werden, direkt abhängig vom Niederschlag, sonst sind die gemessenen Spitzen der Grundwasserpegel nicht reproduzierbar. Zudem zeigt sich auch an randfernen Pegeln ein Karstverhalten. Typisch ist dabei der Pegel Salez C, 1700 m vom Modellrand entfernt. Er reagiert ebenfalls sehr stark auf Niederschlagsereignisse. In diesem Gebiet mussten daher unterirdische Karstwasseraustritte postuliert werden wie beim Randzufluss. Die räumliche Ausdehnung solcher Zuflüsse ist sehr unsicher, da sonst keine Pegel vorhanden sind. Die nächsten Pegel sind weit oberhalb in Sevelen zu finden (Pegel 3253), auch er weist noch ein sehr unruhiges Verhalten mit ausgeprägten Spitzen auf.

Unterhalb Oberriet ändert sich die Geologie der Seitenhänge wieder. In Randnähe gibt es nur den Pegel 1851 bei Berneck, der auch ein sehr nervöses Verhalten zeigt. Das Modell zeigt, dass auch hier die Seitenzuflüsse massgebend sein müssen, die Wasserspiegelschwankungen des nahen Littenbaches (160 m Abstand) reichen nicht aus. Die Dynamik der Seitenzuflüsse wird hier allenfalls verstärkt durch eine undurchlässige Deckschicht.

Die Kalibration der insgesamt 17 Pegel ergibt ein recht gutes Resultat. Zu berücksichtigen ist, dass am 23. Oktober 2006 korrigierte Ganglinien der Pegel 2666 und 3253 eintrafen, mit beträchtlichen Abweichungen zu den vorherigen Daten. Es musste daher eine erneute Kalibrierung erfolgen. 9 Pegel liegen im Mittel unter einer Abweichung von 0.10 m, 6 zwischen 0.10 und 0.20 m, zwei (3651 und 3351) bei 0.25 m. Die Ganglinien der Pegel 3651 und 3351 zeigen dabei ein nicht erklärbares Verhalten. Der Pegel 3651 sinkt ab August stark ab und erreicht minimale Werte, die in der ganzen Messperiode nie auftraten, dies, obschon der Rhein recht nahe ist. Eine mögliche Erklärung wäre nur eine grössere Baustelle mit Wasserhaltung, von der mir jedoch nichts bekannt ist. Bei 3351 ist die Spitze während des grossen Novemberrniederschlags wie heruntergeklappt. Ausser elektronischen Problemen des Limnigraphen sehe ich hier keine Erklärung. Der Pegel 3251 zeigt im Dezember 2002 einen starken Abfall. Er liegt 120m vom Rhein weg, in unbesiedeltem Gebiet. Die breite Spitze im Frühjahr beim Pegel 2653 lässt mich ebenfalls ratlos.

Beim Pegel 2051, der im Vorland des Rheins liegt, zeigt sich eine sehr hohe Spitze beim Novemberhochwasser, die das Modell nicht nachvollziehen kann. Eine Analyse der Daten zeigt, dass das Tagesmittel des Novemberhochwassers praktisch gleich hoch ist, wie die der kleineren Hochwasser im August/September. Bei der Betrachtung der Stundenmittel stellt man fest, dass um Mitternacht vom 16. auf 17. November die kurzzeitige Spitze 2 m höher war, was zur Überflutung des Vorlandes über die niedrigeren Vordämme führte. Dadurch ergab sich eine verstärkte Infiltration im Vorland. Vergleichbar ist die Lage bei 1751. Für die Spitze des Pegels 2151 im August, wo er um 1 m ansteigt, finde ich keine Erklärung. Der Pegel liegt unterhalb Widnau zwischen

Rheinbinnenkanal und Rhein. Von beiden Flüssen werden die Tagsmittelwerte verwendet. Der dahinter am Talrand liegende 1851 weist zur gleichen Zeit eine ähnliche Spitze auf. Dies würde auf eine Deckschicht hindeuten, in der auch der Binnenkanal liegt und der Grundwasserleiter darunter durchgeht.

4.6 Kalibrierung Fürstentum Liechtenstein

Die verwendeten Seitenzuflüsse finden sich in Tabelle 4. Da ausser in Balzers keine Pegeldata mit feiner zeitlicher Auflösung zur Verfügung stehen, ist eine Anpassung der Zuflüsse an die effektiven Verhältnisse nicht sinnvoll.

Zur Kalibrierung wird ebenfalls das Jahr 2002 verwendet. Das Fürstentum Liechtenstein besitzt insgesamt 72 Pegel, meist in Querschnitten organisiert. Die meisten werden einmal pro Jahr gemessen, an 4 Pegeln sind Limnigraphen installiert, die Tagesmittel liefern. An 25 Pegeln wird 6-12 mal im Jahr gemessen. Bei 13 Pegeln liegt die mittlere Abweichung bei über 0.20 m, bei 21 unter 0.10 m, 38 liegen zwischen 0.10 und 0.20 m. Die 4 Limnigraphen haben eine mittlere Abweichung von 0.08m, sie befinden sich alle im Raum Balzers und sind sehr direkt vom Rheinwasserspiegel abhängig. Bei den anderen Pegeln mit nur einem Messpunkt kann nicht viel ausgesagt werden. Der Pegel 13.0.71 zeigt eindrücklich den Einfluss des Pumpbetriebes, an Werktagen wird gepumpt, am Wochenende erholt sich der Wasserspiegel. Schwierigkeiten zeigen sich bei den Pegeln 16.0.10 und 16.0.20, die wegen der Rheinnähe eigentlich einfach zu kalibrieren sein müssten. Eventuell hängt dies mit dem Pumpbetrieb zusammen.

4.7 Kalibrierung Vorarlberg

Zur Kalibrierung wird das Jahr 2003 genommen, da die Datenlage besser ist. Leider sind die Pumpmengen der Brunnen erst im September 2006 eingetroffen (wahrscheinlich noch nicht vollständig), sodass hier erst am Schluss mit der Kalibrierung begonnen wurde. Es wird daher ohne Zweifel möglich sein, noch Verbesserungen zu erreichen. Da die Rechenzeit für die Kalibrierung vom Kummaberg bis Bregenz etwa eine Woche beträgt, kann nur mit Geduld ein Fortschritt erwartet werden.

Die Randzuflüsse sind in Tabelle 5 dargestellt.

Datum	Rankweil	Feldkirch	Klaus	Rankweil	Hohenems	Lauterach	Rickenb.	Bregenz
01.01.2003	15	23	50	150	60	25	15	8
05.01.2003	5	23	50	150	80	11	9	6
15.01.2003	80	18	15	45	80	11	16	9
25.01.2003	110	11	80	120	80	15	11	14
04.02.2003	120	11	15	135	80	10	10	8
14.02.2003	100	11	30	150	80	6	10	7
24.02.2003	130	11	10	120	80	18	18	18
06.03.2003	110	9	10	90	80	2	10	17
16.03.2003	85	9	10	225	80	8	10	12
26.03.2003	65	9	10	75	80	8	10	10
05.04.2003	30	9	10	225	80	8	10	12
15.04.2003	5	33	10	135	90	8	10	9
25.04.2003	5	13	10	60	48	8	10	8
05.05.2003	5	43	5	45	110	8	10	12
15.05.2003	5	63	85	75	110	12	12	16
25.05.2003	5	53	20	60	110	11	12	7
04.06.2003	5	45	18	53	110	11	12	4
14.06.2003	5	63	15	45	80	11	12	5
24.06.2003	8	73	10	105	50	11	12	9
04.07.2003	1	63	13	38	30	11	15	4
14.07.2003	1	63	35	135	30	11	7	11
24.07.2003	5	53	10	30	30	11	16	7
03.08.2003	10	43	10	30	30	40	11	5
13.08.2003	15	53	15	75	20	45	8	5
23.08.2003	10	53	20	120	20	25	8	9
02.09.2003	15	58	10	45	20	15	18	8
12.09.2003	212	58	70	60	20	11	5	10
22.09.2003	150	169	220	135	20	65	55	25
02.10.2003	200	70	120	150	30	135	25	28
12.10.2003	50	60	25	165	130	35	15	11
22.10.2003	40	60	20	60	20	5	5	5
01.11.2003	25	50	15	45	20	5	5	5
11.11.2003	15	41	5	180	20	5	5	10
21.11.2003	80	41	85	165	20	5	12	7
01.12.2003	50	41	85	135	20	8	11	6
11.12.2003	20	46	53	90	50	5	11	6
21.12.2003	95	35	50	225	18	5	11	5
31.12.2003	50	39	50	285	18	5	11	4
10.01.2004	40	37	50	105	18	5	11	5

Tabelle 5 Seitenzuflüsse 2003 Vorarlberg, in l/s und 100m

Das Land Vorarlberg besitzt insgesamt 159 Pegel, die räumlich gut über die ganze Fläche verteilt sind. Im Bereich der Ill wurden zudem viele Pegel der Illwerke übernommen, im Ill-Frutz-Schwemmfächer sind damit 77 Pegel vorhanden. Leider sind noch nicht alle Nullpunkte der Pegel neu vermessen worden, es besteht immer noch die Möglichkeit, dass sich die Höhenlage eines Pegels verändern kann. Die meisten Pegel werden im Wochenrhythmus von Hand abgelesen, bei 22 Pegeln sind Limnigraphen installiert, die Tagesmittelwerte liefern.

Die instationären Randbedingungen des Ill-Frutz-Schwemmfächers sind nicht einfach zu berechnen. Am Talrand von Feldkirch bis Klaus sind grössere Randzuflüsse aus dem Karst zu erwarten, die zudem auch unterirdisch in einiger Entfernung vom Rand vorhanden sein könnten. Zusätzlich erschwerend ist die Frutz. Da ein Wasserkraftwerk das Wasser der Frutz nutzt und ableitet, führt die Frutz oft kein Wasser, das Bachbett ist trocken. Für die Berechnung wird angenommen, dass bei minimalem Pegelstand während längerer Zeit die Frutz keinen Abfluss aufweist. Es muss angenommen werden, dass bei erneuter Wasserführung nach einer Trockenperiode die Kolmation der Sohle wesentlich geringer ist und daher viel Wasser versickern kann. Die von der Frutz beeinflussten Pegel können daher noch grössere Abweichungen aufweisen. Die Pegel 01.40.02, 01.40.06 und 50.4.02 gehören dazu. Die am Talrand bei Götzis liegenden Pegel 50.4.07 und 50.4.09 mit mittleren Abweichungen von 0.10 m konnten gut kalibriert werden. Die Pegel 01.32.54, 01.32.57 und 01.32.58 liegen in Feldkirch, im dünnen Schlauch hinter dem Ardetzenberg. Sie sind vor allem vom Karstzufluss beeinflusst und daher schwierig zu kalibrieren. Insgesamt zeigen im Ill-Frutz-Schwemmfächer 47 Pegel eine mittlere Abweichung unter 0.15 m, 10 zwischen 0.16 und 0.20m, 10 zwischen 0.21 und 0.30 m und 11 weitere darüber. Bei den Pegeln mit grossen Abweichungen könnte es durchaus sein, dass der Nullpunkt schlecht eingemessen ist.

Das Gebiet unterhalb des Kummaberges bis Bregenz zeigen 50 Pegel eine mittlere Abweichung bis 0.15m, 14 weitere zwischen 0.16 und 0.20m. 14 Pegel liegen zwischen 0.21 und 0.30, 8 Pegel sind dann noch schlechter. Dabei sind 50.1.01, 50.1.02, 50.2.01, 50.1.04, 50.2.21, und 50.3.12 am Talrand Kennelbach-Wolfurt-Schwarzach, wo der Seitenzufluss noch verbessert werden muss. Ein spezieller Fall ist 50.2.24 nahe beim Rhein, wo der Pegel zwischen Weihern angeordnet ist. Der Pegel 50.4.14 unterhalb Altach ist permanent 0.30m zu hoch. Hier wäre der Nullpunkt zu überprüfen, andernfalls scheint ein Problem mit der Entwässerung durch die Bäche zu bestehen. Schwierigkeiten macht sodann 50.3.07 in Dornbirn, wo auch die Randzuflüsse Probleme bereiten.

Interessant sind die Pegel in Seenähe, die mehr oder weniger stark den Seestand angeben. Deutlich sichtbar ist dies bei 50.2.16, 50.2.17 (Hard) und 50.1.12 (Bregenz). Warum jedoch 50.2.18 (Hard) im Modell ebenfalls den Seestand zeigt, in Natur jedoch bedeutend weniger, ist noch unklar.

Im Ried bei Fussach und Höchst ist die Übereinstimmung recht gut, oft sind die maximalen Abweichungen jedoch gross. Dies mag mit den mir nicht bekannten Wasserspiegeln der Entwässerungskanäle, deren Wasser von 3 Pumpwerken in den See gehoben wird. Von diesen gepumpten Wassermengen liegen keine Daten vor.

5 Validierung

Die Validierung des Modells sollte den Nachweis erbringen, dass auch ein bisher nicht benützter Datensatz eines anderen Zeitraumes ebenfalls brauchbare Resultate liefert, ohne dass die Modellparameter (k-Werte, Leakagekoeffizienten) angepasst werden. Da die Kalibrierung schon für ein ganzes Jahr vorgenommen ist, kann davon ausgegangen werden, dass vor allem die Seitenzuflüsse wichtig sein werden.

Eine erste Berechnung für Altstätten mit Pegeln des Kantons St. Gallen zeigt im sehr trockenen Jahr 2003, dass die Tiefstände der Pegel nicht erreicht werden, da wohl einige Bäche gar kein Wasser mehr abgeben und auch der Seitenzufluss sehr gering geworden ist. Dieses Problem stellt sich im 2003 bei allen Bächen, da anzunehmen ist, dass sie teilweise austrockneten oder nur noch eine minimale Wasserführung aufwiesen. Angaben darüber sind jedoch nicht vorhanden.

Für die Pegel von Vorarlberg, dem schwierigsten Teil des Gebietes, sind im Anhang die Ganglinien der Jahre 2003 und 2004 dargestellt. Es zeigt sich deutlich, dass für vom Rheinwasserspiegel direkt beeinflusste Pegel auch für das zweite Jahr eine sehr gute Übereinstimmung erreicht wird. Bei den Pegeln in den seitlichen Schuttfächern ist es schwieriger, die seitlichen und unterirdischen Zuflüsse müssen dazu angepasst werden. Der Zusammenhang mit dem Niederschlag ist wohl vorhanden, aber nicht eindeutig quantifizierbar. Deutlich treten auch Probleme bei den Messungen zutage. Pegel 50.4.11 zeigt einen plötzlichen Abfall der Messreihe, bei 50.4.08, 50.4.15A oder Lustenau3 sind die Ausreisser wahrscheinlich auch Mess- und Ablesefehler. Bei 50.4.14 müsste meines Erachtens der Nullpunkt überprüft werden, die Messung ist generell etwa 0.5 m tiefer als die Simulation.

6 Bilanzierung

Die Berechnung der zu- und wegfließenden Wassermengen und deren Bilanzierung ist wegen der vielen unterschiedlichen Seitenränder und der Oberflächengewässer mit viel Aufwand verbunden. Im Mittel der Jahre 2002-2004 ist die Bilanz in Tabelle 6 dargestellt. Es zeigt sich, dass der gesamte mittlere Wasserfluss gegenüber der stationären Kalibrierung 1999 bei Niederwasser wesentlich grösser ist, nämlich rund 48'000 l/s. Zu berücksichtigen ist natürlich die Vergrößerung der Modellfläche durch den Teil Landquart bis Reichenau und seitliche Schuttfächer. Die grossen Mengen sind vor allem In- und Exfiltration aus den Oberflächengewässern, wobei vor allem der Rhein den Hauptanteil beiträgt. Die direkte Neubildung beträgt im Mittel rund 1 mm/Tag. Die Pumpmengen sind soweit bekannt eingebaut. Vermutlich liegen die effektiv entnommenen Mengen höher, da von privaten Brunnen oft keine Daten vorliegen.

Die mittlere Bilanz des ganzen Gebietes von Reichenau bis Bodensee ist in Tabelle 6 gezeigt. Die grössten Anteile sind die In- und Exfiltration der Oberflächengewässer. Der Rhein liefert dazu natürlich den Hauptanteil.

	Zufluss (l/s)	Wegfluss (l/s)
Bodensee		-720
Oberflächengewässer	32980	-39700
Randzufluss	10362	
Neubildung	5551	
Pumpmengen		-1955
Speicheränderung		-6516
Summe	48893	-48891

Tabelle 6 Mittlere Gesamtbilanz des Grundwasserträgers

Im Folgenden werden für die verschiedenen Teilgebiete die Zu- und Wegflüsse in Form von Ganglinien dargestellt. Bei den Oberflächengewässern bezieht sich die Bezeichnung für In- und Exfiltration auf den Fluss, d.h. bei Exfiltration gibt der Fluss Wasser an den Grundwasserträger ab. In Tabelle 6 ist wegen der Bilanzierung das Vorzeichen umgekehrt bei den Oberflächengewässern!

In den Abbildungen 4-24 sind für die verschiedenen Geländekammern die In- und Exfiltration des Rheins, der Oberflächengewässer und die Seitenzuflüsse dargestellt. Die Differenz von Niederwassersituation des Rheins im Winter und sommerlichen Abflüssen ist gross, vor allem die Exfiltration aus dem Rhein bis dreimal höher. Bei Hochwasser, wie zum Beispiel am 12. August 2002, sind die Mengen kurzzeitig noch viel höher.

Bei den kleineren Bächen ist die Situation unterschiedlich. Viel Bäche weisen nur geringe In- oder Exfiltrationen auf, andere, wie beispielsweise die Saar im Raum Sargans führen grössere Mengen an Grundwasser ab.

Bei den Seitenzuflüssen sind vor allem die Zuflüsse aus karstigen Einzugsgebieten gross, sie reagieren auch direkt auf Niederschlagsereignisse.

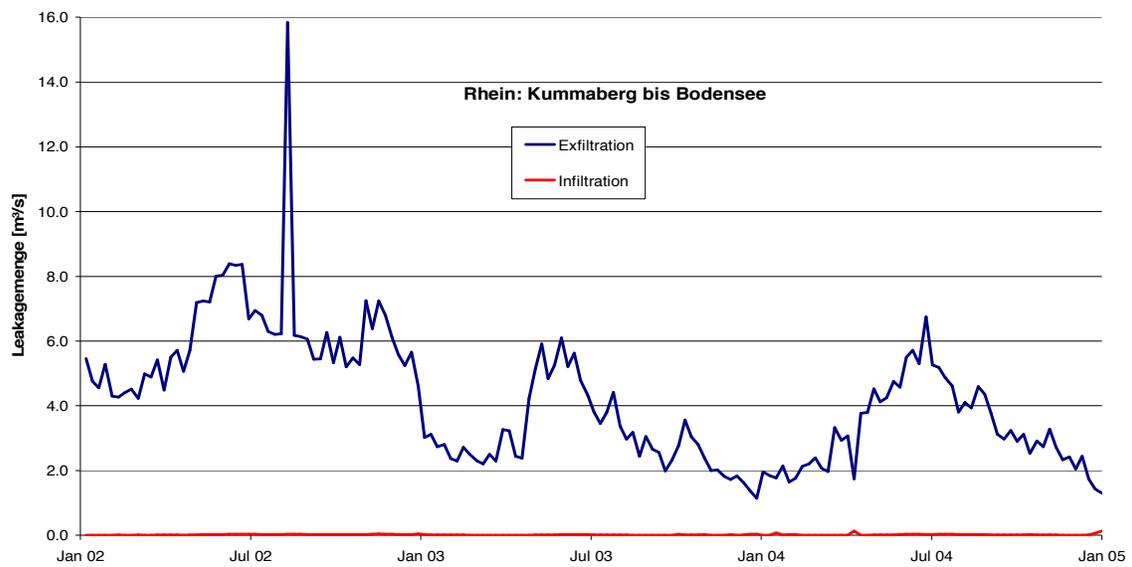


Abbildung 4 Zu- und Wegflüsse des Rheins, Abschnitt Bodensee bis Kummaberg

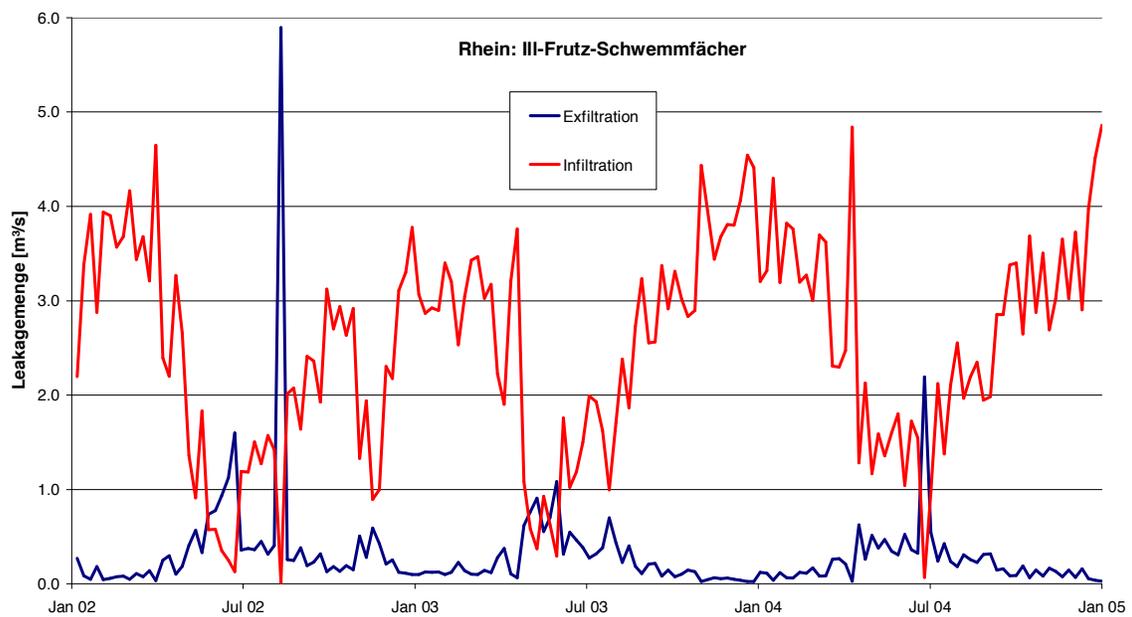


Abbildung 5 Zu- und Wegflüsse des Rheins, Abschnitt Kummaberg bis Ruggell

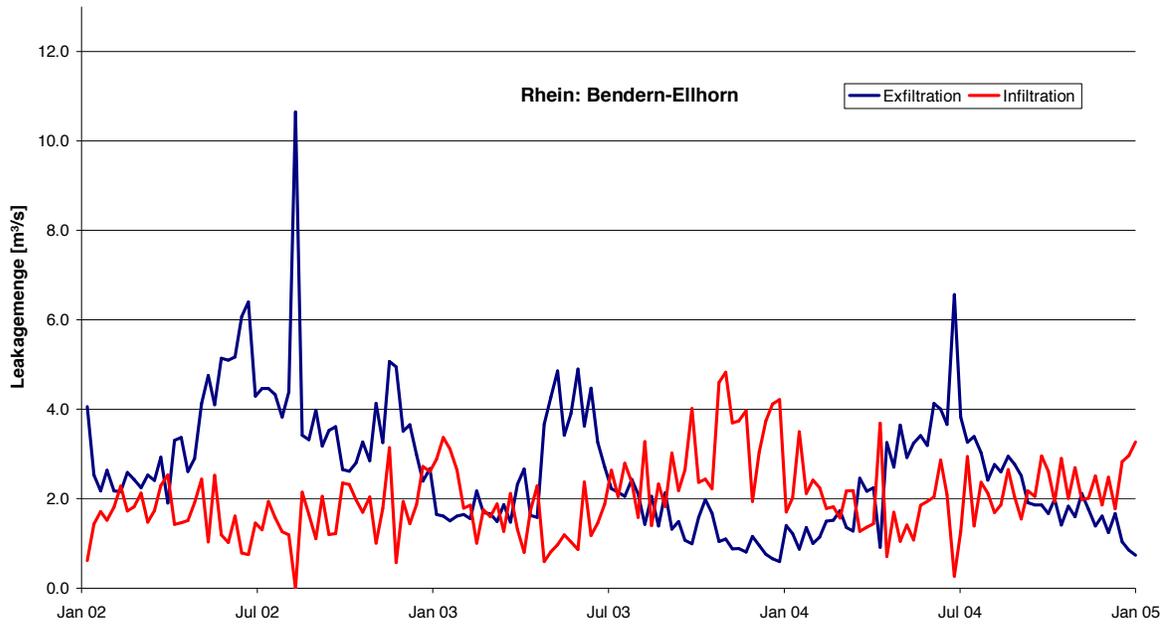


Abbildung 6 Zu- und Wegflüsse des Rheins, Abschnitt Bendern bis Ellhorn

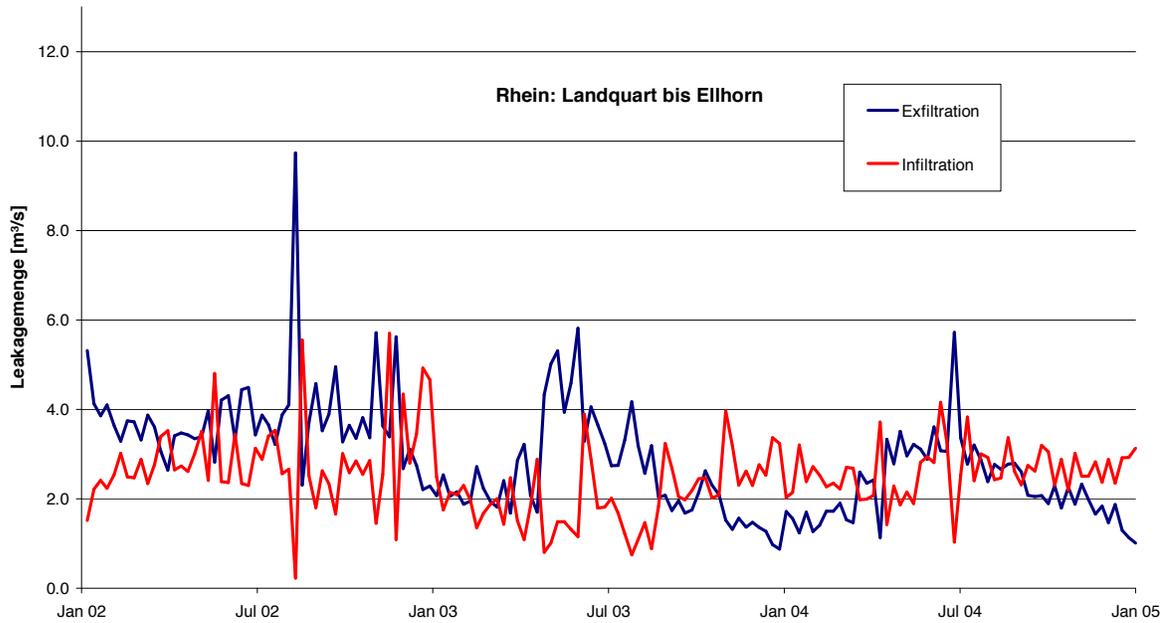


Abbildung 7 Zu- und Wegflüsse des Rheins, Abschnitt Ellhorn bis Landquart

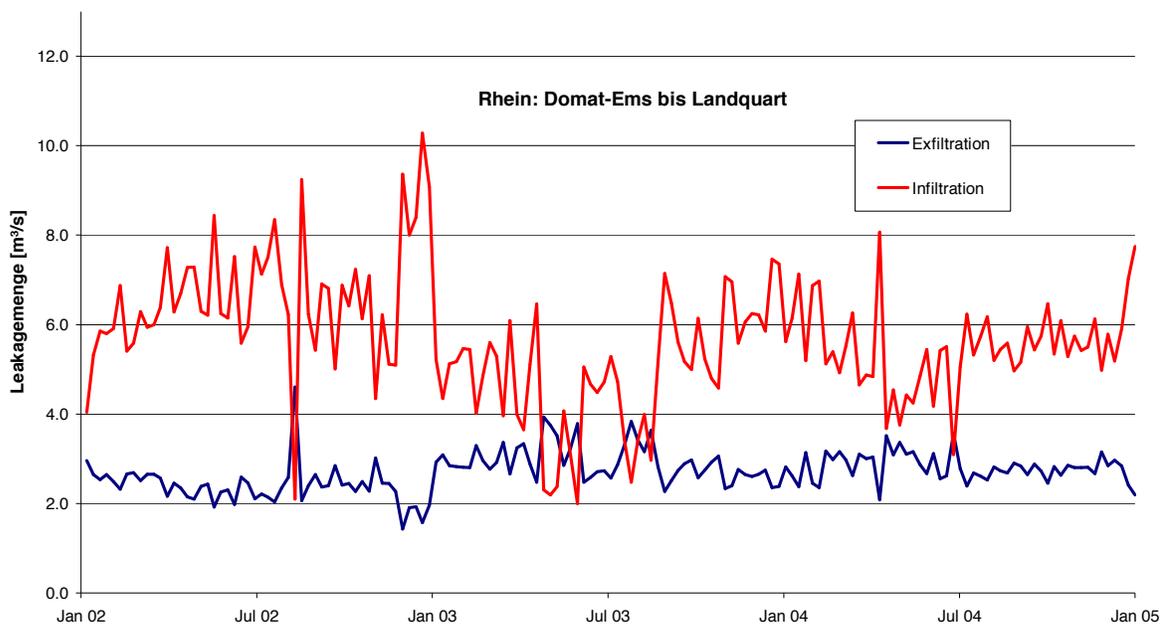


Abbildung 8 Zu- und Wegflüsse des Rheins, Abschnitt Landquart bis Domat-Ems

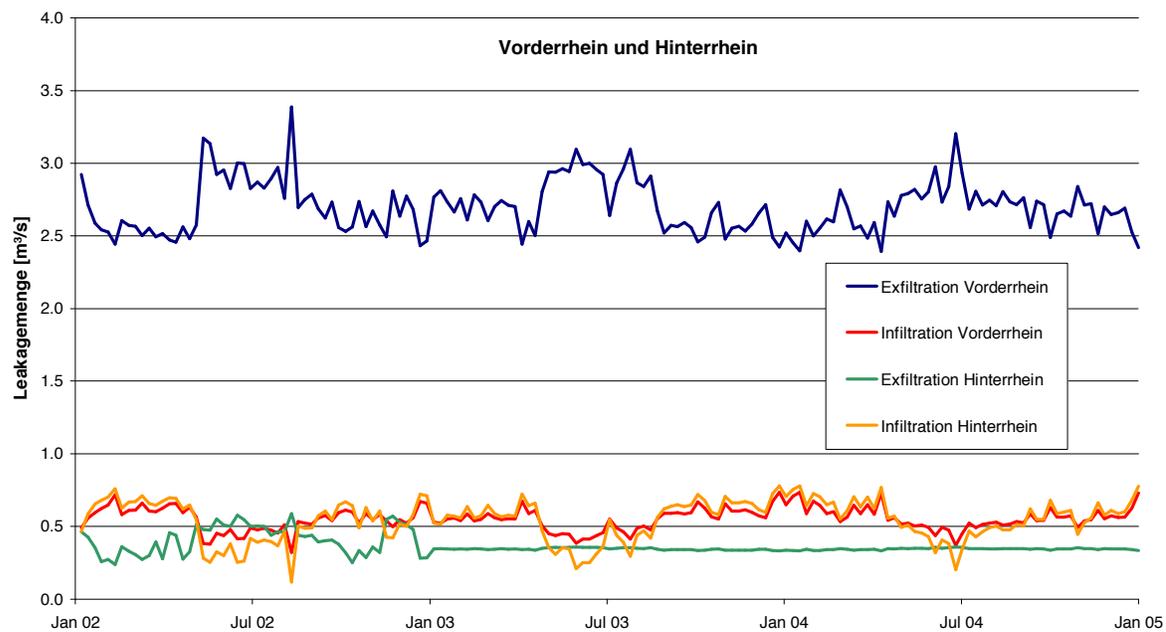


Abbildung 9 Zu- und Wegflüsse des Hinter- und Vorderrheins

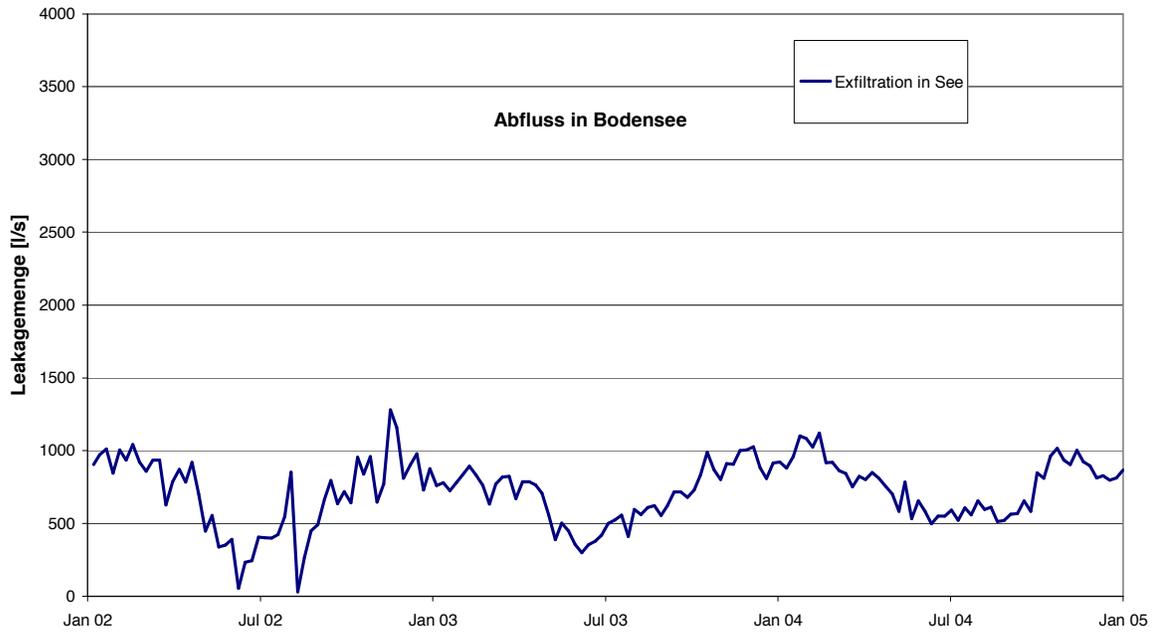


Abbildung 10 Wegflüsse in den Bodensee

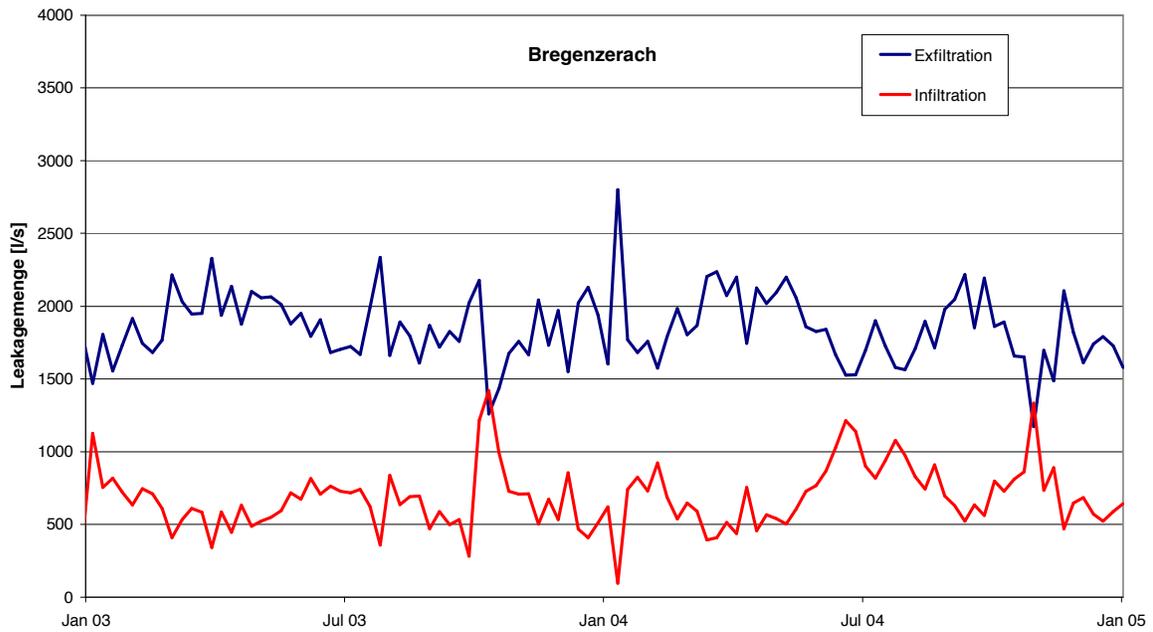


Abbildung 11 Zu- und Wegflüsse der Bregenzerach

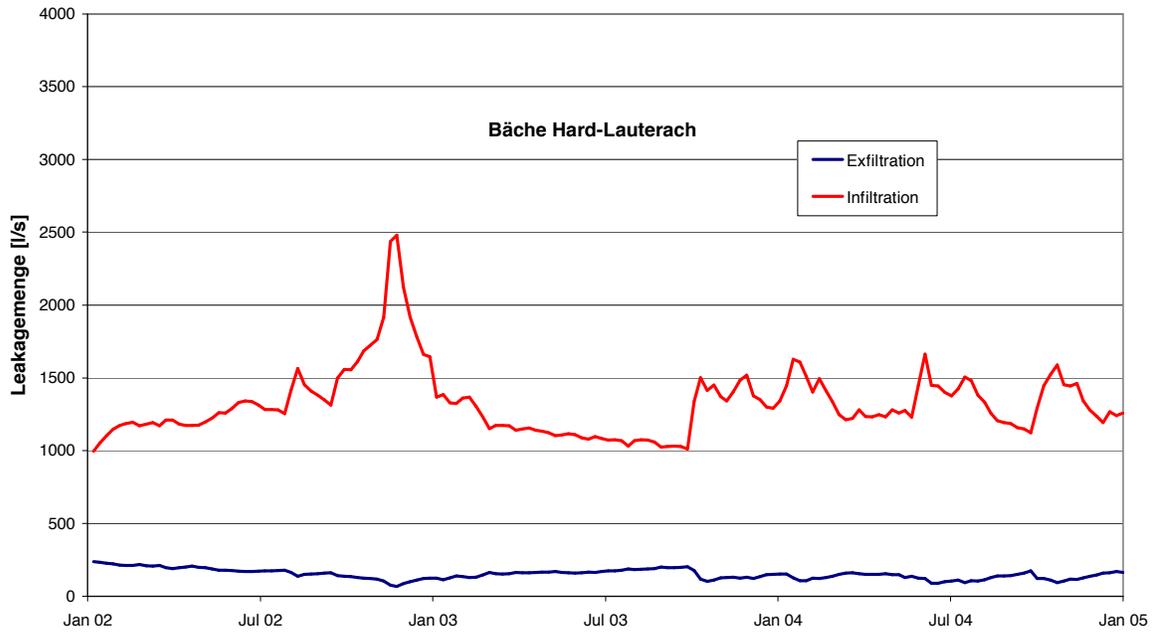


Abbildung 12 Zu- und Wegflüsse der Bäche Hard-Lauterach, ohne Dornbirner- und Bregenzerach

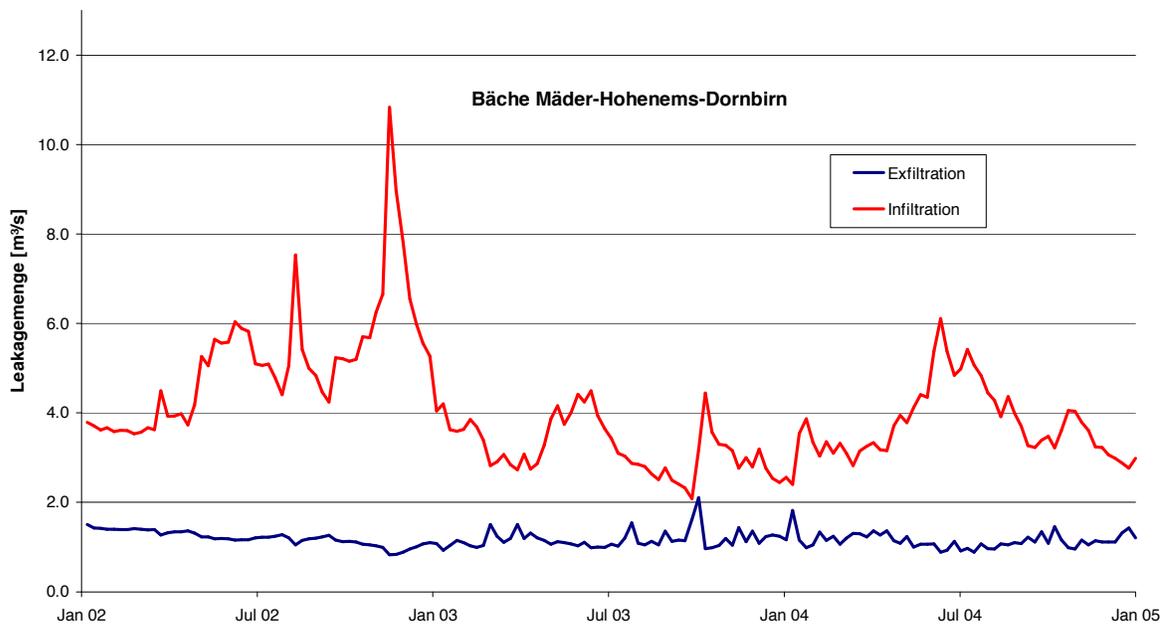


Abbildung 13 Zu- und Wegflüsse der Bäche Dornbirn-Hohenems-Mäder inklusive Diepoldsau

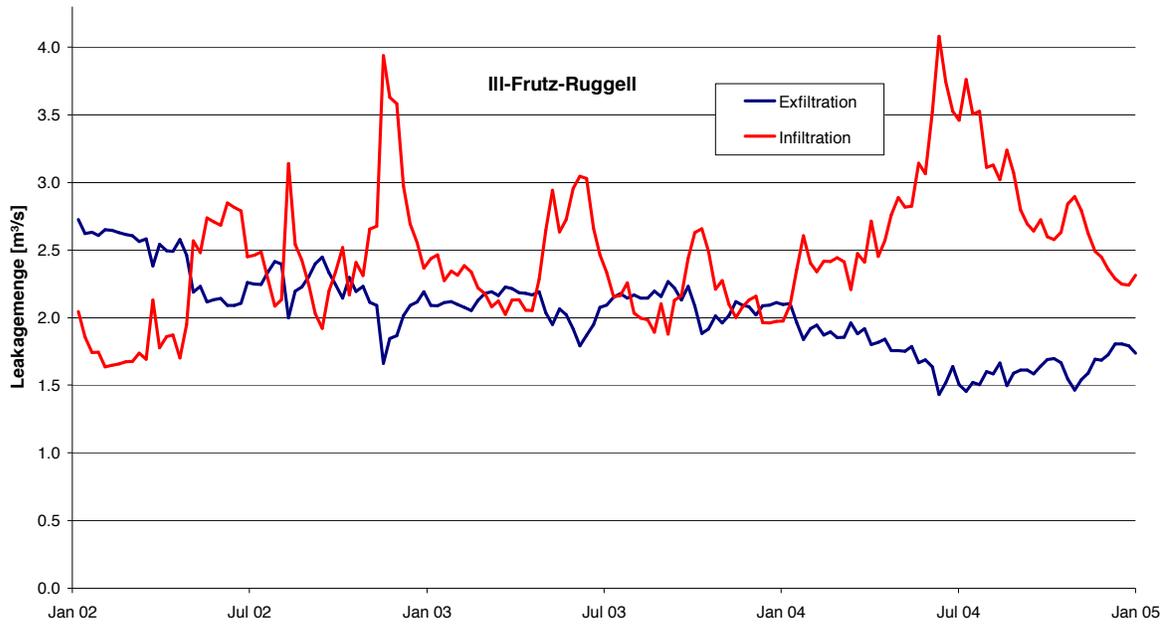


Abbildung 14 Zu- und Wegflüsse III-Frutz-Schwemmfächer und bis Ruggell

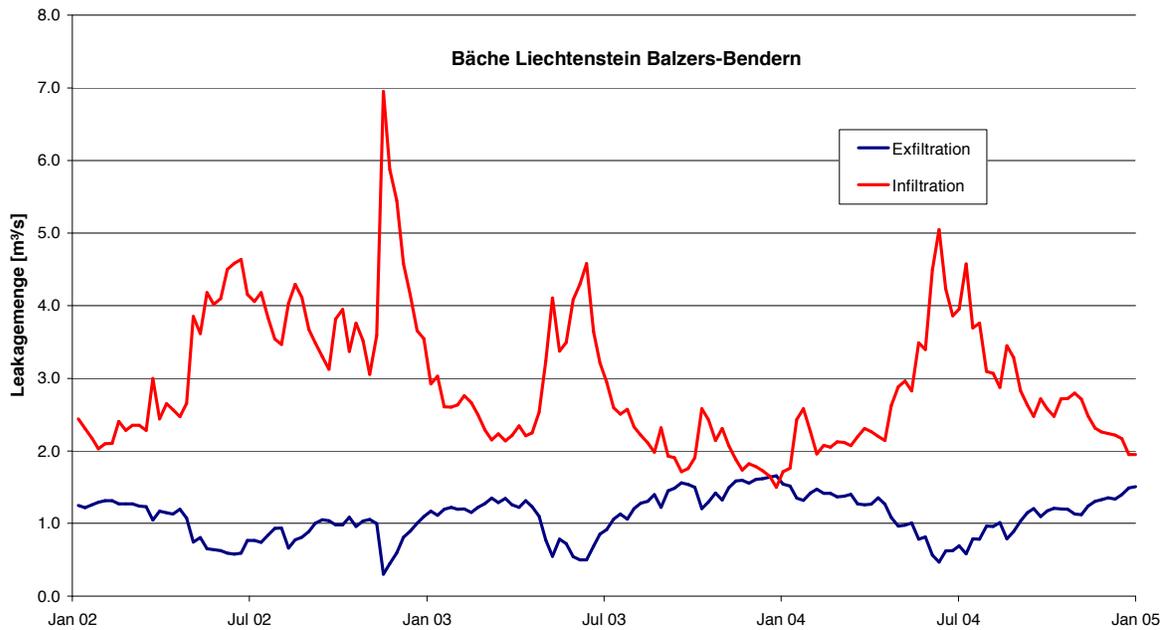


Abbildung 15 Zu- und Wegflüsse Fürstentum Liechtenstein oberhalb Bendern bis Ellhorn

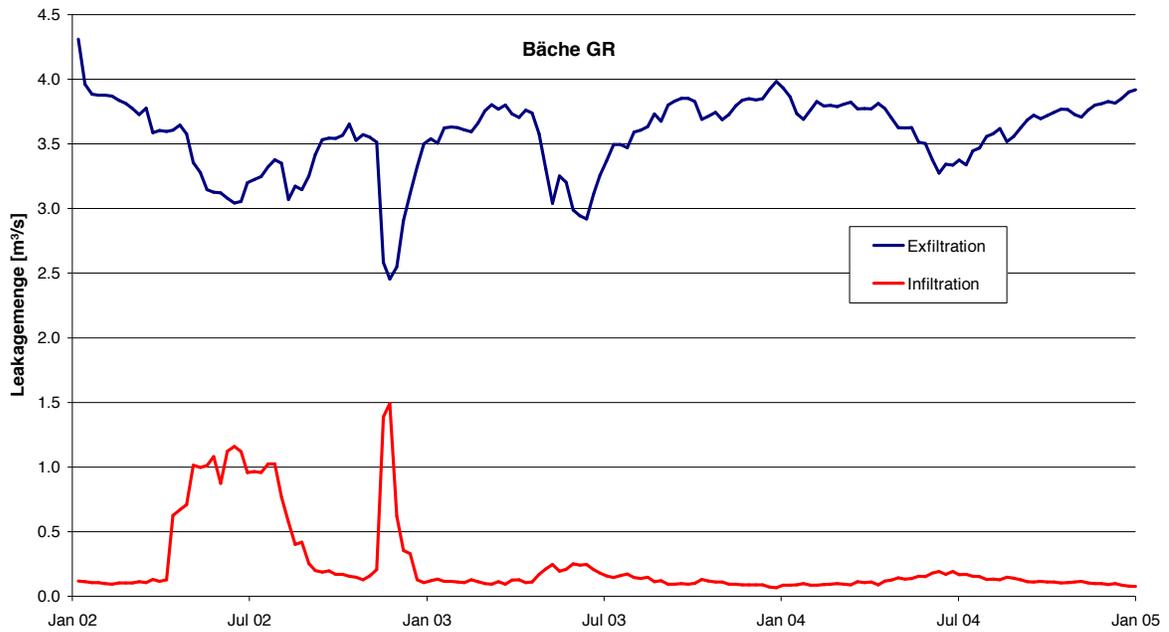


Abbildung 16 Zu- und Wegflüsse Kanton Graubünden, Eilhorn bis Reichenau, ohne Rhein

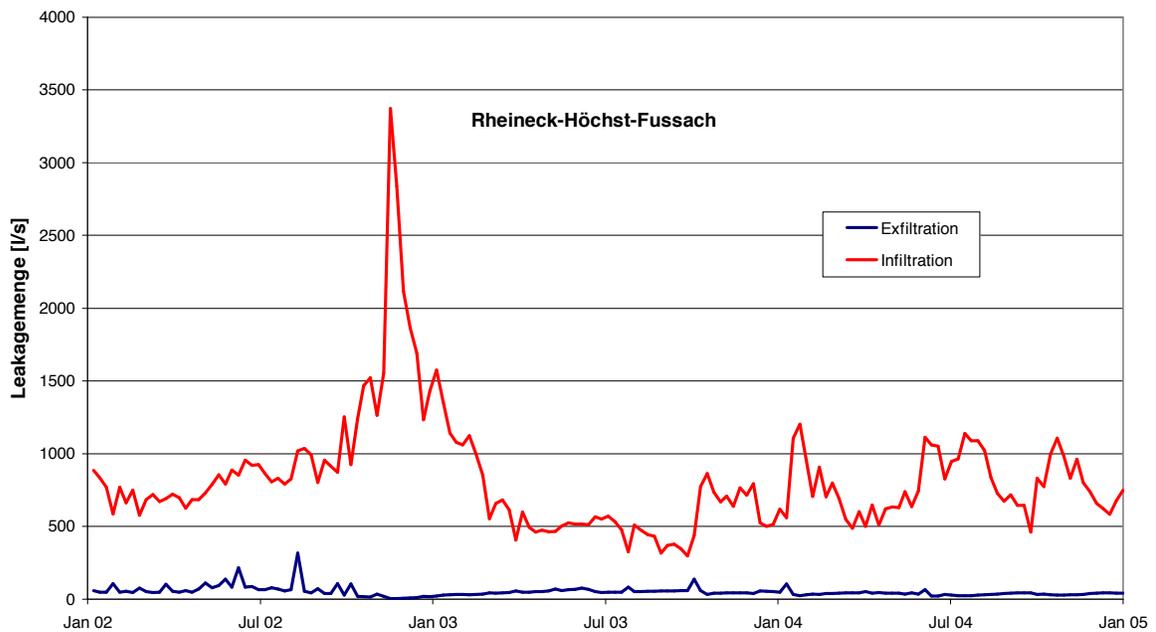


Abbildung 17 Zu- und Wegflüsse der Bäche unterhalb St. Margrethen, links des Rheins

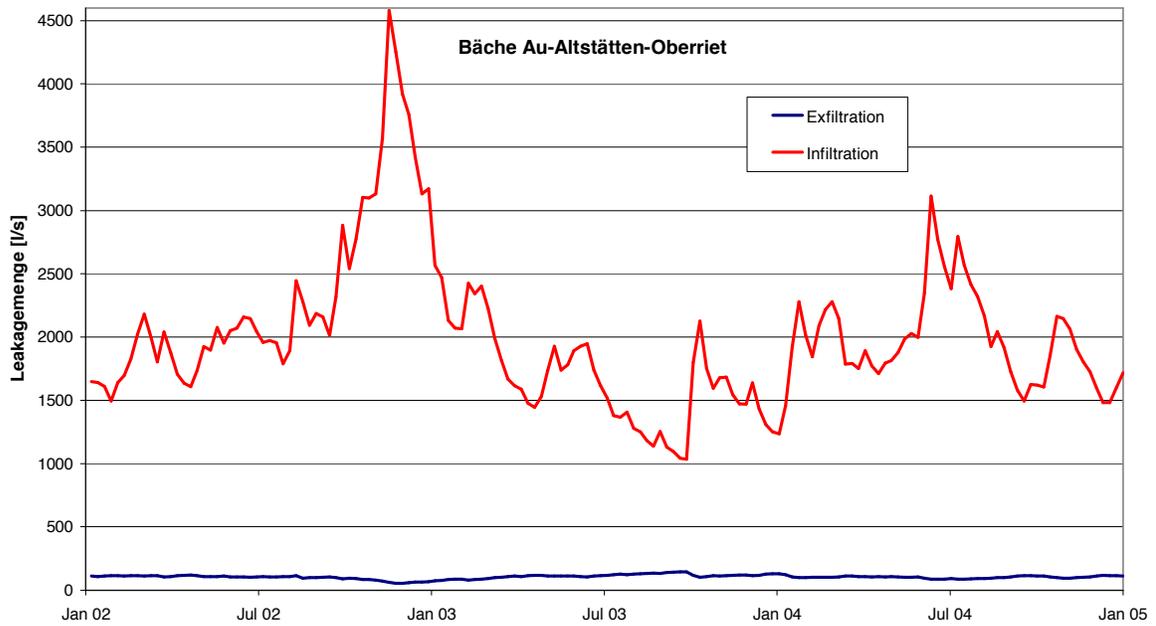


Abbildung 18 Zu- und Wegflüsse der Bäche Au-Altstätten-Oberriet, links des Rheins

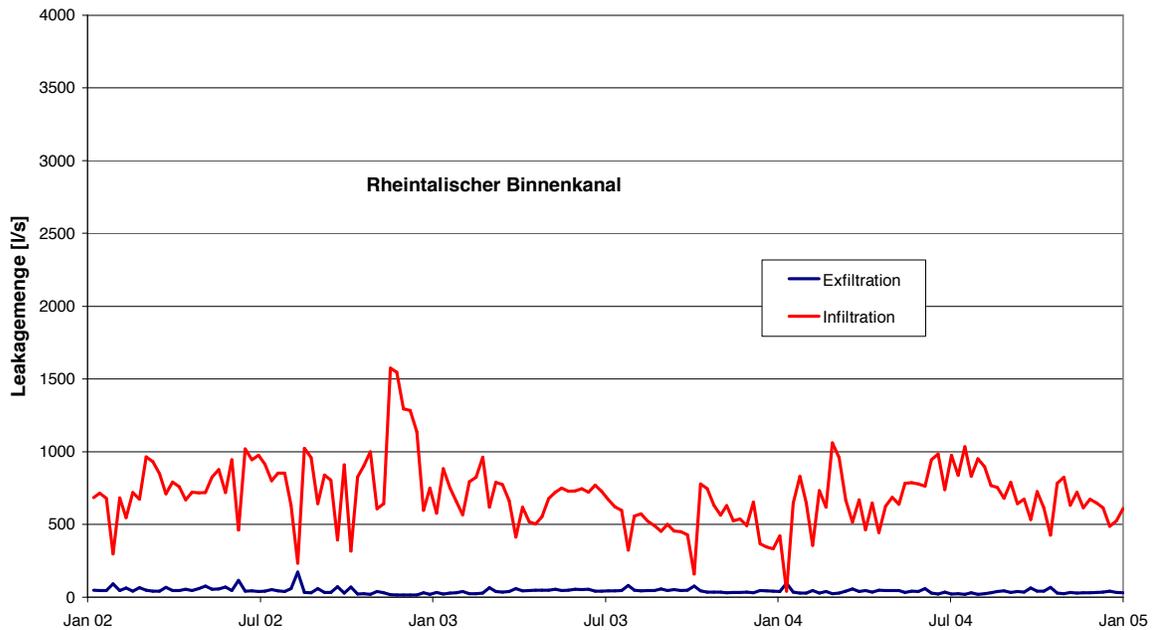


Abbildung 19 Zu- und Wegflüsse Rheintalbinnenkanals oberhalb St. Margrethen

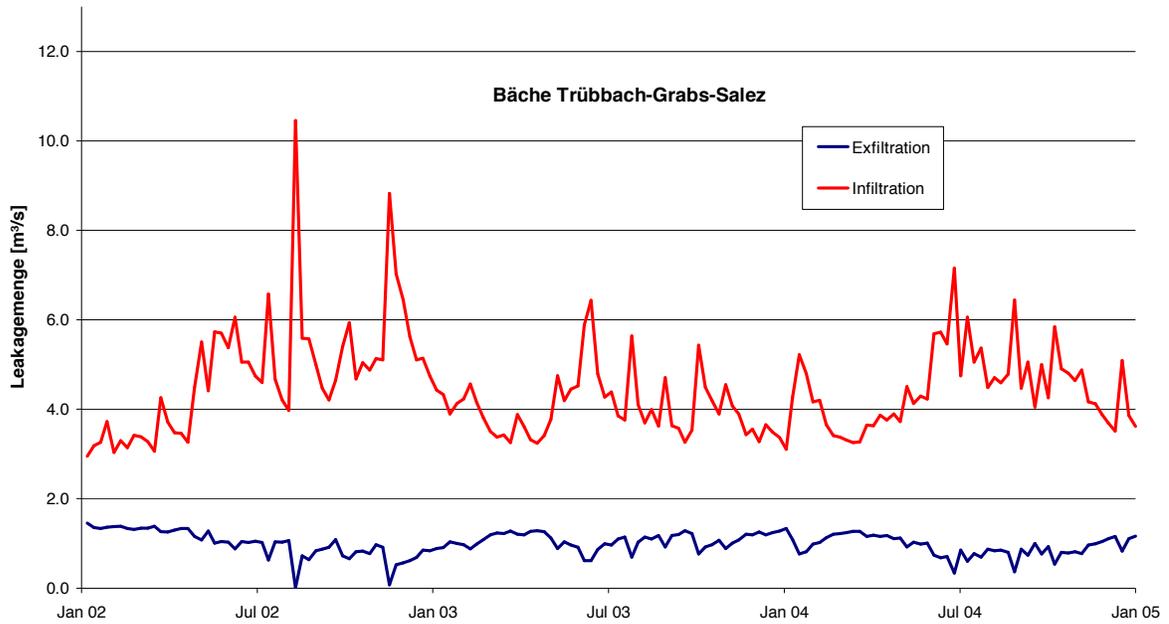


Abbildung 20 Zu- und Wegflüsse der Bäche Trübbach-Grabs-Salez, links des Rheins

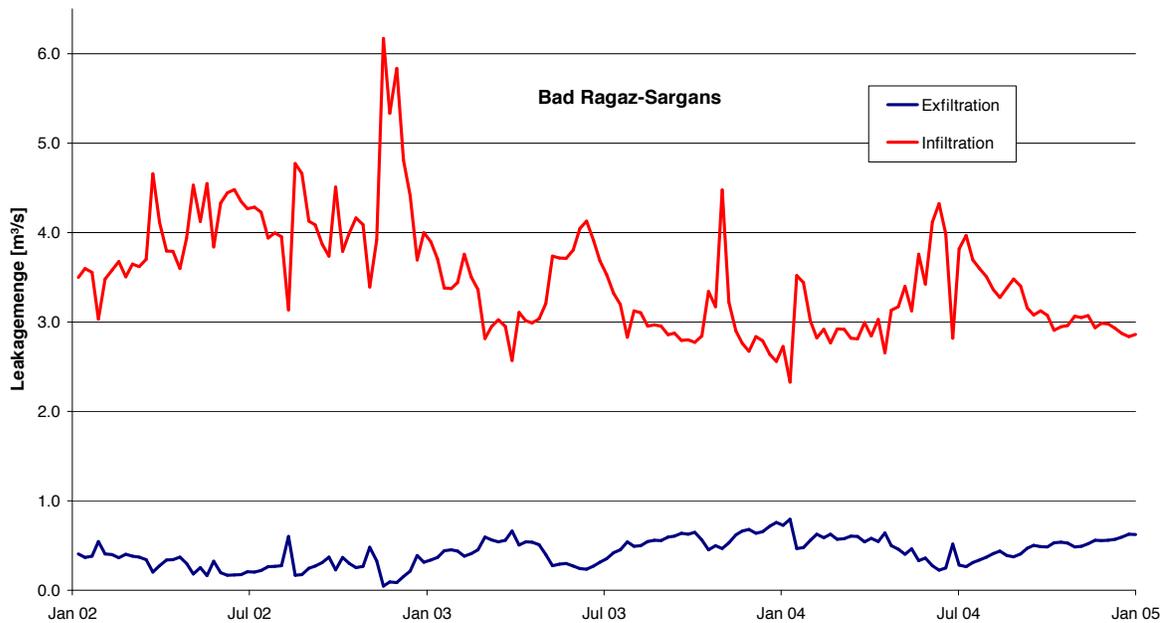


Abbildung 21 Zu- und Wegflüsse der Bäche oberhalb Eilhorn bis Landquart, links des Rheins

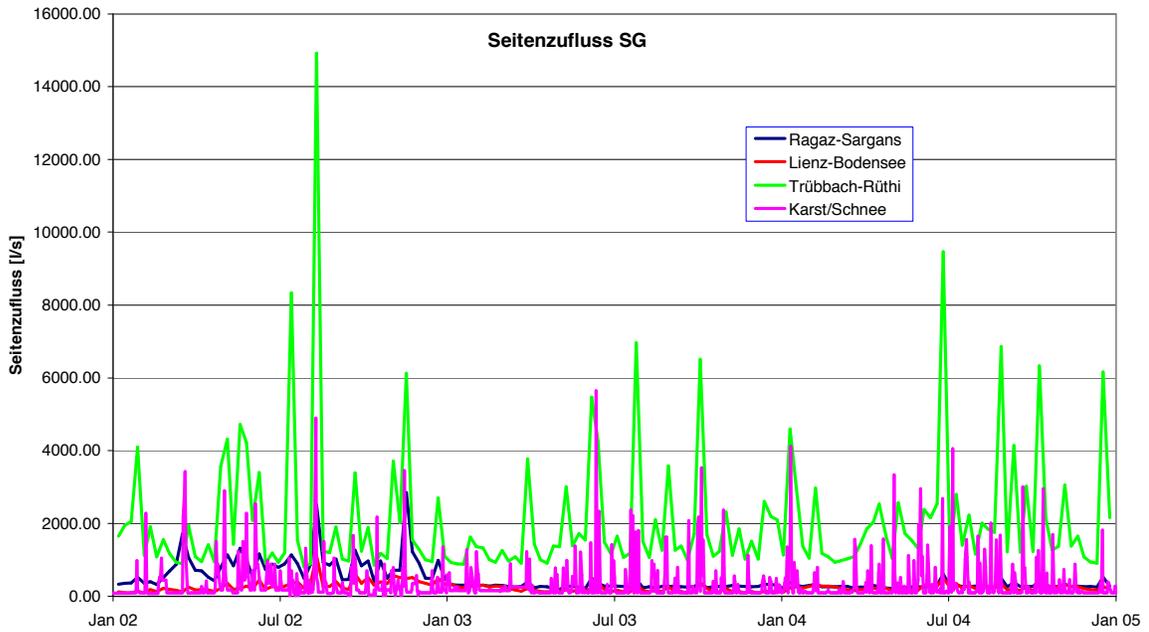


Abbildung 22 Seitenzuflüsse linke Talseite von Landquart bis Bodensee

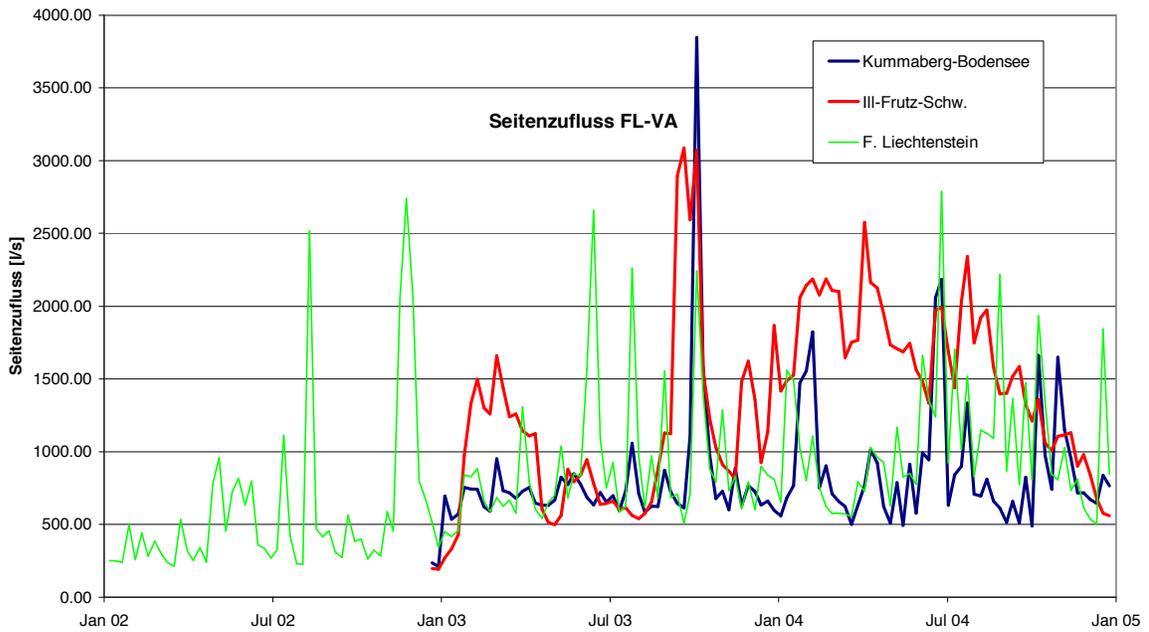


Abbildung 23 Seitenzuflüsse rechte Talseit von Ellhorn bis Bodensee

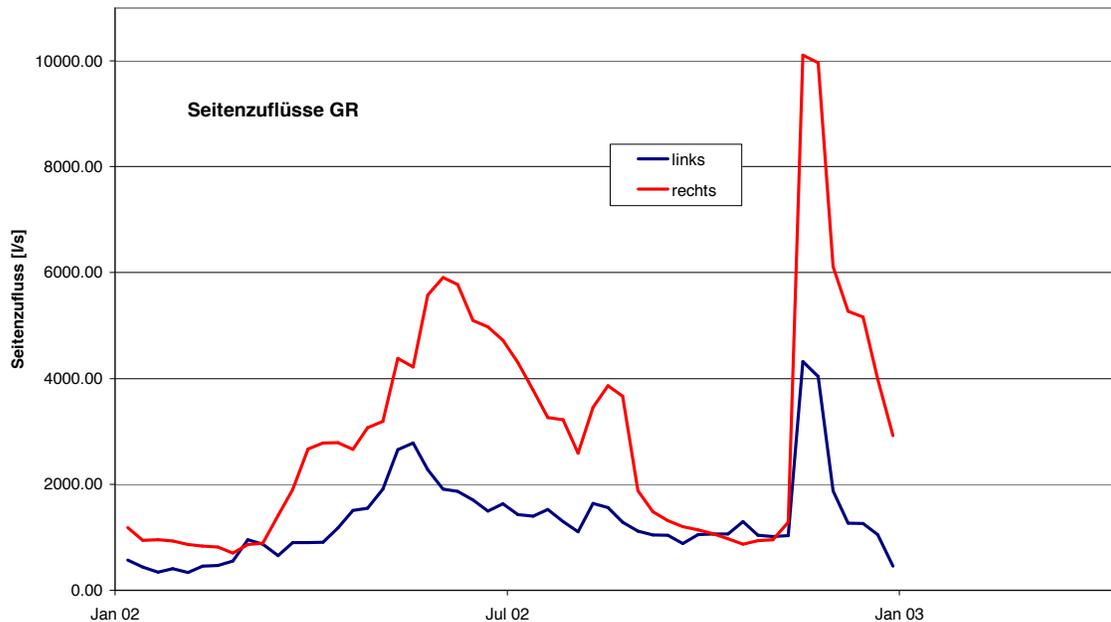


Abbildung 24 Seitenzuflüsse Kanton Graubünden. Linke Talseite von Reichenau bis Landquart, rechte Talseite von Reichenau bis Ellhorn

7 Zuströmbereiche

Die Zuströmbereiche für die öffentlichen Grundwasserbrunnen sind mit dem Modell berechnet worden. Die gewählte Methode ist die instationäre Stofftransportberechnung. Dabei wird die Strömung mit den vorhandenen instationären Randbedingungen berechnet. Die Berechnung des Stofftransportes erfolgt jedoch rückwärts, also gegen die Strömungsrichtung. Im Brunnen wird eine Ausgangskonzentration von 100 % vorgegeben. Im vorliegenden Fall werden 3 Jahre rückwärts berechnet. Die 5% Linie der Stoffkonzentration stellt dann den Rand des Zuströmbereiches dar. Der Vorteil dieser Methode ist, dass nicht nur advective Bahnlinien berechnet werden, die oft einen sehr schmalen Zuströmbereich ergeben, sondern dass die Dispersion berücksichtigt werden kann. Mit den instationären Randbedingungen ergibt sich damit ein realistischerer Bereich der Zuströmung.

Die Zuströmbereiche können nun verglichen werden mit anderen hydrogeologischen Erkenntnissen. Wenn beispielsweise die chemischen Analysen des Brunnenwassers nicht mit dem berechneten Zuströmbereich übereinstimmen, muss das Modell verbessert werden. In Bereichen mit wenigen Messungen des Grundwasserspiegels kann dies durchaus möglich sein.

8 Literatur

DELTA-H INGENIEURGESELLSCHAFT MBH (2005), Bochum:
SPRING 3.3 Benutzerhandbuch

KUHLMANN U. (1992), Mitteilungen der Versuchsanstalt für Wasserbau, Hydrologie und
Glaziologie, Nr. 120, ETH Zürich:
Inverse Modellierung in geklüfteten Grundwasserleitern

DR. A. GEES UND R. BÜRKI (2005), AFU St. Gallen:
Infiltrationsmessungen Rheintal November 2004

SIEBER CASSINA + HANDKE AG (2005), BERICHT GR369, im Auftrag AFU Graubünden:
Abflussmessungen Seitenbäche Rheintal, Juli 2005

LEIBUNDGUT CHR. ET AL: Karstwasseruntersuchungen im Gebiet Churfürsten/Alvier, Freiburg i.
Br. 1994

ARGE ALPENRHEIN (2000): Bregenz
Grundwasserhaushalt Alpenrhein, Grundwassermodellierung für den Abschnitt Landquart bis
Bodensee

ALLEN, R. G., PEREIRA, L.S., RAES D. & SMITH, M. 1998: Crop evapotranspiration - Guidelines
for computing crop water requirements, Food and Agriculture Organization of the United Nations,
Rome
<http://www.fao.org/docrep/X0490E/x0490e00.htm#Contents>

9 Unterschrift

Die Bearbeitung des Auftrages erfolgte durch Dr. J. Trösch.

Zürich, 15. April 2007

TK Consult AG

Dr. J. Trösch

Anhang 1: Pegel Graubünden

Pegel-Name	Max. Abweichung	Standard- abweichung	Mittelwert Abweichung	Anzahl Werte	Bemerkungen
D15R	0.36	0.16	0.11	11	
D16R	0.58	0.19	0.12	11	
D17R	0.45	0.19	0.15	11	
0AR	0.54	0.23	0.19	11	
1APW	0.41	0.16	0.12	12	
1BPW	0.46	0.26	0.21	12	
1IER	0.64	0.27	0.21	11	
1IICR	0.66	0.40	0.34	11	
2AR	0.50	0.23	0.18	11	
2CR	0.63	0.32	0.25	11	
Felsberg	0.52	0.10	0.08	365	LHG
3AR	0.49	0.27	0.22	11	
3CR	1.09	0.65	0.56	7	
3IAR	0.55	0.29	0.25	11	
4AR	0.34	0.24	0.23	11	
4DPW	0.30	0.14	0.10	11	
4ER	1.90		0.67	6	Messfehler
5CR	0.83	0.39	0.30	11	
6BR	0.36	0.16	0.12	11	
6CR	0.25	0.13	0.10	11	
6DR	0.22	0.12	0.10	11	
7AR	0.19	0.13	0.12	11	
7BR	0.33	0.16	0.13	11	
8AR	0.24	0.14	0.11	8	GR
8FR	0.64	0.35	0.27	11	GR
9AR	0.37	0.20	0.15	11	GR
9CR	0.48	0.24	0.17	11	GR
9GR	0.63	0.33	0.24	11	GR
21.2	0.64	0.38	0.35	11	GR
10IAR	0.99	0.34	0.22	8	GR
11AR	0.50	0.29	0.27	11	GR
11aRh	0.45	0.23	0.18	11	GR
11IAR	0.97	0.42	0.31	8	GR
11IBR	0.37	0.21	0.18	11	GR
11IER	0.77	0.33	0.27	11	GR
12CR	0.92	0.54	0.48	11	GR
13BR	0.58	0.29	0.24	11	GR
14AR	0.47	0.24	0.19	11	GR
14BR	0.52	0.22	0.18	11	GR
15AR	0.39	0.25	0.23	11	GR
15CR	0.53	0.21	0.16	11	GR
16BR	0.50	0.23	0.20	11	GR
20IAPW	0.32	0.18	0.15	11	GR
20BR	0.76	0.30	0.23	11	GR
20CR	0.60	0.25	0.20	11	GR
20IBR	0.91	0.32	0.23	11	GR
21AR	1.15	0.75	0.70	11	GR
21BR	1.21	0.55	0.49	11	GR
21CR	0.50	0.20	0.13	11	GR

21DR	0.32	0.22	0.21	11 GR
21ER	0.85	0.35	0.25	11 GR
21ICR	0.66	0.26	0.18	11 GR
21IFR	0.51	0.28	0.23	11 GR
21IGR	0.40	0.23	0.20	11 GR
PWlgis	1.18	0.34	0.26	52 GR
22AR	0.66	0.23	0.15	11 GR
22FR	0.63	0.26	0.18	10 GR
22HR	0.91	0.34	0.24	11 GR
22JR	0.45	0.25	0.21	11 GR
22KR	0.52	0.22	0.17	11 GR
23AR	0.73	0.48	0.45	11 GR
23DR	0.56	0.30	0.26	11 GR
23IAR	0.57	0.37	0.33	11 GR
23IaRh	0.68	0.25	0.18	11 GR
23IBR	0.77	0.37	0.32	8 GR
23ICR	0.90	0.44	0.36	11 GR
23IER	1.71	1.15	1.03	11 GR
24aR	0.29	0.16	0.13	11 GR
24BR	0.25	0.13	0.11	11 GR
24DR	0.35	0.21	0.17	11 GR
24ER	0.76	0.48	0.44	11 GR
24IAR	0.56	0.27	0.22	11 GR
Maienf-B	0.94	0.28	0.23	365 LHG
Maienf-D	1.00	0.35	0.23	365 LHG
25BR	0.48	0.20	0.15	11 GR
26BR	0.69	0.31	0.20	11 GR
28AR	1.29	0.73	0.64	11 GR, Nullpkt?
28CR	0.74	0.35	0.27	11 GR
29AR	0.40	0.23	0.19	11 GR
30AR	0.42	0.22	0.18	11 GR
30BR	0.61	0.39	0.36	11 GR
30CPW	0.22	0.15	0.14	11 GR
31AR	0.38	0.17	0.14	11 GR
31BR	0.23	0.14	0.12	11 GR
34R	0.47	0.27	0.24	11 GR
35R	0.48	0.25	0.19	11 GR
36R	0.45	0.28	0.21	11 GR

Anhang 2: Pegel Fürstentum Liechtenstein

Pegel- Name	Max. Abweichung	Standard- abweichung	Mittelwert Abweichung	Anzahl Werte	Bemerkungen
FL 01.0.20	0.52	0.15	0.11	20	
FL 01.0.40	0.43	0.11	0.08	365	
FL 02.0.40	0.29	0.10	0.08	365	
FL 02.1.40	0.13	0.13	0.13	1	
FL 03.0.40	0.12	0.12	0.12	1	
FL 04.0.20	0.22	0.22	0.22	1	
FL 04.0.40	0.20	0.20	0.20	1	
FL 04.0.72	0.10	0.10	0.10	1	
FL 05.0.10	0.44	0.30	0.29	6	
FL 05.0.30	0.38	0.21	0.17	6	
FL 05.0.50	0.44	0.23	0.19	6	
FL 05.0.70	0.16	0.16	0.16	1	
FL 05.0.80	0.12	0.12	0.12	1	
FL 06.0.30	0.28	0.13	0.10	8	
FL 06.0.40	0.03	0.03	0.03	1	
FL 07.0.10	0.23	0.14	0.11	6	
FL 08.0.10	0.24	0.11	0.07	6	
FL 08.0.30	0.09	0.07	0.06	6	
FL 08.0.40	0.22	0.15	0.13	6	
FL 08.0.60	0.22	0.16	0.14	6	
FL 09.0.10	0.15	0.15	0.15	1	
FL 10.0.20	0.16	0.16	0.16	1	
FL 10.0.10	0.01	0.01	0.01	1	
FL 10.0.30	0.15	0.15	0.15	1	
FL 10.0.50	0.05	0.05	0.05	1	
FL 11.1.01	0.04	0.04	0.04	1	
FL 11.0.10	0.18	0.18	0.18	1	
FL 11.0.20	0.20	0.20	0.20	1	
FL 11.7.00	0.08	0.08	0.08	1	
FL 12.0.10	0.18	0.10	0.09	7	
FL 12.0.20	0.13	0.10	0.08	2	
FL 12.0.30	0.29	0.15	0.12	7	
FL 12.0.50	0.27	0.19	0.13	2	
FL 12.0.60	0.02	0.02	0.02	1	
FL 12.0.80	0.26	0.17	0.15	7	
FL 12.5.00	0.16	0.14	0.14	2	
FL 13.0.25	0.14	0.12	0.11	2	
FL 13.0.45	0.21	0.21	0.21	1	
FL 13.0.71	0.11	0.11	0.11	1	
FL 14.0.30	0.34	0.23	0.21	6	
FL 14.0.40	0.40	0.20	0.16	6	
FL 14.0.50	0.35	0.35	0.35	1	
FL 15.0.20	0.32	0.32	0.32	1	
FL 16.0.10	0.64	0.48	0.45	6	
FL 16.0.20	0.33	0.25	0.23	6	
FL 16.0.40	0.52	0.30	0.28	6	
FL 17.0.70	0.98	0.98	0.98	1	
FL 18.0.10	0.01	0.01	0.01	1	

FL 18.0.30	0.45	0.45	0.45	1	
FL T01	0.40	0.10	0.08	365	
FL T02	0.33	0.33	0.33	1	
FL T03	0.23	0.15	0.13	3	
FL T04	0.13	0.13	0.13	1	
FL T05	0.29	0.18	0.16		
FL T06	0.02	0.02	0.02	1	
FL T07	0.29	0.17	0.12	3	
FL T08	0.68	0.68	0.68	1	
FL T09	0.94	0.25	0.15	20	
FL T10	0.41	0.10	0.07	365	
FL 4	0.08	0.08	0.08	1	
FL 3	0.05	0.05	0.05	1	
FL 2b	0.10	0.10	0.10	1	
FL 2a	0.00	0.00	0.00	1	
FL 1	0.13	0.13	0.13	1	
Schlatt	0.25	0.14	0.11	10	Gd. Ruggell
Langacker	0.14	0.14	0.14	1	Gd. Ruggell
Kemmisplünt	0.18	0.09	0.06	10	Gd. Ruggell
KB1					
Industrie	0.38	0.18	0.12	12	Gd. Ruggell
KB2					
Industrie	0.32	0.21	0.14	12	Gd. Ruggell
KB3					
Industrie	0.45	0.24	0.18	12	Gd. Ruggell
KB1 Dorf	0.34	0.29	0.27	7	Gd. Ruggell
KB2 Dorf	0.62	0.53	0.48	8	Gd. Ruggell

Anhang 3: Pegel St. Gallen

Pegel- Name	Max. Abweichung	Standard- abweichung	Mittelwert Abweichung	Anzahl Werte	Bemerkungen
SG1751	0.99	0.11	0.10	365	SG
SG1851	0.53	0.15	0.11	365	SG
SG2051	3.04	0.33	0.19	365	SG, Ueberfl. Vorland
SG2151	1.16	0.17	0.08	365	SG
SG2452	0.13	0.04	0.03	365	SG
SG2653	0.26	0.07	0.05	365	SG, Schneeschmelze
SG2661	0.17	0.08	0.06	365	SG
SG2664	0.34	0.12	0.09	365	SG
SG2666	0.49	0.16	0.12	365	SG
SG3251	0.69	0.18	0.09	365	SG
SG3253	0.27	0.09	0.08	365	SG
SG3351	2.99	0.52	0.25	365	SG, Messproblem
SG3553	0.45	0.16	0.14	365	SG
SG3651	1.51	0.40	0.25	365	SG, Messproblem
Wartau	0.40	0.08	0.06	365	LHG
Salez C	0.43	0.13	0.07	365	LHG
Salez D	0.35	0.12	0.06	365	LHG

Anhang 4: Pegel Vorarlberg

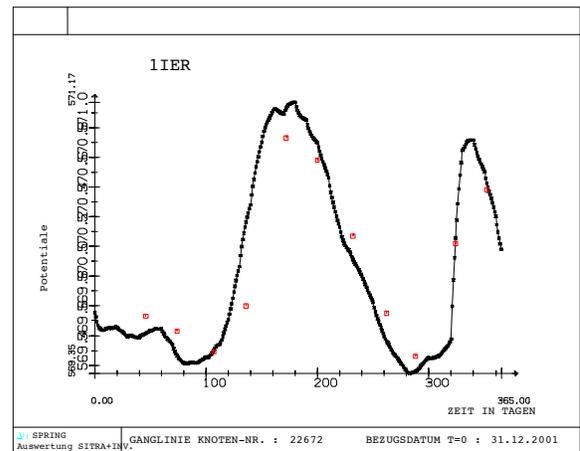
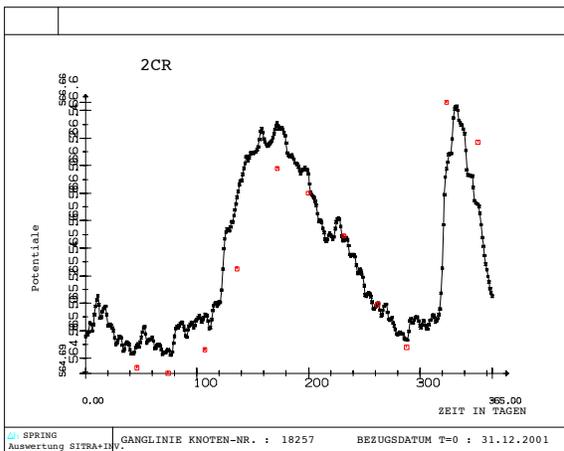
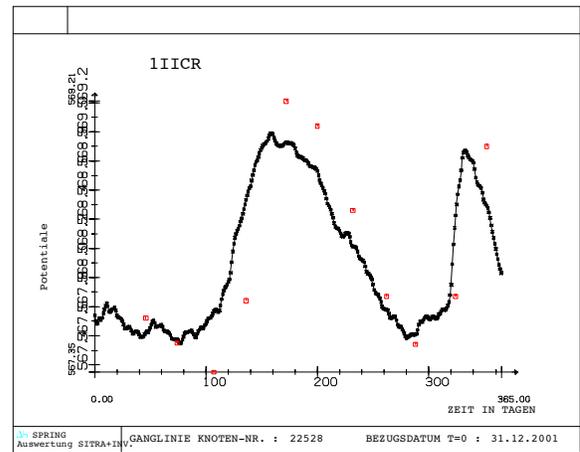
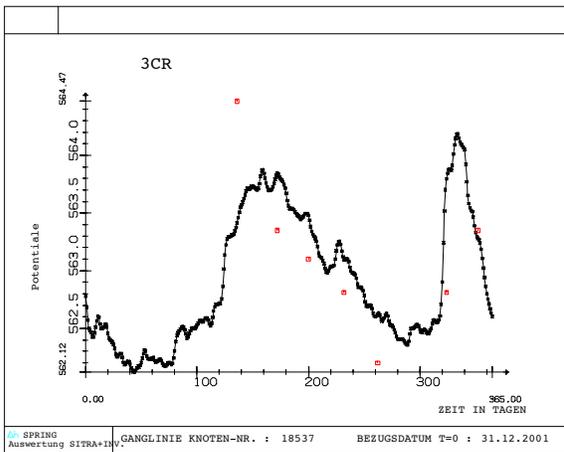
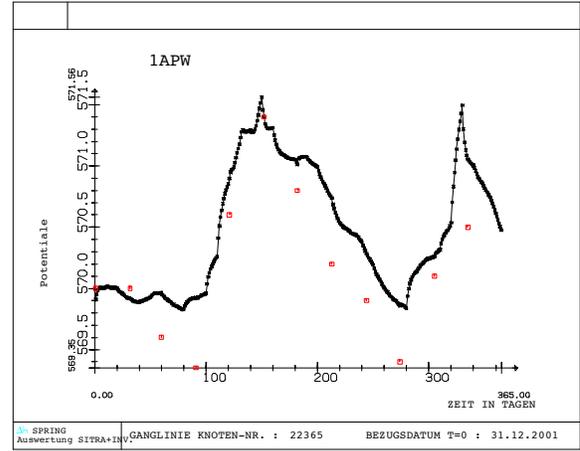
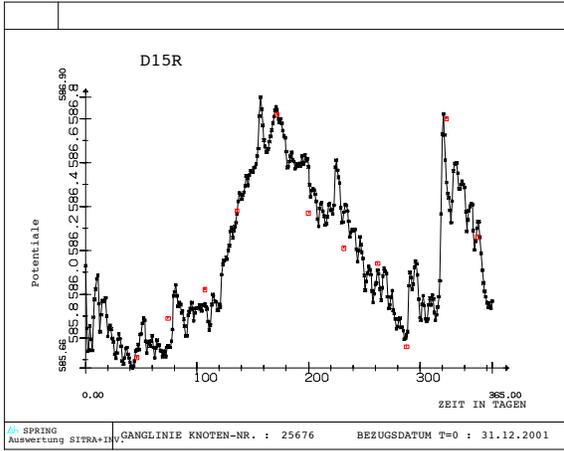
Pegel- Name	Max. Abweichung	Standard- abweichung	Mittelwert Abweichung	Anzahl Werte	Bemerkungen
50.1.01A	2.19	0.90	0.73	52	Talrand, Kennelb.
50.1.02	1.37	0.65	0.60	52	Talrand
50.1.03	0.71	0.27	0.23	52	Talrand
50.1.04	0.66	0.39	0.33	52	Talrand
50.1.05A	0.66	0.27	0.23	52	Talrand, Bregenz
50.1.06	1.05	0.22	0.14	52	Talrand, Bregenz
50.1.07	1.04	0.31	0.24	52	Talrand, Bregenz
50.1.08	0.64	0.17	0.14	52	Bregenz, See
50.1.09A	0.68	0.32	0.27	52	Bregenz
50.1.10A	0.88	0.30	0.25	52	Bregenz
50.1.11	0.63	0.17	0.15	365	Bregenz
50.1.12	0.38	0.12	0.09	52	Bregenz, See
50.2.01A	1.38	0.64	0.51	365	Talrand, Wolfurt
50.2.02B	1.27	0.27	0.20	52	Talrand, Wolfurt
50.2.03	1.03	0.33	0.27	52	Talrand, Wolfurt
50.2.04A	1.02	0.23	0.17	52	Talrand, Wolfurt
50.2.05A	0.96	0.31	0.27	365	Talrand, Wolfurt
50.2.07A	0.78	0.19	0.12	52	Lauterach
50.2.08A	0.54	0.29	0.26	52	Lauterach
50.2.09	0.50	0.15	0.11	52	Bregenzerach
50.2.10	0.69	0.15	0.13	365	Ried, Lauterach
50.2.11	0.35	0.20	0.19	52	Ried, Lauterach
50.2.13	0.38	0.11	0.09	365	Hard
50.2.14A	0.42	0.19	0.16	52	Hard, See
50.2.15	0.60	0.20	0.16	52	Hard, See
50.2.16A	0.11	0.05	0.04	52	Hard, See
50.2.17	0.44	0.20	0.17	52	Hard, See
50.2.18	0.68	0.20	0.15	365	Hard, See
50.2.19	0.45	0.32	0.30	52	Hard, See
50.2.20B	0.96	0.23	0.17	52	Ried
50.2.21	2.19	0.45	0.31	52	Talrand, Rickenb.
50.2.22	0.45	0.14	0.09	52	Fussach
50.2.23	0.59	0.15	0.12	52	Fussach
50.2.24A	0.80	0.43	0.40	52	Fussach, Weier
50.2.25	0.41	0.15	0.12	52	Höchst
50.2.26	0.66	0.15	0.11	52	Höchst
50.2.27	0.30	0.13	0.12	365	Höchst
50.2.28	0.30	0.12	0.09	52	Höchst
50.2.29	0.35	0.13	0.10	365	Höchst
50.2.30	0.58	0.25	0.20	52	Höchst
50.2.31	0.99	0.24	0.16	52	Höchst
50.2.32	0.21	0.11	0.09	52	Höchst
50.2.33	0.89	0.25	0.20	52	Höchst
50.2.34	0.29	0.09	0.07	52	Höchst
50.2.35	0.39	0.11	0.08	52	Höchst
50.2.36A	0.73	0.21	0.16	52	Lauterach
50.2.37	0.30	0.11	0.09	52	Hard
50.3.01	0.90	0.21	0.14	52	Talrand
50.3.02A	0.30	0.14	0.11	52	Ried

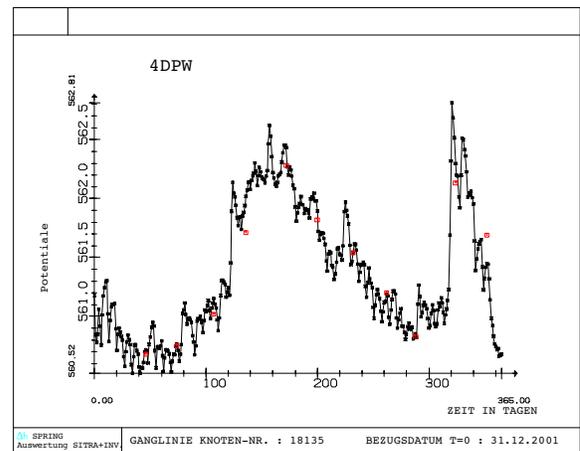
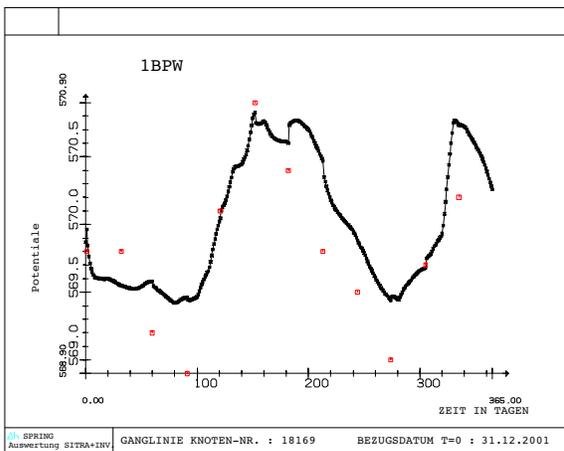
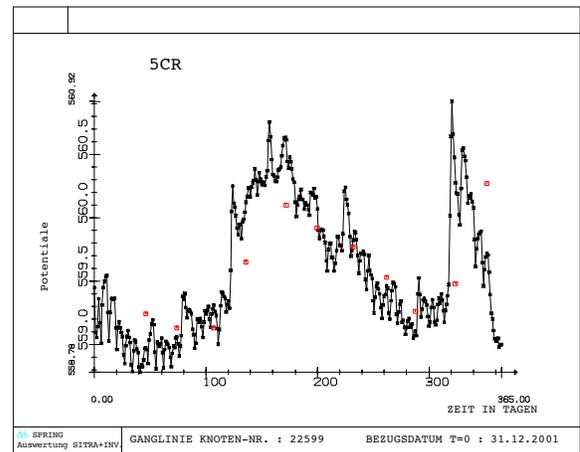
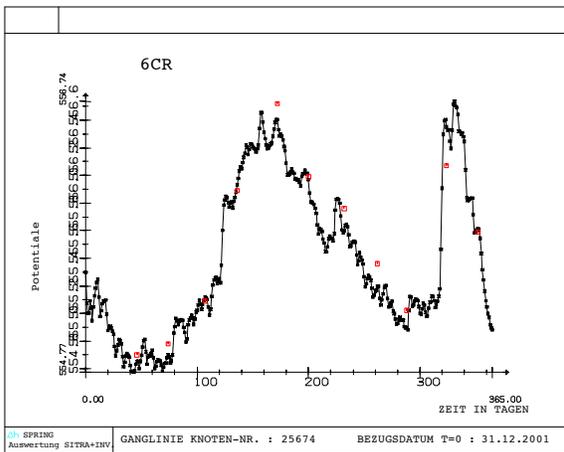
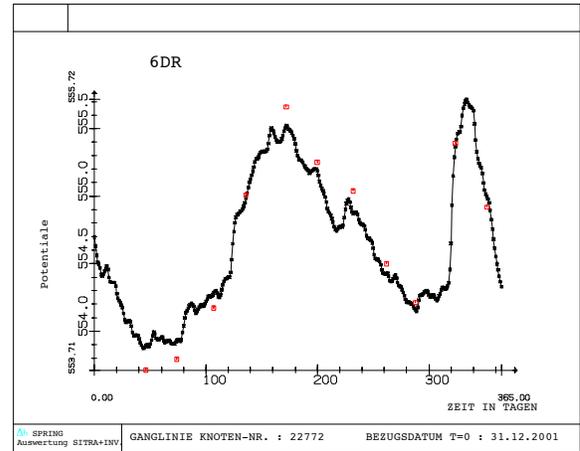
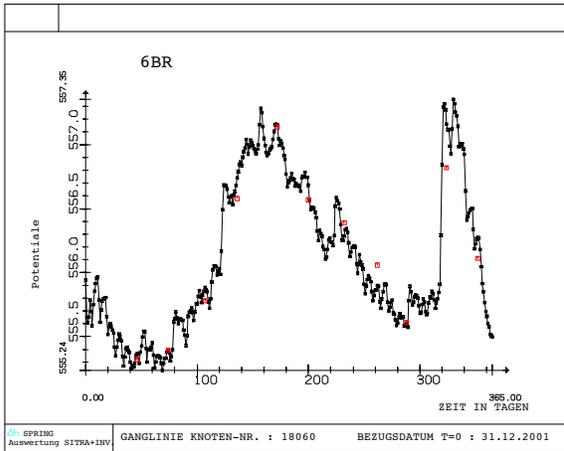
50.3.03	0.23	0.07	0.06	52 Ried
50.3.04	0.64	0.16	0.13	52 Talrand
50.3.05	0.57	0.25	0.21	365 Dornbirn
50.3.07A	1.66	0.39	0.27	365 Talrand, Dornbirn
50.3.08A	0.23	0.10	0.08	52 Ried, Lustenau
50.3.09B	0.21	0.10	0.08	52 Ried, Lustenau
50.3.10	0.36	0.10	0.07	52 Rhein, Lustenau
50.3.11A	0.31	0.13	0.11	52 Ried, Dornbirn
50.3.12A	1.00	0.38	0.33	52 Talrand, Haselst.
50.3.13	0.53	0.21	0.18	52 Ried, Haselst.
50.3.14	0.30	0.17	0.15	52 Talrand, Haselst. Talrand,
50.3.15	0.57	0.18	0.13	52 Schwarzach
50.3.16A	0.30	0.13	0.10	52 Ried, Schwarzach
50.3.17	0.28	0.15	0.13	52 Ried
50.3.18	0.34	0.15	0.13	52 Ried, Lustenau
50.3.19	0.52	0.19	0.14	52 Rheindamm
50.4.05	0.61	0.17	0.14	52 Rhein, ob. Mäder
50.4.07A	0.57	0.15	0.10	365 Talrand, Götzis
50.4.08	0.25	0.12	0.10	52 Ried, Mäder
50.4.10	0.34	0.17	0.13	52 Rhein, unt. Mäder
50.4.11	0.23	0.08	0.07	365 Ried, Mäder
50.4.12	0.17	0.06	0.05	52 Ried, Altach
50.4.13A	0.31	0.11	0.08	365 Altach
50.4.14	0.53	0.35	0.33	52 Altach
50.4.15A	1.01	0.23	0.16	52 Altach
50.4.16	0.51	0.24	0.20	52 Talrand, Hohenems
50.4.17	0.28	0.10	0.09	52 Ried, Hohenems
50.4.18A	0.87	0.15	0.08	52 Altach
50.4.19A	0.31	0.10	0.08	365 Hohenems
50.4.20	0.22	0.10	0.08	52 Zw. Diep.-Schlaufe
50.4.21	0.73	0.16	0.11	52 Talrand Hohenems
Lustenau3	0.24	0.10	0.08	52 nahe Rhein
Lustenau5	0.46	0.14	0.11	52 Ried
01.32.01A	0.29	0.14	0.12	365 Ill, oben
01.32.10A	0.28	0.17	0.15	365 Ill
01.32.19A	0.45	0.21	0.17	365 Nofels
01.32.21	0.47	0.25	0.22	52 Ill, Nofels
01.32.24A	0.34	0.15	0.12	365 Ill
01.32.37A	0.20	0.14	0.13	52 Fächer, Feldkirch
01.32.38	0.32	0.14	0.12	52 Bangs
01.32.39	0.64	0.22	0.18	52 Ill, Feldkirch
01.32.40	0.44	0.20	0.17	365 Feldkirch
01.32.41A	0.47	0.17	0.12	52 Talrand, Altenstadt
01.32.51	0.52	0.23	0.18	52 Feldkirch
01.32.52	0.50	0.14	0.10	52 Feldkirch
01.32.53A	0.38	0.16	0.13	52 Feldkirch
01.32.54	1.04	0.42	0.33	52 Feldkirch
01.32.57	1.52	0.72	0.61	52 Feldkirch
01.32.58	0.46	0.15	0.11	52 Feldkirch
01.32.60	0.46	0.18	0.14	52 Brederis
01.33.01	0.38	0.20	0.18	52 Ill, Meiningen
01.33.04	0.15	0.06	0.05	365 Meiningen, Rhein
01.33.06	0.38	0.17	0.15	52 Meiningen

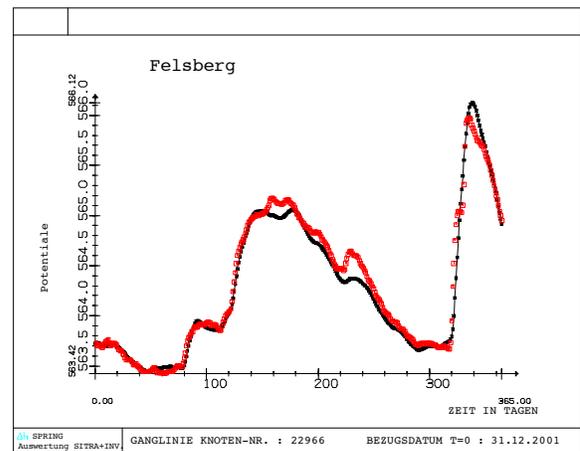
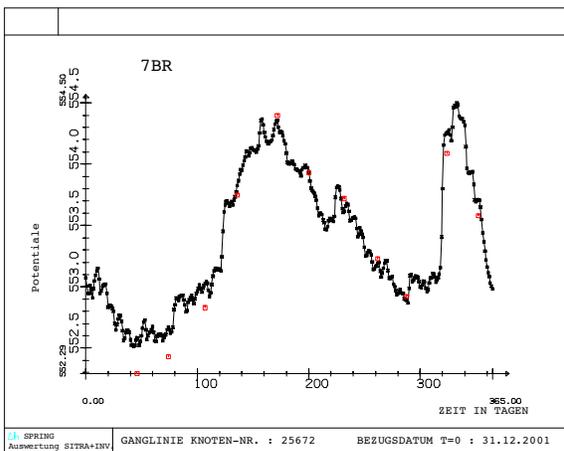
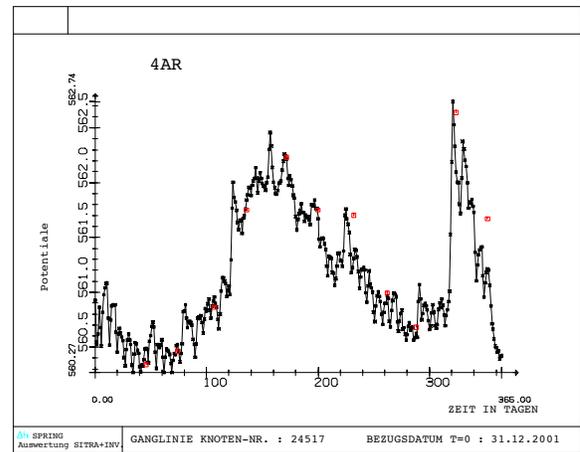
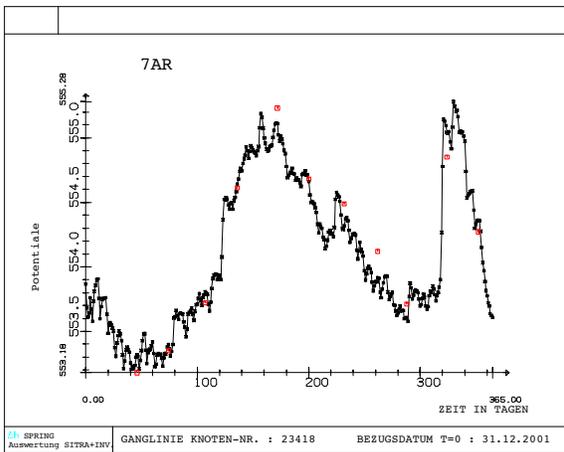
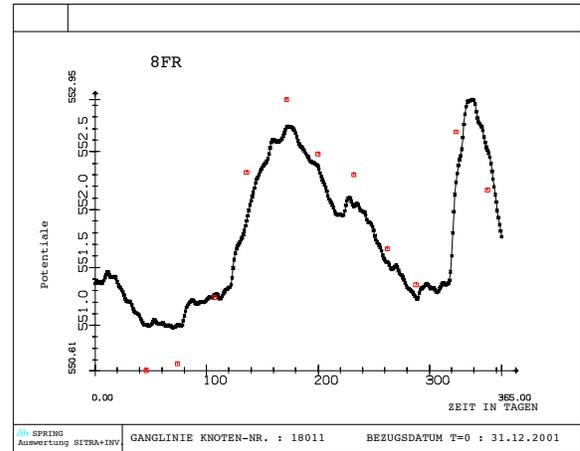
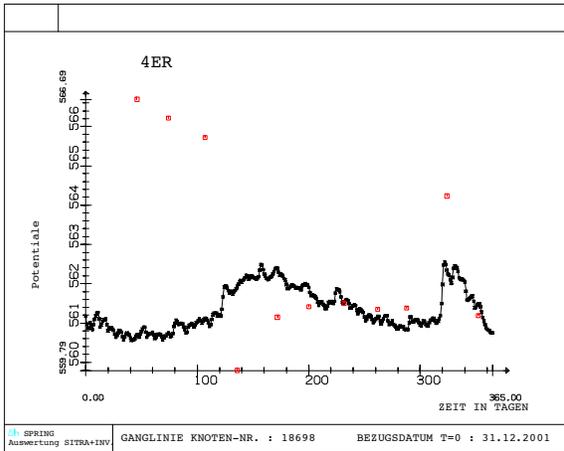
01.33.07	0.31	0.09	0.07	52	Meiningen
01.33.08	0.22	0.09	0.08	52	Frutz/Rhein
01.33.09	0.57	0.16	0.11	52	Frutz/Ehbach
01.40.02	2.17	0.89	0.70	52	Talrand, Frutz
01.40.03	0.42	0.17	0.14	365	Fächer
01.40.04	0.49	0.19	0.15	365	Fächer
01.40.05A	0.46	0.20	0.16	52	Ried, Rankweil
01.40.06	1.44	0.36	0.28	52	Ried, Frutz
50.4.01	1.27	0.33	0.22	52	Talrand, Klaus
50.4.02	0.74	0.37	0.32	52	Klaus
50.4.03A	0.23	0.11	0.10	52	Koblach
50.4.04	0.22	0.07	0.06	52	n. Rhein Koblach
50.4.06	0.26	0.10	0.09	52	Ried, Koblach
50.4.09A	0.57	0.16	0.12	52	Talrand, Götzis
01.32.02	0.30	0.12	0.11	12	III, VKW
01.32.03	1.42	0.60	0.31	29	III, VKW
01.32.04	0.29	0.16	0.14	12	III, VKW
01.32.07	0.48	0.15	0.13	12	III, VKW
01.32.09	0.29	0.15	0.13	12	III, VKW
01.32.11	0.30	0.15	0.13	29	III, VKW
01.32.12	0.92	0.65	0.61	12	III, VKW
01.32.13	1.06	0.84	0.82	21	III, VKW
01.32.14	1.24	0.33	0.23	12	III, VKW
01.32.15	0.47	0.18	0.15	12	III, VKW
01.32.17	1.24	0.69	0.40	19	III, VKW
01.32.20	0.32	0.15	0.12	29	III, VKW
01.32.21	0.96	0.46	0.40	12	III, VKW
01.32.22	0.59	0.29	0.27	29	III, VKW
01.32.23	1.04	0.74	0.65	12	III, VKW
01.32.24	0.61	0.33	0.31	12	III, VKW
01.32.25	0.33	0.15	0.13	29	III, VKW
01.32.26	0.32	0.16	0.13	29	III, VKW
01.32.29	0.37	0.20	0.16	12	III, VKW
01.32.30	0.29	0.18	0.16	52	III, VKW
01.32.31	0.25	0.16	0.14	52	III, VKW
01.32.32	0.26	0.17	0.16	52	III, VKW
01.32.33	0.26	0.17	0.15	52	III, VKW
01.32.34	0.25	0.17	0.15	52	III, VKW
01.32.35	0.27	0.17	0.15	52	III, VKW
01.32.36	0.34	0.20	0.18	52	III, VKW
01.32.43	0.28	0.13	0.11	29	III, VKW
01.32.44	0.45	0.15	0.12	29	III, VKW
01.32.45	0.63	0.35	0.30	29	III, VKW
01.32.46	0.54	0.24	0.21	29	III, VKW
01.32.47	0.56	0.30	0.28	29	III, VKW
01.32.48	0.26	0.12	0.11	29	III, VKW
01.32.49	0.37	0.14	0.12	29	III, VKW
01.32.61	0.96	0.33	0.25	29	III, VKW
01.32.65	0.70	0.26	0.22	29	III, VKW
01.32.71	0.25	0.13	0.12	29	III, VKW
01.32.72	0.36	0.16	0.13	29	III, VKW
01.32.74	0.28	0.14	0.12	29	III, VKW
01.32.75	0.26	0.12	0.11	29	III, VKW
01.32.76	0.23	0.10	0.09	29	III, VKW

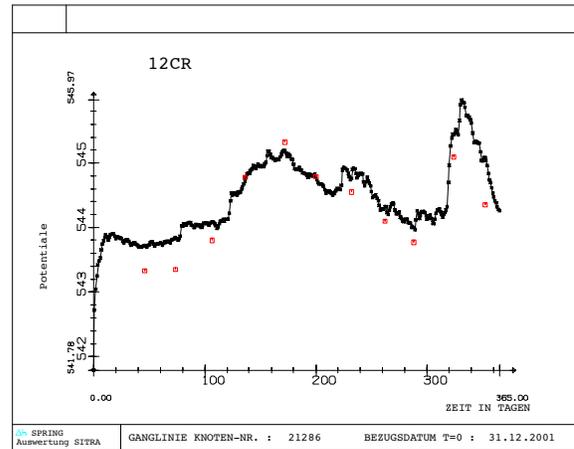
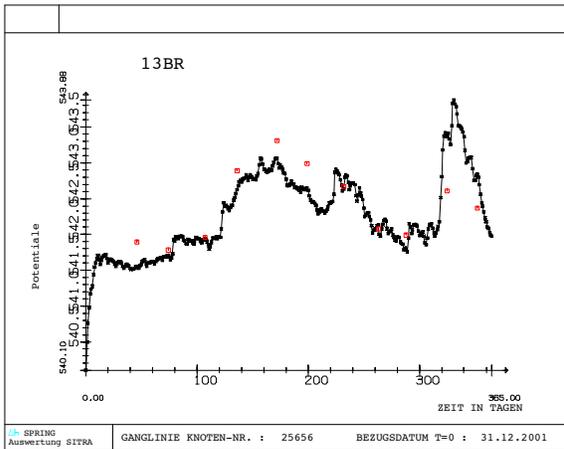
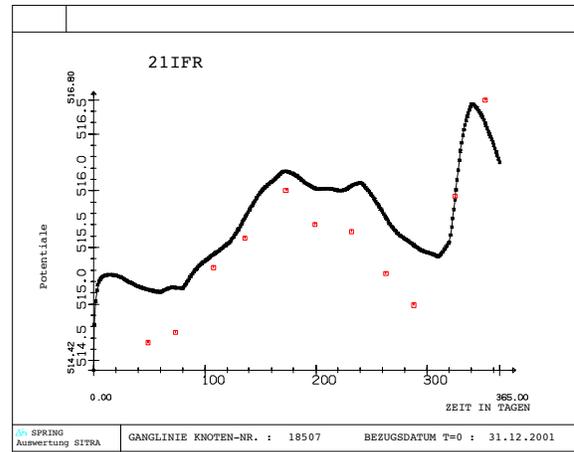
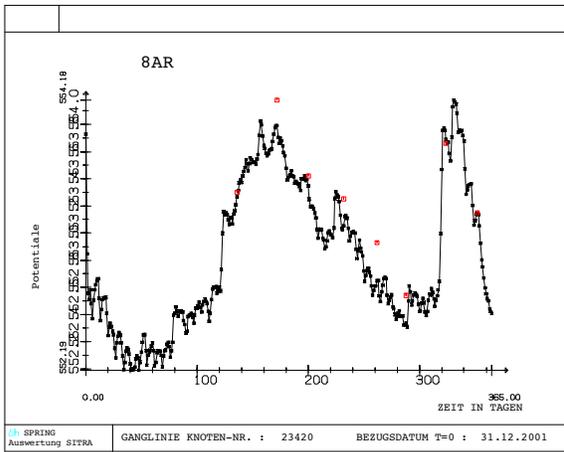
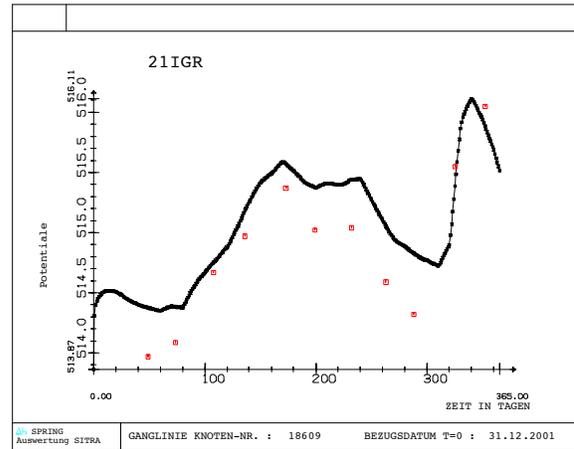
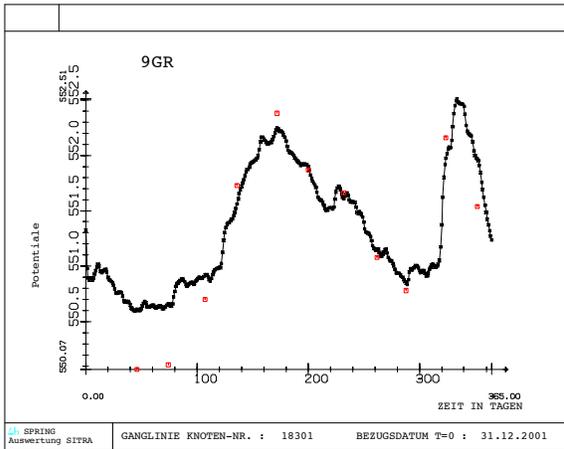
01.32.77	0.32	0.16	0.14	29 III, VKW
01.32.78	0.33	0.12	0.11	29 III, VKW
01.32.79	0.38	0.17	0.15	29 III, VKW

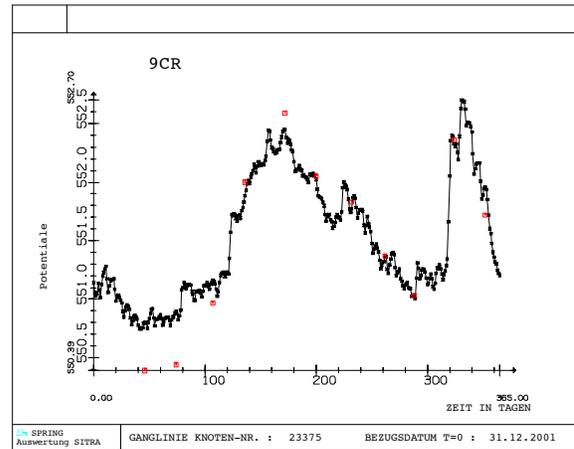
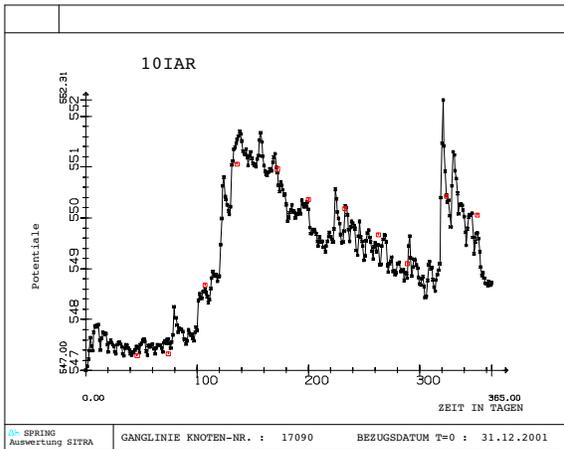
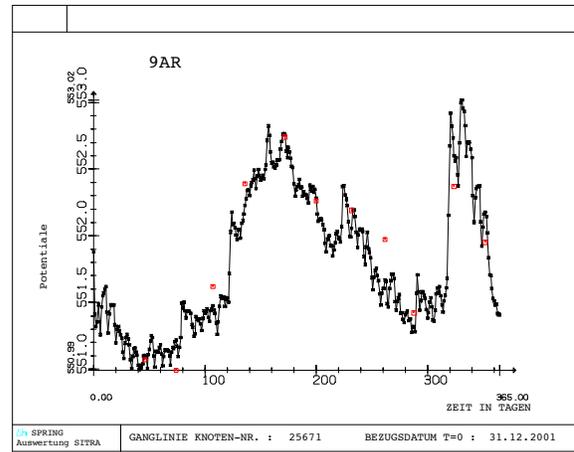
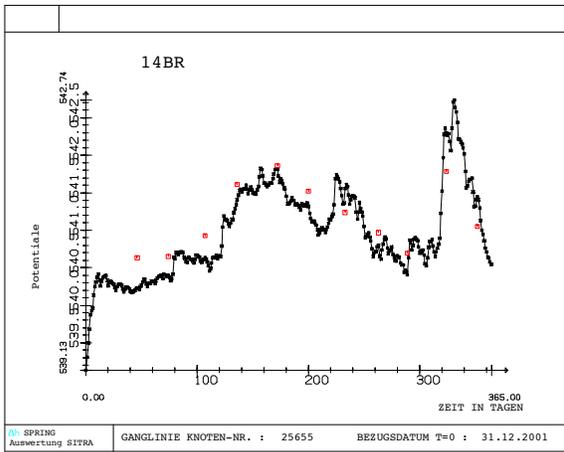
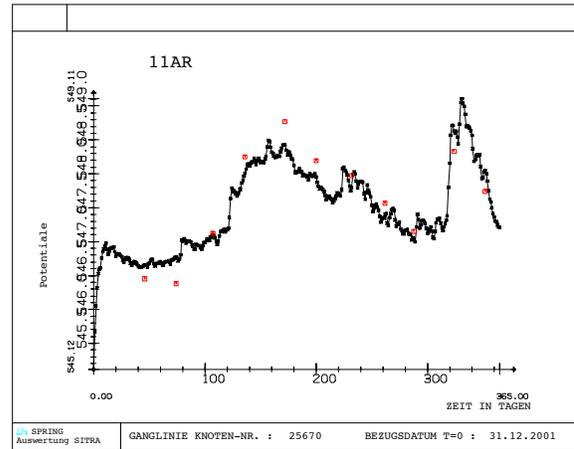
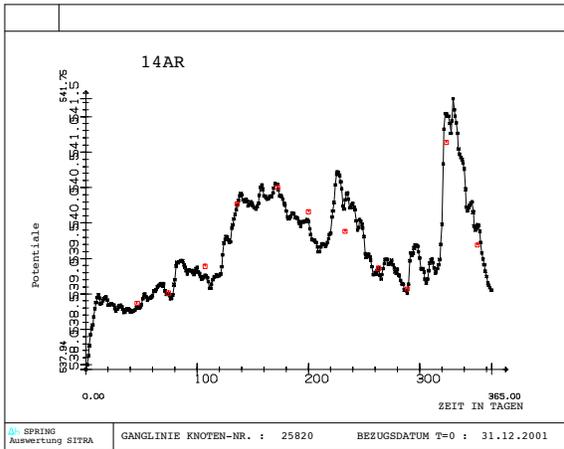
Anhang 5: Ganglinien der Pegel Graubünden

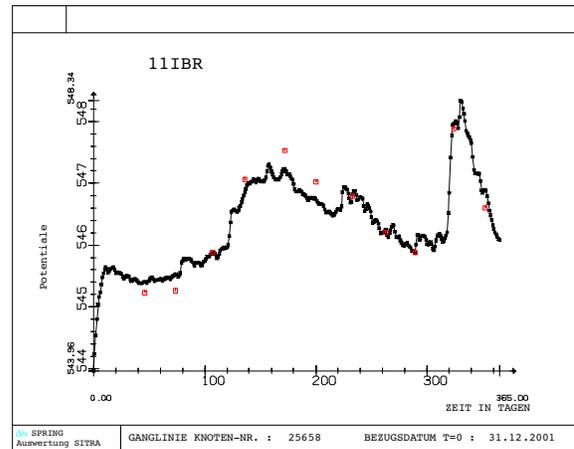
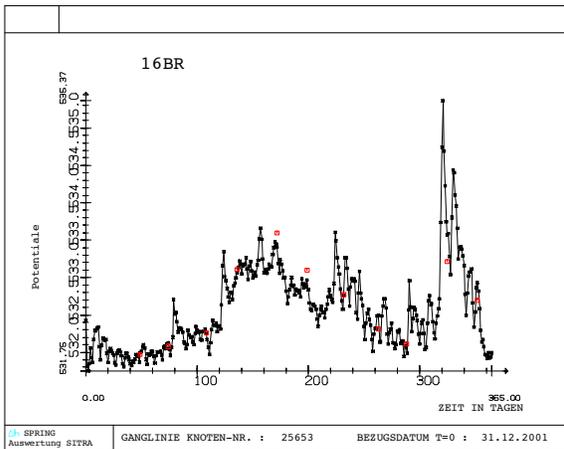
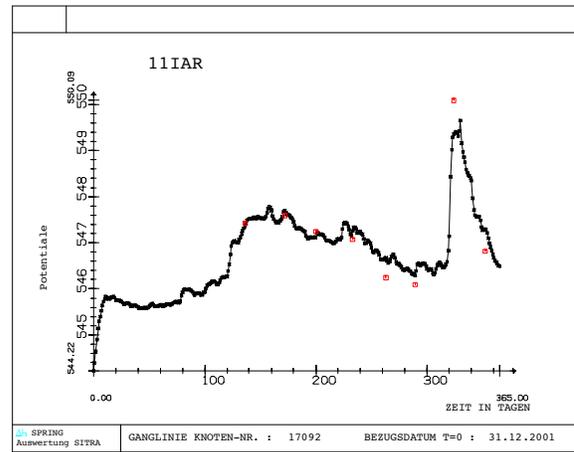
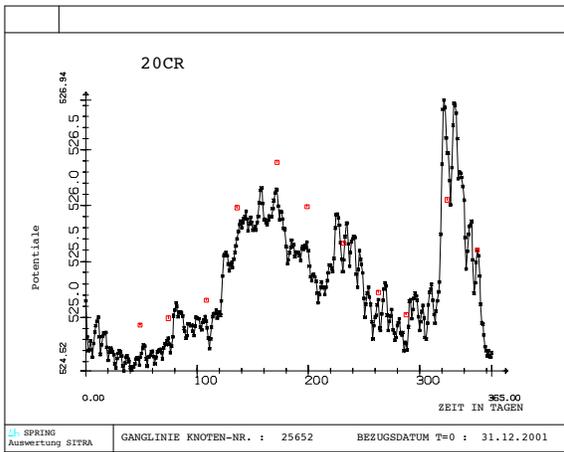
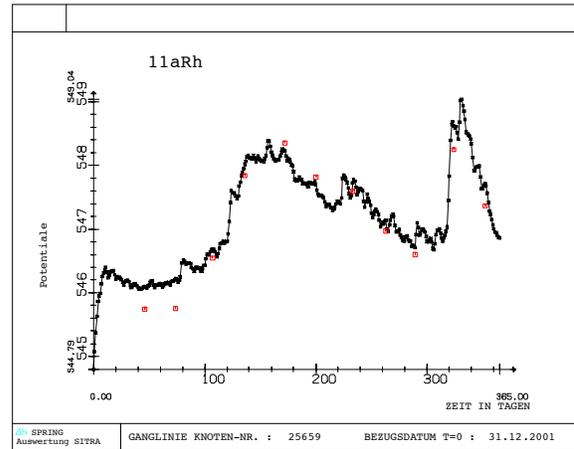
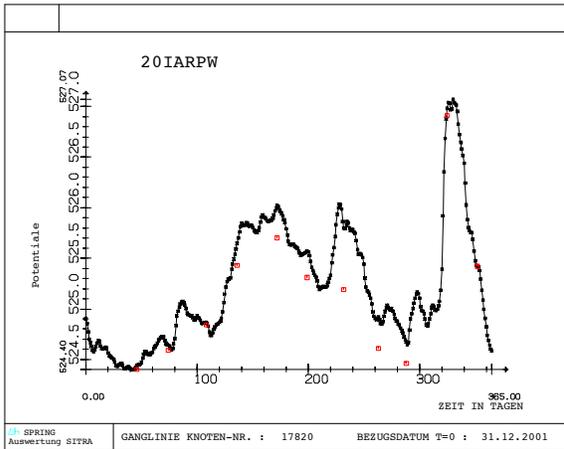


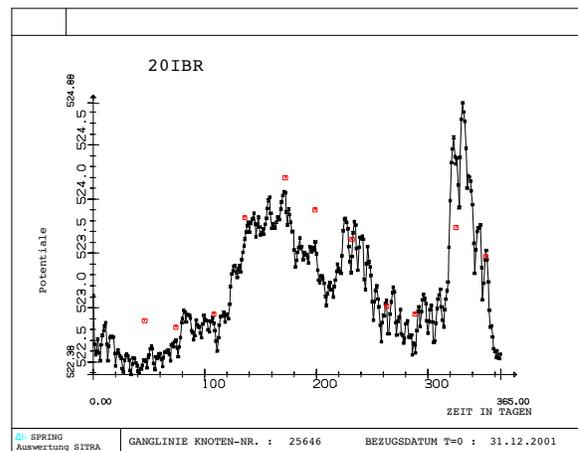
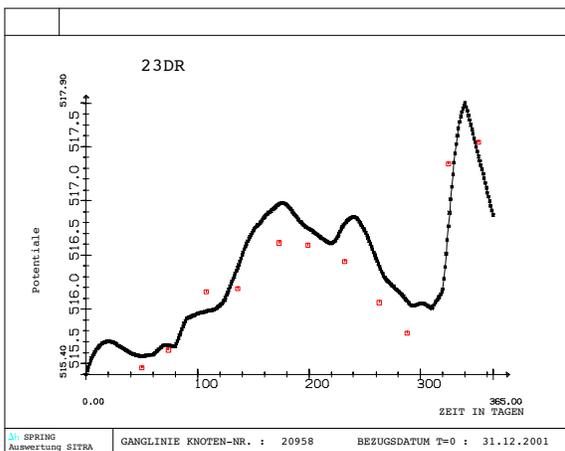
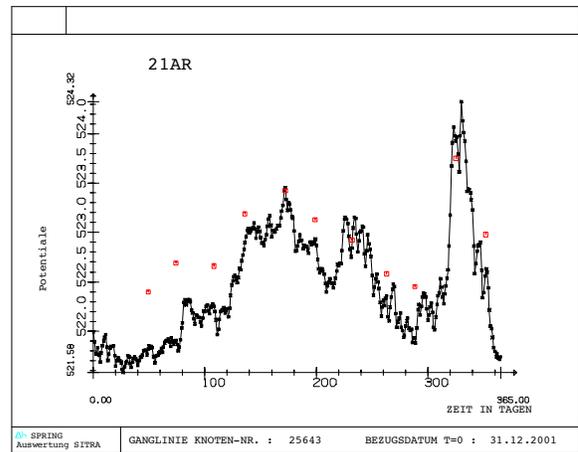
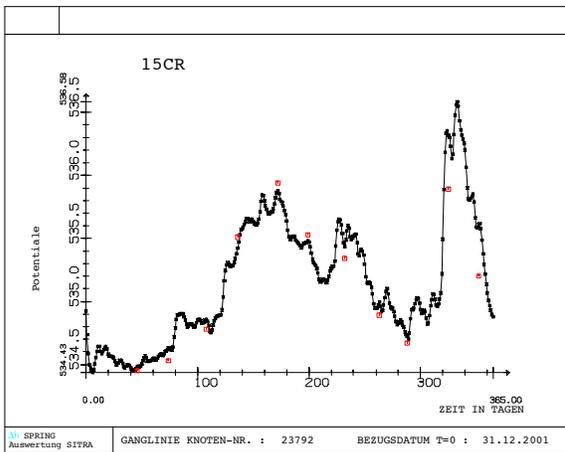
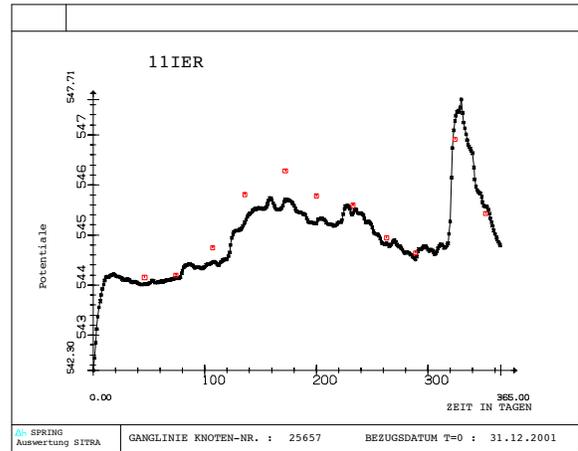
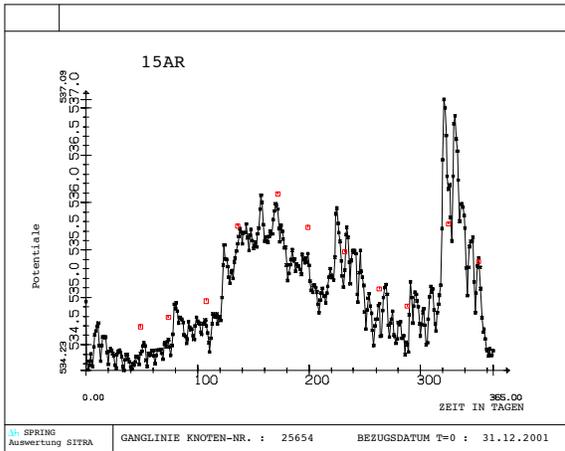


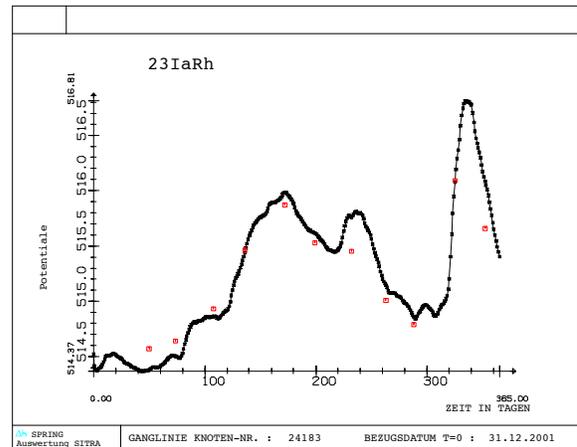
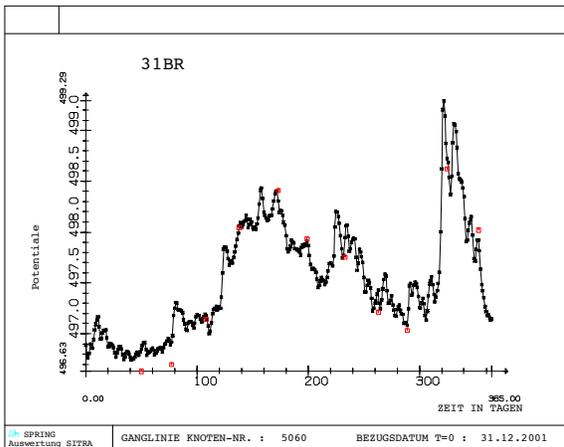
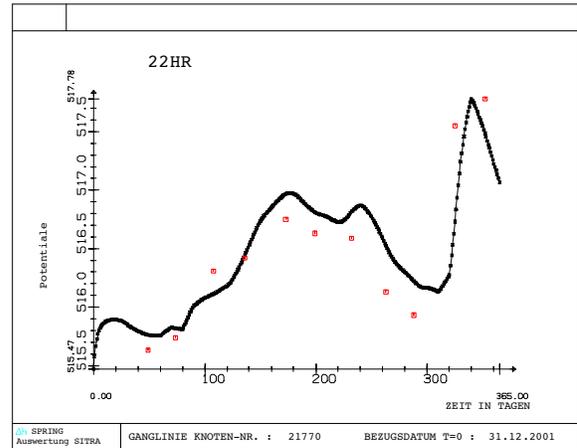
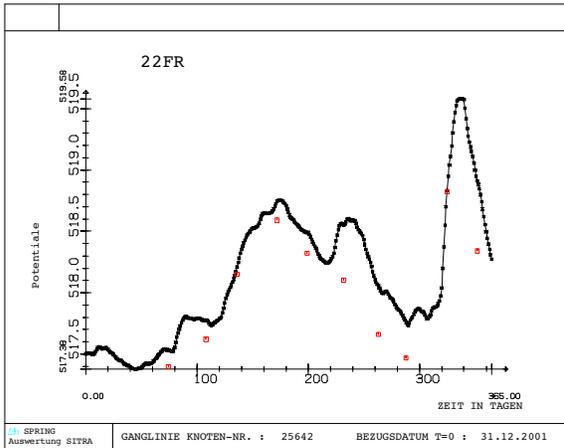
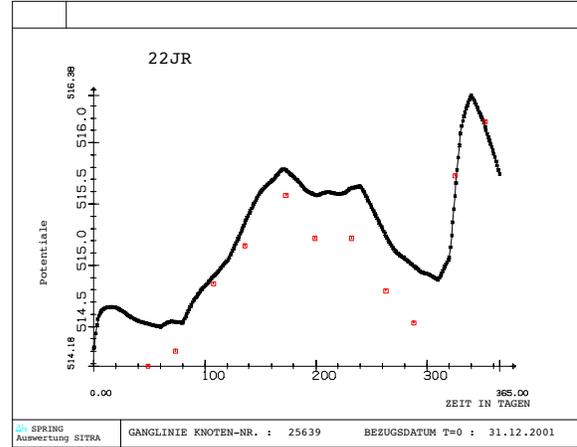
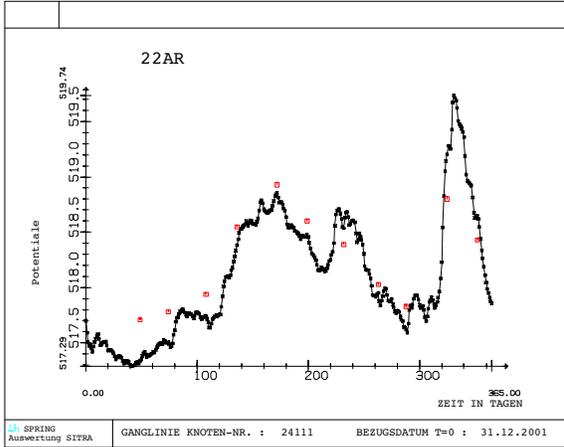


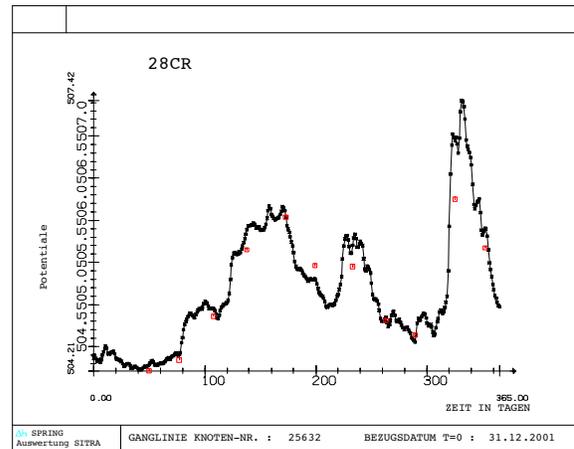
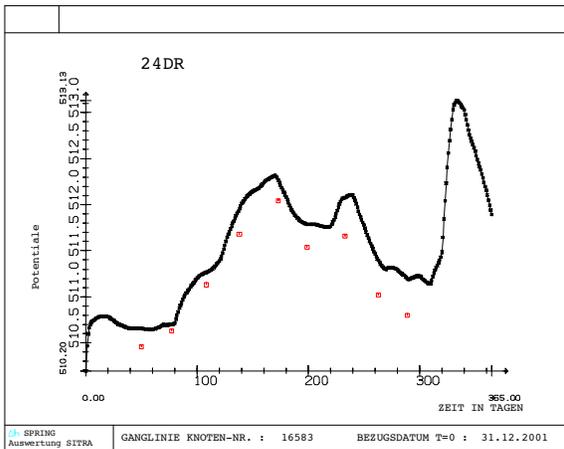
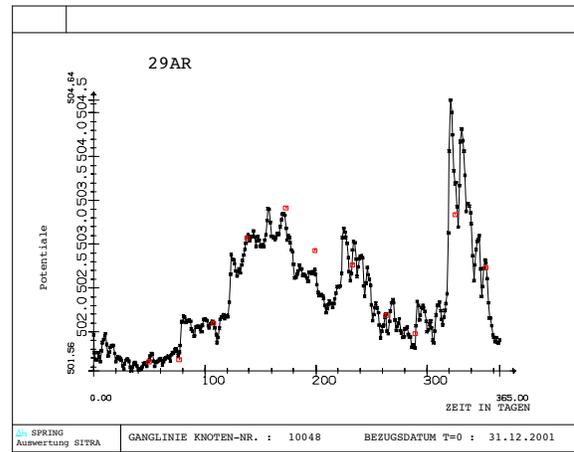
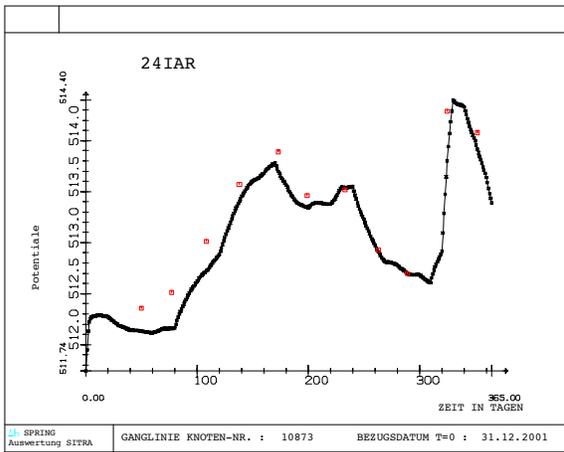
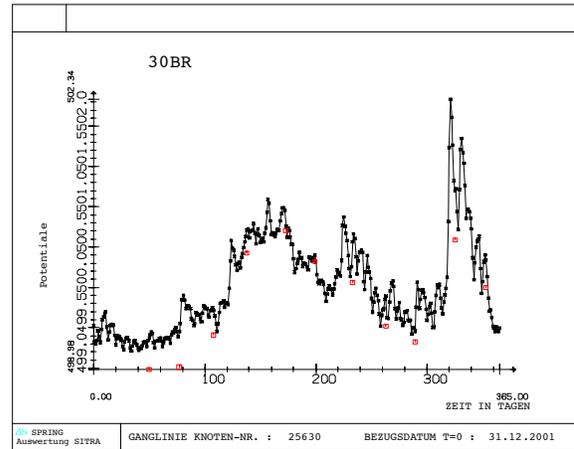
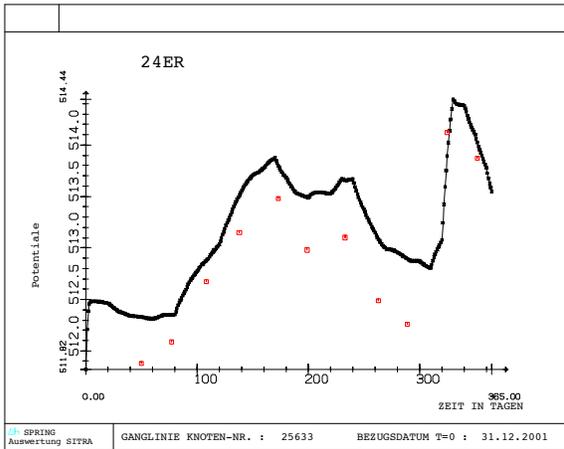


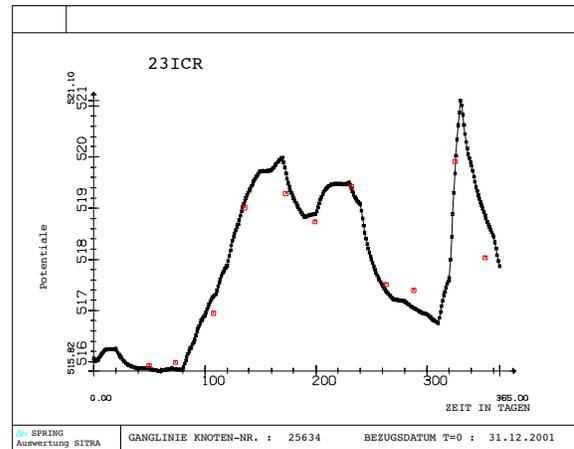
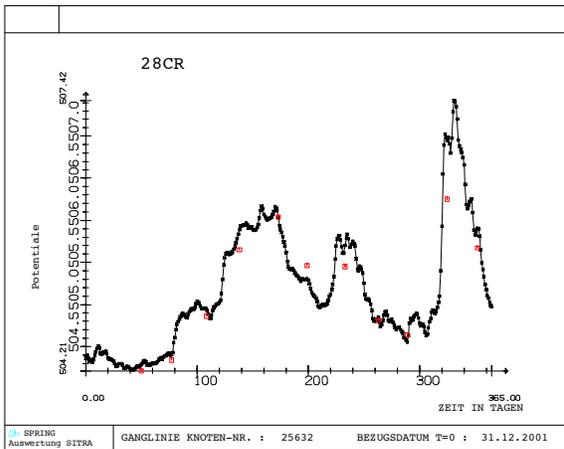
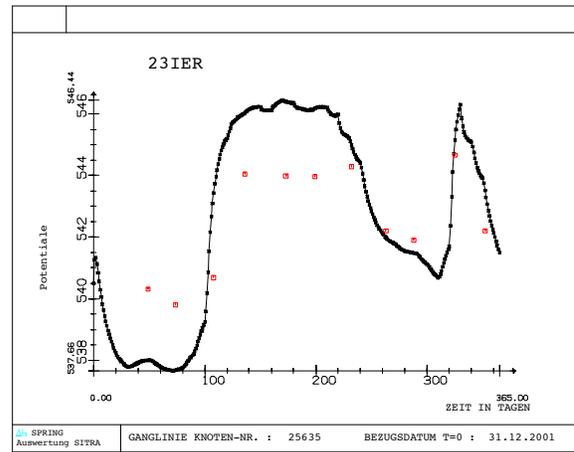
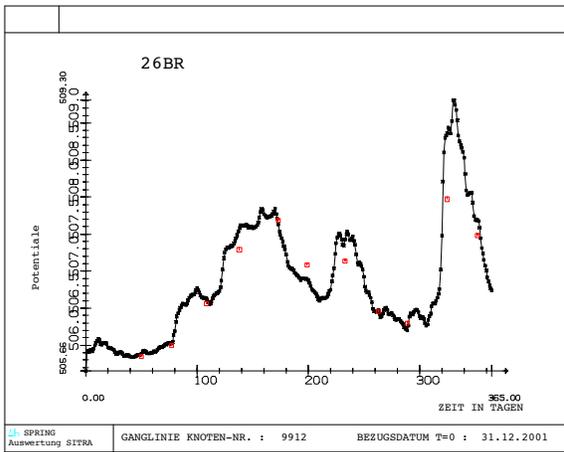
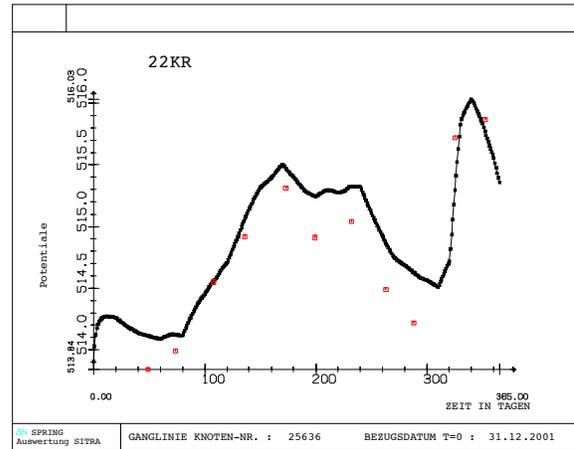
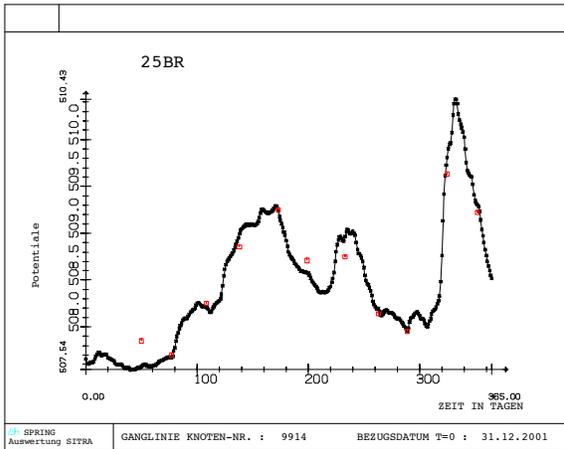


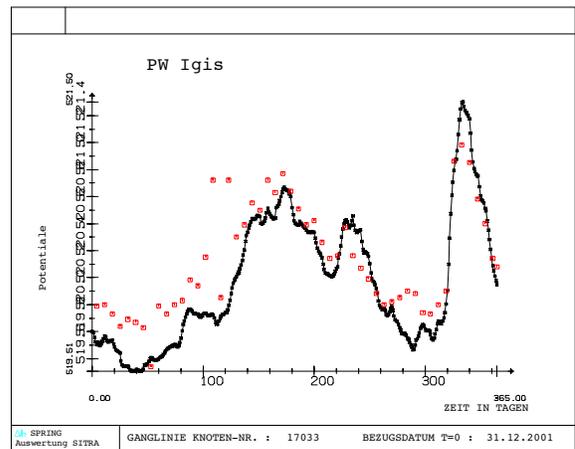
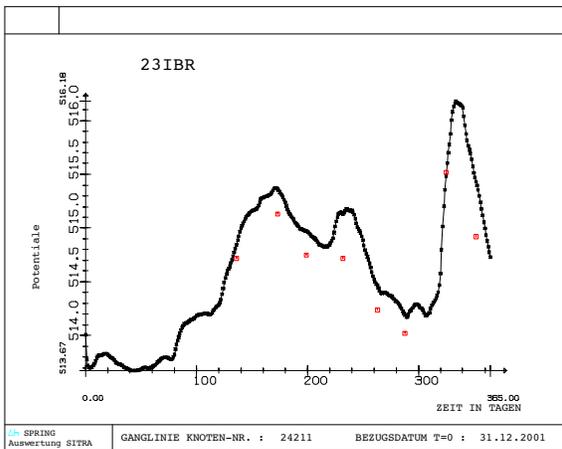
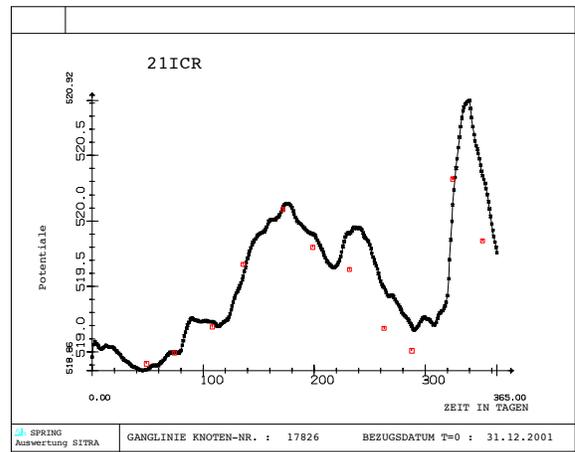
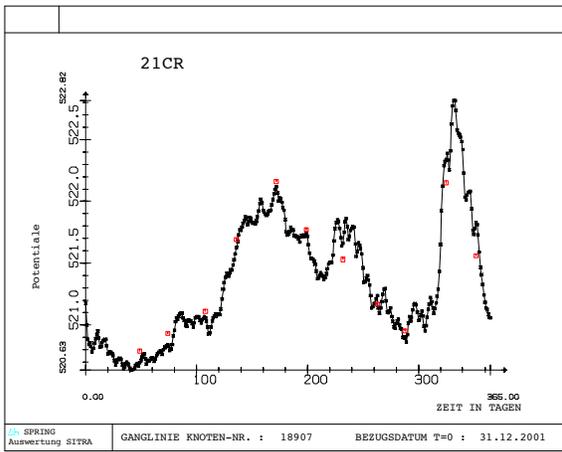
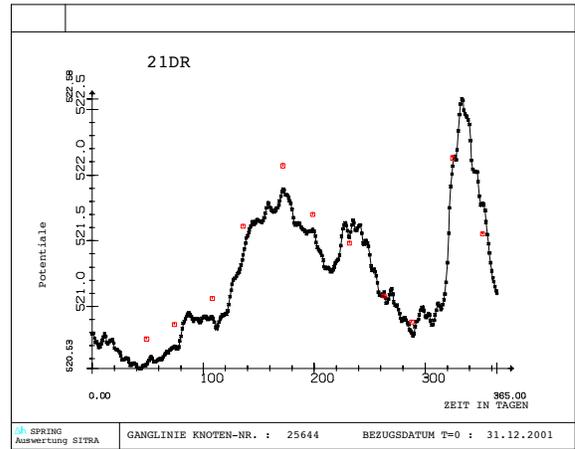
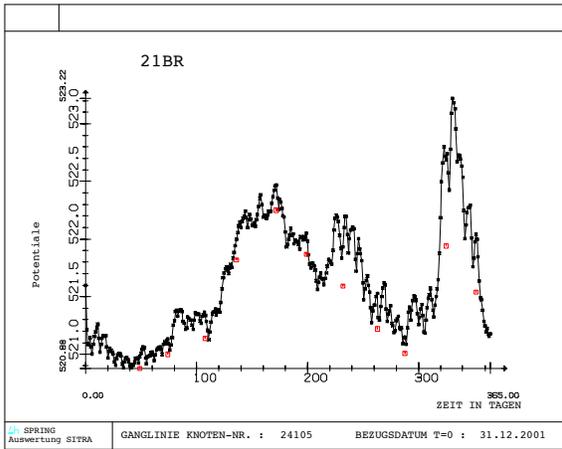


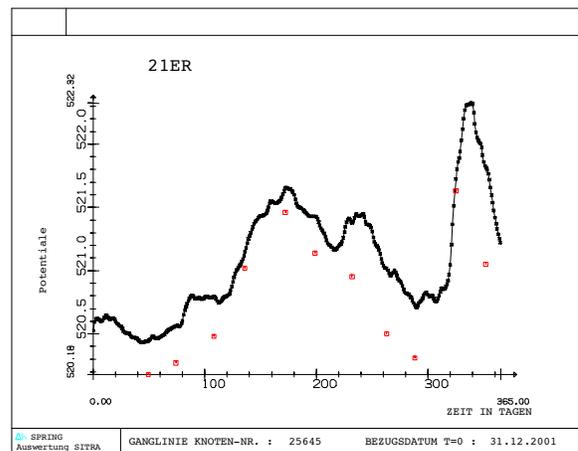
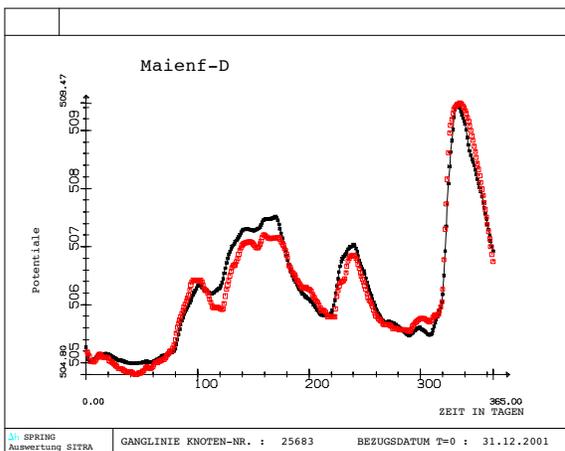
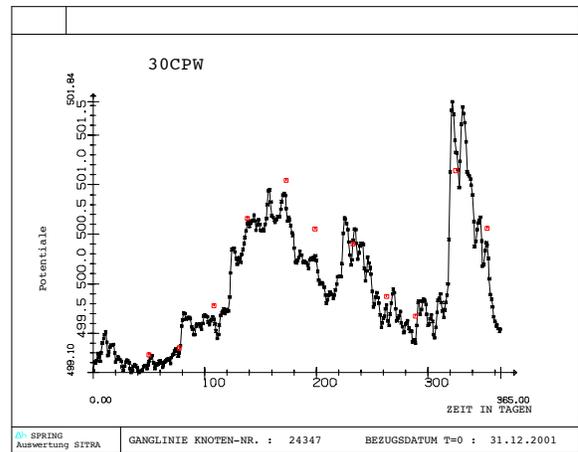
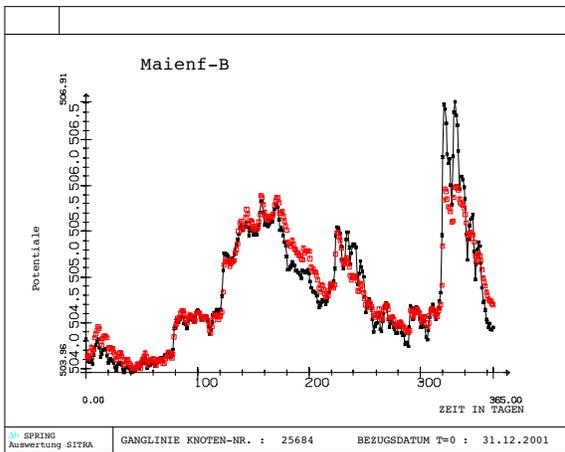
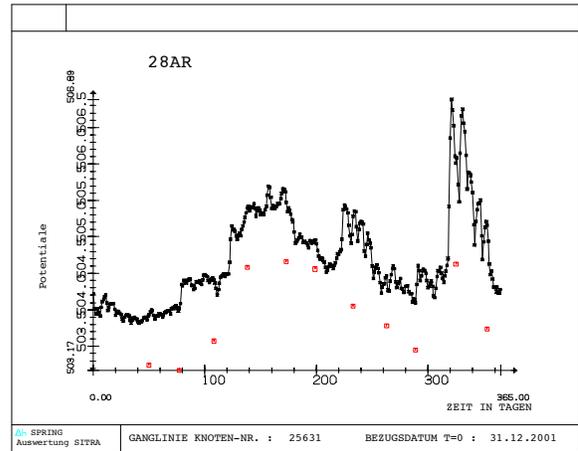
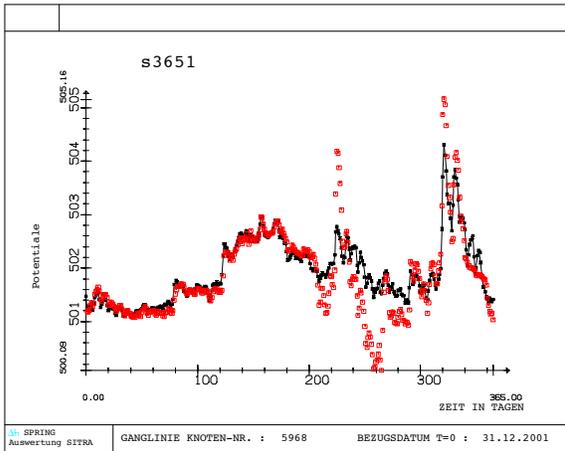


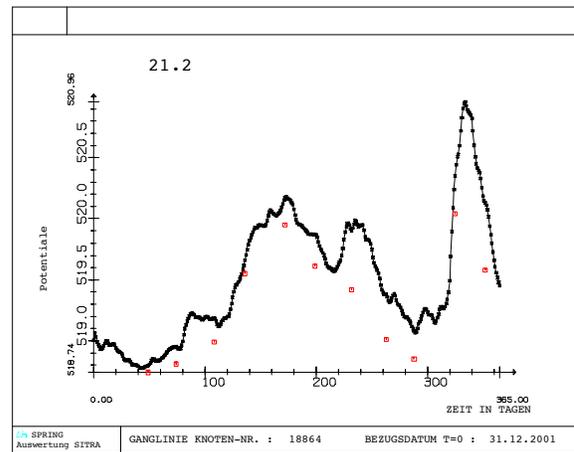
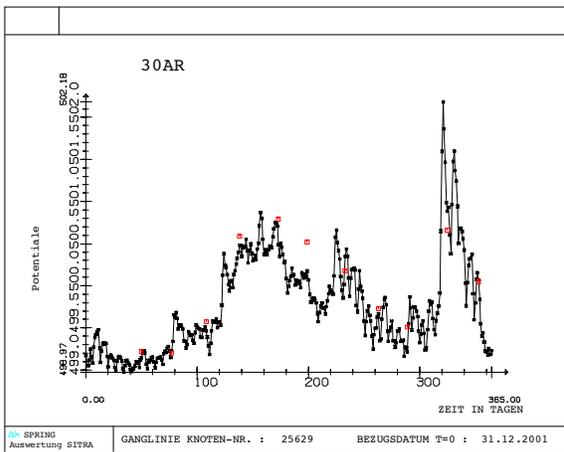
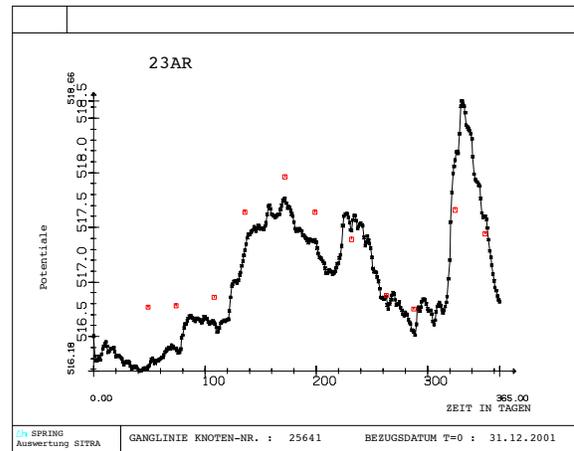
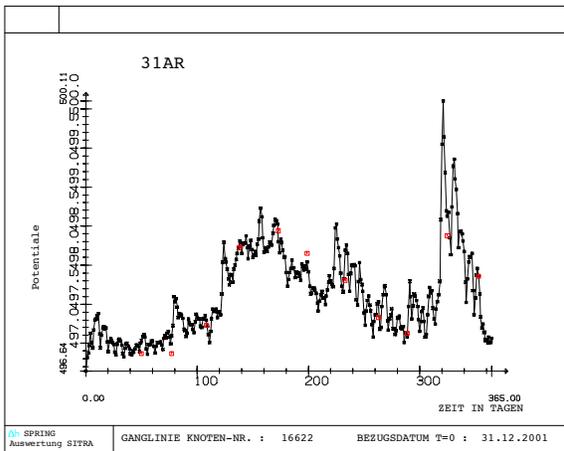
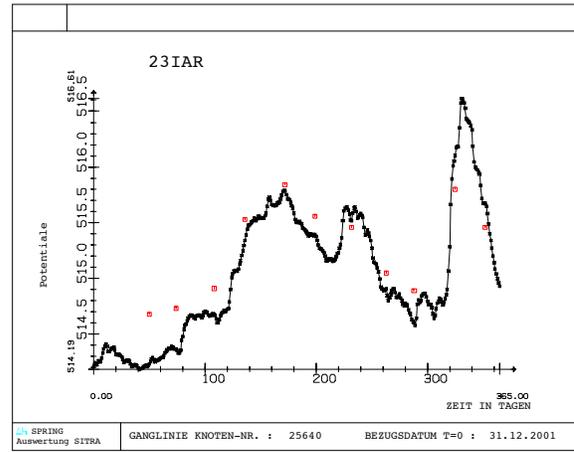
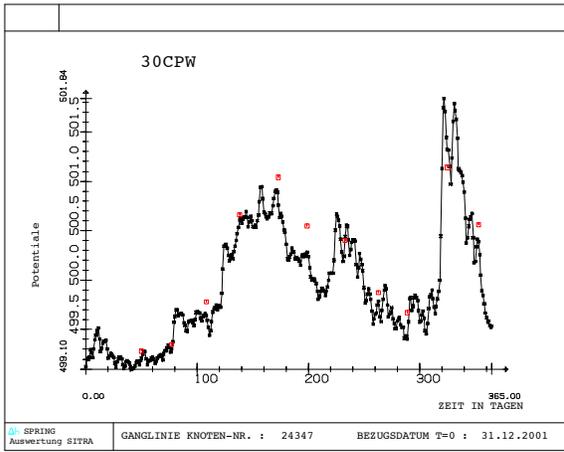


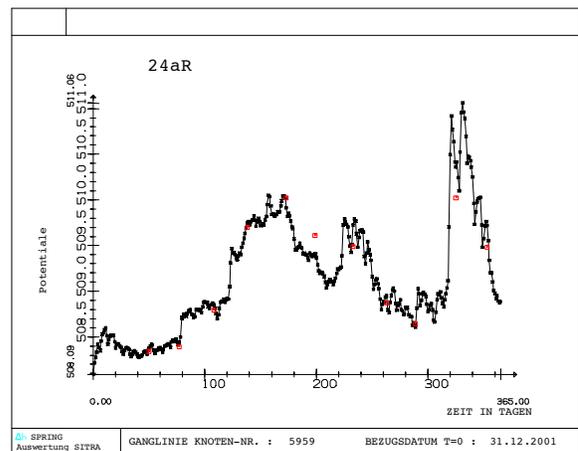
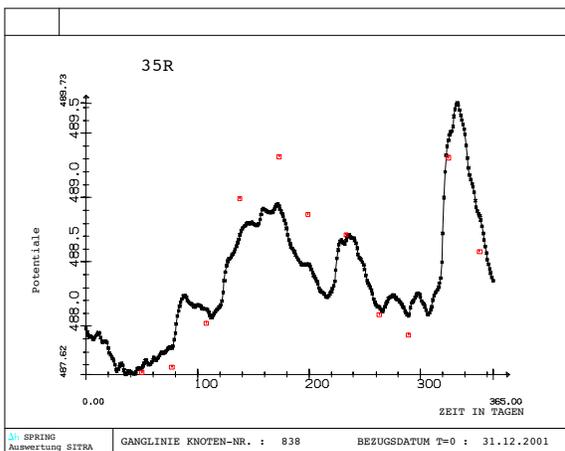
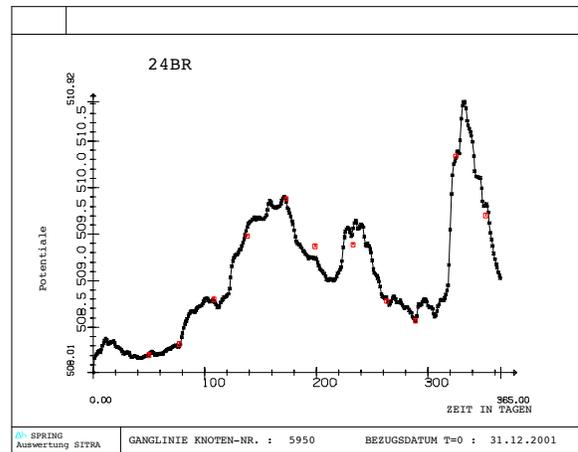
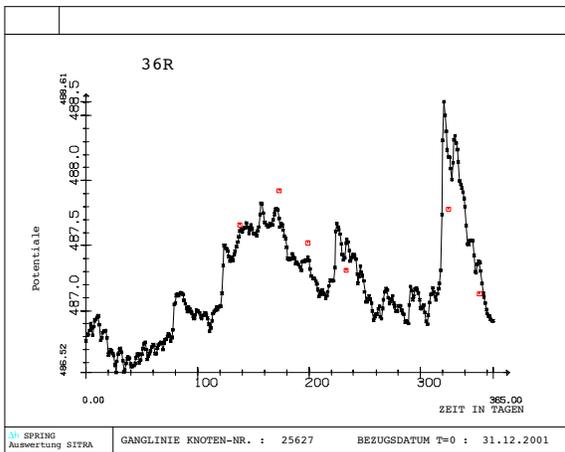
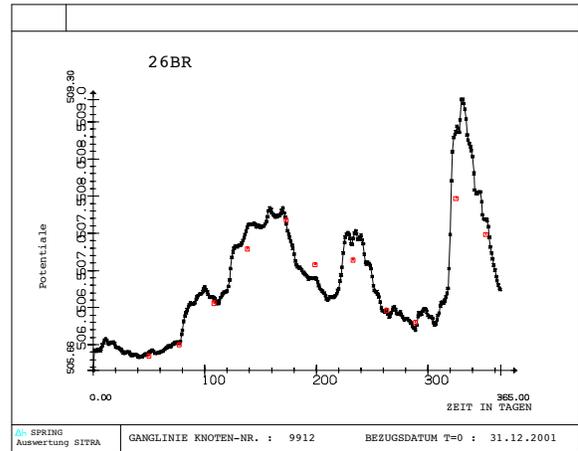
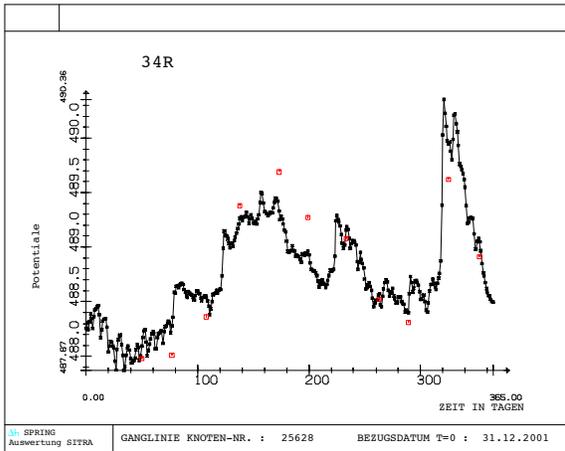




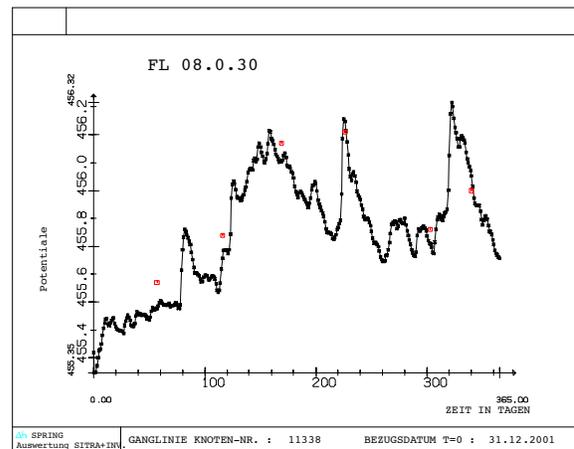
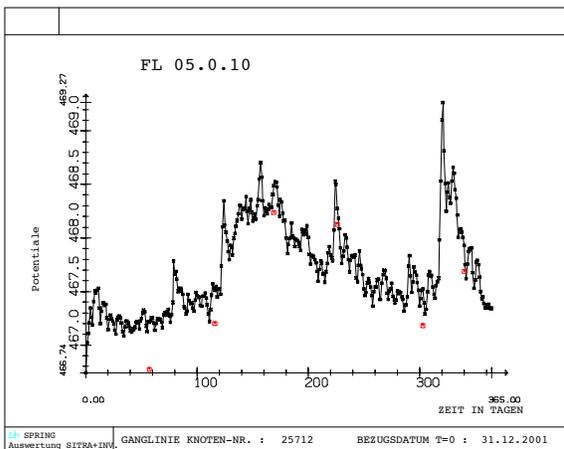
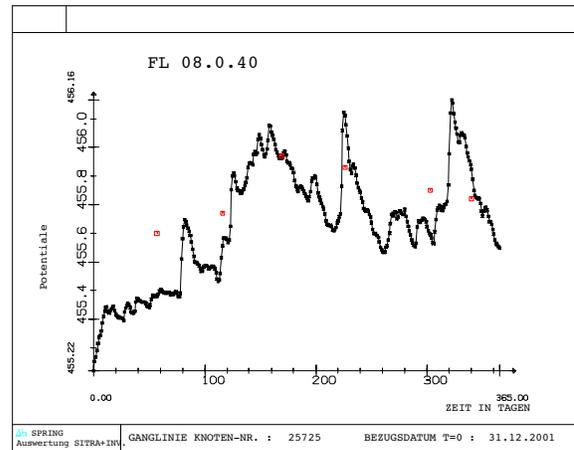
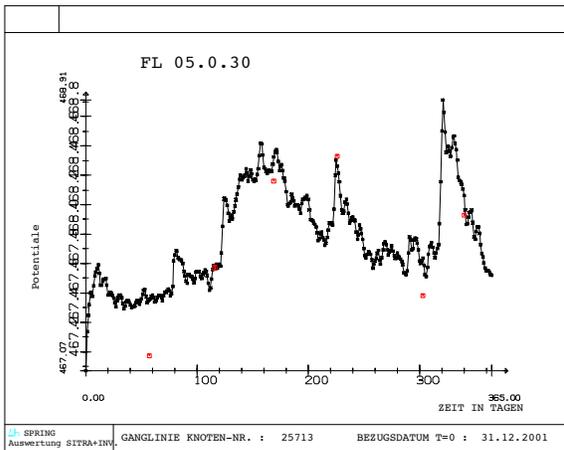
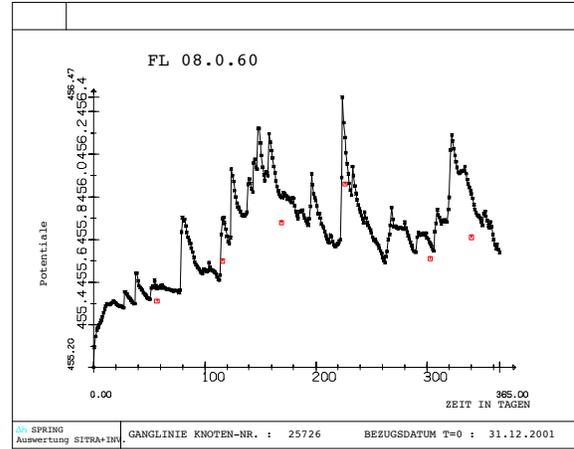
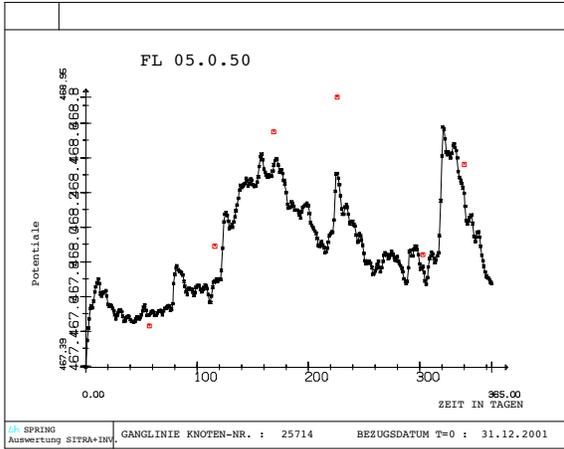


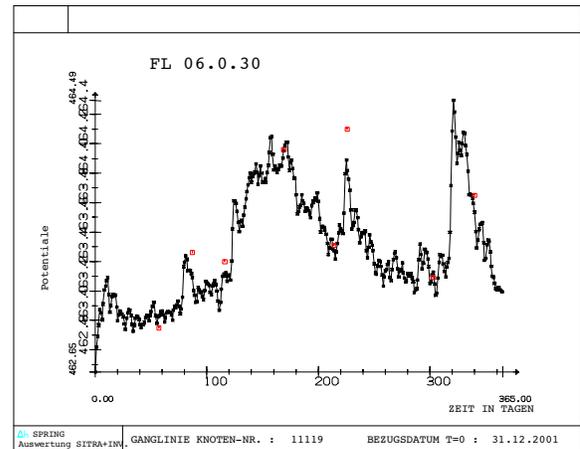
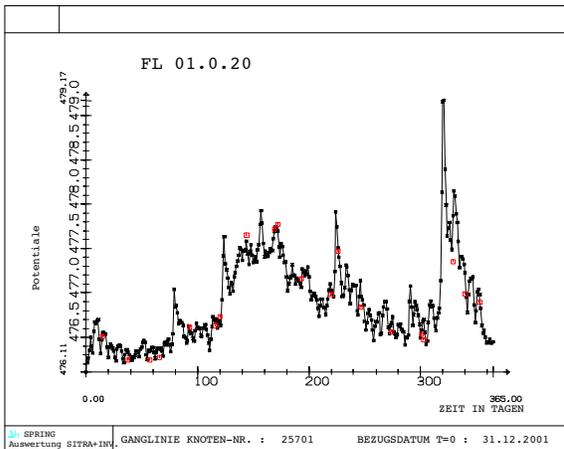
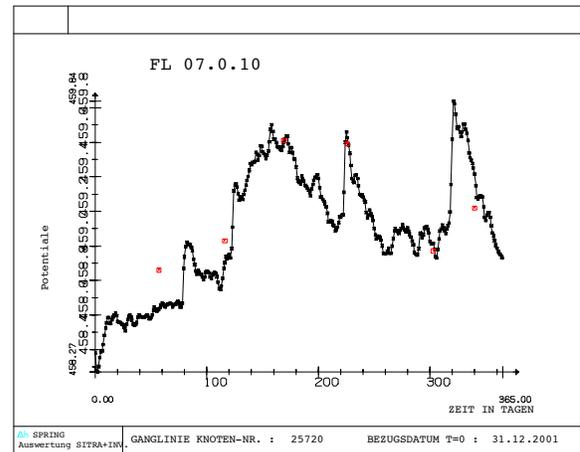
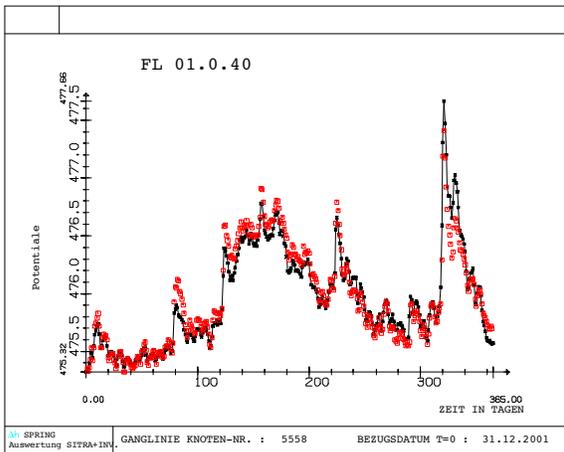
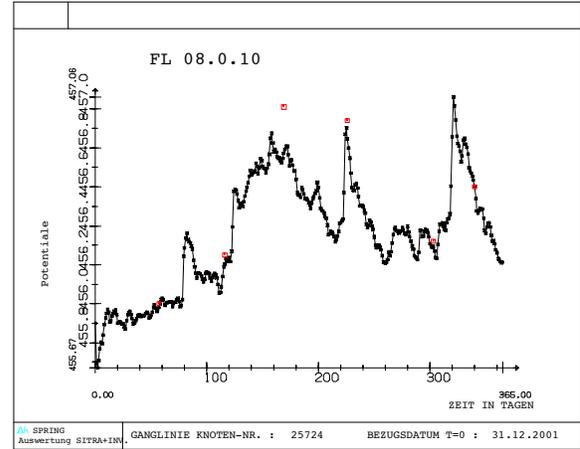
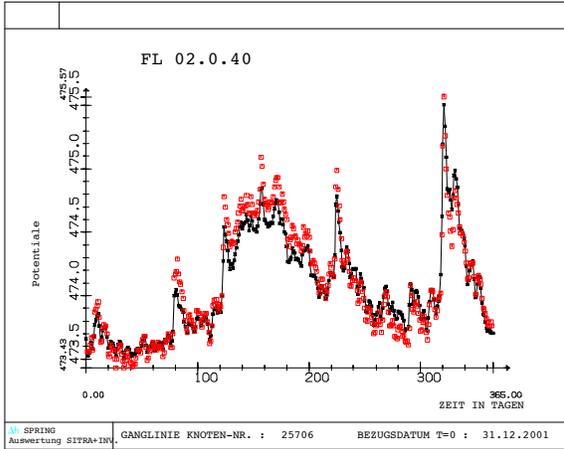


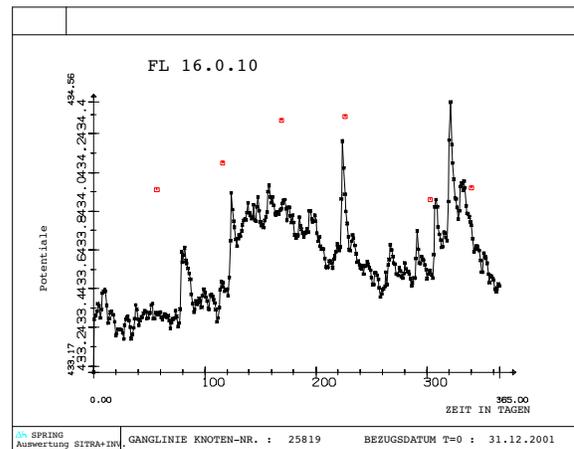
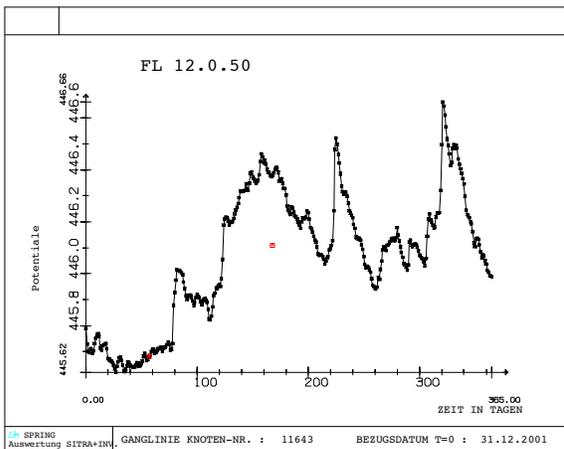
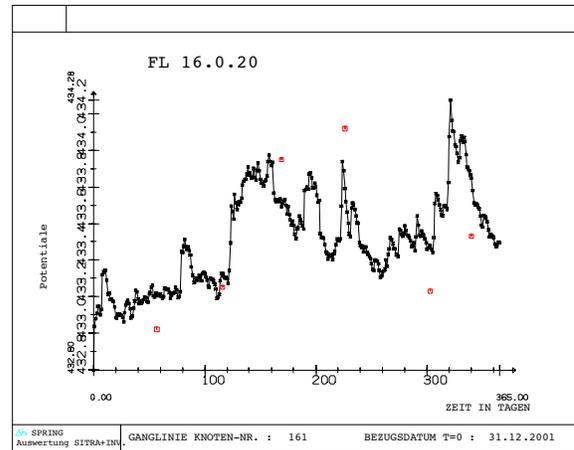
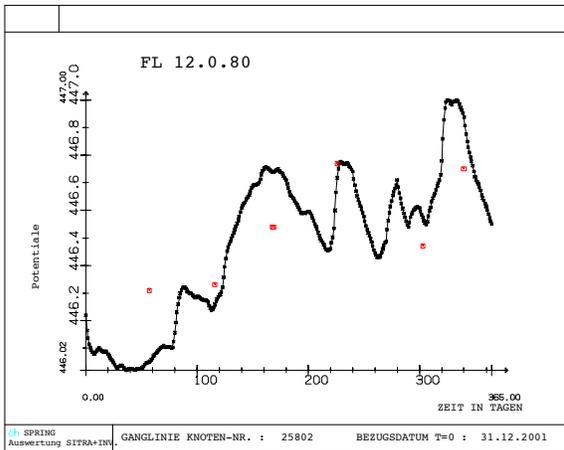
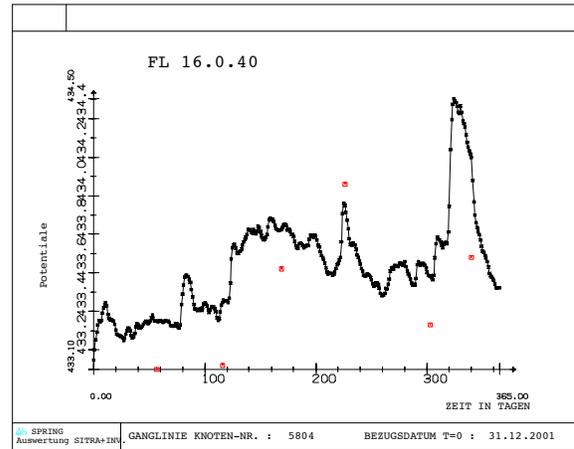
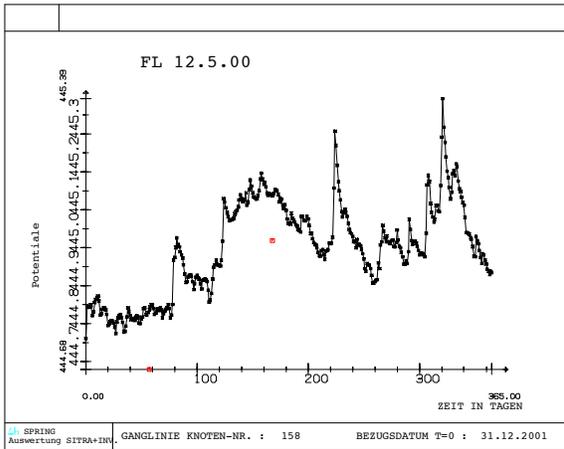


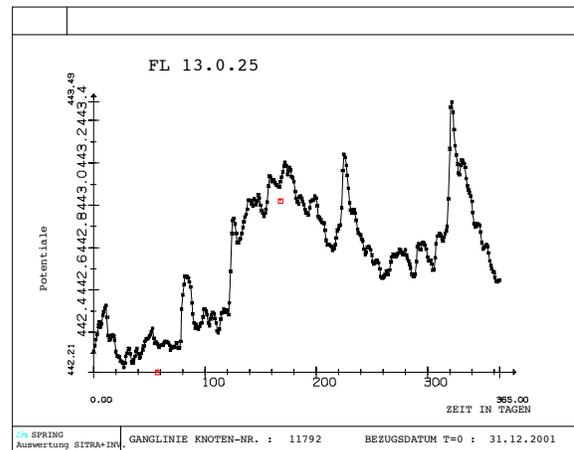
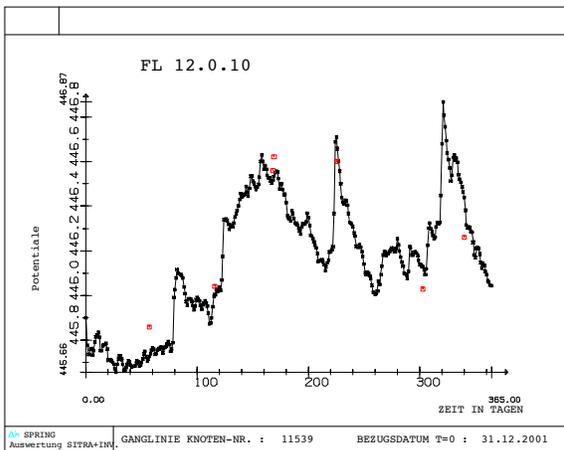
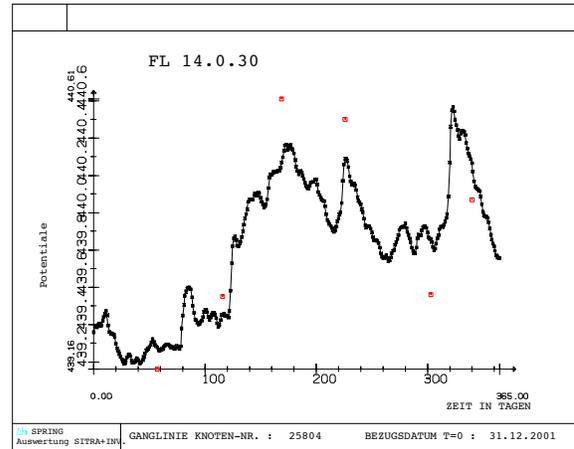
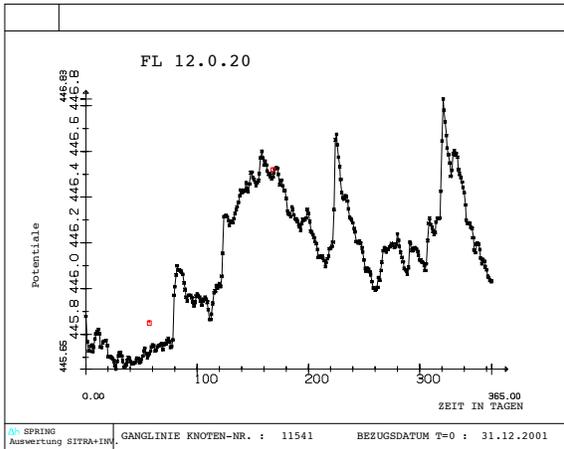
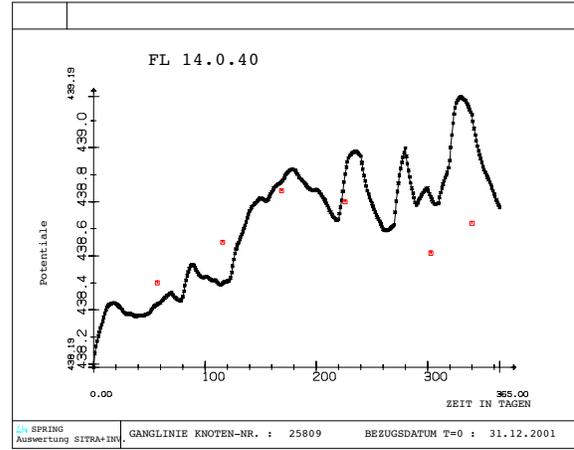
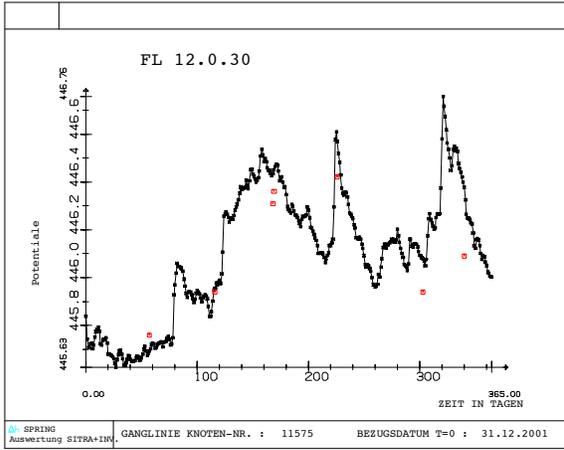


Anhang 6: Pegel Fürstentum Liechtenstein

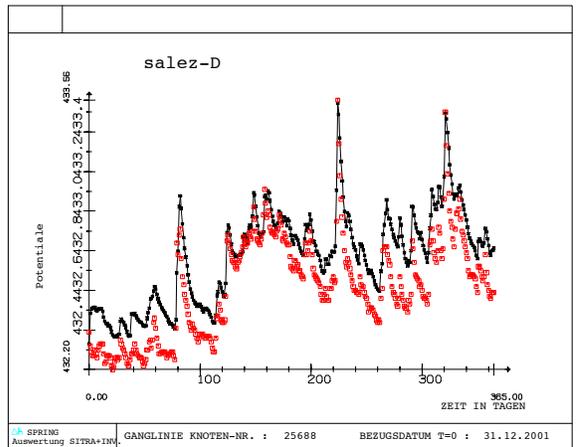
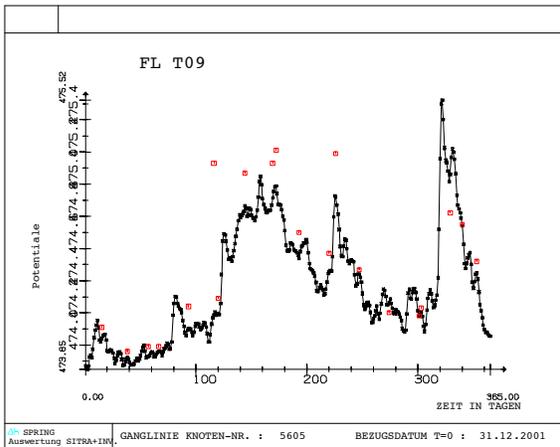
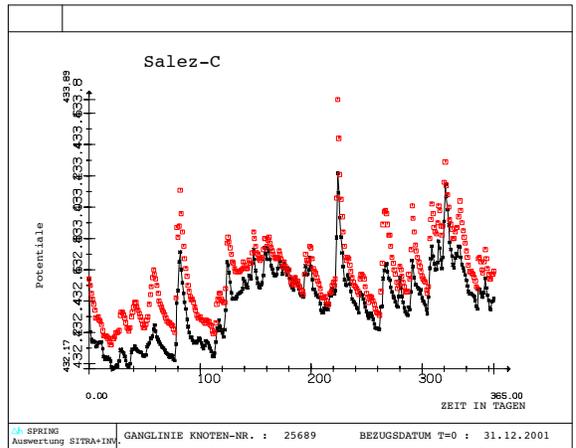
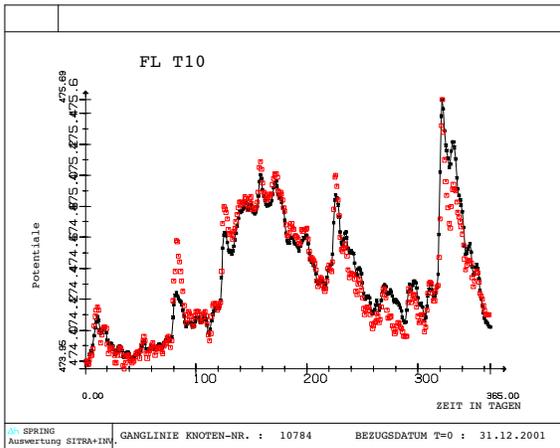
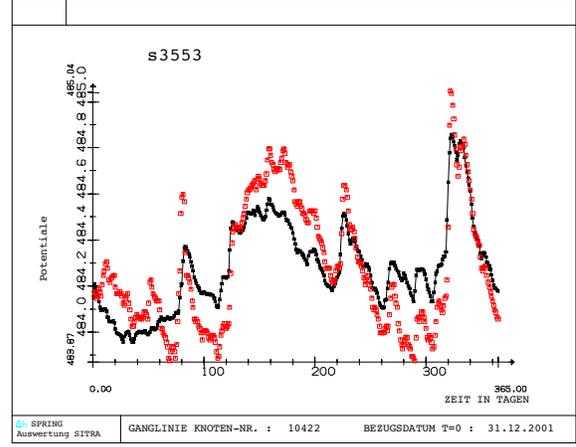
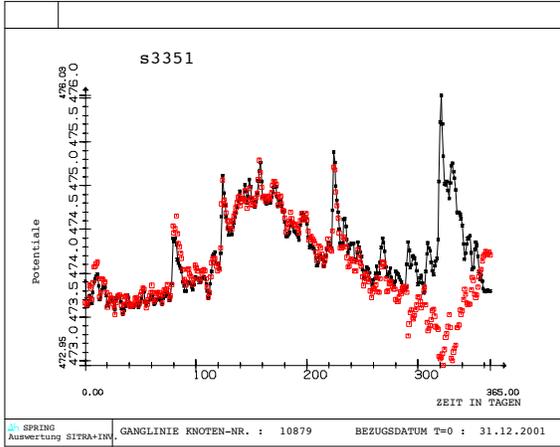


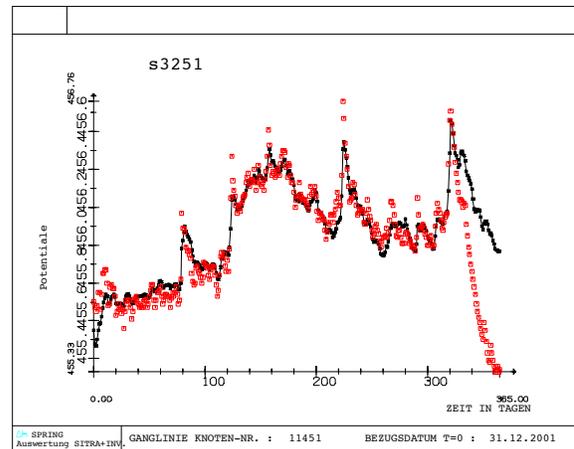
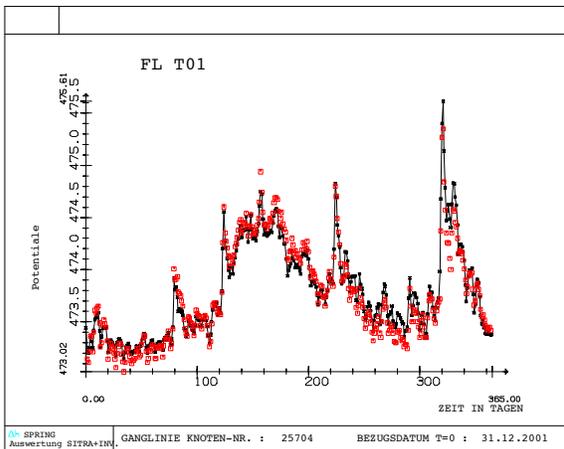
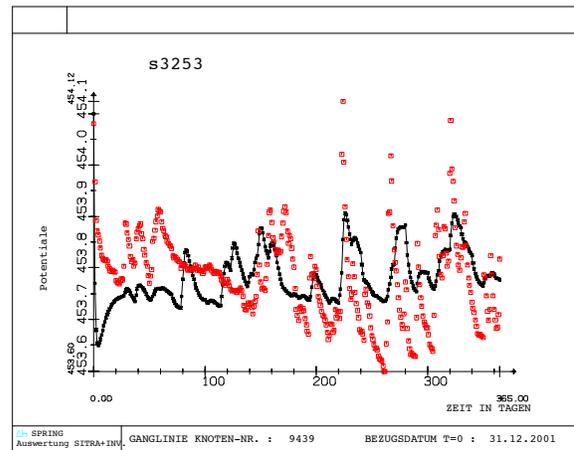
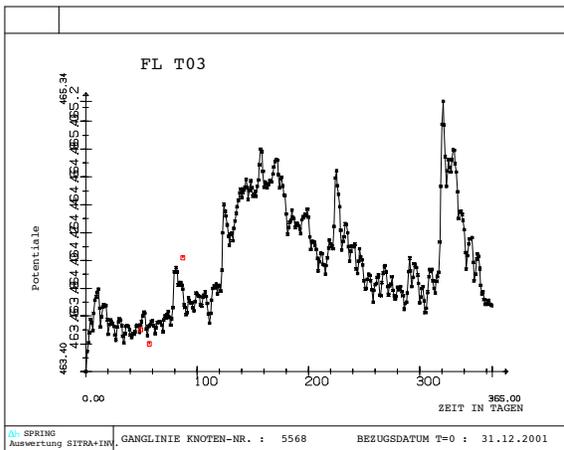
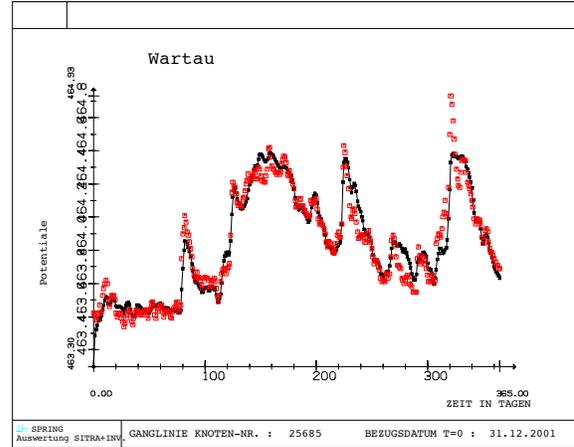
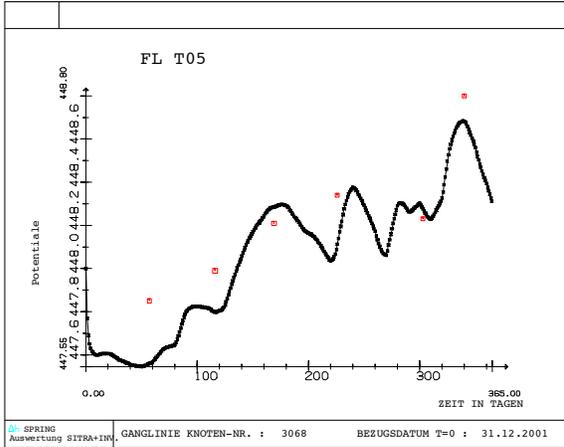


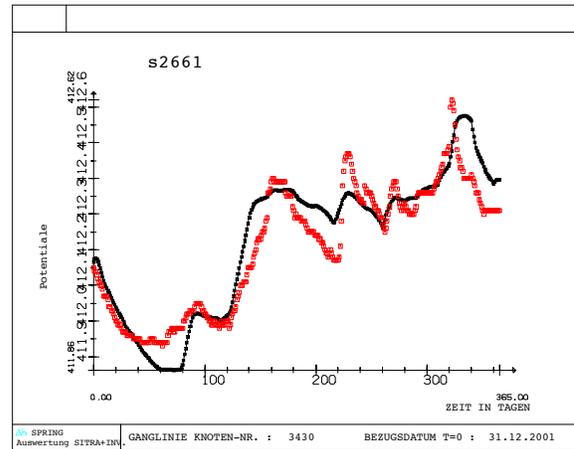
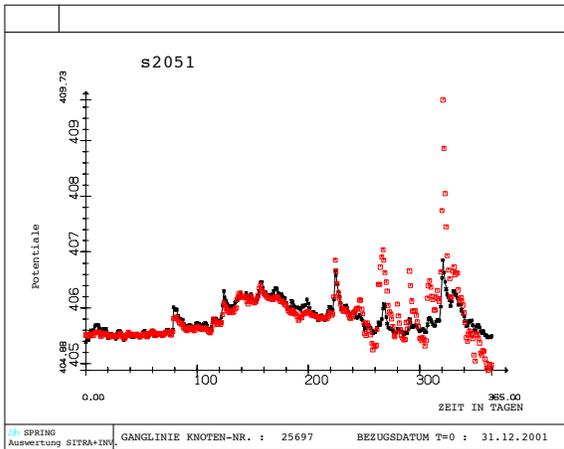
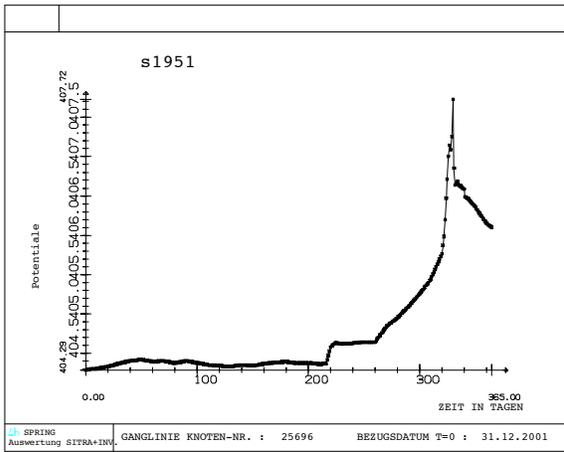
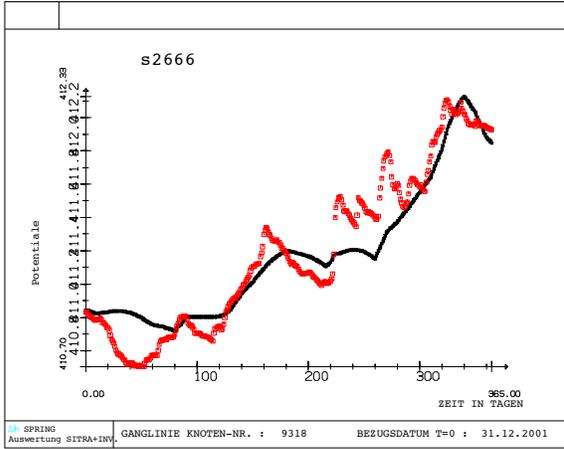


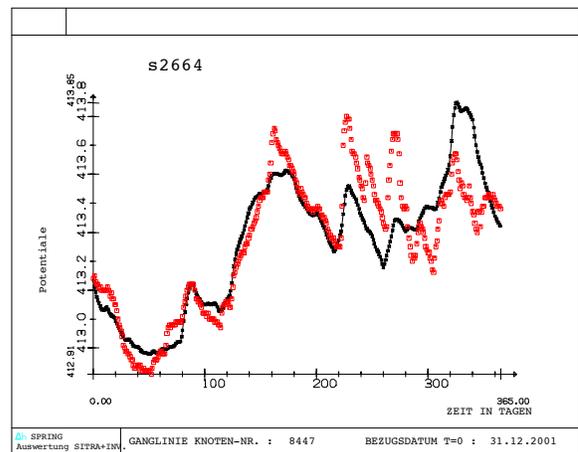
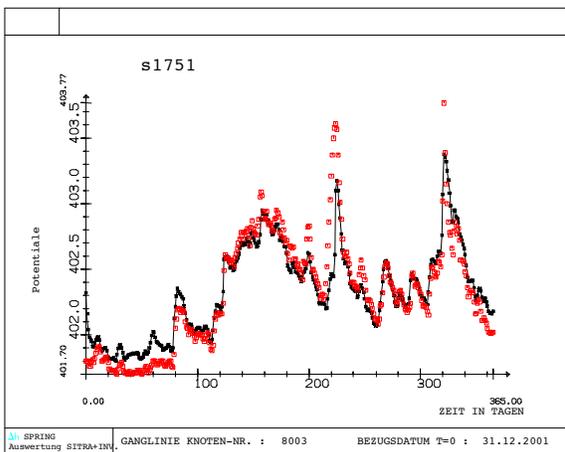
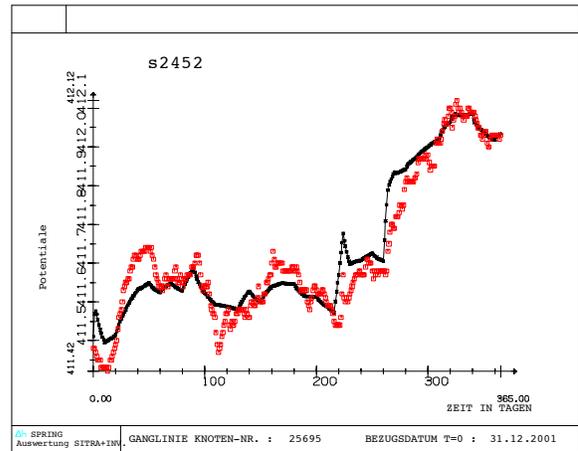
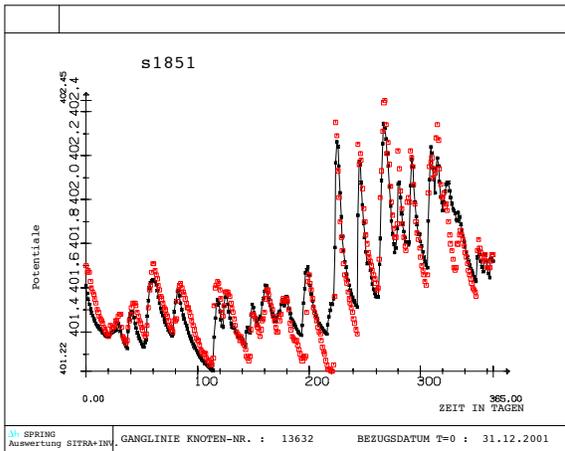
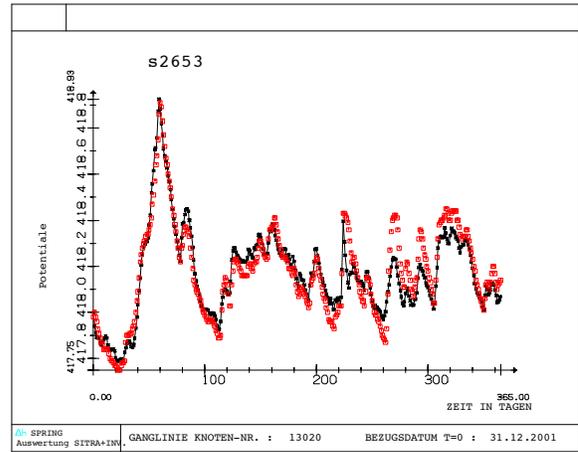
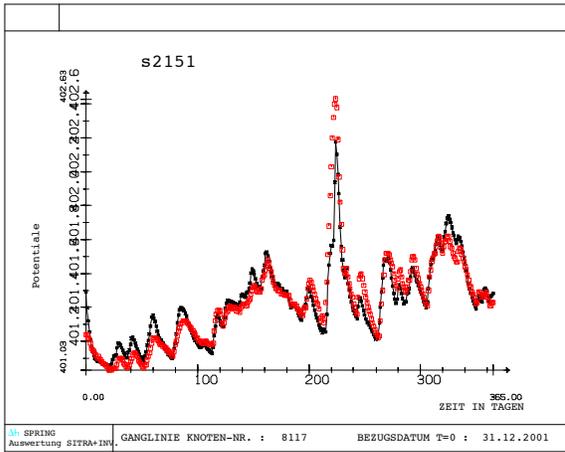


Anhang 7: Ganglinien der Pegel St. Gallen (FL)









Anhang 8: Ganglinien der Pegel Vorarlberg

