

Die approbierte Originalversion dieser Dissertation ist an der Hauptbibliothek der Technischen Universität Wien aufgestellt (<http://www.ub.tuwien.ac.at>).

The approved original version of this thesis is available at the main library of the Vienna University of Technology (<http://www.ub.tuwien.ac.at/englweb/>).



Dissertation
Analyse von Nährstofftransportprozessen in Einzugsgebieten
mit Hilfe der Ganglinienseparation

Ausgeführt zum Zwecke der Erlangung des akademischen Grades eines Doktors der
technischen Wissenschaften unter der Leitung von

o. Univ. Prof. Dipl.-Ing. Dr. techn. Dr. hc. Dieter Gutknecht
E223
Institut für Hydraulik, Gewässerkunde und Wasserwirtschaft

eingereicht an der Technischen Universität Wien
Fakultät für Bauingenieurwesen

von
Dipl.-Ing. Mag. art. Uta Heinecke
E9326855
Wimmergasse 9/26, 1050 Wien

Wien, im September 2004

Danke.

Mein besonderer Dank gilt meinem Doktorvater Prof. Gutknecht.

Danken möchte ich weiterhin Dr. Zeßner für die wertvolle Hilfe in Wassergütefragen sowie allen daNUbs Partnern für die Anregungen und die gute Zusammenarbeit.

Analyse von Nährstofftransportprozessen in Einzugsgebieten mit Hilfe der Ganglinienseparation

Kurzfassung

Ziel dieser Arbeit war es, aus den mit geringem Arbeits- und Datenaufwand ermittelbaren Abflussanteilen der Abflussganglinienanalyse und den Gütemessdaten Rückschlüsse auf die Fließwege des Wassers und die Eintragspfade der Nährstoffe in das Grundwasser und die Fließgewässer, sowie deren Rückhalt im Einzugsgebiet zu gewinnen. Das verwendete Ganglinienanalyseprogramm Difga 2000 wurde weiterhin auf seine Brauchbarkeit für zukünftige Forschungsprojekte beurteilt.

Die Anwendung der Ganglinienseparationen erfolgte in zwei Teileinzugsgebieten der Donau in Österreich, in dem großteils alpinen Ybbstal und dem trockenen, flachen Wulkatal. Die Ergebnisse der Berechnungen mit Difga 2000 stimmen mit den Ergebnissen anderer Analysen und jenen der Literatur gut überein.

Phosphor wird vor allem über Erosion in Form partikulären Phosphors eingetragen. Der Eintrag erfolgt schnell und oberflächlich und korreliert daher mit dem direkten Abflussanteil. Wesentliche Teile des schnellen Direktabflusses fließen bei Einzelereignissen ab. Das Gleiche gilt für die damit verbundenen Erosionsprozesse und Phosphoreinträge. Das Niederschlagsregime eines Einzugsgebietes und dessen Abflussreaktionen lassen Rückschlüsse auf die Erosion zu.

Der Transport des Stickstoffes erfolgt hauptsächlich durch Auswaschung mit den unterirdischen Abflussanteilen. Die berechneten und die gemessenen Nitratkonzentrationen lassen auf Denitrifikationsvorgänge im Grundwasser schließen. Die im Gewässer vorzufindenden Stickstofffrachten sind nur ein kleiner Bruchteil der aufbrachten Überschüsse.

Die Dissertation ist im Zusammenhang mit dem europäischen Forschungsprojekt „daNUbs - Nährstoffhaushalt im Donaeinzugsgebiet und dessen Auswirkungen auf das Schwarze Meer“ [<http://danubs.tuwien.ac.at>], EVK1-CT-2000-00051, entstanden.

Analysing nutrient transport processes in catchments based on runoff separation techniques

Abstract

The aim of this thesis was to identify pathways of water and nutrients in the ground-water and streams as well as their retention in the catchment area by analysing easily available data based on runoff separation techniques. A model known as Difga 2000 was used and examined with respect to its applicability to future research projects.

The separation model was applied to two Austrian catchments, the flat and dry Wulka and the alpine Ybbs catchments. The results from Difga agree well with the results from other analysing techniques and literature values.

The phosphorus found in the river system is mainly particulate phosphorus originating from erosion processes. The phosphorus input is correlated with the direct runoff components, so surface flow paths are important for transport. A large portion of direct runoff as well as erosion and the input of phosphorus are linked to single rainfall events. Therefore the precipitation regime of a catchment and its runoff reactions allow us to draw conclusions on erosion processes.

The subsurface runoff components are responsible for the leaching of nitrogen to the aquifer. The calculated and measured concentrations of nitrate indicate denitrification processes in the aquifer and the running waters. The nitrogen loads in the rivers are only a small fraction of the nitrogen surplus in the catchments.

The thesis was developed in connection with the European research project "daNUbs - nutrient household in the Danube catchment area and its effects on the black sea" [<http://danubs.tuwien.ac.at>], EVK1-CT-2000-00051.

INHALTSVERZEICHNIS

| | | |
|-------|---|----|
| 1 | EINLEITUNG | 7 |
| 1.1 | Allgemeines | 7 |
| 1.2 | Methodisches..... | 9 |
| 1.3 | Abflusskomponenten und Gewässergüte | 10 |
| 1.4 | DaNUbs - Die Problemstellung des Projektes | 11 |
| 2 | ABFLUSSENTSTEHUNG UND NÄHRSTOFFTRANSPORT..... | 12 |
| 2.1 | Prozesse entlang des Fließweges | 12 |
| 2.2 | Abflussbildung im Bodenprofil | 13 |
| 2.2.1 | Bodenaufbau und Abflussprozesse..... | 13 |
| 2.3 | Nährstoffaustragspotentiale am Standort..... | 17 |
| 2.3.1 | Stickstoff | 17 |
| 2.3.2 | Phosphor..... | 20 |
| 2.3.3 | Nährstoffaustrag und Abflussanteile..... | 22 |
| 2.3.4 | Bilanzen..... | 23 |
| 2.4 | Unterirdische Fließwege und Nährstofftransport..... | 24 |
| 2.4.1 | Aufbau des Untergrundes, Geologie | 25 |
| 2.4.2 | Geomorphologie der Täler | 32 |
| 2.4.3 | Morphologie der Täler und Abflussprozesse | 37 |
| 2.4.4 | Fließzeiten und Grundwasseralter..... | 39 |
| 2.4.5 | Austragssensible Flächen..... | 41 |
| 2.5 | Drainagen | 43 |
| 2.6 | Feuchtfächen..... | 43 |
| 2.7 | Gewässerrandstreifen..... | 44 |
| 2.7.1 | Allgemeines, Definition | 44 |
| 2.7.2 | Ökologische Funktion eines Gewässerrandstreifens..... | 45 |
| 2.7.3 | Wirkungsgrad eines Randstreifens | 47 |
| 2.7.4 | Abflussanteile und Morphologie | 48 |
| 2.7.5 | Zusammenfassung | 50 |
| 2.8 | Flussbett und Transport im Gerinne | 51 |
| 2.8.1 | Interaktion von Fließgewässer und Grundwasser | 51 |
| 2.8.2 | Gerinnequerschnitt: Hydraulik, Transport | 52 |
| 2.8.3 | Strukturausstattung des Gewässerbettes, Bewuchs | 53 |
| 2.9 | Nährstofftransport im Gerinnequerschnitt | 54 |
| 2.9.1 | Nährstoffaustausch mit dem Grundwasser | 54 |
| 2.9.2 | Ufergehölze, Beschattung..... | 55 |
| 2.9.3 | Gewässersohle, Abbau, Nährstoffaufnahme..... | 55 |

| | | |
|-------|---|-----|
| 3 | ABFLUSSGANGLINIENANALYSE | 56 |
| 3.1 | Allgemeines | 56 |
| 3.2 | Begriffe | 58 |
| 3.2.1 | Zeit- Klassifikation:..... | 59 |
| 3.2.2 | Räumliche Klassifikation | 61 |
| 3.3 | Methodik | 65 |
| 3.3.1 | Einleitung/ Überblick | 65 |
| 3.3.2 | Statistische / empirische Verfahren | 67 |
| 3.3.3 | Ganglinienseparation: | 69 |
| 3.3.4 | Difga2000 | 77 |
| 3.3.5 | Werte aus der Literatur | 86 |
| 3.4 | Schlussfolgerungen, Anwendbarkeit der Methoden..... | 87 |
| 4 | ANWENDUNG IN AUSGEWÄHLTEN EINZUGSGEBIETEN | 90 |
| 4.1 | Die Einzugsgebiete der Ybbs und Wulka | 90 |
| 4.2 | Charakteristik des Einzugsgebietes der Ybbs | 91 |
| 4.2.1 | Messstationen | 93 |
| 4.2.2 | Landnutzung | 94 |
| 4.2.3 | Geologie..... | 94 |
| 4.2.4 | Uferzonen und Randstreifen, ökologische Bewertung..... | 96 |
| 4.3 | Charakteristik der Einzugsgebiete- Wulka | 101 |
| 4.3.1 | Messstationen | 102 |
| 4.3.2 | Landnutzung | 102 |
| 4.3.3 | Geologie..... | 103 |
| 4.3.4 | Uferzonen und Randstreifen, ökologische Bewertung..... | 105 |
| 4.3.5 | Teileinzugsgebiete | 106 |
| 4.4 | Modellvorstellungen der Abflussprozesse | 109 |
| 4.4.1 | Beschreibung der Fließwege am Beispiel des oberen Ybbstales | 109 |
| 4.4.2 | Beschreibung der Fließwege der niederen Flusstäler..... | 113 |
| 4.4.3 | Betrachtung der Form des Einzugsgebietes | 115 |

| | | |
|---------|---|-----|
| 4.5 | Methodenvergleich..... | 116 |
| 4.5.1 | Statistisch-empirische Verfahren - Wundt | 116 |
| 4.5.2 | Statistisch-empirische Verfahren - Lillich | 118 |
| 4.5.3 | Ergebnisse der Ganglinienseparation nach Arnold | 119 |
| 4.5.4 | Ganglinienanalyse mit Difga2000 | 121 |
| 4.5.5 | Vergleich der verschiedenen Methoden anhand von Mittelwerten .. | 128 |
| 4.6 | Einflussfaktoren der Ganglinienseparation..... | 135 |
| 4.6.1 | Saisonalitäten und Jahressummen (Difga 2000) | 135 |
| 4.6.2 | Abhängigkeit der Abflusskomponenten von der Größe der Nieder- schlagsereignisse, der Vorbefeuchtung und von anderen Einfluss- faktoren..... | 144 |
| 4.6.2.1 | Auswertungen über die Mittelwerte 1992-1997- Methodik | 147 |
| 4.6.2.2 | Verzögerung der Abflussvorgänge..... | 147 |
| 4.6.2.3 | Niederschlag und Gesamtabfluss | 151 |
| 4.6.2.4 | Niederschlag und Abflusskomponenten..... | 151 |
| 4.6.2.5 | Zeitliche Variabilität | 154 |
| 4.6.2.6 | Starkniederschläge- Untersuchung von Einzelereignissen . | 156 |
| 4.6.2.7 | Saisonalität der Starkregenereignisse | 158 |
| 4.6.2.8 | Abflussanteile, Krenstetten | 161 |
| 4.6.3 | Hydrologische Einflussfaktoren | 163 |
| 4.6.3.1 | Niederschlagsereignisse nach Trockenperioden | 164 |
| 4.6.3.2 | Starkregenereignisse nach Vorbefeuchtung..... | 167 |
| 4.6.4 | Gebietsspezifische Einflussfaktoren - Vergleich der Einzugsgebiete... | 170 |
| 4.6.4.1 | Vergleich der unterirdischen Abflüsse in den Einzugsgebieten | 173 |
| 4.6.4.2 | Vergleich der Teileinzugsgebiete im Ybbstal..... | 175 |
| 4.6.4.3 | Vergleich der Teileinzugsgebiete im Wulkatal | 180 |
| 4.7 | Abflussanteile und Nährstofftransport | 185 |
| 4.7.1 | Einleitung | 185 |
| 4.7.2 | Korrelationen..... | 185 |
| 4.7.3 | Einzugsgebietsgröße und Erosion / Phosphoreintrag..... | 189 |
| 4.7.4 | Sicherheit der Aussage, Auswahl der Daten und Datenerfassung | 191 |
| 4.7.5 | Nitratkonzentrationen und Einzugsgebietsgröße | 193 |
| 4.7.6 | Einfluss der Punktquellen | 194 |
| 4.7.7 | Nitratkonzentrationen und Grundwasserabfluss..... | 195 |
| 4.7.8 | Ex- und Infiltration | 200 |
| 4.7.9 | Einflussfaktoren..... | 204 |
| 4.7.9.1 | Starkniederschläge | 205 |
| 4.7.9.2 | Schneesmelze, Niederschläge auf gefrorenen Boden . | 209 |

| | | |
|----------|--|-----|
| 4.7.9.3 | Niederschläge nach Trockenperiode und nach Vorbe- | |
| | feuchtung | 213 |
| 4.7.9.4 | Spülstoß | 216 |
| 4.7.9.5 | Überwiegend Grundwasserabfluss | 217 |
| 4.7.10 | Zusammenfassung | 221 |
| 4.7.10.1 | Phosphor Erosion | 222 |
| 4.7.10.2 | Nitrat | 223 |
| 4.8 | Einfluss der Datenlage | 225 |
| 4.8.1 | Allgemeines | 225 |
| 4.8.2 | Länge der Datenreihen und Ergebnisse der Ganglinienanalyse mit | |
| | Difga 2000 | 225 |
| 4.8.3 | Messintervall | 228 |
| 4.8.4 | Art der Datenerfassung | 229 |
| 4.8.5 | Zusammenfassung | 234 |
| 4.9 | Nährstoffbilanz und Nitratabbau auf der Basis der Ganglinienanalyse mit Difga, | |
| | Ergebnisse des EU-Projektes daNUbs..... | 235 |
| 4.9.1 | Nährstoffbilanz im Wulkatal | 235 |
| 4.9.2 | Güte des Grundwassers und der Oberflächengewässer | 240 |
| 4.9.3 | Nitrat im Untergrund, Nitratabbau | 242 |
| 4.9.4 | Nährstoffbilanz im Ybbstal | 263 |
| 4.9.5 | Erfassung der Gewässergüte im Ybbstal | 268 |
| 4.9.6 | Nitratkonzentrationen, Abbau im Untergrund | 271 |
| 4.9.7 | Zusammenfassung | 280 |
| 4.10 | Verwendete Daten..... | 282 |
| 5 | Zusammenfassung und Schlussfolgerungen | 285 |
| 6 | Literatur | 290 |

1 EINLEITUNG

In dieser Arbeit soll versucht werden mit einfachen Mitteln, nämlich mit Hilfe der Abflussganglinienanalyse, Erkenntnisse über die Fließwege des Wassers und die Eintragspfade der Nährstoffe in das Grundwasser und die Fließgewässer, sowie deren Rückhalt im Einzugsgebiet zu gewinnen.

Die Dissertation ist im Zusammenhang mit dem europäischen Forschungsprojekt „daNUbs - Nährstoffhaushalt im Donaeinzugsgebiet und dessen Auswirkungen auf das Schwarze Meer“, EVK1-CT-2000-00051, entstanden.

1.1 ALLGEMEINES

Die mit geringem Arbeits- und Datenaufwand ermittelbaren Abflussanteile sollen auf ihre Aussagekraft hinsichtlich des Nährstofftransportes in Einzugsgebieten untersucht werden. Möglicher Erkenntnisse sollen für eine nachhaltige Bewirtschaftung des Donauraumes sowie zu einer effizienteren Überwachung der Gewässergüte genutzt werden. Die Methodik soll weiterhin auf ihre Brauchbarkeit für zukünftige Forschungsprojekte beurteilt werden.

Es soll zunächst eine Vorstellung gegeben werden, wie der Abfluss entsteht und der Nährstoffeintrag vor sich geht. Betrachtet werden zunächst die Prozesse an einem Standort sowie die Prozesse entlang des Fließweges von diesem Punkt im Einzugsgebiet bis hin zum Gewässer.

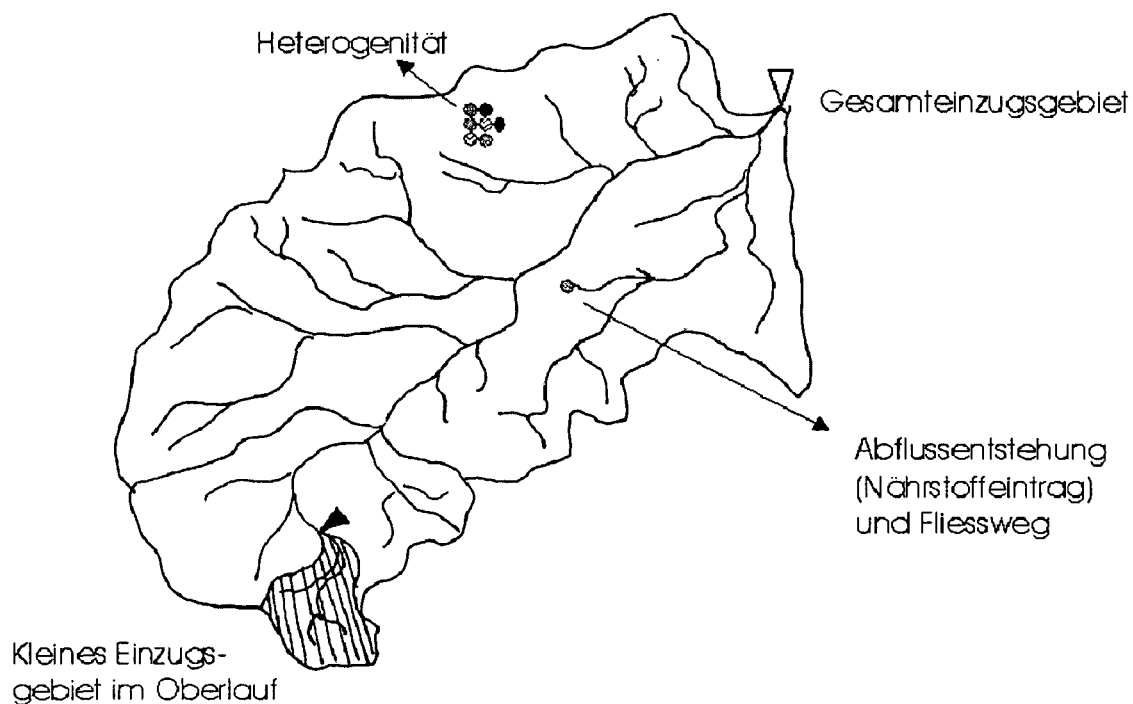


Abbildung 1-1: Die Abflusentstehung im Einzugsgebiet

Im Bodenprofil werden durch Schlüsselstellen die Infiltration und die Wasserbewegungen durch den Boden bestimmt und die Art der Abflussprozesse am Standort entschieden. Je nach Art des Niederschlagsereignisses und der lokalen Beschaffenheit der Vegetation, des Bodens und der Geologie kommt es zu verschiedenen Abflussbildungsprozessen. Das Wasser infiltriert, fließt oberflächlich ab oder sickert bis zum Grundwasser weiter. Entlang des Fließweges können sich die einzelnen Abflussanteile ändern, Oberflächenabfluss kann infiltrieren, Grundwasser kann bei Quellen zu Tage treten.

Die landwirtschaftliche Nutzung des Standortes und die Deposition bestimmen die Höhe des diffusen Nährstoffeintrages am Standort. Je nach dem, welchen Weg das Wasser nimmt, wird es unterschiedlich viele Nährstoffe aufnehmen und wieder ablagern oder durch Abbau oder andere Prozesse verlieren. Die Fließwege, die Umgebungsbedingungen und die Aufenthaltszeiten bestimmen die Nährstoffreduktion auf dem Weg zum Gewässer.

Um diese Vorgänge besser zu verstehen, werden in Kapitel 2 die Wege des Wassers und der Nährstoffe vom Ort der Abflusentstehung bis zum Abtransport über das Fließgewässer theoretisch, mit Hilfe der Literatur, verfolgt.

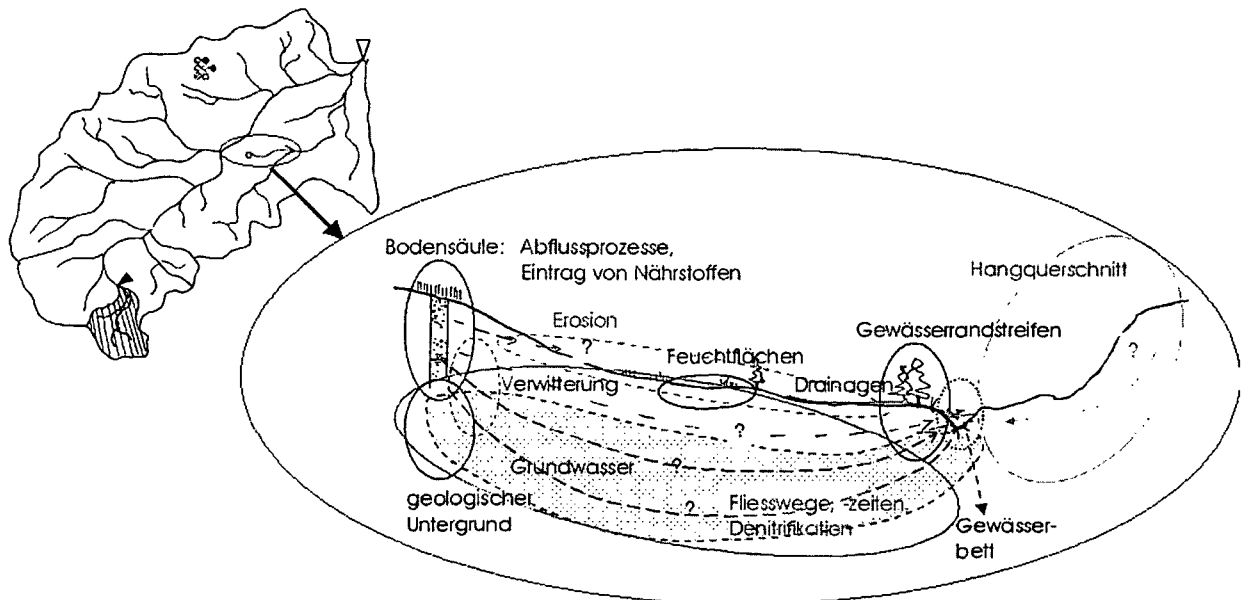


Abbildung 1-2: Von der Abflusentstehung bis zum Abtransport, Prozesse

Messdaten existieren meist als punktuelle Messungen im Einzugsgebiet (u.a. Niederschlag, Schnee, Temperatur, Grundwasserstand, Grundwassergüte) und an den Pegelstellen am Gebietsauslass (Durchfluss, Güte). Der Einfluss der Datenerfassung und der Güte der Messdaten auf die Ergebnisse werden in Kapitel 4.8 untersucht. Der Einfluss der Feuchtlächen, der Drainagen und der Gewässerrandstreifen auf den Nährstoffhaushalt soll kurz beschrieben werden.

Die Transport- und Retentionsvorgänge im Fließgewässer und der Einfluss der Nährstoffe auf das Schwarze Meer können den DaNUbs Berichten entnommen werden.

1.2 METHODISCHES

Die Separation der Abflussganglinien in den untersuchten Einzugsgebieten und deren Teileinzugsgebieten soll mit Hilfe des Ganglinienanalyseprogrammes Difga 2000 erfolgen.

In Kapitel 3 werden verschiedene Möglichkeiten der Trennung des Abflusses in seine Komponenten vorgestellt und Beispiele aus der Literatur zitiert.

In Kapitel 4 wird die Ganglinienanalyse in den Einzugsgebieten der Ybbs und der Wulka, siehe Abbildung 1-3, durchgeführt.

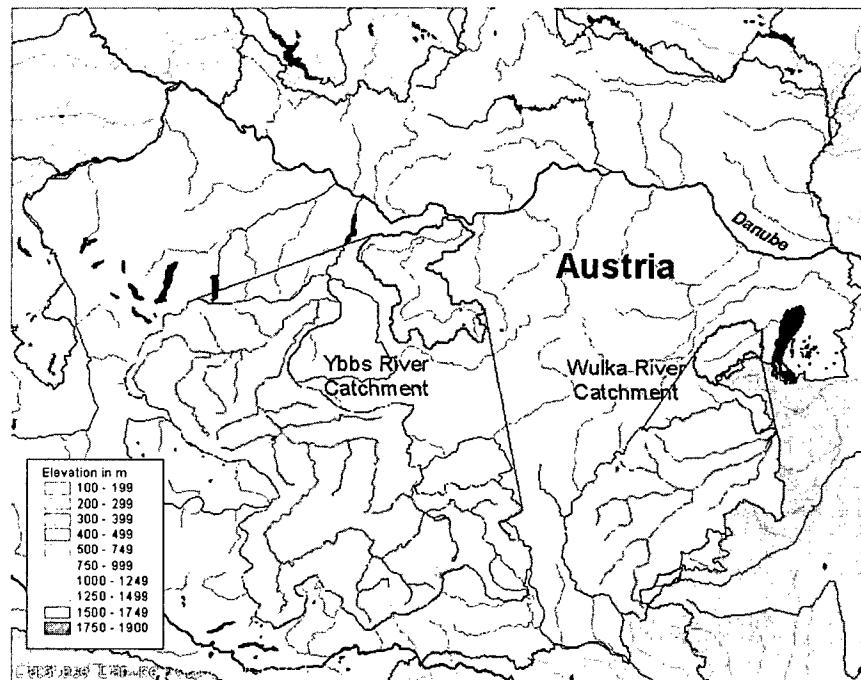


Abbildung 1-3: Die untersuchten Einzugsgebiete Ybbs und Wulka

Zuerst werden die untersuchten Einzugsgebiete kurz charakterisiert. Es wird die Geologie, die Landnutzung, die Aufteilung in Teileinzugsgebiete und die Lage der Messstationen beschrieben. Weiterhin werden Modellvorstellungen des Einzugsgebietes und der Fließwege entwickelt.

Im folgenden werden Vergleichsrechnungen in den Einzugsgebieten der Ybbs und der Wulka mit verschiedenen Methoden durchgeführt und verglichen, um die Ergebnisse der Ganglinienanalyse mit Difga 2000 zu verifizieren.

Anschließend werden die Ergebnisse der Ganglinienanalyse mit Difga 2000 hinsichtlich ihrer Variabilität und untersucht. Die Abhängigkeit der Abflusskomponenten von verschiedenen Einflussfaktoren wird in Kapitel 4.6.2 untersucht.

1.3 ABFLUSSKOMPONENTEN UND GEWÄSSERGÜTE

Folgende Modellvorstellungen über die Nährstoffeintragspfade sollen mit Hilfe der Ganglinienanalyse bestätigt und ergänzt werden:

Phosphor wird vor allem durch Erosion in partikulärer Form (sedimentgebunden) in das Fließgewässer eingetragen und es besteht daher ein Zusammenhang zwischen Oberflächenabfluss und Gesamtphosphor.

Stickstoff wird in Form von Nitrat hauptsächlich durch Auswaschung aus dem Boden in das Grundwasser eingetragen und mit diesem in das Fließgewässer transportiert. Im Grundwasser erfolgt bei Sauerstoffmangel und Vorhandensein einer Kohlenstoffquelle ein Abbau des Stickstoffes (Denitrifikation).

Je älter das Grundwasser ist, desto größer der Abbau.

Die durch Deposition eingetragenen Nährstoffe gelangen über alle Eintragspfade gleichermaßen in das Grund- und Oberflächengewässer.

Mit Hilfe einfacher Korrelationen soll zunächst der Zusammenhang zwischen den gemessenen Nährstoffkonzentrationen im Gewässer und den errechneten Abflussanteilen aufgezeigt werden.

Im folgenden wird versucht mit Hilfe der hydrologischen Messdaten und der Ergebnisse der Ganglinienanalyse einzelne hydrologische Prozesse und ihr Einfluss auf die Fließwege aufzuzeigen. Beispielhaft werden einzelne Prozesse, wie Schneeschmelze, Niederschlag auf gefrorenen Boden, Grundwasserabfluss in niederschlagsfreien Perioden, Starkregenereignisse, Wechselwirkungen des Grundwassers mit dem Fließgewässer und deren Auswirkungen auf die Nährstoffkonzentrationen untersucht.

Anhand dieser Überlegungen und dem a priori Wissen sollen die Modellvorstellungen über den Nährstofftransport weiterentwickelt und mit den vorhandenen Gütedaten verifiziert werden.

Um die Sicherheit der Aussagen abschätzen zu können erfolgt im Anschluss eine Untersuchung über den Einfluss der Datenlage. Dabei soll sowohl auf die Verfügbarkeit der Daten, als auch auf die Art der Datenerfassung eingegangen werden.

Am Ende sollen die im Rahmen des DaNUbs-Projektes errechneten Nährstoffbilanzen der österreichischen Einzugsgebiete vorgestellt und Schlussfolgerungen aus den Untersuchungen gezogen werden.

1.4 DANUBS - DIE PROBLEMSTELLUNG DES PROJEKTES

Der bedenkenlose Einsatz von Nährstoffen im Donaeinzugsgebiet hat zu schweren ökologischen Folgen geführt, wie etwa Verschmutzung des Grundwassers und die Eutrophierung von Flüssen, Seen und insbesondere des Schwarzen Meeres. Diese Probleme beeinflussen unmittelbar soziale und wirtschaftliche Tätigkeiten (beispielsweise die Trinkwasserversorgung, Tourismus und die Fischerei als unmittelbar betroffene Bereiche, sowie die Landwirtschaft, die Ernährung, die Industrie und die Abwasserwirtschaft als Verursacher). In den letzten Jahren war ein Rückgang der Nährstoffemissionen über die Donau in das Schwarze Meer zu verzeichnen. Dies ist auf einen starken Rückgang des Mineralsdüngereinsatzes als auch des Tierbestandes in weiten Teilen des Donaeinzugsgebietes zurückzuführen. Ebenso wurde die industrielle Produktion durch wirtschaftliche Probleme in einigen Ländern massiv reduziert. Durch eine Erholung der Wirtschaft ist ein erneutes Ansteigen der Nährstoffemissionen zu befürchten.

Die Herausforderung ist nun, die Zusammenhänge zwischen der Nährstoffbewirtschaftung im Donaeinzugsgebiet und dem Eintrag in die Donau, den Transport in der Donau und die Vermischung der Donau mit dem Schwarzen Meer soweit zu erforschen, dass Maßnahmen vorgeschlagen werden können, die wirtschaftliche Entwicklung und geringe Nährstoffemissionen in die Hydrosphäre vereinen. Dazu ist eine interdisziplinäre Forschung notwendig. Das Donaeinzugsgebiet bietet die einzigartige Möglichkeit, die Auswirkungen des dramatischen ökonomischen Wechsel in den Osteuropäischen Anrainerstaaten auf die Gewässerqualität gleichsam in Echtzeit und realem Maßstab zu erforschen. Dies erlaubt es auch, die eingesetzten Modelle zu verifizieren.

Im Rahmen von DaNUbs wird das Modell Moneris in den Donauanrainerstaaten Österreich, Ungarn, Rumänien und Bulgarien in insgesamt 6 Teileinzugsgebieten angewandt und auch für die Berechnung der Gesamtbilanzen des Donaeinzugsgebietes herangezogen.

Im Vergleich zu dem mit 5-Jahresmittelwerten arbeitenden Modell Moneris sollen durch die Ganglinienanalysen wichtige Zusatzinformationen erhalten werden.

Da die Separationen lediglich auf täglichen Durchflussdaten beruhen, ist das dafür notwendige Datenmaterial, im Vergleich zu viel komplexeren Niederschlagsabflussmodellen, wie etwa SWAT, leicht zu erhalten.

2 ABFLUSSENTSTEHUNG UND NÄHRSTOFFTRANSPORT

2.1 PROZESSE ENTLANG DES FLIESSWEGES

Aufgrund von Niederschlag entstehen im Einzugsgebiet Abflussvorgänge. Die Art des Niederschlagsereignisses und die Standorteigenschaften bestimmen die Abflussbildungsprozesse.

Um den Einfluss der Standorteigenschaften zu erkennen, soll zuerst die Bodensäule unter dem Gesichtspunkt der Abflussbildungsprozesse betrachtet werden. Diese Detailbetrachtung entspricht vereinfacht einer Bodensäule /einer „hydrologischen Unit“/ eines üblichen Niederschlag - Abflussmodells.

Am Standort wird über das Nährstoffdargebot (aus der Landwirtschaft und der Deposition) die mögliche Belastung des Wassers bestimmt. Es wird die Bodensäule anschließend auch unter dem Aspekt des Nährstoffeintrages untersucht.

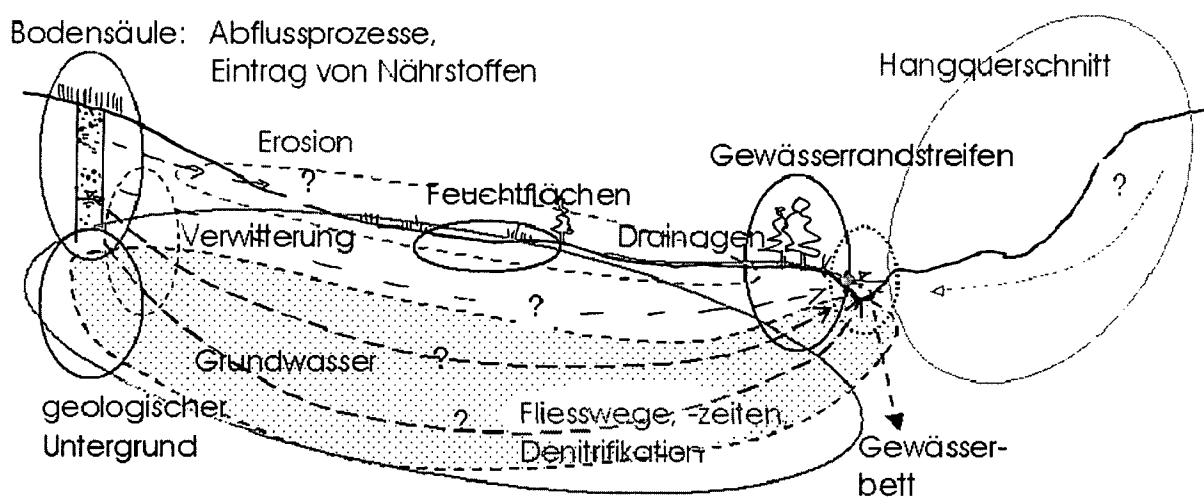


Abbildung 2-1: Von der Abflussentstehung bis zum Abtransport, Prozesse

Der Weg des Wassers und der Nährstoffe von der Bodensäule bis zu der Pegelstelle des Gewässers, an dem wieder zuverlässige Messdaten (Durchfluss und Gütedaten) existieren, ist schwer zu verfolgen.

Es sollen die Vorgänge, Prozesse, Einflussfaktoren der Abflussbildungsprozesse und des Nährstofftransportes entlang des Fließweges, wie in Abbildung 2-1 dargestellt, mit Hilfe der Literatur in den folgenden Abschnitten genauer untersucht werden.

2.2 ABFLUSSBILDUNG IM BODENPROFIL

Der Bodenaufbau bestimmt die Abflussentstehung am Standort. Abbildung 2-2 zeigt ein Bodenprofil mit den dazugehörigen Schlüsselstellen.

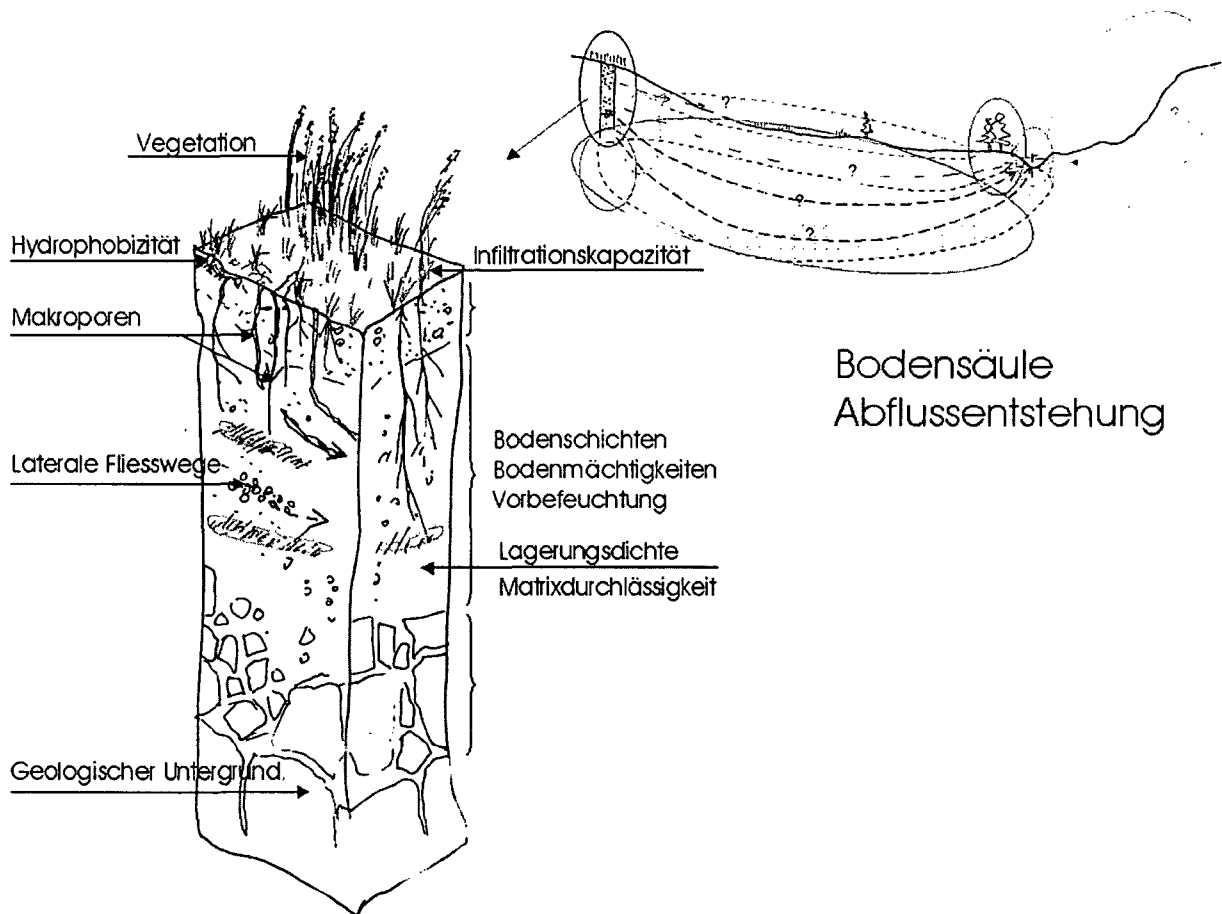


Abbildung 2-2: Bodenprofil mit Schlüsselstellen, Kontext

Vegetation

Die Vegetation speichert einen Teil des Niederschlages und entzieht dem Boden Wasser. Der Einfluss der Vegetationsdecke ist vor allem bei langanhaltenden und wenig intensiven Niederschlägen von Bedeutung. Die Art der Vegetation und die Jahreszeit sowie die Strahlungsbilanz bestimmen die Größe der potentiellen Evapotranspiration.

Weiterhin schützt die Vegetation den Boden vor Erosion und Verschlammung, da sie die aufprallenden Regentropfen abfängt.

Sie verhindert dadurch die Zerstörung des Bodenaggregates, welche neben der Bodenverschlammung auch zur Ausbildung von Bodenkrusten und somit

zur Einschränkung der Infiltration führen kann (Spreafico, Weingartner et al. 2003).

Durchlässigkeit und Lagerungsdichte, Schichten

Durchlässigkeit und Lagerungsdichte bestimmen die Geschwindigkeit des Wasserflusses und die maximale Wasserspeicherefähigkeit des Bodens. Die Durchlässigkeit bestimmt auch den Austausch zwischen der Bodenmatrix und den Makroporen.

Wechseln durchlässigere Schichten mit weniger durchlässigen Schichten, so kann es an diesen Schichtgrenzen zu Zwischenabflüssen kommen, oberhalb von Tonlinsen können sich auch schwebende Grundwasserkörper ausbilden. Ist der Boden durchlässig und der Niederschlag ausreichend, so werden nach Erreichen der Feldkapazität große Teile des Wassers in tiefere Bodenschichten sickern. Es kommt zu einer Grundwasserneubildung.

Mächtigkeit

Die Mächtigkeit der einzelnen Bodenschichten bestimmt zusammen mit der Lagerungsdichte/Porosität die Wasserspeicherefähigkeit des Bodens. Durch die Mächtigkeit des Bodens insgesamt wird, in Verbindung mit der Durchlässigkeit, auch die Fließzeit des Wassers bis zum Grundwasser und die Größe des lateralen Abflusses bestimmt. Ist die Mächtigkeit des ungesättigten Bodens sehr groß, so kann der Boden viel Wasser zurückhalten, und es kommt nicht oder stark verzögert zum Abfluss.

Vorbefeuchtung

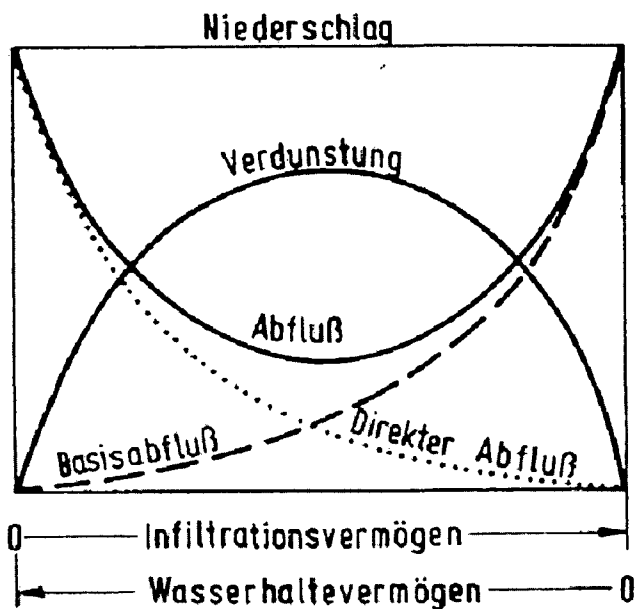
Durch eine gewisse Vorbefeuchtung der Oberfläche kann das Wasser zwar leichter eindringen, ist die Vorbefeuchtung allerdings sehr groß, so ist die Aufnahmefähigkeit des Bodens geringer, ist der Boden gesättigt, so kommt es zu gesättigten Oberflächenabfluss, oder es kommt in tieferen Bodenschichten zu einem Abflussvorgang zufolge Sättigung .

Hydrophobizität, Infiltrationskapazität

Nach einer starken Austrocknung oder bei einem oberflächennahen Wurzelfilz reagieren die Böden wasserabweisend. Ist die Infiltration gering, so kommt es zu Hortonschen Oberflächenfließen, wie man in Abbildung 2-3, links am hohen Direktabfluss sehen kann.

Wenn durch Austrocknung Risse entstehen, kann in diese wiederum schnell Wasser eindringen.

Abbildung 2-3 zeigt den Zusammenhang der bodenphysikalischen Eigenschaften (Infiltrationsvermögen, Durchlässigkeit und Speichervermögen) auf den Abflussvorgang.



Mit steigender Benetzung verschwindet die Hydrophobizität und das Wasser kann infiltrieren, dadurch steigt der Basisabfluss an, es sinkt der Anteil des Direktabflusses und auch der Gesamtabfluss wird kleiner, da die Verdunstung größer wird. Ist jedoch die Aufnahmefähigkeit des Bodens erschöpft, so kommt es verstärkt zu Basisabfluss.

Abbildung 2-3: Einfluss des Infiltrations- und Wasserhaltevermögen auf die Abflussbildung (aus Baumgartner and Liebscher (1990), nach Dyck (1978))

Bei Böden mit guter Durchlässigkeit und geringem Speichervermögen tritt ein hoher Zwischen- und Grundwasserabfluss auf. Versickert der gesamte Niederschlag und das Wasserhaltevermögen ist klein, so fließt der gesamte Niederschlag als Basisabfluss ab, das ist auch bei stark geklüfteten Festgestein denkbar.

Ist das Infiltrationsvermögen und die Bodenmächtigkeit (Speichervermögen) groß, die Durchlässigkeit aber gering, so werden große Teile des Niederschlages verdunsten.

Makroporen

Abgestorbene Pflanzenwurzeln und Bodenrisse ermöglichen einen schnellen Abtransport in das Bodeninnere. Aber auch entlang von größeren lebenden Pflanzenwurzeln kann sich ein Zwischenraum zwischen Wurzel und Bodenmatrix ausbilden.

Tiergänge, wie von Regenwürmern und Mäusen, ermöglichen dem Wasser in vertikaler und horizontaler Richtung abzufließen, die Infiltration des Bodens wird dadurch erhöht.

laterale Fließwege

Entlang von durchlässigeren Bodenschichten bzw. oberhalb von sehr undurchlässigen Schichten, sowie entlang von Makroporen bilden sich horizontale Fließbahnen aus, wodurch das Wasser schnell hangparallel abtransportiert werden kann.

Untergrund - Geologie

Je nach Verwitterungsgrad des Untergrundes (Gestein ist bergfrisch bis stark verwittert) kann er die Staueroberkante für das Grundwasser bilden oder selbst als Aquifer fungieren, z.B. als Kluftgrundwasserkörper. Ist der Untergrund undurchlässig und die darüberliegende Bodenschicht dünn, so kommt es zu schnellen, lateralen Abflussvorgängen in gesättigten Hangflächen.

Dominate Abflusstypen

Die durch die Standorteigenschaften und Vorbedingungen hervorgerufenen Abflussprozesse können im lokalen Maßstab sehr dominant sein. In Abbildung 2-4 sind die Abflusskoeffizienten (also der Anteil des Niederschlages, der abfließt) verschiedener kleiner Einzugsgebiete in Abhängigkeit von der Zeit dargestellt. Die oberflächlichen oder oberflächennahen Abflusskomponenten sind schnell, die tiefen langsam. Es besteht also ein eindeutiger Zusammenhang zwischen Zeit der Abflussreaktion und Ort der Abflusentstehung. Die Abkürzungen bedeuten:

HOF = Hortonscher Oberflächenabfluss

SSSF2 = verzögerter Abfluss im Boden

SOF3 = sehr verzögerter Oberflächenabfluss bei Bodensättigung

DP = Tiefsickerung

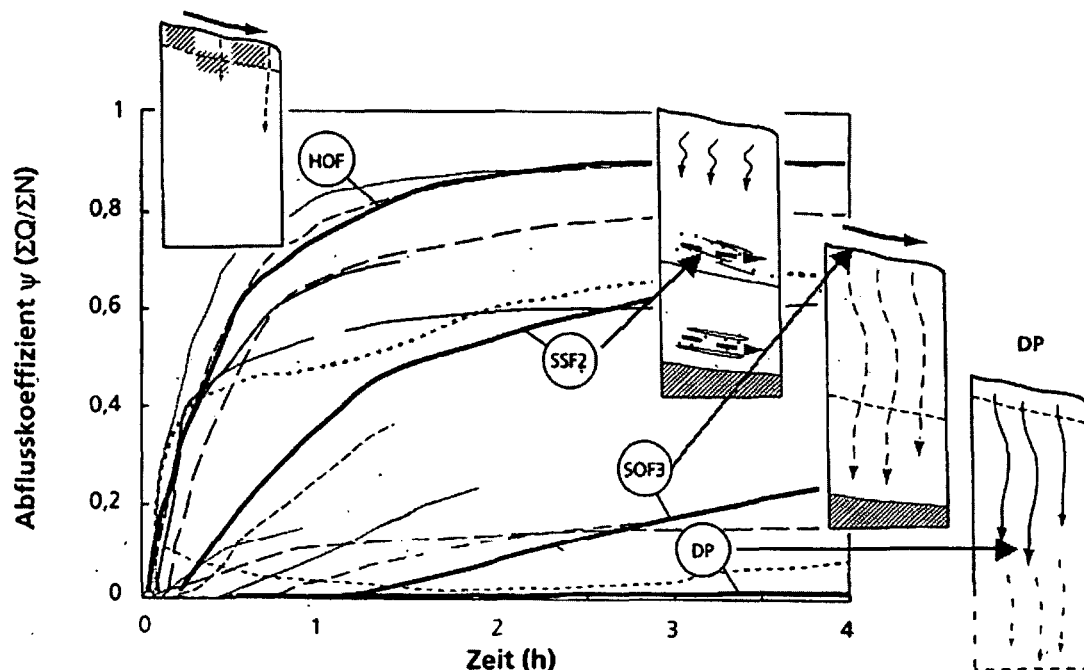


Abbildung 2-4: Abflusskoeffizienten verschiedener Einzugsgebiete bei Starkregen, bei welchen ein Abflusstyp dominant ist

(nach Spreafico, Weingartner et al. (2003), verändert)

2.3 NÄHRSTOFFAUSTRAGSPOTENTIALE AM STANDORT

2.3.1 Stickstoff

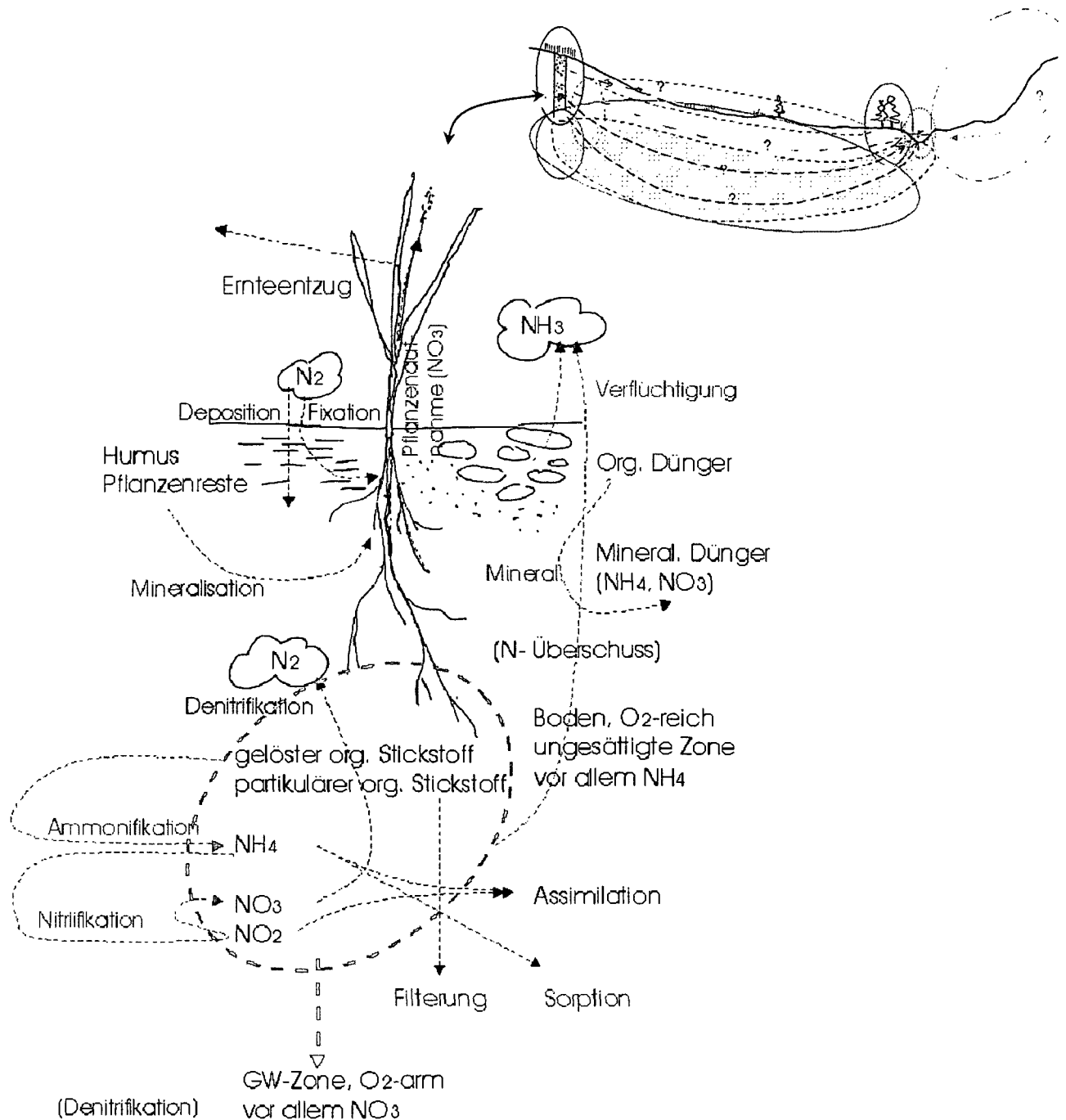


Abbildung 2-5: Stickstoffkreislauf, Umsetzungen, Kontext

Eintrag: Nährstoffe sind im Humus, abgestorbenen Pflanzen, mineralischem und organischem Dünger (aus der Tierhaltung, seltener auch aus Klär-

schlamm) enthalten. Im Falle des Stickstoffes können sie auch durch Bindung des in der Luft enthaltenen Stickstoffes durch Leguminosen (Klee, Hülsenfrüchte) entstehen oder durch nasse und trockene Deposition erfolgen:

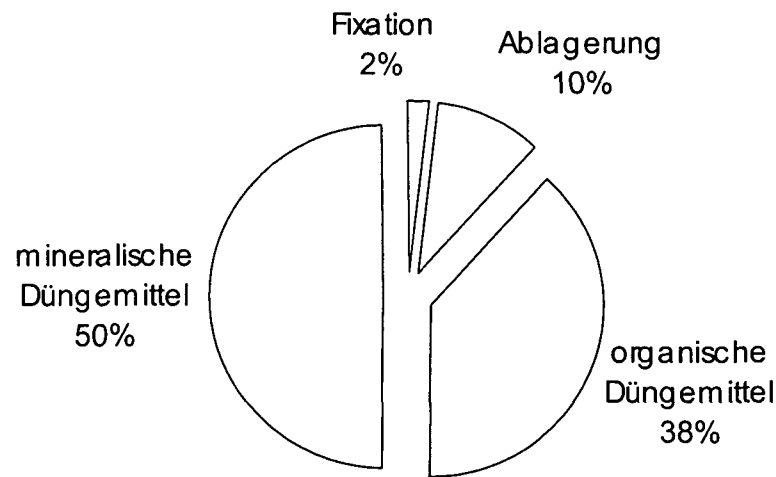


Abbildung 2-6: Herkunft des Stickstoffes im Boden, EU-Durchschnitt¹
(Hansen 2000)

Der größte Anteil kommt aus mineralischen Düngemitteln. Es werden hauptsächlich reine Stickstoffdünger in Form von Kalkammonsalpeter und Ammonsalpeter aufgebracht. Die natürlichen Prozesse der Stickstoffablagerung und Fixation spielen mit 12% eine untergeordnete Rolle.

Der Eintrag über mineralische Düngemittel kann über die Düngeempfehlung für die angebauten Pflanzen oder die Menge des verkauften mineralischen Düngers abgeschätzt werden, seltener existieren Aufzeichnungen. Der mineralische Dünger ist sehr leicht löslich, um die leichte Aufnahme durch die Pflanzen zu ermöglichen. Diese Eigenschaft ist auch der Grund für die große Gefahr des Auswaschens von mineralischem Dünger.

Stickstoff kann neben mineralischen Düngern auch aus verschiedenen Quellen, wie Pflanzenresten, Humus, organischen Düngern stammen. Je nach Temperatur und Bodenfeuchte kommt es im Boden zu einer Umwandlung zu pflanzenverfügbarem Stickstoff. Diese Umwandlung nennt man Mineralisation. Der organische Dünger wird über die Zahl der gehaltenen Tiere abgeschätzt (mittels Angaben über kg Stickstoff (N) Output pro Tier und Jahr), wobei Verluste bei der Lagerung und dem Aufbringen berücksichtigt werden.

¹ Eine Auswertung für das Einzugsgebiet der Wulka und der Ybbs im Rahmen des EU-Projektes daNUbs ist in Kapitel 4.9 beschrieben.

Austrag: Der im Boden enthaltene Stickstoff hat verschiedene Verlustwege. Der Verlust durch Erosion macht beim Stickstoff, im Gegensatz zum Phosphor, nur einen kleinen Anteil aus.

Neben der Aufnahme durch Pflanzen verlässt der Stickstoff den Boden in die Luft in Form von Ammoniak als direkte Verflüchtigung, vor allem beim Aufbringen von Dung, in Form von Stickstoffoxid oder Stickstoffgas mittels Denitrifikation oder über das Wasser durch Auswaschen. Wie groß der Verlust ist, hängt vom Klima, dem Bodentyp und den Bearbeitungspraktiken ab.

Unter dem Austrag über die Pflanzen versteht man den Stickstoffgehalt der Pflanzenteile, welche dem Boden durch Ernte oder durch Beweidung entzogen werden. Über den spezifischen Stickstoffgehalt der Pflanzen, den Hektarertrag und die Anbauflächen kann man den Austrag errechnen, im Falle der Abweidung von Grasflächen ist die Berechnung schwieriger, oft geht man hier von dem Futterbedarf der Tiere aus. Der Entzug über Futterpflanzen macht in der EU meist mehr als 50% aus (Hansen 2000).

In den oberen ungesättigten Bodenschichten herrschen aerobe Verhältnisse. Es erfolgt eine Umwandlung von Ammonium in Nitrat.

Aus dem Boden kann das Nitrat durch die Wurzeln der Pflanzen aufgenommen werden. Mit dem Wasserfluss erfolgt vor allem der konservative Transport von Nitrat im Bodenprofil. Unterhalb der Wurzeltiefe, welche auch als Auswaschungstiefe bezeichnet wird, sie liegt je nach Pflanzenart bei landwirtschaftlicher Nutzung in einer Tiefe um 90 cm (Bebilik and Kersebaum), wird die vertikal abfließende Nitratmenge als Stickstoffaustrag gewertet.

Ein europäischer Vergleich der Stickstoffüberschüsse 1997 zeigt, dass Österreich hier im Mittelfeld liegt.

Durch den diffusen Eintrag von Nitrat ins Grundwasser können die Trinkwasservorkommen gefährdet werden. Der Grenzwert in Österreich und der EU liegt bei 50 mg NO₃/l.

Überschreitungen in landwirtschaftlich intensiv genutzten Gebieten sind nicht selten.

Sickert das Nitrat in tiefere Bodenschichten, wo Sauerstoffmangel herrscht, so kann es zur Denitrifikation des Nitrates (NO₃) zu gasförmigen Stickstoff (N₂), kommen.

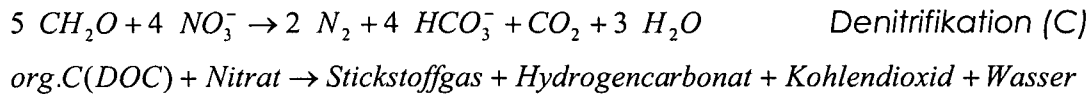
Denitrifikation

Denitrifizierende Bakterien sind meist fakultativ anaerob, sie können also ohne gelösten Sauerstoff überleben, indem sie den gebundenen Sauerstoff des Nitrates reduzieren, wenn kein Sauerstoff in gelöster Form vorhanden ist.

Für die Denitrifikation muss organisches Material für den Abbau vorhanden sein, da der Kohlenstoff den denitrifizierenden Bakterien als Nährstoff dient.

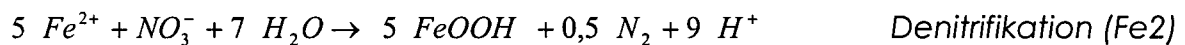
Der Abbau ist bei einem Transport über das Grundwasser, unter reduzierenden Verhältnissen oft Kohlenstoffbegrenzt (Desimone and Howes, 1998; Puckett 2002).

Die Denitrifikation läuft unter Verwendung von Kohlenstoff, mit Nitrat als Sauerstoffquelle, folgendermaßen ab:



Denitrifikation kann aber auch ohne Kohlenstoff, bei Vorhandensein von reduzierten anorganischen Verbindungen welche als Elektronendonatoren dienen, stattfinden. Solche Verbindungen sind beispielsweise Schwefel oder zweiwertigen Eisenverbindungen. Eine weitere Voraussetzung ist eine Population an denitrifizierenden Bakterien (*Pseudomonas* spp., *Bacillus* spp.).

Denitrifikation mit Fe^{2+} :



Es entsteht $\text{FeO}(\text{OH})$, hydratisiertes Eisenoxid, genannt Goethite.

Die Größe der Denitrifikation und der Verlust über die Luft sind schwer abzuschätzen.

2.3.2 Phosphor

Phosphor ist im Humus, in abgestorbenen Pflanzen enthalten, ein Eintrag erfolgt zusätzlich anthropogen in Form mineralischer und organischer Dünger.

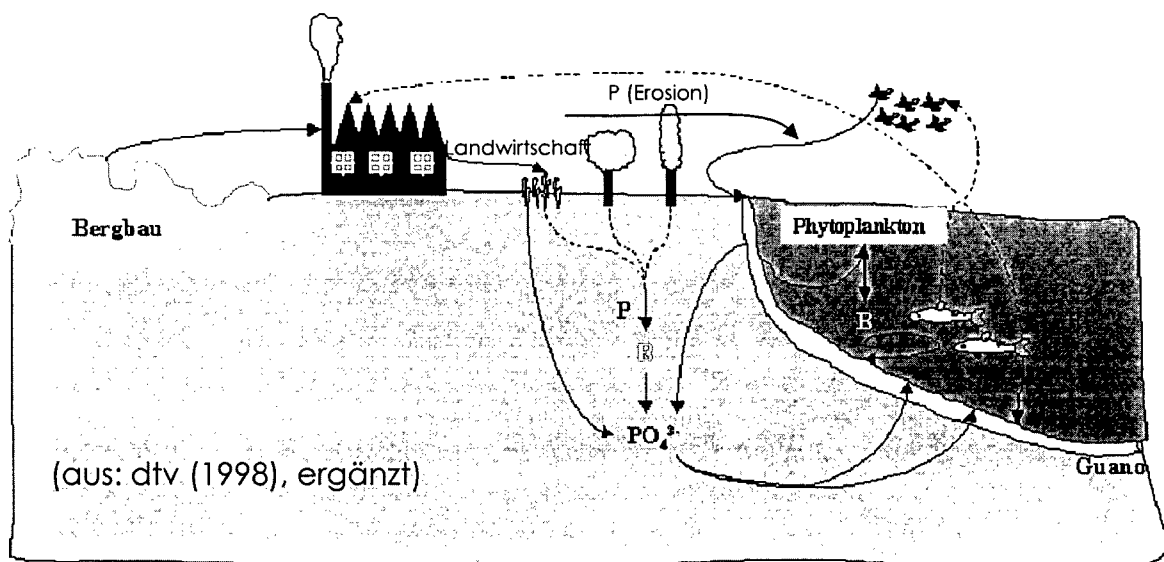


Abbildung 2-7: Schematische Darstellung des Phosphorkreislaufes

Die Reduktion des Phosphors erfolgt durch:

1. Adsorption
2. Aufnahme durch Pflanzen (Ernteentzug und immobile Ernterückstände)
3. Mikrobielle Aufnahme von P
4. je nach Bodenart Aufnahme (Inkorporation bei Torf)

Der Verlust durch Auswaschung ist bei der Phosphorgesamtbilanz eher gering. Die Menge kann über Konzentrationen im Grundwasser abgeschätzt werden. Der Eintrag an gelöstem Phosphor in das Gewässer erfolgt vor allem über den Abfluss aus Kläranlagen, dem Regenüberlauf aus Mischwasserkanälen und anderen Punktquellen. Der Eintrag an sedimentgebundenem Phosphor erfolgt durch Erosion.

Der Eintrag als partikulärer Phosphor aus Erosionsprozessen macht den Großteil der Phosphorfracht im Fließgewässer aus.

Für den Phosphoraustrag aus dem Boden spielt von den Abflusskomponenten der Oberflächenabfluss die größte Rolle. Der Abtrag erfolgt zeitlich begrenzt im Falle von starken Niederschlägen oder bei Überschwemmungen. Dabei spielt die Neigung der Ackerflächen und die Art der Bewirtschaftung (und demnach auch die Jahreszeit) eine wesentliche Rolle.

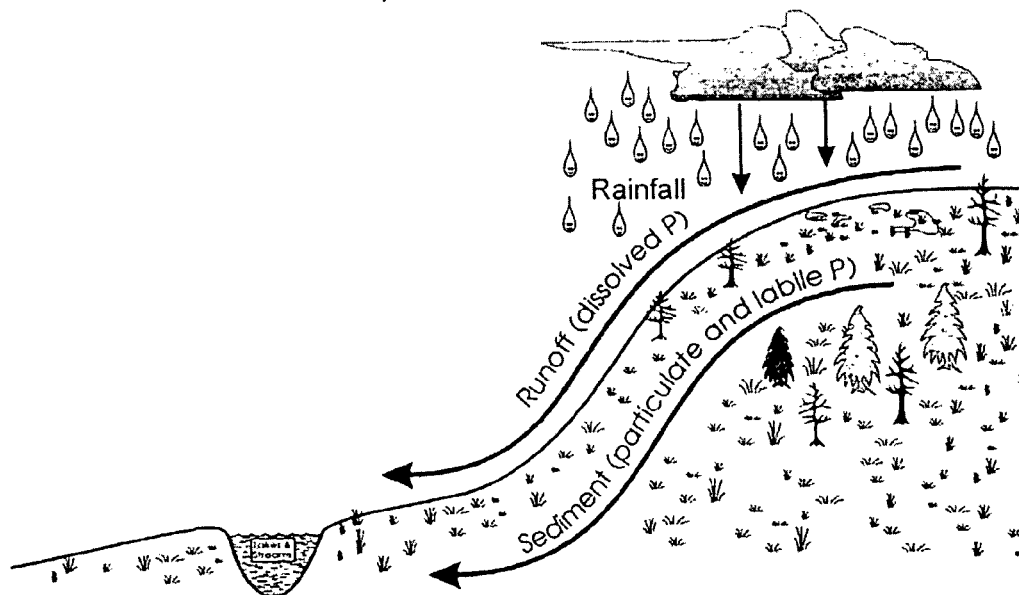


Abbildung 2-8: Die Phosphorformen und den Transportform bei Abflussvorgängen/Erosionsprozessen (Ward and Elliot 1995)

Der partikuläre Phosphor wird mit dem Sediment transportiert. Nur der lösliche Phosphor, also Phosphat ist pflanzenverfügbar. Je nach Umgebungsbedingungen kann es zu einer Rücklösung von Phosphor kommen.

Der Phosphortransport ist lokal einfacher abzuschätzen, da er sich nicht „in Luft auflösen kann“. In größeren Einzugsgebieten wird die Bilanz schwieriger, der Austrag über Erosion ist schwer abzuschätzen. Der Phosphor lagert sich im Gewässer und bei Überschwemmungen auch außerhalb des Gewässerbettes ab, er wird später umgewandelt oder kann zu einem späteren Zeitpunkt weitertransportiert werden.

Nährstoffüberschuss im Boden

Die Differenz zwischen Einträgen und Austrägen ergibt die Änderung der Nährstoffspeicherung im Boden sowie die potentiellen Verluste. Der Nährstoffüberschuss ist ein Maß für das Austragspotential. Eine Abschätzung für die untersuchten Einzugsgebiete erfolgt in Kapitel 4.8.

Österreich liegt bei den Aufwandsmengen von Nährstoffen im EU-Vergleich an vorletzter Stelle vor Portugal (Umweltbundesamt 2001). Zu beachten ist aber, dass auch der Entzug unter dem EU-Durchschnitt liegt.

2.3.3 Nährstoffaustrag und Abflussanteile

Landwirtschaft-Zusammenfassung

Der Hauptaustragspfad des Phosphors aus dem Boden ist die Erosion, er wird also mit dem Oberflächenabfluss vor allem bei Starkregenereignissen in Form von partikulärem Phosphor abgeschwämmt.

Der Stickstoff wird vor allem durch Auswaschung ausgetragen. Der Transport erfolgt demnach über die unterirdischen Abflusskomponenten, also Zwischen- und Grundwasserabfluss.

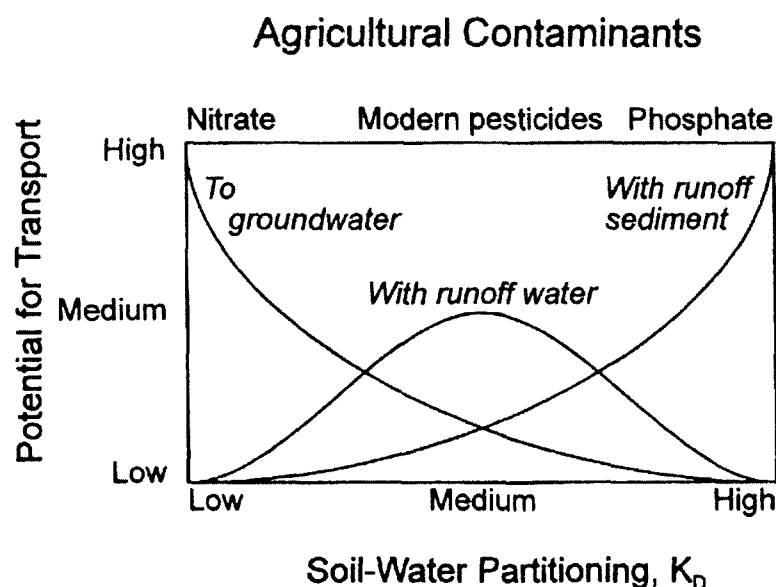


Abbildung 2-9: Fließwege und Nährstofftransport (Ward and Elliot 1995)

In Abbildung 2-9 sieht man die oben beschriebenen Eintragspfade der Nährstoffe aus der Landwirtschaft graphisch aufbereitet.

Deposition

Die durch feuchte und trockene Deposition abgelagerten Nährstoffe können sowohl durch den Oberflächenabfluss als auch durch unterirdische Wege ausgetragen werden. Die Größe des Eintrages am Standort ist u.a. abhängig von der Entfernung von Ballungszentren, der Austrag aus dem Boden von der Art- und der Höhe des Niederschlages.

Retention

Im Grundwasser kann es zu Nitratabbau kommen. Dabei spielt das Alter des Grundwassers die wesentlichste Rolle.

In den ufernahen Gebieten in Randstreifen kann es zu einer Reduktion der Nährstoffe zufolge der Aufnahme durch die Vegetation kommen, weiterhin findet auch hier eine Denitrifikation statt, davon ist sowohl der Zwischen- als auch Grundwasserabfluss betroffen.

Der partikuläre, sedimentgebundene Phosphor lagert sich im Gewässer oder bei Hochwasserereignissen auch außerhalb ab. Bei späteren Ereignissen kann es „spülstoßartig“ zu einem Weitertransport kommen.

2.3.4 Bilanzen

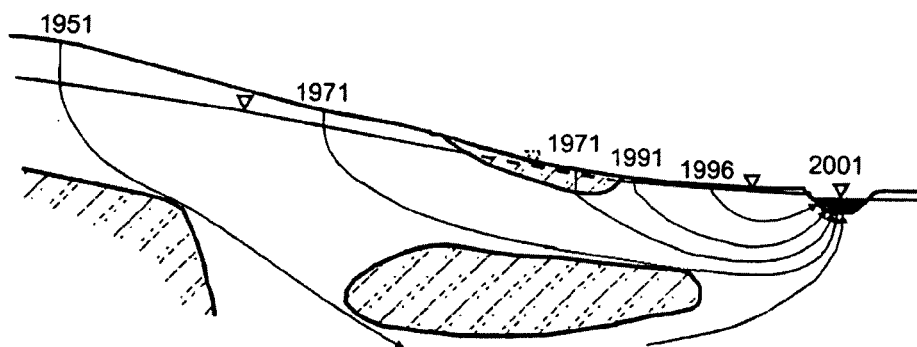
Eine Abschätzung der Nährstoffaufwendungen und der Nährstoffreduktion entlang der Fließwege erfolgt durch Bilanzierungen. Der Eintrag in die Fließgewässer für die untersuchten Einzugsgebiete wird über Gütemessungen ermittelt. Im Rahmen des EU-Projektes daNUbs erfolgt die Bilanzierung der Einzugsgebiet Ybbs und Wulka. Die erhaltenen Nährstoffbilanzen sind in Kapitel 4.8 beschrieben.

2.4 UNTERIRDISCHE FLIESSWEGE UND NÄHRSTOFFTRANSPORT

Kennt man den Ort der Grundwasserneubildung und den Nährstoffüberschuss könnte man bei Phosphor, als konservativen Stoff, sich theoretisch den Eintrag der Nährstoffe ins Grundwasser und den Eintrag ins Gewässer errechnen. Der Austragspfad über das Grundwasser ist für Phosphor aber nicht typisch und daher auch wenig relevant.

Vergleicht man die gemessenen Stickstofffrachten im Gewässer mit denen des Belastungspotentials der landwirtschaftlich genutzter Flächen, so stellt man fest, dass die Nährstofffrachten im Gewässer bei einem Bruchteil des Austragspotentials liegen, teilweise unter 10% (nach Behrendt, 1999, zitiert in QUAST 2001).

Der Stoffrückhalt und Abbau des Stickstoffüberschusses entlang des dominierenden Austragspfades, nämlich dem des Grundwassers, sollen daher im Folgenden genauer untersucht werden.



(QUAST 2001)

Abbildung 2-10: Zeitpunkt der Abflussentstehung, Fließwege im Einzugsgebiet

Aus Abbildung 2-10 sieht man, dass das Austragspotential aufgrund des unterschiedlichen Nährstoffüberschusses, welcher durch veränderte Düngepraktiken im Laufe der Jahre hervorgerufen wird und durch die Art der Landnutzung, die zu dieser Zeit an diesem Ort vorlag, bestimmt wird. Für die Reduktion entlang der Fließwege ist von Interesse, wie groß die Entfernung zum Gewässer ist und wie mächtig und durchlässig die Deckschichten sind.

Die Verringerung der Nitratfrachten wird neben dem Rückhalt und die Immobilisierung vor allem durch Abbau im Aquifer verursacht. Die Nitratkonzentration ist negativ mit dem Gehalt an organischem Kohlenstoff, welcher zum Abbau verwendet wird, korreliert (Spruill 2002).

Prozesse zur Minderung der Stickstofffrachten sind:

- ⇒ Abbau (Reduktion von Nitrat- Denitrifikation)
- ⇒ Verflüchtigung (von NH_4) aus der oberen Bodenschicht (Wirtschaftsdünger aus der Tierhaltung)
- ⇒ Filterung, Verzögerung
- ⇒ Immobilisierung
- ⇒ Aufnahme, Sorption

Die Transitzeiten können von Tagen im Gewässerrandbereich bis zu Jahrzehnten oder Jahrhunderten reichen. Es sind mit Ausnahme der Jahre der höchsten Nährstoffapplikation, das sind die Jahre 1970/89 für das Einzugsgebiet der Elbe (Kunkel und Wendeland 1999) nur jene Flächen für den Austrag von Nährstoffen relevant, deren Austragsfristen kleiner als 30 Jahre betragen, darüber findet eine fast vollständige Reduktion des Nitrats statt. Laut Böttcher und Strebel (1998) beträgt die Halbwertszeit für Nitratabbau zwischen 1,2 bis 2,1 Jahre². Eine Ermittlung der Austragsisochronen, insbesondere der austragssensiblen Flächen mit Austragsfristen von weniger als 10 Jahren, sind daher laut QUAST (2001) notwendig und ausreichend.

Nur für diese sensiblen Flächen sind spezielle Minderungsstrategien gegen Nährstoffaustrag zum Ziele des Fließgewässerschutzes erforderlich. Nur dort ist der Ausweis des Nährstoffüberschusses und der Austragsraten sinnvoll. Für den Grundwasserschutz ist für den Nährstoffeintrag vor allem der Flurabstand und die Untergrundbeschaffenheit von Interesse.

2.4.1 Aufbau des Untergrundes, Geologie

Um Fließgewässertypen zu differenzieren ist die Geologie ein maßgebender Faktor. Durch den geologischen Untergrund wird sowohl die Erosivität als auch die Wasserdurchlässigkeit bestimmt. Sie bestimmt damit auch die Form des Tales und das Gewässernetz.

Beim Grundwasser kann man drei große Grundtypen unterscheiden: Kluft-, Karst- und Porengrundwassergebiete.

Porengrundwassergebiete sind in den fluvialen Ablagerungen der Flusstäler zu finden oder in großräumigen Becken (Wiener Becken, Steirisches Becken, etc.).

² In Kapitel 4.8 werden die Ergebnisse für die Untersuchungen in den Einzugsgebieten dargestellt, Im Wulkaeinzugsgebiet liegen die Abbauraten höher.

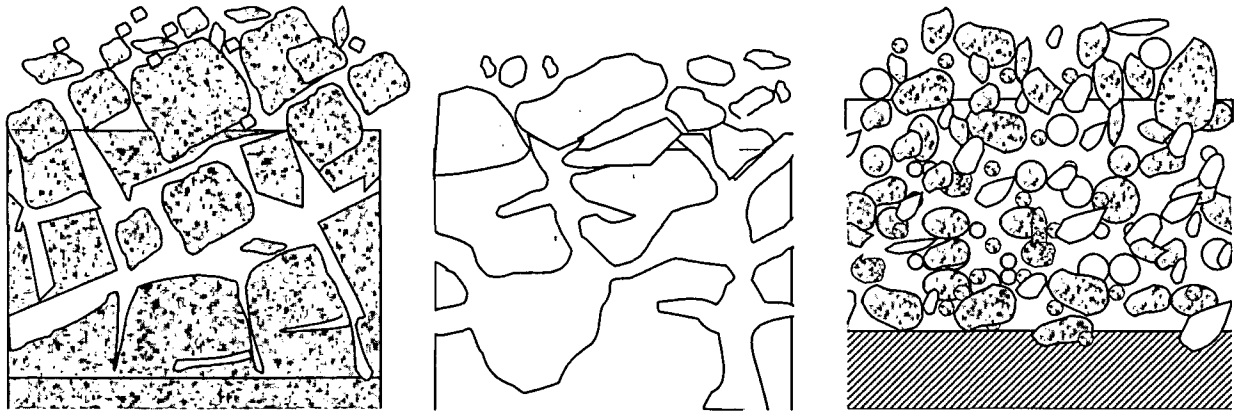


Abbildung 2-11: Kluff-, Karst- und Porengrundwasser

Kluff- und Karstgrundwasser sind wegen ihrer besonderen Infiltrationsbedingungen und ihres geringen Reinigungspotentials besonders empfindlich in Bezug auf Verunreinigungen/Nährstoffeintrag. Festgestein können verkarstungsfähige (Kalk) oder nicht verkarstungsfähige (Sandstein) Sedimentgesteine oder magmatische / metamorphe Gesteine (z.B. Granit) sein.

Festgesteine bilden z. T. ausgedehnte Grundwasserleiter. In den nördlichen Kalkalpen liegt Karstgrundwasser vor, aus dem auch Wien den größten Teil des Trinkwassers bezieht. Kluffgrundwasser gibt es z. B. in der Böhmisches Masse.

Karst

Zu den verkarstungsfähigen Gesteinen gehören Dolomit, Kalk und Marmor. In dem Festgestein gibt es zwei Arten von Hohlräumen, die Poren und die sekundären Hohlräume. Für den Wassertransport spielen erstere kaum eine Rolle. Bei den sekundären Hohlräumen (Karrenberg 1981) unterscheidet man zwischen Trennfugen (Schichtungen, Klüfte, Störungen, Scherfugen) und Höhlungen (Schläuche, Kanäle, welche im Falle von verkarstungsfähigen Gestein v.a. durch Lösungsvorgänge entstanden sind). Den Grad der Verwitterung kann man an typischen kleinräumigen und großräumigen Verwitterungsformen des Karstes erkennen. Kleinformen sind verschiedene Arten von Karren und Dolinen, wie links in Abbildung 2-12 dargestellt.

Die Verwitterungsformen des Karstes im 3-D-Modell und deren Auswirkungen auf die Fließzeiten beim Karst sind rechts in Abbildung 2-12 zu erkennen.

Das erste Fließsystem umfasst die Grundwasserbewegungen in Kleinklüften und Poren, die Geschwindigkeiten sind gering, die Verweilzeiten hoch. Neubildung erfolgt aus Infiltration aus Niederschlägen und aus Großklüften.

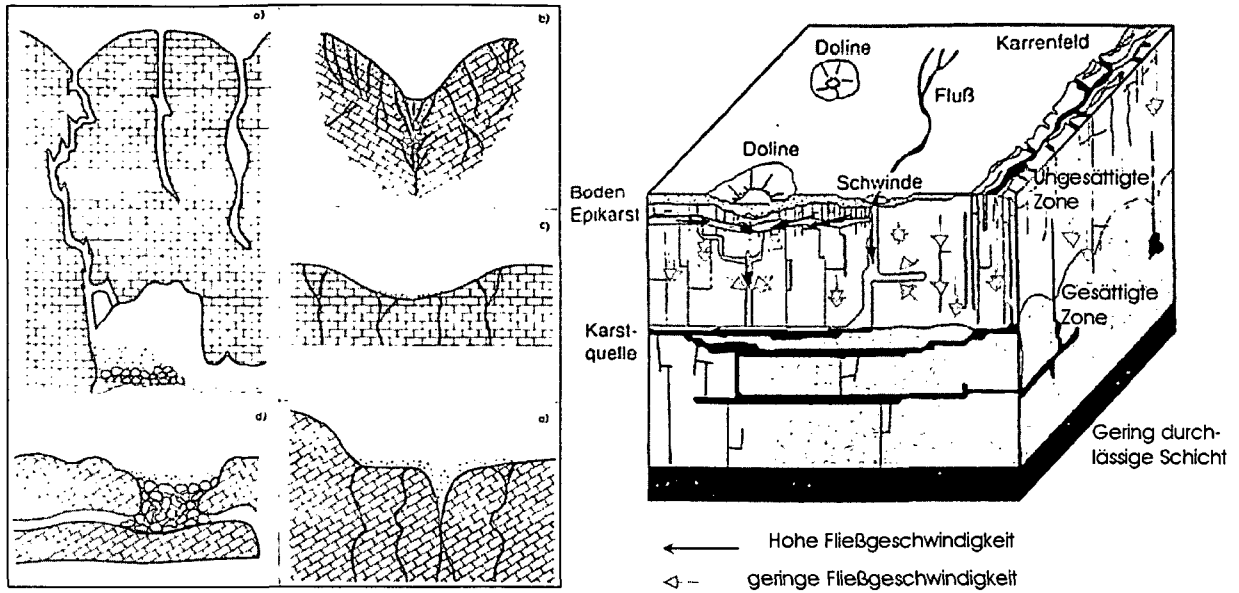


Abbildung 2-12: Dolinentypen³ und Fließwege in Abhängigkeit der Verwitterung beim Karst⁴

a: Karstschlot, b: Trichterdoline, c: Schlüsseldoline, d: Einsturzpoline, e: Ponordoline

Hohe Fließgeschwindigkeiten herrschen im zweiten Fließsystem der Großklüfte, Störungen und Karsthohlräume. Das zweite Fließsystem drainiert das erste Fließsystem, die Verweilzeiten sind kurz.

Abstandsgeschwindigkeiten können mehrere 100m/h erreichen (Plum 1998), die Fließrichtung folgt dem Kluffnetz, welches von dem Potentialgefälle stark abweichen kann. Eine Bestimmung der Grundwasserfließrichtung und eine Abgrenzung der unterirdischen Einzugsgebiete erfolgt häufig mit Markierungsversuchen.

Zu den Untersuchungen der großräumigen Karsterscheinungen gehört die Karsthydrographie, Erscheinungen wie Karsthöhlen und -quellen, Poljen, Karstebenen, Kuppenkarst etc.

³ (Wilhelmy_III 1975)

⁴ aus Dörflinger & Zwahlen (1995) zitiert in Plum (1998), verändert

Kluftgrundwasser

Der Grad der Verwitterung in den Festgesteinen spielt für die Durchlässigkeit und das Porenvolumen eine große Rolle.

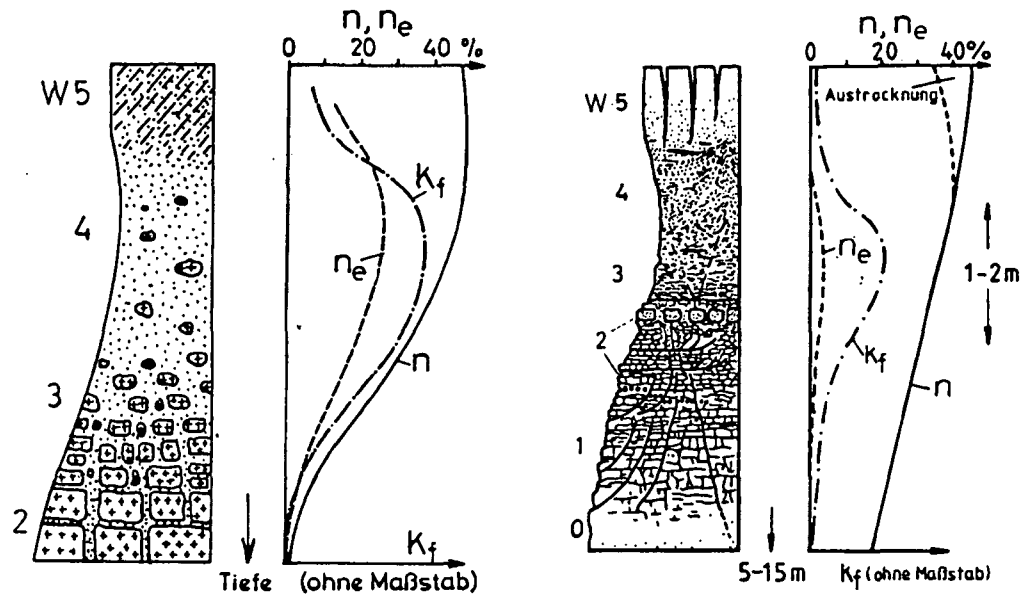


Abbildung 2-13: Verwitterungsprofil eines Granits und eines Tonsteins⁵

Abbildung 2-13 zeigt die Veränderung der hydraulischen Leitfähigkeit k_f , der Porosität n und der effektiven Porosität n_e des Verwitterungsprofils von Granit und Tonstein.

Für den Wassertransport spielen auch hier die u.a. durch Tektonik, Abkühlung und Verwitterung entstandenen sekundären Hohlräume, v.a. Trennfugen (Schieferungsfugen, Klüfte, Störungen, Scherfugen, Schichtfugen) die wesentlichste Rolle.

Die Verwitterungsschicht kann von einigen Dezimetern bis in den Zehnermeterbereich reichen. Die größte Durchlässigkeit liegt bei 10^{-3} bis 10^{-5} m/s (Einsele 1992).

Abbildung 2-14 zeigt die Bedeutung von Hangauflockerungen und Verwitterungen am Beispiel eines karbonatisch gebundenen Sandsteines mit Werten für die Durchlässigkeit k_f und dem nutzbaren Speichervolumen n_{sp} .

⁵ (Einsele 1992)

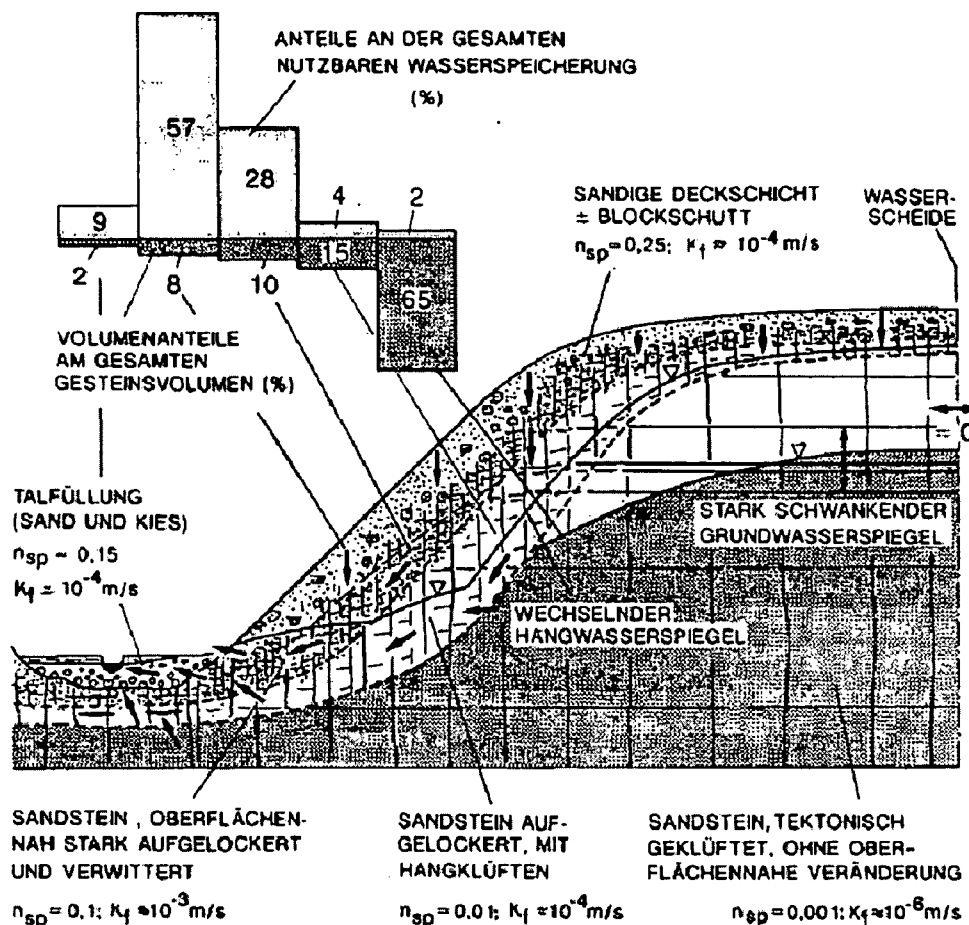


Abbildung 2-14: Schwankung der Porosität und Wasserspeicherefähigkeit am Hang durch Verwitterung (Einsele 1992)

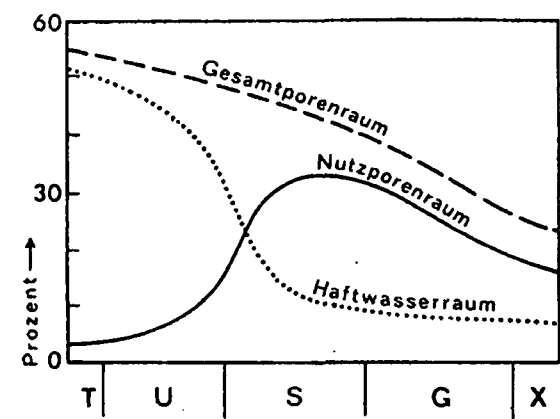
In Abbildung 2-15 sind einige Richtwerte für Durchlässigkeiten einzelner Festgesteine zu finden.

| Gesteinsart | Gesamtporosität [%] | Nutzbare Porosität [%] | Nutzbares Kluffvolumen [%] |
|------------------------------------|---------------------|------------------------|----------------------------|
| Sandsteine, Konglomerate | 0,4 - 37 (1-20) | 0 - 32 (2-15) | 0,1 - 5 (1-1,5) |
| Ton- und Mergelsteine, Tonschiefer | 5 - 40 | (<1) | <0,1 - 2 (<0,1-0,5) |
| Kalksteine | 0,1 - 40 | <4 (<1) | 0,2 - 5 |
| Vulkanite, Kompakt | 0,1 - 5 | - (0,1 - 2) | 0,2 - 5 |
| Pyroklastite | 6 - 60 | 2 - 33 | - |

Abbildung 2-15: Hohraumanteile und Porositäten in Festgestein (Plum 1998)

Porengrundwasser

Beim Lockergestein sind es die Lagerungsdichte und die Kornzusammensetzung und die damit zusammenhängende Porosität und Durchlässigkeit, die die Eigenschaften des Grundwasserkörpers bestimmen. Das größte nutzbare Porenvolumen besitzt Sand. Bei Ton ist das effektive Porenvolumen aufgrund der großen Kornoberfläche kleiner, zum Kies hin nimmt der Gesamtporenraum ab.



| | | |
|---------------------|---------------------|-----|
| reiner Kies | $10^{-1} - 10^{-2}$ | m/s |
| grobkörniger Sand | um 10^{-3} | m/s |
| mittelkörniger Sand | $10^{-3} - 10^{-4}$ | m/s |
| feinkörniger Sand | $10^{-4} - 10^{-5}$ | m/s |
| schluffiger Sand | $10^{-5} - 10^{-7}$ | m/s |
| toniger Schluff | $10^{-6} - 10^{-9}$ | m/s |
| Ton | $< 10^{-9}$ | m/s |

| | |
|----------------------|-------------------------|
| gut durchlässig | $k_f > 10^{-5}$ |
| schlecht durchlässig | $k_f 10^{-5} - 10^{-9}$ |
| undurchlässig | $k_f < 10^{-9}$ |

Hohlraumanteile, Haftwasserraum und Porositäten in Abhängigkeit der Korngrößen klastischer Sedimente

T=Ton, U=Schluff, S= Sand, G= Kies, X= Steine

Größenordnungen der Durchlässigkeitsbeiwerte k_f für Lockergesteine und deren Bewertung nach Casagrande

Abbildung 2-16: Eigenschaften der Porengrundwasser⁶

Die Größe des Porengrundwasserkörpers im oberen Flusslauf kann man oft an der Form der Täler ablesen. Siehe hierzu auch Abbildung 2-25.

Eine Abschätzung der Fließwege und -zeiten für die Porengrundwasserkörper der untersuchten Einzugsgebiete (mit Hilfe des Hohlraumanteiles und der Durchlässigkeiten) erfolgt in Kapitel 4.8.

Nicht nur das Grundwassertyp, sondern auch der Aufbau des Untergrundes bestimmen die Wasserwege und den Nährstofftransport. Fließwege entstehen oft an Übergangflächen von durchlässigen zu undurchlässigen Schichten.

Es sind in den Einzugsgebieten meist verschiedene Arten von Grundwasser enthalten und auch die einzelnen Grundwassertypen können sehr heterogen sein. Eine Vorstellung der Größenordnungen und Bandbreiten der Gesteinsdurchlässigkeiten soll Abbildung 2-17 geben.

⁶ Hölting (1980) nach Davis und De Wiest, (1966); Hölting (1980)

| Gesteine bzw. Gesteinskörper | | Leiter | Gering-leiter | Nicht-leiter |
|------------------------------|---|--|---------------|--------------|
| Lockergesteine | Kiese | ———— | | |
| | Sand-Kies-Gemische | ———— | | |
| | grobe Sande | ———— | | |
| | mittelkörnige Sande | ———— | | |
| | feine Sande | ———— | | |
| | sehr feine Sande | ----- | ———— | |
| | Sand-Schluff-Gemische | ----- | ———— | |
| | Geschiebelehme u. dgl. | | ———— | |
| | Schluffe, sandige Tone | | ———— | ----- |
| | unverwitterte Tone | | ----- | ———— |
| Festgesteine | Kalke, nicht verkarstet | ———— | | ———— |
| | | { als Gestein im Gesteinsverband, meist zerklüftet | | |
| | Sandsteine | ———— | ----- | ———— |
| | | { als Gestein im Gesteinsverband, meist zerklüftet | | |
| | Basalte | ———— | ———— | ———— |
| | | { als Gestein als Extrusivkörper | | |
| Gips | ———— | | ———— | |
| | { als Gestein im Gesteinsverband, wenn verkarstet | | | |
| Ionige Gesteine | ----- | ———— | ———— | |
| | { als Gestein im Gesteinsverband | | | |
| Steinsalz | | | ———— | |
| | { als Gestein im Gesteinsverband | | | |

Abbildung 2-17: Durchlässigkeiten von Gesteinen, Übersicht (Hölting 1980)

2.4.2 Geomorphologie der Täler

Talformen

Talformen entstehen in Abhängigkeit von den hangbildenden Gesteinen, dem Klima, der Tektonik, der Wasserführung, den Sedimenten und dem Gefälle. Sanft geböschte Talhänge entstehen in dünnblättrigen, wasserundurchlässigen Tonschiefern und Phylliten, steile Felswände in Quarziten und Kalk, mittelsteile Hänge in Dolomiten und vergrusten Graniten.

Die Talform kann demnach auch Aufschluss über die möglichen Grundwasservorkommen und Fließwege geben.

In unseren feucht-gemäßigten Waldklimaten ist das Relief fast völlig, nach Büdels zu 95-97%, zitiert in Wilhelmy_IV (1975), durch vorzeitliche Morphodynamik geprägt.

Anhand einiger grundlegender Talausprägungen⁷ sollen die möglichen Fließwege und Grundwasserkörper dargestellt werden. Häufig sind Kombinationen dieser Typen anzutreffen oder sie wechseln einander ab.

Klamm

Das Tal ist sehr schmal und tief, die Talwände sind fast senkrecht aufsteigend, der Fluss nimmt die volle Breite der Sohle ein. Das erosive Einschneiden des Flusses erfolgte „sägeartig“, also mit der gleichen Breite über die Tiefe, in kurzer Zeit. Die Steilheit ist gesteinsbedingt (Kalk) aber auch ein Hinweis auf die Entstehung durch Gletscher. Die stark übersteilten Hänge sind typisch in den nördlichen Kalkalpen. Ein Porengrundwasserkörper ist nicht vorhanden. Das Wasser fließt schnell ab, auch im Untergrund über Karsterscheinungen.

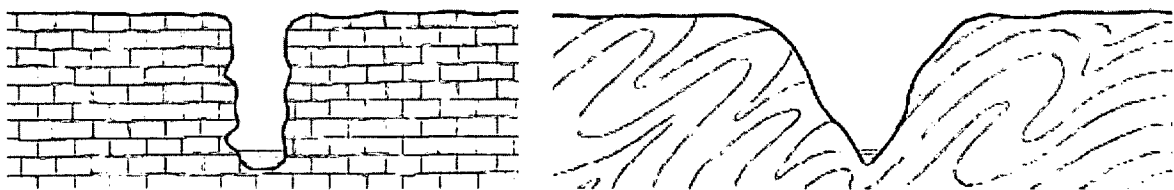


Abbildung 2-18: Klamm und Kerbtal nach (Wilhelmy_II 1975)

Kerbtal

Das Kerbtal ist ein im Querschnitt V-förmiges Erosionstal, wo sich nur bereichsweise ein schmaler Talboden ausbilden kann. Dieses Tal entspricht der reinen Erosionsform des Wassers. Aufgrund der steilen Hänge und des weitgehend fehlenden Talbodens kann hier kein nennenswertes Porengrundwasser vorhanden sein. Die steilen Hänge lassen auf ein Gestein wie z.B. Kristallin oder

⁷ nach Wilhelmy_II, H. (1975)., Mangelsdorf, J., K. Scheurmann, et al. (1990), Muhar, S. (1996)

Kalk, Dolomit schließen. Im oberen Talbereich sind die Böschungen am steilsten, nach unten hin verflachen sich die Täler allmählich zu einer Art Muldenform.

Die Abflusskomponenten sind, in Abhängigkeit der Steilheit und des Verwitterungsgrades, oft oberflächlich oder oberflächennah. Im Gestein folgt das Wasser vorgegebenen Fließbahnen, auch im Flussbett hat das Wasser fast keine Bewegungsfreiheit und fließt rasch ab. Das Alter des Wassers ist gering, die Belastung mit Düngemitteln durch die Landwirtschaft der meist nicht bewirtschaftbaren, steilen Hänge allerdings auch. Eine Belastung durch Deposition und Erosion ist, auch anthropogenen Ursprungs (Verkehr und Schipisten), denkbar.

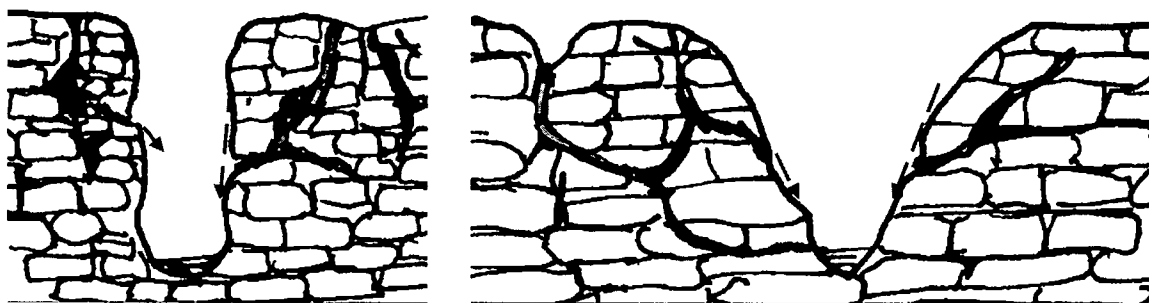


Abbildung 2-19: Klamm

Kerbtal, verwittert, Fließwege

Sohlenkerbtal (nach Louis in Muhar 1996)

Im Gegensatz zum Kerbtal sind hier Aufschüttungen vorhanden. Alluvium oder Gletschermaterial des Hauptflusses oder der Seitenflüsse bilden einen Talboden. Es kann sich ein flussparalleler Grundwasserstrom, auch unterhalb der Gewässersohle, ausbilden. Das Sohlenkerbtal bildet die Übergangsform zwischen Sohlental und Kerbtal, welche in den Kalkalpen und der Flyschzone vorkommt. Diese Talform existiert laut Wilhelmy_II (1975) nicht als eigenständige Talform.

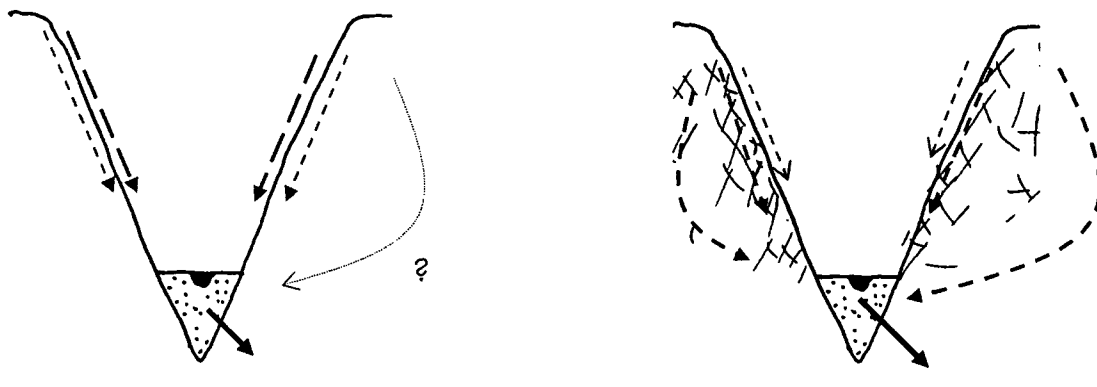


Abbildung 2-20: Sohlenkerbtal; unverwittert, verwittert

Sohlental, Muldental, Kehltal und Trogtal liegen zwischen den Talformen des

Sohlenkerbtals und der Talebene. Die Hänge werden flacher.

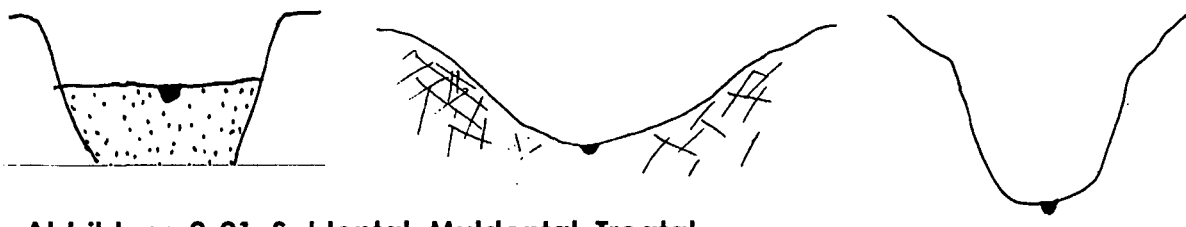


Abbildung 2-21: Sohlintal, Muldental, Trogtal

Das **Sohlintal**, auch **Kastental** genannt, ist durch Seitenerosion oder Aufschüttung aus anderen Talformen entstanden. Es hat glatte, steile Talhänge und einen deutlich abgesetzten breiten Talboden. Im Vergleich zum Sohlenkerbtal hat es daher einen größeren flussparallelen Porengrundwasserkörper. In der Regel sind diese Täler aus tief eingeschnittenen Kerbtälern durch Aufschüttung entstanden, das Gestein der Talhänge gleicht dem des Kerbtals, in den aufgrund von Verwitterung entstandenen Hohlräumen ist ein Karst- oder Kluftgrundwasserkörper wahrscheinlich. Man findet diese Täler in Flussmittel- und Unterläufen. Das Alter des Grundwassers ist größer als flussaufwärts.

Das **Muldental** bildet sich in weicherem Gestein aus, z.B. in verwitterten Dolomiten und Graniten wie in z.B. in der Böhmisches Masse. Sie sind in gemäßigten Breiten meist aus Kerbtälern hervorgegangen, deren unterer Bereich oft durch Solifluktuationschutt aufgefüllt ist (Wilhelmy_II 1975). Die „konkaven Hangschleppen“ vereinigen sich mit dem aufgefüllten Talgrund. Hier ist ein stark verwitterter Kluftgrundwasserkörper denkbar, in dem Schuttmaterial auch ein Porengrundwasserkörper.

Nur in den Tropen sind diese durch eine flächige Abspülung (wie in (Muhar 1996) für Österreich beschrieben) entstanden, dort sind Anschwemmungen, also ein möglicher Grundwasserkörper, nicht vorhanden.

Das wesentlich steilere **Trogtal** hat einen annähernd U-förmigen Querschnitt und bildet sich nur im festen Gestein aus. Das Trogtal ist die Erosionsform des Gletschers. Sie ist eine im Karst häufige Talform.

(Wilhelmy_II 1975) unterscheidet weiterhin Canons und Dammuferflüsse, welche aber für Österreich nicht relevant sind, sowie Flachmuldental und Kehltal. Diese Talformen kommen zum Beispiel im Sandstein vor und werden in wechselfeuchten Tropen durch fluviale Abtragung gebildet.

Talebene (nach (Muhar 1996))

Hier liegt keine eigentliche Talform vor. Das Gerinne verläuft im eigenen Alluvion. Ein hoher Anteil an Oberflächenabfluss ist aufgrund des kaum vorhandenen Gefälles nicht denkbar. Um eine genauere Beschreibung der unterirdischen Fließwege machen zu können, braucht man

Zusatzinformationen über die Tiefe des Grundwasserstauers, über die geologische Ausbildung der Talebene (Terrassenlandschaft, Schwemmland), die Breite des Tales, den Aufbau des Untergrundes, etc. In diesem sehr flachen Tal ist ein Karstgrundwasserkörper oder ein kristalliner Grundwasserkörper nicht denkbar, Festgestein ist nur unterhalb der Anschwemmungen zu finden. Diese Talformen liegen im Unterlauf der Flüsse vor. Im Ybbstal liegt eine Talebene in der Molassezone vor.



Abbildung 2-22: Talebene

Es können aber auch Grundwasserstockwerke vorliegen oder es können sich, beispielsweise durch undurchlässige Deckschichten, ganz andere Fließwege ausbilden.

Mächtigkeit des Aquifers

In Abhängigkeit von der Aquifermächtigkeit sind das Alter des Grundwassers, die Fließwege und dadurch auch die mögliche Belastung sehr unterschiedlich. Für eine Talebene soll das Abbildung 2-23 verdeutlichen.

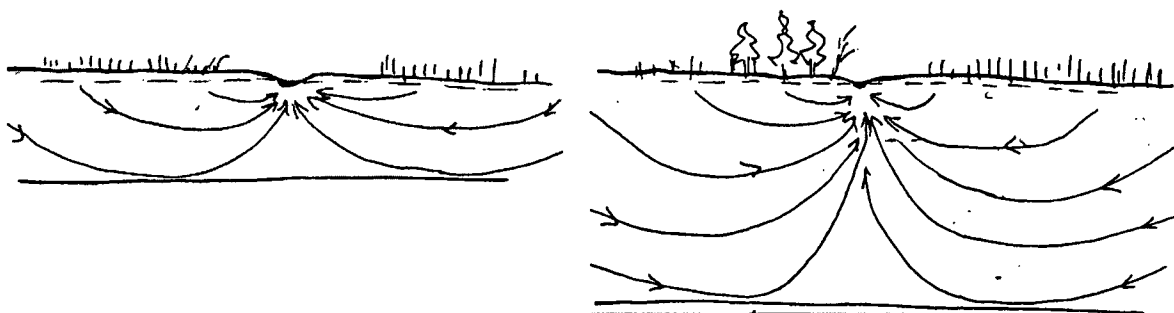


Abbildung 2-23: seichtes und tiefes Grundwasser

Die Abbildung 2-22 und Abbildung 2-23 sind als Querschnitt räumlicher Körper und Fließwege zu verstehen.

Talterrassen (nach (Wilhelmy_II 1975))

Diese Talformen finden wir im unteren Flusslauf, wo die reinen Talformen durch Verflachungen des Talhanges unterbrochen werden; es können sich Gesimse,

Hangleisten oder breitere Terrassen ausbilden. Die Entstehung kann strukturbedingt sein (Widerstandsfähigkeit einzelner Schichten) oder erosionsbedingt (Tal-, Flussterrassen).

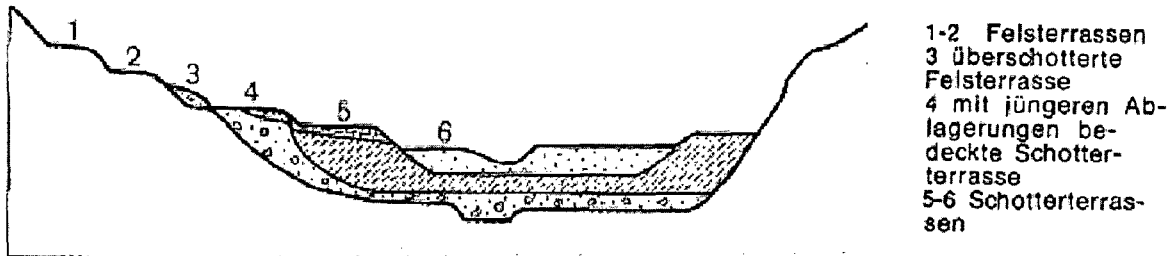


Abbildung 2-24: Talterrasse im Querprofil

Hier ist die Tiefenerosion zum Stillstand gekommen, sie sind häufig durch Aufschüttungen („Schotterterrassen“) gekennzeichnet. Je nach Form der Terrasse bzw. des Flusslaufes sind Rückschlüsse auf das Grundwasser möglich. Auch der Typ oder die Entwicklungsstufe eines Flusslaufes vermag Auskunft über den Untergrund und mögliche Grundwasservorkommen geben:

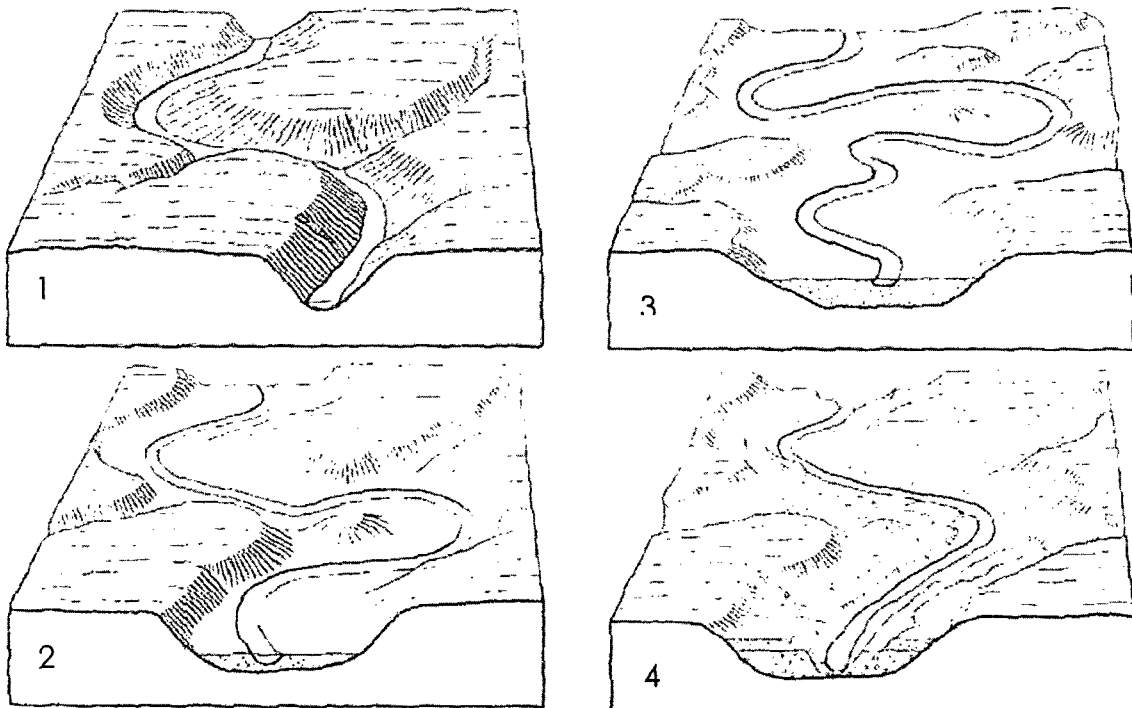
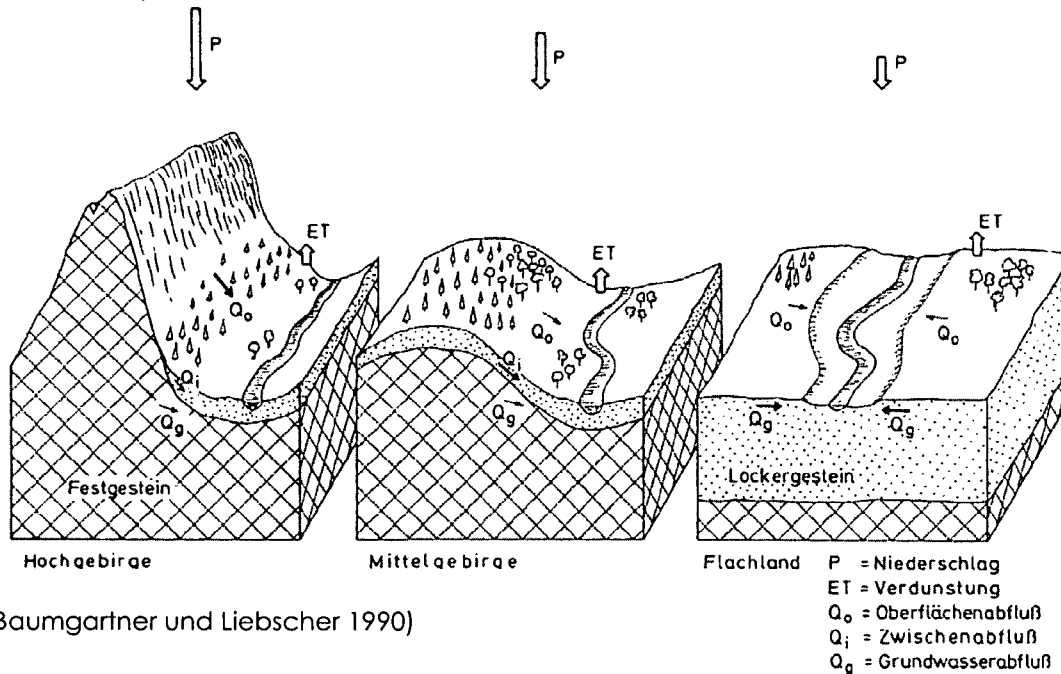


Abbildung 2-25: Entwicklung der Flussmäanders aus Talmäandern sowie zugehörige Sedimente nach (Wilhelmy_1 1975)

2.4.3 Einfluss der Talformen auf die Abflusskomponenten

Je nach Untergrundbeschaffenheit (also Geologie, Durchlässigkeit, Verwitterungsgrad, etc) und der vorhandenen Hangneigung und Hanglänge bilden sich verstärkt schnelle, oberflächennahe Fließwege oder langsame Fließwege im Untergrund aus. Ein Beispiel aus der Literatur (Baumgartner und Liebscher 1990) soll diese Überlegung verdeutlichen:



(Baumgartner und Liebscher 1990)

Abbildung 2-26: Fließwege in Abhängigkeit von der Landschaftsform

Diese Überlegungen, welche für das obere Ybbstal (linkes Bild) das mittlere Ybbstal und die Talebenen der Wulka und Ybbs (rechtes Bild) übertragbar sind, machen deutlich, warum für den Nährstoffeintrag ins Grundwasser und in das Fließgewässer neben dem Austragspotential der betrachteten Gebiete auch die Abflussanteile und für diese wiederum die Landschaftsform eine wichtige Rolle spielen muss.

Bei steilen Einzugsgebieten ist der Niederschlag höher, der Oberflächenabfluss groß. Die großen oberflächlichen Anteile des Abflusses lassen auf eine hohe Erosionsrate schließen. Diese Flächen tragen daher, in Abhängigkeit von der Bewirtschaftung, vor allem zum Austrag an Phosphor bei.

Je flacher ein Einzugsgebiet ist, desto größer wird der Anteil des Grundwassers, und desto langsamer wird auch der Abflussvorgang (siehe Abbildung 2-27). In den flachen Einzugsgebieten ist allerdings auch der Anteil an Wald kleiner und die oft erosionsgefährdeten landwirtschaftlichen Flächen überwiegen. Je kleiner die Geschwindigkeit und je tiefer das Grundwasservorkommen (Abbildung 2-23), desto höher ist die Aufenthaltszeit, welche eine wichtige Rolle für Abbau- und Retentionsvorgänge darstellt. Eine hohe

Aufenthaltszeit ist, bei passenden Untergrundverhältnissen (wenig Sauerstoff), mit einer höheren Abbaukapazität von Nitrat verbunden. Ob diese Überlegungen sich bewahrheiten, soll anhand konkreter Zahlen in den Teileinzugsgebieten noch genauer untersucht werden.

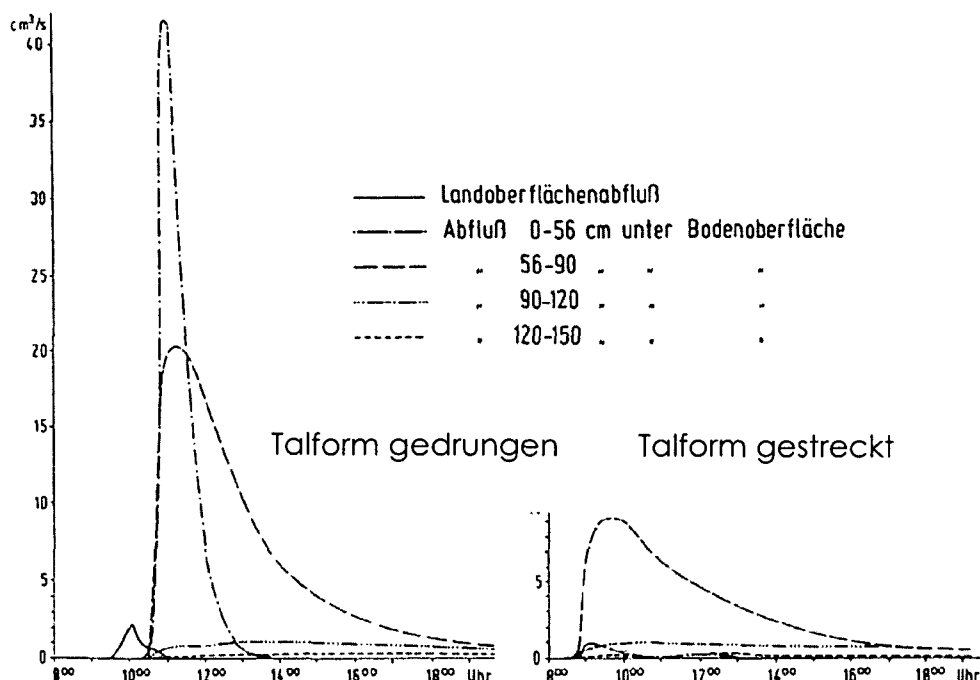


Abbildung 2-27: Einfluss der Fließwege auf die Geschwindigkeit und Höhe des Abflusses (Baumgartner und Liebscher 1990)

Neben dem Querschnitt haben auch die Form und die Größe des (oberirdischen) Einzugsgebietes einen großen Einfluss auf das Abflussverhalten bei starken Niederschlägen (Baumgartner und Liebscher 1990). Bei einem „kreisförmigen“ Gebiet ergibt eine gleichförmige Überregnung einen schnellen, hohen Abfluss, da die Laufzeiten aus allen Teilen des Gebietes ähnlich sind und die Spitzen sich überlagern. Bei einem langgestreckten Gebiet wird die Hochwasserwelle gedämpfter ausfallen, je gestreckter ein Einzugsgebiet ist, desto weniger wahrscheinlich ist ein zeitgleiches Eintreffen der Abflussspitzen. Die Abflüsse aus weit entfernten Teilgebieten werden stärker gedämpft, im Mittel sind die Laufzeiten geringer. Bei gleichmäßiger Überregnung treffen die Abflussspitzen der Teilgebiete nacheinander ein. Auch die Art der Überregnung bewirkt Unterschiede in der Abflusssituation (Dyck und Peschke). Bei unregelmäßigen Formen kann auch der Schwerpunkt des Gebietes einen Aufschluss über das Abflussverhalten geben.

Je größer ein Gebiet ist, desto „verwischter“ (gedämpfter) können einzelne Phänomene auftreten. So ist ein extremer Starkregen in einem großen Einzugsgebiet wahrscheinlich nur lokal anzutreffen, da Gewitterzellen eher kleinräumig auftreten. Auch diese Überlegung hat einen Einfluss auf den Nährstoff-

haushalt. In Kapitel 4.6.2. soll daher der Einfluss von Starkregenereignissen auf den Abflussvorgang in den Teileinzugsgebieten untersucht werden. Eine Betrachtung der Form erfolgt siehe Kapitel 4.3.

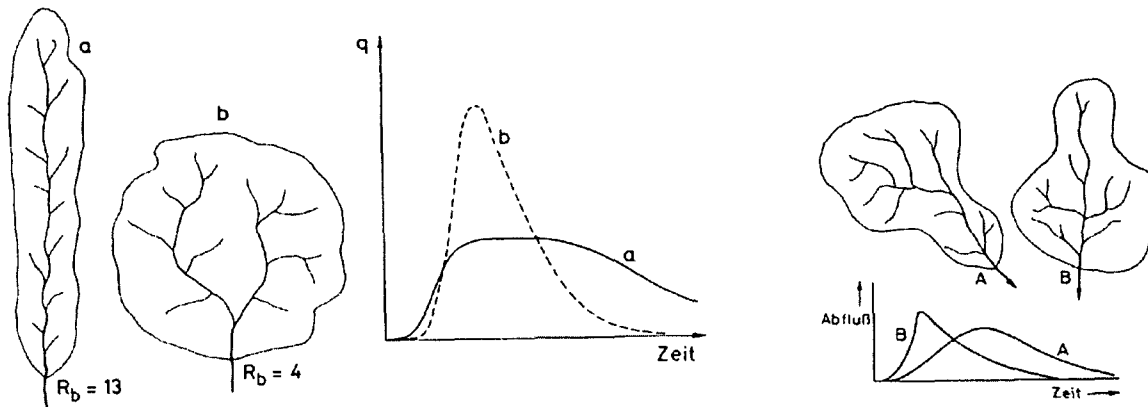


Abbildung 2-28: Einfluss der Form und des Schwerpunktes eines Einzugsgebietes auf die Abflussganglinie (Baumgartner und Liebscher 1990)

Diese Überlegung kann in den Ganglinienanalysen nur begrenzt Berücksichtigung finden, sie spielt nur bei Einzelereignissen eine wesentliche Rolle. Die Form des Einzugsgebietes hat auf Mittelwerte und die jahreszeitliche Betrachtung der Abflussverteilung keinen Einfluss.

2.4.4 Fließzeiten und Grundwasseralter

| Eigenschaften | homogen, isotrop | heterogen, anisotrop | extrem heterogen, anisotrop |
|---|--|--|---|
| Gesteinstyp | Lockergestein | Lockergestein, Festgestein | Festgestein |
| Aquifertyp | Porgrundwasserleiter | Porgrundwasserleiter, Kluftgrundwasserleiter, untergeordnet Karstgrundwasserleiter | Kluftgrundwasserleiter, Karstgrundwasserleiter |
| Verteilung der Fließgeschwindigkeiten im Aquifer (schematisch für einzelne Fließwege) | | | |
| Fließgesetz | linear (Darcy-Gleichung anwendbar) | meist noch linear (Darcy-Gleichung meist anwendbar) | z. T. turbulent (Darcy-Gleichung nicht oder nur näherungsweise anwendbar) |
| aus Pumpversuchen bestimmbar | T, k_p , S (bei freiem Aquifer: S = α_1) | T, k_p , S (bei freiem Aquifer: S = α_1) | T?, S? |
| aus Markierungsversuchen bestimmbar | v , k_p , α_1 , (k_p/α_1) , D | v , k_p , α_1 , (k_p/α_1) , D | v , (k_p/α_1) , D? |

T Transmissivität
 k_p Durchlässigkeit
 S Speicherkoeffizient
 α_1 durchflußwirksamer Hohlraumanteil
 D Dispersion
 v Abstandsgeschwindigkeit
 ? Bestimmung fragwürdig oder nicht möglich

Abbildung 2-29: Fließgesetz und Gesteinstyp (Plum 1998)

Darcy-Gesetz:

$$v_f = k_f \cdot i \quad (\text{Filtergeschwindigkeit} = \text{Leitfähigkeit} \cdot \text{hydraulischer Gradient})$$

Aus der Filtergeschwindigkeit kann die Abstandsgeschwindigkeit durch Division mit der effektiven Porosität errechnet werden. Er kann im Labor mit dem Filterversuch nach Darcy oder im Feld, zum Beispiel mit einem Pumpversuch, bestimmt werden. Diese Formeln gelten für homogene, isotrope und stationäre Grundwasserverhältnisse. Meist schwanken die k_f Werte erheblich.

$$v_a = \frac{k_f}{n} \cdot i$$

(Abstandsgeschwindigkeit = Leitfähigkeit/eff. Porosität * hydraul. Gradient)

Aus Abstandsgeschwindigkeit und Fließweg s ergibt sich die mittlere Verweilzeit t : $t = v_a \cdot s$

Diese entspricht der mittleren Transitzeit der Stofffronten durch den Aquifer (Kunkel und Wendeland 1999). Abschätzungen für die untersuchten Einzugsgebiete finden sich in Kapitel 4.

Darcy für Festgestein

$$T = k_f \cdot M \quad (\text{Transmissivität} = \text{Durchlässigkeit} \cdot \text{Mächtigkeit})$$

Die Transmissivität T ist das Integral der Durchlässigkeiten über die Grundwassermächtigkeit. Aufgrund der Schichtfolgen und Inhomogenitäten im zerklüfteten Festgestein beschreibt dieser Parameter die Durchlässigkeit der Festgesteine besser als der k_f Wert, welcher daher in der Formel von Darcy ersetzt wird durch:

$$k_f(\text{Festgestein}) = \frac{T}{M}$$

Der k_f Wert kann zum Beispiel aus Pumpversuchen bestimmt werden.

2.4.5 Austragssensible Flächen

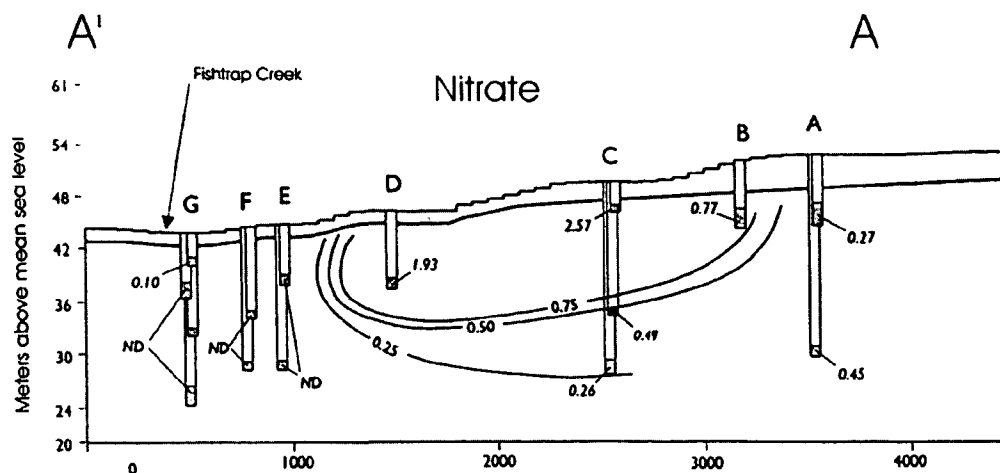
Karst

Kluft- und Karstgrundwasser sind wegen ihrer besonderen Infiltrationsbedingungen und ihres geringen Reinigungspotentials besonders empfindlich in Bezug auf Verunreinigungen und Nährstoffeintrag. Aufgrund der oft unbekannteren Fließwege kann keine allgemeingültige Aussage gemacht werden. Wasser aus weiter entfernten Gebieten können unter Umständen schneller ins Gewässer gelangen als aus flussnahen Bereichen. Meistens sind die Verweilzeiten sehr kurz. Ein Karstuntergrund ist daher als sensibel zu bewerten. In Österreich liegen die großen Karstgebiete der nördlichen Kalkalpen in einem landwirtschaftlich wenig intensiv genutzten Gebiet, wodurch das Risiko von Nährstoffeinträgen von Ackerflächen gering ist. Ein Eintrag von organischem Dünger durch Weidevieh, sowie ein Eintrag durch Deposition ist, besonders in der Nähe von Ballungsräumen, möglich.

Die Stofftransport- und Reinigungsmechanismen entsprechen denen des Porengrundwasserkörpers, nämlich Advektion, Dispersion, Diffusion und Abbau. Die Abstandsgeschwindigkeiten können sehr hoch sein.

Porengrundwasser

Eine Abgrenzung im Porengrundwasser ist möglich. Es lassen sich Austragsisochronen nach dem Gesetz von Darcy errechnen oder aus Isotopenmessungen ableiten. Flächen mit Austragsfristen von weniger als 10 Jahren sind im Sinne des Nährstoffeintrages in die Fließgewässer als sensibel einzustufen. Bei homogenem Bodenaufbau sind das die gewässernahen Bereiche.



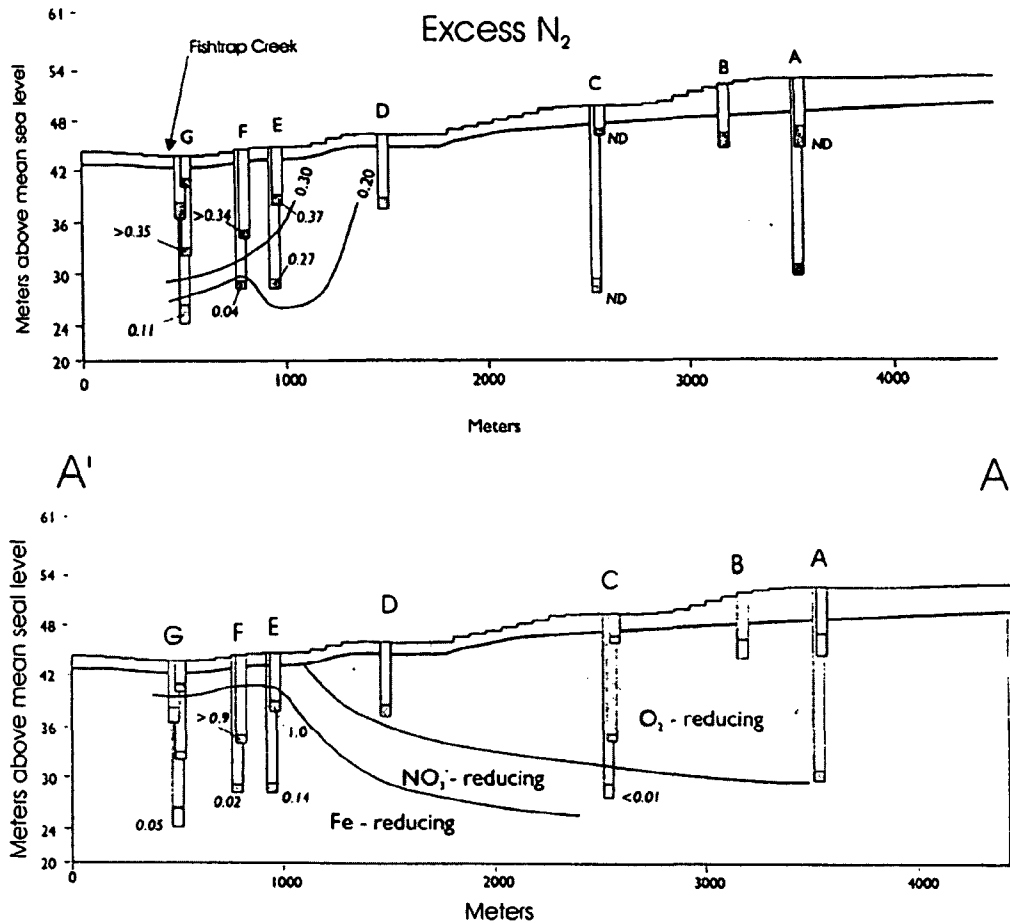


Abbildung 2-30: Denitrifikation, nachvollzogen mit Messdaten

(Tesoriero, Liebscher et al. 2000)

In Abbildung 2-30 ist ein Beispiel aus der Literatur dargestellt, welches die Nitratverteilungen, den Stickstoffaustrag und den Sauerstoffgehalt des Untergrundes in Abhängigkeit von der Entfernung zum Fließgewässer darstellt. In den Abbildungen kann man eindeutig erkennen, dass die gewässernahen („Fishtrap Creek“-nahen) Bereiche für den Eintrag von Nährstoffen am sensibelsten sind. Der eingetragene Stickstoff aus weiter entfernten Flächen hält sich lange genug in sauerstoffarmem Grundwasser auf, so dass ein weitgehender Abbau stattfinden kann.

Für den Eintrag von Phosphor sind die gewässernahen, steilen Flächen und das Vorhandensein möglicher Überschwemmungsgebiete wesentlich.

2.5 DRAINAGEN

Die Drainagen verändern den Fließweg (oberflächlicher Abfluss anstatt Abfluss über das Grundwasser) und verkürzen die Fließzeiten erheblich. Sie verhindern daher eine Filterung durch den Untergrund und eine Denitrifikation (es herrscht entlang des neuen Fließweges kein Sauerstoffmangel).

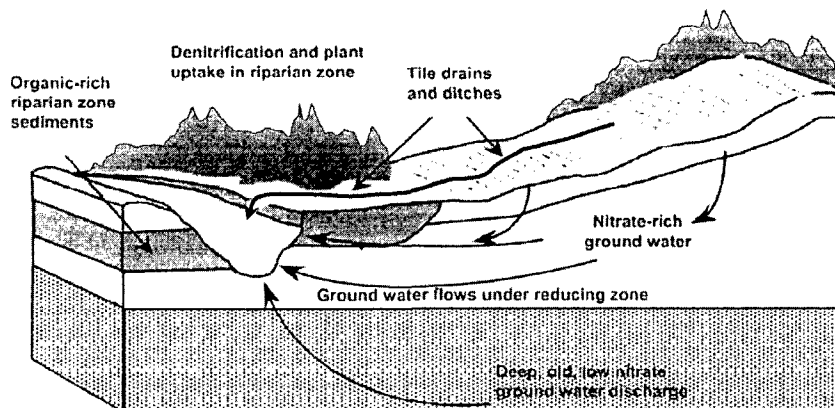


Abbildung 2-31: Verkürzung des Fließweges durch Drainagen (Puckett 2002)

Drainagen sind daher für den Eintrag von Stickstoff und Phosphor gleichermaßen maßgebend.

Die Austräge an Nitrat können daher in gut entwässerten Gebieten viel höher sein als in wenig drainierten.

2.6 FEUCHTFLÄCHEN

Durch den Rückhalt des Wassers im Gebiet ergibt sich eine Verlangsamung des Abflusses und durch eine erhöhte Verdunstung auch eine Abflussminderung. Die Feuchtflächen sind sauerstoffarm, wodurch ein Abbau von Nitrat durch Denitrifikation möglich ist. Diese positiven Effekte sind oft durch eine Entwässerung und landwirtschaftliche Nutzung der Gebiete ausgeschaltet worden.

Durch eine Wiedervernässung der Feuchtflächen im Elbetiefeland in Deutschland könnte man 50-60% des Wassers zurückhalten und einen Rückhalt an Stofffrachten von 20-50% (QUAST 2001) im Feuchtgebiet erreichen. Diese Flächen betragen an der Elbe zwar nur 10% des Einzugsgebietes, die entwässerten Gebiete liegen aber i.a. in den austragssensiblen Niederungen und haben daher einen großen Einfluss.

2.7 GEWÄSSERRANDSTREIFEN

2.7.1 Allgemeines, Definition

In den austragssensiblen gewässernahen Bereichen kann durch Gehölzstreifen ein deutlicher Minderungseffekt des Nährstoffeintrages in Gewässer erzielt werden. (Keitz u.a. 2002).

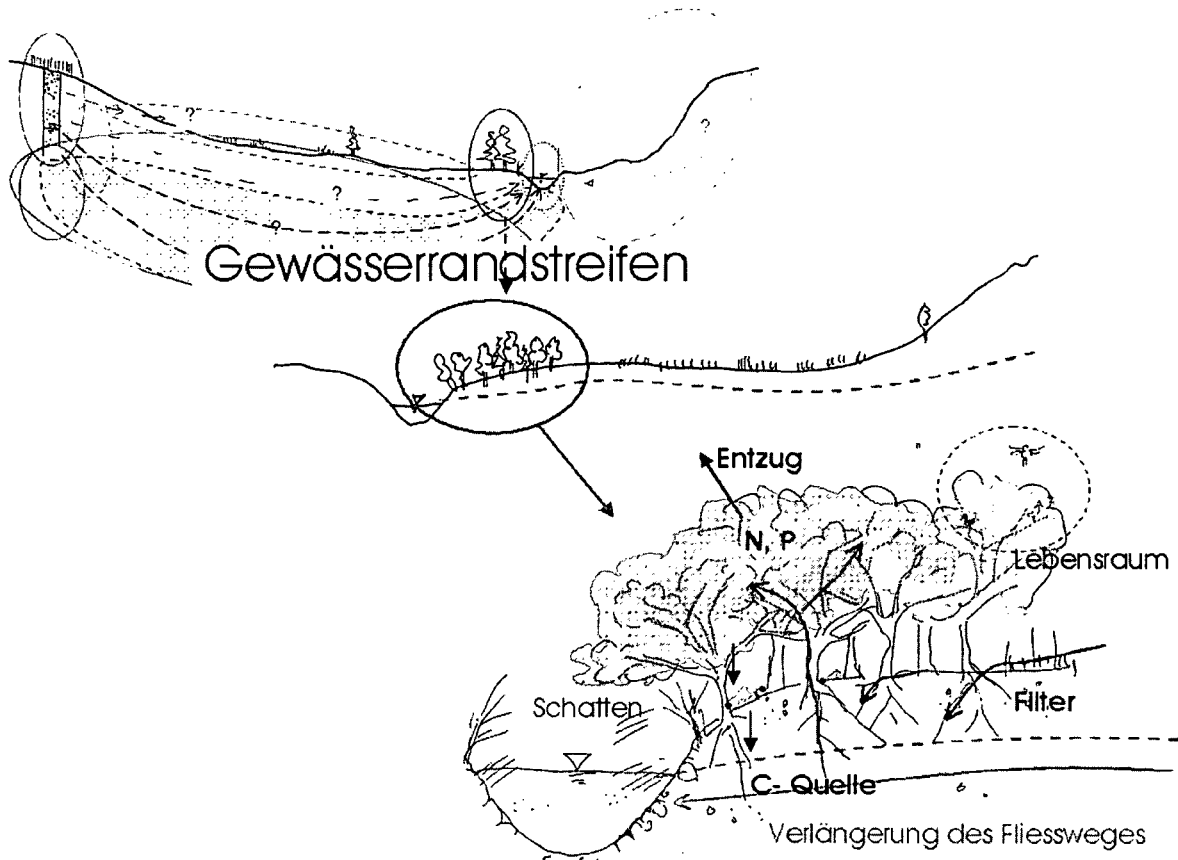


Abbildung 2-32: Gewässerrandstreifen im Kontext

In Gregory et al., 1991⁸, wird ein Gewässerrandstreifen als Fläche definiert, bei der direkte Wechselwirkungen zwischen terrestrischen und aquatischen Ökosystemen bestehen und deren Grenzen sich nach außen bis in die Überflutungszone erstrecken.

Spruill (2002) gibt eine Definition für Gewässerrandstreifen: "ribarian buffer are forested strips along a streambank and can range from a few to several hundred meters wide", er beschreibt sie also als bewaldete Streifen entlang von Uferbänken welche wenige Meter bis einige hundert Meter breit sein können.

⁸ zitiert in Tesoriero, A. J., H. Liebscher, et al. (2000).

In Hefting und de Klein (1998) wird eine erweiterte Definition verwendet, hier werden auch Grünstreifen als „riparian zone“ bezeichnet.

Die Vegetation der in Mander, Kuusemets et al. (1997) zitierten Arbeiten über Gewässerrandstreifen reicht von Sümpfen, Mooren über Grünland und Auenwälder bis zu verschiedenen Laubwäldern. Es wird auch eine Breite angegeben; die optimale Pufferzone ist 5-50 m breit.

Gewässerrandstreifen sind typischerweise eher in reduzierten Zustand als die eintretenden Grundwasserleiter (Tesoriero, Liebscher et al. 2000).

2.7.2 Ökologische Funktion eines Gewässerrandstreifens

Landschaft, Fauna und Flora, allgemeines

Die Funktionen der Randstreifen (nach Hefting and de Klein 1998, ergänzt) sind:

1. Filtern von Oberflächen und oberflächennahem Abfluss
2. Schutz der Ufer vor Erosion
3. Filtern der Luft
4. Verhinderung (Schwächung) des Makrophytenwachstums durch Beschattung (eine Beschattung bis 90% durch Ufergehölze ist möglich (Muhar 1996), was eine weitgehende Hemmung des Algenwachstums bewirkt)
5. Mikroklima in den angrenzenden Feldern verbessern
6. Neue Lebensräume schaffen
7. Verbindungen, Wanderzonen schaffen im Landschaftsbild
8. Aufnahme von Nährstoffen (Minderung der Frachten)
9. Kohlenstoffquelle für Denitrifikation
10. Verlängerung der Fließwege

Nährstoffabbau

Die Wirksamkeit hängt vor allem von dem Grad der Entwässerung und dem Anteil an Grundwasser am Abfluss ab (Spruill 2002). Damit die Pufferzonen für die Phosphor-reduktion wirksam bleiben, muss der Ertrag (organisches Material inklusive Nährstoffen) auch abgeführt (geerntet) werden (Mander, Kuusemets et al. 1997).

Denitrifikation⁹

Bei dem Stickstoff liegt die Wirksamkeit der Randstreifen vor allem darin, dass eine Denitrifikation aufgrund des ufernahen Bewuchses stattfinden kann. Durch das Laub der Bäume gibt es genügend organisches Material (Kohlenstoff) für den Abbau, was

⁹ Vergleiche hierzu Kapitel 2.2.2.

bei einem Transport über das Grundwasser, unter reduzierenden Verhältnissen, oft der limitierende Faktor ist (Puckett 2002).

Die biologischen Prozesse bei der Stickstoffentfernung sind (Mander, Kuusemets et al. 1997):

1. Aufnahme und Speicherung in der Vegetation
2. Mikrobielle Immobilisierung und Speicherung als organischer Stickstoff
3. Mikrobielle Umsetzung zu gasförmigen Stickstoff, also Denitrifikation

Die Denitrifikation besteht aus verschiedenen Unterschritten.

Es existieren zahlreiche Arbeiten zu Teilvorgängen beim Nitratabbau und Rückhalt; in der Zusammenschau von (Mander, Kuusemets et al. 1997) sind 26 Literaturstellen zitiert, sie beschäftigen sich mit der Stickstoffmineralisation, der Nitrifikation, der Denitrifikation, der Aufnahme durch Pflanzen, der Stickstofffixierung, der dissimilativen Reduktion von Nitrat und der Ammoniumverflüchtigung. Für die einzelnen Vorgänge werden Raten in kg N/ha und Jahr sowie die Vegetation der Pufferzone genannt.

In den untersuchten Gebieten der zitierten Arbeiten ergaben sich bei Stickstoffinputs zwischen 70 und 110 kg N/ha im Jahr niedrige Outputs aus den Pufferzonen, welche zwischen 9 und 13 kg je Hektar und Jahr lagen. Weiterhin ergab sich, dass junge Wälder eine höhere Aufnahme an Nährstoffen haben als ältere.

Ein weiterer Nährstoffabbau findet in der Gewässersohle statt. Hier ist das Maximum an Individuendichte in 20-30 cm Tiefe zu finden, 90% der gesamten (flussinternen) Bakterienmasse sind in den Bettsedimenten enthalten (Muhar 1996), eine Selbstreinigungskraft des Flusses ist daher nur möglich, wenn der Geschiebetrieb und die dynamische Umlagerung der Gewässersohle eine Durchströmung derselben ermöglichen.

Phosphorentfernung

Der Phosphor aus der Erosion macht den Großteil des in das Gewässer eingebrachten Phosphors aus.

Der Wirkungsgrad der heute bei Politikern und Wissenschaftlern so populären „riparian buffer“ (Randstreifen, Pufferzonen, Uferstrandstreifen) ist von vielen Faktoren abhängig. Essentielle Entscheidungen, welche Vegetation und welche Lage die Randstreifen haben bestimmen den Wirkungsgrad (Burkart and James 2002).

Bei kleineren Flüssen haben Uferstrandstreifen aufgrund des größeren Anteils an Wasser, welches sie aus den Randstreifen erhalten ein größeres Potential. Am günstigsten auf die Wasserqualität wirken sich solche Zonen daher bei Flüssen ersten Grades aus (Burkart and James 2002).

Die Speicherung (Rückhalt) des Phosphors erfolgt durch:

1. Adsorption
2. Aufnahme durch Pflanzen
3. Mikrobielle Aufnahme von P
4. bei Torf Aufnahme (Inkorporation)

Zu den einzelnen Prozessen findet man zahlreiche Literaturstellen. Die Prozesse sind unter anderem die Adsorption, die Sedimentation, die Inkorporation (Aufnahme), die Pflanzenaufnahme, die Mikrobielle Aufnahme, die Inaktivierung durch NO_3^- , die Freisetzung und die Rücklösung. In (Mander, Kuusemets et al. 1997) werden einige mit Reduktionsraten und Vegetationsart zusammengefasst.

2.7.3 Wirkungsgrad eines Randstreifens

Denitrifikation:

Die Gewässerrandstreifen ermöglichen durch ihren hohen Kohlenstoffgehalt eine Denitrifikation¹⁰. Eine Reduktion von Nitraten passiert aber auch im Aquifer. Die Nitratkonzentration ist negativ mit dem Gehalt an organischen Kohlenstoff korreliert.

(Spruill 2002) untersucht einen gut entwässerten Standort mit 100 m mächtigen Pufferzonen, intensiver Landwirtschaft (Getreide) und sandigem, seichten Grundwasserleiter auf Granit. An diesem Standort zeigen in Brunnen, welche 8 m in der Pufferzonen liegen, noch die gleichen, hohen Nitratgehalte, erst am Flussufer (nach 100 m Fließweg) ist das Nitrat verschwunden.

Die Nitratkonzentrationen sind in den gut entwässerten Gebieten viel höher, als in wenig drainierten.

Durch die verschiedenen Phänomene kann es zur vollständigen Denitrifikation oder sogar zu einer Anreicherung an Nitrat (NO_3^-) kommen. Man muss bei der Interpretation der Wirkung der Pufferzonen also sehr aufpassen.

In Puckett (2002) werden Reduktionsraten der Konzentrationen in Randstreifen um 50-75% zitiert.

Die Arbeit von Heffting and de Klein (1998) zeigt auf, dass in den Niederlanden 60% des Stickstoffes in den Gewässern aus der Landwirtschaft stammen und besagt, dass Randstreifen für die Reduktion der Belastung sehr wertvoll sind. Der bewaldete Randstreifen mit 45-55 m Breite kann, laut der zitierten Arbeit die Stickstofffracht um 95% vermindern. Die Abbaukapazität wird hier mit 9-200 kg N pro Jahr angegeben. In der Studie wird auch ein (nicht gedüngter) Grünstreifen mit 25 m Breite, vorgestellt, dessen Abbaukapazität zwischen 1,2 und 32 kg/ha und Jahr liegt.

¹⁰ Pufferzonen sind z.B. in den landwirtschaftlich intensiv genutzten Gebieten North Carolinas ein wirksames Mittel zur Nitratminderung. (Spruill 2002) In entwässerten Gebieten gibt er eine Reduktion von $\text{NO}_3\text{-N}$ durch die Pufferzonen von 6 auf 2 mg/l an, in kaum entwässerten Gebieten auf 0,02mg/l.

Entfernungsraten für Stickstoff der in Mander, Kuusemets et al. (1997) zusammengefassten Literatur liegen zwischen 21% für TKN (Total Kjeldahl Nitrogen, die Summe aus organischen Stickstoff und Ammoniak) in Texas, USA, in einem Grünlandstreifen zur Abwasserbehandlung und 99 % für Total N (Gesamtstickstoff) in Schleswig Holstein, Deutschland, ein Gewässerrandstreifen mit Erlen- bzw. Auenwald.

Aus der zitierten Literatur ergeben sich folgende Mittelwerte für die Reduktion der Nitratkonzentrationen im Grundwasser:

| | |
|--------------------------------|--------------------|
| Total-N (Gesamtstickstoff): | 78% bei 12 Studien |
| TKN (Total Kjeldahl Nitrogen): | 57 % bei 6 Studien |

Phosphorentfernung

Entfernungsraten für Phosphor der in Mander, Kuusemets et al. (1997) zitierten Literatur liegen zwischen 42% für Gesamtphosphor (Georgia, USA, Laubholz) und maximal 100% (Schleswig Holstein, Deutschland, Erlenwald bzw. Auenwald).

Der Mittelwert der zitierten 15 Studien beträgt 70% Reduktion für Gesamtphosphor, wobei einmal eine Erhöhung stattfand (diese blieb bei dem Mittelwert unberücksichtigt).

Weitere Gesichtspunkte

Bei der Betrachtung der Nitratkonzentrationen in den Pufferzonen, ist zu beachten, dass ein Eintrag von Nitrat auch innerhalb derselben möglich ist oder eine Verdünnung der NO_3^- -Konzentrationen durch Grundwasserneubildung in den Randstreifen erfolgen kann.

Weiterhin kann die Wirksamkeit der Randstreifen durch ein Umgehen derselben durch Drainagen beeinträchtigt sein (Puckett 2002).

Weitere Einflussfaktoren für die Denitrifikation sind neben dem Sauerstoff die Temperatur, der pH-Wert und die Konzentration der Nährstoffe.

Randzonen haben neben dem Potential Nährstoffe, insbesondere Nitrat zu entfernen, auch eine Reduktion der Schadstoffe zu Folge (Puckett 2002).

Zu beachten ist weiterhin, dass sich die angegebenen Reduktionsraten nicht alle Eintragspfade erfasst, es werden Nährstoffe aus Punktquellen unvermindert eingetragen.

2.7.4 Abflussanteile und Morphologie

Bei hohem Grundwasseranteil spielt die Pufferzone für Nitrat -als Ort an dem Denitrifikation möglich ist- eine wesentliche Rolle (Burkart and James 2002).

Lange Fliesswege und damit verbundene großen Aufenthaltszeiten des Grundwassers können eine (vollständige) Denitrifikation auch dann bewirken wenn wenig organischer Kohlenstoff vorhanden ist (Puckett 2002).

Bei sehr altem Grundwassers kann eine niedrige Konzentration an Nitrat auch deshalb vorliegen, weil zur Zeit der Grundwasserneubildung dieses Grundwassers wenig Düngemittel angewandt wurde und der Eintrag daher gering war.

Auch die Mächtigkeit des Aquifers spielt neben dem Alter des Grundwassers bei der Funktion der Randstreifen eine große Rolle. Ist die Grundwassermächtigkeit groß, so infiltriert nur ein Teil des Wassers, ein weiterer Teil verlängert seinen Fließweg, indem es flussparallel abfließt (Buxton and Modica 1998) oder zumindest längerer Fließwege zurücklegt (Puckett 2002).

Tiefes und somit älteres Grundwasser ist meist weniger belastet, da ein Abbau entlang des Fließweges erfolgen kann (Buxton and Modica 1998) oder es aus Zeiten stammt, in denen der Nährstoffeintrag in der Landwirtschaft geringer war.

Das Grundwasser im unteren Flusslauf ist meist älter und daher bei gleicher Landnutzung weniger belastet (Buxton and Modica 1998):

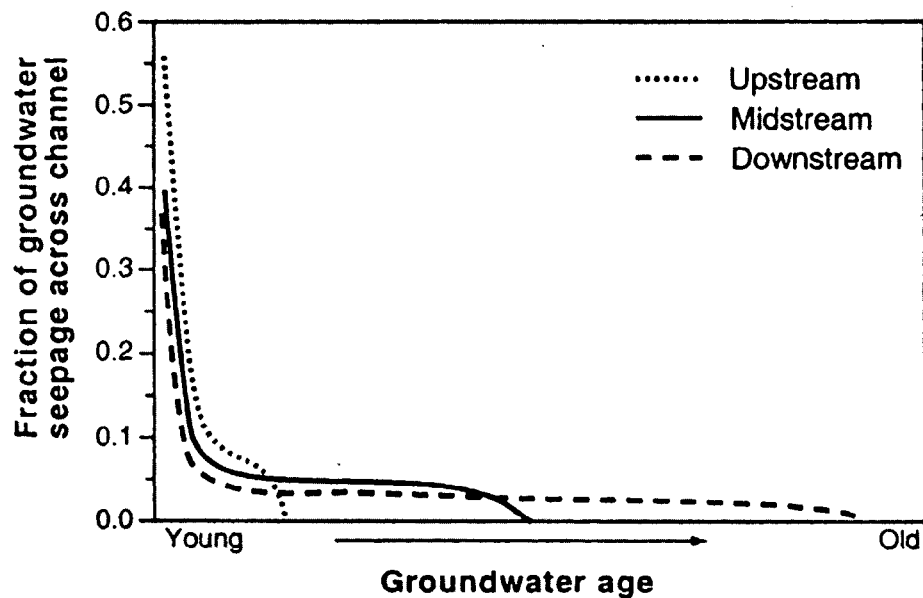


Abbildung 2-33: Zusammenhang zwischen Grundwasseralter und Flussabschnitt

Interessant für den Phosphoreintrag ist das Verhältnis zwischen Grundwasseranteil und Oberflächenabfluss am Gesamtabfluss (Burkart and James 2002).

Bei hohem Oberflächenabfluss wird partikulärer Phosphor eingetragen und kann durch Pufferzonen gefiltert werden.

Beim Phosphor kann auch die Form des Uferbereiches eine große Rolle spielen, da durch die Filterwirkung der Eintrag des partikulären Phosphors (zeitlich begrenzt) verhindert werden kann. Dieser Phosphor kann aber bei Staunässe rückgelöst werden.

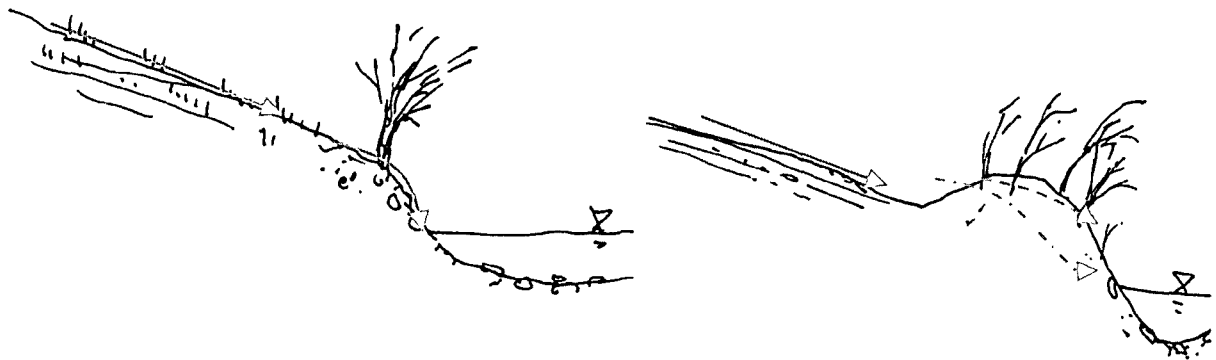


Abbildung 2-34: Oberflächenabfluss bei unterschiedlicher Uferausbildung

2.7.5 Zusammenfassung

In den austragssensiblen gewässernahen Bereichen kann durch Gehölzstreifen ein deutlicher Minderungseffekt des Nährstoffeintrages in Gewässer erzielt werden, weiterhin haben Randzonen auch eine Reduktion der Schadstoffe zu Folge. Sie haben darüber hinaus zahlreiche weitere ökologische Funktionen wie Erosionsschutz und Beschattung.

Die Vegetation der Gewässerrandstreifen reicht von Sümpfen, Mooren über Grünland und Auenwälder bis zu verschiedenen Laubwäldern.

Gewässerrandstreifen sind typischerweise eher in reduziertem Zustand als die eintretenden Grundwasserleiter, daher ist hier eine Denitrifikation möglich. Der ufernahe Bewuchs liefert das organische Material, also Kohlenstoff, für den Abbau. Weitere Einflussfaktoren für die Denitrifikation sind die Temperatur, der pH-Wert und die Konzentration der Nährstoffe.

Lange Fließwege und damit verbundene großen Aufenthaltszeiten des Grundwassers können eine vollständige Denitrifikation auch dann bewirken wenn wenig organischer Kohlenstoff vorhanden ist. Tiefes und somit älteres Grundwasser ist meist weniger belastet, es kann auch aus Zeiten stammen, in denen der Nährstoffeintrag in der Landwirtschaft geringer war.

Eine Reduktion der Nährstoffe (Stickstoff und Phosphor) erfolgt weiterhin durch Aufnahme, Immobilisierung und Adsorption.

Die Wirksamkeit der Randstreifen ist von vielen Faktoren abhängig, vor allem die Vegetation und Lage der Randstreifen bestimmen den Wirkungsgrad.

Damit die Pufferzonen für die Phosphorreduktion wirksam bleiben, muss der Ertrag (organisches Material inklusive Nährstoffen) auch abgeführt (geerntet) werden.

Weiterhin kann die Wirksamkeit der Randstreifen durch ein Umgehen derselben durch Drainagen beeinträchtigt sein.

2.8 FLUSSBETT UND TRANSPORT IM GERINNE

2.8.1 Interaktion von Fließgewässer und Grundwasser

Flusstyp, Flussparalleler Transport

Nicht in jedem Fall erfolgt eine Exfiltration aus dem Grundwasser in das Fließgewässer, wie bei den Rechnungen vereinfacht angenommen wird. Es kann auch ein flussparalleler Grundwasserstrom entstehen oder es kann, flusslaufbedingt, eine „Abkürzung“ des Weges über das Grundwasser erfolgen, wie in Abbildung 2-35 dargestellt.

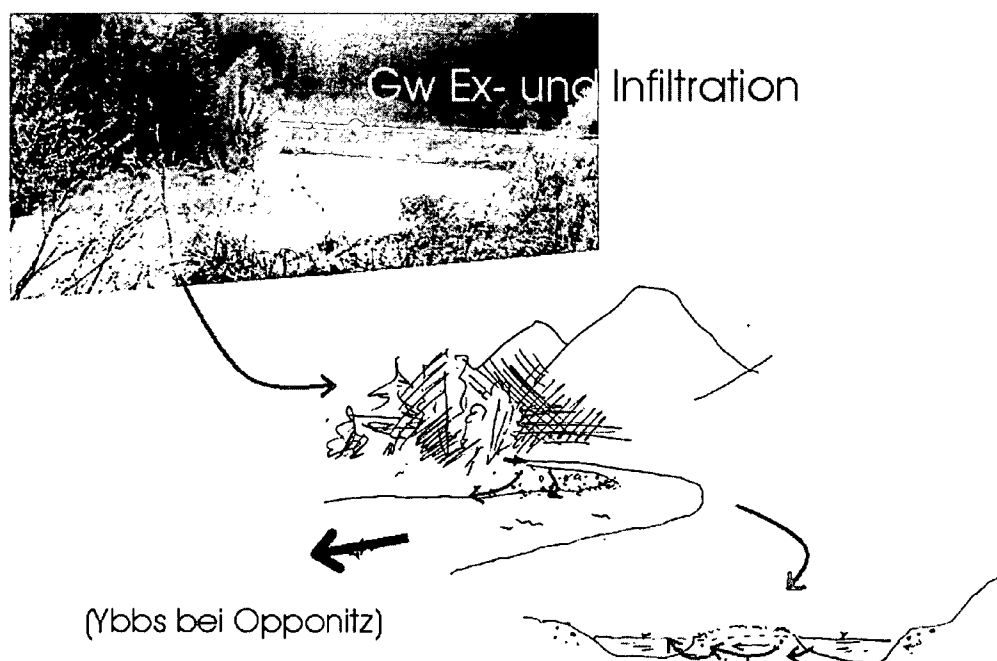


Abbildung 2-35: Fließwege des Grundwassers bei einer Flusskrümmung.

In Abhängigkeit des Flusstyps im morphologischen Sinn, also gestreckter Flusstyp, Furkation, gewundener, pendelnder Flusstyp oder Mäander [Mangelsdorf, Scheurmann et al. (1990) auch Muhar (1996)], des Gefälles und des Untergrundes, kann man Rückschlüsse auf den wahrscheinlichen Weg des Grundwassers (flussparallel, verkürzend, exfiltrierende ins Grundwasser) ziehen.

Exfiltration aus dem Fließgewässer, Infiltration in das Grundwasser

In Gebieten mit seichten Grundwasserkörpern, intensiver Landwirtschaft und hohen Temperaturen (Verdunstungsraten), vor allem im Frühjahr und Sommer, kann auch eine Speisung des Grundwasserkörpers durch das Oberflächengewässer erfolgen.

2.8.2 Gerinnequerschnitt: Hydraulik, Transport

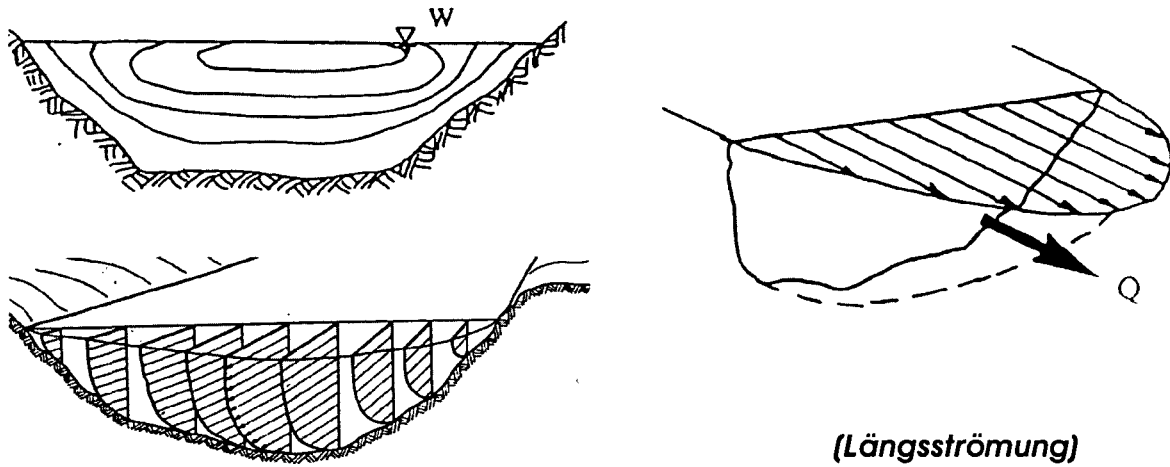


Abbildung 2-36: Geschwindigkeitsprofil eines Fließgewässers (Gutknecht 2000), (Dyck and Peschke)

Im Gerinne herrschen Geschwindigkeitsunterschiede. Die Geschwindigkeitsverteilung im Querschnitt ist in Abbildung 2-36 dargestellt. Am Rand herrschen die kleinsten Geschwindigkeiten, dort ist auch der Stofftransport am langsamsten.

Querströmung:
(Naudascher, 1992)

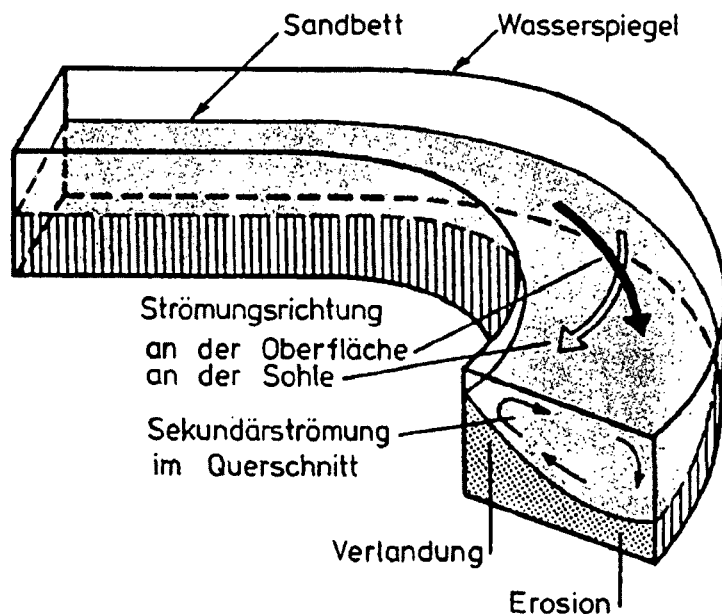


Abbildung 2-37: Querströmung eines Gerinnes im Bereich einer Krümmung.

Die Querströmung bewirkt eine Durchmischung des Wassers im Gerinne. In Abbildung 2-37 ist die Querströmung im Bereich einer Krümmung dargestellt.

2.8.3 Strukturausstattung des Gewässerbettes, Bewuchs

Eine Strömungsdifferenzierende Wirkung wird durch große Steine, Tothholzsammlungen, Schwemmholz, Kolke etc. verursacht.

Ufergehölze

Der Bewuchs am Ufer hat ebenfalls eine strömungsdifferenzierende und durchmischende und auch abflussverlangsamende Wirkung, wie man in Abbildung 2-38, entnommen aus Dittrich (1998), erkennen kann.

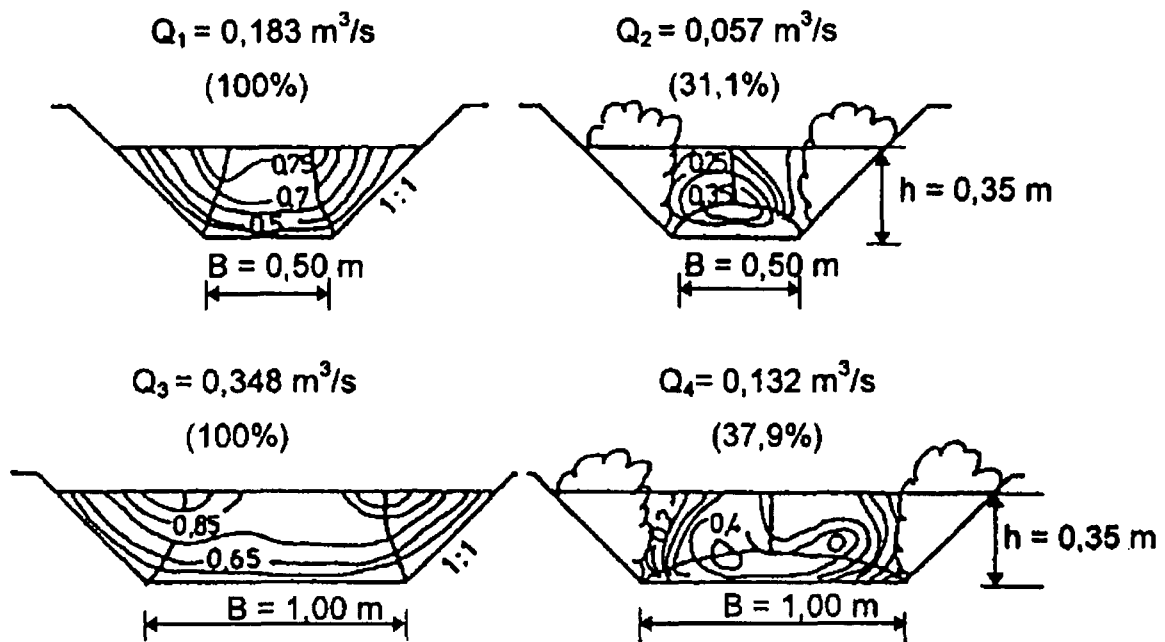


Abbildung 2-38: Geschwindigkeiten mit und ohne Bewuchs (Dittrich 1998)

2.9 NÄHRSTOFFTRANSPORT IM GERINNEQUERSCHNITT

Betrachtet man die Stickstoffbilanz aus der Perspektive der Fließgewässer, so stellt man fest, dass auch hier die diffusen Einträge der Landwirtschaft das größte Problem darstellen. In Deutschland stammen 28 % des Stickstoffes aus punktförmigen Quellen, 67% aus der Landwirtschaft. Das entspricht 30% der auf die Felder ausgebrachten Menge (Umweltbundesamt 2001).

2.9.1 Nährstoffaustausch mit dem Grundwasser

Ist der Grundwasserspiegel tiefer als der Wasserstand im Gewässer, so kommt es zu einer Grundwasserneubildung durch das Fließgewässer, wodurch die im Grundwasser vorhandenen Nährstoffe durch die Konzentrationen im Fließgewässer verändert werden. Die Infiltration erfolgt je nach Grundwasserstand nur seitlich oder (bei tiefem Grundwasserstand) auch im Bereich der Sohle. Bei landwirtschaftlich intensiv genutzten Gebieten kann dies zu einer Verdünnung der Nährstoffkonzentrationen führen.

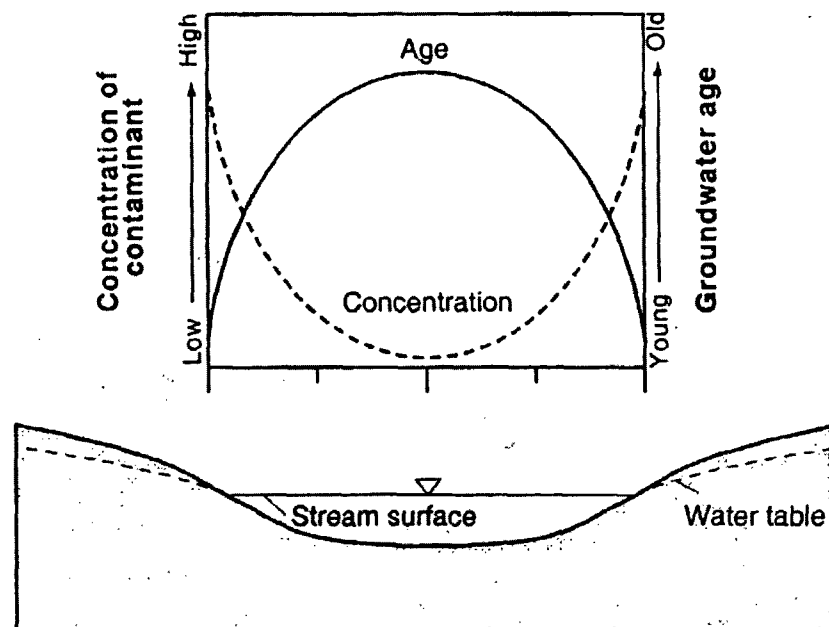


Abbildung 2-39: Zusammenhang zwischen Grundwasseralter und Nährstoffkonzentration (Buxton and Modica 1998)

Durch den im Fließgewässer enthaltenen organischen Kohlenstoff kann es im Falle einer Exfiltration vom Fließgewässer ins Grundwasser zu einem verstärkten Nitratabbau kommen, welcher im Grundwasserkörper i.a. substratbegrenzt ist.

2.9.2 Ufergehölze, Beschattung

Außerdem bewirkt der Bewuchs eine Beschattung und somit eine Reduktion des Algenwachstums durch weniger Licht und niedrigere Temperaturen. Vor allem bei Fließgewässern geringer Breite kann durch Ufergehölze eine wesentliche Beschattung erreicht werden. Bewuchs nimmt Nährstoffe auf und verlangsamt den Weitertransport.

2.9.3 Gewässersohle, Abbau, Nährstoffaufnahme

Der Lebensraum der Gewässersohle und der Bettsedimente ist der wesentliche Ort der biologischen Stoffumsetzungen im Fließgewässer.

Im Rhithralbereich eines Gewässers ist die gesamte Gewässerbiozönose eng an die Gewässersohle gebunden. Bettsedimente stellen die am dichtest besiedelten aquatischen Lebensräume dar. Laut Breschko, 1992, zitiert in (Muhar 1996) können diese Biozönosen mehrere Meter Tiefe erreichen, wenn das hyporheisches Interesial, d.h. das Lückenraumsystem, gut ausgebildet ist, wie es bei abgerundetem Schotter ähnlicher Größe (kein lückenfüllendes Feinmaterial) der Fall ist. Hier entsteht eine tiefe Biozönose durch die gute Durchströmung der Gewässersohle.

Bei der Bachfauna liegt das Maximum an Individuendichte in 20-30 cm Tiefe, sämtliche Oberflächen, organische und anorganische sind mit einem Biofilm überzogen (Marshall, 1984). 90% oder mehr der gesamten (flussinternen) Bakterienbiomasse sind in den Bettsedimenten enthalten (Muhar 1996), eine Selbstreinigungskraft des Flusses ist daher nur möglich, wenn der Geschiebetrieb und die dynamische Umlagerung der Gewässersohle eine Durchströmung derselben ermöglichen.

Phosphor: Wesentliche Teile des Phosphors werden bei Hochwasserereignissen in das Gewässer eingebracht. Diese, zu großen Teilen an Schwebstoffe gebundenen, partikuläre Phosphormengen werden im Gewässerbett schnell wieder abgelagert und bei einem späteren Ereignis evtl. weitertransportiert.

Es kann aber auch zu einem Abbau des Phosphors durch Algen oder durch eine Fällung (durch das im Sediment enthaltene Eisen) kommen. Im Falle des Absterbens der Algen kann es zu einer Anreicherung des Gewässers mit Phosphat kommen, was vorwiegend im Herbst der Fall sein wird.

Ist die Gewässermorphologie natürlich, so wird der Weitertransport stärker verzögert und der Anteil des Phosphors, der abgebaut werden kann, wird größer. Kann das Gewässer ausufern, so lagert es die Sedimente (inkl. Nährstoffen) außerhalb seines Flussbettes ab und entledigt sich somit eines Teiles seiner Nährstoffe und düngt gleichzeitig den Boden der Überflutungsflächen.

3 ABFLUSSGANGLINIENANALYSE

3.1 ALLGEMEINES

Nach der allgemein akzeptierten Modellvorstellung setzt sich der Abfluss eines Gewässers aus Abflussanteilen verschiedener Herkunft zusammen. Die Abflusszusammensetzung kann man sich bildlich so vorstellen:

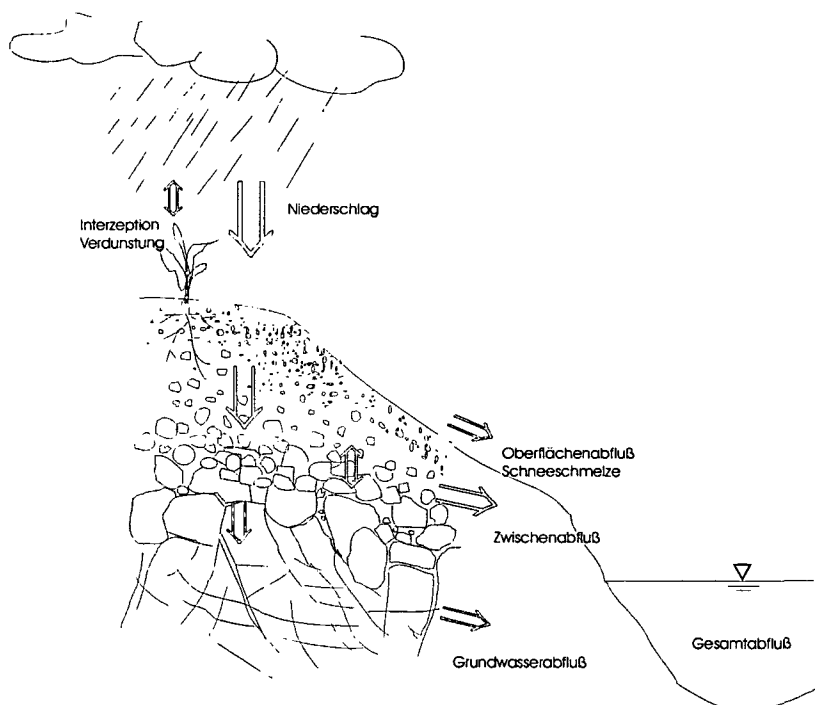


Abbildung 3- 1: Anteile der einzelnen Abflussarten am Gesamtabfluss

In Trockenzeiten kann der vorhandene Durchfluss nicht aus dem Niederschlag kommen, er muss also aus dem Grundwasser gespeist werden. Wie groß der Anteil des Grundwassers am Gesamtabfluss ist, hängt vom Speicherraum des Untergrundes und damit von den geologischen Verhältnissen im Einzugsgebiet ab.

Geht man nun, umgekehrt, von der Ganglinie aus und versucht diese in die einzelnen Anteile zu zerlegen, so spricht man von einer Abflussganglinienseparation. Jeder Abflussanteil wird einem Speicher zugeordnet.

Bei der Abflussganglinienseparation ergibt sich ein schneller und ein langsamer Anteil, der sehr gleichmäßig über das Jahr verteilt ist. Das ist der langsame Basisabfluss. Da er auch in niederschlagsfreien Perioden auftritt, muss er die Abflussanteile des Grundwassers beinhalten.

Die Abflussganglinienseparation wird nach (Dyck and Peschke) vor allem zur Lösung

folgender Aufgaben durchgeführt:

1. Untersuchung der Niederschlags-Abfluss-Beziehungen
Zur Hochwasserprognose liegt der Schwerpunkt in der zuverlässigen Erfassung des direkten Abflusses.
2. Ermittlung des stabilen Dargebotes (Grundwasserabfluss) der Flussgebiete, hier liegt der Schwerpunkt in der zuverlässigen Erfassung des Basisabflusses.
3. Erfassung des Rückhalte- und Speichervermögen von Einzugsgebieten bzw. der Verweilzeit des Wassers in Verbindung mit der Altersbestimmungen bei Wassergütefragen.

Zu diesen Themenbereichen finden sich zahlreiche alte und neue Literaturbeispiele, u.a. zur Abschätzung des Grundwasserdargebotes (Heinecke 1999) der Neubildung (Arnold, Muttiah et al. 2000) oder der Grundwasserbalance als Teil des Wasserkreislaufes (Wittenberg und Sivapalan 1999).

Zu ergänzen ist das Schema noch durch die Frage nach Fließwegen vor allem im Hinblick auf die Eintragspfade der Nährstoffe:

4. Der Nährstoffeintrag durch Erosion (vor allem Phosphor) ist mit dem Anteil des Oberflächenabflusses verknüpft, ein hoher Anteil alten Grundwassers hingegen mit hohen Denitrifikationsraten.

Es stellt sich die Frage, wie und wie genau man die einzelnen Abflussanteile bestimmen kann und wie glaubwürdig die daraus abgeleiteten Schlussfolgerungen sind. Dazu sollen mehrere Vergleichsrechnungen angestellt werden, manuelle und automatische Separationen (Difga2000, Baseflow-Model von Arnold), welche mit Ergebnissen statistischer Untersuchungen, Literaturwerten und Ergebnissen verschiedener Wasserbilanzmodelle verglichen werden sollen.

Weiterhin soll die Frage nach der zeitlichen und räumlichen Varianz der Abflussanteile und ihre Auswirkungen auf den Nährstoffeintrag ins Fließgewässer untersucht werden. Es sollen Prozesse gefunden werden, welche zu typischen Abflusssituationen und somit Nährstoffeinträgen führen.

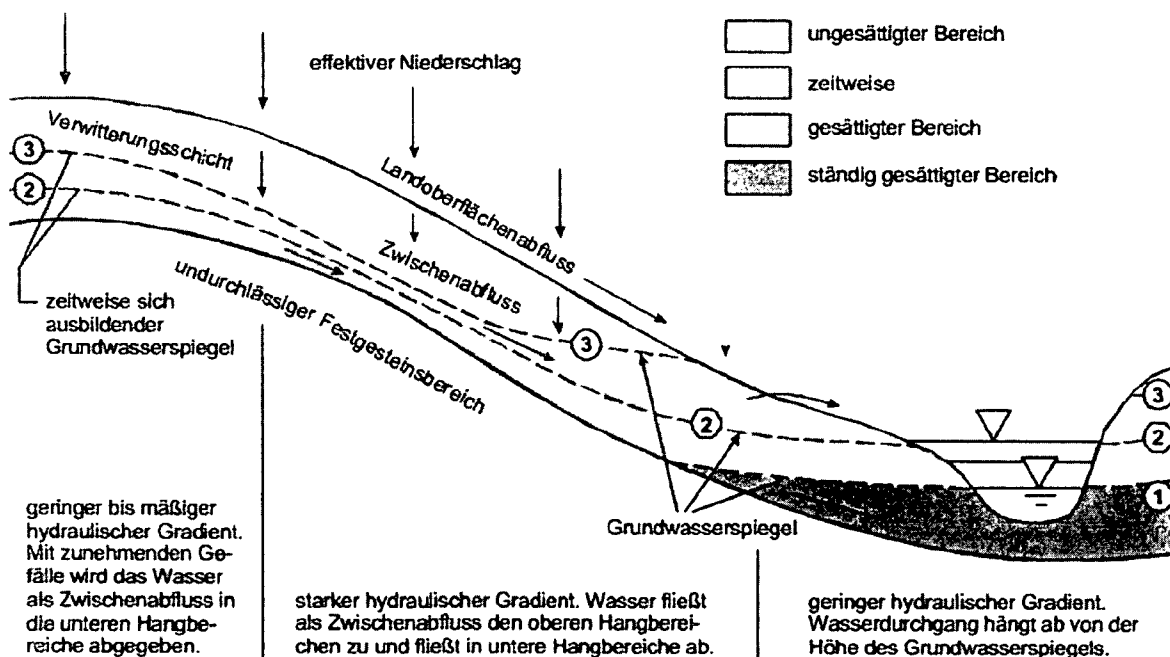
3.2 BEGRIFFE

Der Abfluss in einem Wasserlauf umfasst mehrere Abflusskomponenten, ein allgemein anwendbares Verfahren zur Trennung und quantitativen Erfassung der einzelnen Komponenten gibt es nicht.

Für die einzelnen Abflusskomponenten bestehen, aufgrund unterschiedlicher Modellvorstellungen über den Abfluss und dessen Entstehung, unterschiedliche Begriffssysteme. Laut Mattheß (1994) beruht dies auf ungenügenden Kenntnissen der Einzelprozesse und den Lücken in der Methodik zur quantitativen Erfassung und führt daher zwangsläufig zu einer „subjektiven“ und „spekulativen“ Trennung der Abflussanteile.

Es sollen hier, um Missverständnisse zu vermeiden, die Begriffe kurz erläutert werden: In Nordamerika wurden die Begriffe „direkter Abfluss“ und „Basisabfluss“ geprägt, während in Deutschland die Begriffe „oberirdischer“ und „unterirdischer“ Abfluss entwickelt wurden, welche inhaltlich identisch sind (Mattheß 1994).

Es gibt aber Begriffe, die unterschiedlich definiert sind oder gedeutet werden:



**Abbildung 3- 2: Zwischenabfluss als Grundwasserabfluss
nach Baumgartner & Liebscher, 1990, aus (Nützmann)**

In Abbildung 3- 2 wird der Zwischenabfluss zum Grundwasser gezählt (temporärer Grundwasserspiegel oberhalb des Zwischenabflusses), auch in Abbildung 3- 4 wird er als schwebendes Grundwasser definiert, in Abbildung 3- 3 hingegen ist das Grundwasser und der Zwischenabfluss klar getrennt.

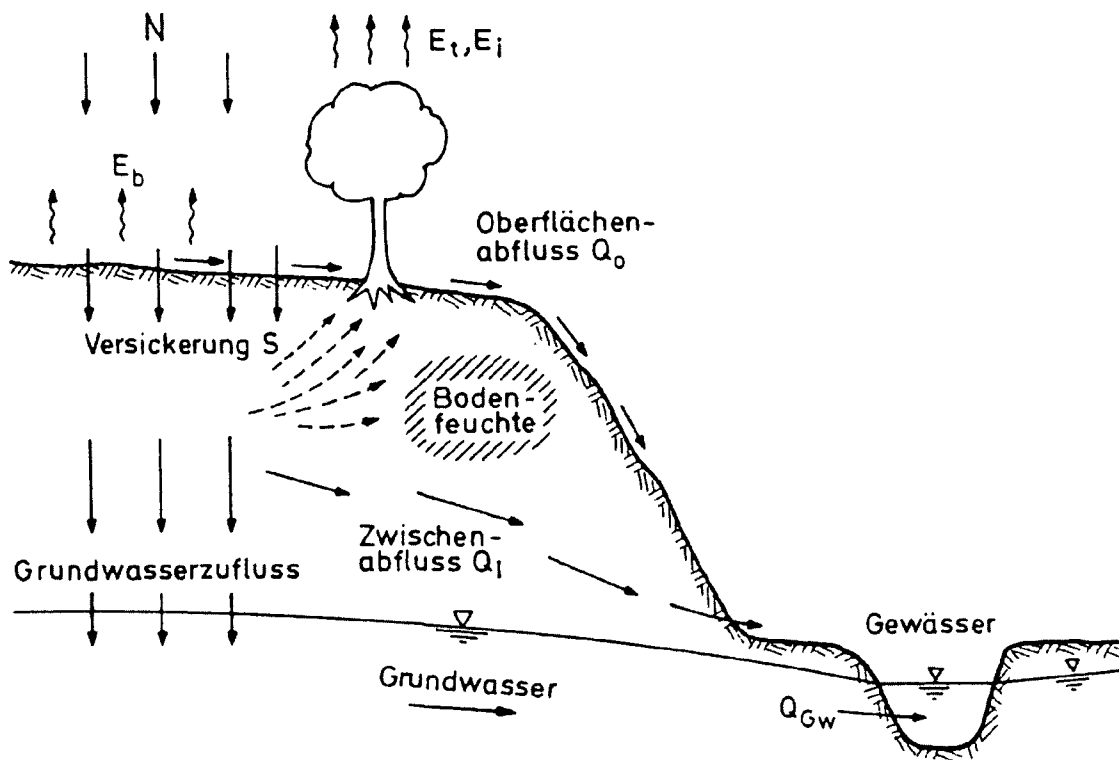


Abbildung 3- 3: Zwischenabfluss ungleich Grundwasserabfluss (Schröder 1982)

Die Klassifikationssysteme der Abflusskomponenten beeinflussen und ergänzen sich gegenseitig, für Verwirrung sorgen aber die verwendeten Begriffe und sollen im folgenden mit Hilfe unterschiedlicher Fachliteratur definiert werden.

3.2.1 Zeit- Klassifikation:

Der Abfluss besteht aus zwei Zeitkomponenten, dem direkten Abfluss und dem Basisabfluss. Sie unterscheiden sich in der Zeit ihres Erscheinens im Flussbett. Für die Abtrennung des Basisabflusses gibt es verschiedene Möglichkeiten, wie man in Abbildung 3- 4 sehen kann.

Der Direktabfluss umfasst die schnellen Abflusskomponenten, die unmittelbar zum Abfluss kommen, das sind Sättigungsflächenabfluss, Oberflächen-, unmittelbarer Boden- und Zwischenabfluss (hochwassererzeugend), die Ermittlung erfolgt über die (graphische) Abtrennung von einzelnen Hochwasserwellen.

Nach Mattheß (1994) ist der direkte Abflussanteil jener Anteil, welcher den Vorfluter unmittelbar nach dem Regen oder der Schneeschmelze erreicht und als unmittelbare Folge eines Teiles des Niederschlages zu sehen ist.

Nach (DIN 4049) ist der Direktabfluss die Summe aus Oberflächen und Interflow. (=Zeit- und Ursprungsgesichtspunkt)

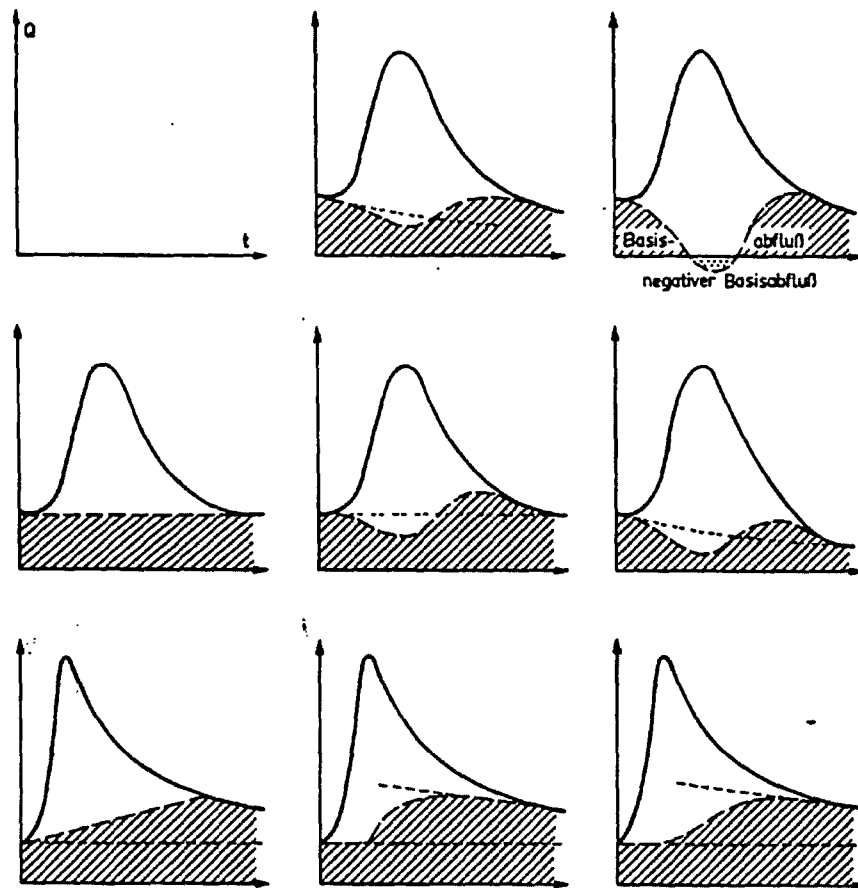


Abbildung 3- 4: Möglichkeiten der Basisabflussabtrennung nach Mattheß (1983)

Als **Basisabfluss** oder Baseflow bezeichnet man nach Dyck und Peschke den verzögerten hypodermischen Abfluss und den Grundwasserabfluss (getrennt vom direkten Abfluss durch Ganglinienseparation). Er bildet die langsame Abflusskomponente. Ähnlich ist auch die Definition nach Abwasserlexikon (1999), wonach der Basisabfluss der Teil des Wassers ist, der den Vorfluter erst mit erheblicher Zeitverzögerung erreicht, und aus Grundwasserabfluss und dem verzögerten Zwischenabfluss besteht. Nach Mattheß (1994) ist er der Teil des Abflusses, der den Vorfluter zeitlich verzögert erreicht und größtenteils aus dem Grundwasser, aber auch aus sonstigen Wasservorräten des Einzugsgebietes (aus früheren Niederschlagsperioden), gespeist wird. Tallaksen (1995) definiert Baseflow als einen Begriff, der Grundwasser, ungesättigter Bodenabfluss und Seedrainage beinhaltet. Nach DIN 4049 stammt der Basisabfluss ausschließlich aus dem Grundwasser. Die Gleichsetzung von „Basisabfluss“ mit „Grundwasserabfluss“ ist in der Literatur häufig anzufinden.

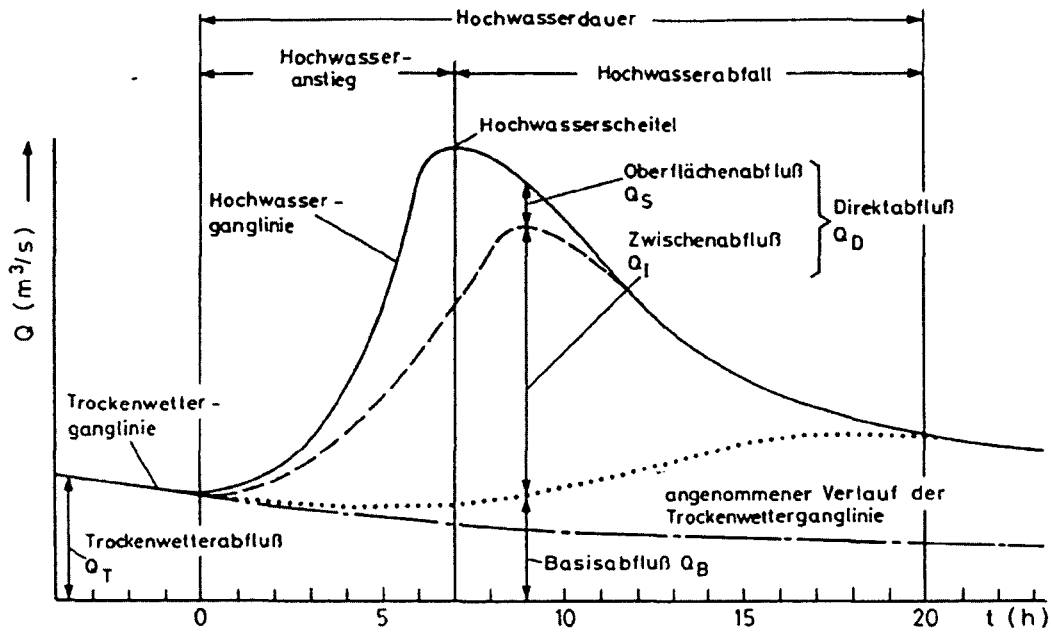


Abbildung 3- 5: Ganglinienseparation (Mattheß 1994)

3.2.2 Räumliche Klassifikation

Die Räumliche Klassifikation ist die vom Ursprung des Wassers ausgehende Unterscheidung in oberirdischen und unterirdischen Anteil, sowie deren weitere Unterteilung.

Der oberirdische Abfluss setzt sich aus dem Abfluss von der Bodenoberfläche und dem auf das Gewässer gefallenem Niederschlag zusammen. Der unterirdische Abfluss besteht aus dem oberflächennahem Interflow (Zwischenabfluß) und dem Abfluss aus dem Grundwasser (Hötting 1980).

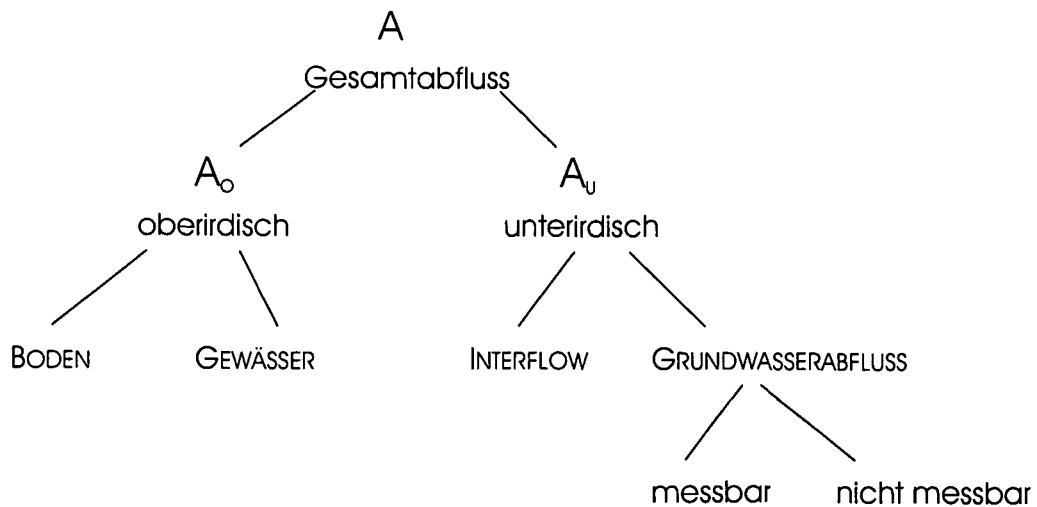


Abbildung 3- 6: Darstellung der Abflusskomponenten nach räuml. Unterteilung

Der Oberflächenabfluss oder surfaceflow umfasst den Abfluss von der Bodenoberfläche, gesättigten Flächen, von undurchlässigen Boden sowie der auf das Gewässer fallende Niederschlag.

Nach DIN 4049 ist es der Anteil des Abflusses, der sich unmittelbar während oder nach einem Regen oder der Schneeschmelze oberirdisch zu einem Vorfluter bewegt, ohne in den Boden einzudringen.

Der **Landoberflächenabfluss** ist der Sättigungsflächenabfluss und Oberflächenabfluss von Infiltrationsflächen (Dyck und Peschke).

Sättigungsflächenabfluss entsteht, wenn das Wasser nicht mehr versickern kann und zu 100% oberflächlich abfließt.

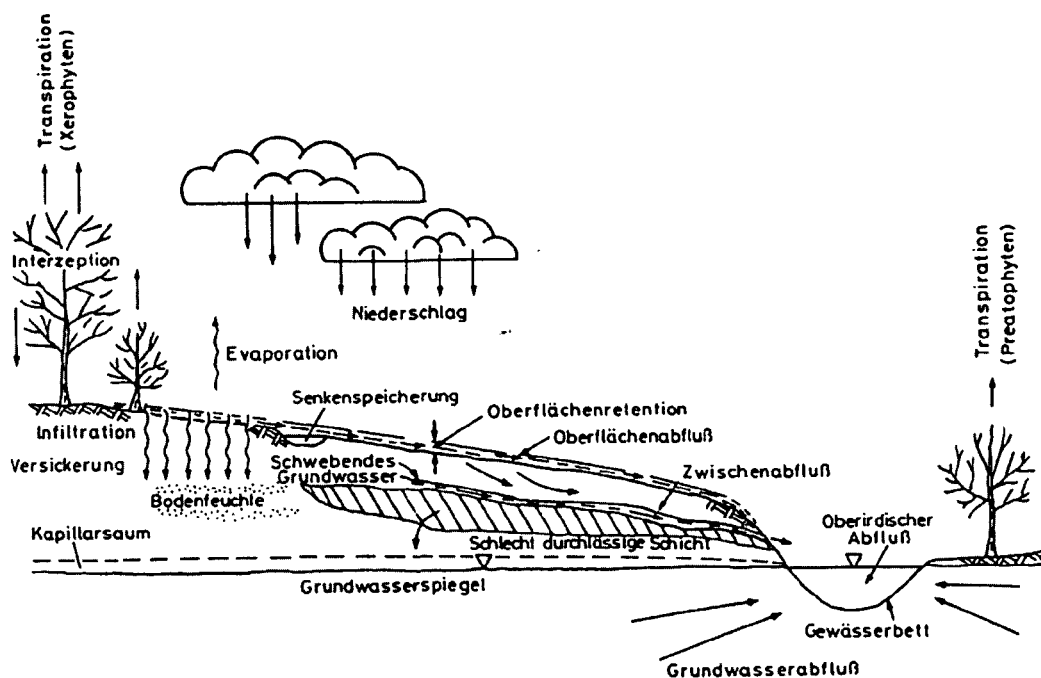


Abbildung 3- 7: Schema des Abflussvorganges (Mattheß 1983)

Der Versickernde Anteil des Niederschlages gliedert sich in die Anteile Zwischenabfluss und Grundwasserabfluss.

Der Zwischenabfluss, Interflow oder hypodermischer Abfluss

Vor allem in Gebirgen kann der Zwischenabfluss eine wesentliche Komponente sein. Nach Dyck und Peschke ist dies der Anteil des „oberflächennah“ abfließenden Wassers, der **keine Ergänzung des Grundwassers** darstellt.

Hingegen definiert Mattheß (1994) den Zwischenabfluss als unmittelbaren Grundwasserabfluss, er vollzieht sich in oberflächennahen Bodenschichten, wenn sich **kurzzeitig schwebende Grundwasserkörper** ausbilden, bevorzugt fließt er über Wurzelzonen, Mäuselöcher, und andere Makroporen ab.

Im Abwasserlexikon 1999) wird der Zwischenabfluss als **unechter Grundwasserabfluss** bezeichnet. Es ist der Anteil des Niederschlages, der nicht bis zur Grundwasseroberfläche gelangt, sondern aus dem Gebiet als unterirdischer Abfluss den Wasserläufen zufließt oder eine Wasserströmung aus zeitweilig gesättigten Schichten bildet. Das Wasser wird an weniger durchlässigen Schichten zeitweilig gestaut und bildet dort temporär einen mit Wasser gesättigten Bereich, der sich unter dem Einfluss der Schwerkraft dem größten Gefälle folgend oft hangparallel bewegt.

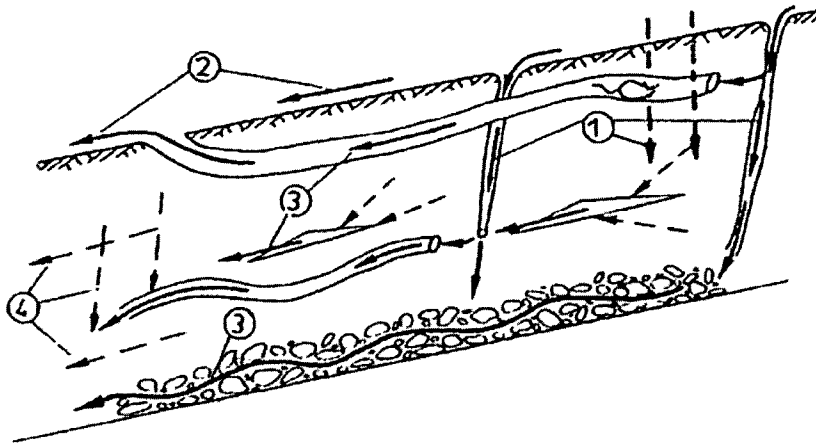


Abbildung 1-4 – Schematische Darstellung der Fließwege in einem Hangboden: (1) Infiltration in Mikro- und Makroporen – (2) Oberflächenabfluß (einschließlich 'return flow') – (3) schneller lateraler unterirdischer Abfluß – (4) Makronorendurchfluß (auch 'Matrixfeuchtefluß')

Abbildung 3- 8: bevorzugt Fließwege Bronstert; Zuidema, zitiert in (Kleindienst)

Nach Dyck, Peschke erfolgt der Zwischenabfluss mit größerer oder geringerer Geschwindigkeit, jedoch immer verzögert gegenüber dem Landoberflächenabfluss. Die Ursachen kann in homogenen Bodenschichten ein lateraler Feuchtegradient sein, häufig sind jedoch weniger durchlässige geneigte Schichten oder bevorzugte Sickerbahnen für sein Entstehen verantwortlich.

Nach (DIN 4049) ist es jener Anteil des Abflusses, welcher dem Vorfluter unterirdisch mit nur geringer Verzögerung zufließt. Diese Definition beinhaltet einen räumlichen und zeitlichen Aspekt.

Die Klassifizierung nach dem Weg, auf dem das Wasser zum Vorfluter gelangt, die schon begrifflich nicht ganz eindeutig ist, spiegelt das tatsächliche Abflussverhalten natürlicher Einzugsgebiete nicht wieder. Das Niederschlagswasser kann sowohl zunächst oberirdisch abfließen und dann infiltrieren als auch zuerst hypodermisch abfließen, um hangabwärts wieder an die Oberfläche zu treten und als Oberflächenwasser den Fluss zu erreichen. Je nach örtlichen Gegebenheiten kann die eine oder andere Abflusskomponente völlig fehlen. Messtechnisch sind die drei Abflusskomponenten nicht, in experimentellen Parzellen näherungsweise erfassbar. Des-

halb ist es in der hydrologischen Praxis zweckmäßiger die Abflusskomponenten nach der Eintreffzeit im Fluss zu unterscheiden (Dyck und Peschke).

Die **Grundwasserneubildung** entspricht nach der Infiltrationstheorie dem versickernden Anteil des Niederschlages (in humiden Klima).

Der **Grundwasserabfluss** besteht aus einer schnellen und einer langsamen Komponente, umfasst also alle unterirdischen Komponenten, die über den Grundwasserleiter abfließen. Die Ermittlung erfolgt z.B. über die Abflussganglinienanalyse.

Der „grundwasserbürtige Abfluss“ hat eine geringe Geschwindigkeit und macht keine sprunghaften Änderungen. Gebiete mit mächtigen Grundwasserleitern und hohen Infiltrationsvermögen zeigen eine ausgeglichene Ganglinie (Dyck und Peschke).

Das **Grundwasser** ist das unterirdische Wasser, das die Hohlräume der Erde (Poren, Klüfte und dergleichen) zusammenhängend ausfüllt, unter gleichem oder größerem Druck steht, als er in der Atmosphäre herrscht, und dessen Bewegung durch Schwerkraft und Reibungskräfte bestimmt wird (Normungsinstitut).

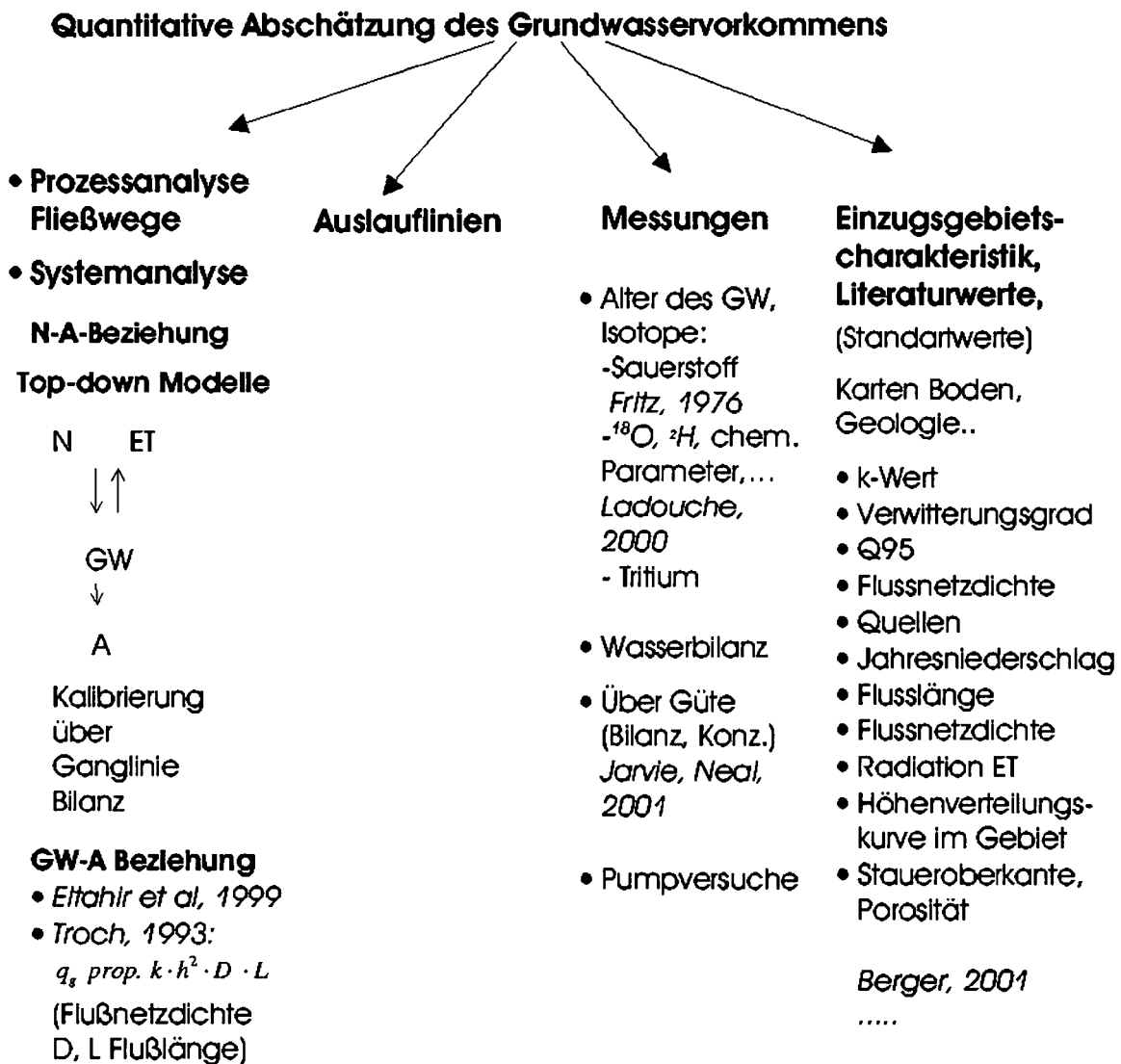
In der Formulierung von (Dyck und Peschke) ist das Grundwasser der Teil des unterirdischen Wassers, der die Hohlräume zusammenhängend füllt und sich unter Wirkung von Schwer- und Druckkraft frei bewegt, ohne von den Adsorptions- und Kapillarkräften daran gehindert zu werden.

Oberflächennahe nur zur feuchten Jahreszeit ausgebildete Grundwasservorkommen bezeichnet der Pedologe als **Stauwasser** (Scheffer und Schachtschabel 1970).

Das Grundwasser hat i.a. den größten Anteil am Abfluss. In kleinen höhergelegenen Einzugsgebieten ist Grundwasser seltener vorzufinden (Hawlett, 1961).

3.3 METHODIK

3.3.1 Einleitung/ Überblick



Übersicht 1: Methoden der Grundwasserabschätzung¹ (1: allgemein)

Für die Abschätzung des Grundwasservorkommens sind verschiedene Möglichkeiten denkbar, einige davon sind in Übersicht 1 dargestellt. Es kann über Bilanzen mit Niederschlag-Abfluss-Modellen, über Gebietseigenschaften und Literaturwerte, über Messungen oder mittels Auslauflinien abgeschätzt werden.

¹ Die zahlreiche verwendete Literatur kann an dieser Stelle nicht gesondert angegeben werden, sie findet sich jedoch im Anhang.

Auslauflinien

→ Algorithmen

($Q_0 = Q, N = 0$)

S linear:

1 ELS *Deputit-Boussinesq, 1877, Mallet, 1905*

$$Q = k \cdot S \Rightarrow$$

$$Q_t = Q_0 \cdot e^{-a \cdot t}$$

2 ELS

„leaky aquifer“
Chapman, 1999
tieferer Gw-Speicher
entwässert
außerhalb A_e

S nicht linear

• *Boussinesq, 04:*

$$Q_t = Q_0 \cdot (1 + c \cdot t)^2$$

• *Horton, 1933:*

$$Q_t = Q_0 \cdot e^{-b \cdot t^m}$$

• *allgemein: Coutagne 1948*

• *Brutsaert und Nieber, 1977:*

$$Q_t = Q_0 \cdot (1 + f \cdot t)^{p/(1-p)}$$

• *Wittenberg, 1997:*

$$Q_t = Q_0 \cdot \left(1 + \frac{(1-b)Q_0^{1+b}}{a \cdot b} t\right)^{\frac{1}{b-1}}$$

• *Szilagy*

• *Chapman, 1999*

Kombination

• 2 ELS:
Boussinesq, 1904
Schwarze, et. al.:
difga2000, parall.

$$Q_t = Q_1 \cdot e^{-k_1 \cdot t} + Q_2 \cdot e^{-k_2 \cdot t}$$

• 3 ELS:
Barnes, 1939:

• „viele“: *Werner und Sunquist, '51:*

$$Q_t = Q_0 \cdot \sum_{i=1}^n b_i \cdot e^{-a_i \cdot t}$$

Ishihara und Takagi, 1965

$$Q_t = \sum_{i=1}^{\infty} A_i \cdot K_i \cdot t$$

• linear +
nichtlinear

statistische-empirische Methoden

• Die Trockenwetterfalllinie
-Schroeder, 1953
-Natermann, 1951
-Richter & Lillich, 1975

• Niederwasserkenngößen

-Eftahir, 1999
-Smakhtin, 2001
-MoMNQ – Wundt, 1953

• Ermittlung aus Einzeldaten nach
Lillich, 1970

• versch. graph. Methoden, z.B.
Mende & Uebel, 1973

Übersicht 2: Methoden der Grundwasserabschätzung² (2: Auslauflinien)

Übersicht 2 soll einen Eindruck vermitteln, wie viele verschiedene Arten der Grundwasserabschätzung über die Auslauflinien möglich sind. Neben statistischen und empirischen Methoden sind Abschätzungen über Grundwasserspeichermodelle mit ihren zugehörigen Auslauflinien denkbar.

Für eine Abschätzung über Auslauflinienanalysen sind in jedem Fall tägliche Abflussdaten notwendig, Hall, 1968 behauptet, dass die Qualität der Niederwasserdaten oft ein limitierender Faktor für die Untersuchung der Auslauflinien ist.

In dieser Arbeit soll der Grundwasseranteil nach verschiedenen Methoden errechnet und verglichen werden. Es werden dabei drei verschiedene Ganglinienanalysen verwendet. Eine manuelle Auswertung mit einem linearen Speicher und zwei automatisierte Verfahren: Difga 2000 [Schwarze] mit zwei linearen Grundwasserspeichern und eine auf einer Signalanalyse beruhende Auswertung mit einem digitalen Filter [Arnold 1995].

² Die zahlreiche verwendete Literatur kann an dieser Stelle nicht gesondert angegeben werden, sie findet sich jedoch im Anhang.

3.3.2 Statistische / empirische Verfahren

3.3.2.1 MoMNQ - Verfahren nach Wundt (1958)

Dieses Verfahren beruht auf der statistischen Auswertung der gewässerkundlichen Hauptzahlen. Wundt setzte die Trockenwetterfalllinie in Beziehung zu den für viele Pegel bekannten Größen, den mittleren Durchfluss MQ, den mittleren Niedrigwasserabfluss MNQ, den niedrigen Niedrigwasserabfluss NNQ und den entsprechenden Werten für die Sommer- und Winterhalbjahre.

Wundt behauptet, dass die verschiedenen Trockenwetterfalllinie spätestens beim mittleren Niedrigwasserabfluss MNQ zusammenlaufen. Der mittlere Niedrigwasserabfluss eines Pegels entspricht daher dem mittleren Grundwasserabfluss aus langjährigen Messreihen. Nach Wundt sind MNQ-Werte des Sommerhalbjahres die unterirdischen Abflüsse, die *mindestens* noch abfließen (Im Winter ist der unterirdische Abflussanteil größer). Bezogen auf die Fläche des Einzugsgebietes sind das die mittleren Niedrigwasserspenden eines Sommerhalbjahres SoMNq. Aus den arithmetischen Mittel der monatlichen Niedrigwasserabflüsse einer längeren Messreihe wird der Wert MoMNq errechnet, die MoMNq-Werte des Sommers ergeben dann die kleinste unterirdische Abflussspende, also die Mindestgrundwasserabflussspende [zitiert in (Hötting 1980)].

Berechnung des Grundwasseranteils am Abfluss nach Wundt, modifiziert

Es wurden zwei Berechnungen durchgeführt. Zum einen wurden die MNQ-Werte für die einzelnen Monate aus dem Hydrologischen Jahrbuch 2000 übernommen, zum anderen wurde der gleitende Mindestdurchfluss aus dem Mindestdurchfluss am Tag n und den Durchflusswerten der letzten und der folgenden 15 Tage -von $n-15$ bis $n+15$ - gebildet. Damit ist auch ein Vergleich einzelner Jahre möglich.

3.3.2.2 Ermittlung aus Einzeldaten nach Lillich

Liegen keine langjährigen Messreihen vor, so kann der Anteil des unterirdischen Abflusses auch aus Einzelmessungen abgeschätzt werden. Es werden dazu Abflussmessungen „mindestens 3 Tage“ nach einem Niederschlagsereignis vorgenommen. Ihr arithmetisches Mittel ergibt den Anteil des unterirdischen Abflusses.

Der Abfluss am 3. Tag der Trockenheit stimmt sehr gut, vor allem im Ybbstal, mit den errechneten Grundwasserabflüssen der Auslauflinienanalyse überein.

Es wurde noch ein zweiter Wert, ein Mittelwert aller Abflusswerte ab dem 3. Tag der Trockenheit bis zum letzten niederschlagsfreien Tag errechnet.

Der zweite Wert sollte daher niedriger sein, da der Abfluss ohne Niederschlag nicht ansteigen darf (die Niederschlagsdaten wurden bezüglich Schnee und Schneeschmelze schon korrigiert), meist sind die Werte jedoch sehr ähnlich, manchmal ist

der zweite Wert sogar höher, für die Auswertungen wurde daher der niedrigere Wert verwendet. Um eine möglichst durchgehende Angabe des Grundwasserabflusses zu erhalten, wurde das gleitende Minimum von 30 Tagen der vorhandenen Tageswerte des Grundwasserabflusses nach Lillich als täglicher Grundwasserabfluss angenommen. Wenn keine Trockenperiode in diesem Zeitraum vorlag, so wurde er weggelassen.

Für die mittleren Monatswerte wurde die monatliche Abflusswert des strengeren Lillich-Kriteriums über alle Jahre der Messreihe gemittelt. Die Monatmittel sind dadurch etwas niedriger als die Einzelwerte nach Lillich.

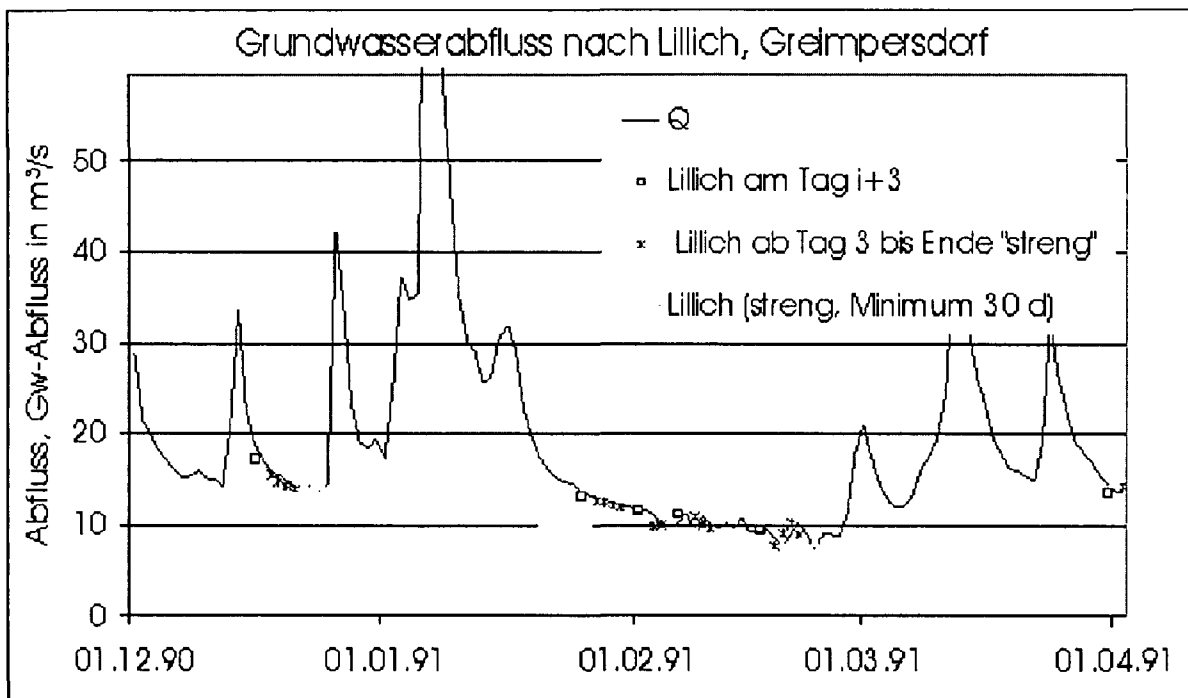


Abbildung 3- 9: Beispiel der Grundwasserabflussermittlung nach Lillich.

3.3.3 Ganglinienseparation:

Hinter den getroffenen Annahmen bei der Auslauflinienanalyse stehen hydraulische Modellvorstellungen. Lineare Grundwasserspeichertheorien gehen zurück auf Maillet (1905). Die Voraussetzungen hierfür sind, dass keine Evapotranspiration und kein Leakage stattfindet, sowie keine Nachlieferung in den Grundwasserkörper erfolgt. Weiterhin muss der Grundwasserkörper homogen und isotrop sein und er muss eine große Mächtigkeit vorweisen

Seit Maillet wurden zahlreiche Speichermodelle für unterschiedliche Grundwassersysteme entwickelt. Die Weiterentwicklungen umfassen nichtlineare Speicher und Kombinationen aus mehreren Einzelspeichern, eine Auswahl zeigt Übersicht 3.

In der linken Spalte sind nichtlineare Einzelspeicher, ihre Speicher-Abflussbeziehungen und die dazugehörigen Auslauflinien dargestellt, die rechten Spalte beinhaltet Speichermodelle mit Kombinationen aus mehreren Grundwasserspeichern, ihre Speicher-Abflussbeziehungen und die dazugehörigen Auslauflinien

S nicht linear

Speicher-Abfluß-B.

$$Q = Q(t)$$

- S exponentiell

$$Q_t = Q_0 \cdot e^{-f \cdot t}$$

$$Q_t = Q_0 / (1 + f \cdot Q_0 \cdot t)$$

- Boussinesq, 1904:

$$Q = S??$$

$$Q_t = Q_0 \cdot (1 + c \cdot t)^{-2}$$

- Horton, 1933:

$$Q = S??$$

$$Q_t = Q_0 \cdot e^{-b \cdot t^a}$$

- Brutsaert und Nieber, 1977:

$$Q = k \cdot S^p \text{ und } p \neq 1, \text{ kein Zufluß}$$

$$Q_t = Q_0 \cdot (1 + f \cdot t)^{p/(1-p)}$$

mit $f = f(p, k, Q_0)$

- Wittenberg, 1993:

$$Q = K \cdot S^{(1+qS)}$$

$$1997: Q = a \cdot S^b$$

(siehe Brutsaert)

$$Q_t = Q_0 \cdot \left(1 + \frac{(1-b)Q_0^{1-b}}{a \cdot b} t \right)^{\frac{1}{b-1}}$$

- Szilagyi, Chapman u.a.

Kombination

Speicher-Abfluß-B.

$$Q = Q(t)$$

- 2 ELS:

parallel:

Boussinesq, 1904

Schwarze, et. al.:

$$Q = k_1 \cdot S_1 + k_2 \cdot S_2$$

(Difga2000)

$$Q_t = Q_1 \cdot e^{-k_1 t} + Q_2 \cdot e^{-k_2 t}$$

seriell:

$$Q = k_2 \cdot S_2$$

$$Q_t = Q_0 \cdot e^{-k_2 t} + \frac{k_2 Q_1}{k_2 - k_1} (e^{-k_1 t} - e^{-k_2 t})$$

$$\frac{dS_2}{dt} = Q_1 \cdot e^{-k_1 t} - k_2 \cdot S_2$$

- 3 ELS:

Barnes, 1939

- "viele": Werner und Sunquist, '51:

$$Q_t = Q_0 \cdot \sum_{i=1}^n b_i \cdot e^{-a_i t}$$

Ishihara und Takagi, 1965

parallele Speicher

$$Q_t = \sum_{i=1}^{\infty} A_i \cdot K_i^t$$

- linear + nichtlinear

Übersicht 3: Quantitative Abschätzung des Grundwasservorkommens³ über Ganglinien (Durchfluss Q)

³ Die zahlreiche verwendete Literatur (u.a. Moore, R. D. (1997), Tallaksen, L. M. (1995)) kann an dieser Stelle nicht gesondert angegeben werden, sie findet sich jedoch im Anhang.

Einen systematischen Darstellung einiger Modellvorstellungen findet man in Dewandel, Lachassagne et al. (2003):

| Method | Model | Formula | Exact solution | Approximate solution | Mathematical fit | Interpretation |
|---------------------------------|-------|---|----------------|----------------------|------------------|--|
| Boussinesq (1877) | | $Q_t = Q_0 e^{-\alpha t}$ $Q_0 = (\pi/2)KHh_m/l$ $\alpha = \pi^2 KH^2/qL^2$ | | × | | Aquifer and river recession |
| Mul (1905) | | $Q_t = Q_0 e^{-\alpha t}$ | | × | | Aquifer and river recession |
| Boussinesq (1903) | | $Q_t = Q_0/(1 + \alpha t)^2$ $Q_0 = 1.724KH_m^2/lL$ $\alpha = 1.115Kh_m/qL^2$ | × | | | Aquifer and river recession |
| Schoeller (1948), Barnes (1939) | | $Q_t = \sum_{i=1}^n Q_{0i} e^{-\alpha_i t}$ | | | × | Entire recession (including influenced stage) |
| Horton (1933) | | $Q_t = Q_0 e^{-\alpha t}$ | | | × | Entire recession (including influenced stage) |
| Coutagne (1948) | | $Q_t = Q_0 [1 + (n-1)\alpha_0 t]^{n-1} e^{-\alpha t}$ $\alpha = \alpha_0 [1 + (n-1)\alpha_0 t]^{-1}$ | | | × | Entire recession (including influenced stage) |
| Drogué (1972) | | $Q_t = Q_0/(1 + \alpha t)^n$ | | | × | Entire recession (including influenced stage) |
| Mangin (1975) | | $\psi(t) = q_0(1 - \eta/1 + \epsilon t)$ $\varphi(t) = q_0 e^{-\alpha t}$ | | × | × | Entire recession; influenced stage + aquifer recession |
| Pathla et al. (1994) | | $Q_t = (Q_0 - Q_c)[1 + (n-1)\alpha_0 t]^{n-1} e^{-\alpha t} + Q_c$ | | | × | Entire recession (including influenced stage) |
| Samani and Ebrahimi (1996) | | $\psi_t = (Q_0 - q_0)[1 + (n-1)\alpha_0 t]^{n-1} e^{-\alpha t}$ $\phi_t = q_0 e^{-\alpha t}$ | | × | × | Entire recession; influenced stage + aquifer recession |

Übersicht 4: Methoden der Ganglinienanalyse, zugehörige Modelle

Hier sind die, den Auslauflinien zugrundeliegenden Modellvorstellungen der Grundwasserkörper als hydraulische Speichermodelle dargestellt. Man sieht gut, wie die Modellvorstellungen an lokale Gegebenheiten der Grundwasserkörper angepasst wurden. Weiterhin wird in dieser Arbeit angegeben welche Lösungen mit dem Modell möglich sind und wofür es geeignet ist.

Manuelle Auslauflinienanalyse

Lineare Grundwasserspeichertheorien gehen zurück auf Maillet (1905) und können als geohydraulische Interpretation ausgehend von einer analytischen Lösung der Boussinesq - Gleichung (Brutsaert 1994) als auch von der analytischen Lösung der instationären Grabenanströmung gesehen werden (Schwarze 2001).

Im halblogarithmischen Maßstab würde der Einzellinearspeicher eine lineare Auslauflinie ergeben.

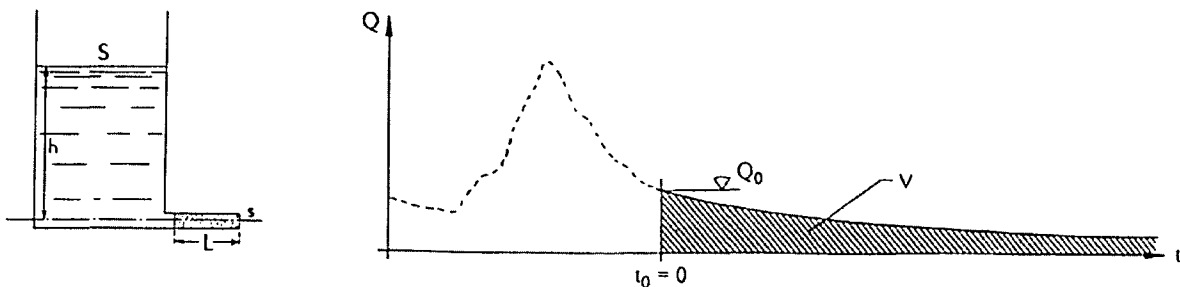


Abbildung 3- 10: Modellvorstellung für die am häufigsten verwendete, lineare Auslauflinie, Grundwasserabschätzung mit Hilfe der exponentiellen Auslauflinie

Das Modell zeigt einen mit Wasser gefüllten, linearen Speicher, die dazugehörige Auslauflinie sieht man rechts in Abbildung 3- 10. Der Abfluss aus dem Speicher Q ist proportional zu dem Speicherinhalt V :

$$Q = k \cdot V \quad (\text{Gleichung 1})$$

Für den Abfluss Q aus dem Speicher ergibt sich (durch Integration über die Zeit t):

$$q = q_0 \cdot e^{-k \cdot (t-t_0)} \quad \text{bzw.} \quad q = q_0 \cdot e^{-\left(\frac{t-t_0}{K}\right)} \quad (\text{mit } k=1/K) \quad (\text{Gleichung 2})$$

Aus einer Ganglinie werden manuell niederschlagsfreie Abschnitte gesucht, um Auslauflinien zu bestimmen. Die Größe des Grundwasservolumens wird erheblich von der Auswahl der Ganglinienabschnitte für die Abschätzung beeinflusst.

Je früher man mit der Anpassung an eine Auslauflinie beginnt (also im stark absteigenden Ast) desto kleiner wird das Grundwasservolumen, welches man errechnet, da der Abfall sehr steil ist.

In dieser subjektiven Vorgangsweise ist eine Fehlerquelle beinhaltet, nur das „geschulte Auge“ erkennt die Bereiche des Grundwasserabflusses recht gut.

Voraussetzung für die Auswahl der Ganglinienabschnitte sind von Oberflächenabfluss, schnellem unterirdischen Abfluss und Schneeschmelze unbeeinflusste Zeiträume, nicht berücksichtigt wurden daher Abschnitte, in welchen es zum Abtauen der Schneedecke kam, sowie Perioden in denen Niederschlag erheblich zum Abfluss beitrug. Die Länge des absteigenden Astes wird manuell festgelegt und mit einer exponentiellen Ausgleichsgeraden angenähert.

Die manuelle Anpassung beinhaltet demnach auch eine Korrektur (durch das Nichtberücksichtigen ungeeigneter Abschnitte und bietet weiterhin die Möglichkeit für ver-

schiedene Grundwasserstände auch verschiedene Auslauflinien (Neigungen) anzunehmen. Dadurch können jahreszeitliche Schwankungen und ein steigender oder fallender Grundwasserstand berücksichtigt werden.

Abbildung 3- 11 zeigt ein Beispiel für eine manuelle Auslauflinienanalyse (mit Excel).

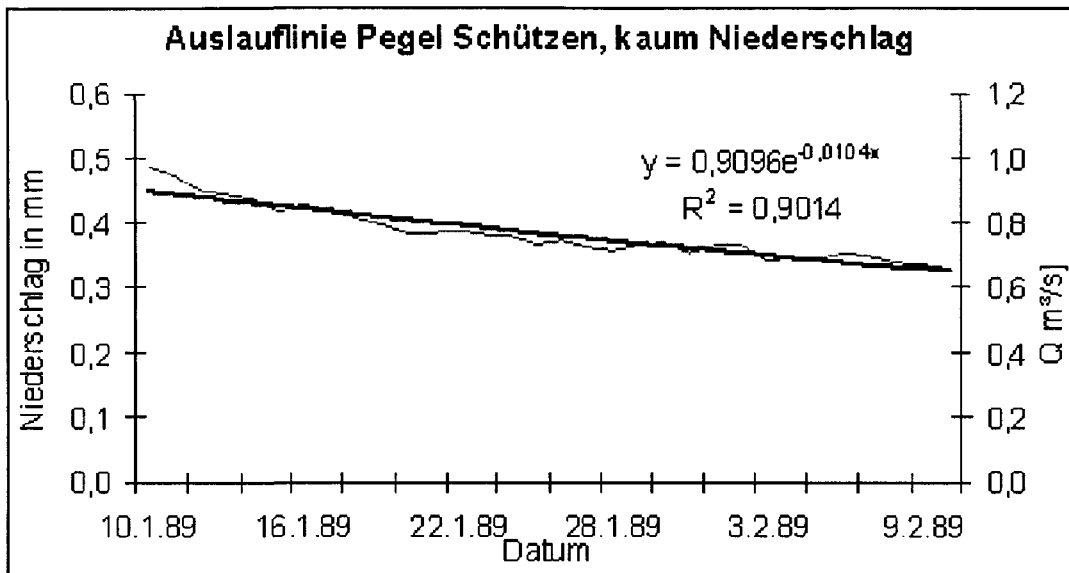


Abbildung 3- 11: lineare Auslauflinie, Beispiel

Vergleich einer linearen mit einer nichtlinearen Auslauflinie

Roche (Roche 1963) beschreibt zwei verschiedene Modellvorstellungen, die lineare, nach Maillet und eine nichtlineare. Er leitet mit Hilfe der Formel von Darcy die Speicherentleerung, also die Auslauflinien her.

Aus der zweiten Modellvorstellung ergibt sich die folgende Gleichung:

$$q = q_0(1 + \mu(\sqrt{q_0}(t - t^0))^{-2} \quad (\text{Gleichung 3})$$

Obwohl das zweite Modell eine bessere Annäherung an einen Grundwasserkörper darstellt, gibt die erste Formel die Naturbeobachtungen meist schon gut wieder. Roche (Roche 1963) kommt zu dem Schluss, dass aufgrund der im Modell eher vernachlässigten Randbedingungen und der -in die Natur nicht vorhandenen Isotropie- dieser sensible Unterschied der Auslauflinien nicht zum Tragen kommt. Eine Annahme einer exponentiellen Auslauflinie scheint also durchaus gerechtfertigt.

Die nichtlineare Dammdurchsickerungsformel passt sich prinzipiell zwar besser als die exponentielle Formel an die Auslauflinie an, da sie bauchiger ist, es ist aber ein Algorithmus zur Findung der unbekanntenen Anfangs- und Endwerte notwendig. Ohne diese Fehlerminimierung (Startwertsuche) sind die Ergebnisse nicht sehr gut, auch der Rechenaufwand für diese iterative Lösung (über das Finden von n) deutlich größer als bei der exponentiellen Linie.

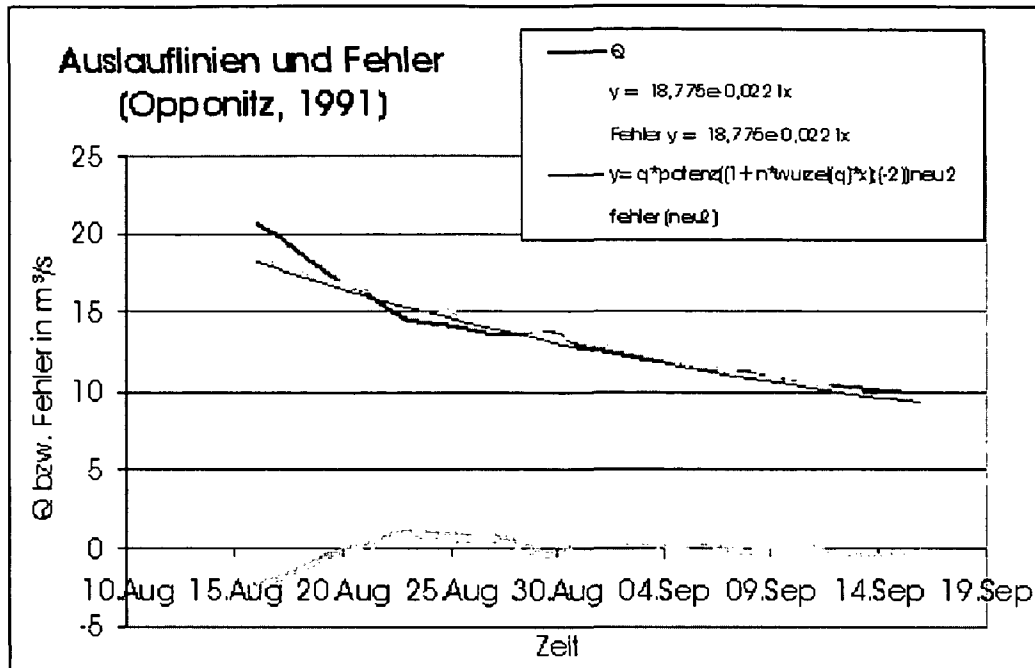


Abbildung 3- 12: Auslauflinien im Vergleich, Beispiel

Der Parameter für die Auslauflinie ist normalerweise nicht konstant, sondern wächst entlang dieser Linie (je flacher die Kurve wird, desto größer der k-Wert) (Wittenberg 1999). Im halblogarithmischen Maßstab ergäbe das eine konkave Linie, welche man auch annähern kann, indem man mehrere Speicher verwendet, wie es in Kapitel 4 für die ausgewählten Einzugsgebiete mit Difga2000 erfolgen wird.

Diese Annahme deckt sich mit der Überlegung, dass man davon ausgehen muss, dass auch der Grundwasserabfluss eines Einzugsgebietes nicht nur von einem Speicher genährt wird, sondern eine zeitliche und räumliche Überlagerung verschiedener Grundwasserspeicher darstellt.

Um prinzipiellen Überlegungen nachzugehen wird im folgenden, wie allgemein auch üblich, eine exponentielle Auslauflinie angenommen.

Anhand von extremen Trockenperioden in Thailand (Schwarze 1991) konnte gezeigt werden, dass diese Modellvorstellung die natürlichen Vorgänge gut widerspiegelt.

3.3.3.1 Saisonalitäten in den Auslauflinien

In der folgenden Graphik kann man sehr gut erkennen, dass die Auslauflinien recht unterschiedliche Längen und Neigungen annehmen können, generelle Aussagen aufgrund dieses Bildes sind schwierig. Im Frühjahr sind die Linien steiler (auch wenn Schneeschmelzvorgänge nicht betrachtet wurden). Diese Linien sind hellgrau liniert dargestellt. Im Herbst sind sie flacher. Im Januar und Februar findet man eine größere Variation an Linien.

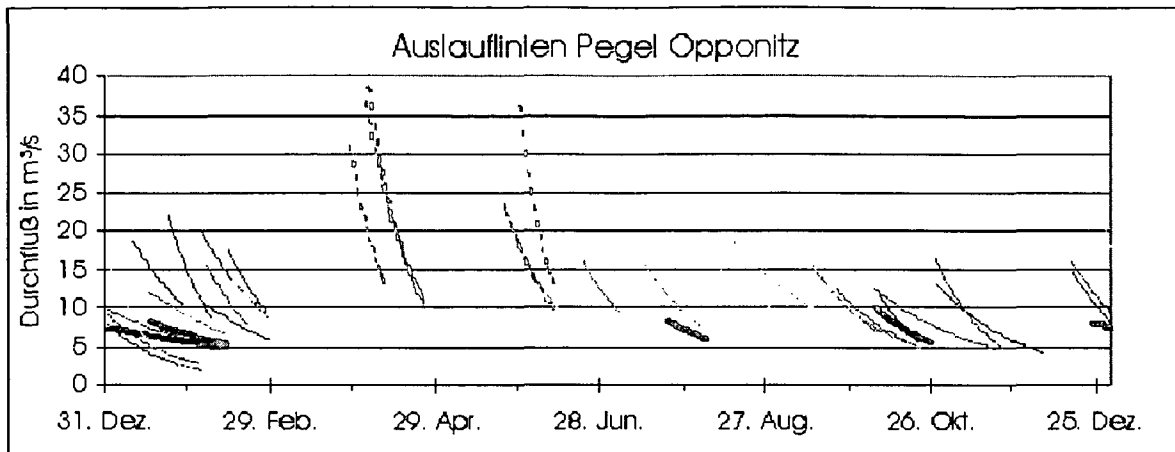


Abbildung 3- 13: Auslauflinien für den Pegel Opponitz 1971-96

Im Herbst werden daher niedrigere Werte, im Frühjahr höhere Werte für die Grundwasserreserven errechnet, was auch dem a priori Wissen entspricht, da man, beginnend mit dem hydrologischen Jahr, im Herbst von der kleinsten Speicherfüllung ausgeht und im Frühjahr ein Maximum erreicht wird. Diesen Zusammenhang kann man auch sehen, wenn man die Werte für das errechnete Grundwasservolumen mit den dazugehörigen Jahreszeiten vergleicht. Schwankungen kann es auch zwischen den einzelnen Jahren geben, welche in Abbildung 3- 13 zusammengefasst sind.

3.3.3.2 Einfluss der Länge der Trockenperioden

Meist wird der mobile Anteil des Grundwassers über- oder unterschätzt, da die Auslauflinien in der Regel durch kleinere Niederschlagsereignisse überlagert sind und die Forderung nach niederschlagsfreien Zeiträumen nicht erfüllt ist. Dadurch entstehen Fehler in der Abschätzung der Grundwasserreserven.

Berücksichtigt man bei den Berechnungen nur Abflussganglinien ohne Schneeschmelze, so kann man eine Abhängigkeit des errechneten Grundwasserspeichers von der Höhe des Niederschlages während der Rückgangphase feststellen.

Das Ergebnis lässt häufig unterschiedliche Interpretationen zu. Ein Niederschlag am Anfang oder vor der untersuchten Periode zu einem niedrigeren Schätzwert für das vorhandene Grundwasser, Niederschlag in der Mitte oder Ende der Periode zu einer flacheren Auslauflinie und einem höheren Schätzwert. Weiterhin ist die Saisonalität so groß, ein Vergleich der Auslauflinien ist nur zur gleichen Jahreszeit möglich, auch die Unterschiede zwischen einzelnen Jahren können groß sein.

In Abbildung 3- 14 sieht man die Sommerauslauflinien des Pegels Opponitz bei Niederschlägen unter 18 mm/Periode (diese sind zwischen 2 und 4 Wochen lang).

Eine wichtige Rolle spielt auch die räumliche Verteilung der Messstellen im Gebiet im Zusammenhang mit der Art und der Verteilung des Niederschlages. Fällt der Niederschlag weiter entfernt im Einzugsgebiet, während die Überregnung in Pegelnähe

klein ist, so kann die Abflussschwelle im Vergleich zu dem umgekehrten Fall stärker gedämpft werden. Auch die Zugrichtung des Niederschlages beeinflusst die Abflusshöhe. Es kann es sein, dass die Messstellen nicht immer repräsentativ sind.

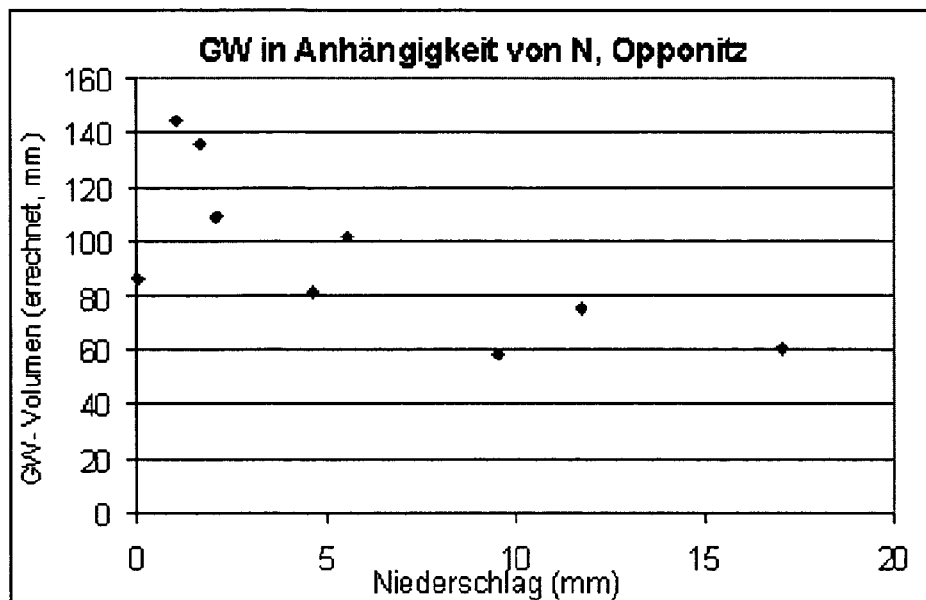


Abbildung 3- 14: Abhängigkeit des errechneten Grundwasservorkommens vom durchschnittlichen Niederschlag, Pegel Opponitz

Ein weiterer Faktor, den man für diese Untersuchung berücksichtigen muss, ist die Vorbefeuchtung des Gebietes. Ist sie schon groß, so kann der gesamte Niederschlag abflusswirksam werden.

Es gibt auch eine Art „Schwellenwert“ des Niederschlages, erst über diesem kann er abflusswirksam werden, da ein gleichmäßig verteilter Regen, vor allem im Sommer und Frühjahr zu großen Teilen verdunstet.

Die Auswertung mit einer linearen Auslaufelinie allein ist zu einfach, um die sehr komplexen Zusammenhänge zwischen Niederschlag und Abfluss im Raum und Zeit allgemeingültig wiedergeben zu können, da der Zusammenhang zwischen Niederschlag und Abflusshöhe wird von vielen Faktoren überlagert wird.

3.3.3.3 Ganglinienanalyse mit digitalen Filtern

Es gibt verschiedene Arten von Digitalen Filtern. Hino and Hasebe (1986) vergleicht die Ganglinienseparation eines auf Stundenbasis arbeitenden Filters mit der Separation durch geochemische Daten. Der verwendete (autoregressive, „AR“) Filter wertet die Neigung der halblogarithmisch dargestellten Auslaufelinien aus. Die aus Isotopenmessungen erhaltene Stoffbilanz ergibt eine Auslaufelinie, welche gut mit den Ergebnissen der automatischen Filtermethode übereinstimmt .

Baseflowseparation nach Arnold

Die „Automated baseflow separation and recession analysis techniques“ beruht auf einem rekursiven digitalen Filter und wurde von Nathan und Mc. Mahon (1990) beschrieben. Das Verfahren kommt ursprünglich aus der Signalanalyse. Es werden die hochfrequenten Signale des Abflusses dem Oberflächenabfluss (schnelle Reaktion) gleichgesetzt, die niederfrequenten dem Basisabfluss.

Der schnelle Abflussanteil (q_t), welcher in der Programmbeschreibung (Arnold 1995) als Oberflächenabfluss bezeichnet wird setzt sich zusammen aus:

Gleichung 4:
$$q_t = \beta \cdot q_{t-1} + \frac{(1+\beta)}{2} \cdot (Q_t - Q_{t-1})$$

Der Basisabfluss b , beträgt:

Gleichung 5:
$$b_t = Q_t - q_t$$

Wobei Q_t der Abfluss zum Zeitpunkt t und β der Filterparameter ist.

Der Ganglinie wird dreimal gefiltert, vorwärts, rückwärts, vorwärts. Je nach Erfahrungswerten und Geologie des Einzugsgebietes kann zwischen den drei Ergebnissen der Filterdurchläufe gewählt werden. Eine genaue Beschreibung und Vergleichsrechnungen mit klassischen Abflussganglinienanalysen findet man in der Arbeit von Arnold (Arnold 1995).

Das Verfahren hat zwar keine wahre physikalische Basis, ist aber objektiv und reproduzierbar. Das Programm wurde im Rahmen dieser Arbeit angewandt und wird in Kapitel 4.5 diskutiert (S. 119ff). Die graphische Darstellung der Separationsergebnisse sieht plausibel aus, wie man in Abbildung 3- 15 für den Pegel Schützen sehen kann.

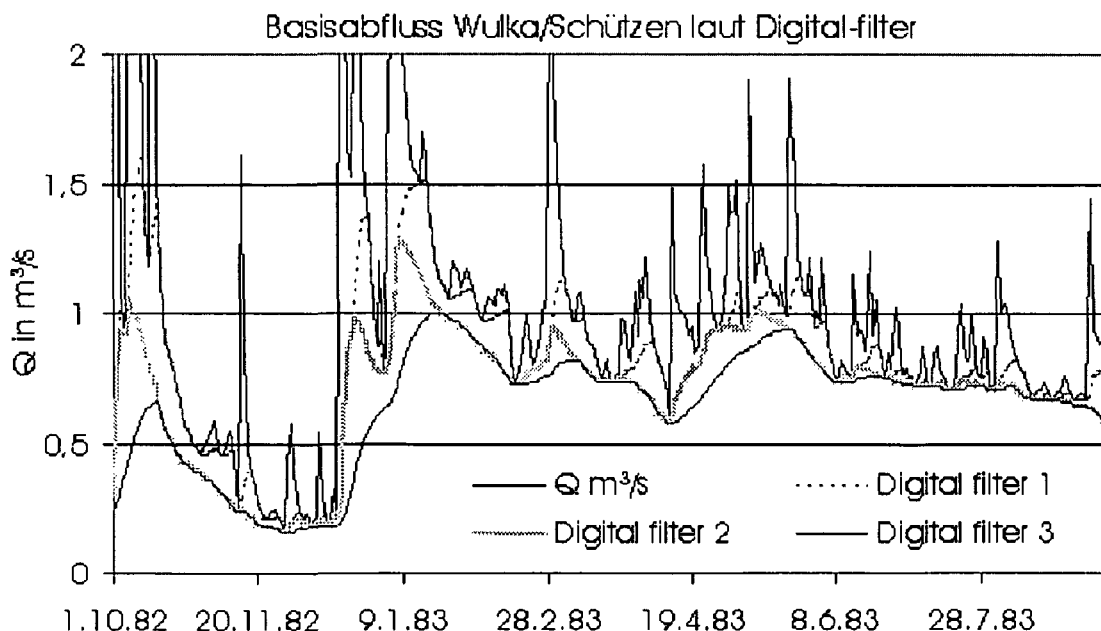


Abbildung 3- 15: Beispiel für eine Ganglinienseparation nach Arnold

3.3.4 Difga2000

Das **DIF**ferenz**G**anglinien**A**nalyseverfahren DIFGA wurde im Institut für Hydrologie und Meteorologie der Technischen Universität Dresden entwickelt. Seitdem wurde kontinuierlich an seiner Verbesserung gearbeitet. In jüngster Zeit ist DIFGA zu einem vollständig rechnergestützten Verfahren DIFGA 2000 weiterentwickelt worden (Schwarze 1991, Schwarze 2001).

Als Grundlage zur Beschreibung des Prozesses dient die Modellvorstellung des Einzel-linearspeichers. Demnach lässt sich der Abfluss in einem Einzugsgebiet als Summe des Auslaufes von n parallel geschalteten Speichern beschreiben. Es wird bei der Analyse der Ganglinien in diesem Programm daher von exponentiellen Auslaufkurven ausgegangen, welche im Programmcode fest vorgegeben sind.

Der Abfluss setzt sich aus einem langsamen grundwasserbürtigen Abfluss (QG_2) und einem schnelleren grundwasserbürtigen Abfluss (QG_1) sowie einem direktem Abflussanteil (QD) zusammen, welcher die schnellen Abflusskomponenten beinhaltet.

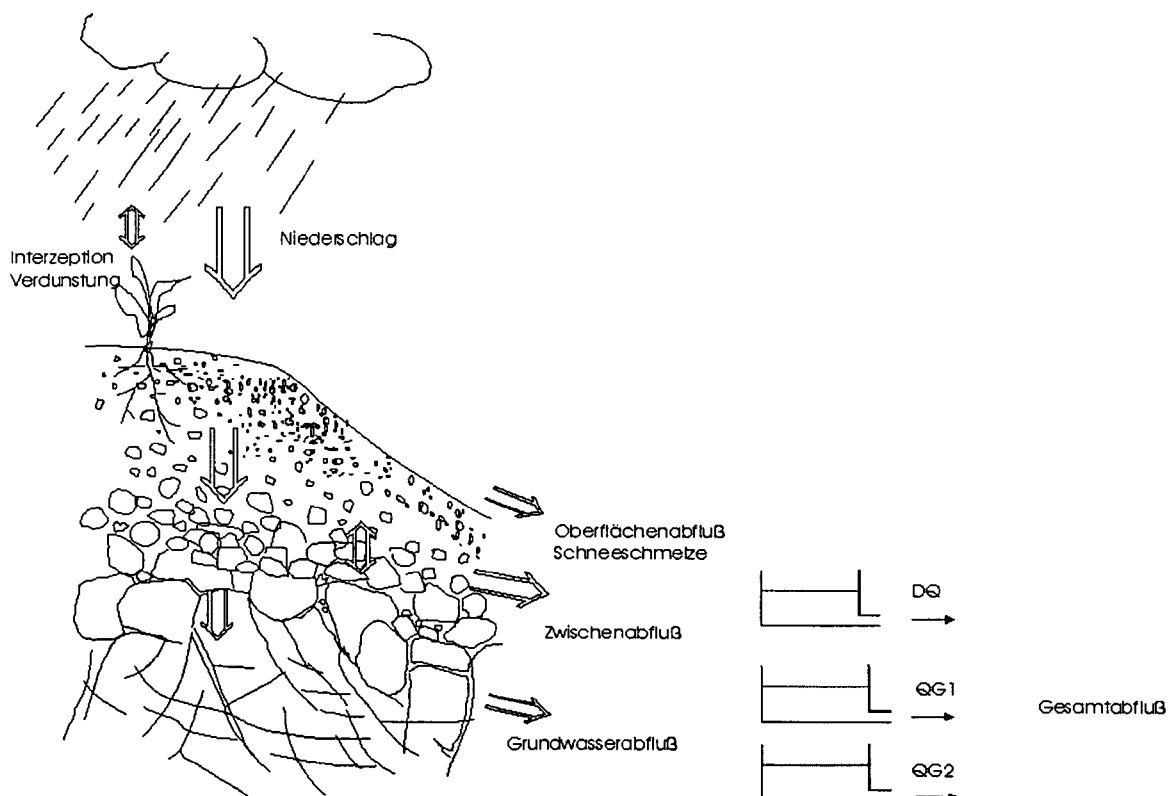


Abbildung 3- 16: Die Speicher in dem Modell Difga 2000

Der Grundwasserabfluss wird demnach als Kombination von 2 ($n=2$) Einzelinearspeichern gesehen.

Die Analyse der Auslaufkurven beginnt mit dem zuverlässigstem Wert, dem langsamen grundwasserbürtigen Anteil (QG_2). Die Werte für QG_2 schwanken am wenig-

ten. Von dem Gesamtabfluss wird dieser abgezogen, danach wird der schnellere grundwasserbürtige Abfluss (QG1) ermittelt, der restliche Abfluss wird dann als direkte Abflusskomponente interpretiert.

Berechnung der Abflusskomponenten

Der Auslauf eines Einzelinearspeichers (ELS) lässt sich mit Gleichung 2 (Seite 71) ermitteln. Wird die Gleichung logarithmiert, so ergibt sich bei der Darstellung des Rückganges in semilogarithmischer Darstellung (Abbildung 3- 11) eine Gerade mit dem Anstieg $(-1/K)$:

Gleichung 6 :

$$\ln Q(t) = \ln Q(t_0) - \frac{t - t_0}{K}$$

Für jede Abflusskomponente (i) wird eine Speicherkonstante (Rückgangskonstante) K_i angenommen. Demnach setzt sich der Rückgang des Gesamtabflusses aus mehreren parallel geschalteten ELS zusammen:

Gleichung 7:

$$Q(t) = \sum_{i=1}^N Q_i(t) = \sum_{i=1}^N Q_i(t_0) e^{\frac{-t}{K_i}}$$

Gleichung 8:

$$\ln Q(t) = \ln \sum_{i=1}^N Q_i(t) = \ln \sum_{i=1}^N Q_i(t_0) e^{\frac{-t}{K_i}}$$

Aus langjährigen Beobachtungsreihen des Durchflusses (zum Programmstart müssen sie mindestens 5 Jahre lang sein⁴) werden mit einer Separationsvorschrift die Abflusskomponenten kontinuierlich abgetrennt. Der Zeitschritt beträgt ein Tag. Dazu werden die Ganglinien speziellen Glättungsroutinen unterworfen, um die periodischen, jahreszeitlichen Schwingungen und die lokalen Minima und Maxima der Durchflussganglinie zu bestimmen. Über Trendanalysen unter Nutzung der Gleichung 6 werden die Rückgangskonstanten bestimmt (siehe Abbildung 3- 21), welche in DIFGA mit CG2 bzw. CG1 bezeichnet werden. Für die Bestimmung der Rückgangskonstanten erfolgt die Berücksichtigung der hydrogeologischen Eigenschaften des Gebietes über das Lithofazieskonzept (Seite 81).

Anschließend passt DIFGA an alle lokalen Rückgänge der Ganglinie, welche im Rahmen der Trend- und Schwingungsanalyse ermittelt wurden, Rückgangslinien in Form unterer Umhüllender an. Durch eine Verbindung dieser Rückgänge miteinander in Phasen generellen Anstiegs der Ganglinie wird letztlich eine kontinuierliche Ganglinie für eine Abflusskomponente erhalten.

Das Verfahren benötigt lange Datenreihen von mindestens 10-jähriger Dauer, da die Rezeptionskonstanten der langsamsten Komponente im Bereich zwischen 150 und 1000 Tagen liegt und nur an anhaltenden Niedrigwasserperioden extremer Trockenjahre bestimmt werden kann.

⁴ Siehe hierzu auch das Kapitel 4.7 „Einfluss der Datenlage“

Bei der Separation des Durchflusses wird mit der stabilsten, am wenigsten schwankenden Abflusskomponente QG_2 , begonnen. Anschließend wird eine Differenzganglinie DGL_1 ($\ln Q - \ln QG_2$) ermittelt und die Komponente QG_1 von der DGL_1 abgetrennt⁵. Der Gesamtabfluss Q setzt sich zum Zeitpunkt t aus den drei Komponenten QD , QG_1 und QG_2 zusammen:

$$\text{Gleichung 9:} \quad Q(t) = QD(t) + QG_1(t) + QG_2(t)$$

Die Abflusskomponenten des Pegels Opponitz für das Jahr 1979 sind in logarithmischer Darstellung in Abbildung 3- 17 zu sehen.

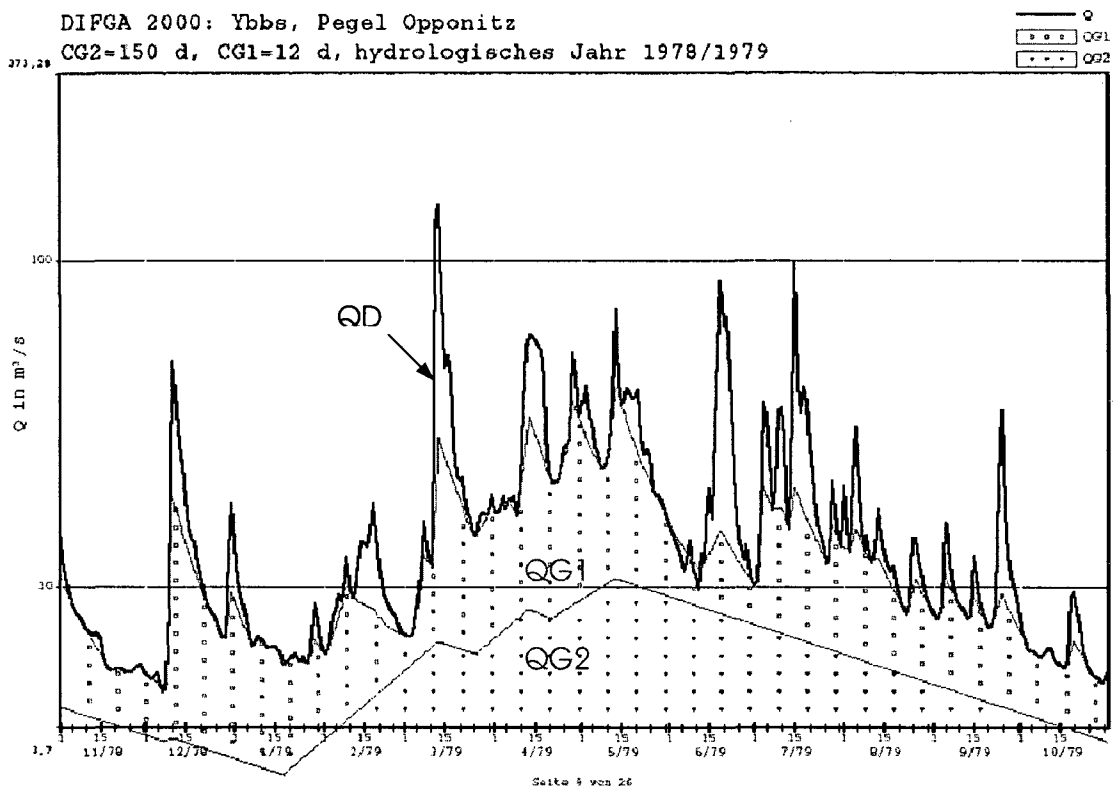


Abbildung 3- 17: Die Abflusskomponenten nach Difga; Beispiel Opponitz

$QD(t)$ beinhaltet den Oberflächenabfluss sowie schnelle bodeninnere Abflüsse (Interflow, Makroporenabfluss). QG_1 lässt sich in Festgesteinseinzugsgebieten relativ schnell entwässerbaren Teilsystemen (am Übergang Boden zu Anstehendem, Zerrüttungszonen, Karst etc.) zuordnen. QG_2 ist in Trockenperioden die einzige noch vorhandene Komponente und entstammt dem Kluft- und/oder Porengrundwasserleiter des Einzugsgebietes (Schwarze 2001).

⁵ Es kann noch die nächst schnellere Komponente QG_2 separiert werden. Wenn die dazu notwendigen, zeitlich höher aufgelösten Durchflusswerte zur Verfügung stehen.

| | | |
|-----|------------------------------|--|
| QD | Direktabfluss | Oberflächenabfluss |
| | | Sättigungsflächenabfluss |
| | | Makroporenabfluss (schnell) |
| QG1 | Schneller Grundwasserabfluss | ZWISCHENABFLUSS, INTERFLOW (LANGSAMER) |
| | | Schneller unterirdischer Abfluss |
| | | Temporärer Grundwasserabfluss |
| QG2 | Langsamer Grundwasserabfluss | Grundwasserneubildung |
| | | Verzögerter Basisabfluss |
| | | Echter Grundwasserabfluss |

Tabelle 3-1: Bezeichnungen der Abflusskomponenten in Difga2000 und Begriffe nach Kapitel 3.2.

Dass der Einzellinearspeicher als Modell zur Beschreibung des Grundwasserabflusses aus einem Gebiet geeignet ist, lässt sich an Durchflussganglinien aus Einzugsgebieten in Klimaregionen mit mehrmonatigen niederschlagsfreien Perioden besonders gut demonstrieren. Ein Beispiel, der Pegel Keang Kut am Mae Taeng River in Thailand findet man in (Schwarze 2001). Es ist hier zu erkennen, dass bereits 14 Tage nach dem Ende der Regenzeit die schnelleren Abflussanteile versiegen und nur noch der langsame Grundwasserabfluss QG2 den Pegeldurchfluss speist. In der semilogarithmischen Darstellung geht der Durchfluss linear zurück, was für die Anwendbarkeit von Gleichung 6 spricht.

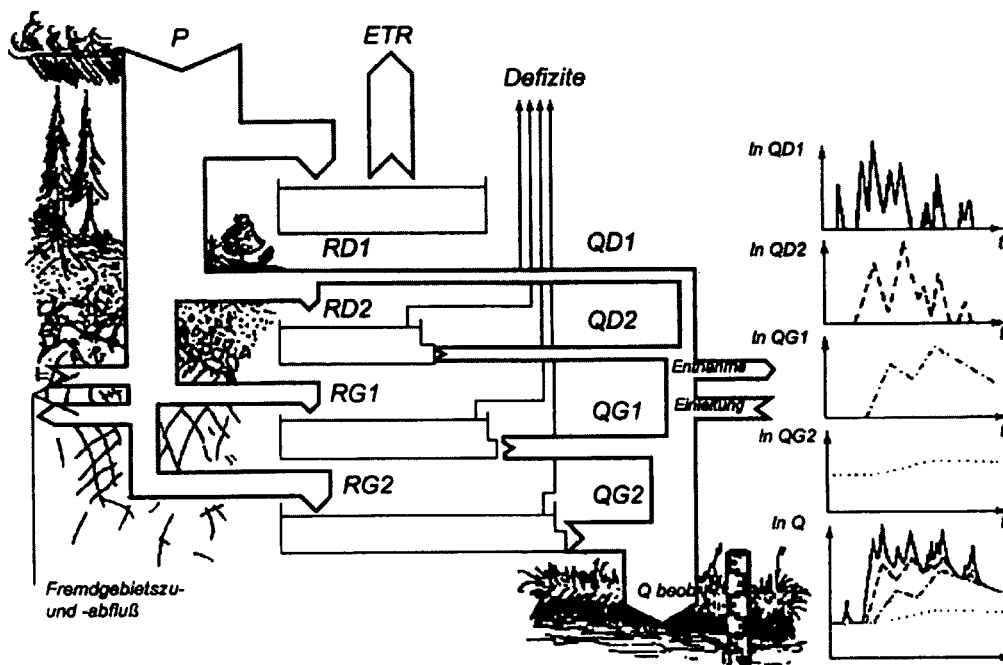


Abbildung 3- 18: Schema des Differenzganglinienanalyseverfahrens DIFGA, Bezeichnungen der Speicher, SCHWARZE et al. 1991

Lithofazieskonzept

Für die Arbeit mit DIFGA 2000 stellt das Lithofazieskonzept eine wesentliche Grundlage dar. Die Aufteilung der Abflusskomponenten erfolgt in Abhängigkeit von den Gebietseigenschaften mit Hilfe des Lithofazieskonzeptes. Das Lithofazieskonzept wurde im Rahmen des DFG-Schwerpunktprogramms „Regionalisierung in der Hydrologie“ entwickelt. Die Größe der dabei untersuchten mehr als 100 Einzugsgebiete liegt zwischen 10 und 500 km². Die Gebiete sind einer in Deutschland gelegene Untersuchungsregion zwischen Görlitz im Osten und Göttingen im Westen zuzuordnen.

Das Lithofazieskonzept geht vom dominanten Einfluss geologischer Eigenschaften auf den Grundwasserabfluss aus. In (Schwarze 2001) wird der Zusammenhang des „Konzeptparameters K“ mit den Gebietseigenschaften beschrieben.

Der Abfluss $q(t)$ in mm/Zeit ergibt sich zu:

Gleichung 10:
$$q(t) = q(t_0) \cdot B(t - t_0) + \int_{t_0}^t \sum_{j=1}^{\infty} A_j \cdot p(\tau) \cdot g_j(t - \tau) d\tau$$

| | |
|---|---|
| mit $q(t_0)$ | Abfluss zum Zeitpunkt $t=t_0$ |
| $B(t-t_0)$ | Rückgangsterm |
| $p(\tau)$ | GWN - Rate in mm/Zeit |
| $A_j = 8/(\pi^2 \cdot (2 \cdot j - 1)^2)$ | Anteil der Grundwasserneubildung an der j-ten Komponente der Impulsantwort mit $\sum A_j = 1$ |
| $g_j(t-\tau) = \exp(-(t-\tau)/K_j)/K_j$ | j-te Komponente der normierten Systemfunktion, entspricht der Impulsantwort des Einzellinearspeichers |

Die folgenden Gleichungen beschreiben das Parametermodell von Gleichung 10:

Gleichung 11:
$$K_j = \frac{4}{\pi^2} \cdot \frac{l}{(2 \cdot j - 1)^2} \cdot K$$

Rückgangskonstante des ELS der Komponente j mit der Maßeinheit Zeit

Gleichung 12:
$$K = \frac{n}{k_f} \cdot \frac{L^2}{M}$$

Gebietskennwert für die Rückgangskonstante mit der Maßeinheit Zeit.

| | |
|---|--------------------------------------|
| Mit M Mächtigkeit des Aquifers in m | n drainable Porosität, dimensionslos |
| k _f Gebirgsdurchlässigkeit in m/Zeit | L Fließlänge in m |

Als Ergebnis existiert ein physikalisch begründetes Parametermodell des Konzeptparameters "Rückgangskonstante CG" für verschiedene hydrogeologische Einheiten basierend auf dem Gebietskennwert K, welcher ausschließlich von hydrogeologischen (Gebirgsdurchlässigkeit, drainable Porosität) und morphometrischen

(Hanglänge, Aquifermächtigkeit) Gebietskennwerten abhängt. Ausgehend von obigen Gleichungen lässt sich für die langsamste mit DIFGA ermittelte Abflusskomponente RG2 die zugehörige Rückgangskonstante CG2 zu

$$CG2 \sim K1 \sim K$$

bestimmen. In Abbildung 3- 19 ist dokumentiert, dass für die mittels Gleichung 11 für konkrete Einzugsgebiete ermittelten Werte und die mit DIFGA bestimmten Rückgangskonstanten für die einzelnen hydrogeologischen Einheiten eine gute Übereinstimmung erzielt wird.

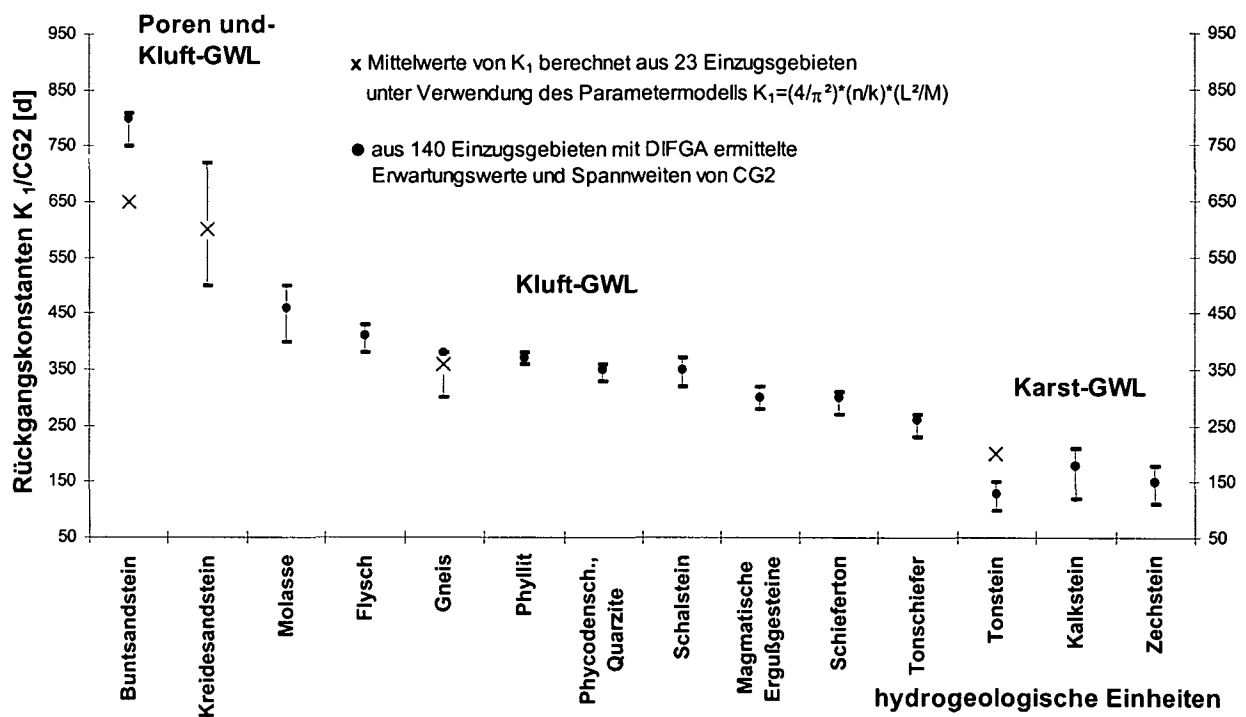


Abbildung 3- 19: Rückgangskonstanten für die langsamste Abflusskomponente in Abhängigkeit von der Lithofaziesseinheit

Die Unterteilung der Lithofaziesseinheiten stützt sich wesentlich auf die mit DIFGA durchgeführten Analysen in 140 Einzugsgebieten. Dabei sind deutliche Unterschiede im Grundwasserhaushalt in Abhängigkeit von der Gebietsgeologie zu erkennen. Diese Tatsache wird vor allem in ausgeprägten Trockenwetterrückgangsperioden deutlich. Der Abfluss setzt sich in solchen Abschnitten aus den unterirdischen Abflusskomponenten (QG1 + QG2) zusammen. Mit Hilfe der DIFGA - Analysen wurden jeweils die Rückgangskonstante CG2 des langfristigen unterirdischen Grundwasserabflusses und die Rückgangskonstante CG1 des kurzfristigen unterirdischen Grundwasserabflusses bestimmt.

Die mittlere jährliche Durchflusssumme für QG2 in mm/a kann der mittleren jährlichen Grundwasserneubildung GWN gleichgesetzt werden. In Abbildung 3- 20

Abhängigkeit vom mittleren Jahresniederschlag dargestellt. Diese Schlüsselkurven wurden aus DIFGA - Analysen unter Hinzuziehung weiterer Literaturangaben⁶ (Kraft und Schräber 1982; Mattheß 1983; Gabriel und Ziegler 1989; Jordan und Weder 1995, Schräber 1984) ermittelt.

In den Darstellungen wird der Spendenschlüssel in Form eines Mittelwertes mit Konfidenzbereich angegeben. Die linke Konfidenzgrenze steht für eine hohe Gebietsverdunstung, die rechte für eine geringe Gebietsverdunstung. Für die Lithofazies-einheit Kalkstein resultiert die Schwankung der Werte auch aus dem unterschiedlichen Verkarstungsgrad.

Für die dargestellten Lithofazies-einheiten beträgt die mittlere Grundwasserneubildung für einen mittleren Jahresniederschlag von 750 mm/a: Kalkstein 95 mm, Rotliegendes 100 mm (Gneis 135 mm und Kreidesandstein 85 mm)

Aus Kenntnis der mittleren jährlichen Gebietsniederschlagssumme und der Einzugs-gebietsgröße lassen sich für alle betrachteten Lithofazies-einheiten die mittlere jährliche GWN und damit auch der mittlere Durchfluss QG2 bestimmen.

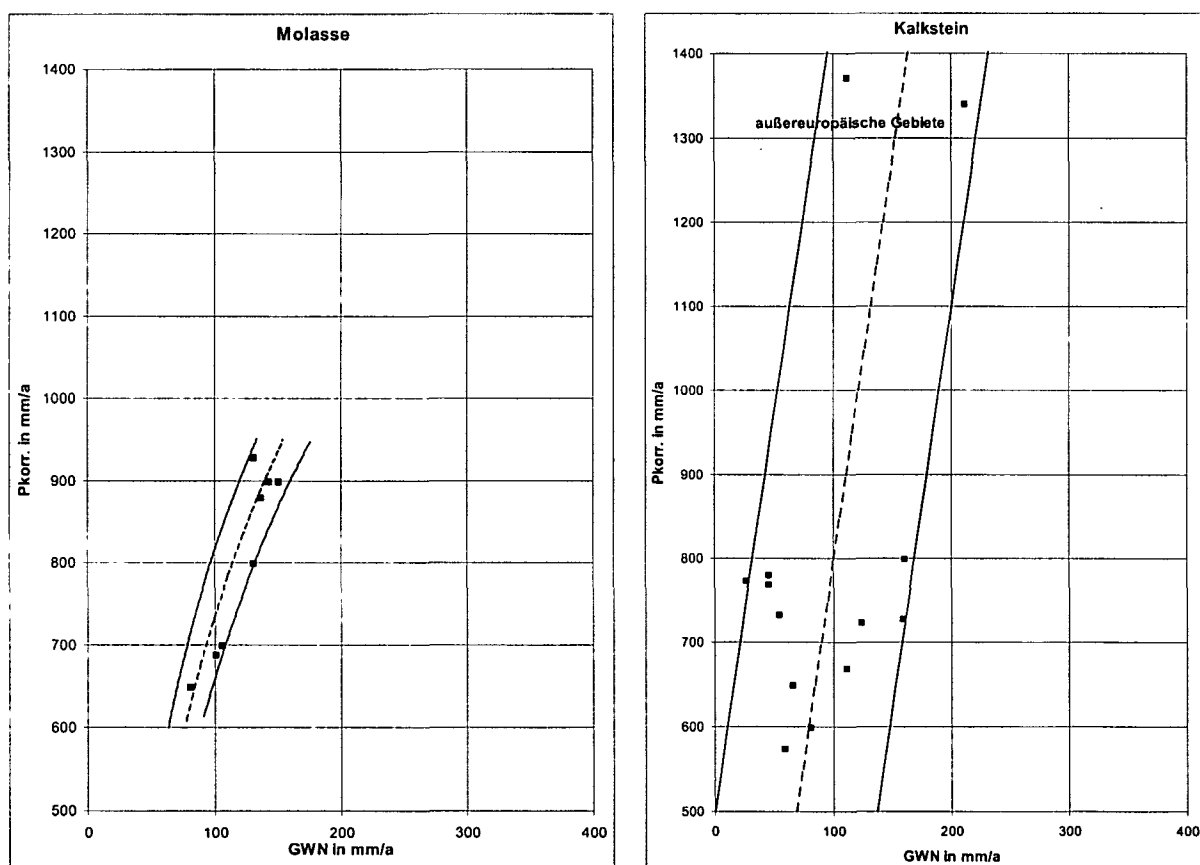


Abbildung 3- 20: Mittlere jährliche Grundwasserneubildung für verschiedene Lithofazies-einheiten in Abhängigkeit vom Gebietsniederschlag (Schwarze 2001)

Die nachfolgenden Tabelle (Tabelle 3-2) zeigt die Rückgangskonstanten für CG2

⁶ siehe hierzu Schwarze, R. (2001)

und CG1 in Abhängigkeit von den hydrogeologischen Einheiten.

| Hydrogeologische Einheit | Erwartungswert d. Rückgangskonstante CG1 in d | Spannweite Rückgangskonstante CG1 in d | Erwartungswert d. Rückgangskonstante CG2 in d | Spannweite Rückgangskonstante CG2 in d |
|-----------------------------|---|--|---|--|
| Löß | 12 | 8 – 13 | 250 | 210 – 290 |
| Pleistozäner Randtyp | 8 | 6 – 10 | 150 | 100 – 180 |
| Buntsandstein unt. / mittl. | 10 | 4 – 24 | 800 | 750 – 850 |
| Kreidesandstein | 11 | 10 – 13 | 600 | 500 – 720 |
| Molasse Rotliegendes | 8 | 7 – 9 | 460 | 400 – 500 |
| Flysch | k.A. | k.A. | 410 | 380 – 430 |
| Magmatisches Tiefengestein | 13 | 9 – 15 | 400 | 320 – 420 |
| Gneis | 10 | 6 – 13 | 380 | 300 – 400 |
| Phyllit | 10 | 7 – 21 | 370 | 350 – 400 |
| Phycodenschichten, Quarzit | 11 | 8 – 15 | 350 | 320 – 360 |
| Schalstein | k.A. | k.A. | 350 | 320 – 370 |
| Grauwacke | 9 | 8 – 11 | 350 | 320 – 360 |
| Magmatische Ergussgesteine | 12 | 8 – 18 | 300 | 270 – 310 |
| Schieferton | k.A. | k.A. | 300 | 270 – 310 |
| Tonschiefer | 8 | 8 – 10 | 260 | 200 – 270 |
| Kalkstein | 10 | 6 – 13 | 180 | 120 – 210 |
| Zechstein | k.A. | k.A. | 150 | 90 – 200 |
| Tonstein | 6 | 5 – 6 | 130 | 100 – 150 |

Tabelle 3-2: Rückgangskonstanten CG2 der stark verzögerten Abflusskomponente und die Rückgangskonstanten CG1 der schnellen Abflusskomponente

Die Werte der Tabelle wurden für ausgewählte hydrogeologische Einheiten auf der Grundlage von mehr als 100 mit Difga analysierten Einzugsgebieten ermittelt. (Schwarze 2001) Die hydrogeologisch klassifizierten Rückgangskonstanten sind jedoch "unscharfe" Parameter, die durch einen Erwartungswert und eine Spannweite dargestellt werden können. Wegen der verschiedenen Einflussfaktoren kann nicht erwartet werden, dass für jedes Einzugsgebiet die Rückgangskonstante identisch ist, die gefundenen Werte schwanken deshalb.

Wenn es Perioden gibt, für die DIFGA 2000 einen Wert innerhalb des durch die Lithofaziesauswahl festgelegten Intervalls gefunden hat, werden diese visualisiert. Gibt es mehrere solcher Perioden, so werden diese nach einem Gütekriterium sortiert, so dass in der Regel die geeignetste als erstes angezeigt wird.

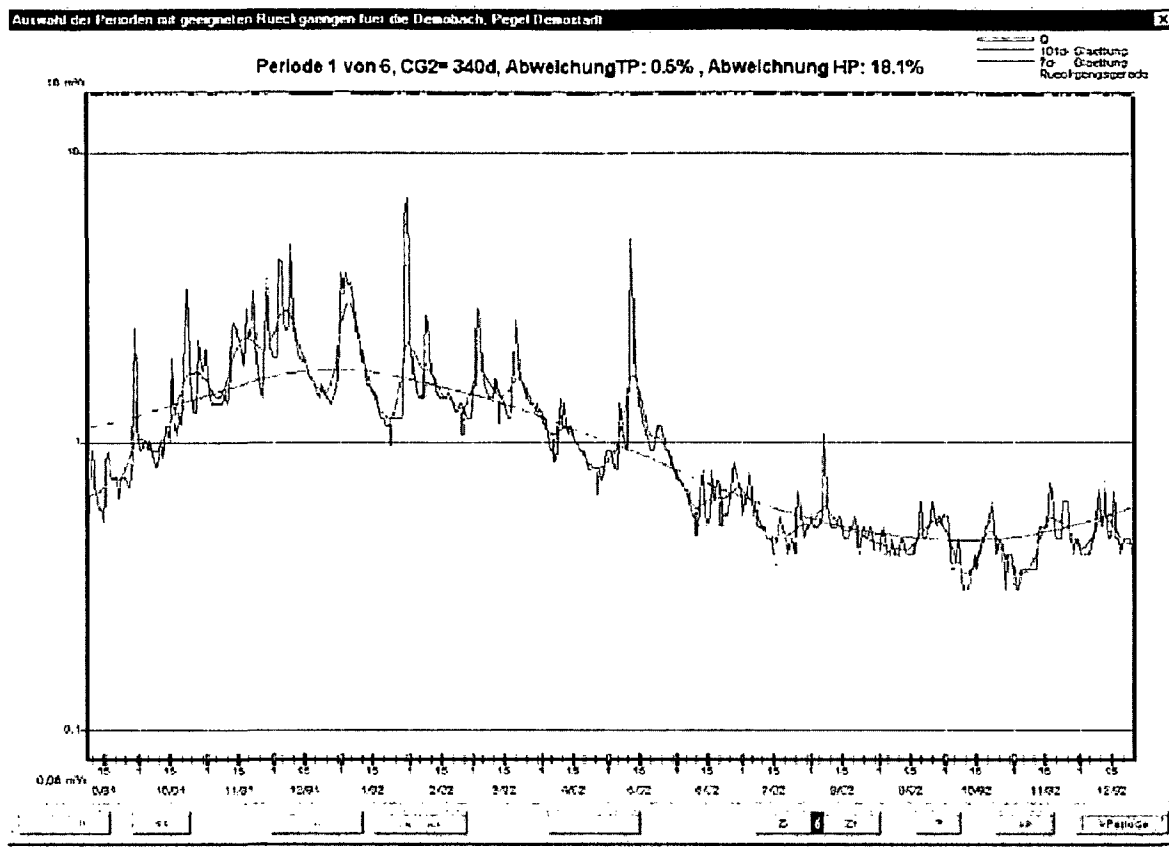


Abbildung 3- 21: Bildschirmausdruck Difga2000, Vorschlag des Programmes für die langsame Rückgangskonstante CG2, 101 d Glättung

DIFGA 2000 ermittelt die Rückgangsgerade und damit den CG2-Wert für eine Periode aus einer Trendlinie durch die gelb markierten Minima.

DIFGA 2000 zeigt zu jeder Periode den aktuellen CG2-Wert an. Der Bearbeiter muss entscheiden, welche Perioden er nimmt. In Abbildung 3- 21 ist die erste von 6 gefundenen Rückgangskonstanten dargestellt.

Hier ist das geschulte "hydrologische Auge" gefragt. Eine kleine Hilfe dabei bieten die roten und gelben Striche unterhalb der Minima der 7d-Glättungslinie sowie die Werte "Abweichung TP" und "Abweichung HP" in der Beschriftung der Periode.

"Abweichung TP" bedeutet die mittlere prozentuale quadratische Abweichung der CG2-Gerade zu jedem gelben Minimum. Sie sollte so gering wie möglich sein. Ebenso verhält es sich mit der "Abweichung HP (Hochpunkt)". Dieser Wert ist die mittlere prozentuale quadratische Abweichung der CG2-Gerade zu jedem Maximum der 7d-Glättung zwischen dem ersten und dem letzten gelben Minimum.

Mit Hilfe dieser Werte und der Visualisierung der Rückgangsperioden kann der Nutzer sich geeignete Perioden suchen.

Aus den Rückgangskonstanten aller ausgewählten Perioden wird anschließend ein endgültiger CG2-Wert durch arithmetische Mittelung berechnet.

Bilanz

Die Korrektur des Niederschlages muss manuell erfolgen. Die Niederschlagsdaten werden korrigiert, indem der Rückhalt in der Schneedecke und die Schneeschmelze berücksichtigt werden. Eine Korrektur der Daten nach Richter (also eine Korrektur der Messfehler) wird empfohlen.

Die Nachlieferung der Speicher wird im Programm mit RG1 und RG2 für die beiden Grundwasserspeicher bezeichnet. Sie werden für jeden Monat mit folgender Formel berechnet:

$$RG2_i = CG2_i \cdot \Delta QG2_i \cdot \frac{86,4}{A_E}$$

Es wird zuerst RG2 abgezogen dann RG1 (analoge Formel), den Rest bildet dann die Zulieferung in die oberen Bodenhorizonte, die Vegetation, den Schnee und die Verdunstung.

3.3.5 Werte aus der Literatur

In (Arnold 1995) findet man einen Vergleich verschiedener Auslauflinienanalysen. Manuelle Ergebnisse aus 11 Veröffentlichungen (alle US-amerikanische Einzugsgebiete) werden mit zwei automatisierten Techniken (PART, recursive digital filter) verglichen. Die errechneten Grundwasseranteile liegen für alle Ergebnisse zwischen 32 und 89%, der Mittelwert beträgt dabei 64 %.

| Veröffentlichung | Manuelle Separat. | PART | Recurs. digitaler Filter | | | Mittelw. |
|------------------------------|----------------------|------|--------------------------|----|----|----------|
| | | | 1 | 2 | 3 | |
| 1 Becher and Root, 1981 | 66 | 66 | 67 | 53 | 47 | 60 |
| 2 Becher and Root, 1982 | 80 | 80 | 79 | 53 | 64 | 71 |
| 3 Carswell and Lloyd, 1979 | 66 | 70 | 71 | 70 | 48 | 65 |
| 4 Dingmann and Mayer, 1954 | 67 | 66 | 68 | 57 | 54 | 62 |
| 5 Dingmann and Ferguson, '56 | 66 | 71 | 72 | 58 | 60 | 65 |
| 6 Olmsted and Hely, 1962 | 68 | 70 | 74 | 64 | 60 | 67 |
| 7 Steward et al., 1964 | 75 | 81 | 80 | 72 | 66 | 75 |
| 8 Stuart et al., 1967 | 49 | 62 | 64 | 48 | 40 | 53 |
| 9 Taylor et al. 1983 | 89 | 89 | 85 | 71 | 72 | 81 |
| 10 Waller, 1976 | 67 | 73 | 70 | 58 | 51 | 64 |
| 11 Wood, 1980 | 39 | 47 | 55 | 39 | 32 | 42 |
| Mittelwerte | 67 | 70 | 71 | 59 | 54 | 64 |

Tabelle 3-3: Anteile des Grundwassers am Gesamtabfluss, Literaturangaben (Arnold 1995)

In einer Arbeit von Elthahir et. al. (Elthahir and Yeh 1999) wird die Varianz in den Abfluss- und Grundwasserganglinien sowie in den Niederschlagsdaten untersucht. Er kommt zu dem Schluss, dass die GW-Stände 60% der Varianz im Abfluss erklären, der Niederschlag hingegen nur 10 %, daher muss der Oberflächenabfluss sehr viel kleiner als der ($R_s \ll R_{GW}$) sein. Bei einer linearen Regressionsanalyse ergibt sich daher ein Anteil von R_{GW} von 75%.

Wittenberg untersucht in einen Forschungsbericht (Wittenberg 1997) 14 Pegel an der oberen Weser und Leine in den Zeitraum 1960-95, die Grundwasserabflüsse bilden hier einen relativ festen Anteil der jeweiligen Gesamtabflüsse von 60 bis über 80 %.

Arnold zitiert Extremwerte für den Grundwasseranteil mit über 90% des Durchflusses (Arnold, Muttiah et al. 2000) in Teilen der Atlantic Coastal Plain, William and Pinder, 1990 und 50% Zentral-Texas (Arnold et al., 1993)

Ein Vergleich der Ergebnisse des Wasserhaushaltsmodelles Swat und Ganglinienanalysen (mit dem Digital Filter Model) und der Grundwasserneubildung (errechnet mit der „modified hydrograph recession curve displacement technique“) ergeben nach Arnold eine gute Übereinstimmung (Arnold and Allen 1996).

In einem Aufsatz zur Regionalisierung von Abflusskomponenten (Sommerhäuser, A. et al.) im Festgesteinsbereich und Quartär wird die dominante Rolle GW Abfluss beschrieben, er ist viel größer als Direkt- und Oberflächenabfluss. Aus isotopenhydrologischen und geochemischen Untersuchungen ist bewiesen, das 60 bis 80 % des Gesamtabflusses bei Hochwasserereignissen aus den indirekten Abflusskomponenten kommen.

Eine australische Untersuchung von (Su 1995) ergibt einen Grundwasseranteil von 63%, mehr als 80% Grundwasser gibt es nach Herrmann (zitiert in Wittenberg (1997)).

3.4 SCHLUSSFOLGERUNGEN, ANWENDBARKEIT DER METHODEN

Für die Abschätzung des Grundwasservorkommens sind verschiedene Möglichkeiten denkbar. Es kann über Bilanzen mit Niederschlag-Abfluss-Modellen, über Gebiets-eigenschaften und Literaturwerte, über Messungen oder mittels Auslauflinien abgeschätzt werden.

Statistische Methoden sind anwendbar, wenn keine Einzeldaten vorliegen oder wenn vorhandene Messreihen für die Ganglinienanalyse zu kurz oder lückenhaft sind. Die Methode nach Wundt ergibt jedoch eine sehr niedrige Abschätzung des (Mindest-) Grundwasserabflusses, die Methode nach Lillich ergibt realistischere Ergebnisse, wie auch im folgenden Kapitel 4 zu sehen sein wird.

Die „Automated baseflow separation and recession analysis techniques“ nach Arnold kommt ursprünglich aus der Signalanalyse. Es werden die hochfrequenten Signale des Abflusses dem Oberflächenabfluss (schnelle Abflussreaktion) gleichgesetzt,

die niederfrequenten dem Basisabfluss. Das Modell ist einfach anzuwenden und reproduzierbar. Bei der Separation kann man das a priori Wissen durch Auswahl des plausibelsten Ergebnisses dreier Filterdurchläufe des Modelles einbringen. Eine weitere Korrektur ist nicht möglich.

Die Auswertung mit einer linearen Auslauflinie allein ist zu einfach, um die sehr komplexen Zusammenhänge zwischen Niederschlag und Abfluss im Raum und Zeit all-gemeingültig wiedergeben zu können, der Zusammenhang zwischen Niederschlag und Abflusshöhe wird von vielen Faktoren überlagert.

Die jahreszeitlichen Schwankungen des Grundwasserstandes (im Herbst ist die Speicherfüllung am kleinsten und im Frühjahr wird ein Maximum erreicht) bewirken unterschiedlichen Rückgangskonstanten. Dadurch können jahreszeitliche Schwankungen und ein steigender oder fallender Grundwasserstand berücksichtigt werden.

Offt werden die Auslauflinien durch kleinere Niederschlagsereignisse überlagert und die Forderung nach niederschlagsfreien Zeiträumen ist nicht erfüllt (es existieren nur wenige niederschlagsfreie Phasen). Dadurch entstehen Fehler in der Abschätzung der Grundwasserreserven.

Eine wichtige Rolle spielt auch die räumliche Verteilung der Messstellen im Gebiet im Zusammenhang mit der Art und der Verteilung des Niederschlages. Fällt der Niederschlag weiter entfernt im Einzugsgebiet, während die Überregnung in Pegelnähe klein ist, so kann die Abflusswelle im Vergleich zu dem umgekehrten Fall stärker gedämpft werden. Auch die Zugrichtung des Niederschlages beeinflusst die Abflusshöhe. Es kann es sein, dass die Niederschlagsmessstellen nicht immer repräsentativ sind.

Ein weiterer Faktor, der für diese Untersuchung berücksichtigt werden muss, ist die Vorbefeuchtung des Gebietes. Ist sie schon groß, so kann der gesamte Niederschlag abflusswirksam werden.

Bei der manuellen Ganglinienseparation wurde der Grundwasserspeicher als Einzel-linearspeicher angenommen. Die Länge des absteigenden Astes wird dabei manuell festgelegt und mit einer exponentiellen Ausgleichsgeraden angenähert. Die manuelle Anpassung beinhaltet demnach auch eine Korrektur (durch das Nichtberücksichtigen ungeeigneter Abschnitte wie der Schneeschmelze) und bietet weiterhin die Möglichkeit für verschiedene Grundwasserstände auch verschiedene Auslauflinien (Neigungen) anzunehmen.

Die manuelle Ganglinienseparation ergibt jedoch aufgrund der subjektiven Auswahl der Auslaufperioden und der ungenügenden Anzahl der Auslauflinien insgesamt schlechte Abschätzungen des Grundwasserspeichers. Dabei spielt die Wahl der Auslaufcharakteristik (linearer Speicher, nichtlinearer Speicher) eine untergeordnete Rolle.

Die Rückgangskonstante für die Auslauflinie ist normalerweise nicht konstant, sondern wächst entlang dieser Linie, je flacher die Kurve wird, desto größer der k-Wert. Im halblogarithmischen Maßstab ergäbe das eine konkave Linie, welche man auch annähern kann, indem man mehrere Speicher verwendet.

Den Grundwasserabfluss eines Einzugsgebietes kann man sich auch als zeitliche und räumliche Überlagerung verschiedener Grundwasserspeicher vorstellen

In Difga 2000 wird der Grundwasserabfluss als Kombination von zwei Einzellinearspeichern gesehen.

Die Aufteilung der Abflusskomponenten erfolgt in Abhängigkeit von den Gebiets-eigenschaften mit Hilfe des Lithofazieskonzeptes. Das Lithofazieskonzept geht vom dominanten Einfluss geologischer Eigenschaften auf den Grundwasserabfluss aus, welche durch eine manuelle Vorgabe der Speicherkonstanten Berücksichtigung finden können. Auch die manuelle Korrektur einzelner Abschnitte der automatischen Separation, wie sie in dem Modell Difga 2000 möglich ist, erscheint sinnvoll.

Der Arbeits- und Datenaufwand für die Ganglinienanalyse mit Difga2000 ist gering. Die Ergebnisse stimmen mit jenen der Literatur und Ergebnissen anderer Ganglinienanalysen (siehe Kapitel 4) gut überein.

Die Ganglinienseparation ist reproduzierbar und daher glaubwürdiger (weniger subjektiv) als die manuelle Separation.

Eine Analyse ist nur mit langen, zusammenhängenden Datenreihen täglicher Abflüsse möglich. Die Qualität der Messdaten kann ebenfalls ein limitierender Faktor für die Untersuchung der Auslauflinien sein (siehe Kapitel 4.7)

Für die einzelnen Abflusskomponenten bestehen, aufgrund unterschiedlicher Modellvorstellungen über den Abfluss und dessen Entstehung, unterschiedliche Begriffssysteme.

In Difga2000 wird zwischen einem langsamen grundwasserbürtigen Abfluss (QG2) und einem schnelleren grundwasserbürtigen Abfluss (QG1) sowie einem direkten Abflussanteil (QD) unterschieden.

QD beinhaltet den Oberflächenabfluss sowie schnelle bodeninnere Abflüsse (Interflow, Makroporenabfluss). QG1 lässt sich in Festgesteinseinzugsgebieten relativ schnell entwässerbaren Teilsystemen (am Übergang Boden zu Anstehendem, Zerrüttungszonen, Karst etc.) zuordnen, er beinhaltet die langsameren Zwischenabflüsse. QG2 ist in Trockenperioden die einzige noch vorhandene Komponente und entstammt dem Kluff- und/oder Porengrundwasserleiter des Einzugsgebietes.

Im folgenden soll die Richtigkeit der Difga-Ergebnisse und die Übertragbarkeit der für Deutschland entwickelten Lithofazieseinheiten in Österreich durch einen Vergleich mit anderen Methoden bestätigt werden.

Weiterhin soll die Aussagekraft der Abflusskomponentenverteilung hinsichtlich der Fließwege und des damit verbundenen Nährstoffeintrages in die Gewässer untersucht werden.

4 ANWENDUNG IN AUSGEWÄHLTEN EINZUGSGEBIETEN

4.1 DIE EINZUGSGEBIETE DER YBBS UND WULKA

Die Donau entwässert ein Einzugsgebiet von 817000 km² und mündet, nachdem sie 2857 km zurückgelegt hat, mit einer mittleren jährlichen Wasserführung von 6500 m³/s in das Schwarze Meer (Stancik, Jovanovic et al. 1988). Sie ist -nach der Wolga- der zweitgrößte Fluss Europas.

An dem Einzugsgebiet haben 12 Staaten Anteil, der Anteil Österreichs beträgt 9,9 %, das sind 80700 km², was fast den gesamten Flächenanteil des Landes ausmacht (96,3 %).

Das Donaueinzugsgebiet wird in drei Einheiten gegliedert. Österreich liegt mit dem Mühl- und Waldviertel (auf der nördlichen, also orografisch linken Seite der Donau) und mit dem alpinen Einzugsgebiet (südlich, rechtsufrig der Donau) im oberen Donaueinzugsgebiet, welches bis zur Porta Hungarica östlich von Wien reicht. Einige Ausläufer der Alpen (das Leithagebirge) und das Einzugsgebiet der March liegen im mittleren, größten und einheitlichsten Donaueinzugsgebiet, welches bis zum Eisernen Tor reicht.

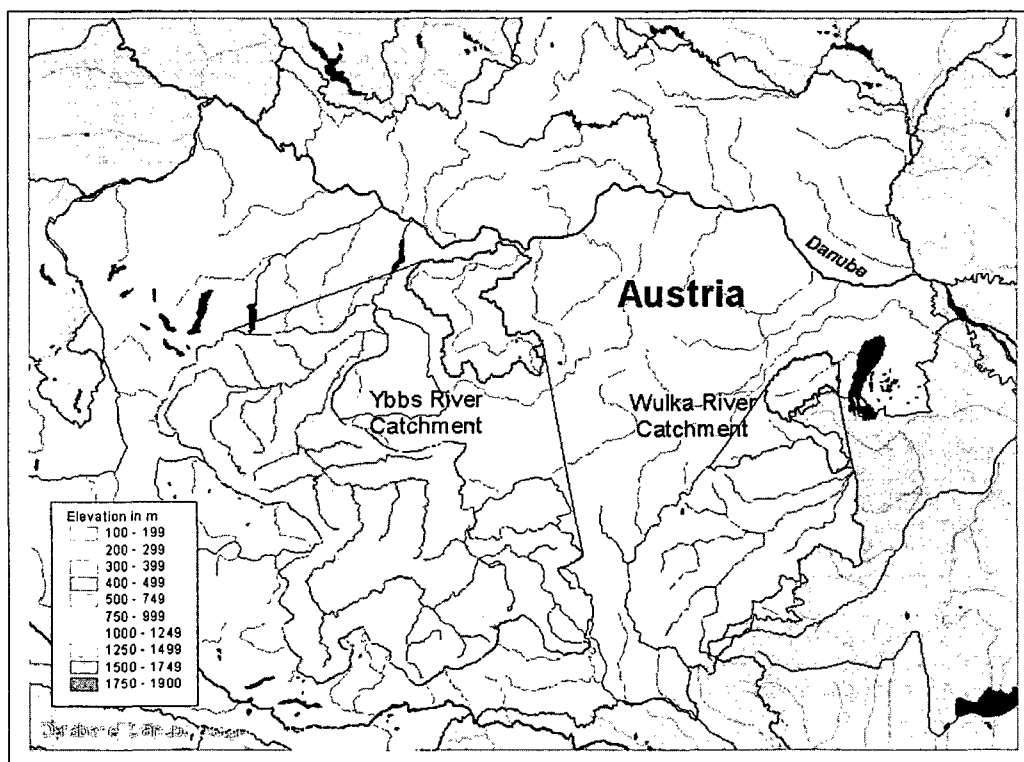


Abbildung 4-1: untersuchte Einzugsgebiete (Blaschke, Heinecke et al. 2002)

Es wurden zwei Teileinzugsgebiete der Donau in Österreich ausgewählt; das Einzugsgebiet der Ybbs in den nördlichen Kalkalpen und das Wulkatal, ein flaches, trockenes Einzugsgebiet im Osten Österreichs. Die Wulka mündet in den Neusiedler See.

4.2 CHARAKTERISTIK DES EINZUGSGEBIETES DER YBBS

Das Einzugsgebiet der Ybbs liegt auf der orografisch rechten Donauseite und ist 1293 km² groß. Die Ybbs hat eine Länge von 131 km und mündet mit einem durchschnittlichen Durchfluss von 30,3 m³/s bei Donau Kilometer 2057 ein. Sie bildet den letzten, größeren Alpenzufluss und hat bei der Mündung noch alpinen Charakter. Der letzte Pegel vor der Donau ist Greimpersdorf, sein Einzugsgebiet beträgt 1117 km².

Eine kurze Übersicht über seine hydrologischen Verhältnisse soll Tabelle 4-1 (Hydrographischer Dienst 2003), (Blaschke, Heinecke et al. 2002) geben:

| | | |
|--|---------------------------|-------------------|
| mittlerer Niederschlag | 1377 | mm/a |
| mittlere Hangneigung | 31 | % |
| mittlere Abflussspende h_A | 857 | mm/a |
| mittlerer Durchfluss MQ | 30,3 | m ³ /s |
| MJNQ _T (mittleres Niederwasser) | 8,6 | m ³ /s |
| MJHQ (mittleres Hochwasser) | 424 | m ³ /s |
| Einwohnerdichte | 68 | E/km ² |
| Landnutzung | Acker, Wald, Weideflächen | |
| Hydrogeologische Char. | Festgestein und Sedimente | |

Tabelle 4-1: Eigenschaften des Ybbs-Einzugsgebietes (1971-2000)

Die untersuchten Teileinzugsgebiete und ihre Einzugsgebietsgrößen sind aus Abbildung 4-2 zu entnehmen:

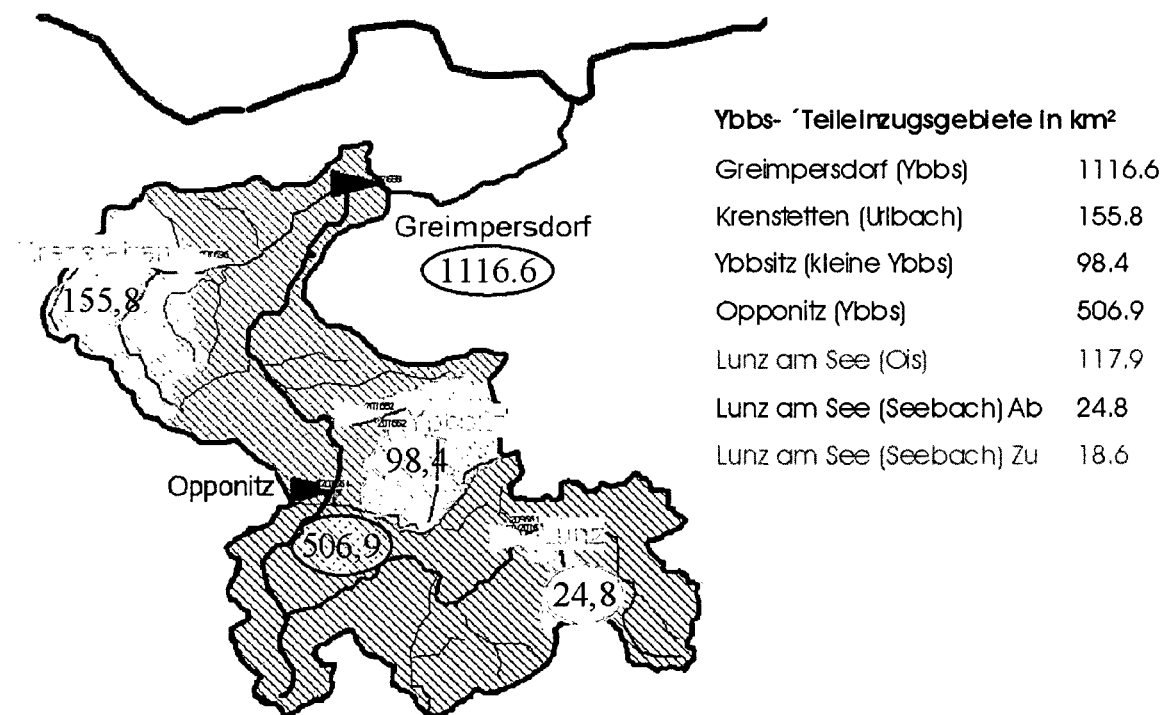


Abbildung 4-2: Teileinzugsgebiete der Ybbs für die Berechnungen

Die Teilgebiete unterscheiden sich sehr stark voneinander. Das Ybbstal liegt zwischen 250 m und 1900 m Seehöhe, die mittlere Neigung beträgt 31%.

Im oberen, alpinen Bereich sind die Niederschlagshöhen und Hangneigungen groß; enge, bewaldete Täler bestimmen das Landschaftsbild. Das nördliche Einzugsgebiet ist flach bis hügelig, Wiesen und ackerbaulich genutzte Flächen liegen vor, die Niederschlagshöhe ist kleiner.

| Teileinzugsgebiet | Lunz („groß“) | Opponitz | Ybbsitz | Krenstetten |
|--|-------------------------|---------------|---------------|-------------------------|
| Einzugsgebiet in km ² | 118 („groß“) | 507 | 98 | 151 |
| MJNQ [m ³ /s] | - | 5,17 | 0,95 | 0,38 |
| MQ [m ³ /s] / h _A [mm] | - (1917mm) ¹ | 19,7 / 1229 | 2,7 / 869 | 2,07 / 420 |
| MJHQ [m ³ /s] | - | 267 | 50,6 | 70,7 |
| Landnutzung (Haupta.) | Wald 76% | Wald 65% | Wald 48% | Grünl.41% |
| Dominanter Bodentyp | Rendzina 93% | Rendz. 80% | Rend. (93%) | Luvisol (46%) |
| Geologische Einheit | Dolomit (45%) | Dolomit (44%) | DOLOMIT (43%) | Sandstein, Flysch (65%) |
| Niederschlag in mm | 1682 | 1572 | 1367 | 983 |
| Höhe des EG in m.ü.A. | 1045 | 914 | 700 | 440 |

Tabelle 4-2: grobe Charakteristik der Teileinzugsgebiete ²

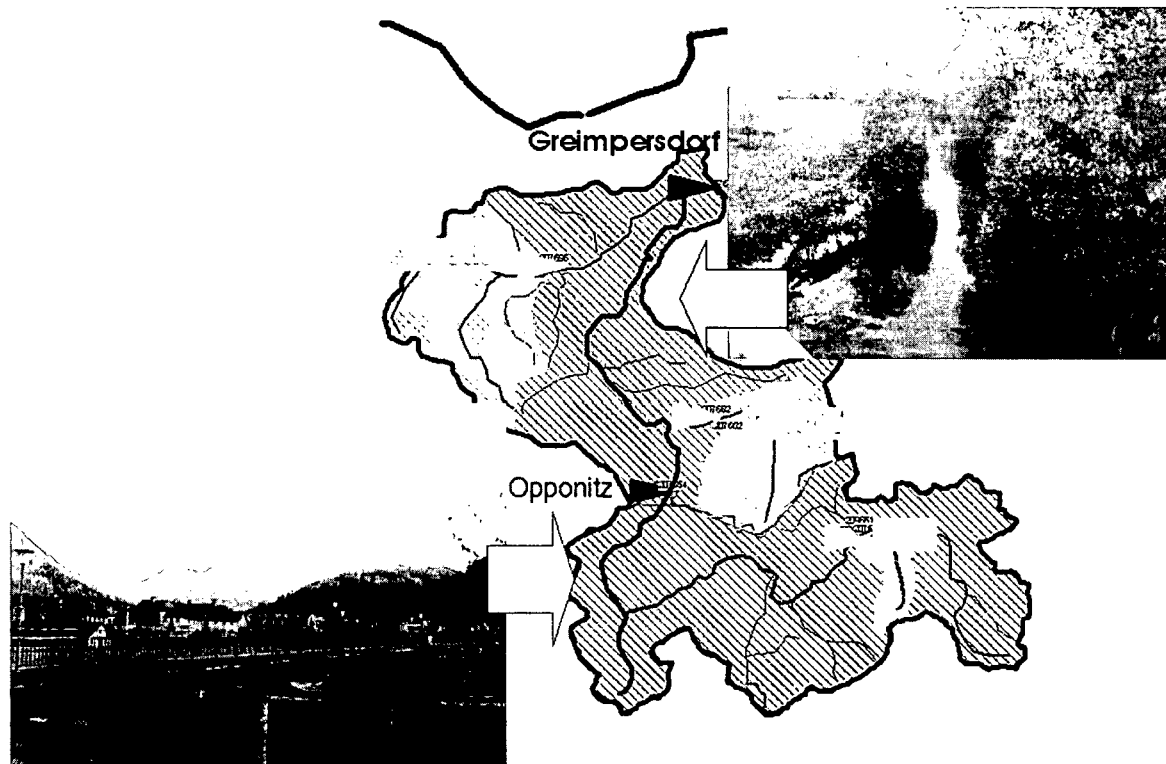


Abbildung 4-3: Photos des oberen, alpinen und des unteren Ybbstales

¹ Dieser Wert h_A beziehen sich auf den Pegel Lunz am See, Abfluss, AE= 24,8 km²

² Blaschke, A. P., U. Heinecke, et al. (2002), Hydrographischer_Dienst (2003).

4.2.1 Messstationen

Klimadaten sind für das gesamte Einzugsgebiet verfügbar. In Abbildung 4-4 sind die Lage der Niederschlagsstationen (rote Punkte), der Pegel (schwarze Dreiecke) und der Klimastationen, also Temperatur- und Niederschlagsstationen (violette Punkte), sowie die Höhenverteilung im Ybbstal zu entnehmen.

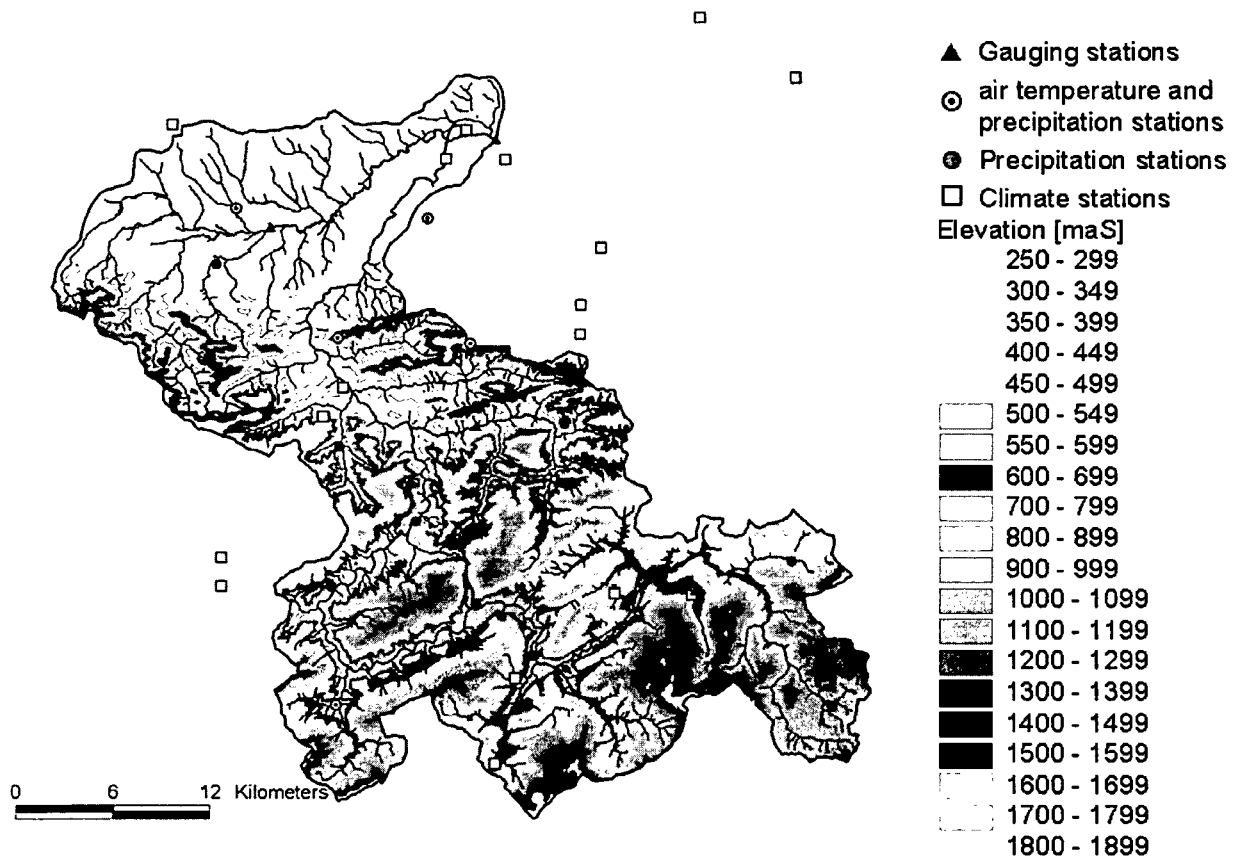


Abbildung 4-4: Höhe des Einzugsgebietes, Niederschlagsmessstationen, Pegel und Klimastationen im Ybbstal (Blaschke, Heinecke et al. 2002)

Für die Berechnung der Wasserbilanzen mit Difga 2000 in den Teileinzugsgebieten und für Untersuchungen der einzelnen Prozesse (wie z.B. des Einflusses der Schneeschmelze) in Abschnitt 4.6.9 wurden die arithmetischen Mittel aus den einzelnen Niederschlags- und Temperaturwerten der im Teileinzugsgebiet liegenden Stationen gebildet.

4.2.2 Landnutzung

Der Großteil der Fläche ist mit Wald bedeckt (52%), der Anteil an Weideflächen und Grünland beträgt 32%, Ackerflächen machen 12% des Einzugsgebietes aus. Siedlungen sind auf 3% der Fläche zu finden.

Basierend auf Orthophotos wurde eine digitale Karte mit einer räumlichen Auflösung von 30 m (Abbildung 4-5) entwickelt und die Landnutzung der Teilflächen errechnet.

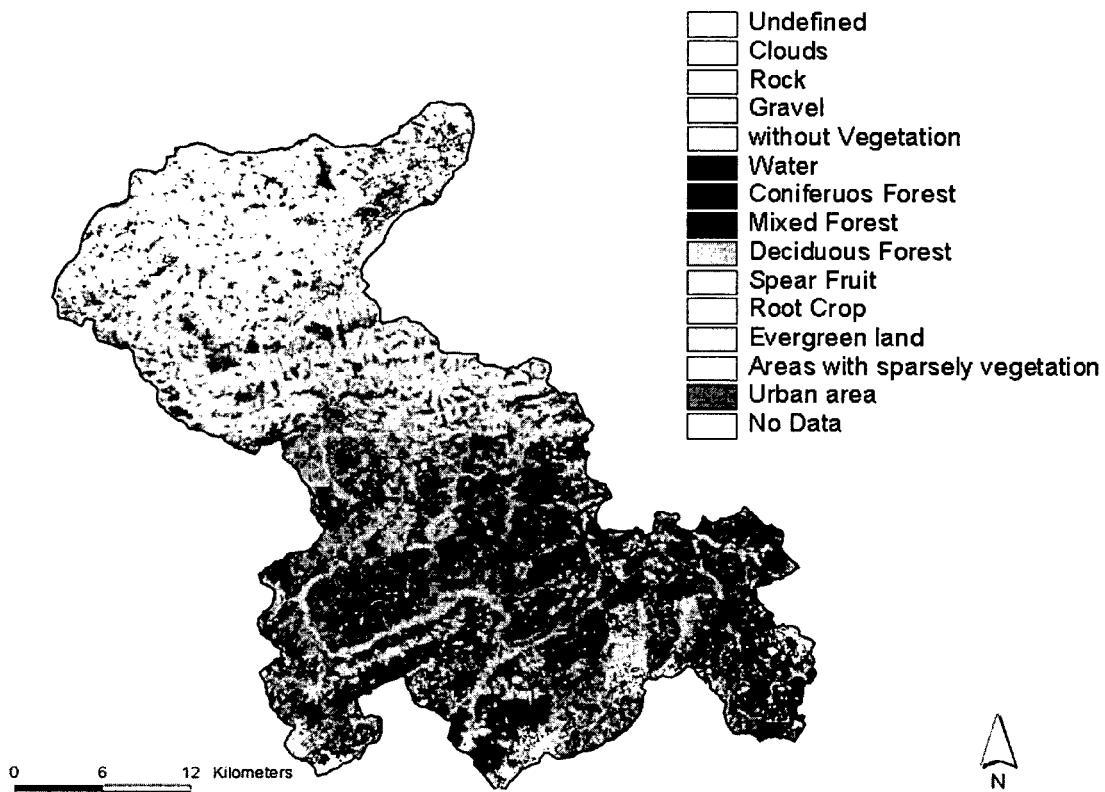


Abbildung 4-5: Landnutzung im Ybbstal (Blaschke et al. 2002)

4.2.3 Geologie

Der Ostalpenrandrand gliedert sich geologisch in die Einheiten Molasse, Flysch, Helvetikum und Nördliche Kalkalpen (von Nord nach Süd). Der Ober- und Mittellauf der Ybbs liegen in den Nördlichen Kalkalpen. Die geologische Einheit des verkarstungsfähigen Festgesteins (Kalk, in Abbildung 4-6 in dunklem Rosa dargestellt, und Dolomit, hellrosa dargestellt) liegt in ca. 2/3 des Einzugsgebietes vor. Man sieht, dass der Dolomit überwiegt. Die grüne Farbe entspricht lehmigem Mergel.

Nach der Einmündung der Kleinen Ybbs ist der Fluss in alluviale Schotter (orange dargestellt) eingeschnitten. In der Flyschzone ist der Flusstyp gestreckt. Im Konglomerat wechselt er zum Mäandertyp. Dieser setzt sich am Beginn der Molassezone, welche bei Kematen beginnt, fort (Muhar 1998, siehe auch Kapitel 4.2.4).

Das Molassebecken im Alpenvorland entstand durch Absinken im Tertiär gleichzeitig

mit dem Herausheben der Alpen. Es wurde von Ablagerungen, der Molasse, aufgefüllt und später wieder angehoben (Tollmann 1985). Die mehrere tausend Meter mächtigen Auffüllungen im Alpenvorland bestehen aus fluviolen Geröllschichten, Deltasedimenten mit Sandsteinen und sandigen Schiefertönen.

Bei Amstetten verlässt die Ybbs das Konglomerat und fließt anschließend im breiten Ybbser Feld im Alluvium.

Die jüngsten Ablagerungen sind aus den Eiszeiten, bei denen vor allem die letzten, Würm und Riß, eine wichtige Rolle spielten. Die Moräneablagerungen und Schmelzwasserschotter aus den eiszeitlichen Vorlandvergletscherungen sind zwar meist nicht sehr mächtig (weniger als 100 m), aber insbesondere in Bezug auf das Grundwasser von großer Bedeutung. An manchen Stellen hat die Ybbs die 3-4 m dicke Kiesdecke durchbrochen und erreicht den Schliersockel der Molassezone.

Im unteren (nördlich gelegenen) Ybbstal dominieren Lockergesteine und Schotter (gelbe und orange Farbe). Diese sind teilweise mit Lehm überdeckt. Das stromaufwärts liegende Band aus Schiefer ist in grüner Farbe dargestellt. Hier ist der Übergang vom Fest- zum Lockergestein.

Die Geologische Karte ist in Abbildung 4-6 zu sehen.

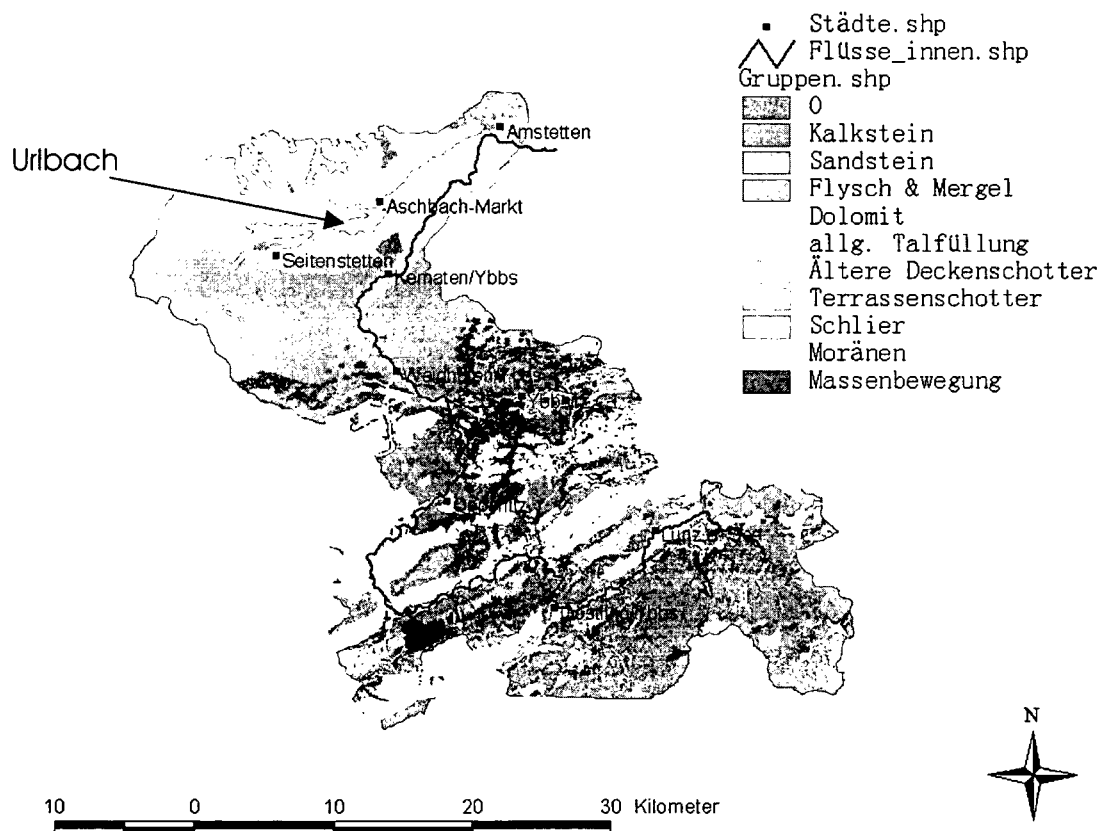


Abbildung 4-6: Geologische Einheiten im Ybbsgebiet³ (Kirnbauer 2003)

³ © GBA-2002 – Zl.29/1/02 Verwendung der geologischen Grundlagen mit Genehmigung der Geologischen Bundesanstalt

4.2.4 Uferzonen und Randstreifen, ökologische Bewertung

Gewässermorphologie, Uferzonen (siehe auch Kapitel 2.3, 2.4)

Im oberen Flusslauf haben sich steile Täler, im unteren Flusslauf Talebenen ausgebildet. In diesem Bereich finden Wechselwirkungen zwischen dem Gewässer und dem Grundwasser sowie Interaktionen durch Überschwemmungen statt.

Im Bereich der Talböden gibt es kaum ökologisch intakte Gewässerabschnitte der Kategorie A oder B, hier ist die landwirtschaftliche Nutzung intensiv. Entlang des oberen Flusslaufes gibt es intakte Uferbereiche und der Eintrag durch die Landwirtschaft ist gering.



steile Flanken
keine landwirtsch.
schaffl. Nutzung



Natürliche Vegetation und Gewässermorphologie, schnelle Abflussbildung junges Grundwasser

Abbildung 4-7: Oberlauf Ybbstal, unbeeinflusstes Kerbtal

Im Bereich der nördlichen Kalkalpen liegen Kerbtäler und Sohlenkerbtäler vor, sie sind zumeist gestreckt, die Ybbs verläuft in den Aufweitungen (die breiten Längstäler sind 200-600 m breit) pendelnd. Nach der Einmündung der Kleinen Ybbs in der Flyschzone (siehe auch Kapitel 4.2.3; (Muhar 1998)) ist der Flusstyp gestreckt; später mäandriert er im Konglomerat und bildet Talmäander aus. Im Mündungsbereich entspricht er dem gewundenen Flusstyp.



Abbildung 4-8: Kerbtal, Sohlenkerbtal, Talebene

Als Parameter für eine Einteilung der Gewässer über die Gewässermorphologie nennt Werth (1987), u.a. die Böschungen (Ufer, Strukturierung, Material), und das Gehölz. Spiegler (1989) nennt u.a. Uferstruktur, Uferböschung (oberhalb der Mittelwasserlinie) und Ufervegetation (zitiert in Chovanec 2000).

Es erfolgt eine Einteilung in die Klassen I für natürlich bis IV für naturfremd.

Sonstiges

Ab Lunz wird die Ybbs wasserkraftlich genutzt, oberhalb ist sie unberührt. Im Alpenvorland gibt es Veränderungen durch Regulierungen. Die Wasserkraftnutzung ist hauptsächlich in der Flyschzone konzentriert, setzt sich aber in weiterer Folge bis zur Donau fort.

Ökologische Typisierung des Ybbstales (Muhar 1998)

Eine Typisierung der Gewässer erfolgt nach der Geologie (großräumig), der Talform, dem Flusstyp, der hydrologisch-hydrographischen Charakteristik (Abflussregime), der Flussordnungszahl und der biozönotischen Region.

Aus den Untersuchungen ergibt sich die Einteilung des Ybbstales in die ökologisch intakten Kategorien A und B mit A= 6% und B= 19 %, in Summe also 25%. Das ist etwas besser als der österreichische Durchschnitt. Zwischen Göstling und Opponitz ist ein weiterer langer Abschnitt, welcher potentiell A oder B sein könnte, dieser ist „weitgehend gewässermorphologisch unbeeinflusst“ und ist 33,1 km (entspricht 25% des Ybbstales) lang. Man kann also sagen, dass die Hälfte der Strecke „morphologisch unbeeinflusst“ ist. Das Verhältnis für die Zuflüsse ist wahrscheinlich ähnlich.

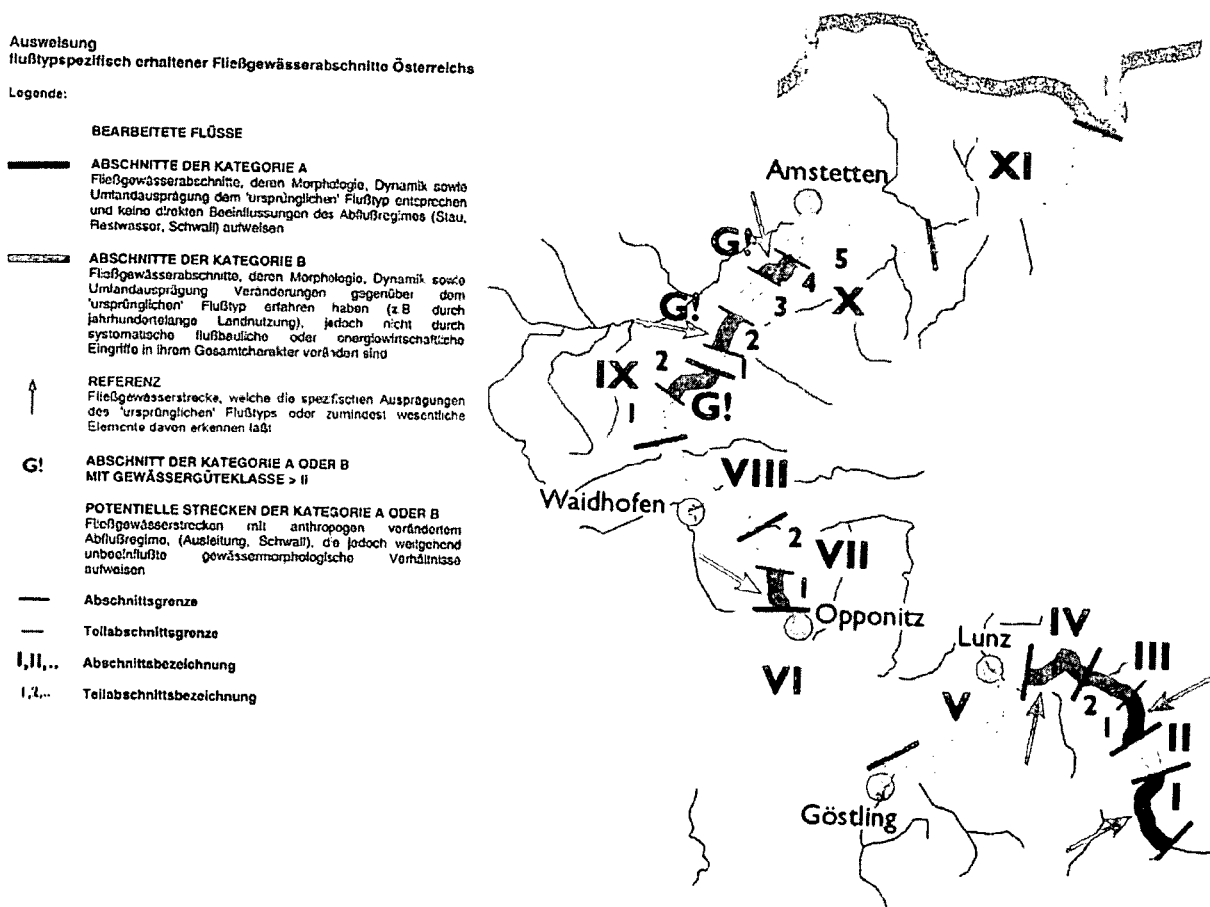
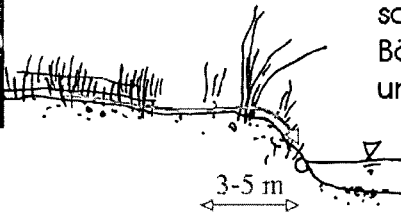


Abbildung 4-9: Abschnitte der Ybbs

In der Ybbs sind die Abschnitte der Kategorie A Epi- oder Metarithral. Sie liegen also in der oberen Forellen- bis Äschenregion.

Der morphologische Flusstyp dieser unbeeinflussten Kategorie ist Furkation (mittleres bis hohes Gefälle und Geschiebetrieb, Abzweigungen in zahlreiche Nebenarme und Seitengerinne, oft gesamter Talboden, kein eindeutiges Ufer) oder gestreckt (geringe Flussentwicklung, hohes Gefälle, Taleinengung, scharfe Richtungsänderungen). Dieser Typ ist für Klamm-, Kerb- und Sohltäler typisch.

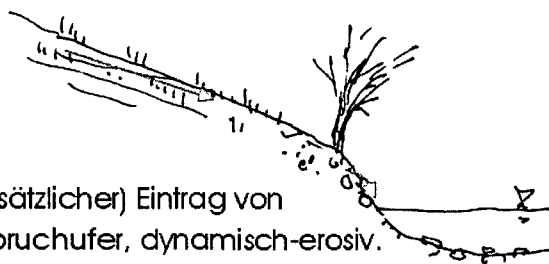


schmale Uferzone, eigentlich nur Böschungsbereich, Landwirtschaft unmittelbar neben Flussbett.

Die Vegetation besteht meistens aus Sträuchern.
Gewässermorphologie: alluviale Talböden,
Böschung ist größtenteils sehr steil.



Abbildung 4-10: Unterlauf Ybbs, fehlende Randstreifen.



Uferzone: (zusätzlicher) Eintrag von Substrat Abbruchufer, dynamisch-erosiv.

direkter Übergang der landwirtschaftlicher Flächen (hier Grünfläche) in z. T. steile Hänge. Hohes Gefälle viel Erosion. Vereinzelt Sträucher am Gewässerrand.



Abbildung 4-11: Unteres Ybbstal: fehlender Randstreifen und Abbruchufer

Die Übertragung in der Güteeinteilung erfolgt anhand des schlechtesten Parameters, folglich muss auch der Umkehrschluss gelten, nämlich, dass Gewässer, welche als „natürlich“ oder „naturnah bis wenig beeinträchtigt“ eingestuft sind, auch in Bezug auf ihre Ufermorphologie nicht stark beeinträchtigt sein dürfen.

Dimensionierung eines Randstreifens, benötigte Breite

Die notwendige Breite P ist von vielen Faktoren abhängig. In (Mander, Kuusemets et al. 1997) sind Formeln für die optimale Breite P angegeben.

Für den Maßstab verwendeter Karten 1:2000 gilt: $P = t \cdot q \cdot f \cdot i^{1/2} / (m \cdot K_i \cdot n)$

P hängt ab von:

- q in mm/d Oberflächen-Abflussbeiwert in der Tauperiode
- t ... Zeit -Variationskoeffizient (Tage bis Minuten)
- f... spez. Hanglänge, $f = (\text{ca.}) F(\text{Fläche})/l$ (Querschnitt)
- i.. mittlere Hangneigung
- m... Rauheitskoeffizient der Oberfläche (1.0 bis 1,2 für Grünland)

Weitere Formeln werden angegeben für die Adsorptionskapazität n des Bodens

$$n = \ln I_{s_x} / \ln I_{S \text{ coarse sand}}$$

I_{s_x} spez. Fläche des untersuchten Bodentyps m^2/g

$I_{S \text{ coarse sand}}$ spez. Fläche des Bodentyps coarse sand = Grobsand

$k = K_i \cdot n$ integrierter Bodenparameter, Angaben für Hauptbodentypen

grobe Dimensionierung im Ybbstal :

Man kann eine notwendige Breite P ($P = t \cdot q \cdot f \cdot i^{1/2} / (m \cdot K_i \cdot n)$) der Randstreifen für das Ybbstal nach (Mander, Kuusemets et al. 1997) errechnen, um abschätzen zu können, ob dort die vorhandenen Randstreifen wirksam sein können (oft sind sie unter 5 m)

mit $q = 7,24 \text{ mm/d}$, Oberflächenabfluss bei Schneeschmelze, Mittelwert über das gesamte Gebiet (aus SWAT), einer Hanglänge $l = 20\text{m}$ (swat, für 14° , Annahme Mittelwert), $i = 0,25$ (Steigung, als Tangens), $t = 1\text{d}$ (1 Tag, Annahme):

Grobsand: $k = 1,0$ (max) $P = 6,6\text{m}$

min. Lehm/Ton $k = 0,21$ $P = 31,3\text{m}$

Bei anderen Annahmen erhält man folgende Ergebnisse:

$l = 50\text{ m}$: $P = 16,5$ bis 78m ,

mit $t = 12\text{ h}$ erhält man $P = 3,3$ bis 16 m .

Einschätzung der ökologischen Funktion der Uferzonen, Randstreifen

In den unbeeinflussten oberen Abschnitten der Ybbs erfolgt ein Nährstoffeintrag, vor allem über den Niederschlag (NO_x und NH_3 aus der Atmosphäre, Luftverschmutzung), da keine intensive Landwirtschaft betrieben wird. Flussabwärts erstrecken sich die Äcker wiederum oft bis an den Flusslauf heran, der schmale bewaldete Streifen der Böschung ist wahrscheinlich nur deshalb erhalten, weil er nicht bewirtschaftbar ist. Die abgeschätzte erforderliche Breite für Randstreifen nach (Mander, Kuusemets et al. 1997) ergibt, dass diese unter 6 m nicht wirksam sein können. Es ist daher nur dann ein wesentlicher, allerdings oft temporärer ökologischer Effekt zu erzielen, wenn die Form der Böschung einem uferbegleitenden, bewachsenen Damm bildet (siehe Abbildung 2.34). So können wesentliche Teile des erodierten Phosphors, welcher den limitierenden Faktor für das Algenwachstum bildet, aufgrund der Filterwirkung auch bei kurzen Filterstrecken zurückgehalten (aber später rückgelöst) und Abbruchufer vermieden werden.

An manchen Ufern fehlt sogar diese bewachsene Böschung und das Ufer erodiert. Eine Verbesserung der ökologischen Funktion wäre vor allem im unteren Ybbstal durch Randstreifen wahrscheinlich oft möglich.

Akzeptanz und Durchsetzbarkeit

Durch die nicht immer gegebene Wirksamkeit der Randstreifen, welche von dem Grad der Entwässerung und dem Anteil des Grundwassers am Abfluss, dem „Abernten“ der Zone, der Morphologie der Uferbereiche, der Form des Aquifers, der Bodenart, der Vegetationsart und des Vegetationsalters u.a. abhängt, sind die Randstreifen nicht unumstritten.

In Sachsen Anhalt betrug die Förderung zwischen 1993 und 2000 789 DM pro Hektar Randstreifen (also ca. 400 €/ha) (Sachsen-Anhalt 2001). Diese Summe ist etwas geringer als der Verdienstentgang (Nichtnutzung im Vergleich zur landwirtschaftlichen Nutzung) der Flächen. Die Wirksamkeit der Förderung ist sehr gering, da es an Akzeptanz fehlt. Die Gründe liegen an den Produktionsstrukturen und der Gefahr der Unkrautübertragung. Ackerrandstreifen haben hier, verglichen mit anderen geförderten Programmen, die geringste Akzeptanz. Vor allem dadurch ergibt sich auch die geringe Wirksamkeit. Ob eine Förderung, unterhalb des Verdienstentganges zu niedrig ist, wie in der Literatur (Sachsen-Anhalt 2001) angedeutet, sollte untersucht werden.

Durch ein besseres Wissen und klare Vorstellungen, welche Proportionen und Anforderungen ein Randstreifen erfordern muss, könnte die Wirksamkeit und damit die Akzeptanz erhöht werden. Pilotprojekte und Aufklärungsarbeiten wären von großer Bedeutung.

Geht man von der „breiten“ Definition des Randstreifens, insbesondere seiner Vegetation, in der Fachliteratur aus, so kann man vielleicht auch populärere Lösungen finden.

4.3 CHARAKTERISTIK DER EINZUGSGEBIETE- WULKA

Die Wulka, ein typisches Flachlandgewässer, welches im Einzugsgebiet der Donau liegt, jedoch keinen direkten Zubringer der Donau darstellt, mündet mit einem Durchfluss von 1,18 m³/s (bei Schützen) in den Neusiedlersee, und entwässert ein Einzugsgebiet von ca. 400 km² (bei Schützen 383,7 km²). Das abflusslose Einzugsgebiet des Neusiedlersees⁴ beträgt 1230 km² und wird durch die Senke zwischen den Schuttkegeln der Donau und der Raab in der kleinen ungarischen Tiefebene gebildet. Der See hat eine 287 km² große, zu Hälfte mit Schilf bewachsenen Wasseroberfläche und ist im Mittel nur 2 m tief, er ist in seiner Geschichte (durch die hohen Verdunstungsraten, die oft doppelt so groß sind wie die Niederschlagsraten) schon mehrmals ausgetrocknet, aber hatte auch schon einmal so viel Wasser, dass er doppelt so groß war.

Eine kurze Übersicht über die hydrologische Situation und sonstige Charakteristik gibt Tabelle 4-3 (Hydrographischer_Dienst 2003), (Blaschke, Heinecke et al. 2002):

| | | |
|---|-------------|--------------------------|
| Einzugsgebietsgröße | 384 | km ² |
| Durchschnittlicher Niederschlag | 709 | mm/a |
| Durchschnittliche Hangneigung | 8 | % |
| MJNQ (m ³ /s) | 0,39 | m ³ /s |
| MQ / h _A (m ³ /s, mm/a) | 1,18 / 97,3 | m ³ /s / mm/a |
| MJHQ (m ³ /s) | 16,5 | m ³ /s |
| Bevölkerungsdichte | 143 | E/km ² |
| Landnutzung | Ackerbau | |
| Hydrogeologie | Sedimente | |

Tabelle 4-3: Kurzcharakteristik des Wulkatales (1971-2000)

Das Wulkatal liegt auf einer Höhe von 125 bis 750 m ü. A.. Die durchschnittliche Neigung beträgt 8%, wobei der südliche Teil des Einzugsgebietes etwas hügeliger ist als der nördliche. Die wesentlichen Erhebungen findet man im Südwesten im Bereich des Rosaliengebirges und im Bereich des Leithagebirges im Norden.

In diesem Gebiet erfolgen auch wesentliche Teile der Grundwasserneubildung (Boroviczényi, Liebe et al. 1992). Die Grundwasserneubildung in der Ebene erfolgt nur selten -bei extremen Sommerniederschlägen- im Sommerhalbjahr. Meist ist ein Anstieg des Grundwasserspiegels nur in der ersten Jahreshälfte zu beobachten.

⁴ Boroviczényi, Liebe, et al. (1992), Tollmann, A. (1985)

4.3.1 Messstationen

Die Messstationen im Wulkatal und der näheren Umgebung sind aus Abbildung 4-12 ersichtlich. Die roten Punkte stellen die Niederschlagsmessstationen dar, Klimastationen sind mit grauen Quadraten gekennzeichnet und Pegel mit schwarzen Dreiecken. Klimadaten existieren nur für das nördliche Gebiet.

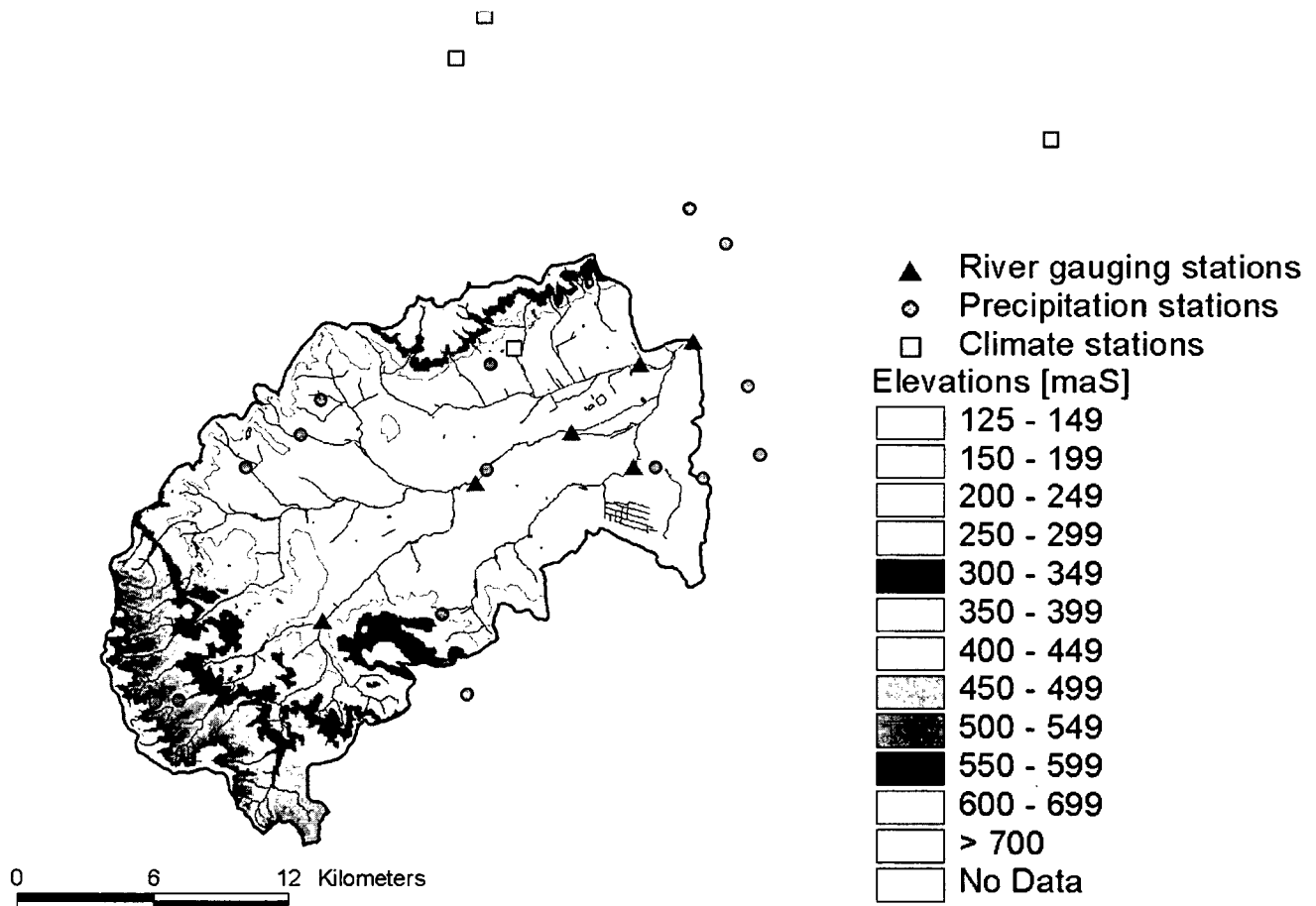


Abbildung 4-12: Höhenverteilung und Messstationen im Wulkatal (Blaschke, Heinecke et al. 2002)

4.3.2 Landnutzung

Die meisten Flächen werden ackerbaulich genutzt (54%), 28% des Gebietes sind bewaldet, Gras- und Weideland machen 12% des Einzugsgebietes aus, 6% sind Ortschaften.

Basierend auf Orthophotos wurde eine digitale Karte mit einer räumlichen Auflösung von 30 m (siehe Abbildung 4-13) entwickelt und die Landnutzung der Teilflächen errechnet.

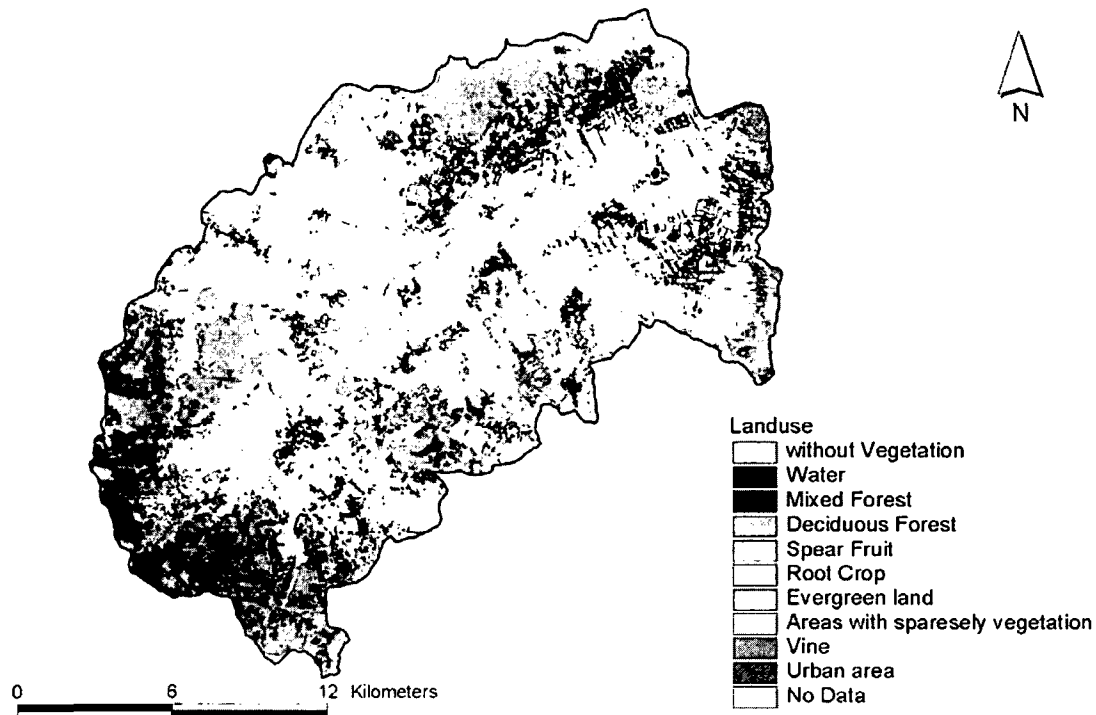


Abbildung 4-13: Landnutzung im Wulkatal (Blaschke, Heinecke et al. 2002)

4.3.3 Geologie

Das Wulkatal liegt zum größten Teil im Eisenstädter Becken, welches den nördlichen Anschluss des Alpenostrandbeckens an das Wiener Becken bildet. Nur der westliche Teil des Tales wird durch den Ruster Höhenzug vom Eisenstädter Becken getrennt und gehört zu der Neusiedlerseebucht des Pannonischen Beckens (Tollmann 1985). Diese bildet einen Ausläufer der Kleinen Ungarischen Tiefebene (Kis Alföld) und hat einen ganz anderen Charakter. Den Ruster Höhenzug umrahmen etwa 100 m mächtige fluviale Schotter (zwischen Oggau und Rust).

Das Eisenstädter Becken ist dem Wiener Becken in Entwicklungsgeschichte und Schichtfolge sehr ähnlich. Es hat eine nicht unbedeutende Tiefe (1415 m bei Zillingthal). Es wird von Schotterfolgen (aus verschiedenen Zeiten) und Süßwassertonen in verschiedenen Höhenlagen gebildet. (Tollmann 1985)

Leider ist für das Wulkatal keine vollständige, detaillierte geologische Karte verfügbar, für das südliche Wulkatal fehlt diese Information.

Dominiert wird das Wulkatal nahe der Flüsse von Mergel (37%) und Sedimenten, welche 48% des Einzugsgebietes ausmachen. Im Norden, im Gebiet des Leithagebirges findet man vor allem Granit (4% des Einzugsgebietes) und Gneiss (2%). Kalkstein machen 4% und Sandstein 3% des Einzugsgebietes aus. Diese Angaben können aber für das Gesamtgebiet etwas anders ausfallen, da genaue Informationen über den Süden fehlen, im Südwesten, im Bereich des Rosaliengebirges liegen ebenfalls kristalline und metamorphe Bereiche vor, welche in Abbildung 4-15,

in der größeren, digitalen geologischen Karte der Burgenländischen Landesregierung dunkel dargestellt sind.

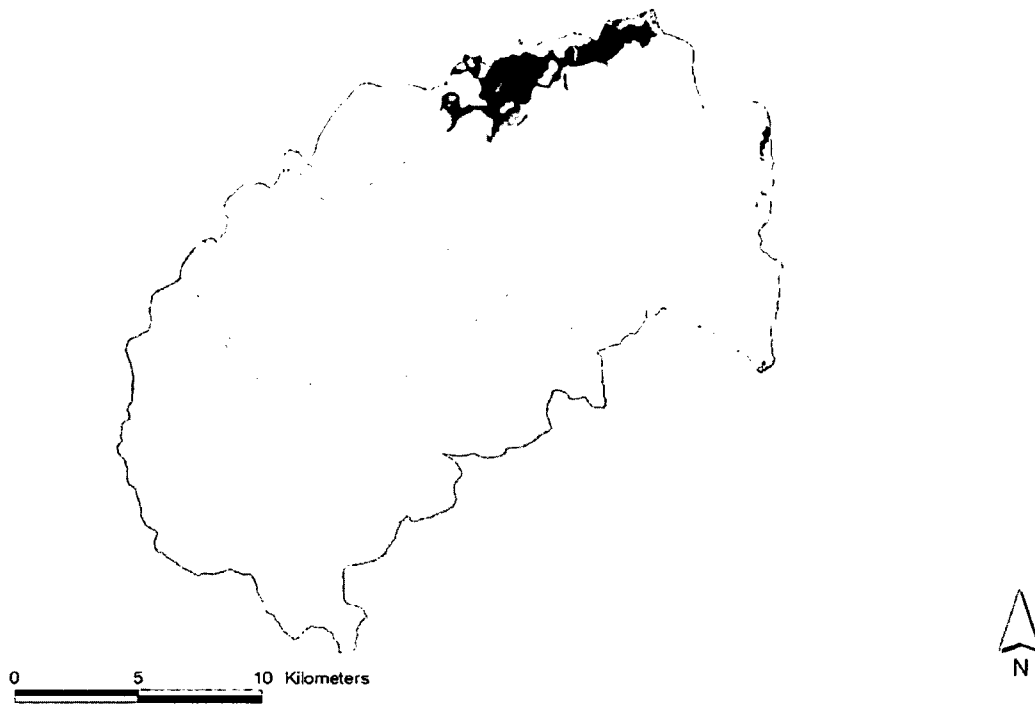


Abbildung 4-14: Geologie des nördlichen Wulkatales⁵

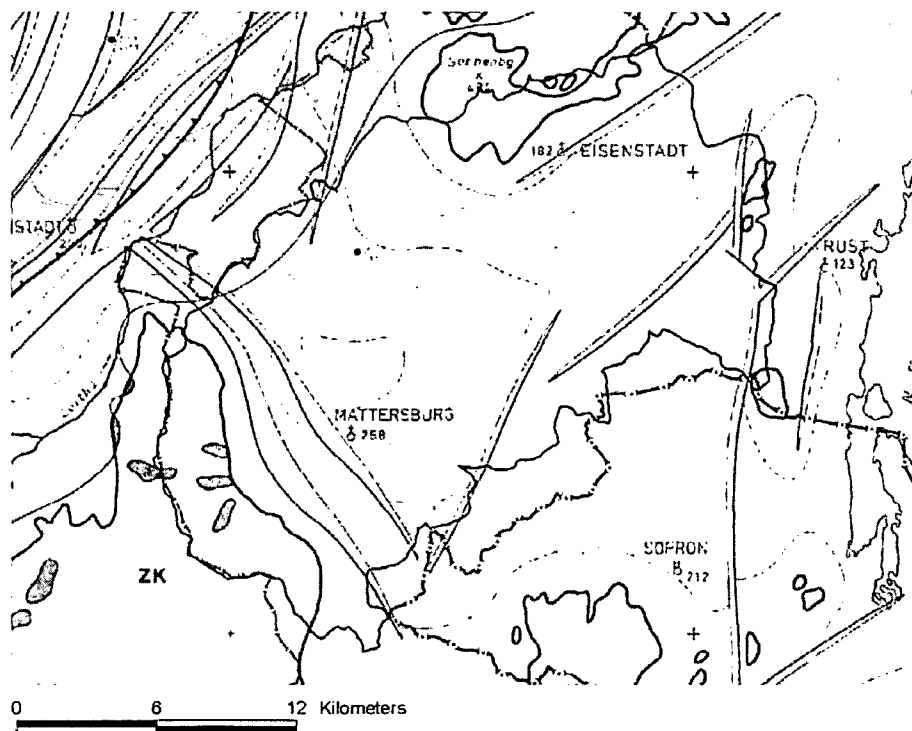


Abbildung 4-15: Geologie des Wulkatales und Einzugsgebietsgrenze

⁵ (Geologischer Dienst ©GBA-2002-ZI.29/1/02)

4.3.4 Uferzonen und Randstreifen, ökologische Bewertung

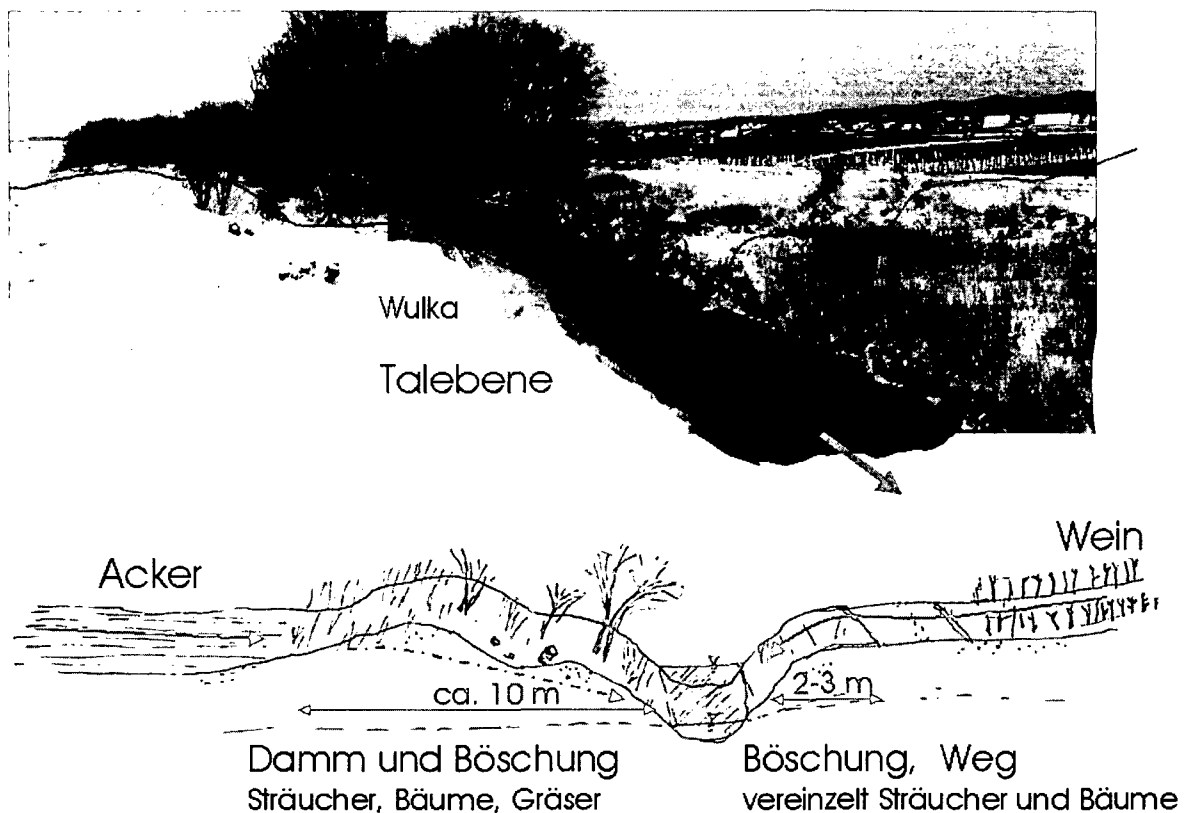


Abbildung 4-16: Ausbildung des Ufers im Wulkatal, Talebene

In der Abbildung sieht man zwei unterschiedliche Ausbildungen des Wulkaufers: Rechts hangparallel bewirtschaftete Weingärten, aus welchen bei Regen fast ungehindert Erosionsmaterial abgeschwemmt werden kann, zumal hier auch eine Neigung vorhanden ist.

Links ist die Ausbildung des Ufers ökologisch viel günstiger, es ist flacher, erodiertes Material kann aufgrund des Walles nur nach einer Bodenpassage (Filterung) in das Gewässer gelangen. Außerdem ist die Breite dieses bewachsenen Uferstreifens größer; bei einer Bewirtschaftung (Abernten) könnte er sogar im Sinne eines Randstreifens wirksam sein.

Leider wurde an der Wulka noch keine ökologische Typisierung des Gewässers, der Randstreifen und Uferzonen durchgeführt. Die Abbildung ist für das Einzugsgebiet jedoch typisch, das Einzugsgebiet ist recht einheitlich.

4.3.5 Teileinzugsgebiete

Die Teileinzugsgebiete des Wulkatales und deren Pegelstationen sind in Abbildung 4-17 ersichtlich.

Wulka Teileinzugsgebiete (Gewässer)

- Schützen (Wulka)
- Osip (Eisbach)
- Nodbach (Nodbach)
- Trausdorf an der Wulka
- Wulkaprodersdorf (Wulka)
- Walbersdorf (Wulka)

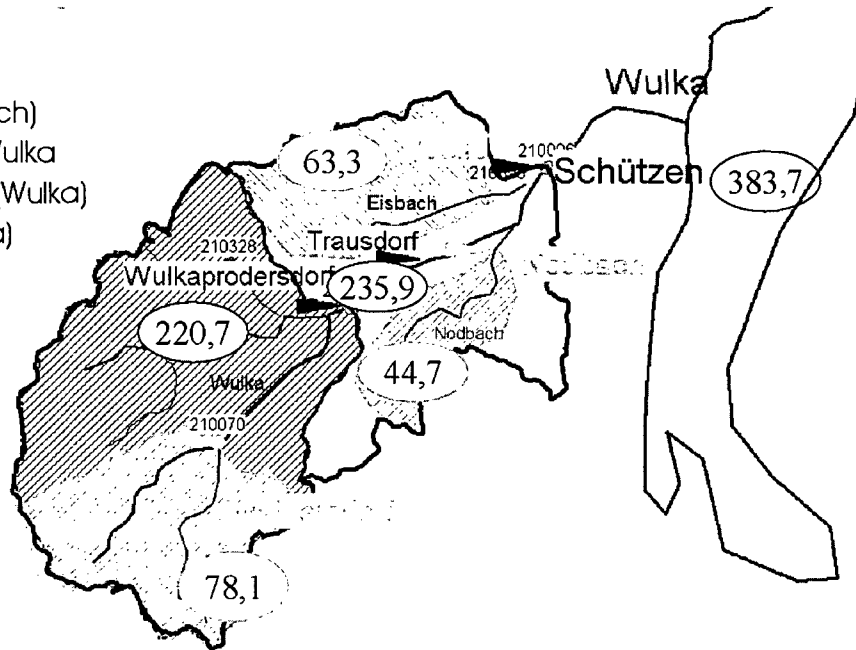


Abbildung 4-17: Teileinzugsgebiete, Teileinzugsgebietsgrößen und Pegel

| Teileinzugsgebiet | Walbersd. | Wulkaprod. | Trausdorf | Osip | Nodbach |
|---|---------------|--------------------------|--------------------------|------------------|------------------|
| Einzugsgebiet - km ² | 77 | 221 | 236 | 63 | 45 |
| MJNQ (m ³ /s) | 0,09 | 0,22 | 0,22 | | |
| MQ / h _A (m ³ /s, mm) | 0,25 / 102 | 0,57 / 82 | 0,72 / 96 | | |
| MJHQ (m ³ /s) | 11,00 | 11 | 9,62 | | |
| Landnutzung (Hauptant.) | Wald (50%) | Halmfrucht (37%) | Halmfrucht (38%) | Halmfrucht (31%) | Halmfrucht (45%) |
| Dominanter Bodentyp | Luvisol (76%) | Chernosem (44%)(Luvisol) | Chernosem (43%)(Luvisol) | Chernos. (44%) | Chernosem (65%) |
| Geologische Einheit | * | Mergel (52%)* | Mergel (51%)* | Sedimente (39%) | Sedimente (61%)* |
| Niederschlag in mm (1993-97) | 789 | 735 | 729 | 667 | 656 |
| Höhe des EG in m.ü.A. | 387 | 304 | 295 | 226 | 203 |

Tabelle 4-4: grobe Charakteristik der Teileinzugsgebiete

(Blaschke, Heinecke et al. 2002), (Hydrographischer Dienst 2003)

Tabelle 4-4 zeigt eine Kurzcharakteristik der Teileinzugsgebiete. Der Niederschlag steigt mit zunehmender Seehöhe. Die Niederschlagshöhen wurden aus (Blaschke, Heinecke et al. 2002) übernommen. Die mit * gekennzeichneten Gebiete konnten geologisch nicht vollständig charakterisiert werden.

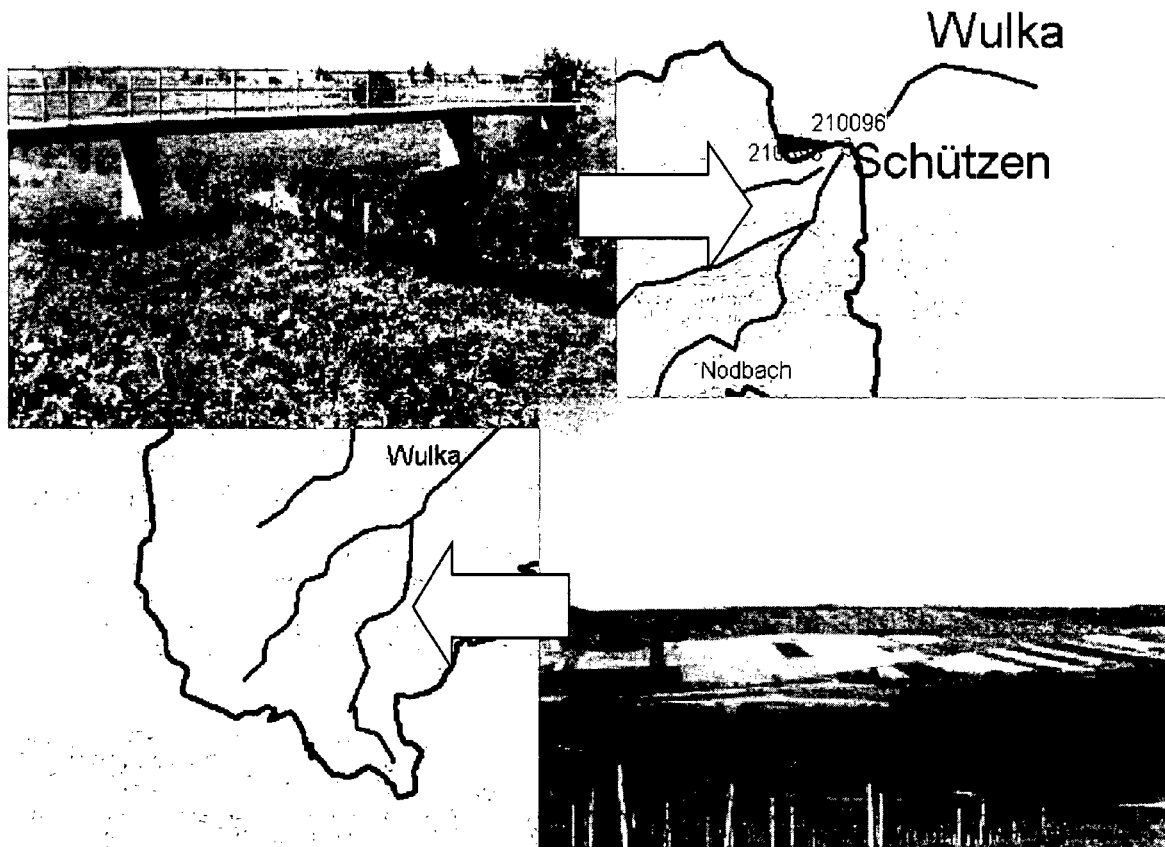


Abbildung 4-18: Das Einzugsgebiet der Wulka

Das Einzugsgebiet der Wulka ist viel einheitlicher als jenes der Ybbs. Nur das oberste Einzugsgebiet, Walbersdorf, unterscheidet sich, was den Bodentyp und die Landnutzung anbelangt, etwas mehr von den anderen Gebieten. Hier gibt es vor allem Wald, in den tiefergelegenen Gebieten Ackerbau.

Eine weitere Besonderheit des trockenen Wulkatales ist die Bedeutung der Kläranlagen. In dem Teileinzugsgebieten Trausdorf und Oslip (Eisbach) münden die zwei großen Kläranlagen, nämlich Wulkatal und Eisbachtal, ein. Zwei weitere, kleinere Kläranlagen, Wiesen und Forchtenstein, münden vor dem Pegel Walbersdorf ein. Der Abflussanteil der Punktquellen beträgt bei Schützen ca. 30%. Zu beachten ist hierbei, dass das Trinkwasser in das Einzugsgebiet importiert wird und daher bei den Berechnungen, insbesondere der Auslauflinien und der Wasserbilanz, abgezogen werden muss.

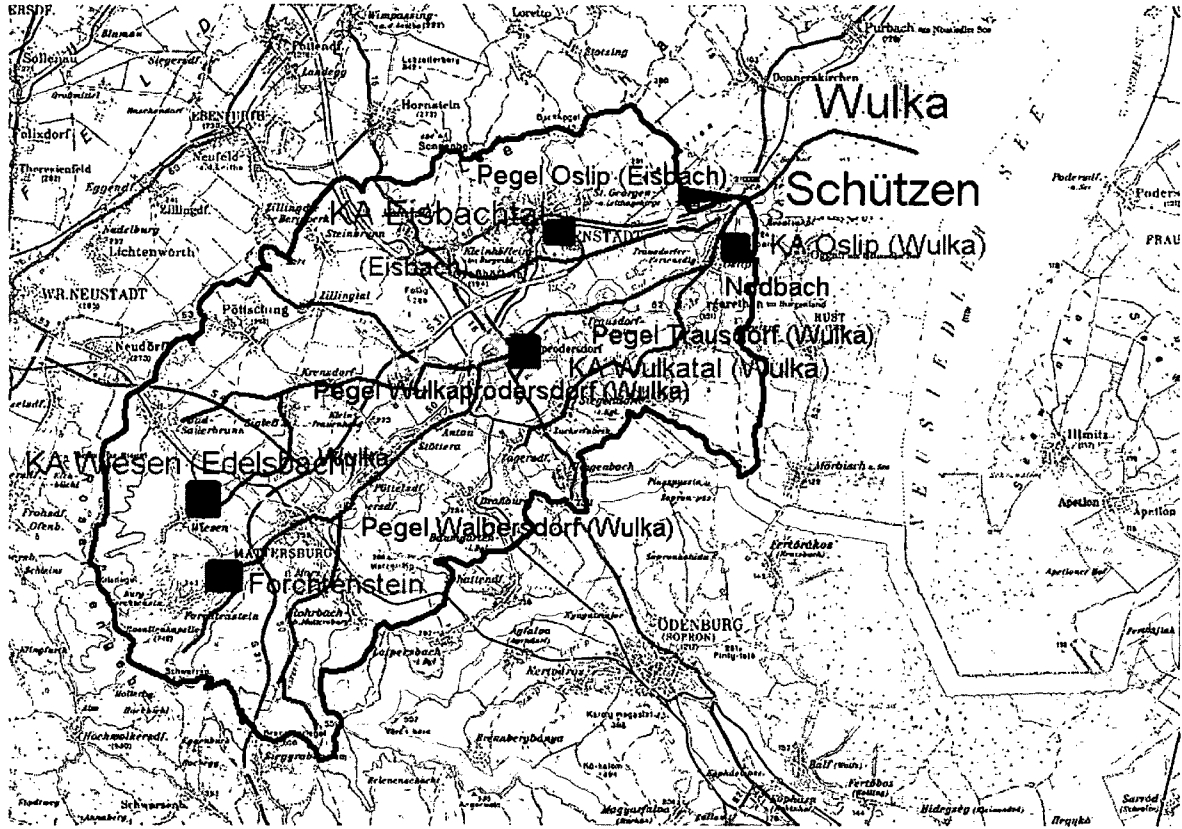


Abbildung 4-19: Kläranlagen Im Einzugsgebiet der Wulka, Pegelstellen.

4.4 MODELLVORSTELLUNGEN DER ABFLUSSPROZESSE

4.4.1 Beschreibung der Fließwege am Beispiel des oberen Ybbstales; Betrachtung des Querschnittes

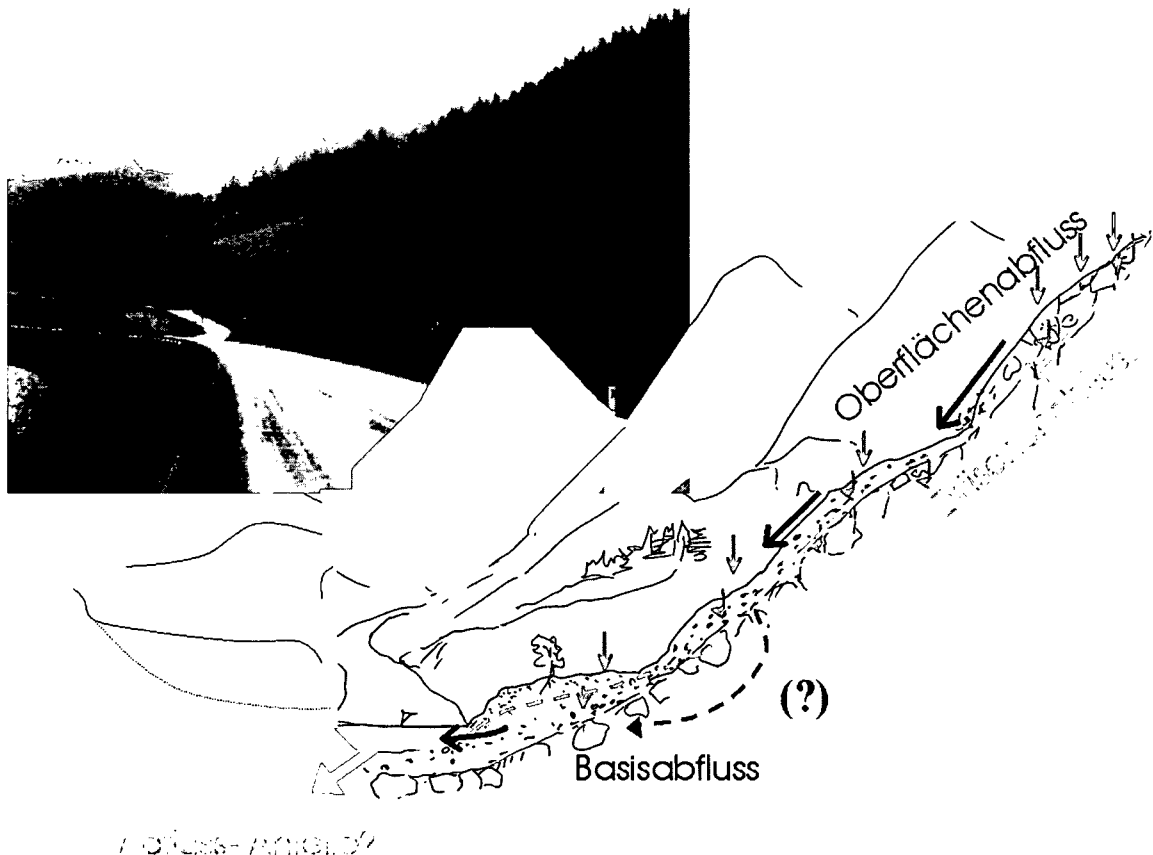


Abbildung 4-20: Mögliche Fließwege, Unsicherheit Basisabfluss

In den alpinen Regionen des oberen Ybbstales bestehen der Untergrund und die übersteilten Talflanken aus Dolomit und Kalk. Im Bereich der Talsohle der Ybbs und ihrer Zubringer sind fluviatile Ablagerungen zu finden. Dort liegt ein gewässerbegleitender Grundwasserkörper vor.

Die in Abbildung 4-20 dargestellte Talform entspricht der des Sohlenkerbtals, im höher gelegenen Bereichen liegen auch Kerbtäler vor.

Je nachdem, welcher Untergrund vorliegt, können sich entweder oberflächennahe, schnelle Fließwege ausbilden oder langsamere Fließwege über den verkarsteten Untergrund. Im Vergleich zu den Fließgeschwindigkeiten eines Porengrundwasserkörpers sind aber auch diese hoch.

Prinz (Prinz und Kampe 1934) unterscheidet zwischen „Grundwasser“ (gemeint ist Porengrundwasser, nach heute üblichen Definitionen) und „unterirdischen Wasserläufen“, in denen das unterirdische Wasser einen zusammenhängenden Flüssigkeitskörper darstellt. Als Folge ergeben sich bei letzterem „verhältnismäßig hohe Fließgeschwindigkeiten“, eine größere Schwankung in der Ergiebigkeit und „keinerlei filtrierende Wirkung“, da die „reinigende Wirkung der porösen Haufwerke“ fehlt.

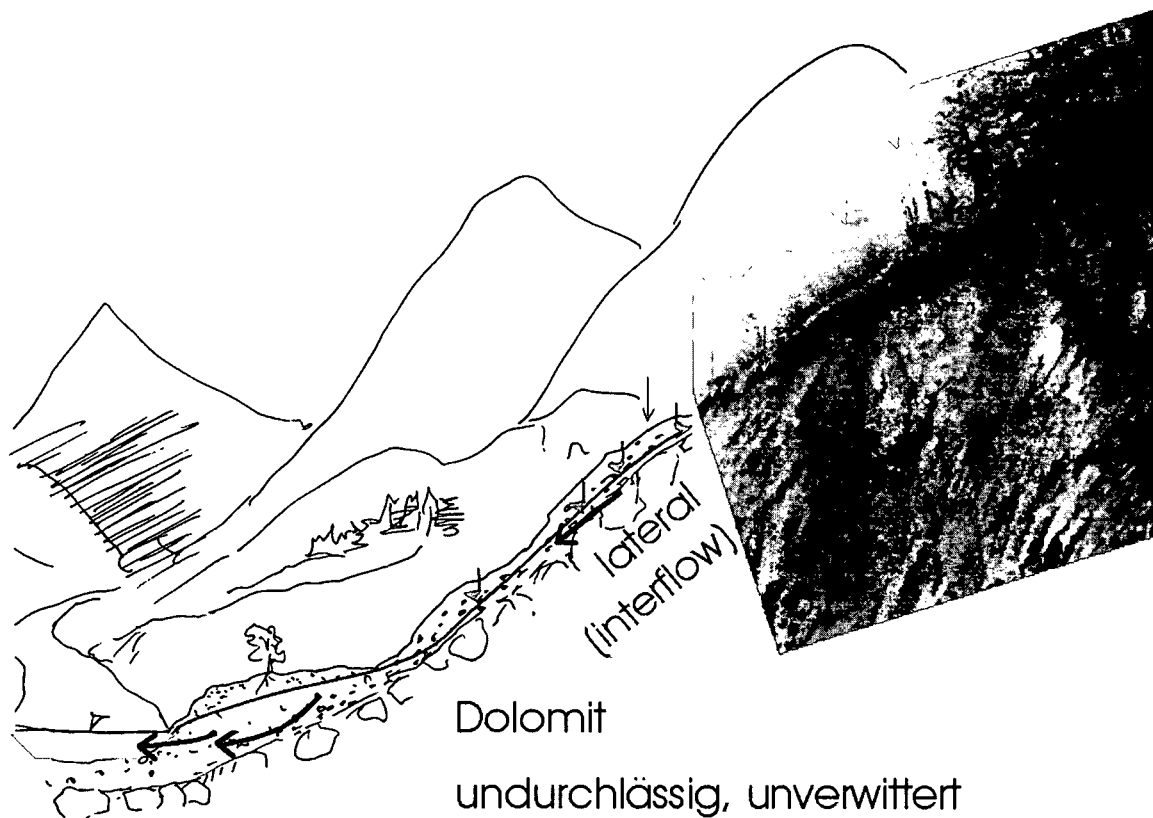


Abbildung 4-21: Modell 1- Dolomit, nur oberflächennah verwittert

Abbildung 4-21 zeigt die Prinzipskizze für einen undurchlässigen Felsuntergrund, wo sich kein Karstgrundwasserkörper ausbilden konnte. Im Bereich der Talflanken ist der Fels nur oberflächlich verwittert oder mit einer dünnen Bodenschicht überlagert, wie man auch auf dem Photo des Hanganschnittes (Abbildung 4-22) sehen kann. Das Wasser fließt, da es nicht tiefer eindringen kann, oberflächennah, entlang des undurchlässigen Festgesteinuntergrundes ab.

Diese Modellvorstellung entspricht dem unverwitterten Dolomit. Die dazugehörigen Fließwege sind an manchen Stellen im Einzugsgebiet „sichtbar“, in Abbildung 4-22 sieht man aus den Erosionserscheinungen, welche Wege das Wasser genommen hat.

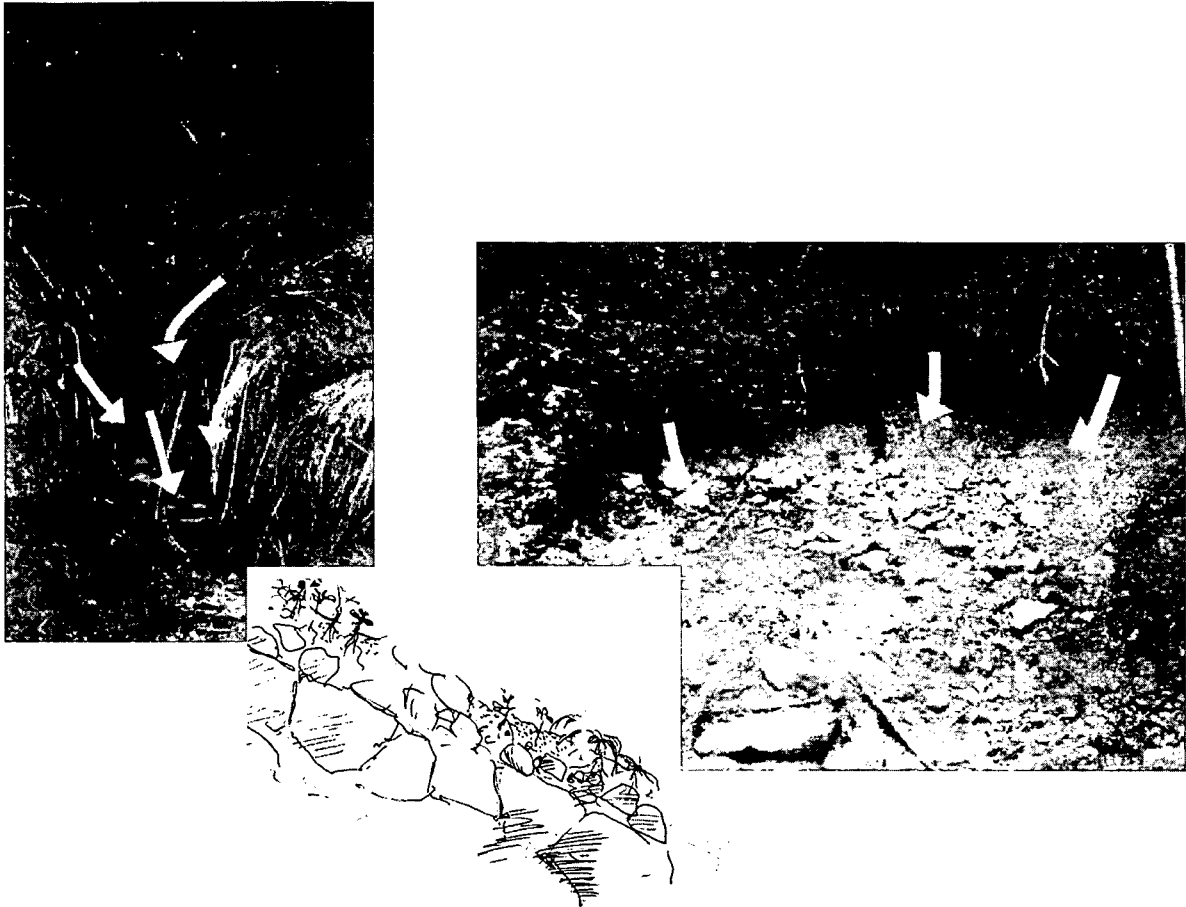


Abbildung 4-22: Photos oberflächennaher Erosionserscheinungen, lateraler Fließwege und zugehörige Modellvorstellung

Das Wasser fließt lateral und hangparallel ab, im Talbereich fließt das Wasser direkt als Interflow in den Fluss oder dringt im Bereich der Flusssedimente in den Porengrundwasserkörper ein.

Die zweite Möglichkeit Modellvorstellung des Untergrundaufbaues ist die eines stark verwitterten Karstuntergrundes, die im oberen Ybbstal vorliegt. Sie ist in Abbildung 4-23 dargestellt.

Hier ist der Untergrund bis in große Tiefen verkarstet, das Wasser kann in den Gesteinskörper eindringen und gespeichert werden. Es liegt ein Karstgrundwasserkörper vor.

Hier verlaufen die Fließwege überwiegend in der Tiefe, und der Abfluss erfolgt langsamer als bei den oberflächennahen Fließwegen.

Im Ybbstal liegen sowohl Kalk als auch Dolomituntergründe vor, wie auch aus der geologischen Karte (Abbildung 4-6) auf Seite 95 ersichtlich ist.

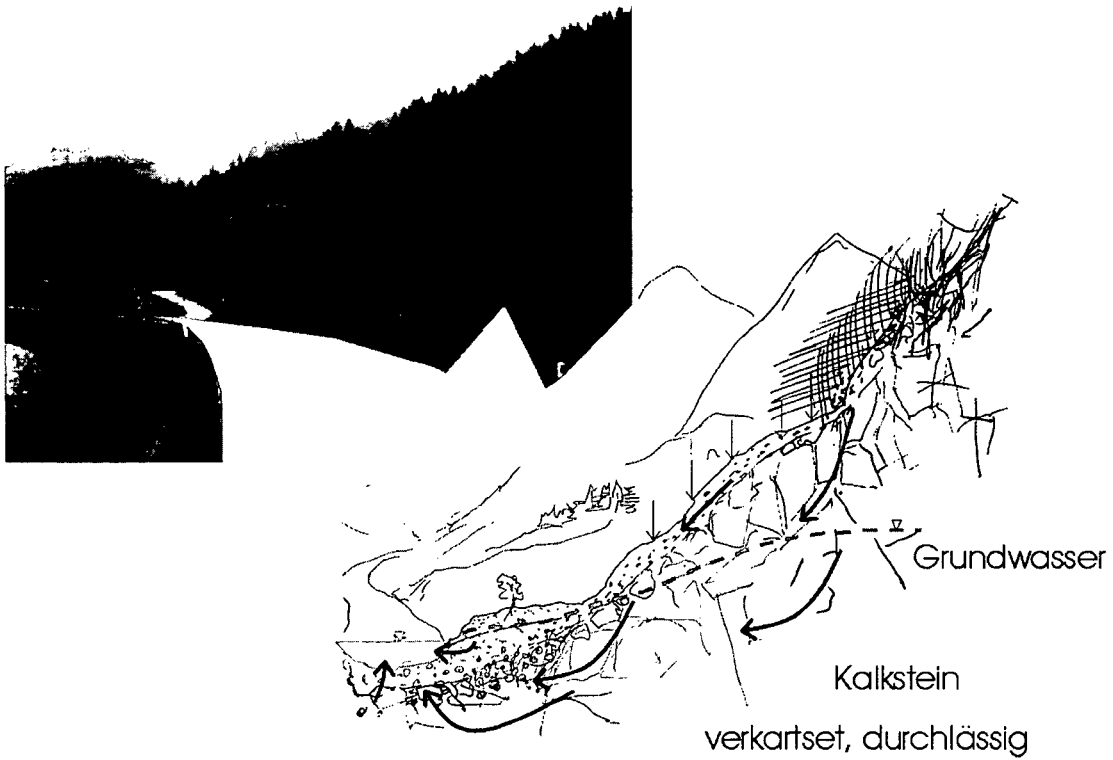


Abbildung 4-23: Kalk, tiefe Verwitterungszonen, Karstgrundwasserkörper

„Sehen“ kann man diesen Untergrundaufbau oder die Fließbahnen im Einzugsgebiet durch den Austritt von Quellen wie in Abbildung 4-24:



Abbildung 4-24: Photo einer Quelle im oberen Ybbstal

4.4.2 Beschreibung der Fließwege der niederen Flusstäler

Betrachtung des Querschnittes Wulkatal, unteres Ybbs-, Urbachtal

Fließwege im klassischen Porengrundwasserbereich sollen anhand der folgenden Bilder und Skizzen verdeutlicht und die Fließwege erläutert werden.

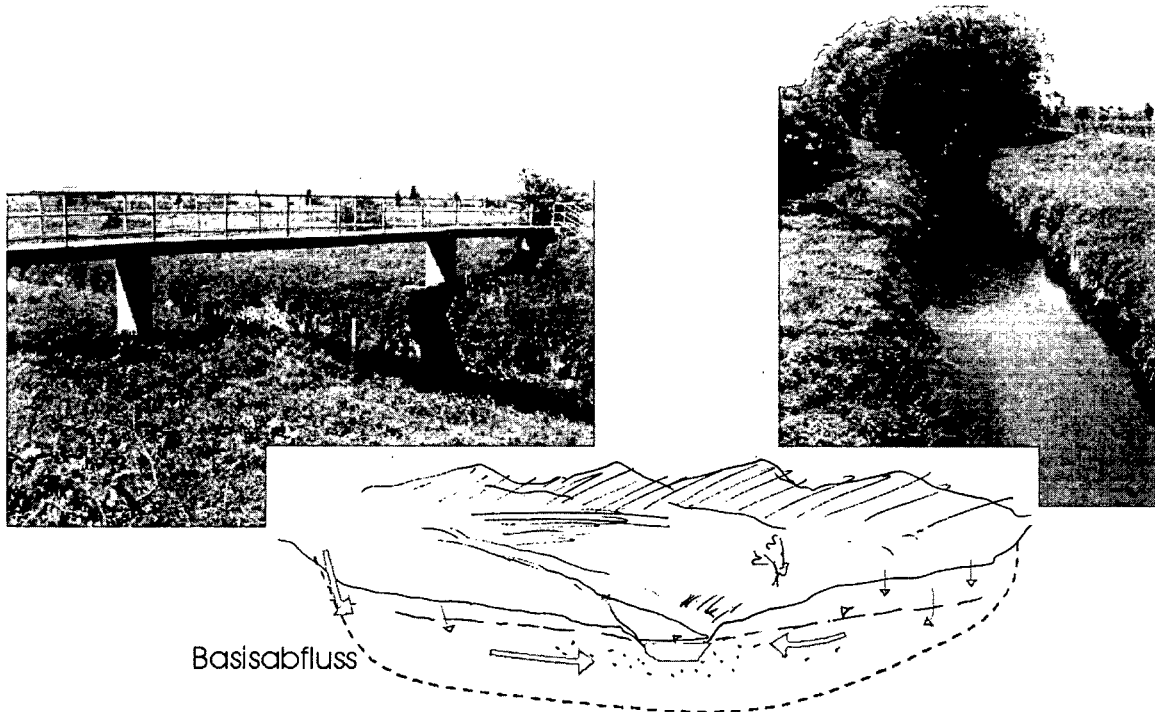


Abbildung 4-25: Photos von dem Einzugsgebiet der Wulka und der daraus abgeleiteten Modellvorstellung

Im Wulkatal liegt ein Porengrundwasserleiter vor, der Flurabstand ist gering, das Gelände ist im Talbereich sehr flach. Abbildung 4-25 zeigt die Modellvorstellung des Wulkatales. Die Fließwege erfolgen außer in extremen Niederschlagsperioden fast ausschließlich über den Untergrund. Aufgrund der geringen Niederschlagshöhe, der hohen Evapotranspiration und der geringen Neigung ist der Anteil des abfließenden Niederschlages viel geringer als im Ybbstal, der Anteil des Grundwassers am Gesamtabfluss ist jedoch etwa gleich hoch.

In Abbildung 4-26 und Abbildung 4-27 soll eine Vorstellung der Abflussprozesse bei Niederschlagsereignissen gegeben werden.

Der Niederschlag versickert, solange die Infiltrationskapazität und die Sättigung des Bodens es zulässt. Ist diese erschöpft, kommt es zu oberflächlichen Fließwegen, welche in Difga mit der direkten Abflusskomponente „ Q_D “ erfasst werden.

Nur bei starken Niederschlägen kommt es zu direktem Abfluss. Das restliche Niederschlagswasser versickert und erhöht temporär den Grundwasserstand und damit auch den hydraulischen Gradienten zum Fluss hin.

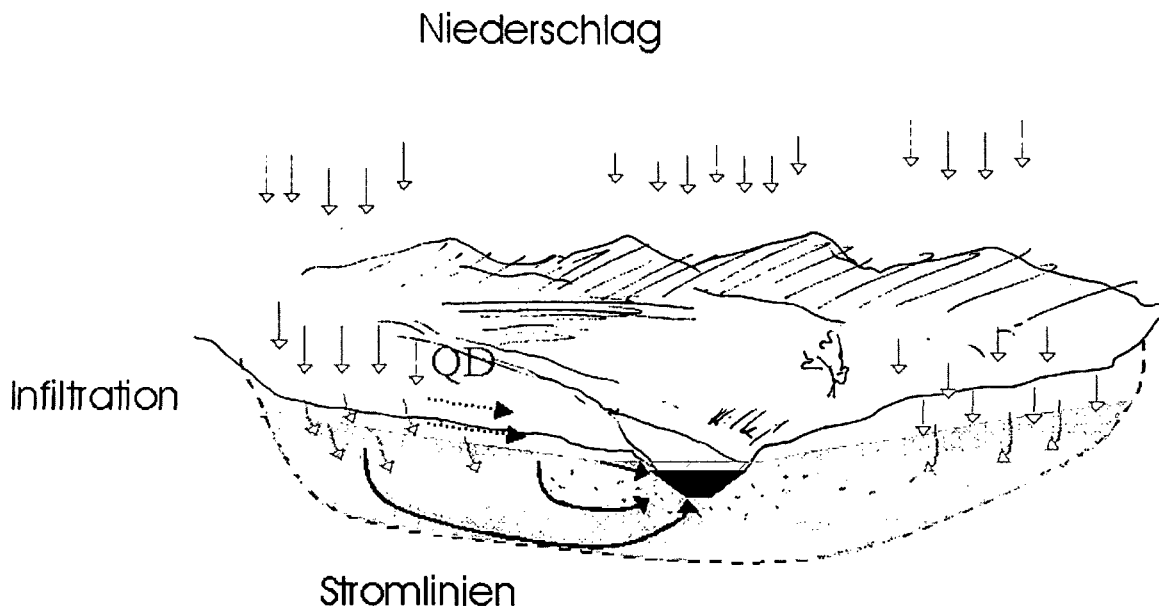


Abbildung 4-26: Fließwege, dargestellt als Stromlinien

Das Wasser fließt entlang der Stromlinien zu dem Gewässerbett. Dort exfiltriert es.

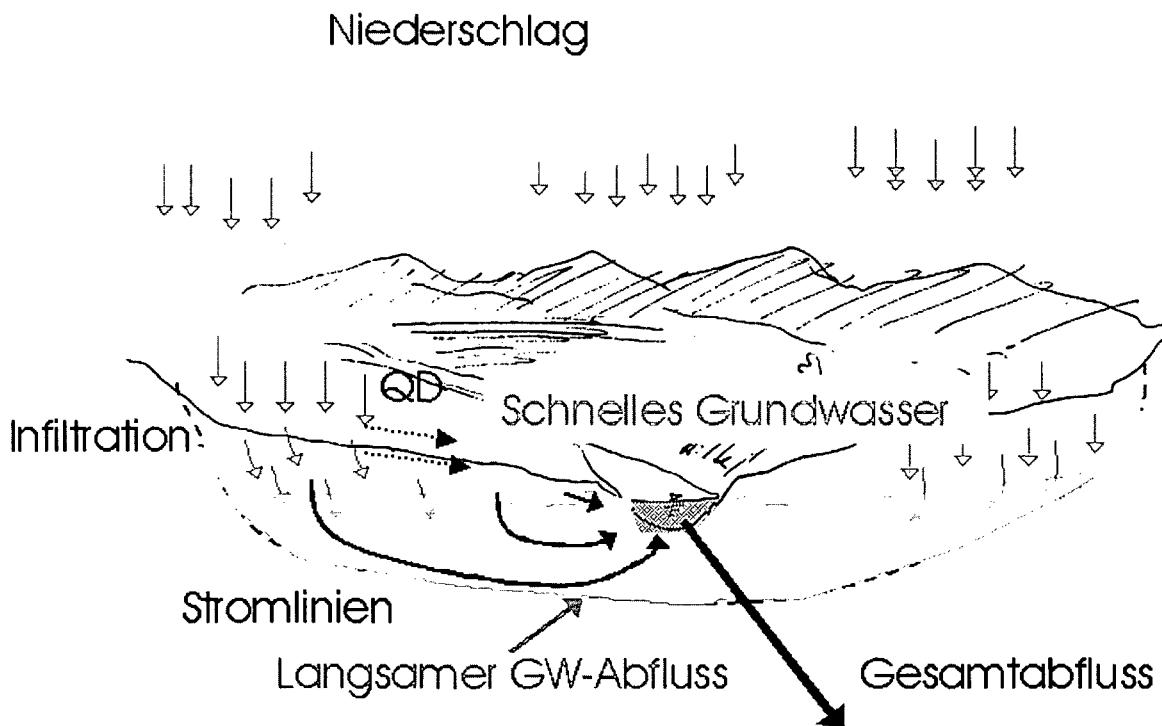


Abbildung 4-27: Anteile von schnellen und langsamen Grundwasser

Stellt man sich die Frage der Herkunft des schnell und des langsam abfließenden Grundwasseranteils, so kommt man aufgrund der Überlegungen zu den Stromlinien und des Wasserstandes zu dem Ergebnis, dass das schnelle Grundwasser jenes Grundwasser sein muss, welchen bei Niederschlagsereignissen aus dem gewässer-

nahen Bereich exfiltriert, da es aufgrund der Verdrängung herausgedrückt wird. Es enthält relativ hohe Anteile von Sickerwasser aus den oberen, ufernahen Bereichen, da diese aufgrund des hohen Wasserstandes abfließen können.

Klingt der Niederschlag ab, so sinkt der Grundwasserspiegel und der Grundwasserabfluss wird geringer. Er kommt nun aus den tieferen Schichten, der Anteil des alten Grundwassers steigt, es fließt mehr Wasser als „QG2“ (Bezeichnungen nach Difga) ab. Sinkt der Grundwasserspiegel noch weiter ab, so kommt es zu einer Infiltration von Flusswasser in den Grundwasserkörper, was man im Bereich Schützen aufgrund der Abnahme des Abflusses deutlich feststellen kann.

Diese räumliche Zuordnung der Abflusskomponenten zu Fließwegen und zum Ort des Entstehens verdeutlicht den Zusammenhang der Abflusskomponenten mit den Nährstofftransport, wie er in Kapitel 4.7 und 4.9 noch näher erläutert werden wird.

4.5 METHODENVERGLEICH

4.5.1 Statistisch-empirische Verfahren - Wundt

Neben der in Kapitel 3 beschriebenen Methode, wurde noch eine neue Variante eingeführt, dabei wurde der kleinste Durchfluss, welcher in den 15 Tagen vor oder den 15 Tage nach dem aktuellen Datum auftritt, dem Mindestgrundwasserabfluss gleichgesetzt.

Er wird in den nachfolgenden Tabellen als Mindestdurchfluss in 30 Tagen ($Q_{\min/30d}$) bezeichnet.

Aus Tabelle 4-5 sieht man, dass außer bei dem Pegel Lunz, wo die Abflüsse und die Varianz des Abflusses sehr hoch sind, die Werte (nach Wundt/original und Wundt/ $Q_{\min/30d}$) sehr gut übereinstimmen. Die modifizierte Variante ergibt im Sinne der Intention Wundts also durchaus plausible Ergebnisse und hat als „gleitendes Minimum“ den Vorteil, dass man für jedes spezifische Jahr und für jeden Tag einen Wert bilden kann.

| YBBS Pegel (Gewässer, Zeitraum) | Q [mm/a] | Wundt Variante $Q_{\min/30d}$ [mm/a] | Wundt Original MNQ [mm/a] |
|---|--------------------|--|-------------------------------------|
| Lunz a. See (Ois, 1977-1997) | 1208 | n.c. | n.c. |
| Lunz am See (Seebach, Ab. für MNQ: 1981-2000, JB 2000) | 1795 | 977 | 769 |
| Opponitz (Ybbs, 1971-97, für MNQ: 1951-2000, JB 2000) | 1203 | 572 | 577 |
| Ybbsitz (kleine Ybbs, 1981-97, für MNQ: 1951-2000, JB 2000) | 846 | 467 | 476 |
| Krenstetten (Urlbach, 1992-97, für MNQ: 1981-2000, JB 2000) | 443 | 164 | 162 |
| Greimpersdorf (Ybbs, 1971-97, für MNQ: 1971-2000, JB 2000) | 850 | 392 | 402 |

Tabelle 4-5: Berechnung nach Wundt (MNQ) und Variante (mind. Q in 30 d)

An der Wulka beinhalten die gemessenen Durchflüsse auch immer den Kläranlagenabfluss, also Wasser, welches aus anderen Gebieten importiert wird und den Durchfluss und somit auch die statistischen Werte wie MNQ verfälscht. Hier wurde daher nur mit der Variante $Q_{(GW, \min)} = Q_{(\min Q-30d)}$ gerechnet.

Diese Methode hat den weiteren Vorteil, dass der Einfluss der Kläranlagen bei der Berechnung eliminiert werden kann (er wird vor der Berechnung abgezogen).

Folgende Abbildungen stellen den jahreszeitlichen Verlauf nach Wundt (MNQ) dar. Aus Abbildung 4-28 sieht man, dass im Wulkatal die Abflüsse sehr gleichmäßig über das Jahr verteilt sind und die Pegel eine ähnliche Abflusshöhe und ein ähnliches

Abflussregime aufweisen.

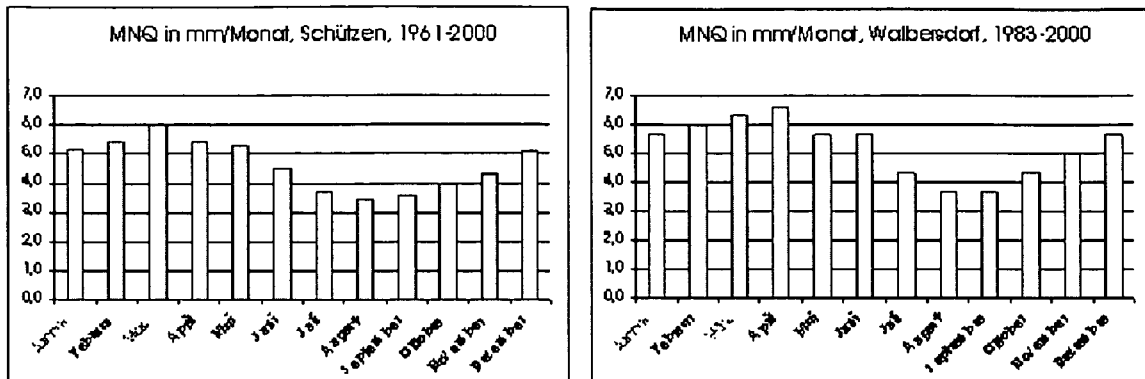


Abbildung 4-28: Grundwasserabflüsse nach Wundt für das Wulkatal

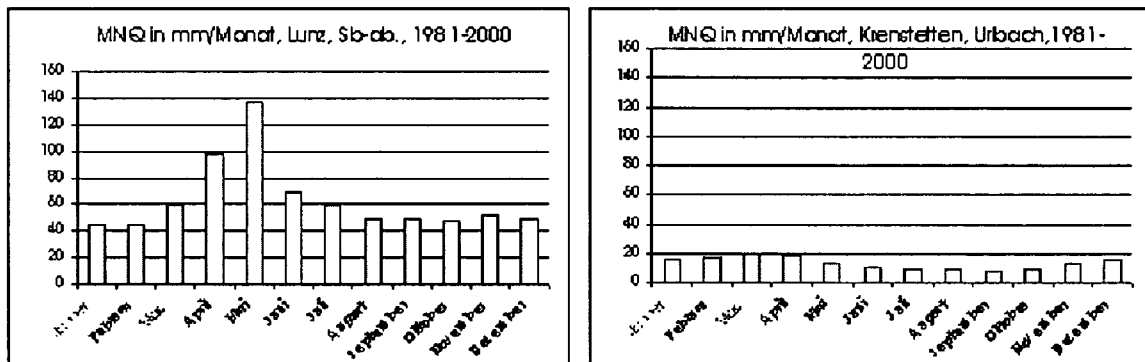


Abbildung 4-29: Oberes und unteres Teileinzugsgebiet der Ybbs, nach Wundt

Im Ybbstal sind die Unterschiede sowohl bei den absoluten Werten, als auch bei dem Jahrgang sehr groß. In den obigen Graphiken (Abbildung 4-29) ist die Skalierung der Hochachsen für Lunz und Kienstetten gleich, man sieht die großen Unterschiede in den Absolutwerten. In Abbildung 4-30 sieht man, dass der größte Jahrgang im obersten Einzugsgebiet, am Pegel Lunz zu beobachten ist, der kleinste im unteren Einzugsgebiet, am Pegel Ybbsitz.

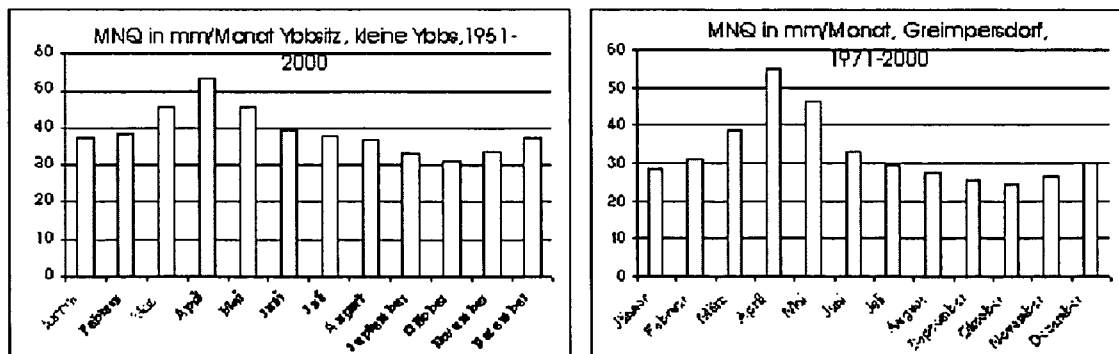


Abbildung 4-30: Pegel Ybbsitz und Pegel Greimpersdorf

4.5.2 Statistisch-empirische Verfahren - Lillich

Es wurde der Durchfluss am dritten niederschlagsfreien Tag herangezogen⁶. Das arithmetische Mittel der einzelnen Messungen ergibt den Anteil des unterirdischen Abflusses. Die Ergebnisse für die Einzugsgebiete sind in Tabelle 4-6 dargestellt. Sie sind denen der automatischen Ganglinienanalysen mit Difga 2000 und dem digitalen Filter sehr ähnlich.

| Ybbs Pegel (Fluss, Zeitreihe) | Q brutto [mm/a] | Lillich brut [mm/a] | Lillich net [mm/a] | Wulka Pegel (Fluss, Zeitreihe) | Q brutto [mm/a] | Lillich [mm/a] |
|---|--------------------|------------------------|-----------------------|--|--------------------|-------------------|
| Lunz a. See (Ois, 1977-97) | 1208 | n.c. | 1283 | Walbersdorf (Wulka, 1983-97) | 103 | n.c. |
| Lunz am See (Seebach, Ab.) | 1795 | 1283 | 784 | Wulkaprodersdorf (Wulka, 1971-97) | 73.6 | 64.0 |
| Opponitz (Ybbs, 1971-97) | 1203 | 808 | 643 | Trausdorf / Wulka (Wulka, 1977-97) | 89.6 | n.c. |
| Ybbsitz (kleine Ybbs, 1981-97) | 846 | 643 | 281 | St. Margareten (Nodbach, 92-00) | 70.6 | 52.8 |
| Krenstetten (Urlbach, 92-97) | 443 | 281 | 531 | Oslip (1986-97) (Eisbach, 1986-96) | 50.5* | n.c. |
| Greimpersdorf (Ybbs, 1971-97) | 850 | 638 | 560 | Schützen (1971-97) (Wulka, 1981-97*) | 86.7 64.5* | 39.8 |

* = Abfluss von Kläranlagenabfluss bereinigt

Tabelle 4-6: Grundwasserabflüsse nach Lillich, Mittelwerte für die Einzugsgebiete

Auch hier wurden zwei Alternativen berechnet.

Um die Saisonalität zu untersuchen, musste aus den Einzeldaten ein monatlicher Wert gefunden werden, unabhängig davon, wie viele Einzelwerte (niederschlagsfreie Zeiträume) in diesem Monat vorlagen. Das Kriterium der monatlichen Grundwasserabflüsse nach Lillich wurde etwas strenger gewählt, nämlich als gleitendes, 30-tägiges Minimum des Lillich-Kriteriums. Diese Werte liegen daher etwas unterhalb der Jahreswerte.

Abbildung 3-9 auf Seite 68 zeigt den Anteil des Grundwassers nach Lillich mit den verschiedenen Kriterien. Man kann erkennen, dass das strenge Lillichkriterium zwar weniger Lücken aufweist, dass die Linie dieser Abschätzung aber deutlich unter den mit Einzeldaten ermittelten Grundwasserabflusshöhen liegt.

⁶ Ein weiteres Kriterium, siehe Abbildung 3.9, welches alle Durchflüsse ab dem dritten Tag nach dem Niederschlag bis zum nächsten Niederschlagsereignis berücksichtigt, wurde verworfen. Es ergaben durch die (nicht repräsentativen) Niederschlagsdaten und der zeitlichen Verzögerung des Abflusses teilweise höhere Werte als am 3. Tag nach dem Ereignis.

4.5.3 Ergebnisse der Ganglinienseparation nach Arnold

In der Abbildung 3-15 auf Seite 76 sind die Separationsergebnisse mit dem digital Filter beispielhaft für den Pegel Schützen dargestellt. Die einzelnen Filterdurchläufe unterscheiden sich am meisten bei Durchflussspitzen. Im Bereich der Niederwasserabflüsse ergeben sich sehr ähnliche Werte. In der graphischen Darstellung sehen die Ergebnisse plausibel aus.

In Tabelle 4-7 sind die Grundwasserabflüsse als Ergebnis der Ganglinienseparation mit dem rekursiven digitalen Filter nach Arnold (siehe Kapitel 3.3.4) für die Teileinzugsgebiete der Ybbs und der Wulka in mm pro Jahr angegeben. Als Vergleich sind auch die Gesamtabflüsse (Q) der Teileinzugsgebiete angegeben.

Die Separationen mit Difga 2000 ergeben Werte, welche im Bereich des ersten (digital filter1 in nachfolgenden Tabellen) und zweiten Filters liegen. Der Unterschied in den Separationen liegt wieder bei den Abflussspitzen vor. Den dritten Filterdurchgang (digital filter3) kann man für diese geologische Einheit vielleicht als Mindestgrundwasserabfluss interpretieren.

| mm/a | Q [mm/a] | digital filter1 | digital filter2 | digital filter3 |
|--------------------------|------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| Schützen (Wulka) | 86 | 68,6 | 61,3 | 57,4 |
| Nodbach | 69 | 49,3 | 41,1 | 36,8 |
| Oslip (Eisbach) | 109 | 81,6 | 71,2 | 65,7 |
| Wulkaprodersdorf(Wulka) | 73 | 57,5 | 51,4 | 48,1 |
| Trausdorf an der Wulka | 90 | 70,6 | 62,2 | 57,2 |
| Walbersdorf 1983-97 | 102 | 81,5 | 72,5 | 67,4 |
| Wulka Mittelwert | 88 | 68,2 | 59,9 | 55,4 |
| Opponitz | 1185 | 833,8 | 696,2 | 627,5 |
| Lunz am See (Zu-Seebach) | 2045 | 1283,3 | 988,8 | 838,9 |
| Lunz am See (Ois) | 1192 | 803,8 | 643,9 | 561,3 |
| Lunz am See (Ab-Seebach) | 1832 | 1223,3 | 979,2 | 853,6 |
| Ybbsitz (kleine Ybbs) | 853 | 643,0 | 558,4 | 516,9 |
| Krenstetten (Urlbach) | 437 | 280,3 | 225,8 | 200,0 |
| Greimpersdorf | 838 | 580,9 | 482,8 | 434,6 |
| Ybbs Mittelwert | 901 | 628,4 | 521,4 | 468,1 |

Tabelle 4-7: Ergebnisse der Ganglinienseparation nach Arnold in mm/a

In Abbildung 4-40 auf Seite 132 werden die verschiedenen Separationen am Pegel Greimpersdorf verglichen. Die Grundwasserabflussspitze unterscheidet sich nach Höhe und Zeitpunkt des Auftretens. Die Ergebnisse nach Difga zeigen eine rasche und hohe Antwortfunktion des Grundwassers, die erste Separation mit dem digitalen

Filter zeigt eine zeitlich verzögerte Abflussspitze des Grundwassers. Die zweite Separation ergibt hingegen eine schnelle Reaktion, aber kleinere Spitzen. Diese Verschiebung der Abflussspitzen ist nur rechentechnisch begründbar.

Vergleicht man die Separationen mit den Ergebnissen nach Hino und Hasebe [1986], so stellt man fest, dass auch hier die Antwort des Grundwassers schnell erfolgt. In dieser Arbeit wurden die Ergebnisse des automatischen Filters auch durch Isotopenmessungen bestätigt.

In Tabelle 4-8 sind die berechneten Grundwasserabflüsse in Prozent des Gesamt-abflusses angegeben.

Die Ergebnisse liegen beim ersten Durchgang zwischen 63% und 80% Grundwasser-abfluss, wobei der Anteil des Grundwassers im Einzugsgebiet der Ybbs kleiner ist als an der Wulka.

Die Anteile sinken um jeweils ca. 10% bei den weiteren Durchläufen.

| Einzugsgebiet | Q [mm/a] | digital filter1 | digital filter2 | digital filter3 |
|--------------------------|-----------------|------------------------|------------------------|------------------------|
| Schützen (Wulka) | 86 | 80% | 72% | 67% |
| Nodbach | 69 | 72% | 60% | 54% |
| Oslip (Eisbach) | 109 | 75% | 65% | 60% |
| Wulkaprodersdorf(Wulka) | 73 | 79% | 71% | 66% |
| Trausdorf an der Wulka | 90 | 79% | 69% | 64% |
| Walbersdorf 1983-97 | 102 | 80% | 71% | 66% |
| Wulka Mittelwert | 88 | 78% | 68% | 63% |
| Opponitz | 1185 | 70% | 59% | 53% |
| Lunz am See (Zu-Seebach) | 2045 | 63% | 48% | 41% |
| Lunz am See (Ois) | 1192 | 67% | 54% | 47% |
| Lunz am See (Ab-Seebach) | 1832 | 67% | 53% | 47% |
| Ybbsitz (kleine Ybbs) | 853 | 75% | 65% | 61% |
| Krenstetten (Urlbach) | 437 | 64% | 52% | 46% |
| Greimpersdorf | 838 | 69% | 58% | 52% |
| Ybbs (Mittelwert) | 1197 | 67% | 55% | 48% |
| Ybbs Mittelwert | 901 | 70% | 58% | 52% |

Tabelle 4-8: Ergebnisse der Ganglinienseparation nach Arnold in % von Q

4.5.4 Ganglinienanalyse mit Difga2000

Berechnungen für das Ybbstal

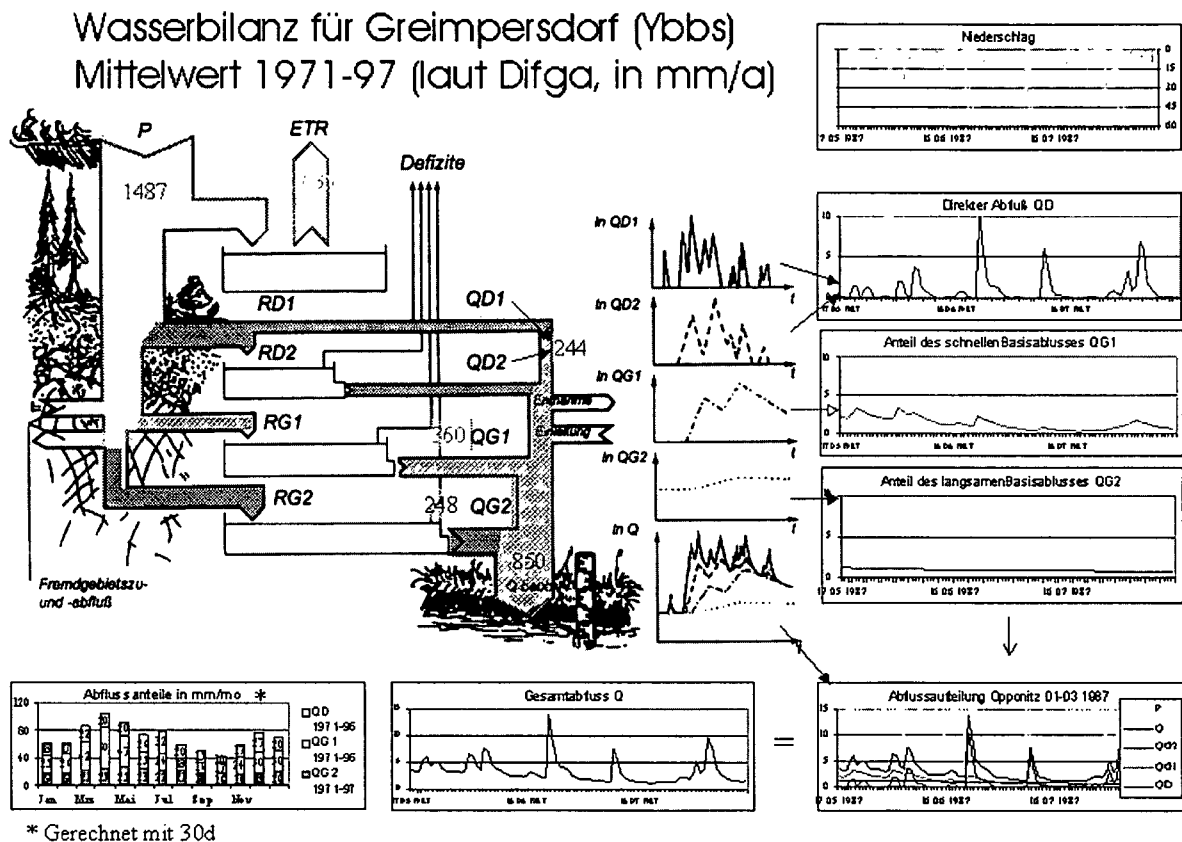


Abbildung 4-31: Ergebnisse der Abflussganglinienanalyse mit Difga2000 für Greimpersdorf, Ybbs, Angaben in mm/a

Abbildung 4-31 zeigt die Ergebnisse der Abflussganglinie mit Difga 2000. Im Hintergrund ist das Programmschema von Difga 2000 zu erkennen. Im Ybbstal kommen große Teile des Niederschlages zum Abfluss (850 mm von 1497 mm, langjähriges Mittel für Greimpersdorf). Der Abfluss setzt sich aus 244 mm Direktabfluss QD (knapp 30%), 248 mm langsamen Grundwasser, QG2 (30%) und 360 mm (mehr als 40%) schnellem Grundwasser, QG1 zusammen.

Aus den Diagrammen auf der rechten Seite sieht man, dass die Separation des Abflusses plausible Ergebnisse liefert, da die hektischen, schnellen Abflusskomponenten dem direkten Abfluss zugeordnet werden, der langsame Grundwasserabfluss wiederum sehr träge reagiert.

Unten links ist die mittlere Aufteilung der Abflüsse über das Jahr zu erkennen.

Abflussaufteilung in den Teilgebieten:

| Ybbs | P kor., arithm. | P Höhengew. | Q | QG2 | QG1 | QD | cg1 | cg2 |
|---------------|-----------------|-------------|--------|--------|--------|--------|-----|-----|
| brutto | [mm/a] | [mm/a] | [mm/a] | [mm/a] | [mm/a] | [mm/a] | [d] | [d] |
| Lunz Ois | 1931 | 1682 | 1208 | 273 | 558 | 377 | 10 | 170 |
| Opponitz | 1729,6 | 1572 | 1203 | 362 | 486 | 354 | 11 | 170 |
| Ybbsitz | 1340 | 1367 | 846 | 321 | 332 | 194 | 11 | 190 |
| Krenstetten | 939,1 | 983 | 443 | 90 | 209 | 144 | 9 | 120 |
| Greimpersdorf | 1486,9 | 1377 | 850 | 247 | 360 | 243 | 9 | 170 |

Tabelle 4-9: Abflüsse (brutto) des Grundwassers in mm/a und Speicherkonstanten im Ybbstal

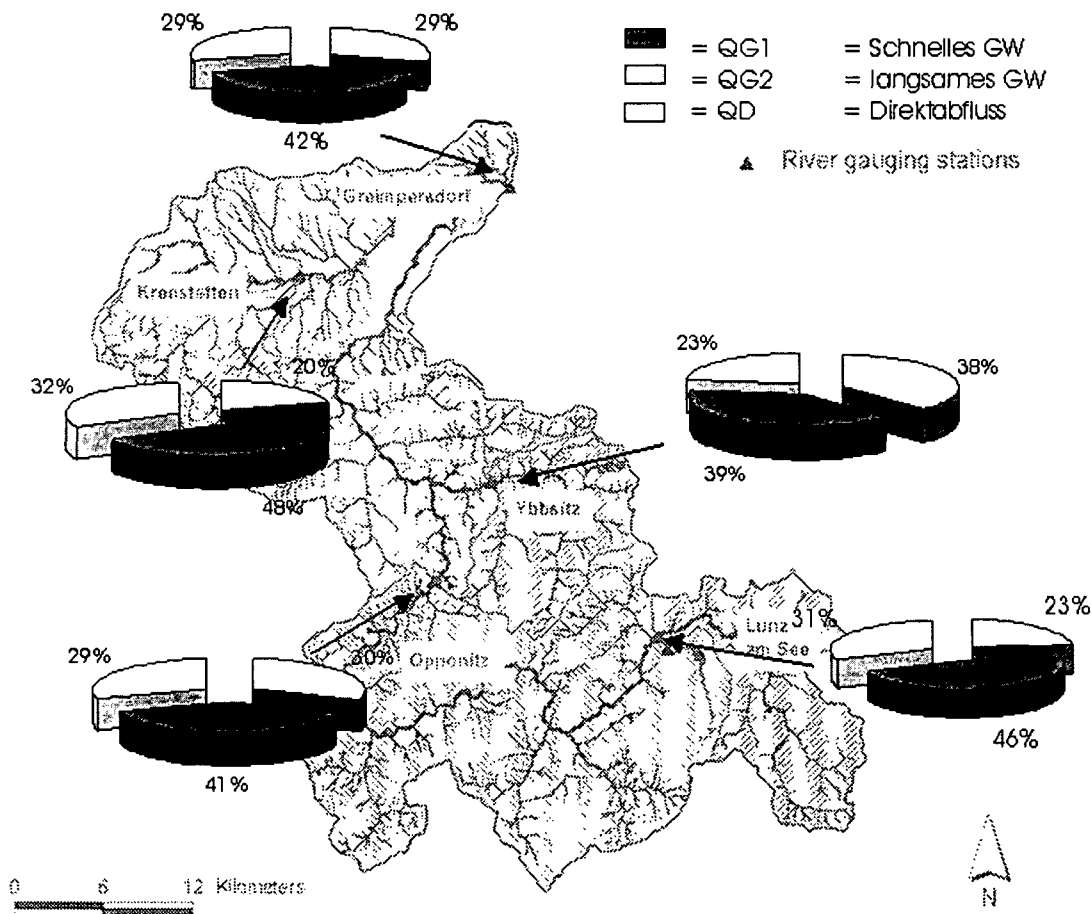


Abbildung 4-32: Aufteilung des Abflusses laut Difga im Ybbstal in % (1971-97)

Tabelle 4-9 zeigt die Ergebnisse der Ganglinienseparation für die Teilgebiete des Ybbstales. Die Tabelle beinhaltet die ermittelten mittleren Abflussanteile sowie den Niederschlag in mm/a und die für die Separation verwendeten Speicherkonstanten des Grundwasserspeicher. Die Niederschlags- und Abflusshöhen unterscheiden sich

in den Einzugsgebieten sehr stark. Im alpinen Einzugsgebiet Lunz betragen die Niederschlagshöhen das doppelte des Niederschlages im Einzugsgebiet Krenstetten, der Abfluss beträgt das Dreifache.

Die Abflussaufteilungen sind in Abbildung 4-32 graphisch dargestellt. Die Mittelwerte der Anteile langjähriger Messreihen zeigen in den Teileinzugsgebieten keine großen Unterschiede, die Werte des Direktabflusses liegen zwischen 23 und 32%. Der Anteil des langsamen Grundwassers liegt im hochalpinen Lunz am See bei 23% und im flacheren Tal der kleinen Ybbs/ Pegel Ybbsitz bei 38%. In den flachsten und trockensten Teileinzugsgebiet Krenstetten fließen nur 20% als langsamer Grundwasserabfluss ab.

Die Ganglinienseparationen werden in den folgenden Kapiteln in einer höheren zeitlichen Auflösung bis hin zu einzelnen Prozessen untersucht. Die Einflussfaktoren der Ganglinienseparation, wie Vorbefeuchtung und Größe des Niederschlagsereignisses, werden in Kapitel 4.6.2 betrachtet. Die Saisonalität soll in Kapitel 4.6.1. und 4.6.2 noch genauer untersucht werden.

Berechnungen für das Wulkatal

| Wulka (brutto) | P | P Höheng. | Q | QG2 | QG1 | QD | cg1 | cg2 |
|-------------------------------|--------|-----------|--------|--------|--------|--------|-----|-----|
| | [mm/a] | [mm/a] | [mm/a] | [mm/a] | [mm/a] | [mm/a] | [d] | [d] |
| Walbersdorf 83-87 | | 789 | 103,0 | 40,7 | 43,8 | 18,5 | 13 | 250 |
| Wulkaprodersdorf | 775 | 735 | 73,6 | 30,3 | 28,9 | 14,4 | 13 | 350 |
| Nodbach | | 656 | 70,6 | 17,6 | 34,5 | 18,6 | 13 | 180 |
| Oslip/Eisbach inkl. | 685 | 667 | 110,8 | 33,0 | 51,5 | 26,3 | 12 | 130 |
| Eisb. exkl. Kläranl. | 685 | 667 | 50,5 | 2,9 | 24,4 | 23,1 | | |
| Schützen inkl. KA 71-97 | 763 | 709 | 86,7 | 35,3 | 36,1 | 15,3 | 12 | 340 |
| Schützen exkl. Kläranl. 81-97 | 636 | | 64,5 | 10,3 | 27,3 | 10,4 | 11 | 330 |

Tabelle 4-10: Grundwasserabflüsse an der Wulka in mm, Speicherkonstanten

Tabelle 4-10 zeigt die Niederschlags- und Abflusshöhen und die Abflusskomponenten in mm/a sowie die für die Berechnungen verwendeten Speicherkonstanten für die Teileinzugsgebiete des Wulkatales als Mittelwerte über die jeweiligen Beobachtungszeiträume.

Die Niederschläge sind geringer als im Ybbstal, die Abflüsse betragen nur einen Bruchteil. Die Speicherkonstanten sind höher.

Im Bereich Schützen erfolgt im Sommer häufig eine Grundwasserneubildung durch Exfiltration, welche durch die Ganglinienseparation nicht erfasst werden kann.

Der Einfluss der Kläranlagen an der Wulka ist sehr groß. Das Trinkwasser wird in das Einzugsgebiet importiert. Der Anteil des Kläranlagenabflusses im Gesamtgebiet be-

trägt ca. ein Viertel, im Eisbach stammt mehr als die Hälfte des Abflusses aus der Kläranlage, so dass die Berechnungen für dieses Einzugsgebiet unsicher sind, da der Einfluss der Kläranlage nur schwer zu eliminieren ist⁷. Durch den Abzug des Kläranlagenabflusses wird der Anteil des langsamen Grundwassers unrealistisch klein.

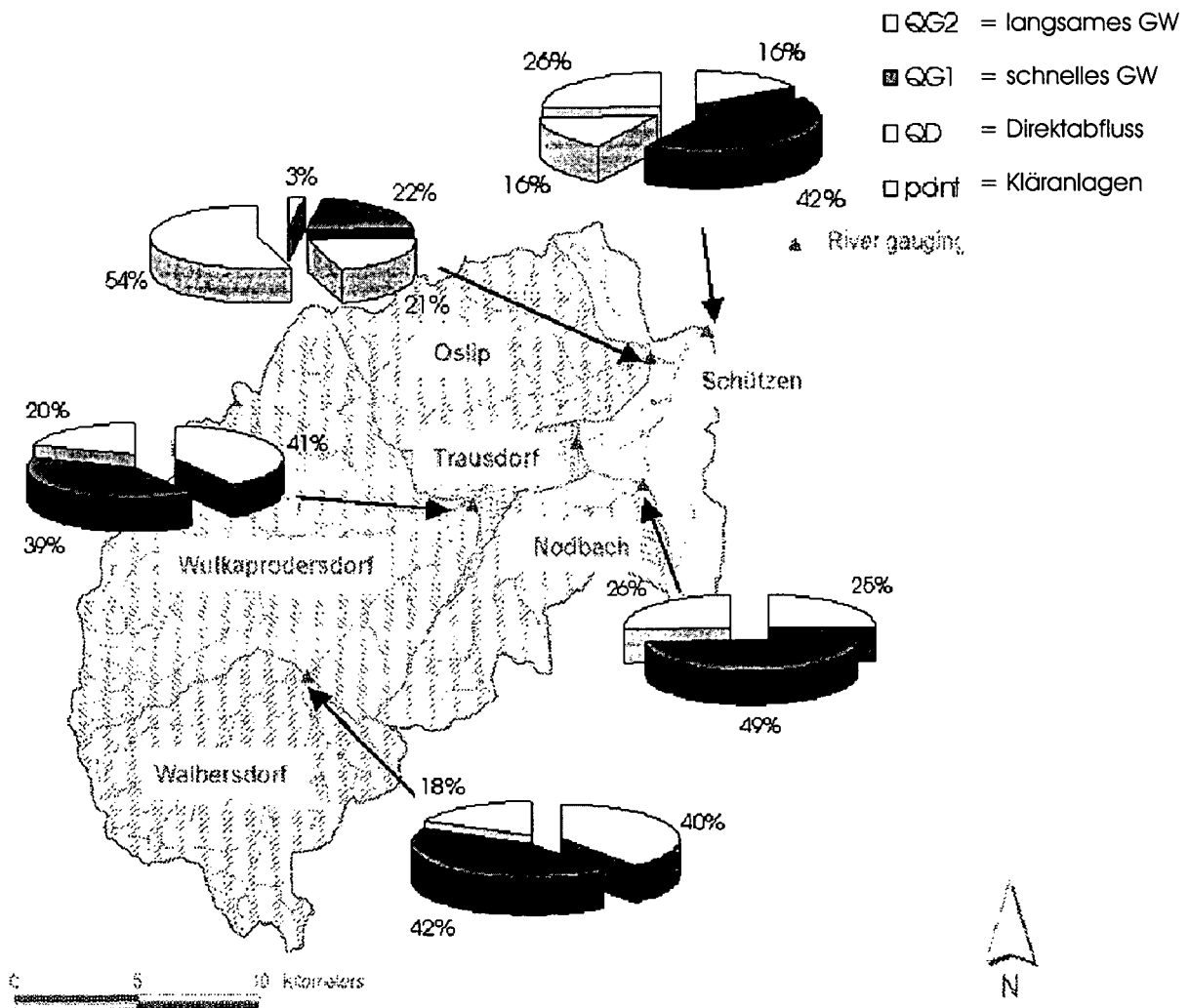


Abbildung 4-33: Abflussanteile an den verschiedenen Pegeln der Wulka

Die mittlere Abflussaufteilung der einzelnen Pegel in % ist in Abbildung 4-33 gezeigt. Die Anteile des direkten Abflusses sind an der Wulka etwas niedriger als an der Ybbs, in den unbeeinflussten Gebieten betragen sie 18 bis 26%. Der Anteil des langsamen Grundwassers ist dagegen höher als an der Ybbs, er liegt in Walbersdorf und Wulkaprodersdorf bei 40%.

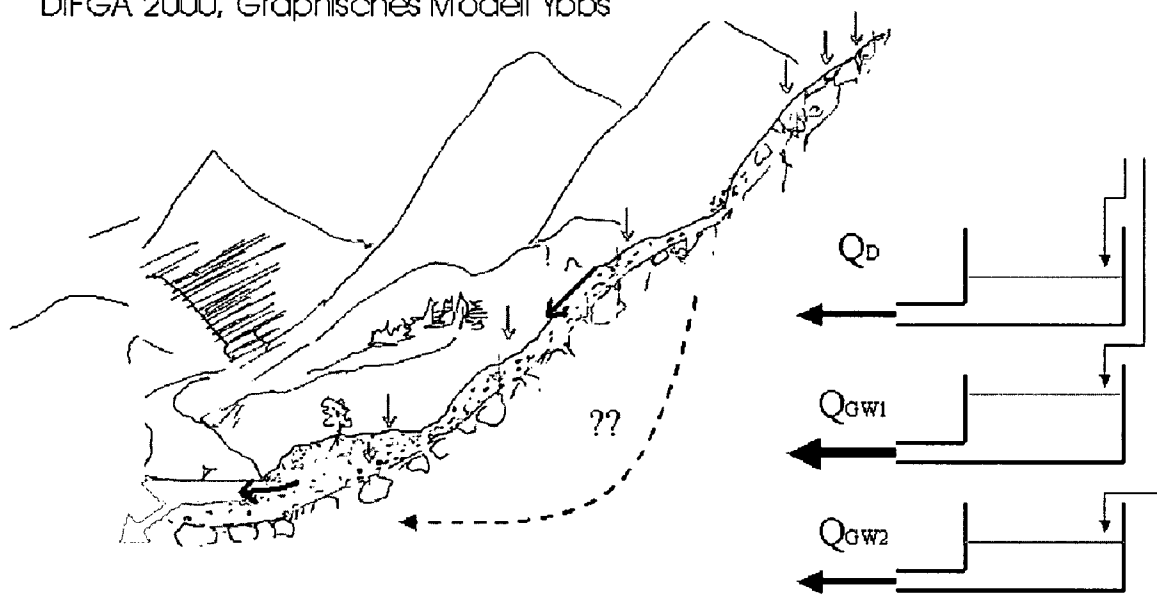
Insgesamt geben diese langjährigen Mittelwerte noch wenig Aufschluss über das Abflussverhalten des Gebietes.

⁷ Er wurde in Form von Monatsmittelwerten abgezogen, da keine täglichen Daten zur Verfügung standen. Bei täglichen Daten wären außerdem in den Abflüssen die in der Kanalisation aufgefangenen Niederschlagsmengen mit erfasst gewesen.

Vergleich der Modellvorstellungen mit den Berechnungen

In folgenden Abbildungen sollen die im Ganglinienanalysemodell verwendeten Speicherfüllungen der Modellvorstellung des Einzugsgebietes gegenübergestellt werden. Die Aufteilung des Abflusses in die drei Anteile ist in % angegeben.

DIFGA 2000, Graphisches Modell Ybbs



$$Q_D : Q_{GW1} : Q_{GW2} = 29\% : 41\% : 30\%$$

Opponitz, Ybbs, 1971-97

$$Q = 1203 \text{ mm}$$

$$Q = Q_{GW1} + Q_{GW2} + Q_D$$

Abbildung 4-34: Modellvorstellung und Ergebnisse der Ganglinienanalyse

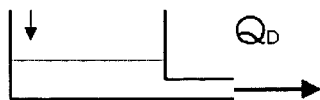
Das Einzugsgebiet Opponitz als Beispiel für das Ybbstal zeigt Abbildung 4-34. Links ist die graphische Modellvorstellung des Einzugsgebietes zu sehen. Rechts sind symbolisch die Speicher des Ganglinienanalysemodelles und ihre Abflüsse dargestellt.

Die Abflussanteile sind als Mittelwerte der Jahre 1971 bis 1997 angegeben. Insgesamt fließen 1203 mm ab, was den Großteil des Niederschlages ausmacht. Den größten Anteil am Abfluss nimmt mit 41% der schnelle Grundwasserabfluss ein, der langsame Grundwasserabfluss beträgt 30%, der Direktabfluss beträgt 29%.

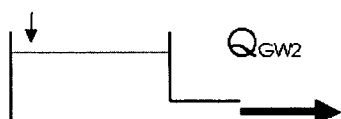
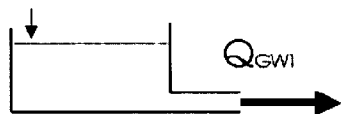
Durch den hohen Niederschlag kommt es häufig zu einer Grundwasserneubildung und zu einem Grundwasserabfluss. Die Komponenten RG1 und RG2 im Programmcode, siehe Abbildung 4-31, sind groß und treten regelmäßig auf.

Durch die häufige Nachlieferung kommt es nie zu einem Trockenfallen der Grundwasserspeicher, unabhängig von den Speicherkapazitäten des Untergrundes und der Geschwindigkeit des Speicherauslaufes.

Direktabfluss:

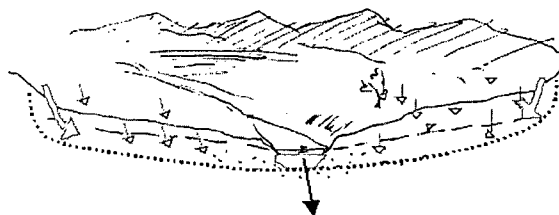


Grundwasserabfluss:



$$Q_{GW} = Q_{GW1} + Q_{GW2}$$

Graphisches Modell, Wulkatal



$$Q = Q_{GW1} + Q_{GW2} + Q_D$$

$$Q = 74 \text{ mm}$$

(Mittelwert 1971-97)

$$Q_D : Q_{GW1} : Q_{GW2} = 20\% : 39\% : 41\%$$

Wulkaprodersdorf, Wulka

Abbildung 4-35: Modellvorstellung und Ergebnisse der Ganglinienanalyse mit Difga im Wulkatal

Das Einzugsgebiet der Wulka ist viel einheitlicher als das Ybbstal. Es kommt der Modellvorstellung in Abbildung 4-35 näherungsweise im Ganzen nach.

Es wurde die Abflussaufteilung des Pegels Wulkaprodersdorf dargestellt. Hier haben die Kläranlagen noch keinen wesentlichen Einfluss und es finden keine Exfiltrationsvorgänge in das Grundwasser statt oder sind zumindest nicht wesentlich.

Bei einem Niederschlag von 775 mm im Einzugsgebiet Wulkaprodersdorf beträgt der Abfluss 74 mm, also weniger als ein Zehntel des Niederschlages. Der Anteil des direkten Abflusses ist dabei 50% kleiner, der Anteil des langsamen Grundwassers um ein Drittel größer als im Einzugsgebiet der Ybbs. Die Abflussanteile sind also zugunsten des langsamen, unterirdischen Abflusses verschoben. Der Unterschied ist aber nicht so groß, wie man vielleicht erwarten würde, da man aufgrund der Steilheit, der Niederschlagshöhe und von der Geologie her im Ybbstal von einem hohen Direktabfluss erwarten würde.

Der Anteil des abfließenden Niederschlages ist im gesamten Einzugsgebiet der Wulka sehr viel kleiner als im Ybbstal.

Im Wulkatal kommt es aufgrund der hohen Verdunstung und des geringen Niederschlages selten zu einer Grundwasserneubildung. Aufgrund der Speicherkapazitäten gibt es auch in niederschlagsfreien Zeiten oder in Zeiten, wo keine Nachlieferung in das Grundwasser erfolgt, noch einen Basisabfluss.

Deutlicher werden die Unterschiede in den Abflusskomponenten zwischen den Einzugsgebieten, wenn man Einzelereignisse oder Ereignistypen (siehe Kapitel 4.6 und 4.7) untersucht.

Vergleich der Einzugsgebiete

Folgende Abbildung zeigt die normierten Dauerlinien des langsamen Grundwasserabflusses in den Einzugsgebieten der Ybbs und der Wulka. Die kleine Abbildung zeigt die Dauerlinien der Abflüsse in mm pro Tag. Man sieht deutliche Unterschiede zwischen den Einzugsgebieten der Ybbs und der Wulka, nur Krenstetten ist auf einem ähnlichen Abflussniveau wie die Einzugsgebiete der Wulka.

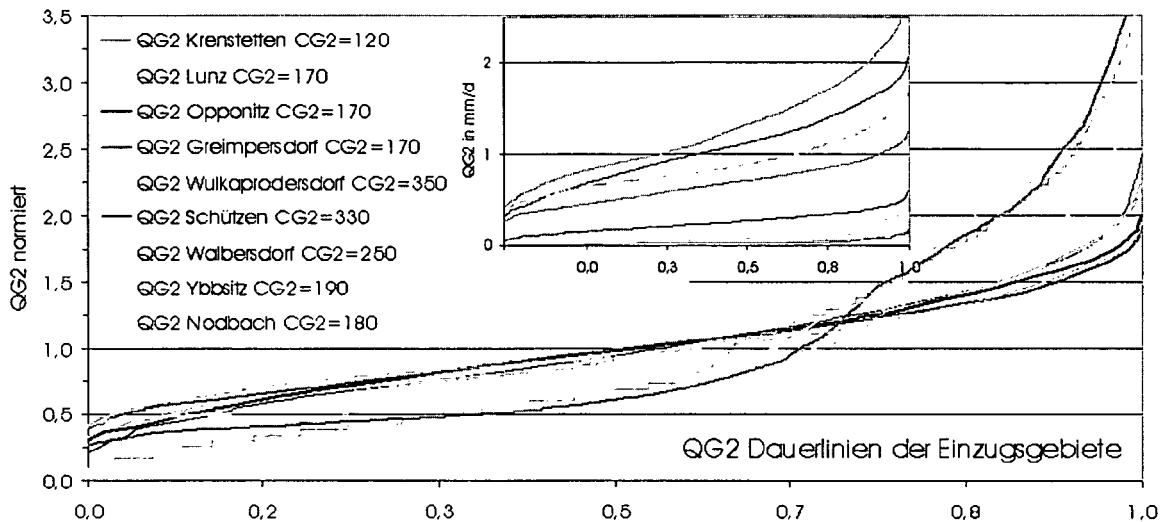
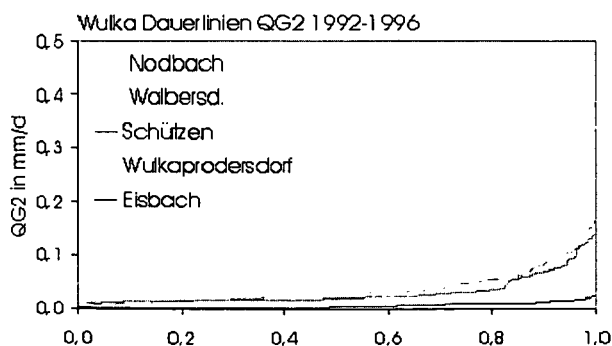


Abbildung 4-36: Dauerlinien des langsamen Grundwasserabflusses im Vergleich

In den Einzugsgebieten der Ybbs sind die Abflüsse viel gleichmäßiger verteilt. Fast alle Abflüsse liegen zwischen dem 0,25-fachen bis doppelten Durchschnittsabfluss. Die Nachlieferung in das Grundwasser und der Grundwasserabfluss ist immer hoch und relativ gleichmäßig verteilt.

Im Einzugsgebiet der Wulka sind die Abflüsse oft viel niedriger als der Durchschnittswert. Nur selten (in einem Viertel der Fälle) wird der Durchschnittswert überschritten. Die Dauerlinien sind in diesem Bereich recht steil. Die wenigen hohen Abflüsse ergeben den hohen Mittelwert, die höchsten Grundwasserabflüsse sind 4,5-fach höher als der Durchschnittswert. In Abbildung 4-37 sind die Dauerlinien des langsamen Grundwasserabflusses an der Wulka



noch einmal in mm/d dargestellt. Der steile Bereich, in Wulkaprodersdorf und Schützen sogar ein Knick, könnte den Bereich markieren, unterhalb dessen eine Dotierung des Grundwassers durch das Gewässer stattfindet (also Abfluss „verschwindet“). In Walbersdorf gibt es keinen solchen Bereich.

Abbildung 4-37: Dauerlinien Wulka in mm/d

4.5.5 Vergleich der verschiedenen Methoden anhand von Mittelwerten des Grundwasserabflusses

Die Durchschnittswerte für das Ybbstal ergeben Grundwasserabflussanteile am Gesamtabfluss zwischen 48 % (Mittelwert nach Wundt) und 71% (Difga 2000 und Lillich), was den Angaben aus der Literatur entspricht (siehe Kapitel 3.3.5).

Die Durchschnittswerte für das Wulkatal ergeben Grundwasserabflussanteile von 45% (Wundt) bis 75% (nach Lillich), der Mittelwert über alle Methoden und alle Teileinzugsgebiete liegt bei 69%, wobei die Mittelwertbildung in den Teileinzugsgebieten als arithmetisches Mittel, also ohne Berücksichtigung der Flächenanteile erfolgt ist.

Bei den manuell ermittelten Werten der linearen Auslauflinien gibt es einen Ausreißer, der niedriger ist als die anderen Werte, was an der Auswahl und der Anzahl der ausgewerteten Rückgangslinien liegen könnte.

In den folgenden Tabellen sind die Ergebnisse der Berechnungen für die Gesamteinzugsgebiete und die Teileinzugsgebiete der Ybbs (Tabelle 4-11, Tabelle 4-12) und der Wulka (Tabelle 4-14, Tabelle 4-15) dargestellt. Es wurden hierzu die Mittelwerte für die jeweilige Berechnungsmethode aus den verfügbaren Zeitreihen (meistens über 30 Jahre lang, 1971-1997) gebildet.

Grundwasserabfluss im Ybbstal

Die mit dem Programm Difga 2000 ermittelten Werte stimmen sehr gut mit den „Lillich-Werten“, also dem Abfluss am bzw. ab dem 3. Tag der Trockenheit überein. (Die Werte nach Lillich liegen zwischen -2 und +6% unter oder über den jeweiligen Ergebnissen nach Difga). Die Werte nach Wundt sind um 38% kleiner.

Die Mittelwerte der Auslauflinienauswertung liegen (ohne Ybbsitz) um 23 % darunter. Die manuell ermittelten Werte haben eine große Schwankungsbreite, sie sind sehr stark von der ausgewählten Zeitabschnitten abhängig. Daher sind auch die Mittelwerte aus den (wenigen) Berechnungen nicht wirklich aussagenkräftig.

Bei dem Jahresgang liegen die Werte nach Lillich um 20% niedriger als die nach Difga ermittelten Werte, was an dem, rechentechnisch begründeten, etwas strengeren Kriterium lag. Die mittleren monatlichen Niederwasserdurchflüsse sind noch niedriger. Die Korrektur oder Interpretation des Originalkriteriums nach Wundt (Grundwasserabfluss entspricht „mindestens Sommerniederwasserabfluss“ auf „den durchschnittlichen Monatsniederwasser“) ergeben fast identische Werte (siehe Kapitel 4.5.1). Diese Werte können daher als „Mindestgrundwasserabfluss“ interpretiert werden.

Die aus Einzeldaten (Lillich), statistischen Werten (Wundt) sowie die aus den Auslauflinien (Difga 2000) ermittelten Monatsmittelwerte ergeben den gleichen Jahresgang, die Jahresreihe nach Wundt ist etwas flacher.

| Pegel (brutto) (Gewässer, Zeitreihe) | Q [mm/a] | Lillich [mm/a] | Wundt [mm/a] | linear [mm/a] | Difga [mm/a] | Digit.f. 1 [mm/a] | df. 2 [mm/a] | d.f.3 [mm/a] |
|---|--------------------|--------------------------|------------------------|-------------------------|------------------------|-----------------------------|------------------------|------------------------|
| Lunz a. See (Ois, 1977-97) | 1208 | n.b. | n.b. | n.b. | n.b. | 815 | 653 | 569 |
| Lunz am See (Seebach, Ab.) | 1795 | 1283 | 977 | n.b. | 1279 | 1240 | 993 | 865 |
| Opponitz (Ybbs, 1971-97) | 1203 | 808 | 572 | 532 | 847 | 834 | 696 | 627 |
| Ybbsitz (kleine Ybbs, 1981-97) | 846 | 643 | 467 | n.b. | 667 | 643 | 558 | 517 |
| Krenstetten (Urlbach, 1992-97) | 443 | 281 | 164 | 251 | 299 | 280 | 226 | 200 |
| Greimpersdorf (Ybbs, 1971-97) | 850 | 638 | 392 | 510 | 607 | 581 | 483 | 435 |

Tabelle 4-11: Vergleich der errechneten Grundwasserabflüsse für das Einzugsgebiet der Ybbs, Angaben in mm/a

| Pegel (brutto) (Gewässer, Zeitreihe) | Q [mm/a] | Lillich [%] | Wundt [%] | linear [%] | Difga [%] | digi.filt. 1 [%] | df. 2 [%] | d.f.3 [%] |
|---|--------------------|-----------------------|---------------------|----------------------|---------------------|----------------------------|---------------------|---------------------|
| Lunz a. See (Ois, 1977-97) | 1208 | n.b. | n.b. | n.b. | n.b. | 67% | 54% | 47% |
| Lunz am See (Seebach) | 1795 | 71% | 54% | n.b. | 71% | 69% | 55% | 48% |
| Opponitz (Ybbs, 1971-97) | 1203 | 67% | 48% | 44% | 70% | 69% | 58% | 52% |
| Ybbsitz (kleine Ybbs, 1981-97) | 846 | 76% | 55% | n.b. | 79% | 76% | 66% | 61% |
| Krenstetten (Urlbach, 1992-97) | 443 | 64% | 37% | 57% | 67% | 63% | 51% | 45% |
| Greimpersdorf (Ybbs, 1971-97) | 850 | 75% | 46% | 60% | 71% | 68% | 57% | 51% |

Tabelle 4-12: Vergleich der berechneten Grundwasseranteile für das Einzugsgebiet der Ybbs, Angaben in % vom Gesamtabfluss

Die obigen beiden Tabellen beinhalten Bruttowerte, für die folgende Tabelle (Tabelle 4-13) wurden die Nettowerte errechnet, dh. es wurden von dem jeweiligen Gesamteinzugsgebiet die darin enthaltenen Teileinzugsgebiete abgezogen und nur der Flächenzuwachs wurde berücksichtigt.

| Pegel (netto) (Gewässer, Zeitreihe) | Lillich mm/a | Wundt mm/a | Linear mm/a | Difga mm/a | digital 1 mm/a | d.f. 2 mm/a | df. 3 mm/a |
|---|-----------------|---------------|----------------|---------------|-------------------|----------------|---------------|
| Lunz am See (Abfluss Seebach) | 1283 | 977 | n.b. | 1279 | 1223 | 979 | 854 |
| Opponitz netto | 784 | 551 | 532 | 825 | 814 | 682 | 616 |
| Ybbsitz (kleine Ybbs) | 643 | 467 | n.b. | 667 | 643 | 558 | 517 |
| Krenstetten (Urlbach) | 281 | 164 | 251 | 299 | 280 | 226 | 200 |
| Greimpersdorf netto | 531 | 190 | 734 | 383 | 335 | 270 | 240 |
| Ybbs catchment / Mittelwert | 560 | 343 | 506 | 543 | 518 | 434 | 393 |

Tabelle 4-13: Vergleich der Grundwasserabschätzungen im Ybbs-Gebiet, netto
(n.b.... nicht berechnet)

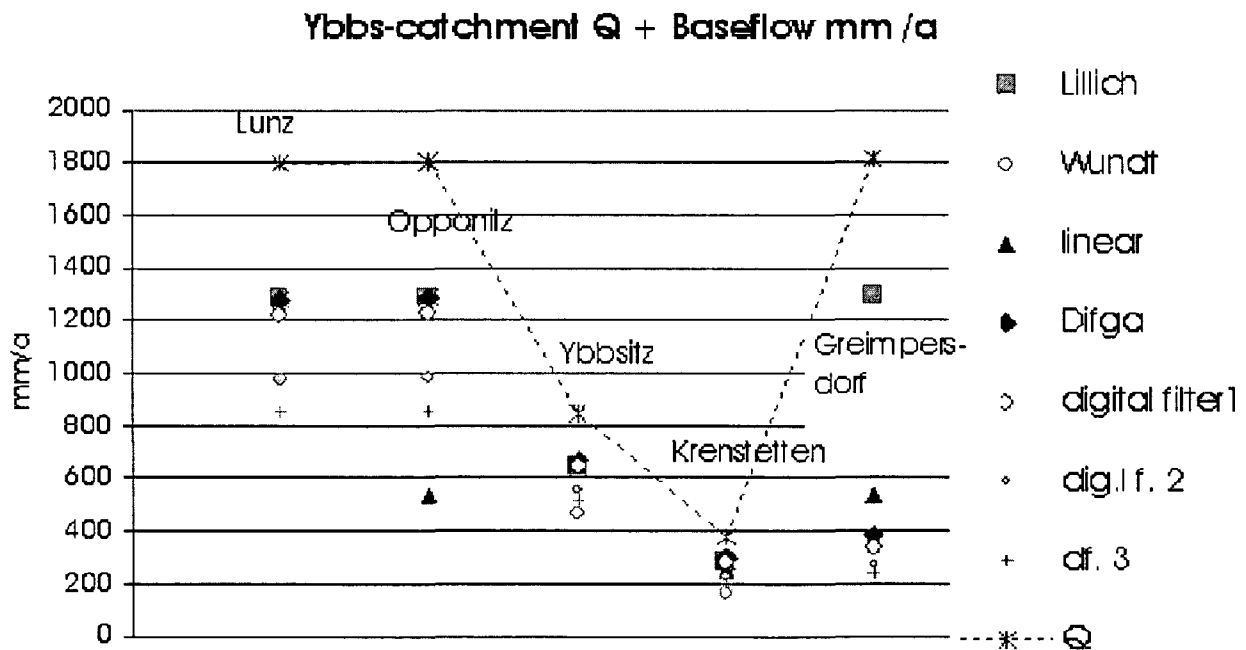


Abbildung 4-38: Grundwasserabfluss im Ybbstal in mm/a, netto

Abbildung 4-38 zeigt die errechneten Nettogrundwasserabflüsse im Ybbstal und dessen Teileinzugsgebieten. Man kann erkennen, dass die Methoden nach Difga, Lillich und die erste Separation nach Arnold im Mittel über den Untersuchungszeitraum für die jeweiligen Gebiete fast identische Werte ergeben.

Die zweite und dritte Separation nach Arnold und die Werte nach Wundt sind deutlich geringer. Die manuelle Berechnung mit einem Einzellinearspeicher ergibt stark schwankende Ergebnisse.

In der Abbildung 4-39 ist dargestellt, welche Anteile vom Gesamtabfluss durchschnittlich über den Weg des Grundwassers (gemeint ist die Summe aus QG1 und QG2 bei Difga) abfließen, auch hier erkennt man eine Bestätigung der Difgaergebnisse durch die Methoden nach Lillich und der ersten Separation nach Arnold (digital Filter 1).

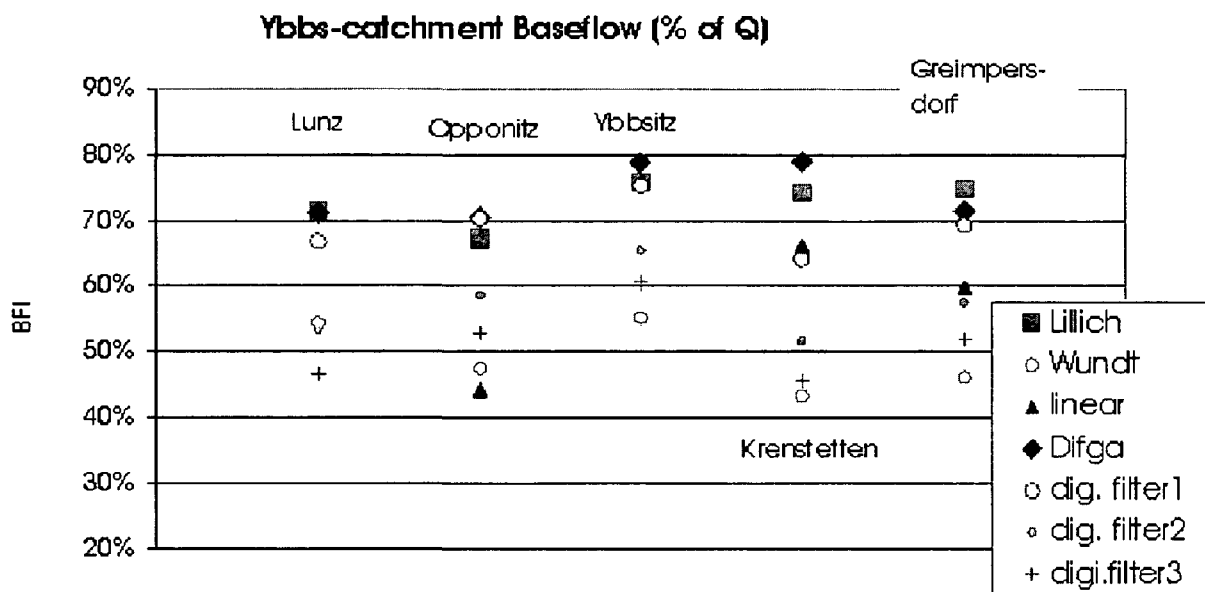


Abbildung 4-39: Grundwasserabfluss im Ybbs-Einzugsgebiet in % von Q

In Abbildung 4-40 sind die Separationen in Form von Ganglinien miteinander verglichen. Man sieht sehr schön, dass im Niederwasserbereich alle Berechnungsmethoden gleiche Ergebnisse für den Grundwasserabfluss liefern.

Große Unterschiede gibt es bei den Abflussspitzen. Dabei unterscheiden sich die Separationen nicht nur in der Höhe des errechneten Grundwasserabflusses, sondern auch im Zeitpunkt des Auftretens. Die Methode nach Wundt und die zweite und dritte Separation nach Arnold ergeben niedrigere Werte, was sich auch in den zuvor bezigten Mittelwerten widerspiegelt.

Die erste Separation des Digital Filter nach Arnold und die Ergebnisse nach Difga ergeben auch in dieser zeitlichen Auflösung meist ähnlich hohe Grundwasserabflüsse, siehe hierzu Abbildung 4-40. Die Form der Grundwasserabflussganglinien, bzw. das Auftreten der Grundwasserabflussspitze unterscheidet sich aber, wie schon in Kapitel 4.5.3 auf Seite 119 diskutiert wurde. In Difga wird tritt die Grundwasserabflussspitze gleichzeitig mit der Gesamtabflussspitze auf, während nach dem Digital Filter der höchste Grundwasserabfluss am Ende der Gesamtabflussspitze auftritt. Nach dem zweiten Filterdurchlauf nach Arnold wird der Grundwasserabfluss niedriger angenommen und der höchste Grundwasserabfluss tritt mit einer geringeren Verzögerung auf, während die dritte Separation wieder verzögert auftritt. Diese Verzögerungen sind rechentechnisch begründbar. Die Filterdurchläufe erfolgen erst

vorwärts, dann rückwärts, dann wieder vorwärts und sind hydrologisch nicht verständlich. Die schnelle Antwort des Grundwassers, wie sie in Difga angenommen wurde ist glaubhafter.

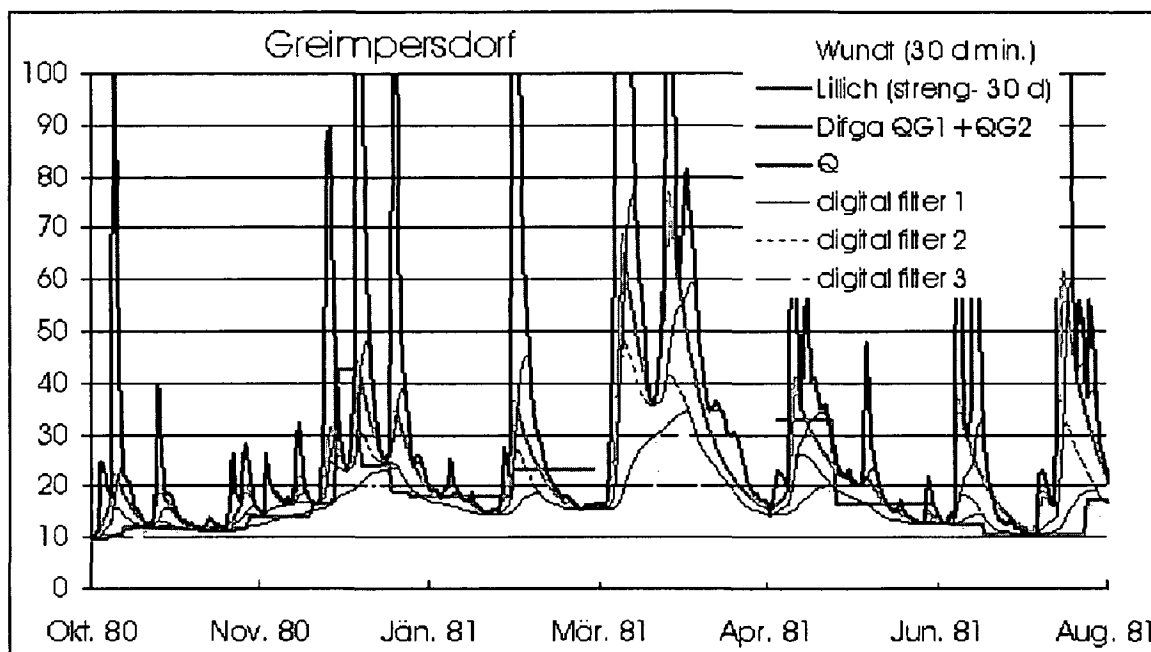


Abbildung 4-40: Vergleich der Abflusseparationen am Beispiel Greimpersdorf

Grundwasserabfluss im Wulkatal

Nachfolgende Tabellen zeigen die Abflüsse der einzelnen Pegel in mm/d und die errechneten Grundwasserabflüsse (in Difga QG1 + QG2) der untersuchten Methoden in mm/d und in % des Gesamtabflusses für das Einzugsgebiet der Wulka .

Insgesamt sind die Abfluss- und Grundwasserabflusshöhen viel niedriger als im Ybbs-tal. Auch im Vergleich zum Niederschlag ergeben sich niedrigere Abflussbeiwerte. Der größte Anteil des Niederschlages verdunstet. Die Anteile des unterirdischen Wassers/ Grundwassers am Gesamtabfluss sind an der Wulka ähnlich groß wie an der Ybbs.

Die mit dem Ganglinienanalyseprogramm Difga2000 ermittelten Werte stimmen wieder gut mit den „Lillich-Werten“, also dem Abfluss am 3. Tag der Trockenheit überein, das strengere Lillich-Kriterium liefert dabei die besten Werte (im Mittel +9% im Vergleich zu Difga).

Die Werte nach Wundt sind um 15% niedriger als die mit Difga2000 ermittelten Werte und als Minimum des Grundwasserabflusses interpretierbar, die Ergebnisse der manuellen Auslauflinienauswertung sind unzuverlässig, ihre Mittelwerte liegen um 9% über den Difgaergebnissen.

Die Berechnungen nach Difga stimmen mit dem ersten Filterdurchlauf nach Arnold gut überein.

| Pegel (brutto) (Gewässer, Zeitreihe) | Q [mm/a] | Lillich [mm/a] | Wundt [mm/a] | linear [mm/a] | Difga [mm/a] | dig.fil.1 [mm/a] | df. 2 [mm/a] | d.f.3 [mm/a] |
|---|---------------|-------------------|-----------------|------------------|-------------------|---------------------|-----------------|-----------------|
| Walbersdorf (Wulka, 1983-97) | 103 | n.b. | n.b. | n.b. | 84.5 | 82.6 | 73.5 | 68.3 |
| Wulkaprodersdorf (Wulka, 1971-97) | 73.6 | 64.0 | 47.1 | n.b. | 59.2 | 58.3 | 52.1 | 48.8 |
| Trausdorf a. d. Wulka (Wulka, 77-97) | 89.6 | n.b. | n.b. | n.b. | 50,4 (1995-02) | 71.6 | 63.1 | 58.0 |
| St. Margareten (Nod- bach, 92-2000) | 70.6 | 52.8 | 35.2 | n.b. | 52.8 | 49.9 | 41.6 | 37.4 |
| Oslip (1986-97) Eisbach, 1986-1996) | 50.5* | n.b. | 12.4 | n.b. | 27.3 | 26,5 | 18,8 | 15,2 |
| Schützen (1971-97) (Wulka, 1981-97*) | 86.7 64.5* | 39.8 | 32.3 | 29.1 | 71.6 50.5* | 42.4 | 35.0 | 31.0 |

Tabelle 4-14: Vergleich der Abschätzungen an der Wulka (mm/a)

*Abfluss exkl. Kläranlagen, n.b.... nicht berechnet

| Pegel (Gewässer, Zeitreihe) | Q [mm/a] | Lillich [%] | Wundt [%] | linear [%] | difga [%] | digit. ilt.1 [%] | df. 2 [%] | d.f.3 [%] |
|--|---------------|----------------|--------------|---------------|--------------|---------------------|--------------|--------------|
| Walbersdorf (Wulka, 1983-97) | 101.9 | n.b. | n.b. | n.b. | 83% | 81% | 72% | 67% |
| Wulkaprodersdorf (Wulka, 1971-97) | 73.6 | 87% | 64% | n.b. | 80% | 79% | 71% | 66% |
| Trausdorf an der Wulka (Wulka, 1977-97) | 89.6 | n.b. | n.b. | n.b. | 56% | 80% | 70% | 65% |
| St. Margarethen (Nodbach, 1992-200) | 70.8 | 75% | 50% | n.b. | 75% | 71% | 59% | 53% |
| Oslip (inkl. KA 86-97) (Eisbach)exkl. KA 86-96) | 50.5* | n.b. | 25% | n.b. | 54% | 53% | 37% | 30% |
| Schützen (1971-97) (Wulka, 1981-97*) | 86.7 64.5* | 62% | 50% | 45% | 83% 78%* | 66% | 54% | 48% |
| Wu+Osl+Nod (<netto Schützen,theor.) | 248.7 | 84% | 61% | | 25% | 78% | 68% | 63% |

Tabelle 4-15: Grundwasseranteile am Gesamtabfluss in %, Wulka

*Abfluss exkl. Kläranlagen, n.b.... nicht berechnet

Die Abflüsse der Pegel Schützen (inkl. Trausdorf, Nodbach, Eisbach), Trausdorf (inkl. Wulkaprodersdorf) und Wulkaprodersdorf (inkl. Walbersdorf) sind als Bruttoabflüsse bzw. Bruttogrundwasserabflüsse angegeben.

Abbildung 4-41 und Abbildung 4-42 zeigen die Grundwasserabflüsse an der Wulka. Es handelt sich auch hierbei um die Bruttowerte (also kein Abzug der oben liegenden Teileinzugsgebiete), da sich sonst aufgrund der häufigen Infiltration von Oberflächenwasser in das Grundwasser im unteren Teil des Einzugsgebietes negative Netto- Teilflächenabflüsse ergeben würden.

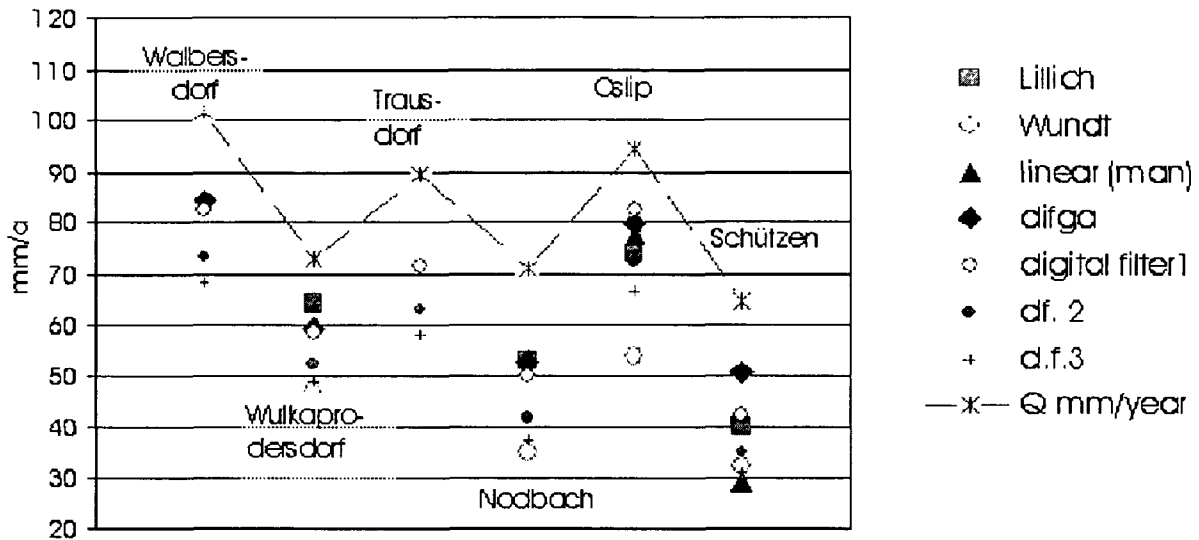


Abbildung 4-41: Grundwasserabfluss [mm/a] im Einzugsgebiet der Wulka (brutto, inkl. Teileinzugsgebiete)

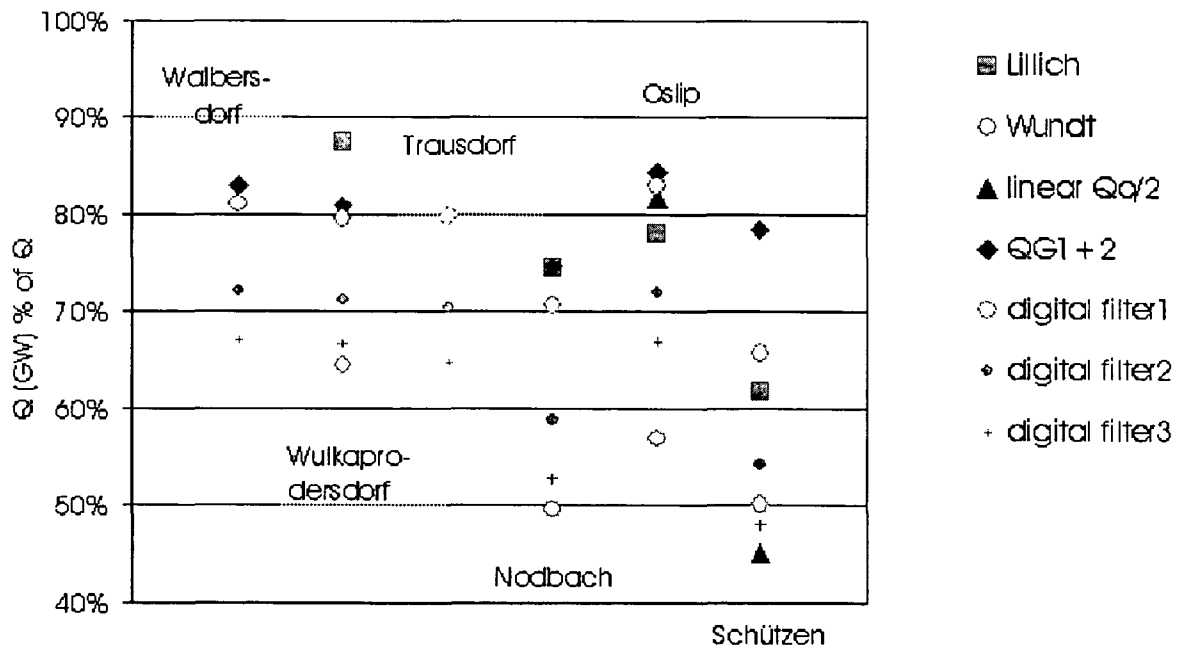


Abbildung 4-42: Grundwasseranteil (brutto) in % des Gesamtabflusses

4.6 EINFLUSSFAKTOREN DER GANGLINIENSEPARATION

4.6.1 Saisonalitäten und Jahressummen (Difga 2000)

Der mittlere Jahrgang des Abflusses und seiner Komponenten ist für den Pegel Greimpersdorf (Ybbs) in Abbildung 4- 43 zu sehen. Für diese Auswertung wurde das Ganglinienanalyseprogramm Difga 2000 verwendet und Monatsmittelwerte aus der verfügbaren Zeitreihe (1971-97) gebildet. Die höchsten Abflüsse sind im April, die niedrigsten im Oktober zu beobachten. Die Abflüsse sind in mm/Monat angegeben.

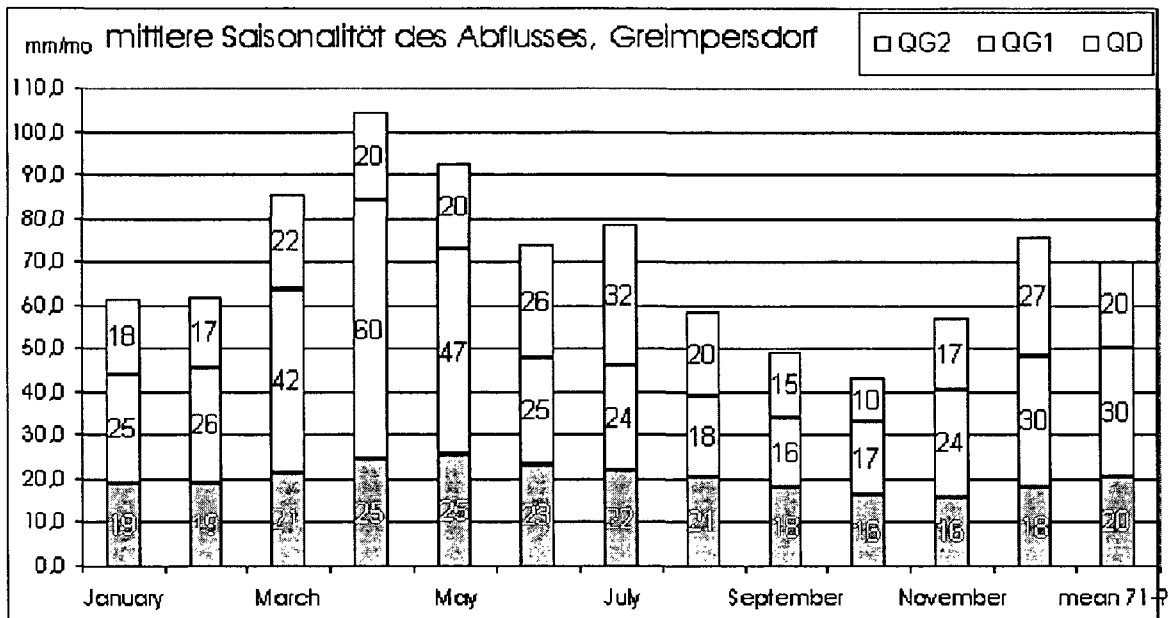


Abbildung 4- 43: Saisonfigur des Abflusses und der Abflussanteile

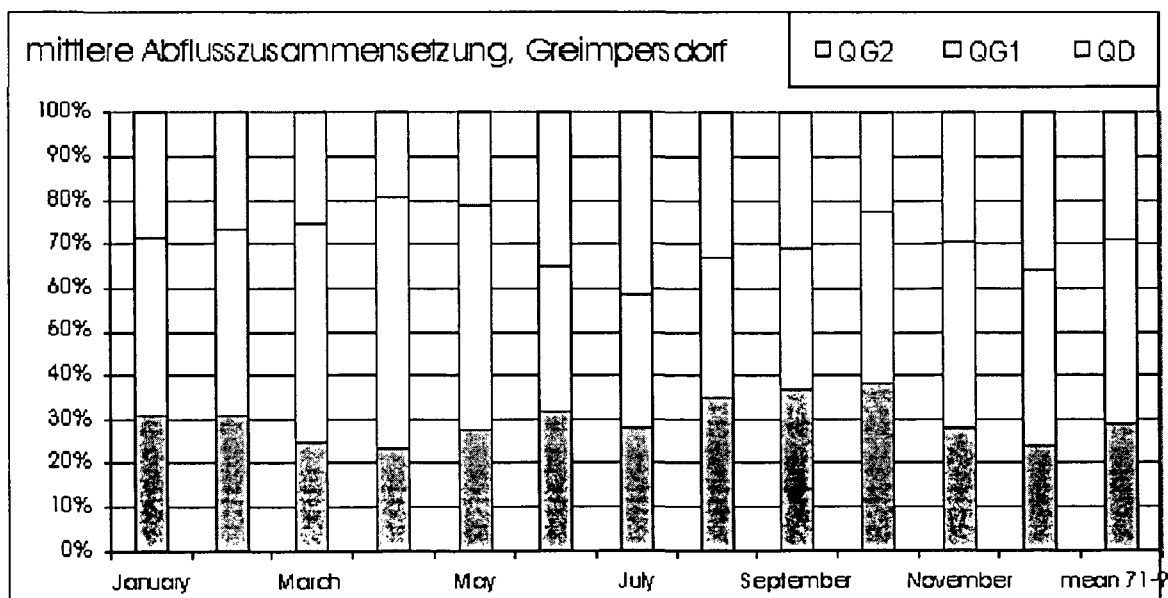


Abbildung 4- 44: mittlere Abflussanteile über das Jahr verteilt

Die Variation der Abflussanteile kann man besser in Abbildung 4- 44. Hier sind die Abflussanteile in Prozent gezeigt. Man sieht, dass selbst bei den mittleren Jahreswerten langer Messreihen noch große Unterschiede zwischen den Monatswerten auftreten, so schwankt der Anteil des Direktabflusses zwischen weniger als 20% im April und gut 40% im Juli, der schnelle Grundwasserabfluss schwankt zwischen 30% im Juli und 55% im April, der langsame Grundwasserabfluss schwankt am wenigsten, er beträgt zwischen 23% im April und 37% im Oktober.

Die Saisonalität der einzelnen Jahre ist, aufgrund der fehlenden Mittelwertbildung, natürlich viel größer. Abbildung 4- 45 zeigt, wie stark die Abflüsse und die Abflussanteile zwischen den einzelnen Jahren schwanken können.

Der höchste Abfluss in dem untersuchten Zeitraum liegt bei durchschnittlich 90 mm/Monat, was einem Jahresabfluss von 1080 mm im Jahr 1974 entspricht, der niedrigste Abfluss liegt bei 46 mm/Monat, also einem Jahresabfluss von 550 mm im Jahr 1986. Der stabilste Anteil, der langsame Grundwasserabfluss schwankt dabei zwischen 23% im feuchtesten Jahr (1974) und 41% im trockensten Jahr (1986).

Der niedrigste gemessene Grundwasserabfluss in mm beträgt durchschnittlich 14 mm/Monat im Jahr 1971, was 166 mm/a wären und beträgt maximal 30 mm/Monat im Jahr 1989, was 354mm/Jahr wären (entsprechen 26% bzw. 35% des Abflusses).

Die schnellen Abflussanteile schwanken stärker. So liegt der direkte Abfluss zwischen 119mm/Jahr im Jahr 1978 und 366mm/a im Jahr 1989, der schnelle Grundwasserabfluss beträgt 190mm im Jahr 1986 und 484mm/Jahr im Jahr 1974.

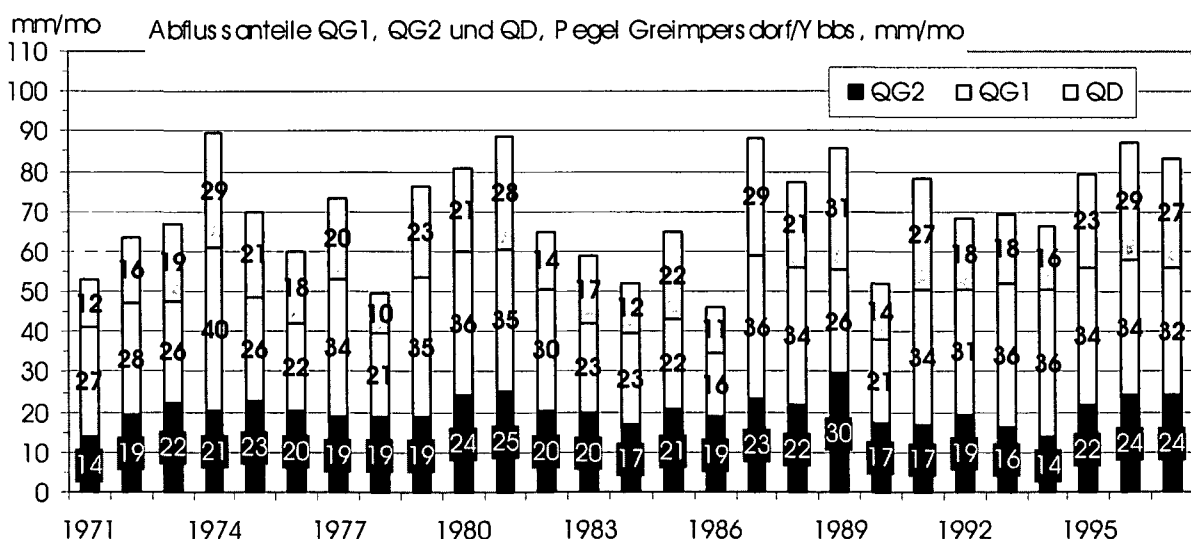


Abbildung 4- 45: mittlere Jahresabflüsse und ihre Komponenten, 1971 bis 1997

Auffällig ist auch, dass es in Jahren mit gleichen Abflusshöhen zu einer unterschiedlichen Abflussaufteilung kommen konnte. So ist der Gesamtabfluss zum Beispiel in den Jahren 1975 und 1993 mit 840 mm/a gleich hoch, die Abflussaufteilung jedoch

unterschiedlich, wie man aus nachfolgender Abbildung sehen kann.

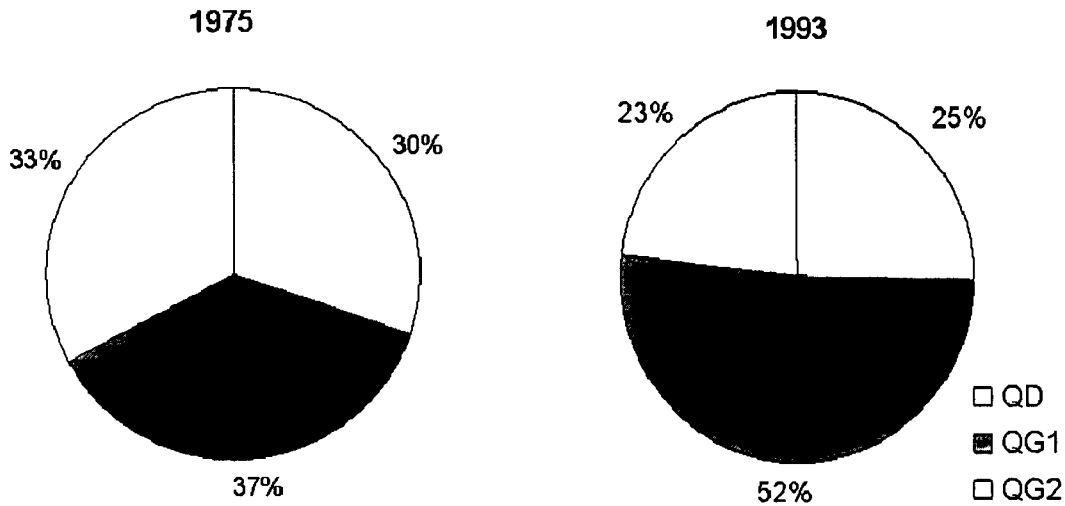


Abbildung 4- 46: unterschiedliche Abflussanteile bei gleichem Gesamtabfluss am Pegel Greimpersdorf, 1975 und 1993

Es müssen hinter der Abflussbildung in den verschiedenen Zeiträumen also auch unterschiedliche Abflussbildungsprozesse liegen.

Deutlich wird das ebenfalls bei der Betrachtung des Verhältnisses von Niederschlag zu Gesamtabfluss.

In Abbildung 4- 47 sind die Niederschlagssummen und die Gesamtabflüsse für die einzelnen Jahre des Untersuchungszeitraumes dargestellt. In der Abbildung sieht man, welcher Anteil des Niederschlages im Mittel abfließt. Die Werte sind in mm je Monat angegeben. Der Abfluss liegt zwischen 45% des Niederschlages im Jahr 1986 und 67% im Jahr 1974.

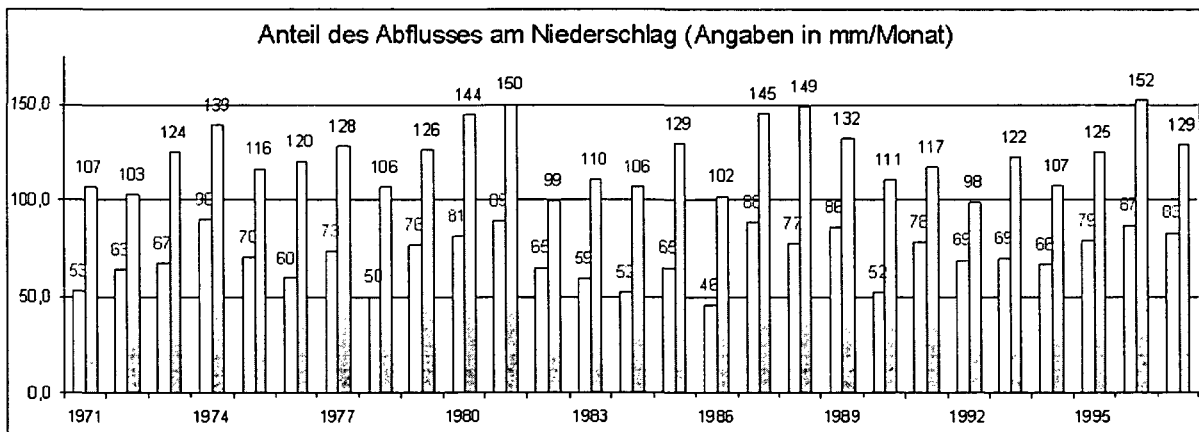


Abbildung 4- 47: Durchfluss und Niederschlag, Jahresmittel Greimpersdorf

Die Unterschiede wachsen mit einer kleiner werdenden Zeitskala.

Betrachtet man die Saisonalität des Verhältnisses Niederschlag/Abfluss (Abbildung 4- 48), so sieht man, dass es auch bei den Mittelwerten schon große Unterschiede zwischen den einzelnen Monaten gibt. In nachfolgender Abbildung wurden die

Monatsmittelwerte der Jahre 1971 bis 1997 dargestellt.

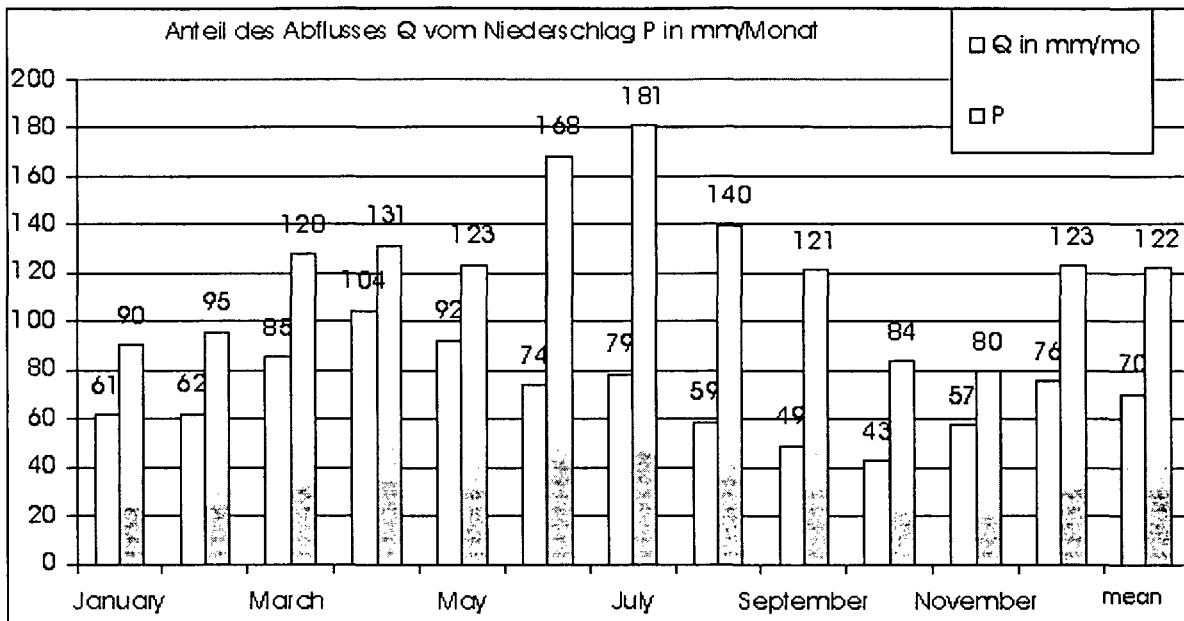


Abbildung 4- 48: Anteil des Abflusses am Niederschlag, Ybbs, Greimpersdorf

Man sieht dass der abfließende Anteil des Niederschlages zwischen 40% im September und 79% im April liegt.

Ursachen dafür sind unter Anderem die hohe Verdunstung im September und die Schneeschmelze im März.

In Abbildung 4- 49 sind die mittleren monatlichen Niederschläge, Durchflüsse und Abflusskomponenten dargestellt.

In den obere Diagrammen kann man sehen, dass beim Pegel Lunz der Abfluss die gemessene Niederschlagshöhe in den Monaten April bis Juni überschreitet, in Opponitz ist der Abfluss in den Monaten April und Mai gleich dem gemessenen Niederschlag. Im Falle der Schneeschmelze kann der Abfluss im oberen Einzugsgebiet der Ybbs die Niederschlagsmenge also sogar überschreiten. Fraglich ist natürlich, ob die, größtenteils im Tal gemessenen Niederschlagshöhen den tatsächlichen Niederschlagshöhen im oberen Ybbstal entsprechen.

Man sieht weiterhin, dass der Zeitpunkt der Schneeschmelze in den höhergelegenen, alpinen Einzugsgebieten später auftritt als in den unteren. In Lunz kann man aus dem Vergleich der Abflusshöhen zu den Niederschlagshöhen auf eine Schneeschmelze bis in den Juni hinein schließen, in Ybbsitz ist die Schneeschmelze im Februar. Im unteren, flacheren und wesentlich wärmeren Ybbstal kann man bei den langjährigen Monatsmittelwerten keinen eindeutigen Einfluss der Schneeschmelze mehr erkennen.

Die Saisonalität der einzelnen Teileinzugsgebiete ist im oberen, alpinen Ybbstal stärker ausgebildet als im unteren.

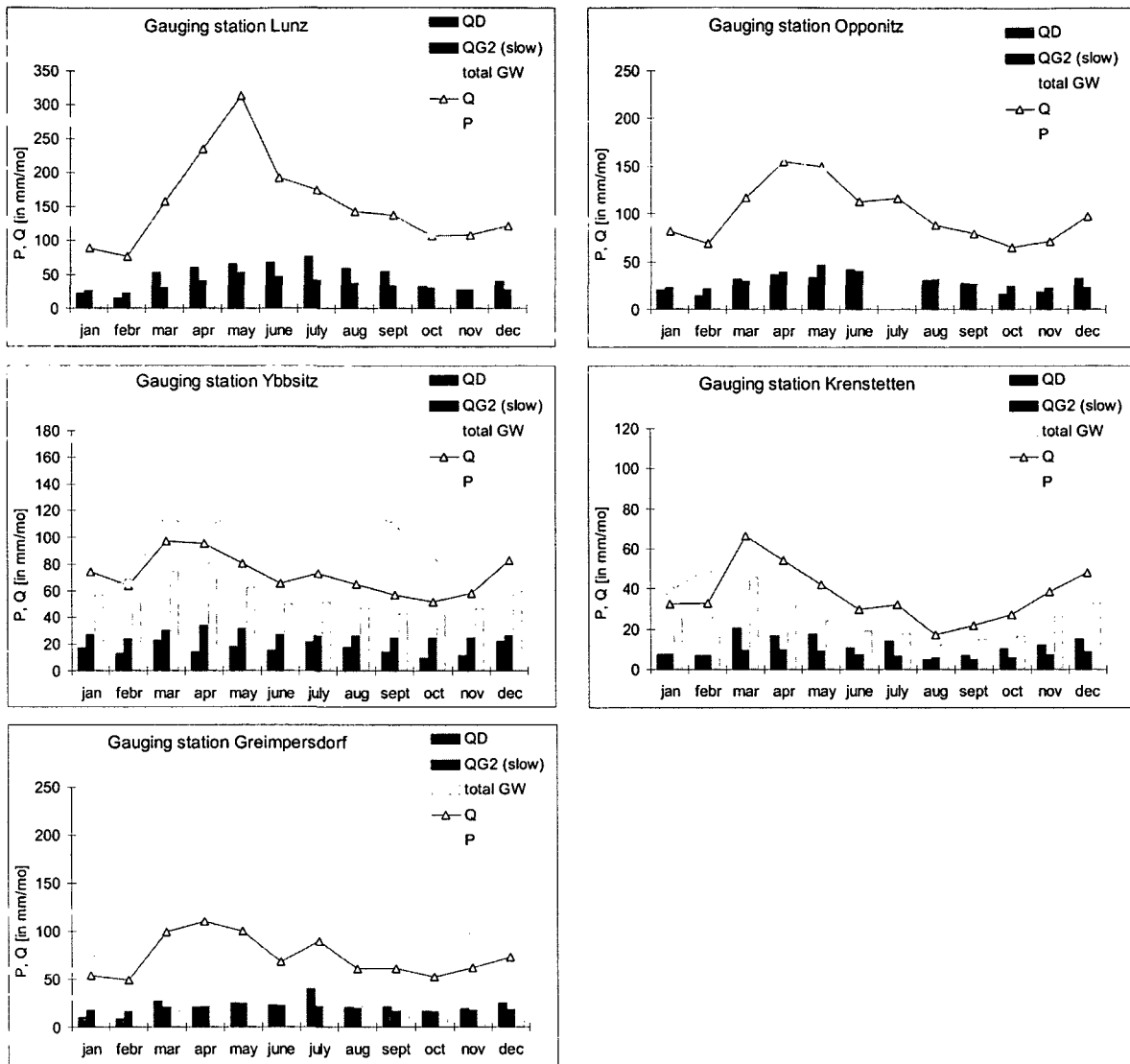


Abbildung 4- 49: Saisonalitäten der Teileinzugsgebiete der Ybbs

Zu beachten ist, dass in den Diagrammen die Hochachse unterschiedlich beskaliert ist, dadurch sieht man das Regime des Abflusses gut.

Bei einem Vergleich der Abfluss- und Niederschlagshöhen zwischen den Teilgebieten muss man aber beachten, dass die Hochachse für alpinen Lunz mit max. 350 mm fast dreimal zu hoch ist wie in Krenstetten im unteren Ybbstal mit 120mm.

Wulka

In Abbildung 4- 50 sind die mittleren Abflüsse für die Station Schützen an der Wulka in mm/Monat, ermittelt aus den Jahren 1981-97, dargestellt. Die Abflüsse sind in ihre Komponenten aufgegliedert.

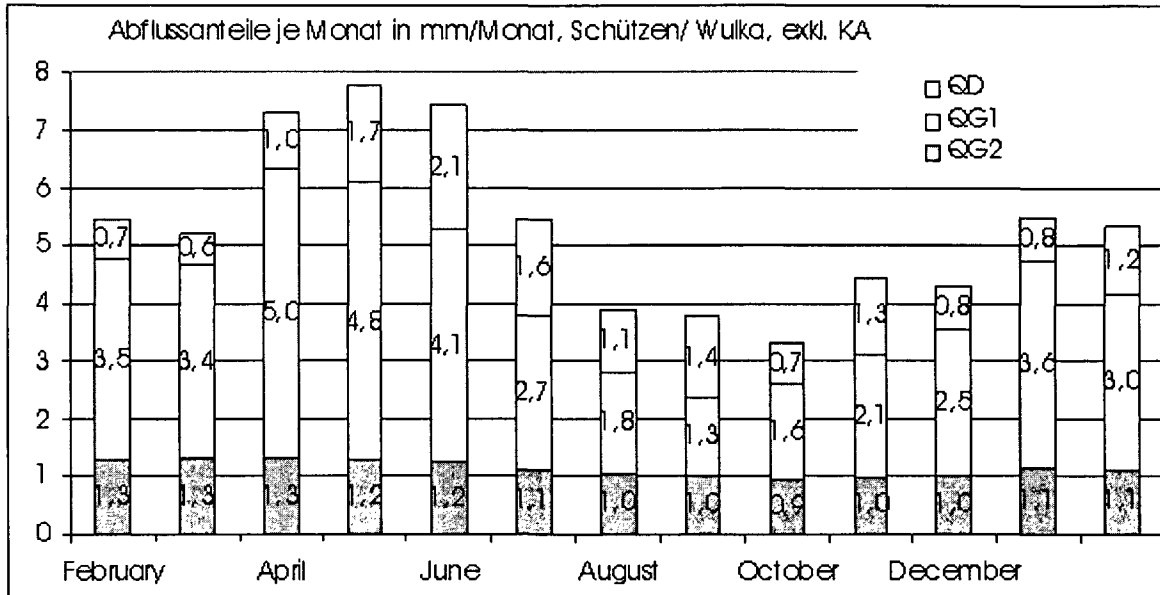


Abbildung 4- 50: Saisonalität des Abflusses und der Abflussanteile

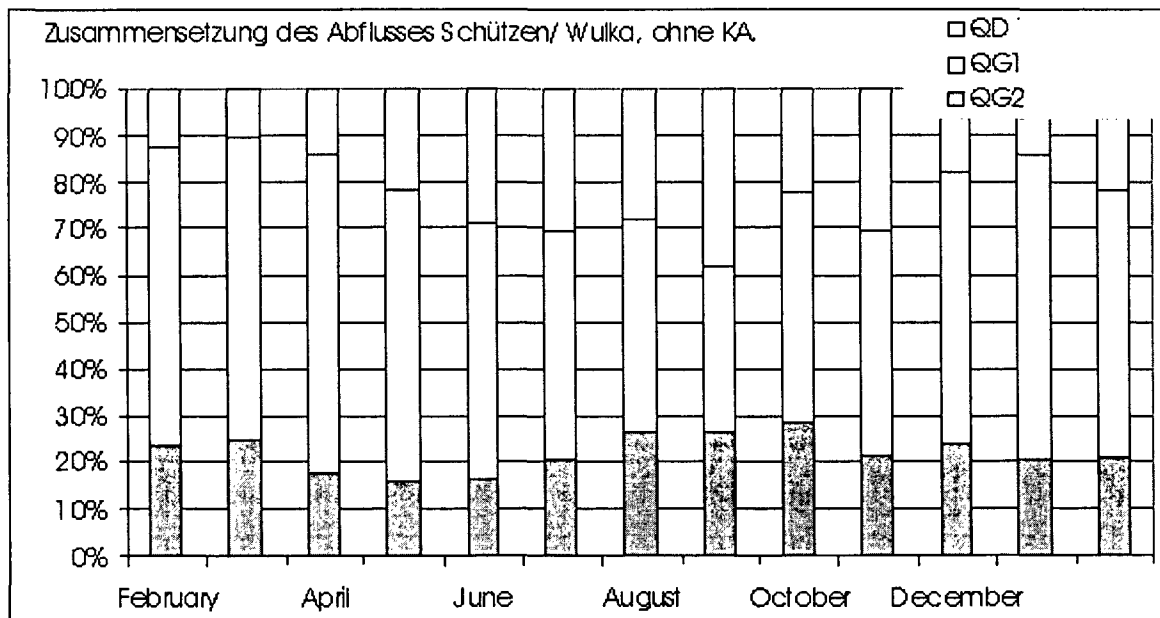


Abbildung 4- 51: Anteil der Abflusskomponenten am Abfluss, Wulka

Die mittlere Saisonalität, die relativen Unterschiede zwischen den einzelnen Monaten, wie aus Abbildung 4- 50, Abbildung 4- 51 ersichtlich, aber auch die Unterschiede zwischen den einzelnen Jahren, siehe Abbildung 4- 53, sind größer als an der Ybbs. So beträgt der Abfluss im Frühjahr mehr als das doppelte des

Herbstabflusses.

Die Saisonalitäten variieren zwischen den einzelnen Pegeln, was aus der Zusammenstellung (Abbildung 4- 52) ersichtlich wird. Die Unterschiede zwischen den Teileinzugsgebieten sind jedoch geringer als im Ybbstal. Das Einzugsgebiet der Wulka ist auch wesentlich homogener.

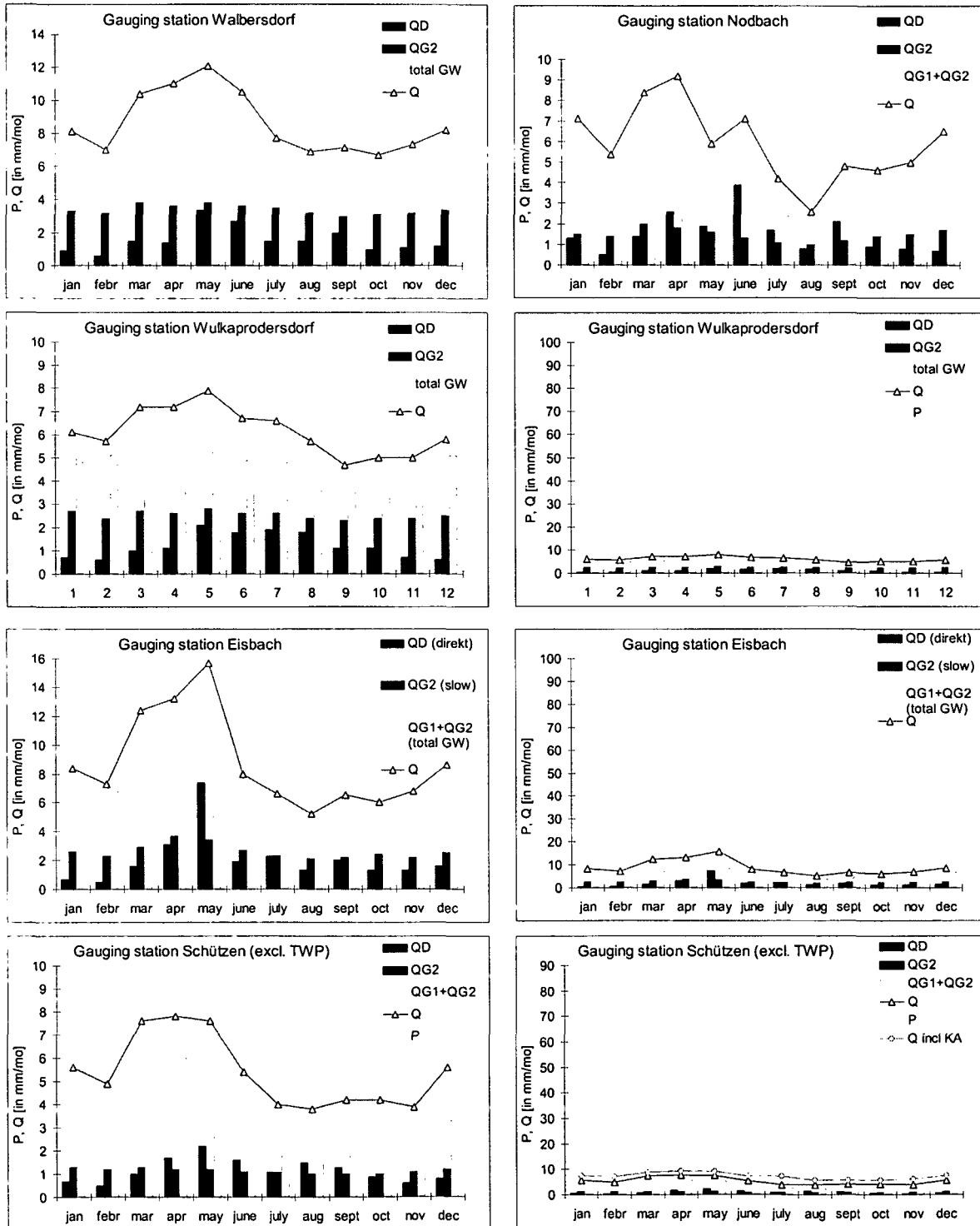


Abbildung 4- 52: Saisonalitäten der einzelnen Teileinzugsgebiete der Wulka

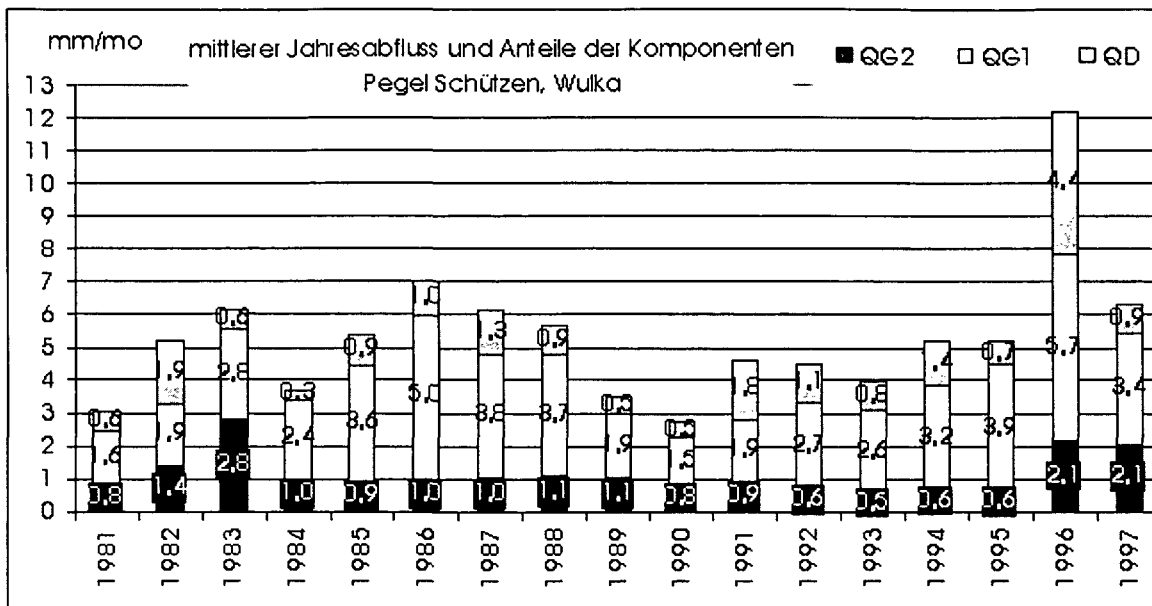


Abbildung 4- 53: Vergleich der Jahresabflüsse und ihrer Aufteilung

Aus der obigen Abbildung sieht man, dass im Wulkatal extreme Unterschiede auftreten. So beträgt der kleinste langsame Grundwasserabfluss QG2 0,6 mm/Monat und der größte 2,8 mm/Monat, was das 4,3-fache ist. Der größte Direktabfluss ist 15-mal größer als der kleinste. In absoluten Höhen sind die Unterschiede jedoch sehr klein.

Auch die Anteile der Abflüsse am Gesamtabfluss variieren sehr stark. In Abbildung 4-54 kann man erkennen, dass der Direktabfluss zwischen 10% und 40% liegt, der langsame Grundwasserabfluss QG2 variiert immerhin noch zwischen 13% und 45%.

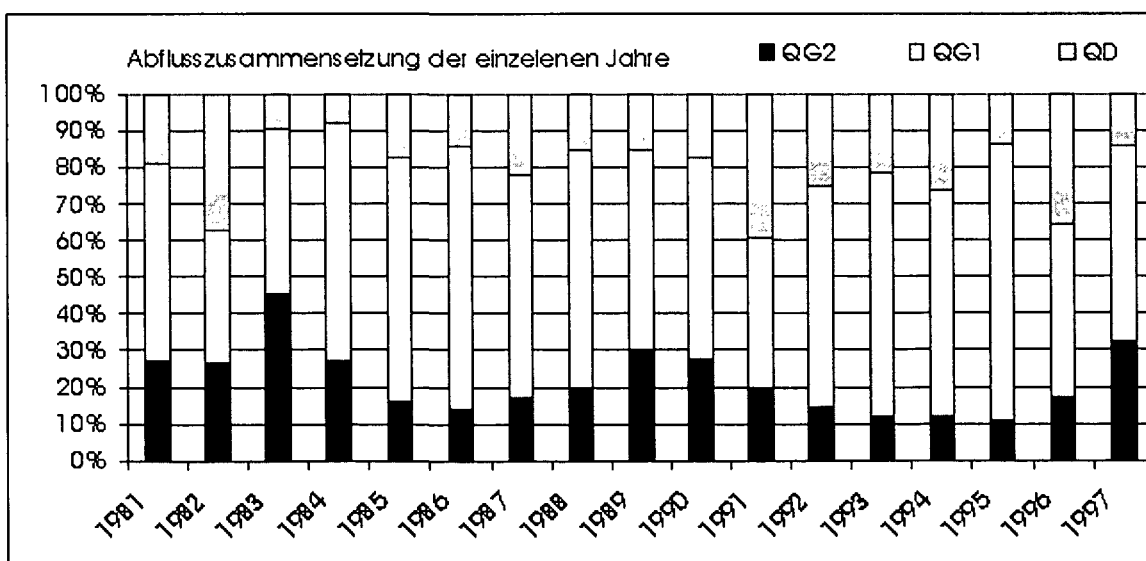


Abbildung 4- 54: Vergleich der Abflussanteile einzelner Jahre in %, Schützen

Der Unterschied in den Abflussanteilen in Jahren gleichen Gesamtabflusses ist ebenfalls enorm. So liegt beispielsweise der Grundwasserabfluss im Jahr 1983 bei

durchschnittlichen 2,3 mm/Monat, im Jahr 1987 dagegen nur bei 1 mm/Monat. Abbildung 4- 55 zeigt ebenfalls 3 Jahre mit fast gleichem Gesamtabfluss und sehr unterschiedlicher Abflussaufteilung. Auf die Ursachen und die dahinterstehenden Abflussbildungsprozesse soll später noch genauer eingegangen werden.

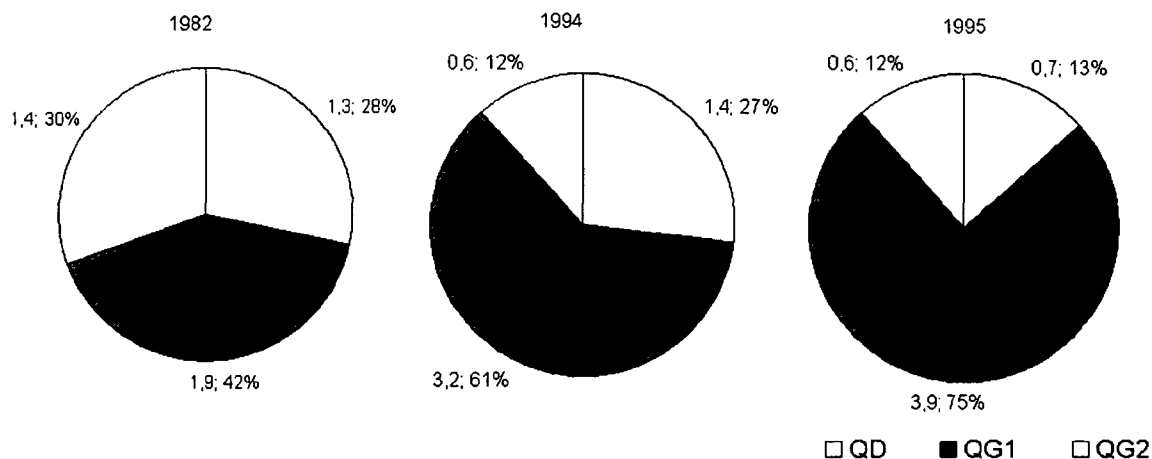


Abbildung 4- 55: Verschiedene Abflussverteilung bei gleichem Gesamtabfluss, Pegel Schützen, Jahre 1982,1995,1996

In Abbildung 4- 56 sind die mittleren Niederschlagshöhen und Abflusshöhen dargestellt. Man sieht, dass sowohl die Niederschlagshöhen als auch der abflusswirksame Anteil des Niederschlages wesentlich geringer sind als im alpinen Ybbstal (vergleiche Abbildung 4- 56 mit Abbildung 4- 48).

Der Anteil des Abflusses am Niederschlag variiert zwischen 2,7 mm/Monat (entspricht 6% des Niederschlages) im Jahr 1990 bis 12,2 mm/Monat im Jahr 1996 (entspricht 17% des Niederschlages). Die Evapotranspiration im Wulkatal ist hoch, die Grundwasserneubildung gering.

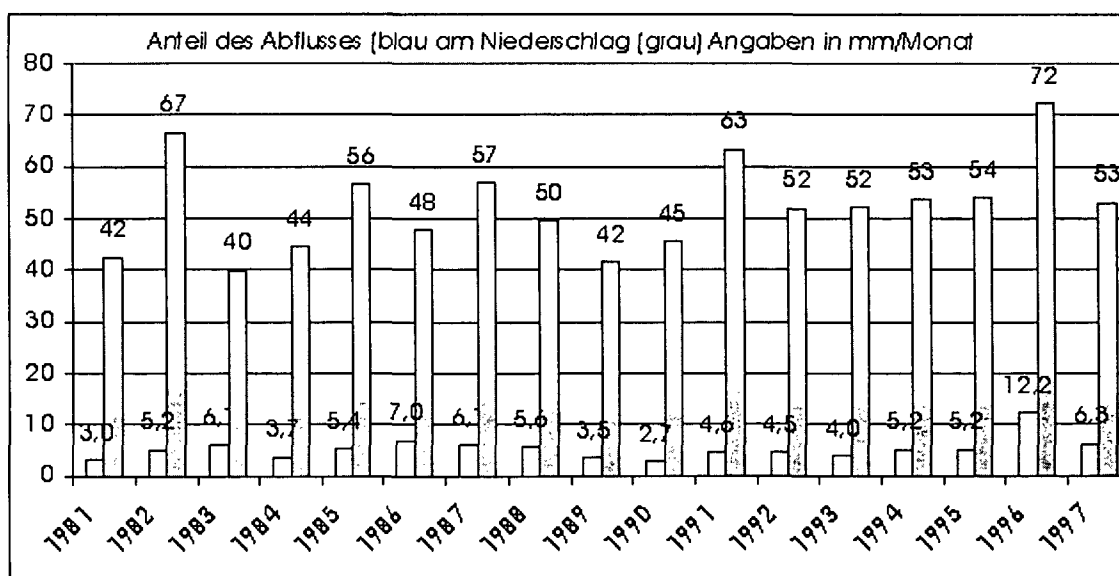


Abbildung 4- 56: Abflussanteile am Niederschlag, Wulka, Pegel Schützen

4.6.2 Abhängigkeit der Abflusskomponenten von der Größe der Niederschlagsereignisse, der Vorbefeuchtung und von anderen Einflussfaktoren

In diesem Kapitel werden die durch verschieden große Niederschlagsereignisse, insbesondere Starkregenereignisse, mit unterschiedlichen Vorbedingungen hervorgerufenen Abflussreaktionen der Teileinzugsgebiete untersucht und verglichen. Ziel ist es, die Einflussfaktoren der Abflusskomponentenaufteilung zu untersuchen um in Folge ihre Auswirkungen auf den Nährstofftransport abschätzen zu können. Als Untersuchungszeitraum wurden die Jahre 1992 bis 1997 ausgewählt.

Um die Auswirkungen der verschieden großer Niederschlagsereignisse untersuchen zu können wurden die Niederschlagsereignisse in Klassen eingeteilt. Die Tagesniederschläge wurden ihrer Größe nach sortiert und die Abflussreaktionen der niederschlagsreichsten Tage im Untersuchungszeitraum ausgewertet. Die Klassen „top 30“, „top 60“ und „top 90“ bedeuten die niederschlagsreichsten 30, 60 und 90 Tage im Zeitraum 1992-97.

Weiterhin wurden jene Niederschlagsereignisse untersucht, welche oberhalb eines festgesetzten Tagesniederschlags lagen. Die Einteilung erfolgte auch hier in Niederschlagsklassen, welche mit Tagesniederschlagshöhen über 10, 20 und 30 mm/Tag festgelegt wurden.

Zum Vergleich wurden weitere Auswertungen für alle Daten, für die Tage mit Niederschlagshöhen kleiner 10 mm/Tag und für niederschlagsfreie Tage vorgenommen.

Für die Auswertungen⁸ wurden die Niederschläge in mm/Tag und die Abflüsse und Abflussanteile in m³/s angegeben. Die Abflüsse und Abflussanteile wurden weiterhin in mm/d umgerechnet, um sie dimensionslos miteinander vergleichen zu können. Die mittleren Abflussanteile der jeweiligen Niederschlagsklassen sind weiterhin auch in % des Gesamtabflusses angegeben.

Der Anteil eines einzelnen „repräsentativen Ereignisses“ der Niederschlagsklasse, welches dem Mittelwert der jeweiligen Ereignisklasse gleichgesetzt wurde, am Jahresniederschlag und am Jahresabfluss sowie der Anteil der aufsummierten Einzelereignisse der untersuchten Niederschlagsklasse⁹ am Gesamtniederschlag und am Gesamtabflussgeschehen pro Jahr wurden berechnet.

Die zeitliche Varianz der Starkniederschläge und der durch sie hervorgerufenen Abflussprozesse werden dargestellt und die Saisonalität der Starkregenereignisse anhand ausgewählter Einzugsgebiete untersucht. Einzelne Ereignisse werden exemplarisch detailliert betrachtet.

⁸ Im Anhang finden sich vollständige Auswertungen (Tabellen und graphische Auswertungen) für alle untersuchten Pegel. In dem nachfolgenden Text sind nur einige Ergebnisse angeführt.

⁹ Das sind jeweils alle aufsummierten Ereignisse dieser Kategorie angegeben als Durchschnittswert pro Jahr in mm/a.

Im Weiteren soll untersucht werden, welche Faktoren die Niederschlags-Abflussprozesse vor allem bei Starkniederschlagsereignissen beeinflussen. Die Einflussfaktoren werden dabei in hydrologische (abhängig von dem jeweiligen Niederschlagsregime) und gebietspezifische Faktoren unterteilt.

Zuerst sollen die **hydrologischen Einflussfaktoren** untersucht werden. In Abhängigkeit von der Niederschlagsverteilung kann es in einem Einzugsgebiet zu verschiedenen Abflussreaktionen kommen. Mit den Niederschlagsdaten (Tageswerte) der in den Einzugsgebieten vorhandenen Messstationen des hydrographischen Dienstes (Standartmessnetz) werden diese Untersuchungen für die zeitliche Verteilung der Niederschläge erfolgen.

Die Niederschlagsereignisse werden aufgrund der Vorgeschichte der Niederschläge (**Vorbefeuchtung**) eingeteilt. Bei den Bedingungen werden „feuchte“ und „trockene“ Verhältnisse unterschieden. Als trocken oder feucht werden dabei Zeiträume einer gewissen Länge definiert, in denen Niederschläge unter oder über einer gewissen Niederschlagshöhe gefallen sind.

Als Trockenperiode wurde ein Zeitraum einer Woche Länge mit weniger als 4mm Niederschlag definiert, da ein Niederschlag dieser Größenordnung verdunstet und nicht zum Abfluss beitragen kann. Die Auswirkungen der verschiedenen großer Niederschlagsereignisse wurden auch für Starkregenereignisse nach Trockenperioden durchgeführt¹⁰.

Die Ergebnisse der Berechnungen wurden mit denen der Bedingung feuchtes (gesättigtes) Einzugsgebiet verglichen.

Das Einzugsgebiet wird als „feucht“ bezeichnet, wenn der Niederschlag in der letzten Woche vor dem Niederschlagsereignis mehr als 10 mm betrug. Dieser Niederschlag in diesem Zeitraum musste also mindestens der Verdunstung entsprechen (10 mm/Woche ergeben eine jährliche Verdunstung von 520 mm).

Die zweite Berechnung erfolgte mit einer Niederschlagshöhe von mindestens 20 mm in einem Zeitraum von 3 Tagen. Dieser Niederschlag führt zu einer Speicherausfüllung, einer Sättigung des Einzugsgebietes oder trägt selbst zu Abflussprozessen bei und kann nicht mehr verdunsten.

Eine weitere Vergleichsrechnung für das Abflussgeschehen in einer Trockenperiode ohne nennenswertes nachfolgendes Niederschlagsereignis soll die Unterschiede in der Abflussverteilung besonders deutlich aufzeigen. Die Trockenperiode wurde so gewählt, dass in den vorangegangenen 10 Tagen der Niederschlag weniger als 5 mm betrug, in den letzten 3 Tagen weniger als 1 mm.

Die **gebietsspezifischen Einflussfaktoren**, wie zum Beispiel der Einfluss eines Sees als Speicher im Teileinzugsgebiet Lunz, die Form und die Größe der Teileinzugs-

¹⁰ Bei dieser Auswertung standen für die Untersuchung der großen Starkregenereignisse über 20 oder 30 mm am Tag nur wenige Ereignisse zur Verfügung.

gebiete, die Geologie, die Bodenmächtigkeit, die Vegetation, der Einfluss der Drainagen, wie im südlichen Wulkatal, und die Steilheit der Hänge überlagern sich in den Einzugsgebieten und haben zum Teil eine entgegengesetzte Auswirkung auf das Abflussgeschehen.

Das a priori Wissen besagt, dass in den alpinen Einzugsgebieten der Niederschlag wesentlich höher ist, als in den flachen Einzugsgebieten.

Je größer ein Einzugsgebiet ist, desto kleiner ein extremes Niederschlagsereignis, da dieses nur lokal begrenzt auftreten kann, dadurch sind auch die Abflussspitzen eines Ereignisses gedämpfter. Dabei spielt auch die Form eine wesentliche Rolle. Ist das Einzugsgebiet gestreckt, so kann es nicht zu einer Überlagerung der Abflussspitzen kommen, der Abfluss wird gedämpfter ausfallen als bei einem gedrungenen Einzugsgebiet.

Ein steiles Einzugsgebiet, den Überlegungen aus Kapitel 2.4.3 folgend, führt zu schnellen Abflusskomponenten, in einem flachen Einzugsgebiet überwiegen die langsameren, unterirdischen Abflusskomponenten.

Liegt ein stark verwittertes, verkarstungsfähiges Festgestein vor, so können auch bei steilen Einzugsgebieten große Mengen des Niederschlages in den Untergrund eindringen und später bei Quellen zu Tage treten.

Die Vegetation kann einen großen Teil des Niederschlages aufnehmen, ein Teil wird beim Niederschlagsereignis in der Vegetation zurückgehalten und gelangt nicht auf den Boden, ein weiterer Teil wird dem Boden entzogen und verdunstet und gelangt ebenfalls nicht zum Abfluss. Die geschlossene Vegetationsdecke vermindert zudem den Aufprall des Niederschlages auf den Untergrund und schützt ihn auch durch die Wurzeln. Durch die Vegetation werden also die Abflussspitzen entschärft und die Erosion vermindert.

Von den Eigenschaften des Bodens, wie Mächtigkeit, Speicherfähigkeit, Durchlässigkeit hängt die Abflussentstehung und die Speicherfähigkeit (Dämpfung des Abflusses) ab, wie schon in Kapitel 2.2 beschrieben. Die Böden sind allerdings innerhalb eines Einzugsgebietes verschieden, sie unterscheiden sich sowohl in der Bodenart als auch in ihrer Mächtigkeit. Je kleiner ein Einzugsgebiet desto homogener ist es in Bezug auf den Bodenaufbau, auf die Vegetation, die Geologie, die Böden, aber auch hinsichtlich der untersuchten Niederschlagsereignisse. Einzelne Phänomene können also besser in kleinen Einzugsgebieten beobachtet werden.

Drainagen und Abwasserleitungen bewirken einen schnellen Abtransport des Wassers aus dem Einzugsgebiet, Drainagen wirken sich zudem sehr ungünstig auf den Nährstoffhaushalt aus.

Die Ergebnisse der Berechnungen der verschiedenen Teileinzugsgebiete werden unter Berücksichtigung dieser Aspekte, welche sich in den Einzugsgebieten überlagern, miteinander verglichen.

4.6.2.1 Auswertungen über die Mittelwerte 1992-1997 - Methodik

Ausgehend von den Mittelwerten der Tagesniederschläge, der Abflüsse und der Abflussanteile einzelner Niederschlagsklassen über den gesamten Zeitraum (1992-1997) können erste Aussagen über die Auswirkungen von Starkregenereignissen gemacht werden.

Die Auswertungen erfolgen exemplarisch am Pegel Krenstetten. Das Einzugsgebiet dieses Pegels ist das im unteren Ybbstal gelegene Urtal. Das Gebiet ist relativ flach und einheitlich, es ist nicht so „extrem“ steil und niederschlagsreich wie das obere Ybbstal und nicht so trocken und weniger von Kläranlagen beeinflusst als das Wulkatal. Es besitzt mit 156 km² eine mittlere Größe. Es ist daher für allgemeine Aussagen gut geeignet und wurde unter diesen Gesichtspunkten für die ersten Analysen ausgewählt.

4.6.2.2 Verzögerung der Abflussvorgänge

Zufolge von Niederschlägen kommt es verzögert und über mehrere Tage zu Abflussvorgängen. In Abbildung 4- 57 sieht man, dass die Abflüsse immer leicht verzögert nach den Niederschlägen auftreten. Das Einzugsgebiet Krenstetten reagiert aber nicht immer gleich auf Starkniederschläge; die zeitliche Verzögerung und die Abflussreaktionen auf Niederschläge unterscheiden sich von Ereignis zu Ereignis.

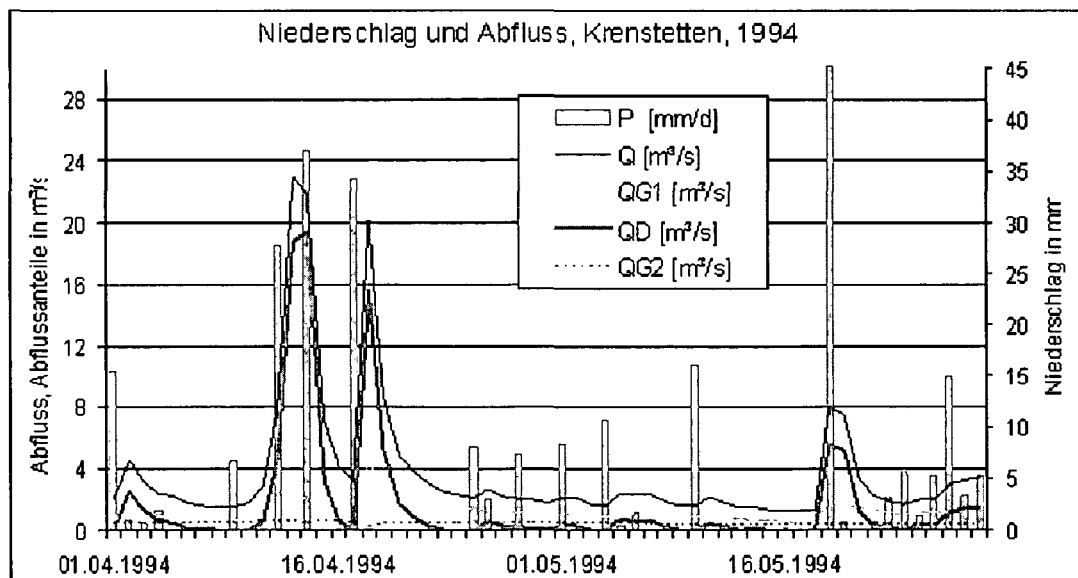


Abbildung 4- 57: Niederschläge und Abflussvorgänge, Pegel Krenstetten, 94

Die bislang verwendete Höhe des Abflusses am ersten Tag soll zum Vergleich der schnellsten Abflussreaktionen untereinander dienen.

Betrachtet man die Abflussvorgänge am Pegel Krenstetten, so stellt man fest, dass die höchsten Abflüsse am ersten Tag nach den Niederschlagsereignissen stattfinden.

| Krenstetten | Q | QG2 | QG1 | QD |
|-------------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|
| top 30 | [m ³ /s] | [m ³ /s] | [m ³ /s] | [m ³ /s] |
| Am Tag d _i | 7,48 | 0,51 | 1,30 | 5,68 |
| Am Tag d _{i+1} | 14,69 | 0,50 | 1,67 | 12,52 |
| Am Tag d _{i+2} | 4,47 | 0,49 | 1,45 | 2,53 |

Tabelle 4- 16: Niederschläge und zeitlich verzögerte Abflüsse, Pegel Krenstetten

Um die Abflussreaktion auf einen Niederschlag zu erfassen kann man verschiedene Gedankenmodelle zugrunde legen.

Die Gesamtreaktion des Abflusses auf einen Niederschlag dauert mehrere Tage. Je größer das Einzelereignis, desto längerfristige Auswirkungen auf den Abfluss sind zu erwarten. Während die durch den Niederschlag angefüllten Speicher auslaufen kann es erneut regnen, und die Abflüsse der einzelnen Niederschlagsereignisse überlagern sich. Es ist daher sehr schwierig die gesamte Abflussfracht eines Einzelereignisses zu ermitteln.

Im Zusammenhang mit Starkniederschlagsereignissen sind vor allem die unmittelbaren Abflussreaktionen interessant. Nach Lillich sind direkte Abflusskomponenten höchsten drei Tage nach dem Niederschlag möglich. In diesen drei Tagen fließen aber auch große Teile des Abflusses unterirdisch ab.

Aus den Abflüssen der Tage i am Tag des Niederschlages und den zwei Folgetagen (i+1 und i+2), in Tabelle 4- 16 für die 30 größten Niederschlagsereignisse dargestellt, kann man erkennen, dass die Abflussspitze am Tag i+1 ist, am Tag i+2 die schnellen Reaktionen schon vorbei sind.

Die verschiedenen Annahmen der Abflussreaktionen sollen in Tabelle 4- 17 miteinander verglichen werden:

| Krenstetten | P | Q | QG2 | QG1 | QD |
|---|--------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|
| top 30 | [mm/d] | [m ³ /s] | [m ³ /s] | [m ³ /s] | [m ³ /s] |
| Mittelwert | 2,6 | 2,2 | 0,4 | 1,0 | 0,7 |
| Am Tag d _i | 32,1 | 7,5 | 0,5 | 1,3 | 5,7 |
| Einzelereignis in % | 3,4% | 0,9% | 0,3% | 0,4% | 2,2% |
| d _i + d _{i+1} + d _{i+2} (3 Tage) | 41,6 | 24,6 | 1,5 | 4,3 | 18,8 |
| Einzelereignis in % | 4,4% | 3,1% | 0,9% | 1,2% | 7,3% |

Tabelle 4- 17: Abflüsse nach (top30) Niederschlagsereignissen in Krenstetten

Die Tabelle 4- 17 enthält in der ersten Zeile die Mittelwerte des Niederschlages und der Abflusskomponenten in mm/Tag. An einem durchschnittlichem Tag fließen 1/365 des Jahresabflusses ab, also 0,27%.

In der Zeile darunter sind der mittlere Niederschlag, der mittlere Abfluss und die mittleren Abflussanteile am Tag des Ereignisses zu finden, darunter der Anteil eines durchschnittlichen Einzelereignisses am Tag des Ereignisses an der Jahresfracht.

In den letzten zwei Zeilen wurde die gesamte Abflussreaktion der ersten drei Tage ab

dem Niederschlagsereignis aufsummiert, um einen Anhaltspunkt für die schnellen Gesamtabflussreaktion (nach Lillich) auf die Niederschlagsereignisse zu bekommen. Der Anteil eines mittleren Einzelereignisses (letzte Zeile) an der Jahresfracht wurde ebenfalls errechnet. Man sieht, dass wesentliche Teile des schnellen Direktabflusses bei Einzelereignissen abfließen.

Schränkt man die Auswirkungen hinsichtlich Erosionsgefährdung noch weiter ein, muss man den Zeitrahmen klein wählen. Nur die oberflächlich abfließenden Komponenten des Direktabflusses bewirken Erosion. Da dieser Anteil nicht separat erfasst werden kann, kann man ihn nur als schnellsten Anteil des Direktabflusses interpretieren. Die oberflächlichen Abflüsse sind höchstens einige Stunden nach einem Niederschlagsereignis wirksam. Sie treten also in Abhängigkeit von dem zeitlichen Auftreten des Niederschlages innerhalb des Erfassungszeitraumes des Niederschlagsereignisses (es werden Tagesniederschläge erfasst) und der Geometrie des Einzugsgebietes am Tag des Niederschlagsereignisses oder spätestens am Folgetag auf.

Die Niederschläge für den Tag i werden zwischen 7 Uhr morgens und 7 Uhr des Folgetages ($i+1$) erfasst, die Abflüsse werden zwischen 0 und 24 Uhr (des Tages i) bestimmt. Die Niederschlagshöhen sind relativ zu den Abflüssen also um 7 Stunden nach hinten verschoben. Die von Difga2000 als Direktabflüsse interpretierten Abflussanteile zufolge eines Niederschlagsereignisses können also am Tag des erfassten Niederschlages (i) oder am Folgetag auftreten ($i+1$), auch wenn sie innerhalb von wenigen Stunden zum Abfluss gelangen.

Spätere, ebenfalls als QD bezeichnete Abflussanteile können auch schon schnelle durch Verdrängung hervorgerufene unterirdische Abflusskomponenten enthalten.

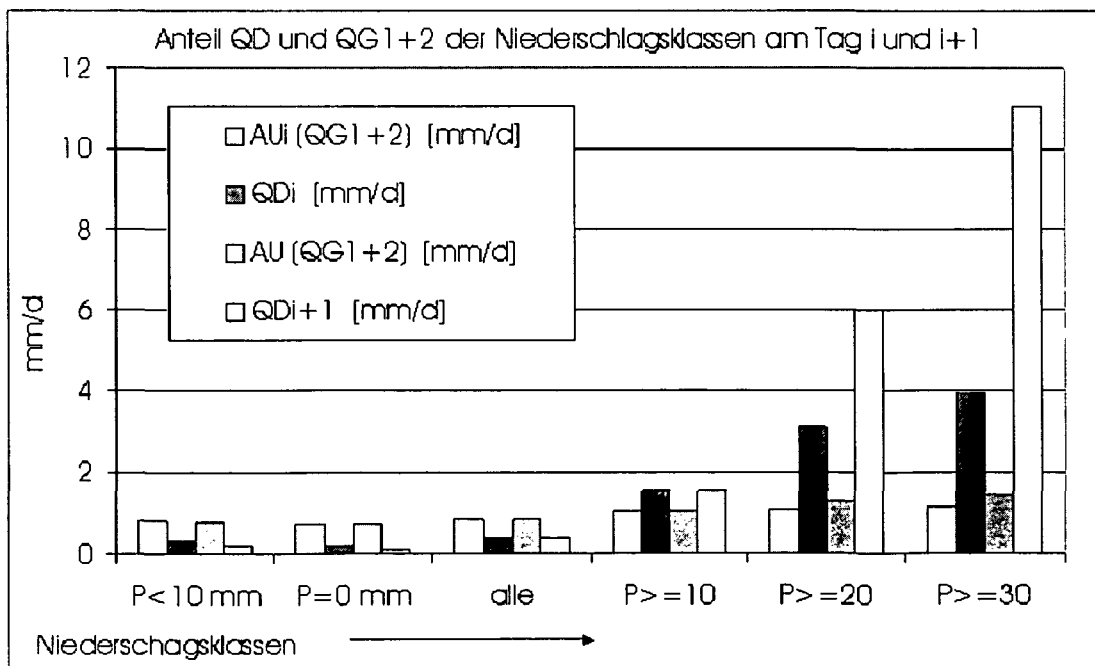


Abbildung 4- 58: Abflüsse am Tag i und am Folgetag $i+1$

Aus Abbildung 4- 58 sieht man, dass der hier als Au bezeichnete unterirdische Abfluss, welcher aus QG1 und QG2 besteht, zwar auch am Ende des Niederschlagsereignisses bzw. am Folgetag etwas größer ist, wesentlich nimmt aber vor allem die schnellste Komponente des Abflusses QD zu. Am Tag i sind die schnellsten Komponenten des Tagesniederschlags enthalten, regnet es nachts, so wird der Abfluss erst am Folgetag erfasst.

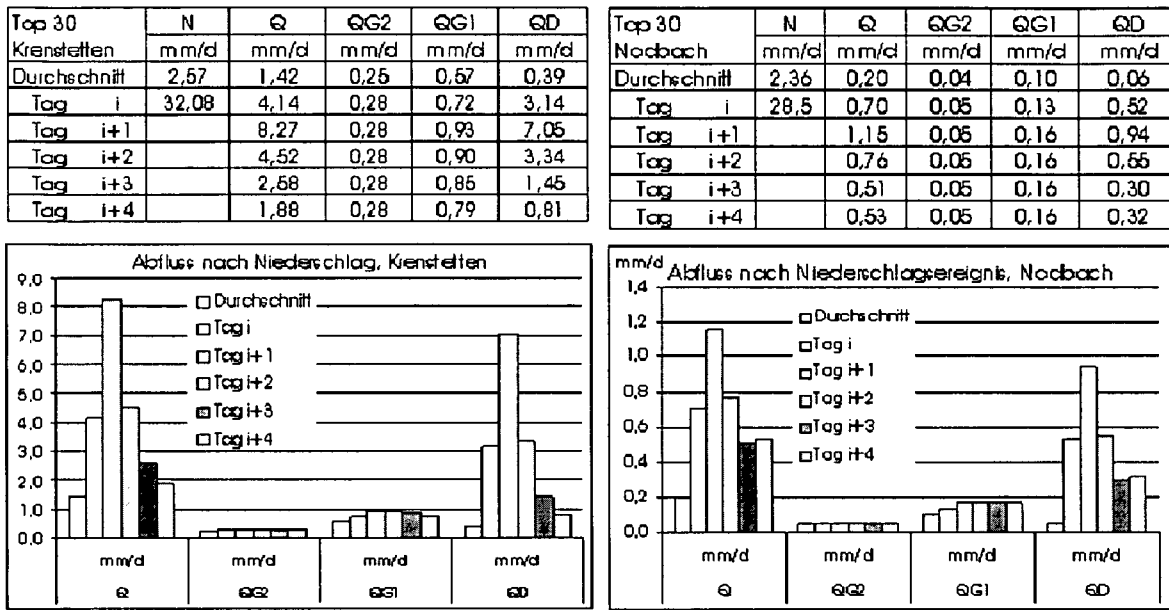


Abbildung 4- 59: Entwicklung des Abflusses und der Abflussanteile nach einem Niederschlagsereignis, Krenstetten und Nodbach

Abbildung 4- 59 zeigt den Abfluss Q und die Abflusskomponenten zufolge eines Starkregenereignisses in den Einzugsgebieten Krenstetten (rechts) und Nodbach (links). Man sieht, dass die langsamen Abflusskomponenten sich kaum verändern. Der Anstieg des Abflusses durch ein durchschnittliches „top30- Ereignis“ wird fast ausschließlich durch den direkten Abfluss QD bewirkt. In Krenstetten steigt der Abfluss etwas stärker und schneller an, die maximale Abflussspitze am zweiten Tag (i+1) nach dem Niederschlagsereignis ist (relativ zu dem mittleren Abfluss) deutlich höher als im Einzugsgebiet des Nodbaches. Am 4. Tag nach dem Niederschlagsereignis ist der Abfluss schon fast wieder auf das durchschnittliche Niveau abgesunken, während es im Einzugsgebiet des Nodbaches noch deutlich erhöht bleibt.

4.6.2.3 Niederschlag und Gesamtabfluss

Der Abfluss steigt mit zunehmendem Niederschlag. Wie man aus Abbildung 4- 60 erkennen kann steigt der durchschnittliche Abfluss von 1,21mm/d im Untersuchungszeitraum auf mittlere 5,1 mm am ersten Tag¹¹ des Niederschlagsereignisses bzw. 12,5 mm am Folgetag bei Niederschlagshöhen über 30 mm am Tag. Im Mittel fließen 55 % des Niederschlages, welche 950 mm im Jahr ausmacht, ab.

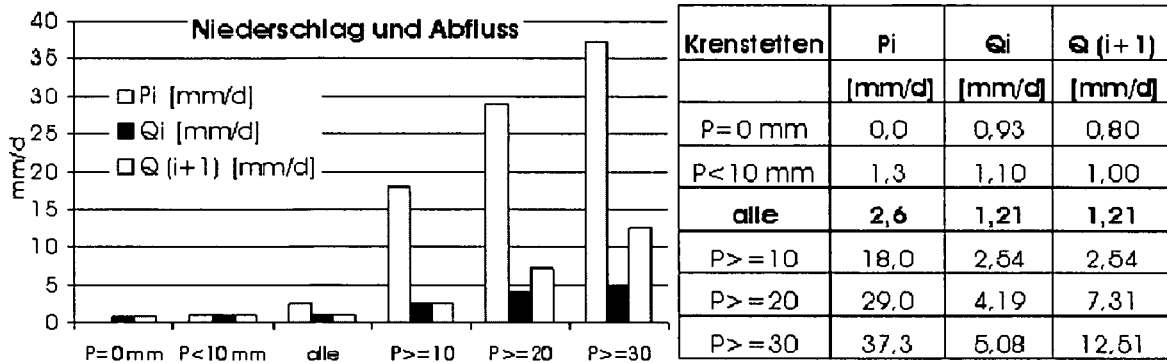


Abbildung 4- 60: Niederschlagsklassen¹² und Abflusshöhen, Krenstetten

Im Einzugsgebiet der Wulka ist der Niederschlag insgesamt geringer. Aufgrund der intensiven ackerbaulichen Nutzung und der hohen Temperaturen ist die Verdunstung höher und der abfließende Anteil demnach kleiner. In Schützen beträgt der Abfluss im Mittel 11 % des Niederschlages, welcher knapp 700 mm im Jahr beträgt.

4.6.2.4 Niederschlag und Abflusskomponenten

Die schnellen Abflusskomponenten reagieren unmittelbar auf Niederschlagsereignisse, wie man auch aus Abbildung 4- 57 sehen kann. Der langsame Grundwasserspeicher wird durch Niederschlagsereignisse langsam aufgefüllt und reagiert daher sehr gedämpft und mit großer Verzögerung. Eine schnelle Reaktion unterirdischer Komponenten auf ein Niederschlagsereignis durch Verdrängung wird von Difga als schnelles Grundwasser oder Direktabfluss interpretiert.

Abbildung 4- 61 zeigt, dass bei dem direkten Abfluss eine Abhängigkeit zwischen Niederschlag und Abfluss zu erkennen ist, bei QG2 ist keine Beziehung mehr zu sehen.

¹¹ Eigentlich bildet dieser Wert den Mittelwert der ersten 17h (24-7h) des Zeitraumes der Niederschlagsmessung und 7 Stunden des Vortages.

¹² P bedeutet Niederschlag (precipitation), hier in mm/Tag

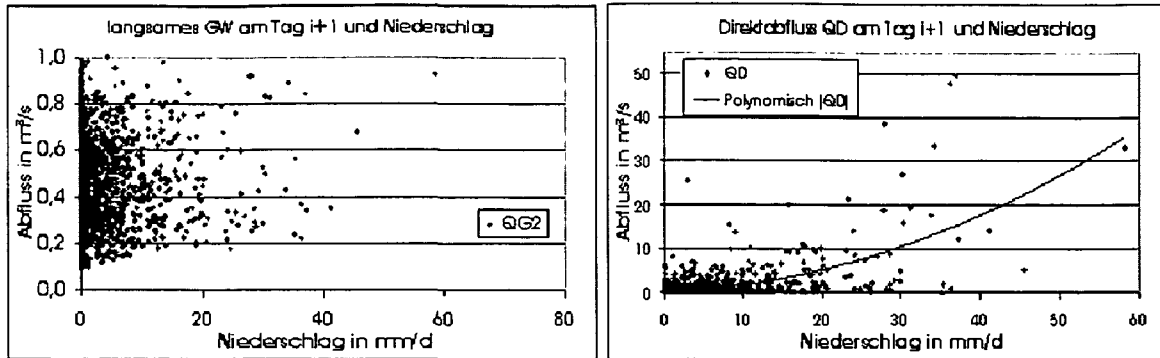


Abbildung 4- 61: Niederschlag und Abflusskomponenten QG2 und QD

Man sieht weiterhin, dass der Direktabfluss nicht immer im gleichen Ausmaß auf ein Niederschlagsereignis reagiert. Manchmal bewirken kleinere Niederschläge einen hohen Direktabfluss, manchmal kommt es nicht zu Abflussvorgängen. Gründe dafür können in der Vorbefeuchtung des Einzugsgebietes (es wird wenig oder viel zurückgehalten), in der Schneeschmelze oder der Speicherung des Niederschlages als Schnee, in der Jahreszeit (also in der Speicherfüllung des Grundwasserspeichers, in der Verdunstung) oder in einer Überlagerung mehrerer Niederschlagsereignisse liegen.

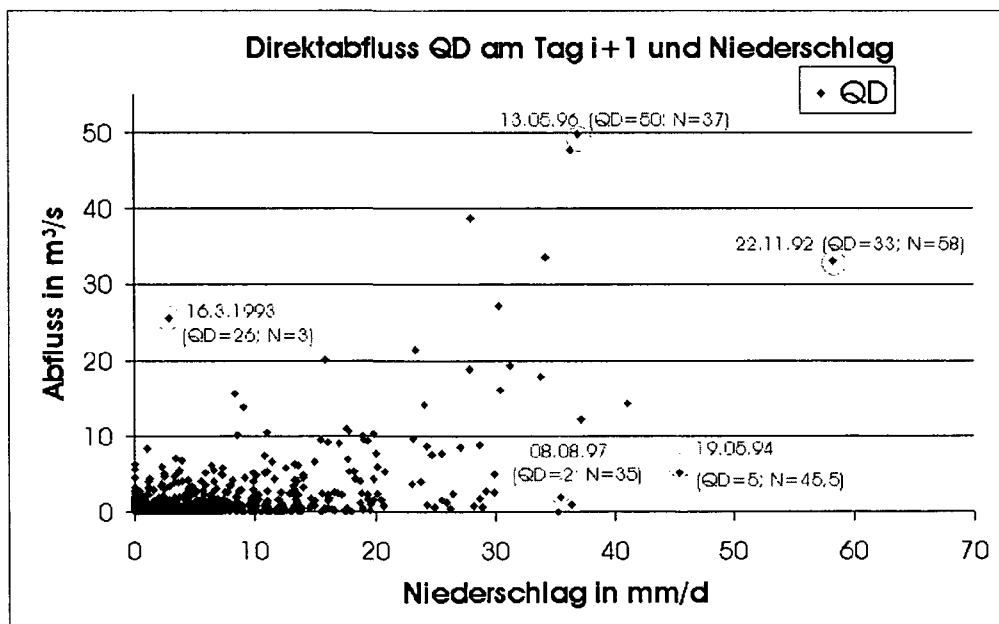


Abbildung 4- 62: Niederschlag und Direktabfluss, ausgewählte Ereignisse

Der Niederschlag am 16.3.1993 mit einer geringen Niederschlagshöhe von nur 3 mm bewirkt einen hohen Direktabfluss von 26 m³/s. Betrachtet man das Ereignis genauer, so stellt man fest, dass die großen Direktabflüsse aus Schneeschmelzprozessen, genauer einem „Regen auf Schnee“ - Ereignis stammen.

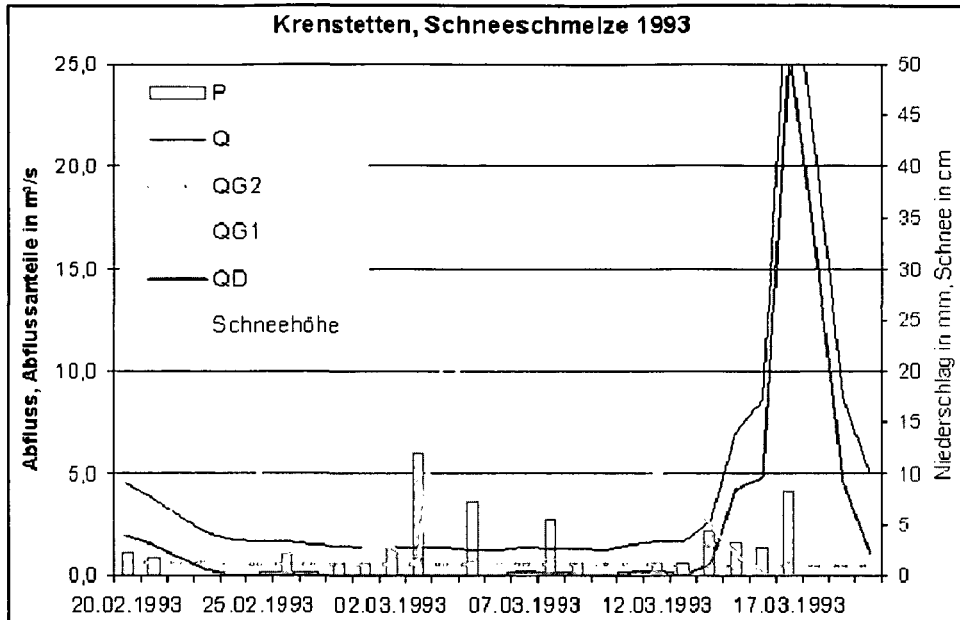


Abbildung 4- 63: Direktabflüsse zufolge Schneeschmelzprozessen

Betrachtet man ein weiteres Ereignis mit sehr hohen Direktabflüssen am 13.05.96, so stellt man fest, dass hier bei mittlerer Vorbefeuchtung mehrere Tage große Niederschlagssummen, nämlich 31, 37 und 30 mm/Tag gefallen sind. Es fand eine Überlagerung der Direktabflüsse und eine Sättigung des Einzugsgebietes statt.

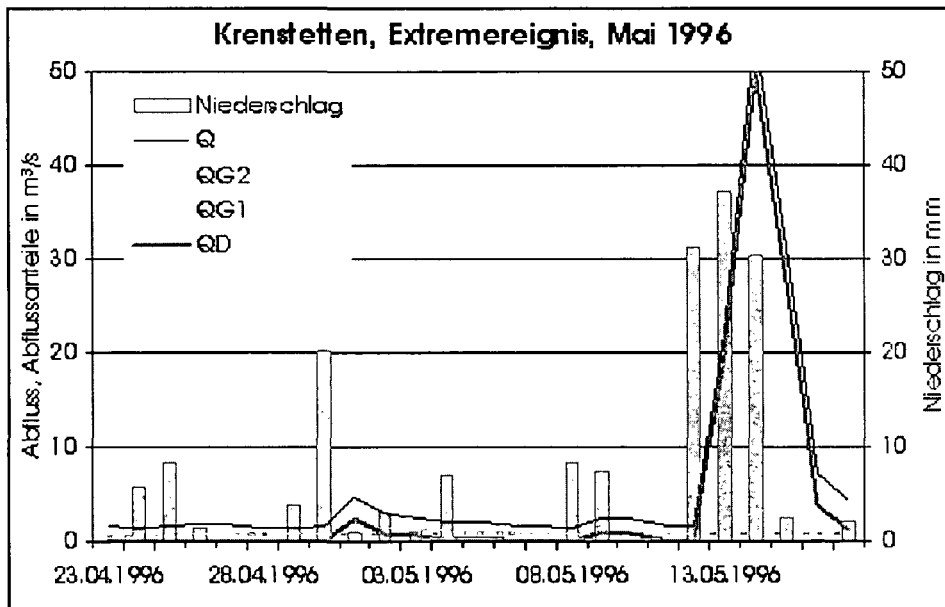


Abbildung 4- 64: Direktabflüsse zufolge Starkregen¹³

¹³ Die Hochachse mit max. 60 m³/s doppelt so hoch skaliert wie in der vorherigen Abbildung!

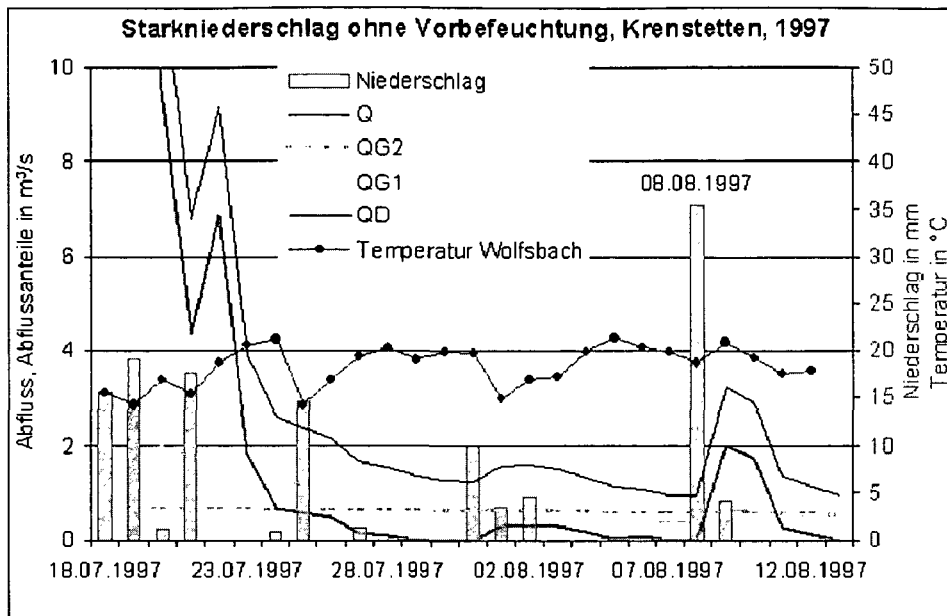


Abbildung 4- 65: Niederschlag bei hoher Verdunstung und wenig Vorbefeuchtung im August 1997

Abbildung 4- 65 zeigt den umgekehrten Fall. Trotz eines großen Niederschlagsereignisses von über 35 mm am 08.08.1997 kommt es nicht zu großen Abflussvorgängen. Das Wasser kann zu großen Teilen in dem Gebiet gespeichert werden. Die Temperaturen im August 1997 waren hoch und in den Tagen vor dem Niederschlagsereignis gab es keinen Niederschlag.

Man sieht also dass die Niederschlags-Abfluss-Zusammenhänge von vielen Faktoren beeinflusst werden.

4.6.2.5 Zeitliche Variabilität

Bei der Auswertung nach den Niederschlagsklassen wurden die Mittelwerte des 6-jährigen Untersuchungszeitraumes ermittelt. Diese Werte wurden auch für einen Gebietsvergleich herangezogen.

Die Anzahl der Niederschlagsereignisse einer Niederschlagsklasse pro Jahr und die durch sie hervorgerufenen Abflussreaktion schwankt erheblich. In Abbildung 4- 66 ist die Verteilung der dreißig höchsten Niederschlagsereignisse auf die einzelnen Jahre im Einzugsgebiet Krenstetten zu sehen. Die Anzahl der Ereignisse pro Jahr liegt zwischen 2 im Jahr 1995 und 8 im Jahr 1996. Errechnet man sich den Anteil des sofort abfließenden Niederschlages in den einzelnen Jahren, so erhält man Werte zwischen 6 % im Jahr 1993 und 41 % im Jahr 1994, der Mittelwert liegt bei 8 %. Die Abflussreaktionen müssen also unterschiedlich sein.

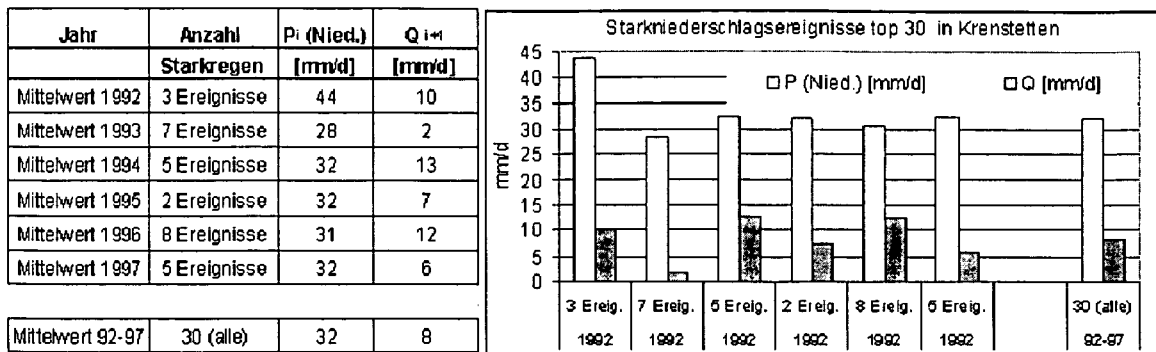


Abbildung 4- 66: Verteilung der „top30“ Ereignisse auf die einzelnen Jahre (Q_{i+1})

Auch der Absolutwert der Jahresdurchschnitte der Niederschlagshöhen und Abflussreaktionen weist große Unterschiede auf, wie man aus obiger Tabelle und Abbildung sehen kann. Die Niederschläge und Abflüsse in Abbildung 4- 66 sind in mm/d angegeben.

Da es sich bei der Verteilung der 30 größten Niederschläge auf die einzelnen Jahre um die Reihe der höchsten Niederschläge und somit auch um ähnliche Niederschlagshöhen handelt, könnten bei einer Untersuchung der z.B. top 5 Ereignisse der einzelnen Jahre die Unterschiede zwischen den einzelnen Jahren noch größer ausfallen.

Betrachtet man die einzelnen Abflusskomponenten, so werden auch bei diesen deutliche Unterschiede sichtbar. Abbildung 4- 67 zeigt die Abflusskomponenten einzelner Jahre bei den top30 Starkniederschlagsereignissen.

In den Jahren mit den höchsten Gesamtabflüssen, nämlich in den Jahren 1994 und 1996 treten auch die größten Anteile an Direktabfluss auf.

In trockenen Jahren, wie im Jahr 1993 ist auch bei den top 30 Ereignissen der Direktabfluss klein.

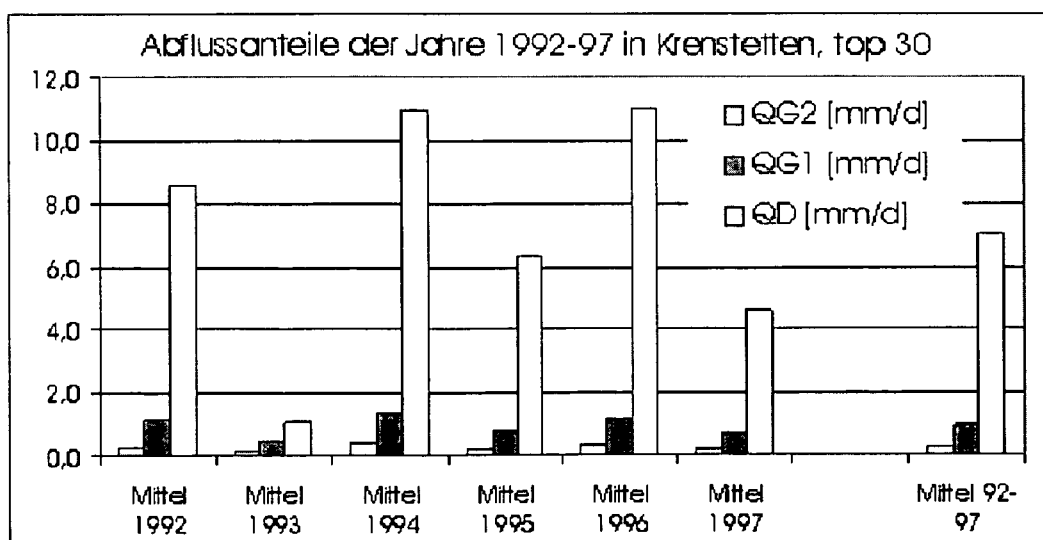


Abbildung 4- 67: Abflussanteile (Q_{i+1}) nach Starkregenereignissen, Krenstetten

Diese Überlegungen sind vor allem für den Nährstofftransport, insbesondere den Eintrag von Phosphor über Erosionsprozesse interessant, andererseits sind sie auch unter dem Gesichtspunkt der Mittelwertbildung von großem Interesse, das Modell Moneris, welches im Rahmen des Danubiusprojektes angewandt wird, rechnet mit 5-Jahresmittelwerten.

Auf diese Aspekte soll in Kapitel 4.7 und 4.8 noch näher eingegangen werden.

Im folgenden sollen die Zeitschritte noch kleiner gewählt werden, um den Einfluss von Einzelereignissen auf die stark abweichenden Jahreswerte aufzuzeigen.

4.6.2.6 Starkniederschläge- Untersuchung von Einzelereignissen

Untersucht man den Anteil an Einzelereignissen an diesen Mittelwerten, so stellt man fest, dass die extrem hohen Mittelwerte im Wesentlichen durch zwei extreme Einzelereignisse verursacht werden. Die Starkregenereignisse vom 12. und 13.4.1994 und vom 13. und 14.5.1996 sind in Abbildung 4-68 zu sehen.

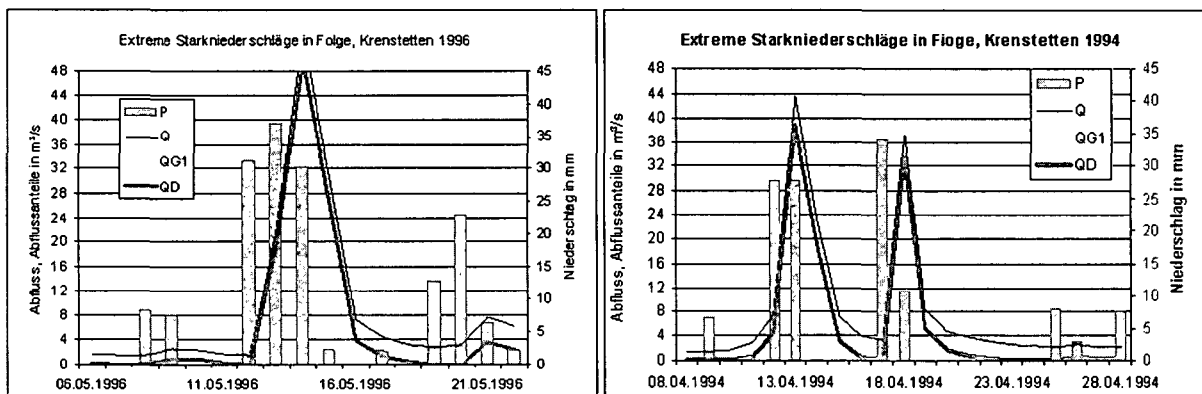


Abbildung 4-68: Die Starkniederschläge Mai 1996 und April 1994

Die zwei Ereignisse machen einen sehr wesentlichen Anteil des Abflusses, insbesondere des direkten Abflusses aus. Im Jahr 1994 floss am 2. Tag mit extremem Niederschlag ein Zwanzigstel des mittleren Jahresdurchflusses ab. 1996 fließen am dritten Tag des Niederschlages sogar 7% der Jahresabflussfracht ab, der Anteil des Direktabflusses beträgt dabei 19% der Jahresfracht, also fast ein Fünftel der Jahresfracht an einem einzigen Tag. Die Gesamtfrachten der Einzelereignisse sind in Tabelle 4-18 dargestellt.

An den drei Tagen (12.-14.04.94) des Niederschlagsereignisses im Jahr 1994 fließen demnach 24% des mittleren jährlichen Direktabflusses (mit dem zweiten Ereignis am 17 und 18.04.94 sind es sogar 37%) ab. Im Jahr 1996 sind es an den 4 Tagen des Ereignisses vom 12.05. bis 15.05. 37% der mittleren Jahresfracht des Direktabflusses.

| Datum | P i | Q i | QG2 i | QG1 i | QD i |
|----------------|-------|-------|-------|-------|------|
| Mittel | 2,6 | 2,2 | 0,4 | 1 | 0,7 |
| 12.04.1994 | 27,9 | 7,7 | 0,9 | 2,3 | 4,5 |
| 13.04.1994 | 27,8 | 43,4 | 0,9 | 3,7 | 38,8 |
| 14.04.1994 | 0,0 | 23,0 | 0,9 | 3,3 | 18,8 |
| Summe | 55,7 | 74,1 | 2,7 | 9,3 | 62,1 |
| Anteil am Jahr | 6% | 9% | 2% | 2% | 24% |
| 12.05.1996 | 31,2 | 1,6 | 0,8 | 0,8 | 0 |
| 13.05.1996 | 37 | 21,8 | 0,8 | 1,6 | 19,3 |
| 14.05.1996 | 30,3 | 54 | 0,8 | 3,3 | 49,8 |
| 15.05.1996 | 2,3 | 31,0 | 0,8 | 3,0 | 27,1 |
| Summe | 100,8 | 108,4 | 3,2 | 8,7 | 96,2 |
| Anteil am Jahr | 11% | 14% | 2% | 2% | 37% |

Tabelle 4- 18: Extremereignisse in Krenstetten, deren Anteil an der Jahresfracht

Die untersuchten extremen Direktabflüsse sind an Niederschlagsereignisse gekoppelt, bei welchen extrem hohe Niederschläge mehrere Tag hintereinander auftreten. Die hohen Niederschläge bewirken, verbunden mit einer Sättigung des Bodens, dass große Teile des Niederschlages schnell, also oberflächlich oder oberflächennah, zum Abfluss kommen.

Es sind die Mittelwerte der Direktabflüsse allein in Ihrer Aussagekraft eingeschränkt. Große Mengen der schnellen Abflussanteile fließen unmittelbar bei einzelnen Starkniederschlagsereignissen ab. Das gleiche gilt für die Erosionsprozesse und die damit verbundenen Nährstoffeinträge.

Mit monatlichen, jährlichen Mittelwerten oder gar 5-Jahresmitteln, wie in den Berechnungen mit dem Modell Moneris, kann man einzelne Prozesse nicht erfassen. Die aus den langjährigen Mittelwerten abgeleiteten Maßnahmen können den Nährstoffeintrag in die Donau und in das Schwarze Meer vermindern, durch eine höhere räumliche und zeitliche Auflösung bei den Untersuchungen in den Teil-einzugsgebieten können wichtige Zusatzinformationen gewonnen werden.

Durch die höhere zeitliche Auflösung bei der Datenerfassung, dem Monitoring, den Berechnungen können Ursachen genauer erfasst und Maßnahmen effektiver eingesetzt werden.

Die untersuchten Extremereignisse am Pegel Krenstetten fielen beide auf Frühjahrsereignisse, sie traten im April und Mai auf. Um den Einfluss der Bewirtschaftung (Bodenbearbeitung und Düngeplanung) auf den Nährstoffeintrag besser abschätzen zu können ist es von Interesse die Verteilung der Niederschlagsereignisse über das Jahr, also die Saisonalität der Starkregenereignisse zu betrachten.

Die Saisonalität der Abflussanteile (allgemein) und die Schwankungen zwischen den Jahren wurde in Kapitel 4.6.1 betrachtet. Die Betrachtung von Einzelereignissen unter dem Nährstoffaspekt erfolgt in Kapitel 4.7.9.

4.6.2.7 Saisonalität der Starkregeneignisse

Krenstetten

Untersucht man die jahreszeitliche Verteilung der größten 30 Niederschlagsereignisse in Krenstetten stellt man fest, dass fast alle großen Niederschläge im Sommer auftraten, in den Monaten Dezember bis März gab es keine Ereignisse. Abbildung 4-69 zeigt die Verteilung der Starkniederschläge in Krenstetten über das Jahr. Bei den mittleren Abflussanteilen dieser Ereignisse findet man noch größere Unterschiede.

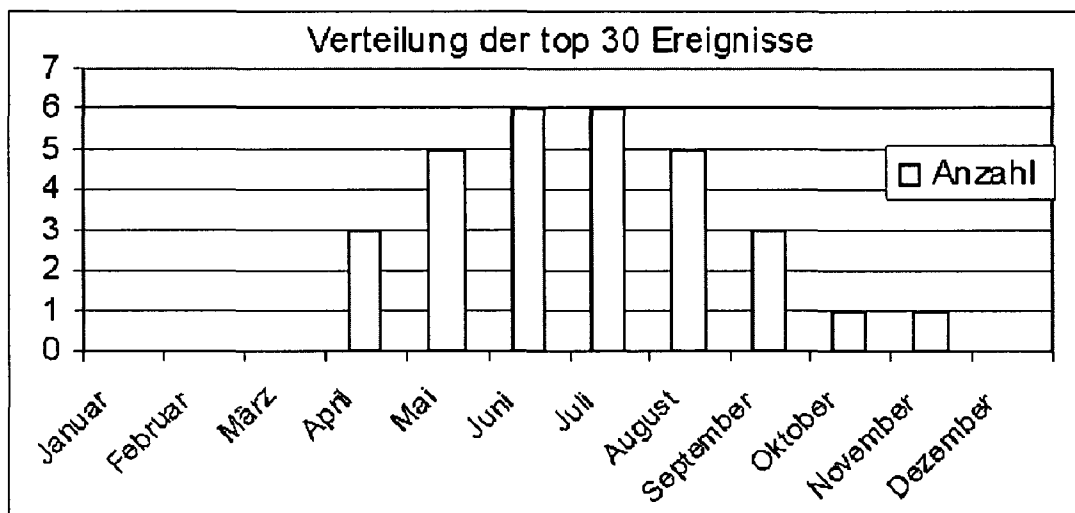


Abbildung 4- 69: Anzahl der top 30-Ereignisse im Monat, Summe 1992-97

Durchschnittlich beträgt der Niederschlag bei den untersuchten Ereignissen 32 mm/Tag und der Abfluss 14,9 m³/s, also 8,3 mm/Tag, davon fließen 85% als Direktabfluss ab. Abbildung 4- 70 zeigt die mittleren Abflusshöhen der einzelnen Abflussanteile (Q_{i+1}) je Monat (linke Abbildung) und die Aufteilung der Komponenten auf den Gesamtabfluss (rechts). Für die Abbildungen wurden die Jahresreihen 1992-1997 verwendet.

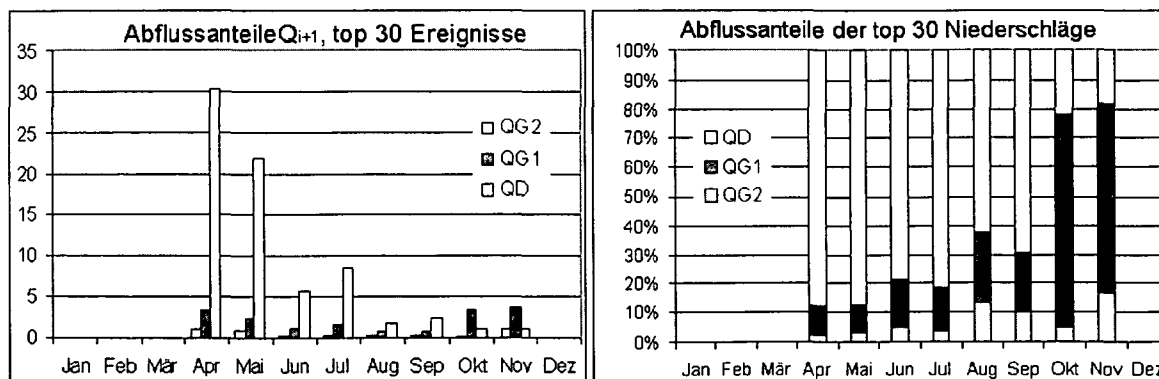


Abbildung 4- 70: Abflussanteile zufolge Starkniederschlägen, Mittelwerte

Man sieht, dass die die Erosion verursachenden Starkregen im Frühjahr und Sommer auftreten. Die extrem hohen Direktabflüsse im April werden ausschließlich und im

Mai fast ausschließlich durch die in Kapitel 4.6.2.6 untersuchten Extremereignisse verursacht. Auch diese Abbildungen zeigen also den Einfluss von Einzelereignissen. Die 5 Starkregenereignissen im Herbst waren für die Erosion nicht relevant. Diese Erkenntnis ist vor allem für die Bewirtschaftung ackerbaulicher Flächen von Interesse.

Nodbach

Das Einzugsgebiet des Nodbaches, einem kleinen Teileinzugsgebiet der Wulka, ist von Kläranlagen unbeeinflusst. Auch hier soll die Saisonalität der Starkregenereignisse untersucht werden. Die Niederschlagshöhe beträgt im Untersuchungszeitraum durchschnittlich 28,5 mm am Tag, also durchaus ähnlich wie im Einzugsgebiet Krenstetten, der Abfluss bei diesen Ereignissen ist wesentlich geringer, er liegt bei durchschnittlich 0,6 m³/s was 1,2 mm/Tag entspricht.

Die größten 30 Niederschlagsereignisse im Untersuchungszeitraum verteilen sich auch hier ungleichmäßig auf das Jahr. Im Juni und Juli finden die meisten großen Niederschlagsereignisse statt.

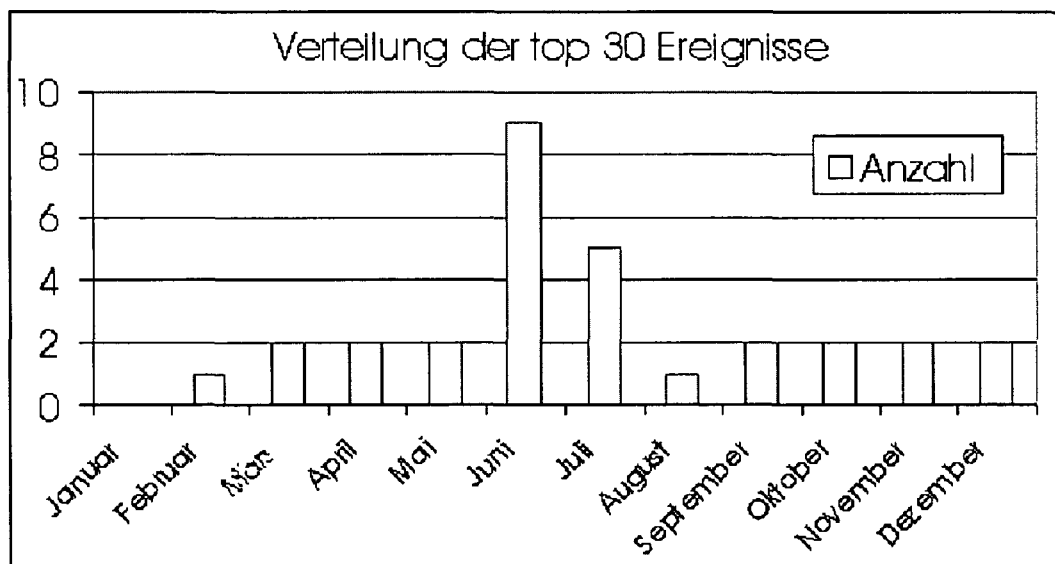


Abbildung 4- 71: Anzahl der top 30 Ereignisse über das Jahr, Nodbach

Betrachtet man die Abflusskomponenten der Starkniederschlagsereignisse, so ergeben sich große Unterschiede. Im Sommer sind die Anteile des Direktabflusses besonders groß, im Winter sind die Anteile ausgeglichener, hier nimmt QG1, der schnelle Grundwasserabfluss einen großen Anteil ein.

Betrachtet man die Summe der Abflussanteile je Monat, wie in Abbildung 4- 72 geschehen, so stellt man fest, dass auch die Anteile sehr ungleichmäßig über das Jahr verteilt sind. Die prozentuell größten Anteile des Direktabflusses fließen in den Sommermonaten, eventuell auch im Frühjahr, ab.

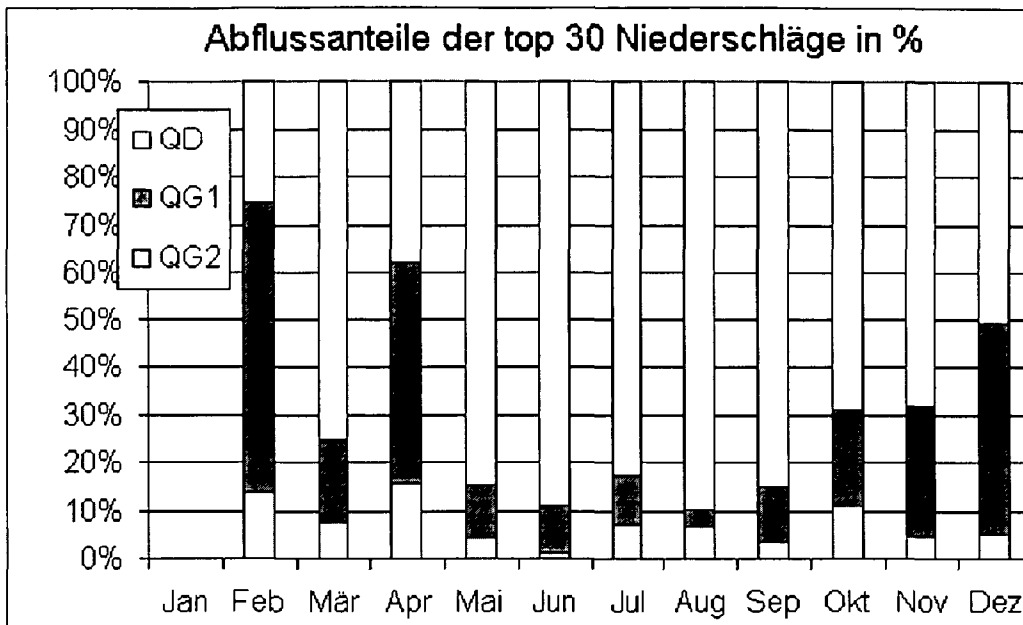


Abbildung 4- 72: Abflussanteile je Monat, Pegel Margarethen (Nodbach)

In den Wintermonaten ist der Anteil der direkten Abflusskomponenten kleiner und die Gesamtabflusshöhen geringer.

Betrachtet man die Abflusshöhen der Komponenten, rechts in Abbildung 4- 73, so sieht man, dass in den Monaten Mai bis September die weitaus höchsten Direktabflüsse auftreten. Aufsummiert auf die größten 30 Ereignisse im Untersuchungszeitraum ergeben sich, aufgrund der Anzahl der Ereignisse, die größten Direktabflüsse im Juni.

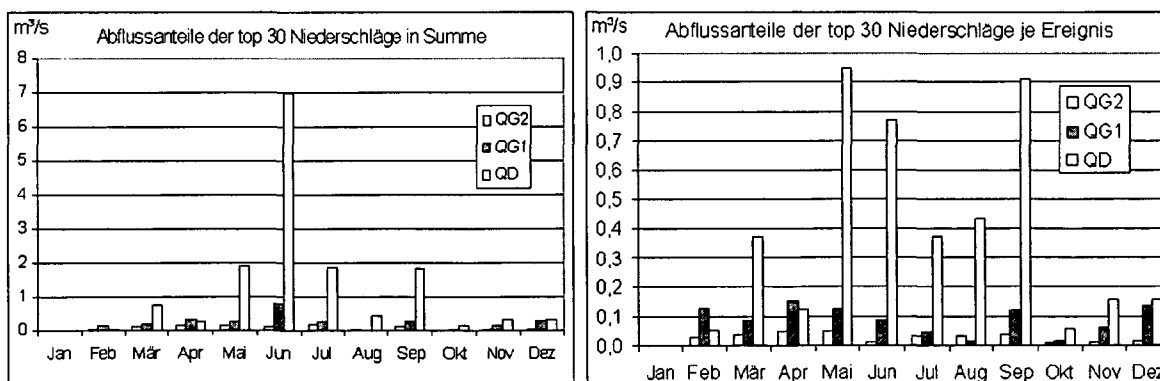


Abbildung 4- 73: Abflussanteile Pegel Nodbach
 links: Summe 1992-97, rechts: Anteile je Ereignis

4.6.2.8 Abflussanteile, Krenstetten

Die Abflussanteile verschieben sich nach Niederschlagsereignissen. Die schnellen, oberflächlichen oder oberflächennahen Anteile des Abflusses nehmen stärker zu als die langsamen, unterirdischen Komponenten. In Tabelle 4- 19 wurden die mittleren Abflüsse, Abflussanteile und Niederschläge in mm/Tag für die verschiedenen Niederschlagsklassen errechnet. Angegeben wurden hier die Abflüsse am Tag nach dem Niederschlagsereignis, also Abflüsse, welche relativ zum Niederschlag mit 17 Stunden Verzögerung auftreten.

| Krenstetten | P | Q | QG2 | QG1 | AU (QG1+2) | QD | QG2 | QG1 | QD |
|-------------|--------|--------|--------|--------|------------|--------|-----|-----|-----|
| | [mm/d] | [mm/d] | [mm/d] | [mm/d] | [mm/d] | [mm/d] | | | |
| P=0 mm | 0,0 | 0,80 | 0,24 | 0,46 | 0,70 | 0,10 | 30% | 58% | 12% |
| alle | 2,6 | 1,21 | 0,25 | 0,57 | 0,82 | 0,39 | 20% | 47% | 33% |
| top 90 | 23,1 | 5,22 | 0,28 | 0,97 | 1,25 | 3,97 | 5% | 19% | 76% |
| top 60 | 26,3 | 6,22 | 0,26 | 0,99 | 1,25 | 4,97 | 4% | 16% | 80% |
| top 30 | 32,1 | 8,27 | 0,28 | 0,93 | 1,22 | 7,05 | 3% | 11% | 85% |
| P<10 mm | 1,3 | 1,00 | 0,24 | 0,54 | 0,79 | 0,21 | 25% | 54% | 21% |
| P>=10 | 18,0 | 2,54 | 0,27 | 0,76 | 1,03 | 1,52 | 11% | 30% | 60% |
| P>=20 | 29,0 | 7,31 | 0,27 | 1,05 | 1,32 | 5,99 | 4% | 14% | 82% |
| P>=30 | 37,3 | 12,61 | 0,32 | 1,15 | 1,47 | 11,05 | 3% | 9% | 88% |

Tabelle 4- 19: Abflussanteile der verschiedenen Niederschlagsklassen (Q_{i+1})

Der Anteil an QD am Gesamtabfluss wächst demnach mit dem Niederschlag am stärksten an (siehe Abbildung 4- 74). Die Höhe des unterirdischen Abflusses steigt bei zunehmendem Niederschlag bis zu einem gewissen Wert an und stagniert danach. Oberhalb dieses Schwellenwertes („ Au_{max} “) verursacht eine Erhöhung des Niederschlages offensichtlich nur eine Erhöhung des direkten Abflusses.

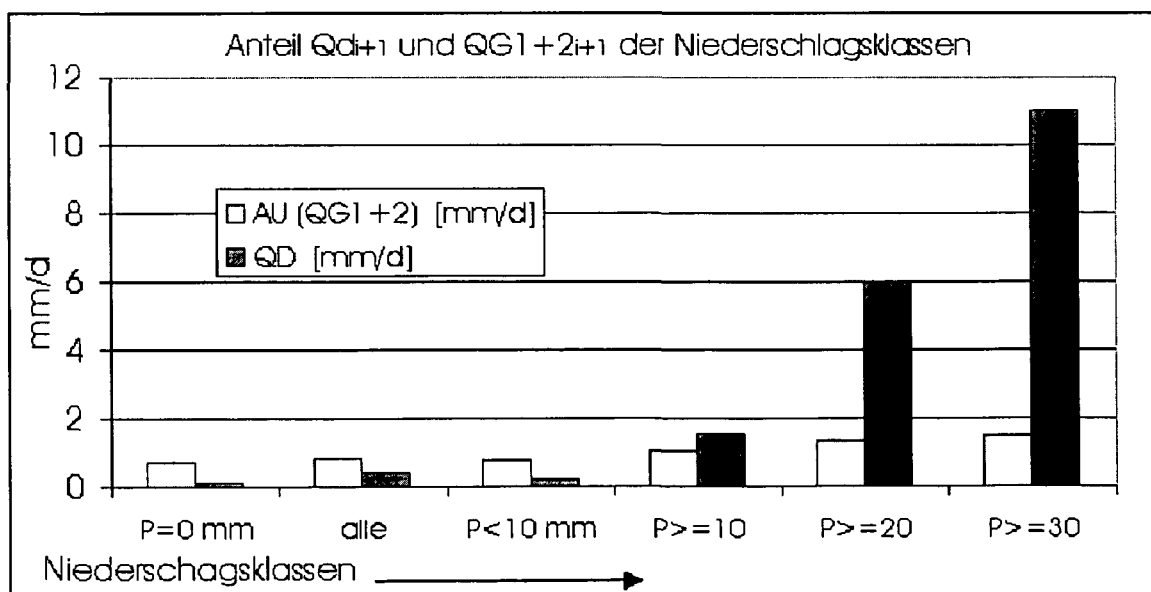


Abbildung 4- 74: Abflussanteile der verschiedenen Niederschlagsklassen (Q_{i+1})

Der unterirdische Abfluss „Au“, die Summe aus langsamen und schnellen Grundwasserabfluss (QG1 + QG2 nach Difga 2000) bleibt ab einem gewissen Wert in etwa konstant. Das restliche Wasser kann nicht mehr versickern und fließt oberflächlich ab. Im Teileinzugsgebiet Krenstetten beträgt der maximale unterirdische Abfluss ca. 1,8 mm/d, wie man aus der Abbildung (Abbildung 4- 75) der Niederschläge und Abflüsse des Tages i (die Abflüsse haben noch nicht ihr Maximum erreicht) erkennen kann.

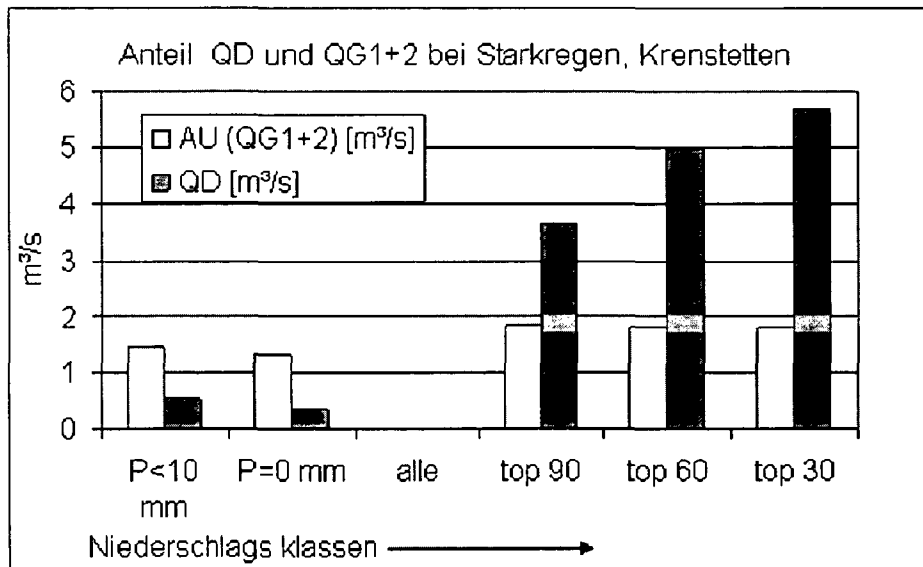


Abbildung 4- 75: Direkter und unterirdischer Abfluss bei Starkregenereignissen in Krenstetten

Dieser Schwellenwert wird als Kennzahl für die Einzugsgebiete, insbesondere bei der Berechnung von Bodenabtrag und Erosionserscheinungen betrachtet werden und wird nachfolgend für alle Einzugsgebiete ermittelt.

Es wäre weiterhin zu untersuchen, ob dieser Wert und unter welchen Voraussetzungen er eine Konstante über die Zeit bildet, von welchen Kenngrößen (wie Geologie, Vorbefeuchtung, Niederschlagscharakteristik) er abhängt und ob man ihn beispielsweise mit einer empirischen Formel in Erosionsberechnungen einbeziehen kann.

In dieser Arbeit soll vor allem auf die Rolle der Vorbefeuchtung eingegangen werden. Weiterhin wird untersucht, welchen Schwankungen die Höhe des unterirdischen Abflusses unterliegt.

In Abbildung 4- 76 ist die Aufteilung des Abflusses in die Abflussanteile für die verschiedenen Niederschlagsklassen in Krenstetten in einer anderen Darstellung wiedergegeben. Es ist sehr gut erkennbar, dass die schnellen Abflussanteile sehr stark mit der Höhe des Niederschlages ansteigen, bei sehr hohen Niederschlägen überwiegt eindeutig der Direktabflusses.

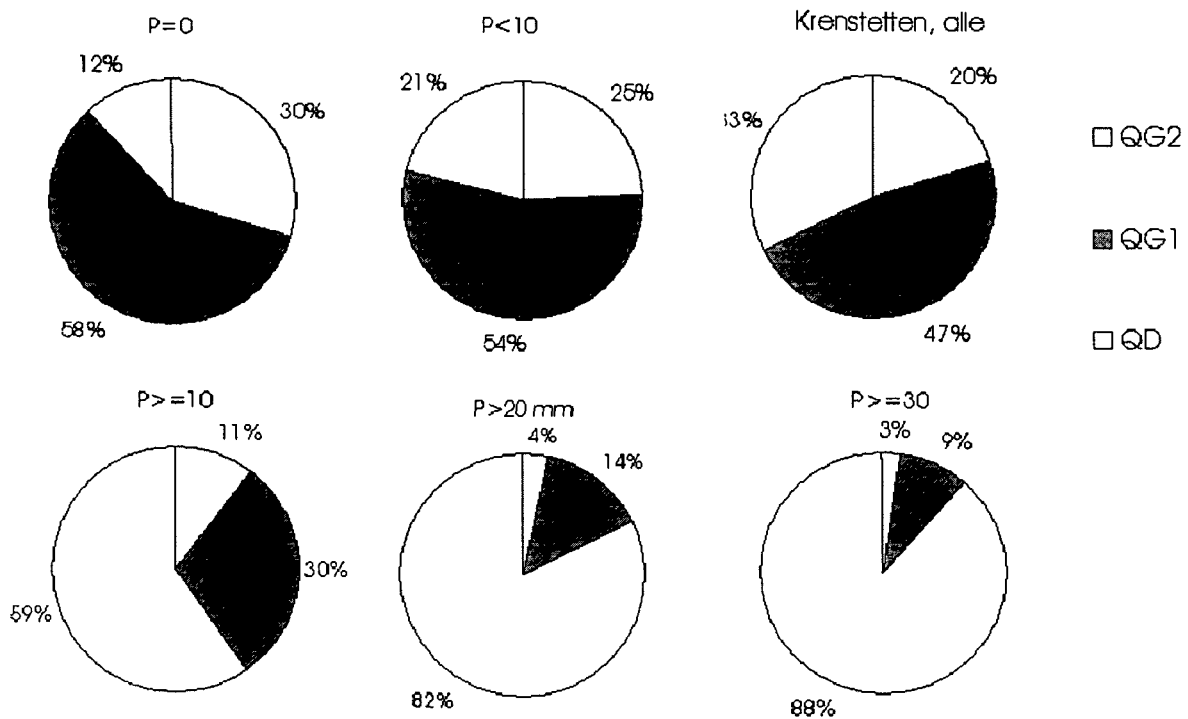


Abbildung 4- 76: Abflussverteilung verschiedener Niederschlagsklassen

Die Mittelwerte der Abflussanteile, dargestellt in dem Diagramm „Krenstetten, alle“ geben keine Anhaltspunkte für die Reaktion der Einzugsgebiete bei Niederschlägen, diese wird erst durch eine Differenzierung der Ereignisse nach Niederschlagsklassen sichtbar. Welche weiteren Faktoren neben der Höhe des Niederschlages auf die Abflussverteilung Einfluss nehmen soll im folgenden untersucht werden.

4.6.3 Hydrologische Einflussfaktoren

In Abhängigkeit von der räumlichen und zeitlichen Niederschlagsverteilung kann es in einem Einzugsgebiet zu verschiedenen Abflussreaktionen kommen.

Es soll im folgenden der Einfluss der Vorbefeuchtung und der Überlagerung der Abflussreaktionen (also der Einfluss der zeitlichen Niederschlagsverteilung) auf das Abflussgeschehen untersucht werden.

Die Niederschlagsereignisse werden aufgrund der Vorbefeuchtung in die Kategorien Niederschlagsereignisse nach Trockenperioden und Niederschlagsereignisse nach Vorbefeuchtung eingeteilt.

Abbildung 4- 77 zeigt ein Niederschlagsereignis am 03.06.1992 nach längerer Trockenheit, an diesem Tag regnet es 36 mm. Dieser Niederschlag gelangt aber nur zu geringern Teilen zum Abfluss, der Großteil des Wassers wird in dem Gebiet zurückgehalten.

Dieser erste Niederschlag bewirkt eine große Vorbefeuchtung des Gebietes ohne einen nennenswerten Anstieg des Abflusses, es erhöht sich nur auf 1,9 m³/s. Kommt

es in diesem Zeitraum erneut zu einem Niederschlagsereignis, wie hier am 06.06. (4,8 mm Tagesniederschlag) und am 09. und 10.06.1992 (mit 5,0 und 6,7 mm Niederschlag), so fließen große Teile des Niederschlages ab. In unserem Beispiel regnet es an den 7 Tagen zwischen dem ersten Niederschlag und der Abflussspitze am 10.06. in Summe nur 17,7 mm. Trotzdem beträgt der Abfluss 3,65 m³/s. Das gleiche ist auch bei dem Niederschlagsereignis am 11.05.1992 zu beobachten, auch hier, bei einem Tagesniederschlag von nur 11 mm ist der Abfluss höher als zufolge des Niederschlagsereignisses am 03.06. 1992.

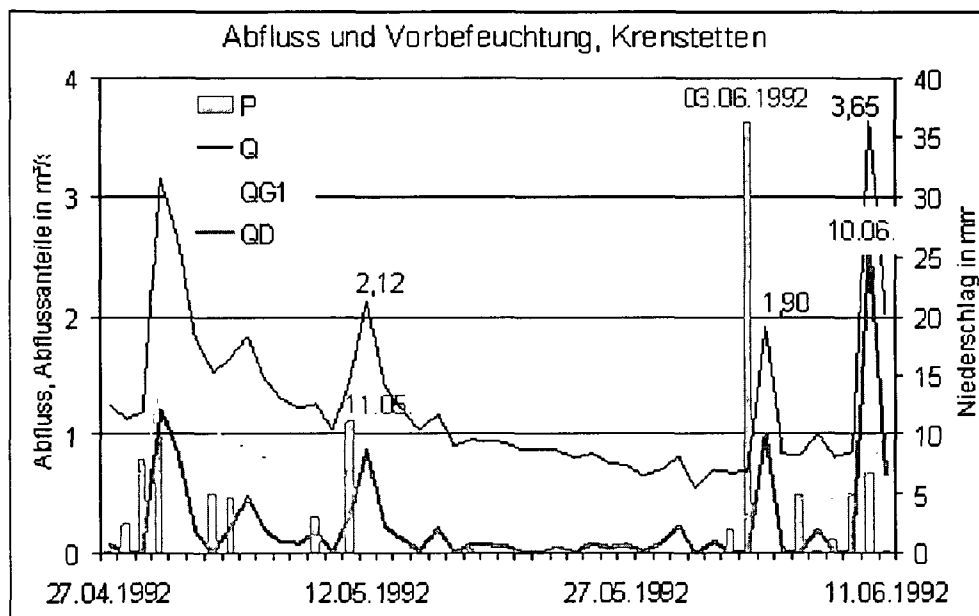


Abbildung 4- 77: Niederschlag mit und ohne Vorbefeuhtung

Die Vorbefeuhtung des Gebietes hat also einen wesentlichen Einfluss auf die Höhe des Abflusses. Es sollen anschließend auch die Abflusskomponenten in trockenen und feuchten Perioden betrachtet werden.

4.6.3.1 Niederschlagsereignisse nach Trockenperioden

Es wurden die Abflussreaktionen verschieden großer Niederschlagsereignisse nach Trockenperioden untersucht. Als Trockenperiode wurde ein Zeitraum von 7 Tagen mit einem Gesamtniederschlag von weniger als 4 mm definiert, da ein Niederschlag dieser Größenordnung verdunstet und nicht zum Abfluss beitragen kann.

Tabelle 4- 20 zeigt die Abflüsse und die Abflusskomponenten zufolge Niederschlagsereignissen nach Trockenperioden, geordnet nach Niederschlagsklassen.

Die Abflüsse zufolge eines Starkniederschlages nach einer Trockenperiode waren deutlich gedämpfter; die Abflusshöhe war kleiner. Die Gesamtabflusshöhe Q sank von 1,21 mm/d (entspricht 2,2 m³/s) auf 0,33 mm/d (entspricht 0,6 m³/s), also auf 27% des Abflusses ohne Trockenperiode ab.

| Krenstetten | Pi | Qi+1 | QG2 i+1 | QG1 i+1 | AU (QG1+2) | QD i+1 | QG2 | QG1 | QD |
|-------------|--------|--------|---------|---------|------------|--------|-----|-----|-----|
| | [mm/d] | [mm/d] | [mm/d] | [mm/d] | [mm/d] | [mm/d] | | | |
| alle | 2.4 | 0.33 | 0.15 | 0.12 | 0.27 | 0.06 | 46% | 35% | 19% |
| top 90 | 8.1 | 1.02 | 0.22 | 0.42 | 0.64 | 0.39 | 21% | 41% | 38% |
| top 60 | 10.5 | 1.19 | 0.22 | 0.46 | 0.67 | 0.52 | 18% | 39% | 43% |
| top 30 | 15.6 | 1.64 | 0.21 | 0.55 | 0.76 | 0.88 | 13% | 34% | 53% |
| top 20 | 18.5 | 1.88 | 0.22 | 0.65 | 0.87 | 1.01 | 12% | 34% | 54% |
| top 10 | 23.3 | 2.08 | 0.23 | 0.75 | 0.97 | 1.11 | 11% | 36% | 53% |
| P>=10 | 16.5 | 1.67 | 0.21 | 0.56 | 0.77 | 0.90 | 13% | 33% | 54% |
| P>=20 | 36.0 | 1.92 | 0.27 | 0.43 | 0.70 | 1.22 | 14% | 22% | 63% |
| P>=30 | 40.9 | 2.58 | 0.29 | 0.58 | 0.87 | 1.71 | 11% | 23% | 66% |

Tabelle 4- 20: Abflüsse nach Trockenperioden und Abflussanteile¹⁴

In absoluten Zahlen sind alle Abflusskomponenten kleiner geworden, am größten ist die Differenz beim direkten Abfluss.

Betrachtet man nur die Abflussaufteilung, so stellt man fest, dass der Anteil an direkten, schnellen Abflusskomponenten nach Trockenperioden wesentlich geringer war. Auch bei großen Ereignissen erfolgt der Abfluss größtenteils unterirdisch.

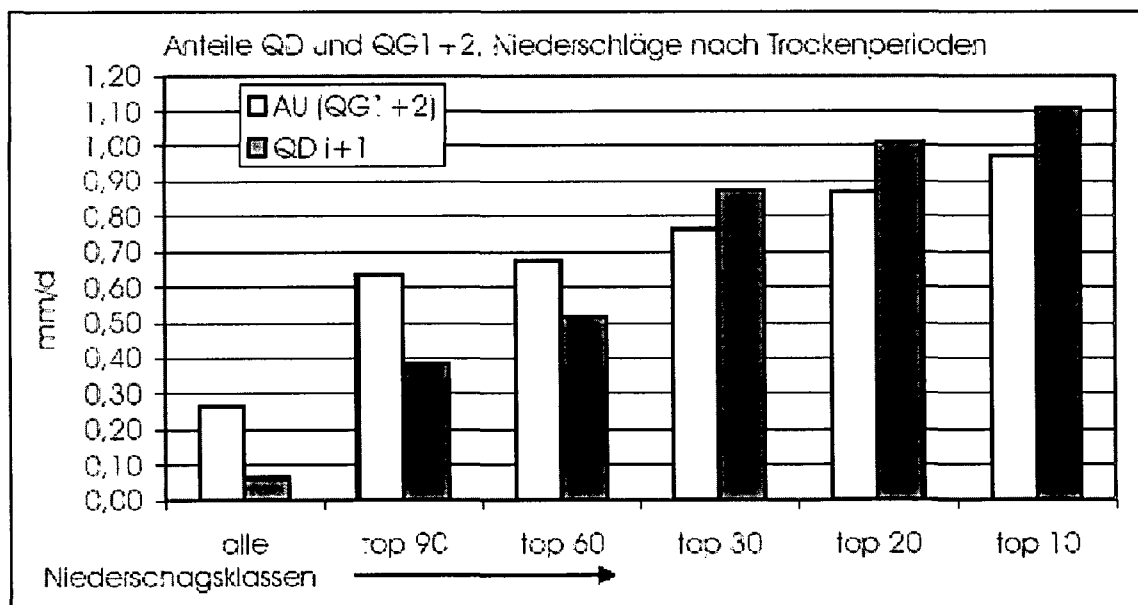


Abbildung 4- 78: Abflüsse zufolge Niederschlagsereignissen nach Trockenperioden

Ein schneller, oberirdischer Abfluss durch Infiltrationsschwierigkeiten nach langer Trockenheit konnte nicht festgestellt werden.

In Abbildung 4- 79 kann man die Anteile des Abflusses nach Trockenheit, geordnet nach Niederschlagsklassen erkennen. Das Tortendiagramm „Krenstetten alle“, links

¹⁴ Gerechnet wurde wieder mit den Abflüssen am Tag nach den Niederschlagsereignis, also Abflüssen, welche relativ zum Niederschlag mit 17 Stunden Verzögerung auftreten.

oben, zeigt die Abflussanteile aller Niederschlagsereignisse nach Trockenheit. Die langsamen Komponenten nehmen nach einer Trockenperiode einen viel größeren Anteil ein als ohne. Vergleicht man dieses Diagramm mit dem aus Abbildung 4- 76, der Abflussverteilung verschiedener Niederschlagsklassen des gesamten Zeitraumes, also ohne vorherige Trockenperiode, so erkennt man, dass der Anteil des langsamen Grundwassers statt 20% nun 46% beträgt, während der Anteil des Direktabflusses statt mittleren 33% nach einer Trockenperiode nur 19% beträgt. Die Trockenperiode bewirkt also eine Verschiebung der Abflussanteile zugunsten der langsamen Komponenten, der Anteil des langsamen Grundwassers beträgt nun das 2,3-fache.

Man sieht, dass mit steigenden Niederschlagshöhen der direkte Anteil von 19% auf 53% ansteigt, während der Anteil des langsamen Grundwassers von 46% auf 11% abnimmt. In den Niederschlagsklassen top 30 bis top 10 sind keine wesentlichen Veränderungen in der Abflussaufteilung mehr zu beobachten.

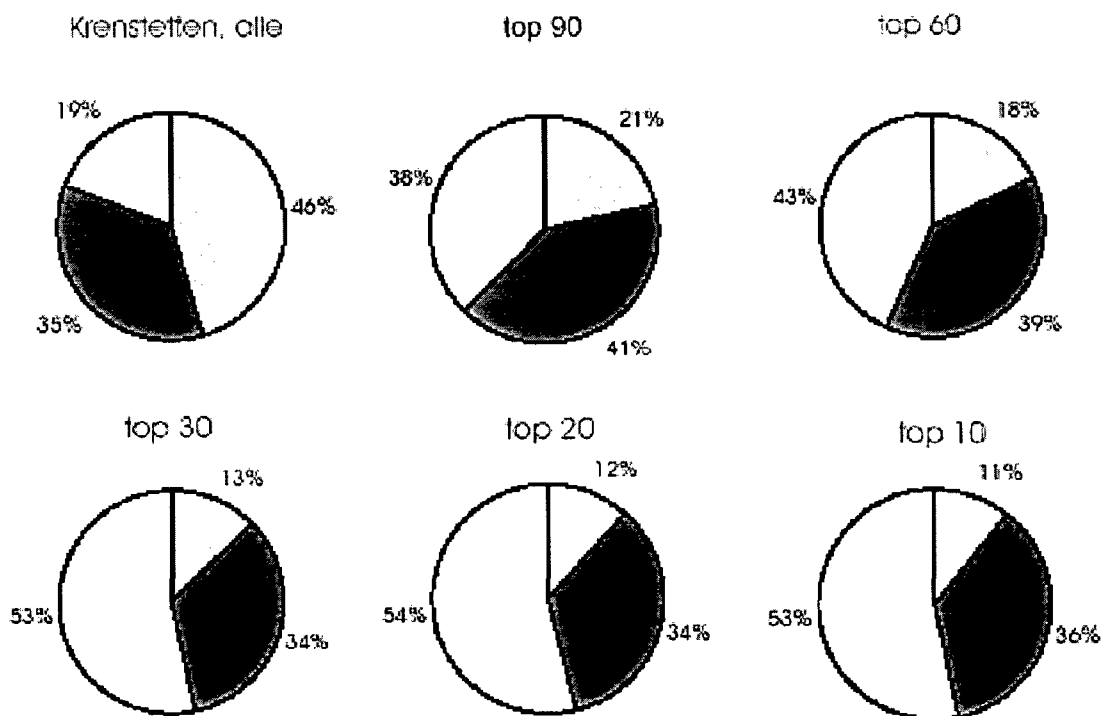


Abbildung 4- 79: Abflussanteile zufolge Niederschlag nach Trockenperiode

Ein Niederschlag nach einer Trockenperiode ist für Erosionsprozesse wesentlich weniger wirksam, als ein Niederschlag in einem feuchteren Einzugsgebiet. Große Teile des Niederschlages werden im Einzugsgebiet zurückgehalten, die Abflussprozesse werden langsamer. Der Anteil des schnell abfließenden Niederschlages wird wesentlich geringer, der Anteil an langsamen unterirdischen Komponenten größer. Wie die Erosionsgefährdung durch eine stärkere Vorbefeuchtung steigt, soll im folgenden untersucht werden.

4.6.3.2 Starkregenereignisse nach Vorbefeuchtung

Das Einzugsgebiet wird als „feucht“ definiert, wenn der Niederschlag in der letzten Woche vor dem Niederschlagsereignis mehr als 10 mm betrug. Dieser Niederschlag in diesem Zeitraum musste also mindestens der Verdunstung entsprechen (10 mm/Woche ergeben eine jährliche Verdunstung von 520 mm).

Die zweite Berechnung erfolgte mit einer Niederschlagshöhe von mindestens 20 mm in einem Zeitraum von 3 Tagen. Dieser Niederschlag führt zu einer Speicherfüllung, einer Sättigung des Einzugsgebietes oder trägt selbst zu Abflussprozessen bei und kann nicht mehr verdunsten.

Tabelle 4- 21 zeigt die Abflusshöhen und die Abflussanteile der einzelnen Niederschlagsklassen nach Vorbefeuchtung für den Pegel Krenstetten.

Der Gesamtabfluss steigt, die schnellen Abflussanteile steigen überproportional.

Im Mittel über alle Niederschlagsklassen ergibt sich nach Vorbefeuchtung ein Ansteigen des Gesamtabflusses von durchschnittlichen 1,21 mm/d auf durchschnittliche 1,5 mm/d. Die schnellen Abflusskomponenten QG1 und der Direktabfluss QD steigen dabei am meisten an, der Direktabfluss von 0,39 mm/d auf 0,53 mm/d, der schnelle Grundwasserabfluss QG1 von 0,57 mm/d auf 0,71 mm/d nach Vorbefeuchtung. Der langsame Grundwasserabfluss bleibt in etwa gleich. Die Abflüsse steigen vor allem im Starkniederschlagsbereich, in den Kategorien P>20 mm/d und 30 mm/d.

| Krenstetten | P | Q | QG2 | QG1 | AU (QG1+2) | QD | QG2 | QG1 | QD |
|-------------|--------|--------|--------|--------|------------|--------|-----|-----|-----|
| | [mm/d] | [mm/d] | [mm/d] | [mm/d] | [mm/d] | [mm/d] | | | |
| alle | 3,0 | 1,5 | 0,26 | 0,71 | 0,97 | 0,53 | 17% | 47% | 35% |
| top 90 | 20,7 | 5,0 | 0,28 | 1,07 | 1,35 | 3,65 | 6% | 21% | 73% |
| top 60 | 24,3 | 6,1 | 0,27 | 1,01 | 1,29 | 4,82 | 4% | 17% | 79% |
| top 30 | 30,1 | 8,5 | 0,27 | 1,11 | 1,38 | 7,13 | 3% | 13% | 84% |
| top 20 | 33,0 | 10,2 | 0,29 | 1,06 | 1,35 | 8,81 | 3% | 10% | 87% |
| top 10 | 37,5 | 15,1 | 0,31 | 1,29 | 1,60 | 13,51 | 2% | 9% | 89% |
| P> 10 | 18,6 | 4,5 | 0,28 | 1,06 | 1,35 | 3,13 | 6% | 24% | 70% |
| P> 20 | 29,0 | 8,0 | 0,27 | 1,14 | 1,41 | 6,59 | 3% | 14% | 82% |
| P> 30 | 36,8 | 15,3 | 0,32 | 1,32 | 1,65 | 13,65 | 2% | 9% | 89% |

Tabelle 4- 21: Abfluss und Abflussanteile nach Vorbefeuchtung, Krenstetten

In Abbildung 4- 80 sieht man die Abflussverteilung für die einzelnen Niederschlagsklassen. Die mittleren Abflussanteile unterscheiden sich kaum von den Abflussanteilen ohne Vorbefeuchtung (Abbildung 4- 76). Der direkte Abfluss wird geringfügig mehr.

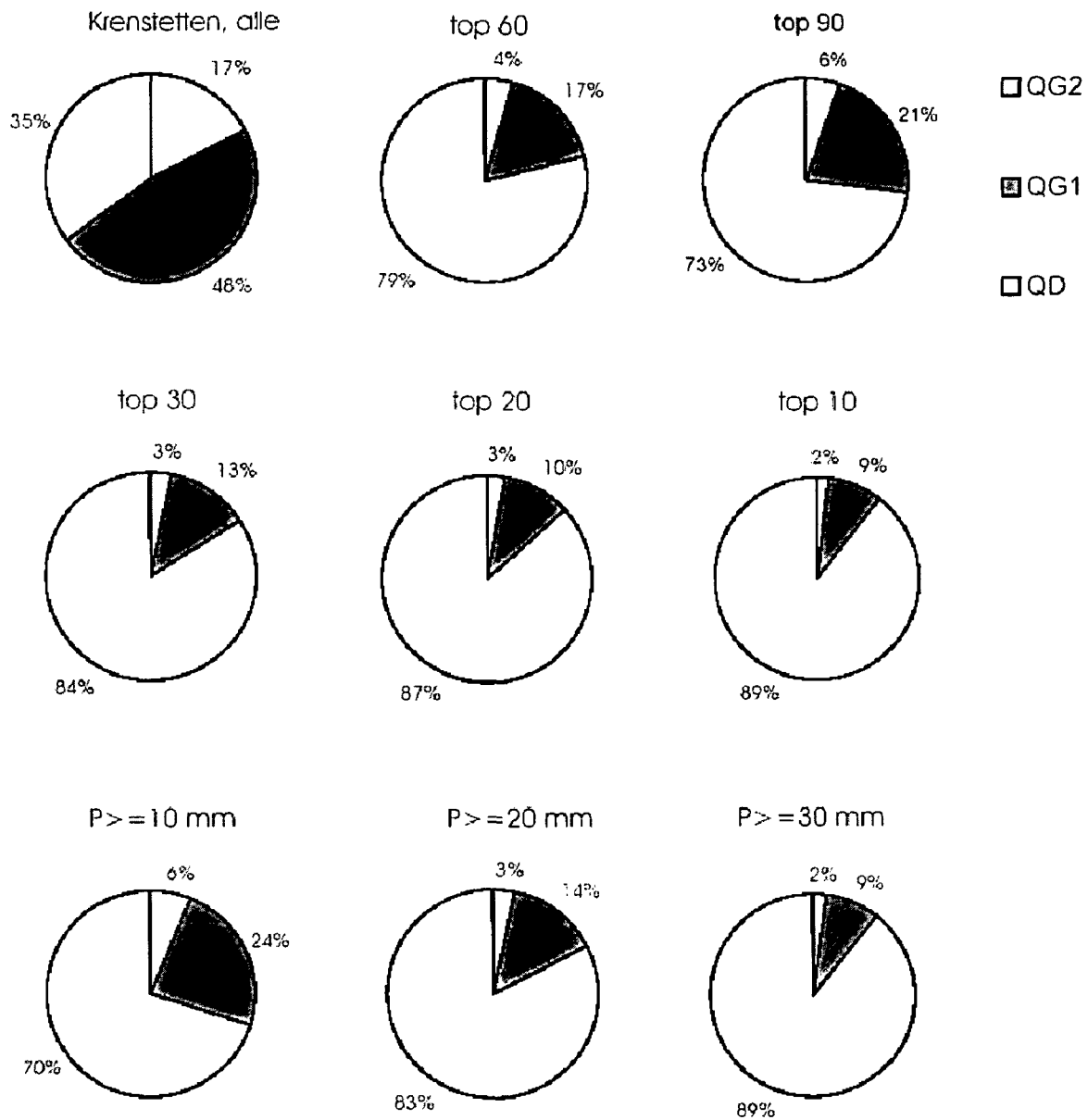


Abbildung 4- 80: Abflussverteilung bei Niederschlag nach Vorbefeuchtung

Auch bei einer größeren Vorbefeuchtung mit mehr als 20 mm in 3 Tagen ergeben sich keine wesentlichen Unterschiede.

Je feuchter das Einzugsgebiet ist, desto schneller erfolgen die Abflussreaktionen. Für Starkregenereignisse mit mehr als 30 mm Niederschlag ergeben sich im Mittel über alle Ereignisse am ersten Tag 78% Direktabfluss, am zweiten Tag („i+1“) 88% Direktabfluss. Dieser Unterschied wird in einem feuchten Einzugsgebiet kleiner. Bei Niederschlagshöhen größer als 20 mm in 3 Tagen ergibt sich für die Kategorie $P > 30\text{mm}$ für den Tag i ein Direktabfluss von 88% und für den Tag i+1 ein Anteil von 90%.

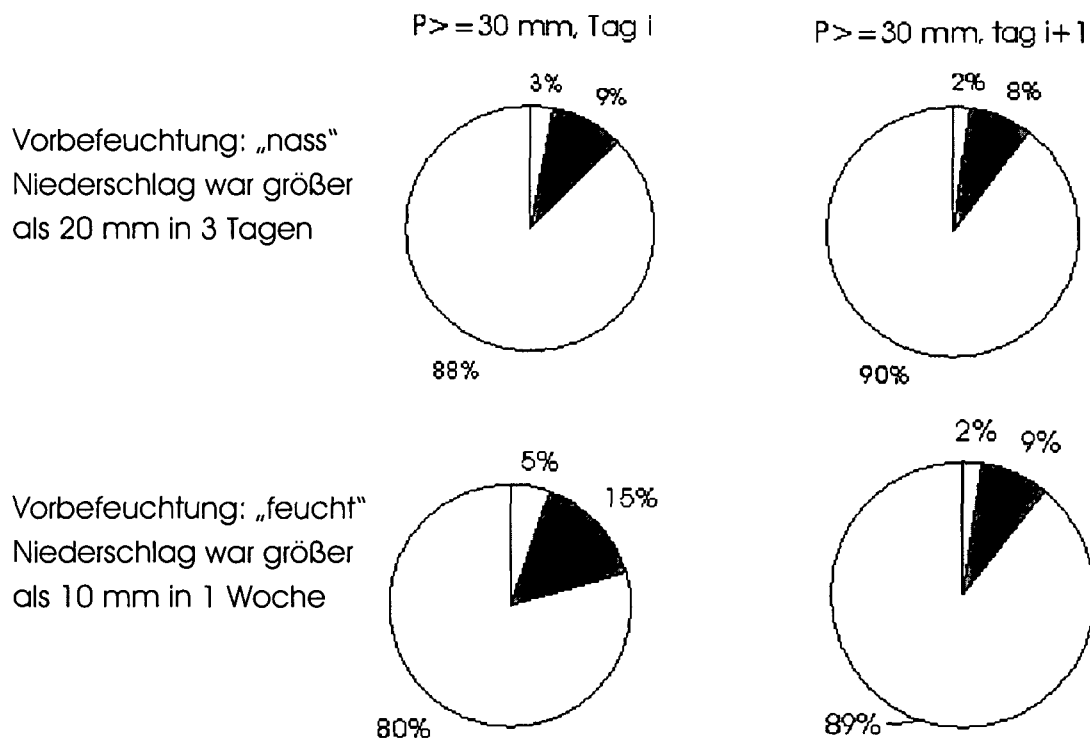


Abbildung 4- 81: Abflussanteile nassen (oben) und im feuchten (unten) Einzugsgebiet, Tag i und i+1

Vergleicht man die Abflusshöhen der Tage i und i+1 für die Verschiedenen Vorbefeuchungsklassen, wie in Abbildung 4- 82 geschehen, so sieht man dass im nassen Einzugsgebiet die Abflussprozesse schneller ablaufen und eine Überlagerung der Abflusswellen eintritt.

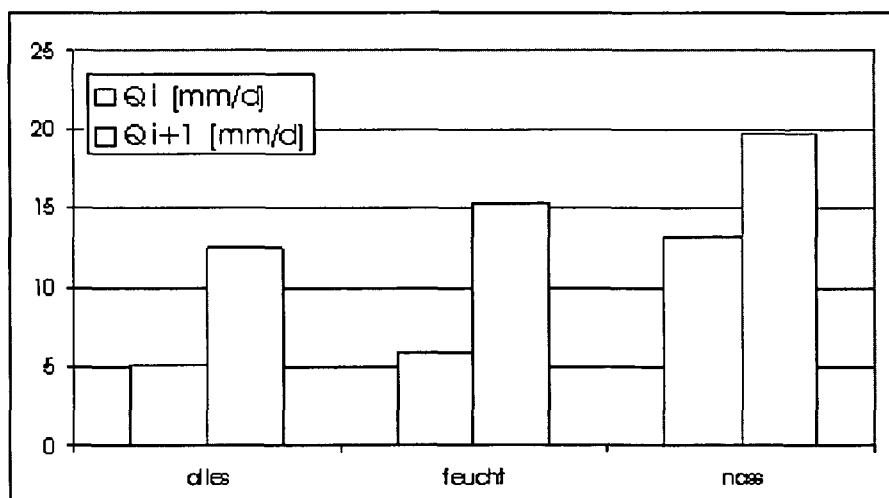


Abbildung 4- 82: Abflüsse am Tag i und i+1 bei verschiedener Vorbefeuchung für die Niederschlagsklasse $P > 30$ mm

4.6.4 Gebietsspezifische Einflussfaktoren – Vergleich der Einzugsgebiete

Die Einzugsgebiete der Wulka und der Ybbs sollen anhand der Niederschlagsklasse „top 30“, also der 30 höchsten Niederschlagsereignisse im Untersuchungszeitraum, verglichen werden. Der Anteil der Starkregenereignisse und deren Abflussreaktionen am gesamten Jahresniederschlag und am Jahresabfluss der Teileinzugsgebiete wird exemplarisch für diese Niederschlagsklasse vorgestellt. Um den Einfluss durch des unterschiedlichen Auftretens der Niederschlagsereignisse innerhalb des Tages, den Einfluss der zeitlichen Verzögerung beim Abfluss, bzw. den Einfluss falscher oder nicht repräsentativer Niederschlagsdaten zu umgehen, soll die Untersuchung der Abflüsse mit den Top 30 Werten der Abflüsse erfolgen. Die Ergebnisse der Auswertungen finden sich in Tabelle 4- 22, Tabelle 4- 24 und Tabelle 4- 25.

Im Einzugsgebiet der Wulka betragen demnach die Tagesanteile eines „Einzelereignisses“¹⁵ 3,9 bis 4,3 % des gesamten Jahresniederschlages, aufsummiert ergibt das einen Anteil von 19-22% des Jahresniederschlages für die durchschnittlich 5 Niederschlagsereignisse dieser Kategorie pro Jahr.

Im Ybbstal ist der Anteil dieser Niederschlagsklasse am Gesamtniederschlag etwas kleiner. Bei einem Einzelereignis fallen durchschnittlich 2,6 bis 3,1% des Jahresniederschlages, der Anteil dieser Niederschlagsklasse im Jahr liegt zwischen 13% und 17%.

| TOP 30 Ereignisse | P (top30) | P (Mittel) | mittleres top 30P-Ereignis | |
|-------------------|-----------|------------|----------------------------|------------------|
| | [mm/d] | [mm/d] | Tagesanteil [%] | Jahresanteil [%] |
| Walbersdorf | 36,1 | 2,3 | 4,3% | 22% |
| Wulkaprodersdorf | 33,5 | 2,4 | 3,9% | 19% |
| Nodbach | 28,5 | 1,8 | 4,3% | 21% |
| Schützen | 29,4 | 1,9 | 4,3% | 22% |
| Lunz | 54,4 | 5,6 | 2,6% | 13% |
| Opponitz | 54 | 4,9 | 3,0% | 15% |
| Krenstetten | 32 | 2,6 | 3,4% | 17% |
| Greimpersdorf | 45,3 | 4,0 | 3,1% | 15% |

Tabelle 4- 22: Anteile der Starkregenereignisse am Jahresniederschlag

An einem Durchschnittstag beträgt der Anteil 1/365 (0,27%) des Jahreswertes. Der Niederschlag an den durchschnittlich 5 niederschlagsreichsten Tagen beträgt also im Ybbstal das 11-fache und im Wulkatal das 15-fache des Durchschnittswertes.

¹⁵ Gemeint ist ein mittleres Einzelereignis, also der Durchschnittswert der 30 größten Niederschlagsereignisse im Zeitraum 1992-97.

| TOP 30 Ereignisse | Anzahl Ereignisse | Mittelwert |
|-------------------|-------------------|--------------|
| Pegel | mit P > 30mm | über |
| Walbersdorf | 24 | 1 Station |
| Wulkaprodersdorf | 20 | 6 Stationen |
| Nodbach | 9 | 2 Stationen |
| Schützen | 12 | 10 Stationen |
| Lunz | 68 | 2 Stationen |
| Opponitz | 54 | 8 Stationen |
| Krenstetten | 14 | 1 Station |
| Greimpersdorf | 38 | 14 Stationen |

Tabelle 4- 23: Anzahl der Ereignisse über 30 mm, Anzahl der Messstationen

Die Einzugsgebiete Ybbs und Wulka haben sehr unterschiedliche Niederschlagscharakteristiken, im Ybbstal sind die Niederschlagshöhen wesentlich höher, aber auch innerhalb der Einzugsgebiete gibt es große Unterschiede, wie man in Tabelle 4- 23 erkennen kann. Hier ist die Anzahl der großen Niederschlagsereignisse mit mehr als 30 mm am Tag angegeben.

Im alpinen Teil des Ybbstales, also in Lunz und Opponitz ist der Niederschlag am höchsten, extreme Tagesniederschläge über 30 mm treten oft auf. Im flachen Einzugsgebiet Krenstetten ist der Niederschlag gering. Die Niederschläge der Gesamtgebiete (hier „brutto“, also inkl. Teileinzugsgebiete angegeben) sind Mittelwerte aller Niederschlagsstationen, die im Einzugsgebiet oder unmittelbar daneben liegen, sie müssen aufgrund der Mittelwertbildung aus vielen Stationen etwas geringer sein als bei Einzelstationen.

Auch im Wulkatal treten die großen Niederschläge in den oberen Teilgebieten Wulkaprodersdorf und Walbersdorf deutlich öfter auf als in den unteren Teileinzugsgebieten (Pegel St. Margarethen/Nodbach).

| TOP QD 30 | Q (top 30 Q) | Q (Mittel) | mittleres top 30 QD-Ereignis | |
|------------------|--------------|------------|------------------------------|------------------|
| | [mm/d] | [mm/d] | Tagesanteil [%] | Jahresanteil [%] |
| Walbersdorf | 1,9 | 0,3 | 1,6% | 8% |
| Wulkaprodersdorf | 1,5 | 0,2 | 1,7% | 9% |
| Nodbach | 2,1 | 0,2 | 2,9% | 14% |
| Schützen | 2,1 | 0,2 | 2,7% | 14% |
| Lunz | 38,2 | 5,3 | 2,0% | 10% |
| Opponitz | 24,5 | 3,4 | 2,0% | 10% |
| Krenstetten | 12,2 | 1,4 | 2,4% | 12% |
| Greimpersdorf | 18,8 | 2,5 | 2,1% | 10% |

Tabelle 4- 24: Anteile der größten Abflüsse am Jahresabfluss

In Tabelle 4- 24 sind die Ereignisse mit den größten Abflüssen dargestellt und deren durchschnittlicher Anteil am Gesamtabflussgeschehen angegeben, Tabelle 4- 25 beinhaltet die größten Direktabflüsse der Einzugsgebiete und ihren (mittleren) Anteil am Jahresabfluss. Bei den Abfluss des Pegels Schützen handelt es sich um einen von Kläranlagen bereinigten Abfluss.

In dieser Ereigniskategorie fließen an den durchschnittlich 5 abflussreichsten Tagen im Jahr 8 bis 14% des gesamten Jahresabflusses ab. Der relative Anteil schwankt im Einzugsgebiet der Wulka mit 8-14% stärker, als an der Ybbs mit 10-12%. Betrachtet man die absoluten Zahlen, so sind die Abflüsse in den Teileinzugsgebieten der Wulka sich ähnlicher, sie liegen zwischen 1,5 und 2,1mm/Tag, der Unterschied beträgt also nur etwa 0,6 mm, an der Ybbs beträgt der Unterschied in den Abflüssen zwischen Krenstetten mit 12,2 mm/Tag und Lunz mit 38,2 mm/Tag immerhin 26 mm/Tag.

Dieser Unterschied beruht nicht auf den unterschiedlichen Niederschlagshöhen allein, der Unterschied in den Niederschlägen ist in den Teilgebieten des Ybbstales zwar etwas größer als im Wulkatal und die Gesamtniederschläge betragen etwa das doppelte. Der Unterschied in den Abflüssen der Top30-Ereignisse von zwischen Wulka (1,9 mm/Tag) und Ybbstal (23,4 mm/Tag), also durchschnittlich Faktor 12,3, ist damit nicht zu erklären. In den oberen Einzugsgebiet ist der Unterschied noch größer.

Der Anteil eines einzelnen abflussreichen Tages liegt beim Direktabfluss zwischen 6,2 und 8,5% im Einzugsgebiet der Wulka sind das zwischen 35 und 43% der Gesamtjahresfracht dieses Abflussanteiles an (durchschnittlich) 5 Tagen.

An der Ybbs treten große Niederschlagsereignisse deutlich häufiger auf als an der Wulka, wie man auch aus Tabelle 4- 23 sehen kann. Im Einzugsgebiet der Ybbs liegen die Anteile eines einzelnen abflussreichen Tages zwischen 5,3 und 7,2%, was in Summe durchschnittlich ca. 30% des Jahresabflusses ausmacht.

Die Anteile des Direktabflusses einzelner Ereignisse am gesamten Direktabfluss sind sehr groß. Bei den Gesamtabflüssen ist dieser Anteil sehr viel geringer.

| TOP QD 30 | QD (top 30) | QD (Mittel) | mittleres top 30 -Ereignis | |
|------------------|-------------|-------------|----------------------------|------------------|
| | [mm/d] | [mm/d] | Tagesanteil [%] | Jahresanteil [%] |
| Walbersdorf | 1,36 | 0,06 | 6,2% | 31% |
| Wulkaprodersdorf | 1,12 | 0,04 | 6,9% | 35% |
| Nodbach | 1,71 | 0,06 | 8,5% | 43% |
| Schützen | 1,48 | 0,05 | 7,9% | 40% |
| Lunz | 31,20 | 1,60 | 5,3% | 27% |
| Opponitz | 20,12 | 1,03 | 5,3% | 27% |
| Krenstetten | 10,30 | 0,39 | 7,2% | 36% |
| Greimpersdorf | 14,91 | 0,71 | 5,7% | 29% |

Tabelle 4- 25: Anteile der größten Direktabflüsse an der Jahresfracht

Bei Einzelereignissen ohne Mittelwertbildung ergeben sich zufolge abflussverschärfender Bedingungen (z.B. Verhinderung des Eindringens des Wassers in den Untergrund bei gefrorenem Boden) oder abflussdämpfender Bedingungen (z.B. bei geringer Vorbefeuchtung und hoher Speicherfähigkeit des Bodens) in dem jeweiligen Zeitraum wesentlich größere Unterschiede.

Man sieht, dass die schnellen Abflusskomponenten bei Starkregenereignissen einen sehr großen Anteil an der Jahresfracht des Direktabflusses haben und daher auch zu einem sehr wesentlichen Teil zu den jährlichen Erosionsfrachten beitragen, was man auch an den untersuchten Einzelereignissen sehen konnte (Kapitel 4.6.2.6, Tabelle 4- 18 u.a.). Die Höhe des Abflusses hängt dabei nicht nur von der Niederschlags- höhe ab.

4.6.4.1 Vergleich der unterirdischen Abflüsse in den Einzugsgebieten

Nachfolgende Tabelle 4- 26 zeigt die unterirdischen Abflusshöhen in mm/d für die 30 größten Niederschlagsereignisse im Untersuchungszeitraum¹⁶.

| TOP 30 Ereignisse | QG2 (top 30) [mm/d] | QG1 (top 30) [mm/d] | QG1+2 (top 30) [mm/d] |
|----------------------|------------------------|------------------------|---------------------------|
| Walbersdorf | 0,15 | 0,32 | 0,47 |
| Wulkaprodersdorf | 0,14 | 0,09 | 0,23 |
| Nodbach | 0,05 | 0,16 | 0,21 |
| Schützen | 0,04 | 0,15 | 0,19 |
| Lunz | 1,5 | 3,4 | 4,9 |
| Opponitz | 1,2 | 1,8 | 3,0 |
| Krenstetten | 0,3 | 0,7 | 1,0 |
| Greimpersdorf netto | 0,5 | 2,2 | 2,9 |
| Greimpersdorf brutto | 0,8 | 1,8 | 2,7 |

Tabelle 4- 26: unterirdische Abflüsse in den Teileinzugsgebieten

Die in Tabelle 4- 26 angegebenen Werte sind aber noch wenig aussagekräftig, aus den Untersuchungen zur Bodenfeuchte konnte man sehen, dass auch bei den unterirdischen Abflussanteilen noch große Unterschiede vorliegen können. Diese Werte bilden Mittelwerte der 30 größten täglichen Starkregenereignisse ohne Berücksichtigung auf die Vorbedingungen (trockenes oder feuchtes Einzugsgebiet, Grad der Speicherfüllung). Um den Aspekt der Vorbefeuchtung (Speicherung des Niederschlages durch eine Erhöhung der Bodenfeuchte) auszuklammern, sollen nur Perioden betrachtet werden, in denen die Einzugsgebiete weitgehend gesättigt

¹⁶ Bei den angegebenen Werten der Abflusskomponenten handelt es sich um die Werte Q_i , sie sind am Tag Q_{i+1} nur unwesentlich größer.

sind. Dazu wurden die Tage mit den größten Direktabflüssen ausgewählt. Hier ist anzunehmen, dass es aufgrund der hohen Bodenfeuchte bzw. Sättigung des Bodens zu den hohen Direktabflüssen kommt. Es ergeben sich für den maximalen unterirdischen Abfluss höhere Werte.

| TOP QD 30 | QG1 top30 | QG2 top30 | Au top 30 | Au mittel | Au max |
|----------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|------------|
| Pegel | [mm/d] | [mm/d] | [mm/d] | [mm/d] | Anteil [%] |
| Walbersdorf | 0,15 | 0,37 | 0,53 | 0,26 | 202% |
| Wulkaprodersd. | 0,18 | 0,18 | 0,35 | 0,19 | 187% |
| Nodbach | 0,06 | 0,29 | 0,35 | 0,14 | 245% |
| Schützen | 0,06 | 0,50 | 0,56 | 0,16 | 363% |
| Lunz | 1,62 | 5,29 | 6,91 | 3,65 | 190% |
| Opponitz | 1,39 | 3,01 | 4,40 | 2,35 | 188% |
| Krenstetten | 0,35 | 1,58 | 1,94 | 1,03 | 188% |
| Greimpersdorf netto | 0,42 | 3,62 | 4,04 | 1,38 | 293% |
| Greimpersdorf brutto | 0,85 | 3,06 | 3,91 | 1,77 | 221% |

Tabelle 4- 27: unterirdische Abflüsse in den Teileinzugsgebieten top 30 QD (gesättigter Boden)

Abbildung 4- 83 zeigt die „maximalen unterirdischen Abflüsse“ der Teileinzugsgebiete für die Tage mit den größten Abflüssen¹⁷, von denen eine hohe Vorbefeuchtung angenommen wird, im Vergleich zu deren Mittelwerten. Der erste Balken zeigt die maximalen unterirdischen Abflüsse, der zweite stellt den Mittelwert der unterirdischen Abflüsse dar. Der maximale unterirdische Abfluss ist also etwa doppelt so groß, das Verhältnis schwankt aber zwischen den Einzugsgebieten. Die Abflüsse der Gesamteinzugsgebiete enthalten die Abflüsse der Teileinzugsgebiete.

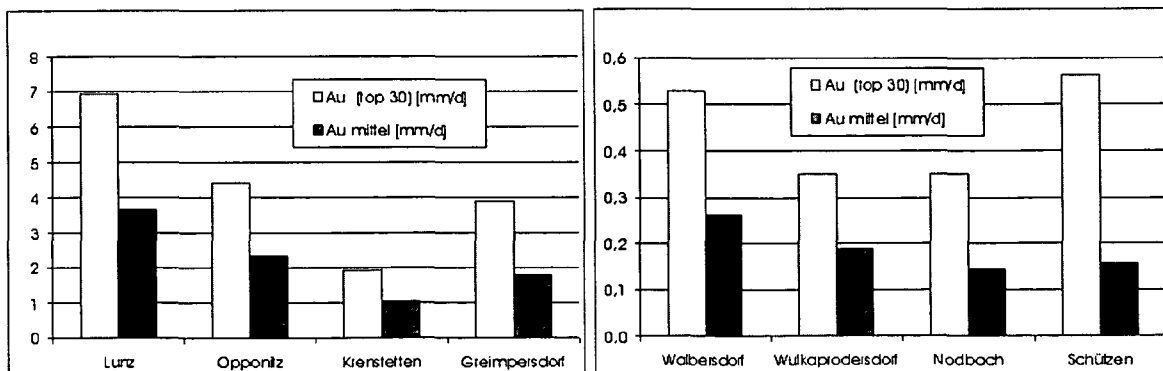


Abbildung 4- 83: unterirdische Abflüsse „Au“ und „Au max“ in den Teileinzugsgebieten, (gesättigter Boden)

¹⁷ Die größten Direktabflüsse und die größten Gesamtabflüsse treten zeitgleich auf.

4.6.4.2 Vergleich der Teileinzugsgebiete im Ybbstal

Bei allen Pegeln steigt der Anteil des Direktabflusses mit zunehmendem Niederschlag. Am stärksten steigt dieser Anteil in Krenstetten. Bei dem größten Starkregenereignissen („top 30“) hat demnach Lunz mit 65% den kleinsten, Krenstetten mit 76% den größten Anteil an Direktabfluss.

Vermuten würde man aufgrund der Überlegungen in Kapitel 2.4.3., dass in dem alpinen, steilen Einzugsgebiet des oberen Ybbstaales die Abflussprozesse bei Starkregenereignissen wesentlich schneller erfolgen, als im flachen Urmtal mit dem Pegel Krenstetten. Das soll daher im Folgenden näher untersucht werden.

Vergleich der Teileinzugsgebiete Krenstetten und Opponitz

Im Einzugsgebiet von Opponitz ist der Niederschlag mit 1790 mm deutlich höher als in Krenstetten, wo der Niederschlag 938 mm/a beträgt¹⁸.

In Opponitz fließt mit 1230 mm der Großteil, nämlich 69% des Niederschlages ab. In Krenstetten ist die Verdunstung wesentlich größer (sowohl absolut als auch relativ), hier beträgt der Abfluss durchschnittlich 47% des Niederschlages, also 442 mm.

Die Aufteilung des Abflusses in seine Komponenten mittels Difga 2000 ergibt als Mittelwert über die betrachtete Datenreihe (1992-1997) für beide Pegel etwa den gleichen unterirdischen Anteil von knapp 70 %. Deutliche Unterschiede sieht man erst bei einer Differenzierung der Niederschlagsereignisse oder einer höheren zeitlichen Auflösung.

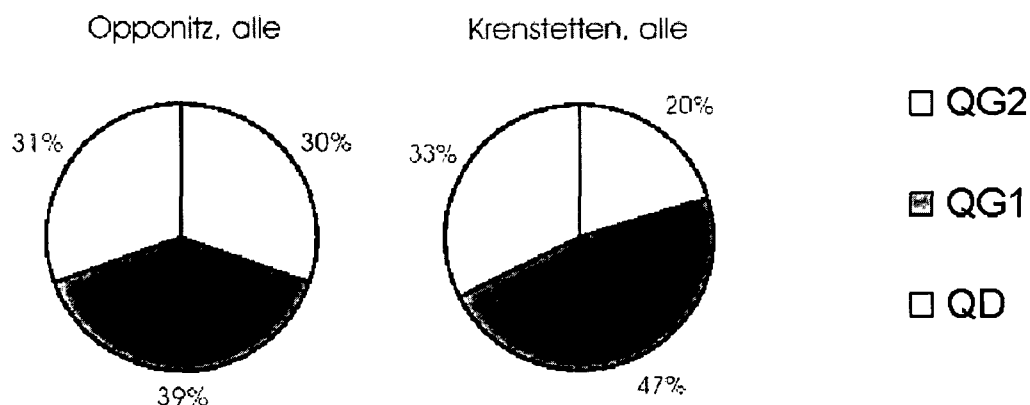


Abbildung 4- 84: Krenstetten und Opponitz

Betrachtet man die Dauerlinien der Einzugsgebiete (siehe Abbildung 4- 85 oben) für den Niederschlag und den Direktabfluss, so liegt die Dauerlinie von Opponitz in beiden Fällen deutlich über dem Pegel Krenstetten, sowohl Niederschlag als auch Direktabfluss sind deutlich größer. Die Form der Dauerlinien sind ähnlich. Die unteren

¹⁸ Diese Werte sind Mittelwerte aus den Jahren 1992 bis 1997, wobei die Niederschlagswerte für Lunz wahrscheinlich höher sind als der arithmetische Mittelwert der Messstationen.

Diagramme in Abbildung 4- 85 zeigen die Dauerlinien auf ihren Maximalwert skaliert. Der Niederschlag ist in Krenstetten etwas gleichmäßiger verteilt, der Direktabfluss hingegen weist weniger Werte im „Spitzenbereich“ auf als in Opponitz.

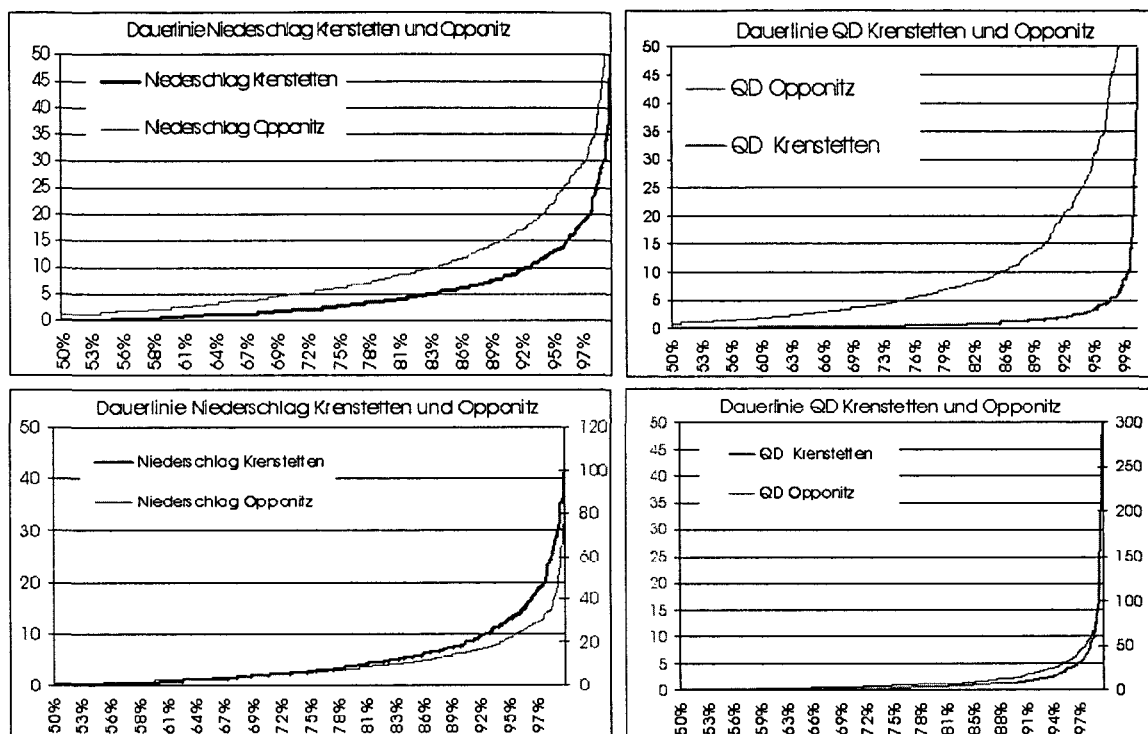


Abbildung 4- 85: Dauerlinien Krenstetten und Opponitz

Die Geschwindigkeit der Abflussreaktionen soll in Abbildung 4- 86 gezeigt werden, sie zeigt die Abflüsse zufolge eines Niederschlagsereignisses der Kategorie „top30“. Es sind die Abflüsse am Tag des Ereignisses und an den Folgetagen dargestellt. Zu beachten ist, dass die Hochachse auf den Maximalwert des Abflusses skaliert ist, welcher in Opponitz mehr als das doppelte von Krenstetten beträgt.

Überraschend ist, dass es bei diesen Starkregenereignissen in dem alpinen, steilen Einzugsgebiet des oberen Ybbstales mit dem Pegel Opponitz die Abflussprozesse langsamer als im Einzugsgebiet der Url erfolgen, dass offensichtlich mehr im Untergrund gespeichert werden kann.

In Krenstetten sinkt der Abfluss nach einem großen Niederschlagsereignis schneller ab, am Tag $i+4$ ist er schon nahe dem Mittelwert, während in Opponitz am 4. Tag nach dem Niederschlag der Abfluss noch immer das 2,4-fache des Durchschnittswertes beträgt, wobei auch der Direktabfluss noch weit über dem Mittelwert liegt.

Aus den Diagrammen und den zugehörigen Tabellen der Abbildung 4- 86 sieht man, dass in Opponitz die Dämpfung im Vergleich zu Krenstetten groß ist. Ursache für eine Verzögerung kann die Form des Einzugsgebietes und ein schnelles Eindringen in Klüfte und Spalten des Karstes sein. Im Einzugsgebiet Krenstetten kann der hohe Direktabfluss bei Starkregen auch an einem sehr gesättigtem Boden

liegen, wesentliche Teile des Niederschlages fließen über die Oberfläche oder evtl. vorhandene Drainagen ab. Eine leichte Dämpfung der Abflüsse in Opponitz erfolgt auch durch den im Einzugsgebiet vorhandenen Lunzer See.

Die Abflusshöhe und auch die Höhe des Direktabflusses ist, in absoluten Zahlen, aufgrund des größeren Niederschlages, in Opponitz wesentlich höher als in Krenstetten.

Bei gleicher Landnutzung in beiden Einzugsgebieten müsste die Erosion daher in Opponitz erheblich größer sein, als in Krenstetten.

| Top 30 Krenstetten | | | | | Top 30 Opponitz | | | | | | |
|--------------------|-----|-------|------|------|------------------|--------------|------|------|------|-----|-----|
| N | | Q | QG1 | QD | N | | Q | QG1 | QD | | |
| mm/d | | mm/d | mm/d | mm/d | mm/d | | mm/d | mm/d | mm/d | | |
| Durchschnitt | | 2,57 | 1,42 | 0,57 | 0,39 | Durchschnitt | | 4,9 | 3,4 | 1,3 | 1,0 |
| Niederschlag (l) | | 32,08 | | | Niederschlag (l) | | 53,5 | | | | |
| Tag | i | 4,14 | 0,72 | 3,14 | Tag | i | 10,6 | 1,8 | 7,6 | | |
| Tag | i+1 | 8,27 | 0,93 | 7,05 | Tag | i+1 | 19,6 | 2,6 | 15,7 | | |
| Tag | i+2 | 4,52 | 0,90 | 3,34 | Tag | i+2 | 11,9 | 2,5 | 8,1 | | |
| Tag | i+3 | 2,58 | 0,85 | 1,45 | Tag | i+3 | 9,4 | 2,4 | 5,8 | | |
| Tag | i+4 | 1,88 | 0,79 | 0,81 | Tag | i+4 | 8,1 | 2,2 | 4,6 | | |

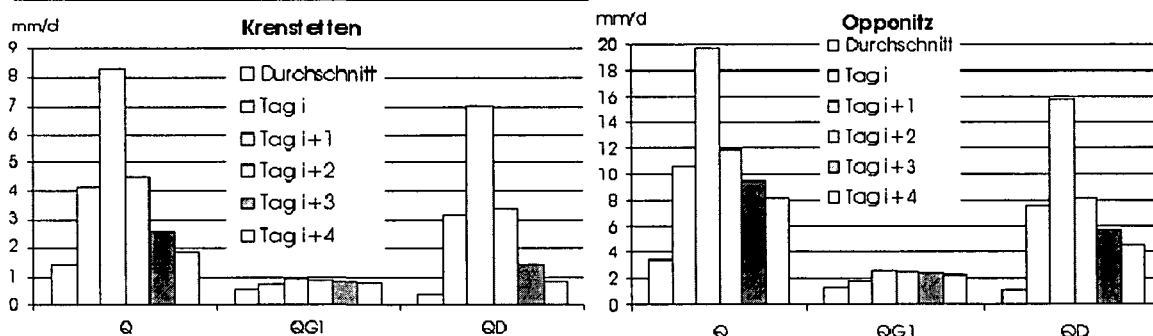


Abbildung 4- 86: Vergleich der Abflussprozesse in Krenstetten und Opponitz

Unterschiede im Abflussverhalten ergeben sich auch bei der Betrachtung der Abflussanteile. Der Anteil des direkten Abflusses erhöht sich in beiden Fällen mit dem Niederschlag; in Opponitz jedoch weniger stark als in dem Einzugsgebiet Krenstetten/Url.

Betrachtet man die niederschlagsreichen Tage, so stellt man fest, dass im Einzugsgebiet von Opponitz ein größerer Anteil unterirdisch abfließt, als in Krenstetten. Bei top 30-Ereignissen betragen QG1+QG2 in Opponitz 20% des Gesamtabflusses und in Krenstetten nur 14%.

In Abbildung 4- 87 sind die Abflussverteilungen in den niederschlagsreichsten 30 Tagen des Untersuchungszeitraumes dargestellt. Der Anteil des direkten Abflusses in diesen Tagen beträgt in Opponitz 80%, in Krenstetten 86%.

Opponitz top 30 Tag i+1

Krenstetten top 30 Tag i+1

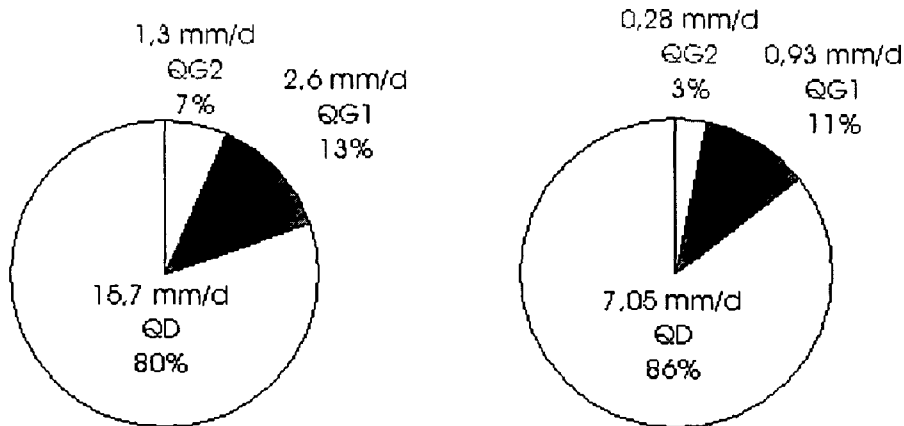


Abbildung 4- 87: Abflussverteilung bei Starkregen in den Teileinzugsgebieten Krenstetten und Opponitz (Angaben in mm/d, %; Jahre 1992-97)

Folgende Abbildungen und Tabellen zeigen den Vergleich der Abflussreaktionen zufolge Niederschlagsereignisse verschiedener Größe an den Pegeln Krenstetten/Url und Opponitz. In Abbildung 4- 88 sieht man, dass die Einzugsgebiete verschieden auf Niederschläge reagieren.

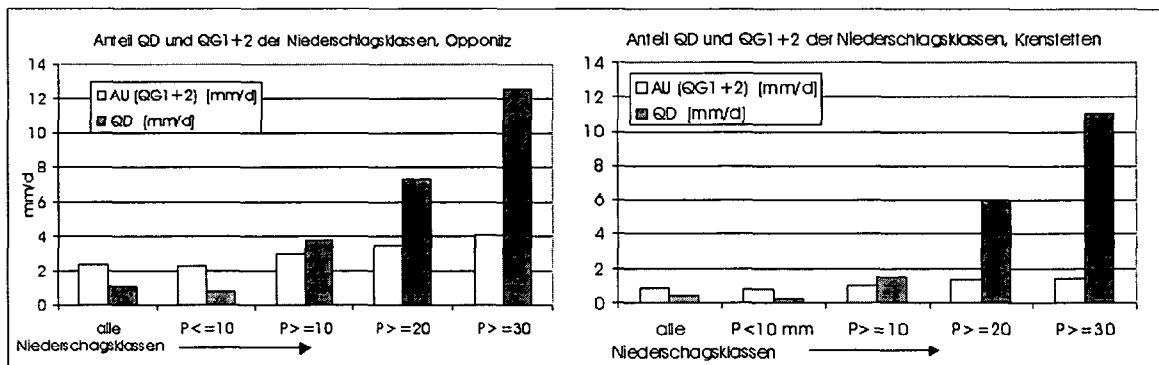


Abbildung 4- 88: Abflussaufteilung der verschiedenen Niederschlagsklassen

In Tabelle 4- 28 sind die zugehörigen Abflusshöhen in mm/d und die Aufteilung in Prozent angegeben. Bei einem mittleren Niederschlag von 4,9 mm pro Tag fließen in Opponitz durchschnittlich 3,4 mm pro Tag ab, in Krenstetten regnet es durchschnittlich 2,6 mm/Tag und es fließen 1,2 mm davon ab. Der durchschnittliche Abfluss ist also in Opponitz mehr als doppelt so hoch.

In den Niederschlagsklassen > 10, > 20, > 30 mm/Tag verringert sich der Unterschied im Abfluss zwischen den Einzugsgebieten. Der Abfluss in Krenstetten steigt stärker an als in Opponitz, in der Kategorie > 30mm/Tag beträgt der Gesamtabfluss in Opponitz 16,6 mm/Tag und in Krenstetten 12,5 mm/Tag. Dabei ist der unterirdische Abfluss in Opponitz mit durchschnittlichen 4 mm/Tag wesentlich größer als in Krenstetten, wo er nur knapp 1,5 mm/Tag beträgt.

| Opponitz | P | Q | QG2 | QG1 | AU (QG1+2) | QD | QG2 | QG1 | QD |
|----------|--------|--------|--------|--------|------------|--------|-----|-----|-----|
| | [mm/d] | [mm/d] | [mm/d] | [mm/d] | [mm/d] | [mm/d] | | | |
| P=0 | 0,0 | 14,4 | 5,8 | 6,0 | 11,84 | 2,5 | 40% | 42% | 18% |
| alle | 4,9 | 3,4 | 1,0 | 1,3 | 2,3 | 1,0 | 30% | 39% | 31% |
| P<=10 | 1,8 | 3,0 | 1,0 | 1,2 | 2,3 | 0,8 | 33% | 41% | 26% |
| P>=10 | 21,1 | 6,8 | 1,1 | 1,9 | 3,0 | 3,7 | 17% | 28% | 55% |
| P>=20 | 32,5 | 10,8 | 1,2 | 2,3 | 3,5 | 7,3 | 11% | 21% | 68% |
| P>=30 | 44,2 | 16,6 | 1,4 | 2,7 | 4,0 | 12,6 | 8% | 16% | 76% |

| Krenstetten | P | Q | QG2 | QG1 | AU (QG1+2) | QD | QG2 | QG1 | QD |
|-------------|--------|--------|--------|--------|------------|--------|-----|-----|-----|
| | [mm/d] | [mm/d] | [mm/d] | [mm/d] | [mm/d] | [mm/d] | | | |
| P=0 mm | 0,0 | 0,80 | 0,24 | 0,46 | 0,70 | 0,10 | 30% | 58% | 12% |
| alle | 2,6 | 1,21 | 0,25 | 0,57 | 0,82 | 0,39 | 20% | 47% | 33% |
| P<10 mm | 1,3 | 1,00 | 0,24 | 0,54 | 0,79 | 0,21 | 25% | 54% | 21% |
| P>=10 | 18,0 | 2,54 | 0,27 | 0,76 | 1,03 | 1,52 | 11% | 30% | 60% |
| P>=20 | 29,0 | 7,31 | 0,27 | 1,05 | 1,32 | 5,99 | 4% | 14% | 82% |
| P>=30 | 37,3 | 12,51 | 0,32 | 1,15 | 1,47 | 11,05 | 3% | 9% | 88% |

Tabelle 4- 28: Abflussanteile der verschiedenen Niederschlagsklassen

Speichersee

Vergleicht man die Pegel Lunz/See Zufluss (18,6 km²) mit dem Pegel Lunz/See Abfluss (24,8 km²), so kann man kaum eine Dämpfung durch den See feststellen. Die Abflüsse in Lunz/ Seebach (Seeabfluss) sind deutlich höher als am Pegel Lunz/Seehof (Zufluss), sowohl bei den Abflusssitzen als auch im Niederwasserbereich. Die Auslauflinien des Abflusses haben aber i.a. eine etwas geringere Neigung als die des Zuflusses.

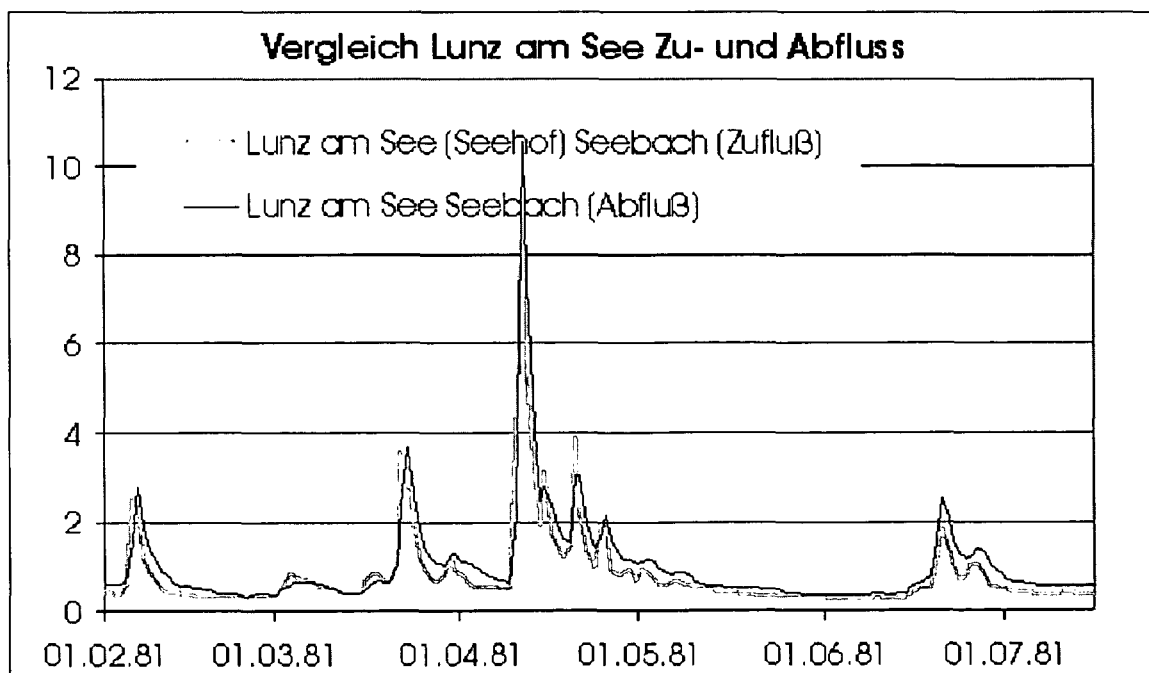


Abbildung 4- 89: Vergleich der Pegel Lunz/See Zufluss mit Lunz/See Abfluss

4.6.4.3 Vergleich der Teileinzugsgebiete im Wulkatal

Auch im Einzugsgebiet der Wulka steigen bei Starkniederschlägen die Anteile des direkten Abflusses. Die höchsten direkten Abflussanteile treten im Teileinzugsgebiet Nodbach auf, die niedrigsten in Walbersdorf. In Einzugsgebiet des Nodbaches, am Pegel Oslip betragen sie im Mittel 28% und steigen auf mittlere 88% (siehe Abbildung 4- 90) bei Niederschlägen über 30mm. Im oberen Wulkatal, am Pegel Walbersdorf beträgt der durchschnittliche Direktabfluss in den Jahren 1992-1997 19%, bei Niederschlägen über 30mm steigt dieser Anteil auf 63% (Abbildung 4- 91).

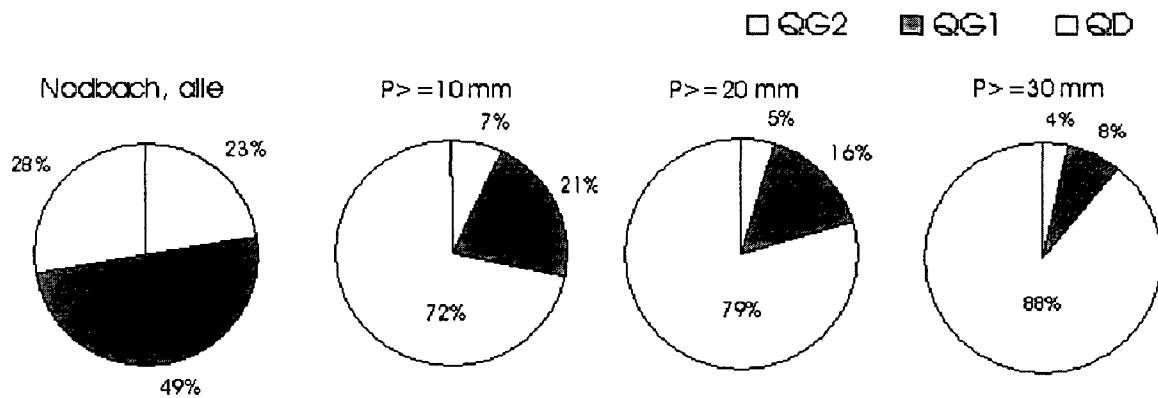


Abbildung 4- 90: Abflussanteile (Q_{i+1}) der Niederschlagsklassen in %, Nodbach

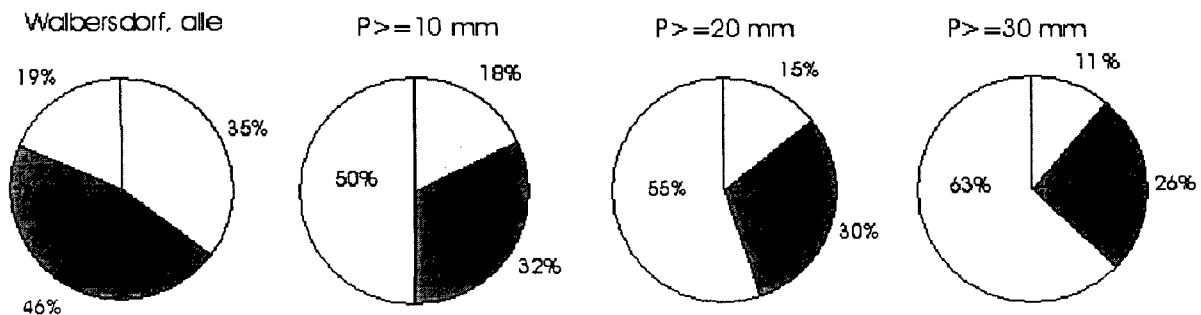


Abbildung 4- 91: Abflussanteile (Q_{i+1}) der Niederschlagsklassen, Walbersdorf

Der Nodbach ist mit 45 km² das kleinste, Walbersdorf mit 77 km² das zweitkleinste Einzugsgebiet im Wulkatal. Das im oberen Wulkatal gelegene Einzugsgebiet Walbersdorf ist zur Hälfte bewaldet das im unteren Wulkatal gelegene Einzugsgebiet des Nodbaches wird vor allem landwirtschaftlich genutzt. Die Einzugsgebiete besitzen verschiedene Bodentypen und unterscheiden sich auch in geologischer Hinsicht, wie man in Kapitel 4.3.5 (Tabelle 4-4) ansehen kann.

Vergleicht man die absoluten Höhen des Abflusses dieser zwei sehr unterschiedlichen Einzugsgebiete, siehe Abbildung 4- 92 und Tabelle 4- 29, so stellt man fest, dass in Walbersdorf im Mittel höhere Abflüsse herrschen. Auch der Niederschlag ist in dem höher gelegenen Einzugsgebiet mit 830 mm/Jahr größer als im Nodbach mit

660 mm/Jahr. Der mittlere Abfluss der Jahre 1992-97 beträgt in Walbersdorf 0,32 mm/d, also 116,8 mm im Jahr, am Pegel St. Margarethen/Nodbach beträgt der Abfluss hingegen nur 0,2 mm/Tag, also 73 mm/Jahr.

Bei steigendem Niederschlag steigt der Abfluss in Nodbach schneller an als in Walbersdorf, bei Niederschlägen über 10 mm ist der Abfluss in etwa gleich hoch, bei Starkregenereignissen ist der Abfluss im Einzugsgebiet des Nodbaches größer.

Bei Niederschlagsereignissen über 30 mm/Tag steigt der Abfluss in Walbersdorf auf 1,2 mm/Tag, in Nodbach auf 1,83 mm/Tag, wobei der Direktabfluss auf 0,75 mm pro Tag (Walbersdorf) und 1,63 mm/Tag (Nodbach) ansteigt.

Der unterirdische Abfluss (die Summe aus QG1 und QG2) bleibt in Walbersdorf in dieser Niederschlagsklasse mit 0,44 mm/Tag wesentlich größer als in Margarethen/Nodbach mit 0,2 mm/Tag.

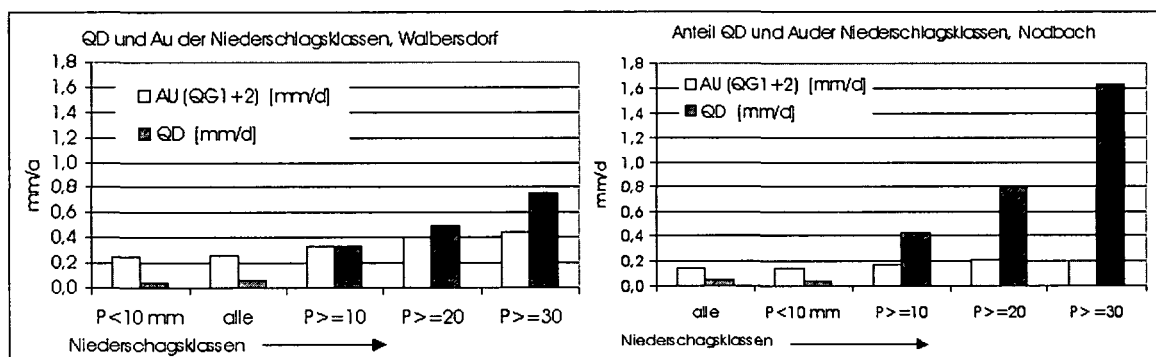


Abbildung 4- 92: Abflüsse der Niederschlagsklassen Walbersdorf und Nodbach

In Folgenden sollen die sehr ähnlichen Einzugsgebiete Walbersdorf (77 km²) und Wulkaprodersdorf (221km²) verglichen werden. Die Gesamtabflüsse liegen im Mittel bei 117 mm/a für Walbersdorf (0,32 mm/Tag) und 85mm/a in Wulkaprodersdorf (entspricht 0,23 mm/Tag) und steigen bei großen Niederschlagsereignissen in gleichem Ausmaß an (Abbildung 4- 93 und Tabelle 4- 29). Bei einem Niederschlag von N >= 30 mm beträgt der Abfluss in Walbersdorf im Mittel 1,2 mm/Tag, in Wulkaprodersdorf beträgt er 1,06 mm/a.

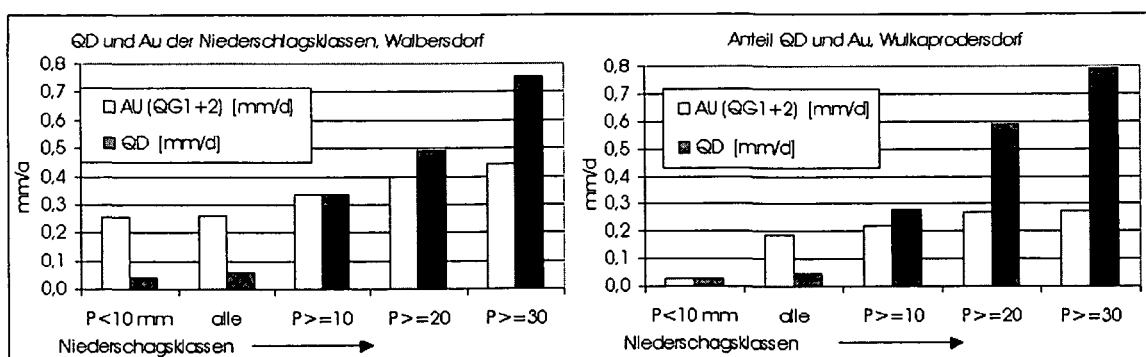


Abbildung 4- 93: Direkter und unterirdischer Abflussanteil geordnet nach Niederschlagsklassen, Walbersdorf, Wulkaprodersdorf

Der Anteil des unterirdischen Abflusses hingegen unterscheidet sich in den Einzugsgebieten stark; er ist in Walbersdorf mit 0,44 mm wesentlich höher, als in Wulkaprodersdorf mit 0,28mm/Tag.

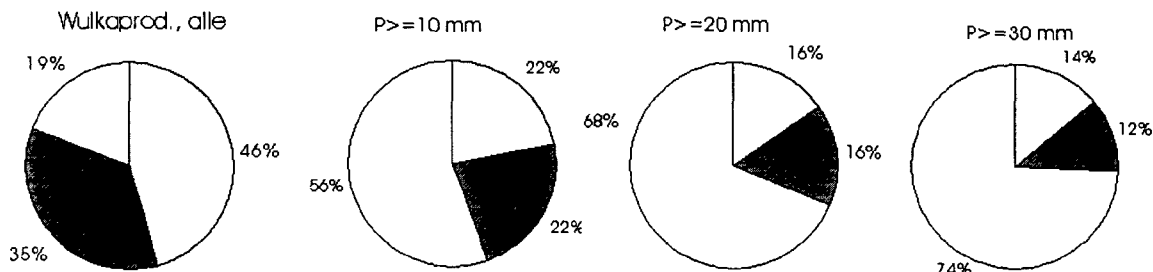


Abbildung 4- 94: Abflussanteile (Q_{i+1}) der Niederschlagsklassen, Wulkaprodersdorf, Angaben in % □ QG2 ■ QG1 ▒ QD

Betrachtet man dabei die Abflusskomponenten (siehe Abbildung 4- 91 und Abbildung 4- 94), so sieht man, dass im Mittel die Direktabflüsse in beiden Fällen 19% betragen, bei Starkregen steigt der direkte Abfluss in Wulkaprodersdorf mehr an (auf 74% QD) als in Walbersdorf (63% QD bei $P > 30$ mm).

Der langsame Grundwasserabfluss ist in Wulkaprodersdorf mit 46% im Mittel größer als in Walbersdorf mit 35%. Bei Starkregenereignissen wird dieser Anteil kleiner, in Walbersdorf sinkt er bei $N \geq 30$ mm auf 11%, in Wulkaprodersdorf auf 14% ab.

| Walbersdorf | P | Q | QG2 | QG1 | AU (QG1+2) | QD | QG2 | QG1 | QD |
|-------------|--------|--------|--------|--------|------------|--------|-----|-----|-----|
| | [mm/d] | [mm/d] | [mm/d] | [mm/d] | [mm/d] | [mm/d] | | | |
| P<10 mm | 1,0 | 0,30 | 0,11 | 0,14 | 0,26 | 0,04 | 38% | 49% | 13% |
| alle | 2,3 | 0,32 | 0,11 | 0,15 | 0,26 | 0,06 | 35% | 46% | 19% |
| P>=10 | 19,6 | 0,67 | 0,12 | 0,21 | 0,33 | 0,33 | 18% | 32% | 50% |
| P>=20 | 29,7 | 0,89 | 0,13 | 0,27 | 0,40 | 0,49 | 15% | 30% | 55% |
| P>=30 | 37,6 | 1,20 | 0,14 | 0,31 | 0,44 | 0,75 | 11% | 26% | 63% |

| Wulkaprodersd. | P | Q | QG2 | QG1 | AU (QG1+2) | QD | QG2 | QG1 | QD |
|----------------|--------|--------|--------|--------|------------|--------|-----|-----|-----|
| | [mm/d] | [mm/d] | [mm/d] | [mm/d] | [mm/d] | [mm/d] | | | |
| P<10 mm | 1,1 | 0,21 | 0,11 | 0,08 | 0,03 | 0,03 | 50% | 38% | 12% |
| alle | 2,4 | 0,23 | 0,11 | 0,08 | 0,19 | 0,04 | 46% | 35% | 19% |
| P>=10 | 18,0 | 0,50 | 0,11 | 0,11 | 0,22 | 0,28 | 22% | 22% | 56% |
| P>=20 | 29,8 | 0,86 | 0,13 | 0,14 | 0,27 | 0,59 | 16% | 16% | 69% |
| P>=30 | 37,3 | 1,06 | 0,15 | 0,12 | 0,28 | 0,79 | 14% | 12% | 74% |

| Nodbach | P | Q | QG2 | QG1 | AU (QG1+2) | QD | QG2 | QG1 | QD |
|---------|--------|--------|--------|--------|------------|--------|-----|-----|-----|
| | [mm/d] | [mm/d] | [mm/d] | [mm/d] | [mm/d] | [mm/d] | | | |
| P<10 mm | 1,1 | 0,18 | 0,04 | 0,10 | 0,14 | 0,04 | 25% | 54% | 21% |
| alle | 1,8 | 0,20 | 0,04 | 0,10 | 0,14 | 0,06 | 23% | 50% | 28% |
| P>=10 | 17,7 | 0,61 | 0,04 | 0,13 | 0,17 | 0,43 | 7% | 21% | 71% |
| P>=20 | 26,9 | 1,01 | 0,05 | 0,16 | 0,21 | 0,80 | 5% | 16% | 79% |
| P>=30 | 37,9 | 1,83 | 0,06 | 0,14 | 0,20 | 1,63 | 4% | 8% | 89% |

Tabelle 4- 29: Abfluss und Abflussanteile der verschiedenen Niederschlagsklassen der Pegel Margarethen/Nodbach, Walbersdorf und Wulkaprodersdorf

Das Gesamteinzugsgebiet der Wulka, Schützen

Die Abbildung 4- 95 zeigt die Abflüsse der verschiedenen Niederschlagsklassen für den Pegel Schützen am Folgetag des Niederschlages.

Es ist überraschend, dass im Einzugsgebiet der Wulka in dem Gesamtgebiet relativ hohe Direktabflüsse auftreten, obwohl man, auf Grund der Gesamteinzugsgebietsgröße eine weniger starke Überregnung des Gesamtgebietes im Vergleich zu den Teilgebieten annehmen muss, was sich auch in den Mittelwerten der Starkniederschlagsklassen widerspiegelt.

Das untere Teileinzugsgebiet ist sehr flach. Der Pegel Margarethen am Nodbach hat ebenfalls sehr hohe Direktabflüsse. Die Werte für Schützen kann man als Mittelwerte aller Teilgebiete ansehen und sind daher plausibel.

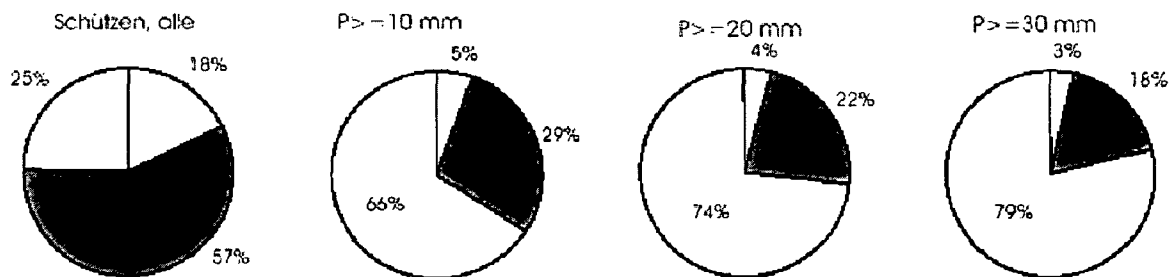


Abbildung 4- 95: Abflussanteile (Q_{i+1}) der Niederschlagsklassen, Angaben in %

In der nachfolgenden Tabelle sind die zu den Niederschlagsklassen gehörigen mittleren Niederschlags- und Abflusshöhen in mm pro Tag angegeben. Weiterhin sind auch die Abflüsse der Komponenten als Tagesabflüsse in mm und als Prozent des Gesamtabflusses angegeben.

| Schützen | P | Q | QG2 | QG1 | Au (QG1+2) | QD | QG2 | QG1 | QD |
|----------|--------|--------|--------|--------|------------|--------|-----|-----|-----|
| | [mm/d] | [mm/d] | [mm/d] | [mm/d] | [mm/d] | [mm/d] | | | |
| P<10 | 17,8 | 0,67 | 0,04 | 0,19 | 0,23 | 0,44 | 5% | 28% | 66% |
| alle | 1,9 | 0,21 | 0,04 | 0,12 | 0,16 | 0,05 | 18% | 57% | 25% |
| P>=10 | 17,8 | 0,67 | 0,04 | 0,19 | 0,23 | 0,44 | 5% | 29% | 66% |
| P>=20 | 27,9 | 1,01 | 0,04 | 0,23 | 0,27 | 0,74 | 4% | 22% | 73% |
| P>=30 | 34,6 | 1,53 | 0,05 | 0,27 | 0,32 | 1,21 | 3% | 18% | 79% |

Tabelle 4- 30: Abfluss und Abflussanteile der verschiedenen Niederschlagsklassen, Pegel Schützen

Abbildung 4- 96 zeigt die schnelle Abflussreaktion in Schützen auf ein Starkniederschlagsereignis. Der Abfluss steigt zufolge des Direktabflussanteiles sofort und nur sehr kurzfristig an.

Die Ursache hierfür könnten die im unteren Wulkatal zahlreich vorhandenen drainagierten Flächen sein. Sie bewirken eine starke Beschleunigung des Abflusses. An der Drainagierung sind sowohl die eigentlichen Drainagen der Landwirtschaft als

auch die Kanalisation (der Kläranlagenabfluss ist hier groß) beteiligt.

Das importierte Kläranlagenwasser spielt bei dieser Auswertung schon aufgrund der geringen Menge keine wesentliche Rolle.

Die Drainagen sind wahrscheinlich auch eine Ursache für die großen Anteile am Direktabfluss nach einem Niederschlagsereignis. Ein weiterer Grund ist darin zu suchen, dass bei hohem Niederschlag und hohem Grundwasserstand keine Exfiltration mehr aus dem Fließgewässer in das Grundwasser stattfindet und der Durchfluss zufolge Niederschlag dann rasch ansteigen kann.

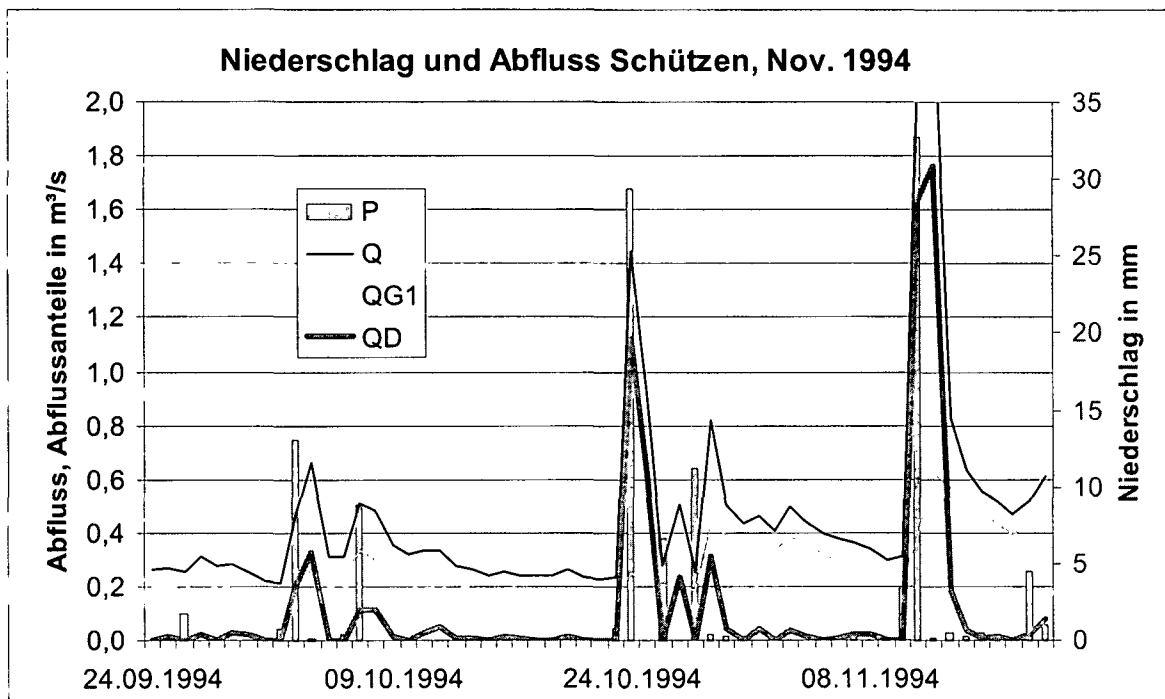


Abbildung 4- 96: Abflussreaktion auf einen Starkniederschlagsereignis, Schützen

4.7 ABFLUSSANTEILE UND NÄHRSTOFFTRANSPORT

4.7.1 Einleitung

Die berechneten Abflusskomponenten nach Difga 2000 lassen sich räumlich zuordnen, auch wenn diese Zuordnung zu Fließwegen nicht immer ganz eindeutig ist. Die direkte Abflusskomponente (QD) setzt sich aus dem Oberflächenabfluss und dem oberflächennahen Interflow zusammen, der schnelle Grundwasserabfluss (QG1) beinhaltet den unterirdischen Abfluss bei hohen Grundwasserständen und aus den gewässernahen Bereichen, der langsame Grundwasserabfluss (QG2) stammt überwiegend aus tieferen Grundwasserschichten und gewässerfernen Gebieten. In Abbildung 4-100 ist die räumliche Zuordnung der Abflusskomponenten dargestellt. Die Berechnungen erfolgen zunächst für den Pegel Schützen, da nur für diesen Pegel tägliche Gütedaten des Abflusses vorlagen. Im Vergleich und als Ergänzung dazu werden anschließend die Berechnungen mit den Standarddaten der Gewässeraufsicht und den eigenen Gütedaten (des daNUbs Projektes) für die weiteren Pegel im Einzugsgebiet der Wulka und der Ybbs vorgestellt.

4.7.2 Korrelationen

Um die Zusammenhänge zwischen den Fließwegen und den in das Gewässer eingebrachten Nährstoffen auch rechnerisch aufzuzeigen, wurden Korrelationskoeffizienten zwischen den Abflusskomponenten aus der Ganglinienanalyse mit Difga und den gemessenen Gütedaten berechnet. Der Korrelationskoeffizient gibt Auskunft darüber, ob zwischen den Gütedaten und den Abflusswerten eine Beziehung besteht.

Dazu wurden jeweils für den Tag der Gütedatenerhebung¹⁹ der Abfluss (Q) und seine Komponenten (QD, QG1 und QG2) in m³/s mit den gemessenen Nährstoffkonzentrationen, insbesondere von Nitratstickstoff und Gesamtphosphor (NO₃-N, TP) in mg/l, gegenübergestellt und aus allen Messungen der Korrelationskoeffizient berechnet.

In Abbildung 4-97 sind die mit den Haupteintragspfaden der Nährstoffe verbundenen Fließwege dargestellt. Diese, aus dem a-priori-Wissen abgeleitete Modellvorstellung des Nährstoffeintrages nach einem Niederschlagsereignis ist räumlich zu verstehen. Die Fließwege folgen der Zustromrichtung des Grundwassers und sind nicht senkrecht zu dem Gewässerquerschnitt. Das mit Grundwasserneubildung bezeichnete Wasser entspricht einer Erhöhung des Grundwasserstandes nach einem Niederschlagsereignis, die großteils temporär ist. Die Nitratkonzentrationen bei höherem Grundwasserstand sind höher als die des aus tieferen

¹⁹ Das sind die Gütedaten, die im Rahmen des DaNUbs-Projektes vom Institut für Wassergütwirtschaft (IWAG) erfasst wurden sowie Daten der Bgld. Landesregierung/ Gewässeraufsicht.

Schichten stammenden alten Grundwassers, welches einen konstanten Basisabfluss ausmacht. Erst nach längeren Fließwegen wird das Nitrat abgebaut.
 Der Phosphor wird über die oberirdischen Fließwege eingetragen.
 In der Abbildung wird zugleich der Zusammenhang der in Difga berechneten Abflusskomponenten QD des direkten Abflusses und den Grundwasserkomponenten QG1 und QG2 mit den Fließwegen und den Nährstoffeintrag angedeutet.

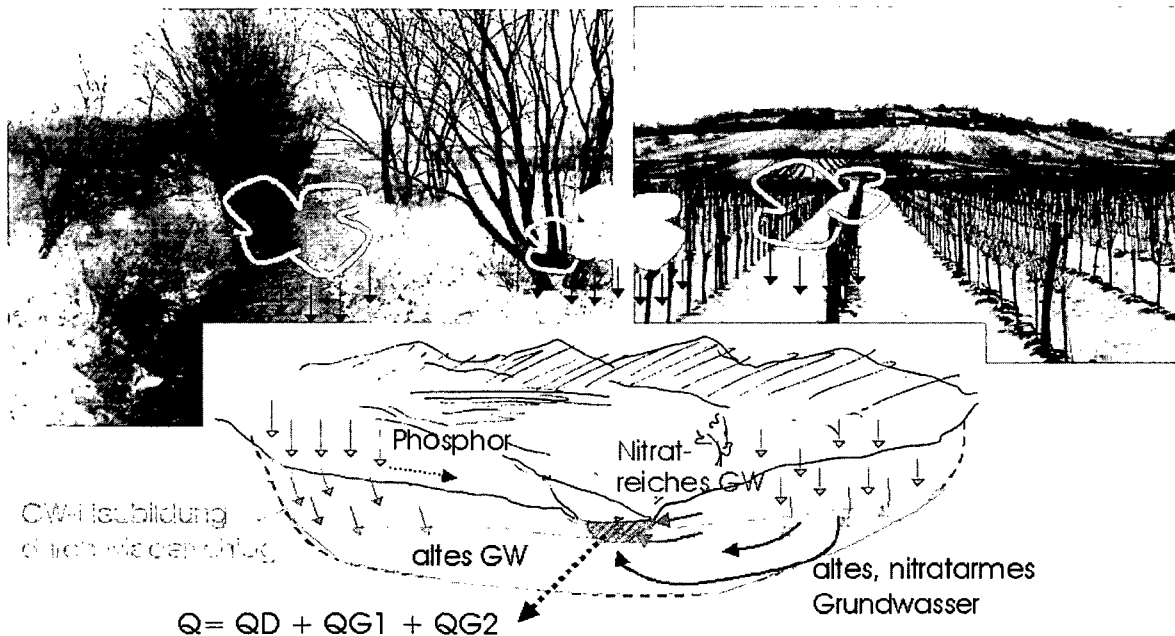


Abbildung 4-97: Modellvorstellung des Wulkatales, Abfluss und Nährstoffeintrag

Je älter das Grundwasser, desto größer der Nitratabbau im Untergrund, daher ist bei dieser Modellvorstellung die im Durchschnitt ältere langsame Grundwasserkomponente QG2 weniger stark als QG1, die schnelle Grundwasserkomponente, mit dem Nitrat korreliert. Die Güte der Korrelationen ist vom Abflussgeschehen der untersuchten Zeitspanne abhängig.

| | NO ₃ 2001 | NO ₃ 2002 | PO ₄ -P (01-02) | P 2001 | P 2002 |
|------------|----------------------|----------------------|----------------------------|-------------|-------------|
| Q | -0,21 | 0,38 | -0,26 | 0,22 | 0,46 |
| QG2 | 0,35 | 0,52 | 0,14 | -0,06 | -0,07 |
| QG1 | 0,77 | 0,75 | -0,42 | -0,46 | -0,10 |
| QD | -0,65 | 0,22 | -0,17 | 0,52 | 0,58 |

Tabelle 4-31: Korrelationen der Abflusskomponenten mit den gemessenen Konzentrationen im Gewässer am Beispiel Schützen (P = Gesamtphosphor)

Tabelle 4-31 zeigt die Korrelationskoeffizienten zwischen den Abflusskomponenten und den Nährstoffkonzentrationen im Gewässer am Pegel Schützen beispielhaft für die Jahre 2001 und 2002. Die Korrelationskoeffizienten zwischen den (berechneten)

Abflusskomponenten und den (gemessenen) Nährstoffkonzentrationen im Gewässer bestätigen die Modellvorstellung, das vorhandene Wissen über den Nährstoffeintrag:

- Phosphor wird vor allem über Erosion eingetragen und ist daher stark mit der direkten Abflusskomponente, welche teilweise oberflächlich abfließt, korreliert.
- Das Nitrat wird vor allem über den Untergrund eingetragen, wobei es am stärksten mit der schnellen Grundwasserkomponente QG1 korreliert.

Die in Tabelle 4-31 dargestellten Korrelationskoeffizienten der Abflusskomponenten nach Difga und den gemessenen Nährstoffkonzentrationen im Fließgewässer zeigen, dass die größten Korrelationen tatsächlich dort auftreten, wo sie erwartet werden. Bei den Nitratkonzentrationen treten die höchsten Korrelationskoeffizienten mit 0,77 und 0,75 mit der schnellen Grundwasserkomponente auf, ein gewisser Zusammenhang besteht auch mit dem langsamen Grundwasser. Beim Gesamtphosphor sind die Koeffizienten für die Beziehung mit dem Direktabfluss am größten²⁰.

Die Annahmen über den Nährstoffeintrag und auch die Ergebnisse der Ganglinienanalyse werden durch die Berechnung der Korrelationen also bestätigt. In Abbildung 4-98 sind die berechneten Korrelationskoeffizienten der Abflusskomponenten mit den gemessenen Nährstoffkonzentrationen im Gewässer in Form von Balkendiagrammen dargestellt.

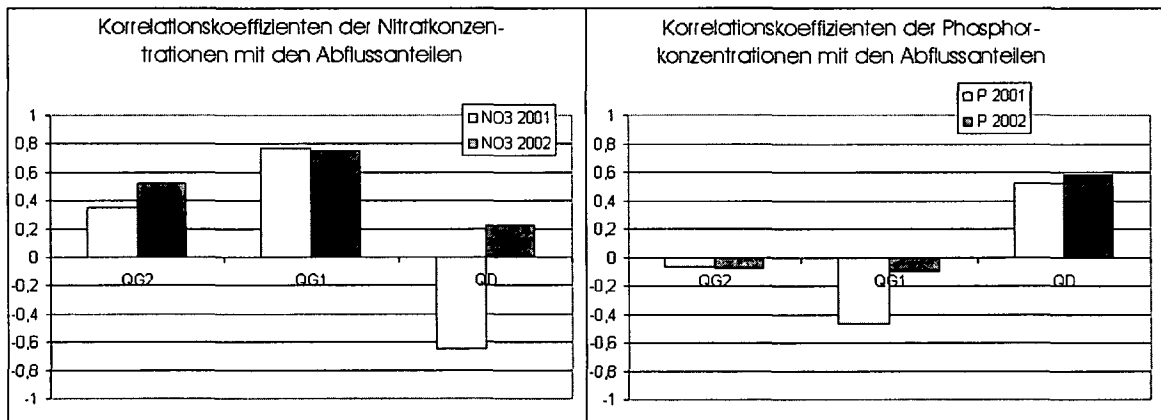


Abbildung 4-98: Korrelationskoeffizienten der Abflusskomponenten mit den gemessenen Konzentrationen im Gewässer, Schützen (P= Gesamtphosphor)

Wesentlich eindeutiger sind die errechneten Korrelationen zwischen den Frachten und den gemessenen Abflussanteilen. In diesem Fall gehen in die Berechnung der Frachten auch die Durchflüsse mit ein. In Tabelle 4-32 sind die Korrelationskoeffizienten zwischen den berechneten Abflusskomponenten am Pegel Schützen

²⁰ Der Koeffizient ist in diesem Fall aber nicht sehr groß, größer ist er in dem wesentlich steileren Einzugsgebiet der Ybbs.

und den gemessenen Frachten in der Wulka für die Jahre 2001-2002 dargestellt.

| | 2001-2002 | | | 2001 | | | 2002 | | |
|------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| | NO3-N | PO4-P | TP | NO3-N | PO4-P | TP | NO3-N | PO4-P | TP |
| Q | 0,84 | 0,93 | 0,97 | 0,71 | 0,92 | 0,78 | 0,83 | 0,96 | 0,98 |
| QG2 | 0,41 | 0,45 | 0,26 | 0,35 | 0,25 | 0,18 | 0,58 | 0,55 | 0,38 |
| QG1 | 0,80 | 0,64 | 0,49 | 0,72 | -0,11 | -0,16 | 0,82 | 0,72 | 0,50 |
| QD | 0,73 | 0,90 | 0,99 | 0,19 | 0,88 | 0,85 | 0,73 | 0,91 | 1,00 |

Tabelle 4-32: Korrelationskoeffizienten der Frachten und Abflussanteile

Da die Abflussanteile, vor allem die des stark ereignisabhängigen Direktabflusses, durchflussabhängig sind, ergeben sich in diesem Fall auch höhere Korrelationskoeffizienten für die einzelnen Komponenten, vor allem des Phosphors. Es handelt sich bei diesen Werten also um nicht unabhängige Größen. Es erfolgt daher im Folgenden ausschließlich der Vergleich mit Konzentrationen.

Im Ybbstal, welches vor allem im oberen Bereich wesentlich steiler und daher anfälliger für Erosion ist, zeigen sich für die Beziehung Direktabfluss/ Gesamtphosphorkonzentrationen größere Abhängigkeiten, als im Einzugsgebiet der Wulka. Vergleiche hierzu Tabelle 4-33 auf Seite 191.

Für den Zusammenhang zwischen den Nitratwerten und den Grundwasserabflüssen (Tabelle 4-36 auf Seite 193) hingegen ist der Zusammenhang bei den Gütedaten des IWAG nicht so deutlich, was verschiedene Ursachen haben kann.

In den oberen, alpinen Ybbstal (Pegel Opponitz) gibt es keine wesentliche landwirtschaftliche Produktion, große Mengen an Stickstoff kommen aus dem nahe gelegenen Ballungsraum Linz und werden in Form von Deposition eingetragen. Erfolgt diese Deposition als nasse Deposition, so ist dieser Eintrag auch mit dem Niederschlag und somit mit dem Direktabfluss gekoppelt, was eine Beziehung der Konzentrationen zu der Höhe der schnellen Abflusskomponenten nahe legt.

Der Abbau im Untergrund kann nur bei Sauerstoffmangel stattfinden, er erfolgt nicht in sauerstoffreichen Grundwasserkörpern. Die zweite Voraussetzung für den Abbau ist das Vorliegen von Kohlenstoffverbindungen (welche unter Sauerstoffverbrauch abgebaut werden). Diese Voraussetzungen sind im sauerstoffreichen Karstgrundwasserkörper des oberen Ybbstaales mit häufiger Grundwasserneubildung weniger erfüllt als im Wulkatal, wo der Grundwasserkörper sauerstoffarm ist und selten eine Nachlieferung aus dem Niederschlag erfolgt.

Die Zusammenhänge werden durch viele Faktoren (Kläranlagen, Temperatur, Niederschlagsart, Düngung, Einzugsgebietsmerkmale etc.) beeinflusst. Um genauere Aussagen über den Eintrag der Nährstoffe in den Untergrund und das Gewässer machen zu können, muss man die an diesen Vorgängen beteiligten Prozesse und Zusammenhänge genauer berücksichtigen. Einige davon sollen im folgenden genauer untersucht werden.

4.7.3 Einzugsgebietsgröße und Erosion / Phosphoreintrag

Es soll der Zusammenhang zwischen dem Phosphoreintrag durch Erosionsprozesse und der Einzugsgebietsgröße untersucht werden.

Phosphor wird vor allem über Erosion in Form partikulären Phosphors eingetragen. Der Eintrag erfolgt schnell und oberflächlich. Auch über größere präferenzielle Fließwege (z.B. Risse, Maulwurfslöcher) kann auch aus oberflächennahen Bodenschichten Material ausgeschwemmt werden. Der Eintrag an partikulärem Phosphor bzw. Gesamtphosphor muss daher statistisch mit dem direkten Abflussanteil („QD“ in dem Modell Difga) korrelieren, was auch die Korrelationskoeffizienten in Tabelle 4-31 und Tabelle 4-32 zeigen. Durch eine Bodenpassage würden die abgeschwemmten Partikel gefiltert und der Eintrag verhindert.

Da die die Erosion verursachenden extremen Starkregen räumlich sehr begrenzt auftreten (einige km²) und daher auch die Erosion in dieser räumlichen Ausdehnung auftritt, sollten die gezeigte Korrelation der direkten Abflussanteile zu dem Gesamtphosphor besonders bei kleinen Einzugsgebieten vorhanden sein. In dieser Maßstabsebene sind Erosionsprozesse am ehesten „unverfälscht“ zu beobachten.

Durch Erosion werden Schwebstoffe und Nährstoffe in die Gewässer transportiert, wobei der Eintrag nichtlinear mit dem Direktabfluss steigt. Daraus ergibt sich auch eine nichtlineare Beziehung des an die Schwebstoffe gebundenen Phosphors mit dem Direktabfluss QD.

Betrachtet man hingegen ein größeres Gebiet, so finden in diesem ein Starkregeneignis und die damit verbundenen Erosionsprozesse nur lokal statt, gemessen werden am Pegel Durchschnittswerte des Gebietes, der Zusammenhang ist unscharf. Man kann bei großen Einzugsgebieten eine lineare Beziehung zwischen Fracht und Durchfluss annehmen.

In der Abbildung 4-99 sind die Beziehungen zwischen Konzentration des Gesamtphosphors und direktem Abfluss (QD) in dem (kleineren) Einzugsgebiet Krenstetten, obere Graphiken, und dem größeren (Gesamt-) Einzugsgebiet Greimpersdorf (untere Abbildungen) dargestellt. Links sind jeweils die Beziehungen zwischen Gesamtphosphorkonzentration und direktem Abfluss dargestellt; rechts sind die Beziehungen zwischen Direktabfluss und Gesamtphosphorfracht abgebildet.

Ist die Beziehung zwischen Konzentration und Direktabfluss linear, wie in der linken oberen Abbildung, so ergibt sie eine nichtlineare Beziehung zwischen Fracht und QD, wie in der rechten oberen Abbildung. Die Untersuchung bestätigt die Annahme, dass die Beziehung in kleinen Einzugsgebieten die höchste Linearität zeigt, wie es für Krenstetten der Fall ist. Das Bestimmtheitsmaß für die Anpassung an die polynomische Trendlinie der Beziehung Gesamtphosphor zu Direktabfluss hat ein Bestimmtheitsmaß von 0,96, die Anpassung an eine linearen Trendlinie ist wesentlich schlechter.

Die in den Abbildungen berücksichtigten Ereignisse beinhalten „ungefilterte“ Mess-

daten, also Erosionsprozesse zufolge extremer Starkniederschläge mit oder ohne Vorbefeuchtung, Abflüsse zufolge Schneeschmelze und niedrige Abflüsse ohne wesentlichen Eintrag an Phosphor. Durch eine Klassifizierung der Abflussprozesse werden die Zusammenhänge zwischen Phosphor und Abfluss eindeutiger.

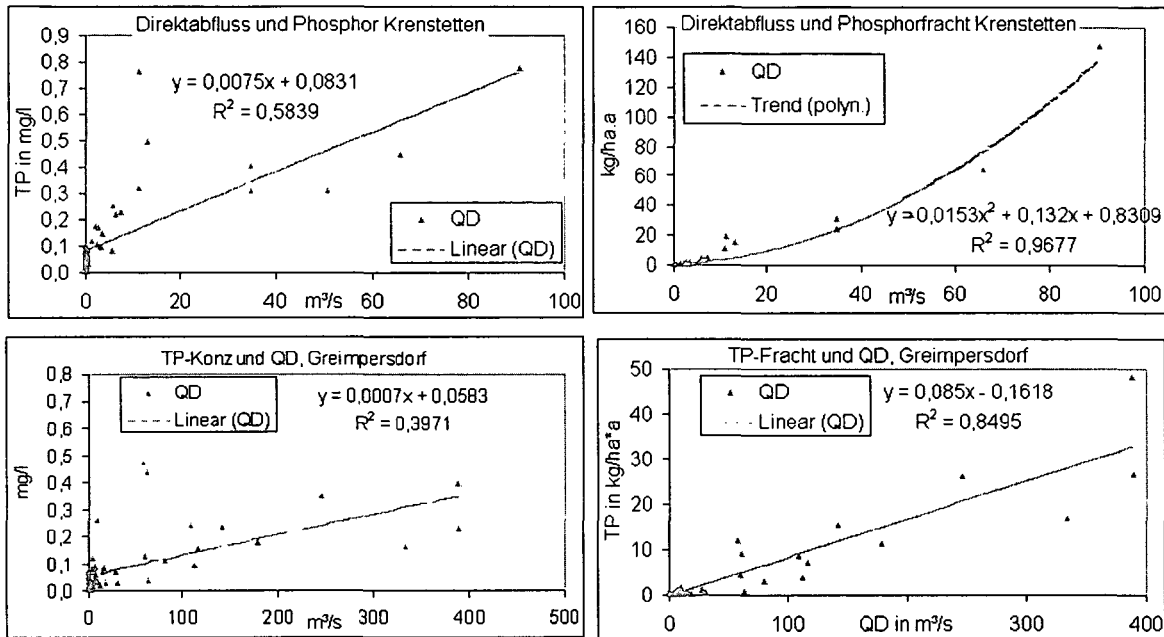


Abbildung 4-99: Beziehungen zwischen QD und Konzentration und Frachten TP

Die in Abbildung 4-99 dargestellte lineare Beziehung der Fracht zu den Direktabflüssen für das Gesamtgebiet Greimpersdorf hat ein Bestimmtheitsmaß von 0,85. Man kann also eine lineare Beziehung annehmen. Die Anpassung an eine nicht-lineare, polynomische Trendlinie (nicht dargestellt) ergibt hingegen ein Bestimmtheitsmaß von nur 0,37.

Dieser Zusammenhang ist auch und vor allem bei der Maßstabsfrage von großer Bedeutung. Werden kleinräumige Gebiete untersucht, so ergeben sich im Idealfall klare Beziehungen zwischen den Gütemessdaten für Phosphor und den Abflussanteilen. In größeren Einzugsgebieten müssen diese Abhängigkeiten verwischerter sein. Diese Überlegung ist vor allem bei der Interpretation gewonnener Erkenntnisse von Bedeutung.

In den kleineren Einzugsgebieten ist daher die Korrelation zwischen dem direkten Abfluss und dem Gesamtphosphorgehalt i.a. größer als in den Gesamteinzugsgebieten.

Tabelle 4-33 zeigt die Korrelationskoeffizienten zwischen dem Gesamtphosphor TP und dem Direktabfluss QD für die Teileinzugsgebiete der Ybbs und der Wulka in den Jahren 2001 und 2002. Im Einzugsgebiet der Wulka sind im Jahr 2001 an den zwei Pegeln Walbersdorf und Wulkaprodersdorf höhere Korrelationen zwischen den gemessenen Gesamtphosphorkonzentrationen im Gewässer und dem errechneten

Direktabfluss als am Pegel Schützen zu finden, im Einzugsgebiet der Ybbs sind die Korrelationskoeffizienten für den alpinen Pegel Opponitz am größten.

| Korrelation QD -- TP | 2001 | 2002 |
|-----------------------------|-------------|-------------|
| Walbersdorf (Teil-EG) | 0,78 | 0,53 |
| Wulkaprodersdorf (Teil- EG) | 0,85 | 0,57 |
| Nodbach (Teil-EG) | 0,64 | 0,55 |
| Schützen (Gesamt-EG) | 0,52 | 0,58 |

| | | |
|---------------------------------|------|------|
| Opponitz (Teil-EG) | 0,78 | 0,79 |
| Krenstetten (Teil-EG) | 0,73 | 0,75 |
| Greimperdorf (Gesamt-EG) | 0,63 | 0,69 |

Tabelle 4-33: Korrelationskoeffizienten zwischen TP und QD

Die errechneten Korrelationskoeffizienten sind in dem niederschlagsreicheren und steileren Einzugsgebiet der Ybbs höher, die Phosphorwerte sind enger mit den Direktabflussdaten verknüpft als im Einzugsgebiet der Wulka.

Die schlechten Korrelationen für das Wulkatal im Jahr 2002 sind in den Abflussgeschehen zu suchen. Der Gesamtabfluss war in beiden Jahren eher gering, im Jahr 2002 war er etwas höher und der Direktabflussanteil war wesentlich höher als im Jahr 2001 (in Schützen 27 und 17%). Die Niederschlagsereignisse von sind im Jahr 2001 gleichmäßig verteilt und die Spitzenabflüsse von ähnlicher Größe. Im Jahr 2002 sind hingegen zwei Extremereignisse zu sehen, an denen ein großer Anteil des Abflusses abfließt, die übrige Zeit ist von kleineren Niederschlagsereignissen geprägt. Besonders der Sommer ist sehr trocken. Die Erosionsprozessen finden im Jahr 2002 vor allem an den Extremereignissen statt, bei den sonst niedrigen Direktabflüssen wird wenig partikulärer Phosphor eingetragen und die Korrelation in diesem Jahr schlechter.

4.7.4 Sicherheit der Aussage, Auswahl der Daten und Datenerfassung

Die Korrelationskoeffizienten sind nicht immer gleich groß und können, abhängig vor allem von den hydrologischen Verhältnissen, stark schwanken.

Es kann große Unterschiede zwischen einzelnen Jahren geben²¹, wie z.B. zwischen den Jahren 2001 und 2002 an der Wulka (siehe Tabelle 4-33). Das Jahr 2002 ist an der Wulka ein sehr trockenes Jahr, die Korrelationen am Pegel Schützen und in den Teileinzugsgebieten sind gleich hoch und nicht sehr groß (zwischen 0,53 und 0,58). Eine engerer Zusammenhang der Erosionsprozesse mit dem Direktabfluss in kleinen

²¹ siehe hierzu auch Kapitel 4.6.

Einzugsgebieten kann nicht beobachtet werden. Bei den Phosphoreinträgen überwiegen andere Prozesse.

Datenerfassung

Vergleicht man die ereignisabhängig erfassten Gütemessdaten, welche im Rahmen des DaNUbs-Projektes erfasst wurden, mit den Messdaten der Gewässeraufsicht (Burgenländischen Landesregierung), welche in regelmäßigen (Zeit-) Abständen, ohne Berücksichtigung des Durchflusses gewonnen wurden, so sieht man, dass bei letzteren die Abhängigkeiten zwischen dem Direktabfluss und den Phosphorkonzentrationen viel kleiner sind, da die für die Erosion maßgebenden Hochwasserereignisse meist nicht erfasst wurden. Tabelle 4-34 zeigt die Korrelationskoeffizienten zwischen dem zeit- und dem ereignisabhängig bestimmten Gesamtphosphor TP und dem Direktabfluss QD am Pegel Krenstetten/Url in den Jahren 2001 und 2002.

| | Q-abh. (IWAG) | | zeitabhängig | |
|-----|---------------|-------------|--------------|-------------|
| TP | 2001 | 2002 | 2001 | 2002 |
| Q | -0,21 | 0,72 | 0,03 | 0,34 |
| QG2 | -0,01 | -0,07 | 0,49 | 0,40 |
| QG1 | 0,18 | 0,54 | -0,10 | 0,26 |
| QD | 0,73 | 0,75 | 0,03 | 0,32 |

Tabelle 4-34: Korrelationen (Q, TP) der Gütemessungen bei einer zeitabhängigen²² und durchflussabhängigen Probenahme, Pegel Krenstetten (Ybbs)

Der Korrelationskoeffizient am Pegel Krenstetten für Gesamtphosphor liegt bei 0,73 und 0,75 bei den ereignisabhängigen Messungen (linke Spalten der Tabelle 4-34), bei den zeitabhängigen Messungen nur bei 0,03 (kein Zusammenhang) bzw. 0,32 (rechte Spalten). Man sieht, dass an den Messtagen unterschiedlich viele Ereignisse erfasst wurden. Bei den zeitabhängigen Messungen gibt es keine (kaum) Erosionsprozesse an den Messtagen, gleichzeitig gibt es einen Zusammenhang zwischen langsamen Grundwasser und Gesamtphosphor. Große Anteile des Gesamtphosphors in Zeiten ohne größere Niederschlagsereignisse müssen also aus anderen Quellen, Punktquellen (Kläranlagen, Senkgruben, Abwasser) oder Deposition kommen.

Durch die fehlenden Abflussspitzen bei diesen Messdaten ist gleichzeitig die Korrelation des Nitrates zu dem Grundwasserabfluss größer geworden.

²² Hier sind nicht täglichen Messdaten gemeint, wie sie für den Pegel Schützen existieren, sondern Gütemessungen, welche in Abständen von ca. 2 Wochen stattfanden.

4.7.5 Nitratkonzentrationen und Einzugsgebietsgröße

Auch beim Nitrat spielen die Einzugsgebietsgröße und -form eine, wenn auch untergeordnete, Rolle. Je weiter flussabwärts man sich im Einzugsgebiet befindet, desto größer sind die Gewässer und desto kleiner im allgemeinen die Gewässernetzdichte (also eine kleinere Drainierung) und desto länger der Fließweg und desto älter das Grundwasser.

In kleinen, oben liegenden Einzugsgebieten sind durch die höhere Gewässernetzdichte die Eintragspfade kurz, sie sind auch steiler und haben daher auch kürzere Fließzeiten. Es sollte durch die i.a. höheren Niederschläge, größeren Grundwasserneubildungsraten, welche mit höheren Sauerstoffgehalten im Grundwasser verbunden sind, und der größeren „Drainierung“ auch weniger zum Nitratabbau kommen als im Talbereich. Es gibt aber in diesen Gebieten im allgemeinen auch weniger Landwirtschaft und somit Eintrag. Im Einzugsgebiet der Wulka ist bis zum Pegel Walbersdorf mehr als das halbe Gebiet mit Wald bedeckt, an der Ybbs sind die oberen Gebiete alpin und kaum bewirtschaftet, wodurch es auch zu unerheblichen Einträgen an Nitrat aus der Landwirtschaft kommt. Flussabwärts sind vor allem landwirtschaftliche Flächen zu finden.

Die Konzentration an Nitrat muss -bei gleichem Stickstoffüberschuss- in den unteren Einzugsgebieten folglich kleiner sein, da ein Abbau stattfinden kann. Meistens ist aber auch der Eintrag größer, da die unteren, flachen Einzugsgebieten landwirtschaftlich im allgemeinen intensiver genutzt werden.

| (Daten IWAG) | NO ₃ -N |
|-------------------|--------------------|
| Walbersdorf | 3,20 |
| Wulkaprodersdorf | 3,93 |
| Trausdorf | 2,87 |
| Eisbach (Zufluss) | 3,24 |
| Nodbach (Zufluss) | 3,85 |
| Schützen | 2,86 |

Tabelle 4-35: Mittelwerte der Nitratkonzentrationen im Fließgewässer

In den oberen Einzugsgebieten ist die Korrelation zwischen Nitrat und den Grundwasserabflusskomponenten nicht sehr groß oder nicht vorhanden. Die Korrelationskoeffizienten für die Einzugsgebiete Opponitz (Ybbs) und Walbersdorf (Wulka) zu den Abflussanteilen sind in Tabelle 4-36 dargestellt. Sie sind niedrig oder negativ.

Das Nitrat kann daher den Abflusskomponenten nicht zugeordnet werden.

Dieser Zusammenhang lässt auf einen anderen Input des Nitrates als über die Landwirtschaft oder auf einen sehr geringen Eintrag schließen. Eine weitere Möglichkeit ist ein anderes Abbauverhalten im Untergrund als in den unteren Einzugsgebieten.

| NO3-N | Walbersdorf | Opponitz |
|-------|-------------|----------|
| Q | -0,26 | -0,25 |
| QG2 | 0,05 | 0,16 |
| QG1 | 0,10 | -0,05 |
| QD | -0,31 | -0,27 |

Tabelle 4-36: Korrelationen der Nitratkonzentrationen mit den Abflusskomponenten in Teileinzugsgebieten (Messdaten IWAG), 2001-2002

Das Abbauverhalten im Untergrund ist u.a. von dem Sauerstoffgehalt abhängig. Ist der Sauerstoffgehalt zu hoch, was vor allem im oberen Ybbstal der Fall ist, dann kann keine Denitrifikation erfolgen, dadurch wäre auch zu erklären, warum keine wesentlichen Unterschiede in den Korrelationen zwischen Nitrat und QG1 sowie Nitrat und dem durchschnittlich älterem QG2 vorliegen können.

Neben den Punktquellen kommt ein Nitrateintrag aus der Deposition in Frage. Dieses wird ebenfalls diffus eingetragen und ist nicht von der Abflussaufteilung abhängig. Weiterhin ist in dieser Betrachtung auch die Art der Datenerfassung zu berücksichtigen. Da die Gütemessdaten durchflussabhängig genommen wurden, ist eine geringe Korrelation des Nitratgehaltes mit den Abflusskomponenten zu erwarten. Die Nitratkonzentrationen sind, da das Nitrat vor allem über das Grundwasser eingetragen wird, nicht von dem Abflussgeschehen in Hochwassersituationen abhängig.

4.7.6 Einfluss der Punktquellen

Eine Bereinigung des Abflusses von dem Kläranlageneinfluss ist an der Wulka besonders schwierig, da das Trinkwasser ins Einzugsgebiet importiert wird, in den gemessenen Abflussspitzen (im Kläranlagenzu- und Abfluss) sind aber auch die in der Mischwasserkanalisation aufgefangenen Niederschläge enthalten. Deshalb wäre der Abzug des (gesamten) Kläranlagenablaufes von dem gemessenen Durchfluss falsch. Zieht man aber eine konstante Wassermenge (also ohne Niederschlagswasserspitzen) ab, so beinhaltet sie keine Schwankungen des Wasserverbrauches und der ablaufenden Nährstofffrachten. Für die Ganglinienanalyse wurden die Ganglinien von den Punktquellen auf diese Art bereinigt. Die Kläranlagenabflüsse wurden in Form vorhandener Monatsmittelwerte abgezogen. Dabei blieben auch die mit der Kanalisation erfassten Niederschlagsspitzen in den Ganglinien erhalten. Für die Nährstoffkonzentrationen existieren tägliche Gütedaten für die Jahre 2000-02 der Kläranlagenabflüsse. Von den Frachten des Gewässers kann man für diesen Zeitraum die Belastungen mit Nährstoffen aus den Kläranlagen abziehen. Diese Belastungen beinhaltet auch jene, die über die Kanalisation eingetragen wurden, was vor allem für den partikulären Phosphor aus Erosionsprozessen relevant ist.

Für die Berechnung einer bereinigten Durchflussfracht kann dies ohne weitere Korrektur für den Nieder- und Mittelwasserbereich erfolgen, wie es auch bei folgender Untersuchung geschehen ist.

In Tabelle 4-37 sind die mittleren Durchflüsse, die mittleren Nitratkonzentrationen und die Korrelationen dieser beiden Werte für verschiedene Abflusskategorien dargestellt. Die Werte sind sowohl für die „Brutto“- Daten inkl. Kläranlagenabfluss (linke Spalten der Tabelle) als auch für die von Kläranlagen bereinigten Abflüsse in den 3 rechten Spalten der Tabelle angegeben.

Die Korrelationen 2 des Gesamtdurchflusses zu den Nitratkonzentrationen nach Bereinigung mit dem Kläranlagendurchfluss im Niederwasserbereich sind deutlich höher als die der unbereinigten Daten, der Korrelation 1. Die Nitratkonzentrationen im Gewässer sind, vor allem im Niederwasserbereich, ohne eine Bereinigung mit dem Kläranlagenabfluss sehr viel höher.

Das Nitrat im Niederwasserbereich kommt zu großen Teilen aus den Kläranlagen, während im Mittel- und Hochwasserbereich nur ein kleiner Anteil der Nitratkonzentrationen aus den Kläranlagen stammt.

| Mittelwerte: | Q | NO3-N | Korrelation 1 | Q | NO3-N | Korrelation 2 |
|-------------------------|---------|-------------|---------------|----------|-------------|---------------------------------------|
| | (inkl.) | (inkl.KA) | Q mit KA | exkl. KA | exkl. KA | exkl. KA |
| | [m³/s] | [mg/l] | Q - NO3-N | [m³/s] | [mg/l] | Q _{ex} - NO3-N _{ex} |
| Q <= 0,32 | 0,26 | 1,99 | 0,3 | 0,04 | 0,61 | 0,54 |
| Q <= 0,44 | 0,32 | 2,36 | 0,55 | 0,09 | 0,84 | 0,53 |
| Q <= 0,54 | 0,38 | 2,45 | 0,45 | 0,14 | 1,11 | 0,65 |
| Q <= 0,675 | 0,42 | 2,58 | 0,53 | 0,17 | 1,36 | 0,72 |
| alles | 0,86 | 2,86 | 0,41 | 0,51 | 1,83 | 0,34 |
| nur Q > 0,677 | 1,61 | 3,34 | -0,09 | 1,14 | 2,69 | 0,11 |

Tabelle 4-37: Abfluss und Nitratkonzentration²³, Korrelationen in Schützen

4.7.7 Nitratkonzentrationen und Grundwasserabfluss

Der Grundwasserabfluss im Ganglinienanalysemodell Difga2000 setzt sich aus dem schnellen Grundwasserabfluss QG1 und dem langsamen Grundwasserabfluss QG2 zusammen. Der schnelle Grundwasserabfluss (QG1) umfasst mehr jüngeres Wasser als der langsame Grundwasserabfluss (QG2).

Nach einem Niederschlagsereignis gelangt ein großer Teil des schnell abfließenden unterirdischen Wassers durch Verdrängung zum Abfluss, was bedeutet, dass auch schnell abfließendes Wasser sehr alt sein kann. In der schnellen Komponente des

²³ Der MJNQ beträgt 0,39 m³/s (inkl. Kläranlage), wobei nur dieser Durchfluss selten unterschritten wird

Grundwasserabflusses, QG1, sind jedoch größere Teile des Grundwasser aus gewässernahen Bereichen (diese gelangen am schnellsten ins Gewässer) enthalten oder sie resultieren aus den dann höheren Grundwasserständen als in QG2. In beiden Fällen ist i.a. der Nitratanteil des Wassers größer.

Das langsamere Grundwasser QG2 fließt sehr gleichmäßig ab, es fließt auch in Trockenperioden, wenn der Grundwasserstand niedrig ist und man von einer hohen Abbaurrate im Untergrund ausgehen kann, noch ab.

Abbildung 4-100 zeigt die oben beschriebene räumliche Zuordnung der Abflusskomponenten nach Difga im Geländequerschnitt.

Der schnelle Grundwasserabfluss muss nach diesen Überlegungen enger mit den Gütemessungen für Nitratstickstoff korreliert sein, als der langsame.

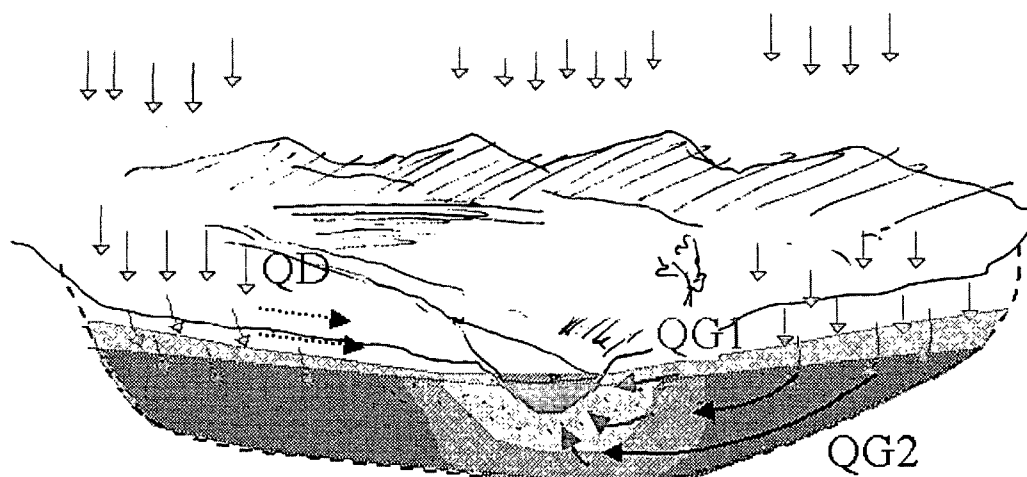


Abbildung 4-100: Modellvorstellung der Herkunft des schnellen und langsamen Grundwassers QG1 und QG2

Vergleicht man Zeiträume, in denen überwiegend Grundwasser abfließt, so stellt man fest, dass auch hier bei sinkendem Grundwasserstand sinkende Nitratkonzentrationen gemessen werden.

Betrachtet man einzelne Zeiträume so findet man Zeitspannen, wo der Zusammenhang zwischen der Höhe des Grundwasserstandes und dem Nitratstickstoff den Modellvorstellungen entspricht. In Abbildung 4-101 ist so eine Periode dargestellt, es handelt sich hierbei um die Nitratkonzentrationen und die Abflüsse des Pegels Schützen/Wulka Anfang 1996.

Der Abfluss in dem dargestellten Zeitraum wird fast ausschließlich vom Grundwasser (in der linken Abbildung als hinterlegte Fläche dargestellt) gebildet. Der Abfluss sinkt bei sinkendem Grundwasserstand, die Nitratkonzentrationen im Gewässer sinken ebenfalls. In dem rechten Diagramm sieht man den Zusammenhang zwischen

Grundwasserständen (Summe von QG1 und QG2) und Nitratkonzentrationen für den Pegel Schützen im Mai des gleichen Jahres. Je höher der Grundwasserabfluss, was mit einem höheren Grundwasserstand verbunden sein muss, desto höher auch die Nitratkonzentration im Gewässer.

Dieser Zusammenhang ist bei kurzen Zeitreihen nicht immer so schön zu sehen.

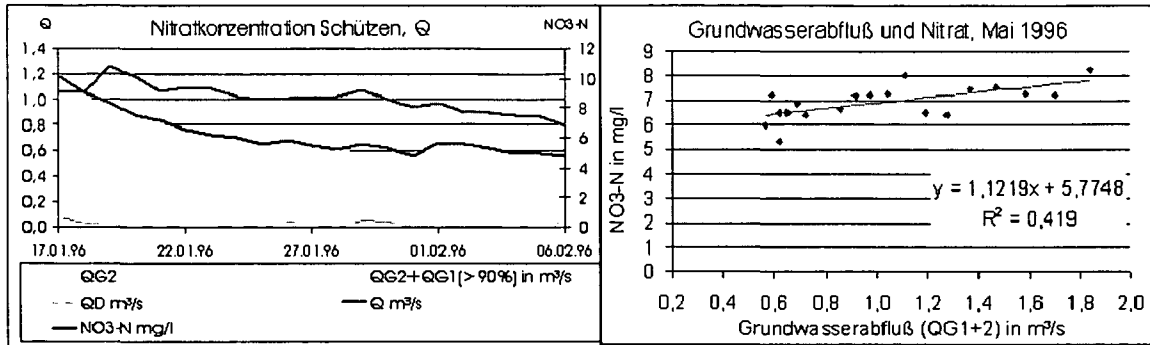


Abbildung 4-101: Nitratkonzentrationen und Grundwasserabfluss, Bsp. Schützen

Deutlicher kann man eine Abhängigkeit bei den Mittelwerten erkennen.

Für diese Überlegung wurden die Durchflüsse an den Gütemesstagen in Abhängigkeit von ihrer Höhe in mehrere Gruppen eingeteilt. In Tabelle 4-38 sieht man die mittleren Durchflüsse dieser Abflussklassen und die Mittelwerte der dazugehörigen Nitratstickstoffkonzentrationen. In den zwei rechten Spalten der Tabelle sind die von dem Kläranlageneinfluss bereinigten Abflüsse und die Konzentrationen dargestellt. Im Niederwasserbereich, wo (fast) der gesamte Abfluss aus dem Grundwasser resultiert, zeigt sich eine klare Abhängigkeit der Stickstoffkonzentration von dem Durchfluss. Bei steigenden Durchflüssen steigt die Nitratstickstoffkonzentration.

| Mittelwerte: | Q | NO3-N | Q exkl. KA („netto“) | NO3-N netto |
|---------------|--------|--------|----------------------|-------------|
| | [m³/s] | [mg/l] | [m³/s] | [mg/l] |
| NW ≤ 0,32 | 0,26 | 1,99 | 0,04 | 0,61 |
| NW ≤ 0,44 | 0,32 | 2,36 | 0,09 | 0,84 |
| NW ≤ 0,54 | 0,38 | 2,45 | 0,14 | 1,11 |
| NW ≤ 0,675 | 0,42 | 2,58 | 0,17 | 1,36 |
| alles | 0,86 | 2,86 | 0,51 | 1,83 |
| nur Q > 0,677 | 1,61 | 3,34 | 1,14 | 2,69 |

Tabelle 4-38: NO3-N-Konzentration und Durchfluss, Schützen

Das gilt sowohl für den Hochwasserbereich (Eintrag von Nitrat auch durch die direkte Abflusskomponente) als auch im Niederwasserbereich²⁴, wie man in nachfolgender Abbildung sehen kann.

²⁴ Das Niederwasser in Schützen beträgt 0,39 m³/s (inkl. Kläranlage).

Abbildung 4-102 soll eine Vorstellung des Zusammenhanges zwischen den Nitrateinträgen und den unterschiedlichen Wasser- sowie Grundwasserständen geben. Im Niederwasserbereich ist der Grundwasserstand gering (rechter Querschnitt in der Mitte), es fließt wenig Wasser ab. Der Abfluss resultiert vor allem aus den tieferen Grundwasserschichten, aus gewässerferneren Gebieten und hat längere Fließzeiten hinter sich, wodurch ein weitgehender Abbau des Nitrates möglich war. Die Nitratkonzentration bei niedrigen (Grund-) Wasserständen ist daher klein. Bei Durchflüssen unter $0,44 \text{ m}^3/\text{s}$ (inkl. Kläranlage) ergibt sich eine vom Kläranlageneinfluss bereinigte $\text{NO}_3\text{-N}$ -Konzentration von $0,84 \text{ mg/l}$ bei einem mittleren Durchfluss von $0,09 \text{ m}^3/\text{s}$ (bereinigt).

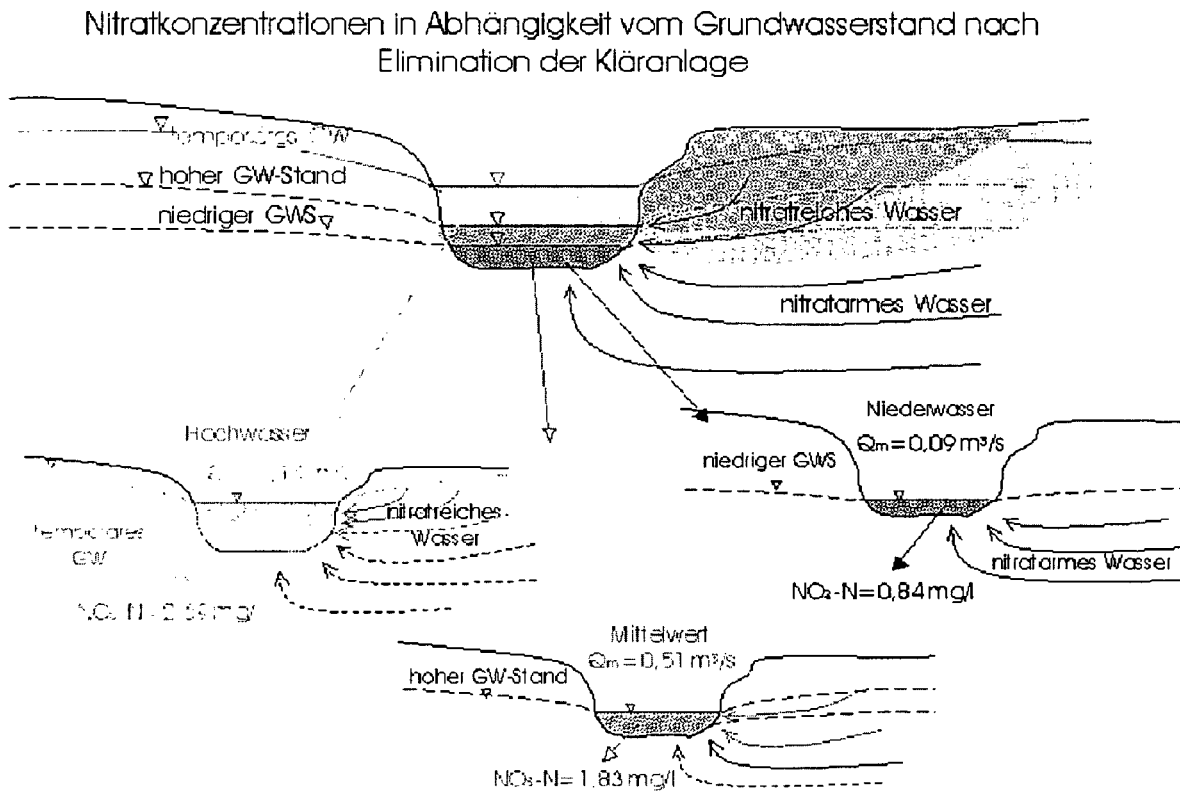


Abbildung 4-102: Hochwasser, Mittelwasser, Niederwasser und dazugehörige Nitratkonzentrationen in Abflüssen, Pegel Schützen

Im Hochwasserbereich ist der Grundwasserstand besonders hoch (linker Querschnitt in der Mitte) und es gelangt neben dem älteren auch jüngeres Grundwasser aus gewässernahen Bereichen und höheren Bodenschichten zum Abfluss. Diese Abflüsse enthalten mehr Nitrat und erhöhen die Nährstoffkonzentration im Fließgewässer. Zuzufolge Niederschlagsereignissen kann auch ein Eintrag über den Oberflächenabfluss oder einen bodeninternen Abfluss erfolgen.

Berücksichtigt man nur die Abflüsse oberhalb eines gewissen Durchflusses, welcher hier mit $0,677 \text{ m}^3/\text{s}$ (inkl. Kläranlagen) angenommen wurde, so ergeben sich

wesentlich höhere Nährstoffkonzentrationen im Gewässer, die bereinigten Nitratstickstoffkonzentrationen im Hochwasserbereich betragen 2,69 mg/l und der mittlere Abfluss für diese Durchflussklasse beträgt 1,14 m³/s.

Der untere Querschnitt zeigt die vom Kläranlageneinfluss bereinigten Mittelwerte aller Durchflüsse und Konzentrationen im Untersuchungszeitraum mit einem mittleren Grundwasserstand.

Die Korrelationen zwischen der gemessenen Nitratkonzentration und dem Durchfluss (nicht dargestellt) wachsen mit abnehmendem Wasserstand. Er beträgt 0,55 im Niederwasserbereich (das sind die Abflüsse, welche vorwiegend aus dem Grundwasser kommen) und ist -0,09 im Hochwasserbereich (es gibt also keinen Zusammenhang der Gesamtdurchflüsse mit den Nitratkonzentrationen im Hochwasserbereich).

Für die folgenden Darstellungen wurde der Pegel St. Margarethen analysiert. Dieser Pegel umfasst das Einzugsgebiet des Nodbaches im unteren Wulkatal und ist von Kläranlagen unbeeinflusst.

In Abbildung 4-103 sind die mittleren Nitratstickstoffkonzentrationen für verschiedene Durchflussklassen dargestellt. Ganz links sind jeweils die mittleren Konzentrationen aller Messdaten zu finden, daneben sind jeweils die Mittelwerte der Abflusskategorien (Klassen von $Q < 0,05 \text{ m}^3/\text{s}$ bis $Q < 0,015 \text{ m}^3/\text{s}$, von links nach rechts abnehmend) zu finden. In der rechten Abbildung sind die mittleren Durchflüsse und die dazugehörigen mittleren Nitratstickstoffkonzentrationen dargestellt und in der linken Abbildung sind die Korrelationskoeffizienten der Abflüsse mit den NO₃-N Konzentrationen der einzelnen Abflussklassen gezeigt.

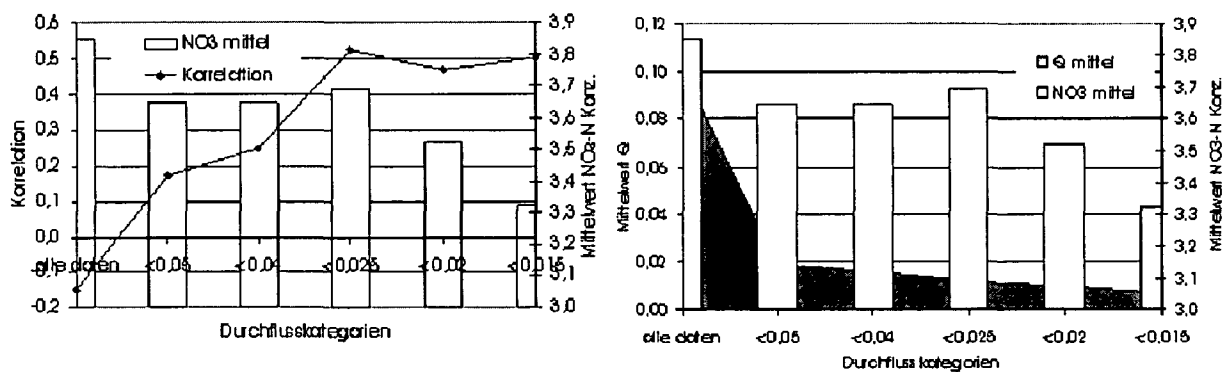


Abbildung 4-103: Nitratstickstoffkonzentrationen, Durchflüsse, Korrelationen, Pegel Margarethen bei verschiedenen Wasserständen

Bei hohem (Grundwasser-) Abfluss, sind die Nitratstickstoffkonzentrationen größer als bei kleinen (Grundwasser-) Abflüssen. Die Nitratkonzentration fallen mit dem (Niederwasser-) Durchfluss, während im Niederwasserbereich, unterhalb eines Durchflusses von 0,025 m³/s, konstante Korrelationen vorliegen, die Korrelationskoeffizienten

$Q/\text{NO}_3\text{-N}$ liegen bei $0,5^{25}$.

Dieser Zusammenhang wird schlechter im Mittel- und Hochwasserbereich; dort wird die Korrelation sogar negativ. Im Niederwasserbereich, wenn der Abfluss hauptsächlich aus Grundwasser besteht ist also die Korrelation zwischen dem Durchfluss und den Nitratstickstoffkonzentrationen am besten. Da die sehr kleinen Durchflüsse im untersuchten Zeitraum selten waren wurde die kleinste Abflusskategorie mit $Q \leq 0,015 \text{ m}^3/\text{s}$ festgelegt.

Dieser Zusammenhang zeigt, dass der Eintrag von Nitrat bei niedrigen Durchflüssen über das Grundwasser erfolgt, weiterhin deutet auf ein großes Denitrifikationsvermögen des Untergrundes hin.

4.7.8 Ex- und Infiltration

Ist der Grundwasserstand sehr niedrig, kann es zu einem Potentialgefälle zwischen Gewässer und Grundwasser kommen, das Wasser exfiltriert in das Grundwasser. Dieses Phänomen ist im Bereich Schützen häufig zu beobachten.

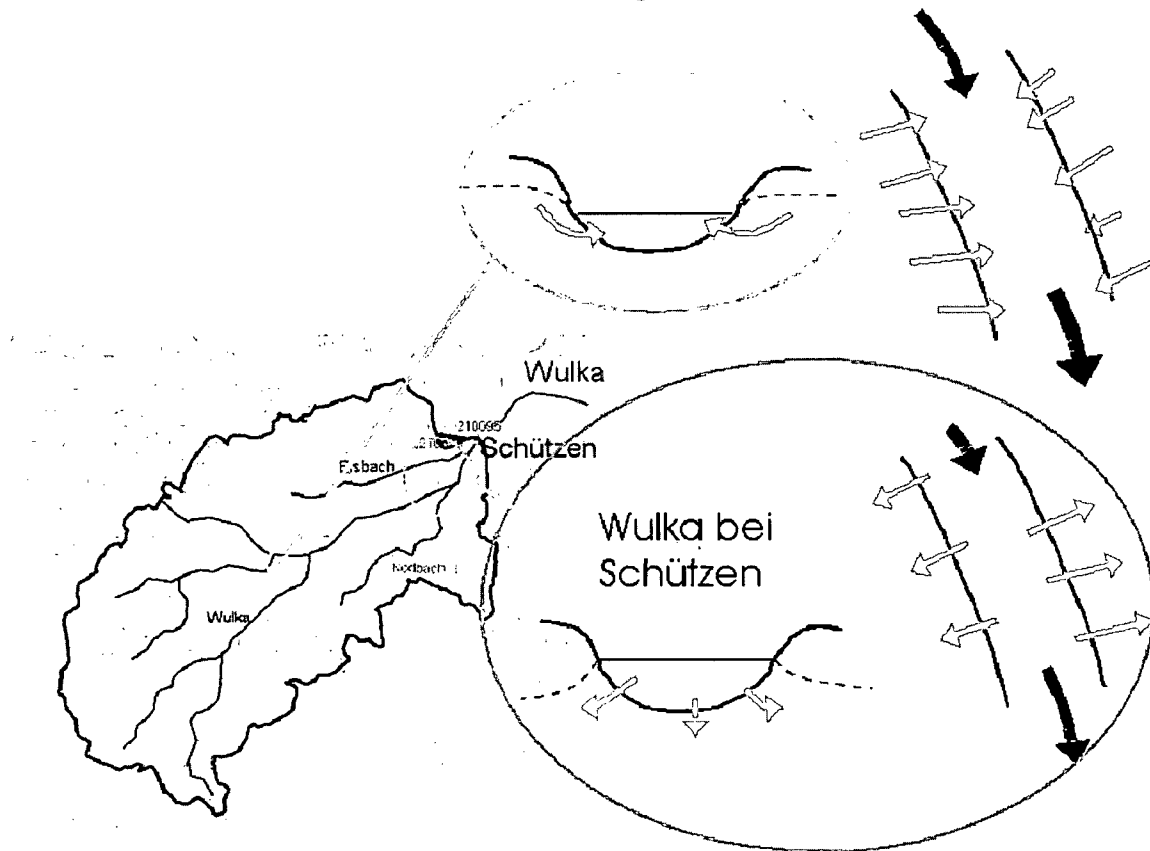


Abbildung 4-104 Speisung des Grundwasserkörpers durch das Oberflächenwasser am Beispiel des unteren Wulkatales

²⁵ Wobei anzunehmen ist, dass dieser Wert aufgrund der geringen Schwankungen nicht höher ist.

In Abbildung 4-104 sind die Verhältnisse im Einzugsgebiet der Wulka dargestellt. Im oberen Einzugsgebiet erfolgt eine Speisung des Abflusses durch das Grundwasser, wie es in den Berechnungen (auch bei der Ganglinienanalyse) angenommen wird. Bis zum Pegel Trausdorf infiltriert das Grundwasser in die Wulka. Im unteren Einzugsgebiet, bei niedrigen Niederschlagsraten und hoher Verdunstung, kommt es häufig zu einer Exfiltration des Wasser aus dem Fließgewässer in das Grundwasser.

In Tabelle 4-39 sind die Einzugsgebietsflächen der Teileinzugsgebiete im Wulkatal und deren Abflüsse angegeben. Die erste Spalte beinhaltet die Gesamtflächen bis zu dem jeweiligen Pegel, in der zweiten Spalte sind die „Netto-Flächen“ eingetragen, also jene Flächen, welche den oberliegenden Pegel nicht beinhalten. Die 3. und die 4. Spalte beinhalten die Brutto- bzw. die Nettoabflüsse der Pegel. Die durchschnittlichen Raten wurden mit den Durchflusswerten von 1971-97 berechnet.

| Wulka | km ² brutto | km ² netto | m ³ /s brutto | m ³ /s netto |
|--------------------------|------------------------|-----------------------|--------------------------|-------------------------|
| Walbersdorf | 78,1 | 78,1 | 0,255 | 0,255 |
| Wulkaprodersdorf | 220,7 | 142,6 | 0,515 | 0,260 |
| Trausdorf | 235,9 | 15,2 | 0,679 | 0,164 |
| Nodbach | 44,7 | 44,7 | 0,127 | 0,127 |
| Oslip /Eisbach exkl. ARA | 63,3 | 63,3 | 0,101 | 0,101 |
| Schützen exkl. ARA | 383,7 | 39,8 | 0,785 | -0,123 |

Tabelle 4-39: Durchschnittswerte der Durchflüsse in m³/s brutto und netto

In der obigen Tabelle kann man erkennen, dass sich für Schützen nach Abzug der Teilgebietsabflüsse ein negativer Wert für den Abfluss ergibt. Das bedeutet, dass im unteren Einzugsbereich von Schützen sogar im langjährigen Durchschnitt eine Speisung des Grundwassers durch die Wulka erfolgt.

Dieses Phänomen tritt natürlich nicht gleichmäßig über das Jahr auf. Ist der Niederschlag hoch, so findet eine Nachlieferung in das Grundwasser statt und aufgrund des hohen Grundwasserstandes exfiltriert dieses in die Wulka. In Zeitabschnitten, in denen der Niederschlag gering und die Temperatur hoch sind (wodurch der Grundwasserstand gering und die Verdunstung sowie der Wasserbedarf der Landwirtschaft groß sind, findet eine Dotierung des Grundwassers durch die Wulka statt.

Abbildung 4-105 zeigt dieses Phänomen in einer höheren zeitlichen Auflösung anhand von Durchflussganglinien für die Monate Juni bis Dezember 1992. Dargestellt wurden die vom Kläranlagenzufluss (Fremdwasser) bereinigte Ganglinie des Pegels Schützen (dicke Linie) und die aufsummierten Ganglinien (dünne schwarze Linie) der Teileinzugsgebiete Trausdorf, Nodbach und Eisbach.

Wenn man von dem Abfluss der Wulka (ohne Kläranlagenzufluss) die oberliegenden Pegel, nämlich Trausdorf, Nodbach und Eisbach abzieht, so ergibt sich die mindestens aus dem Grundwasser in das Gewässer infiltrierende Wassermenge, unter der Annahme, dass unterhalb des Pegel Trausdorf eine Zulieferung nur durch

den Nodbach und Eisbach erfolgt. Diese in das Grundwasser exfiltrierenden Wassermengen sind als Fläche dargestellt.

Im unteren Wulkatal ist eine Exfiltration sehr häufig der Fall. Nur bei den Abflussspitzen Anfang Juni und Ende November/Anfang Dezember überschreitet der Abfluss des Pegels Schützen die Zuflüsse der Teileinzugsgebiete.

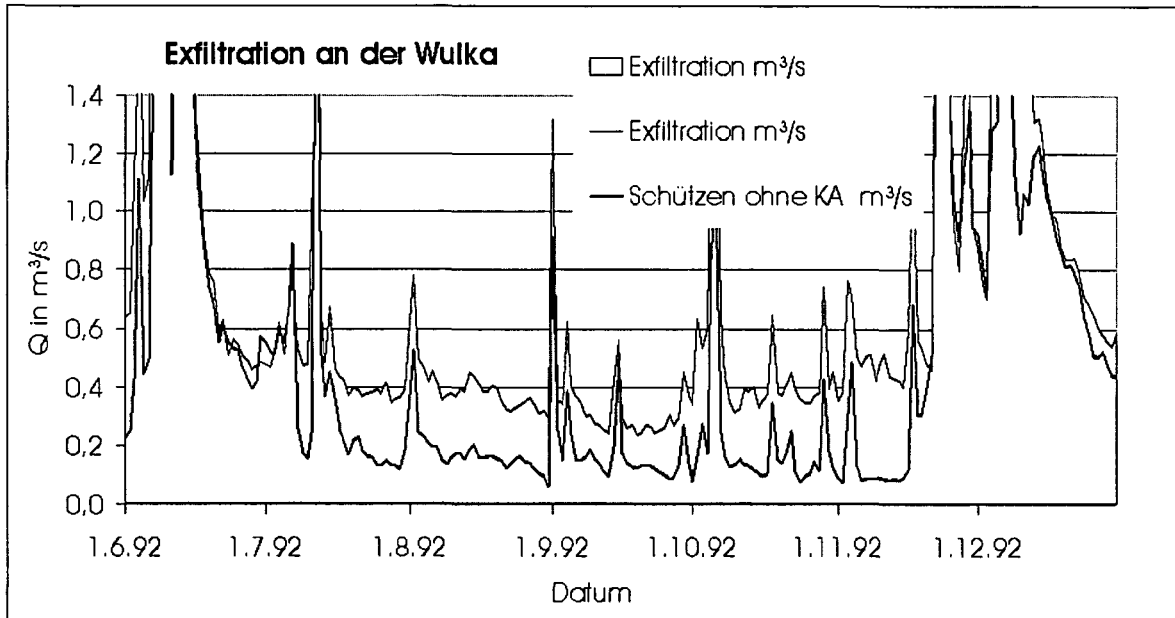


Abbildung 4-105: Exfiltration an der Wulka, 1992

Betrachtet man die Niederschlags- und Abflusshöhen, so ist das Jahr 1992 ein mittleres Jahr. In trockenen Jahren wird die Dotierung des Grundwassers größer, in feuchten Jahren kleiner sein. Tabelle 4-40 zeigt die Abflüsse der aufsummierten Teileinzugsgebiete und des Pegels Schützen sowie deren Differenz in den Jahren 1992 bis 1996 im Vergleich. Man sieht, dass in den Jahren 1992-1995 im Mittel eine Dotierung des Grundwassers im unteren Wulkatal erfolgte, nur in dem Jahr 1996, welches sehr niederschlagreich war, überschreitet der mittlere Abfluss des Pegels Schützen die Abflüsse der Teileinzugsgebiete Trausdorf, Nodbach und Eisbach.

| Mittelwerte: | Trausdorf. +Nodbach+Eisb. | Schützen ohne KA | Ex- oder Infiltration |
|--------------|---------------------------|-------------------|-----------------------|
| Jahr | m ³ /s | m ³ /s | m ³ /s |
| 1992 | 0,847 | 0,660 | -0,186 |
| 1993 | 0,734 | 0,584 | -0,150 |
| 1994 | 0,928 | 0,771 | -0,157 |
| 1995 | 0,948 | 0,768 | -0,180 |
| 1996 | 1,731 | 1,792 | +0,061 |

Tabelle 4-40: In- oder Exfiltrationsmengen der Wulka in Schützen, Jahre 92-96

Nährstoffaustausch zwischen Grundwasser und Fließgewässer bei Infiltration

Abbildung 4-106 zeigt einen Flussquerschnitt mit dem angrenzenden Grundwasser. Ist der Grundwasserspiegel tiefer als der Wasserstand im Gewässer (in der Abbildung bei dem höheren, hell hinterlegten Wasserstand), so kommt es zu einer Grundwasserneubildung durch das Fließgewässer. Die Exfiltration aus dem Fließgewässer erfolgt je nach Grundwasserstand nur seitlich oder (bei tiefem Grundwasserstand) auch im Bereich der Sohle.

Es ist zu erwarten, dass die im Grundwasser vorhandenen Nährstoffe durch die Konzentrationen im Fließgewässer (teilweise) ausgeglichen werden²⁶.

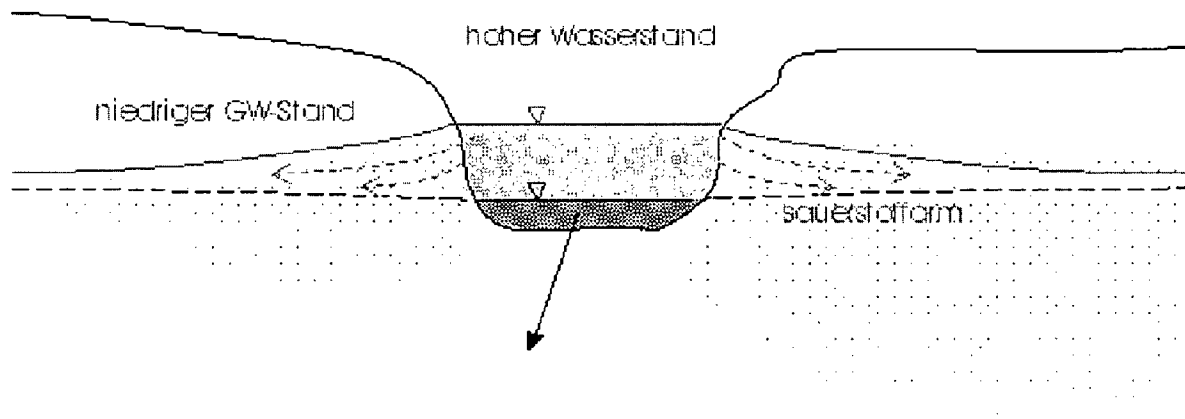


Abbildung 4-106: Exfiltration aus dem Grundwasser

Weiterhin ist eine Veränderung der Konzentrationen zu erwarten, da die „Umgebung“ des Flusswassers sich ändert. In den geänderten Umgebungsbedingungen im Grundwasserbereich sowie während der Bodenpassage²⁷ sind Abbau- und Retentionsvorgänge, Fällungsreaktionen wahrscheinlich.

Im Falle der unteren Wulka, wo das Grundwasser sehr sauerstoffarm ist, ist mit einer hohen Denitrifikationsrate zu rechnen.

Die tatsächlichen Denitrifikationsraten im unteren Wulkatal zufolge Exfiltration werden in Kapitel 4.9 beschrieben.

²⁶ Je nach Konzentrationsunterschieden könnte das, bei landwirtschaftlich intensiv genutzten Gebieten, auch eine Verdünnung der Nährstoffkonzentrationen sein.

²⁷ Vergleich Kapitel 2.4: 90 % der flussinternen Bakterienmasse sind im Gewässerbett zu finden.

4.7.9 Einflussfaktoren

Aus den Untersuchungen kann gefolgert werden, dass die Nährstoffe auf verschiedenen Fließwegen ins Gewässer eingetragen werden.

Mit den unterschiedlichen Fließwegen des Wassers und den Einträgen (Eintragspfade und die Höhe des Eintrages) sind auch verschiedene Prozesse verbunden, welche von den hydrologischen Einflussfaktoren (Vorbefeuchtung, Niederschlagsverteilung) und von den Gebietseigenschaften (Geologie, Beschaffenheit des Untergrundes) abhängen. Da eine gezielte Verbesserung der Grundwasser- und Fließgewässergüte im Einzelfall durch unterschiedliche Maßnahmen in Abhängigkeit des zugrunde liegenden Prozesses möglich ist, sollen im Folgenden Einzelprozesse aufgezeigt werden.

Die Vorgangsweise folgt der in Kapitel 4.6, wo der Zusammenhang der Abflusskomponenten nach Difga 2000 von verschiedenen Einflussfaktoren untersucht wurde. In diesem Kapitel sollen nun die Auswirkungen der verschiedenen Einflussfaktoren auf den Nährstofftransport betrachtet werden.

Literaturangaben und eigenen Überlegungen folgend kann mit folgenden Schlüssen gerechnet werden:

Eine Trockenperiode vor Starkniederschlägen hat einen dämpfenden Einfluss auf die Abflussvorgänge und vermindert so auch Erosionsvorgänge. Feuchte Einzugsgebiete reagieren schneller und stärker auf Niederschläge. Die direkten Abflussanteile sind sehr schnelle Abflüsse und müssen daher zum großen Teil oberirdisch oder oberflächennah abfließen, es ist demnach auch zu erwarten, dass aufgrund der, durch Starkniederschläge hervorgerufenen Erosion, der Schwebstofftransport und die Konzentration an Phosphor im Fließgewässer hoch sind.

Der Nährstoffeintrag in das Gewässer und Grundwasser kann sich aber bei hydrologisch gleichartigen Ereignissen -in Abhängigkeit der Fruchtfolge, der Jahreszeit, der Bewirtschaftungsart und Düngung des Bodens- stark unterscheiden.

Im Falle eines gefrorenen Bodens kommt es überwiegend zu Oberflächenabfluss, welcher aber kein Bodenmaterial wegschwemmen kann.

Wird das Feld hangparallel (in Richtung der Falllinie) gepflügt, so ist die Erosion größer, als wenn die Bearbeitung senkrecht zum Hang erfolgt.

Im Frühjahr, nach der Aussaat, bevor die Pflanzenwurzeln erosionshemmend wirken können, ist das frisch gepflügte Feld besonders erosionsgefährdet, und ein Starkregen wird besonders wirksam.

Ist das Feld bewachsen und sind wesentliche Teile des Nährstoffangebotes schon verbraucht, so hat ein Starkregen einen wesentlich kleineren Einfluss, aber auch hier ist der Effekt auf die Gewässer abhängig von der Feldfrucht, so sind beispielsweise Maisfelder besonders erosionsgefährdet, ein Maisfeld in Gewässernähe kann große Nährstoffeinträge verursachen.

Treten mehrere Starkniederschläge hintereinander auf, so wird vor allem die erste

Abflussspitze, ähnlich einem Spülstoß in einer Mischkanalisation einer Kläranlage, große Mengen an Nährstoffen einbringen.

Wechselwirkungen zwischen dem Fließgewässer und dem Grundwasser können sich günstig auf den Stickstoffhaushalt auswirken, insbesondere bei sauerstoffarmen Grundwasser und im Bereich nährstoffreicher Gewässerrandzonen.

Einige dieser Aspekte sollen im folgenden beispielhaft, mit Hilfe täglicher Messdaten, genauer untersucht werden.

4.7.9.1 Starkniederschläge

Im Jahr 1996 waren die Abflüsse im Einzugsgebiet der Wulka wesentlich höher als in anderen Jahren. Der mittlere direkte Abfluss QD im Jahr 1996 ist hoch. Er beträgt 4,4 mm/Monat, was 36 % des Gesamtabflusses ausmacht. Im Mittel über alle Jahre des Untersuchungszeitraumes beträgt er nur 16%.

Um die dahinterstehenden Niederschlags-Abfluss-Prozesse zu finden, muss man die Verteilung des Abflusses in seine Komponenten und deren Verteilung über das Jahr etwas detaillierter untersuchen.

Es wurden im Folgenden die Ergebnisse der Ganglinienanalyse mit Difga verwendet. Ein Vergleich zwischen den mittleren monatlichen Direktabflüssen der Jahre 1971-1997 und den Direktabflüssen im Jahr 1996 zeigt Abbildung 4-107.

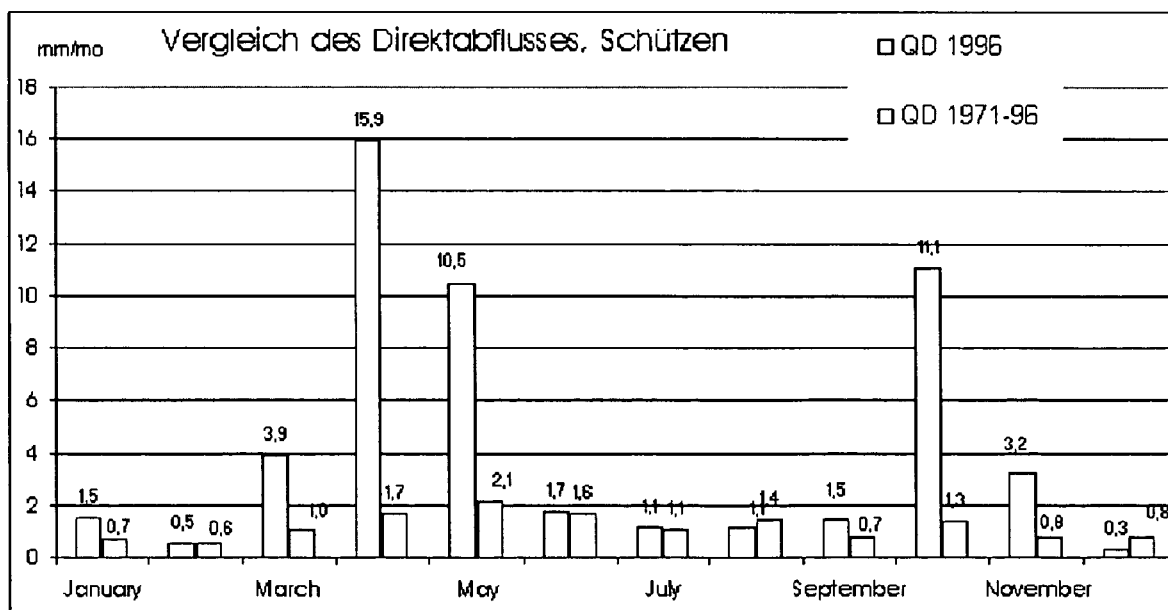


Abbildung 4-107: Vergleich des direkten Abflusses Schützen 1996, Mittelwerte

Der direkte Abfluss des Jahres 1996 ist keineswegs gleichmäßig über die Monate verteilt, sondern übersteigt nur im Frühling (vor allem im April und Mai) und im Herbst (vor allem im Oktober) den mittleren Direktabfluss der langjährigen Messreihe. In den

übrigen Monaten sind die Abflusshöhen den mittleren sehr ähnlich.

Im April 1996 tritt der höchste Direktabfluss auf, er beträgt das 9,4-fache des mittleren Monatsabflusses an QD, im Oktober beträgt der Faktor 8,5.

Der Monat April soll nachfolgend noch detaillierter betrachtet werden. Aufgrund der Schnee- und Temperaturdaten kann eine Schneeschmelze als Ursache für den Direktabfluss im April 1996 ausgeschlossen werden.

Abbildung 4-108 zeigt den Niederschlag im Einzugsgebiet der Wulka und den dazugehörigen Abfluss und deren Abflusskomponenten des Pegels Schützen im April 1996. Die Abbildung macht die Herkunft des hohen Oberflächen- und Zwischenabflusses im April 1996 deutlich.

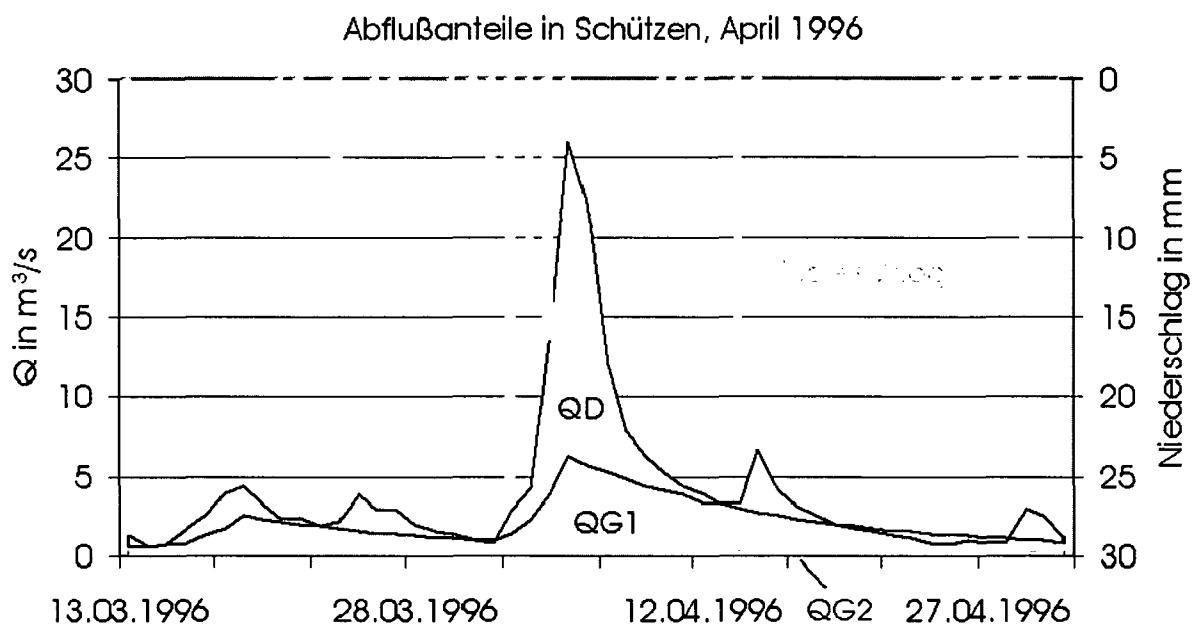


Abbildung 4-108: Niederschlag (P), Abflussanteile (direkt QD, schnelles Grundwasser QG1, langsames GW QG2) im April 1996 am Pegel Schützen / Wulka

Der extrem hohe Abfluss zwischen dem 4. und 8. April wird bei leichter Vorbefeuchtung durch ein 4-Tages-Niederschlagsereignis von insgesamt 63 mm Höhe verursacht. Diese Niederschlagssumme entspricht mehr als einem Zehntel der Jahresniederschlagssumme in diesem Gebiet. Der Abfluss steigt zufolge der Niederschläge stark an, wobei der Direktabfluss den weitaus größten Anteil ausmacht. Dieses Ereignis ist also ein typisches „Starkregenereignis nach Vorbefeuchtung“ nach Kapitel 4.6.2.

Die Ursachen für die hohen, schnellen Abflüsse im April 1996 müssen also die Starkniederschläge sein, welche zeitlich sehr begrenzt zwischen dem 1. und dem 4. April auftraten. Sie haben eine Sättigung des Einzugsgebietes bewirkt und ihre Abflüsse haben sich überlagert.

Abbildung 4-109 zeigt die Konzentrationen der Nährstoffe in der Wulka sowie die Ganglinie des Abflusses und des Direktabflusses im April 1996.

Die schwarze Linie gibt die Gesamtposphorkonzentration wieder. Sie ist, welche zwischen dem 4. und 7. April 1996 in der Wulka besonders groß, sie beträgt 3 mg/l²⁸ im Bereich der Abflussspitze Anfang April.

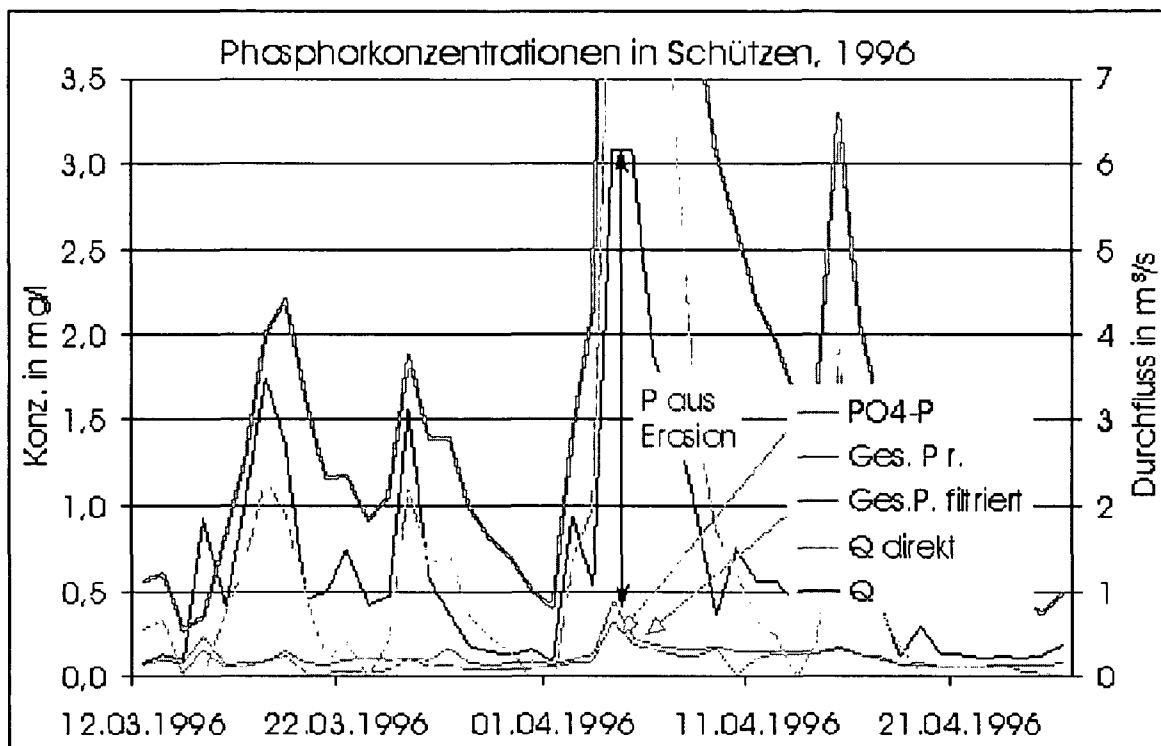


Abbildung 4-109: Phosphorkonzentrationen und direkter Abfluss

Weiterhin ist in der Abbildung der filtrierte Phosphoranteil und das Phosphat sowie der Durchfluss dargestellt. Die Konzentrationen des gelösten und des filtrierte Phosphors schwanken nicht sehr. Es gibt nur eine kleine Anfangsspitze der Konzentrationen von 0,2-0,3 mg/l.

Die großen Differenzen zwischen den hohen Gesamtposphorkonzentrationen und den niedrigen Konzentrationen an filtrierte Phosphor bedeuten einen hohen Anteil an partikulärem, an Sediment gebundenen, Phosphor, was auf einen großen Anteil an „Erosionsphosphor“ schließen lässt.

Um die Auswirkungen der verschiedenen Abflussprozesse auf den Phosphoreintrag zu untersuchen, sollen die Niederschlagsereignisse und deren Abflussreaktionen des Pegels Schützen, analog zu Kapitel 4.6.2, in Niederschlagsklassen mit Tagesniederschlägen über 10, 20 und 30 mm/Tag eingeteilt werden.

²⁸ Die mittlere Konzentration in Schützen beträgt 0,41 mg/l (1998-2000), es ist also die Konzentration die 7,5-fache des Mittelwertes.

Die Mittelwerte der Niederschlagsklassen für den Niederschlag P in mm/Tag, den Abfluss Q und dessen Komponenten in m³/s sind für die Jahre 1992 bis 1997 in nachfolgender Tabelle zusammengefasst:

| Mittelwert: | P | Q [m ³ /s] | QG2 [m ³ /s] | QG1 [m ³ /s] | QD [m ³ /s] |
|-------------|------|-----------------------|-------------------------|-------------------------|------------------------|
| alle Werte | 1,9 | 0,92 | 0,16 | 0,53 | 0,23 |
| P>10mm/d | 17,8 | 2,96 | 0,16 | 0,85 | 1,95 |
| P>20mm/d | 27,9 | 4,47 | 0,19 | 1,00 | 3,28 |
| P>30mm/d | 35 | 6,81 | 0,24 | 1,20 | 5,37 |

Tabelle 4-41: Niederschläge, Abflüsse, Abflussanteile bei Starkniederschlag

Bei den angegebenen Abflüssen bzw. Abflussanteilen handelt es sich um die Abflüsse am ersten Tag nach dem Niederschlagsereignis (Tag i+1), also um Abflüsse die mit durchschnittlich 17 Stunden Verzögerung erfasst wurden.

Abbildung 4-96 in Kapitel 4.6.4 auf Seite 183 zeigt die Abflussanteile der verschiedenen Niederschlagsklassen als Tortendiagramm. Der Anteil des Direktabflusses steigt von durchschnittlich 35% auf 79 % bei Niederschlägen über 30 mm/Tag.

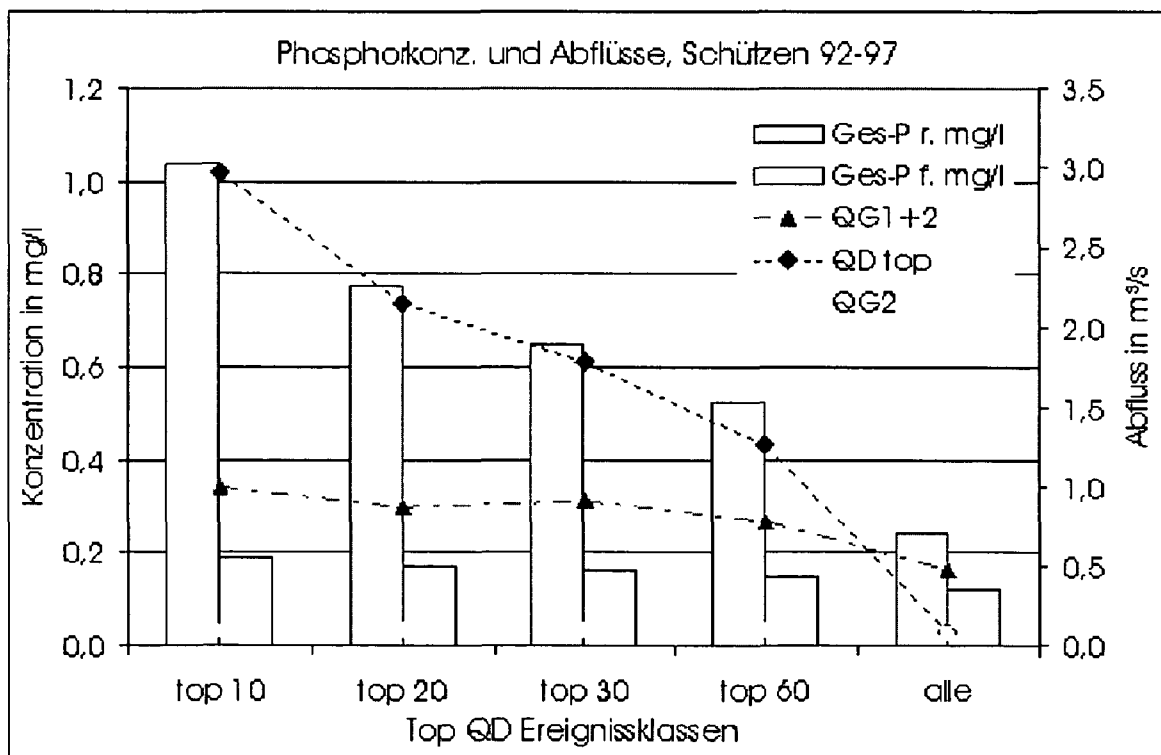


Abbildung 4-110: Phosphorkonzentrationen bei Starkniederschlägen, 1998-2002

Abbildung 4-110 zeigt die Konzentrationen des Gesamtphosphors („Ges-P r.“) und des filtrierte Phosphors („Ges-P f.“) für die Wulka für verschiedene Abflusskategorien sowie den Direktabfluss, den Anteil des langsamen Grundwassers und den unterir-

dischen Grundwasserabfluss. Es wurde wieder die Datenreihe 1992-1997 gewählt. Für den Pegel Schützen lagen, bis auf einige Lücken, tägliche Gütedaten vor. Die Abflussklassen wurden anhand der Direktabflüsse gebildet. Mit dieser Vorgangsweise wurde gleichzeitig der Einfluss der Vorbefeuchtung eliminiert, bei hohen Direktabflüssen kann man von einem feuchten Einzugsgebiet ausgehen. Die im Fließgewässer gemessenen Gesamtphosphorkonzentrationen steigen bei hohen Direktabflüssen stark an. Der Anstieg der Phosphorkonzentrationen und der des Direktabflusses zeigt dabei für die oberen Durchflussklassen ein sehr ähnliches Bild.

Die Konzentrationen des löslichen oder filtrierten Phosphors bleiben jedoch bei wachsenden Abflüssen nahezu konstant, ähnlich verhalten sich die langsameren Abflusskomponenten. QG2 verändert sich kaum, das schnelle Grundwasser zeigt einen leichten Anstieg, der sich auch in dem Gesamtgrundwasserabfluss wiederfindet.

Der wachsende Anteil des Phosphors bei steigenden Direktabflüssen wird also aus der Differenz zwischen Gesamtphosphor und filtriertem Phosphor, dem partikulären Phosphor, welcher aus Erosionsprozessen stammen muss, gebildet.

4.7.9.2 Schneeschmelze, Niederschläge auf gefrorenen Boden

Treten im Winter oder Frühjahr Abflussspitzen ohne nennenswerten Niederschlag auf, so ist die Ursache in dem Abtauen der Schneedecke zu suchen. In den folgenden Beispielen sind auch Schneedecken vorhanden.

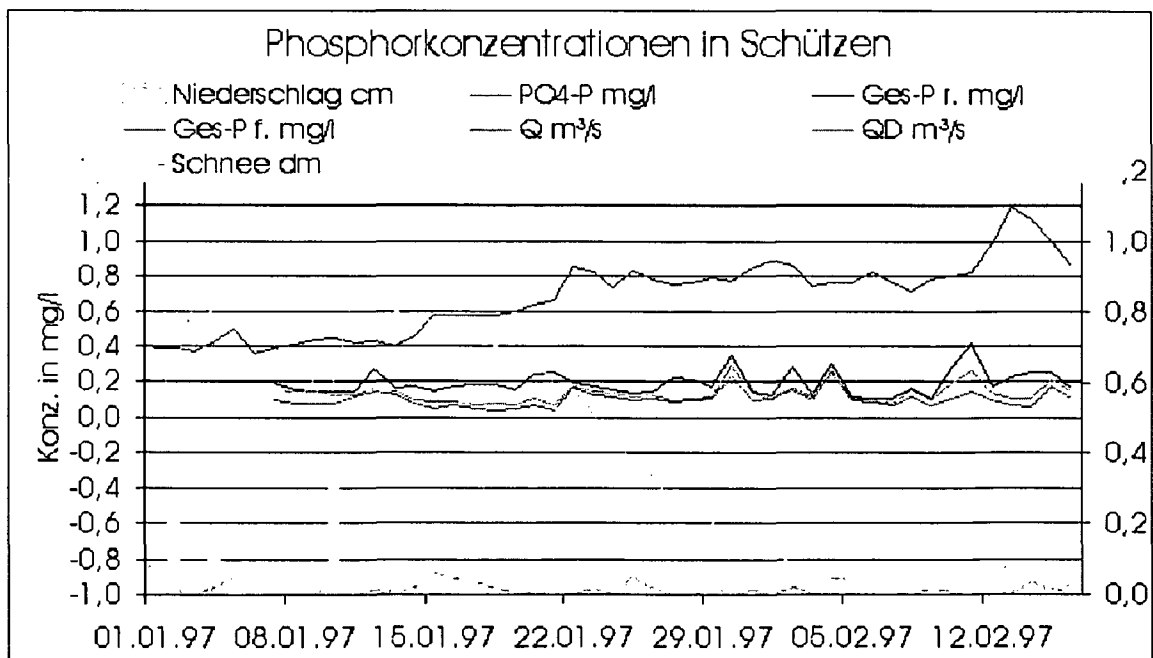


Abbildung 4-111: langsam abtauende Schneedecke, Phosphorkonzentrationen

In Abbildung 4-111 sind die Niederschlagshöhen, der Abfluss, die Anteile des direkten Abflusses, die Phosphorkonzentrationen und die Schneehöhen für das Einzugsgebiet der Wulka während der Schneeschmelze im Januar 1997 dargestellt.

Vor der Schneeschmelze ist die Schneedecke 8,7cm mächtig, das entspricht bei Neuschnee einem Niederschlag von 8,7 mm. Das langsame Abtauen der Schneedecke erfolgt zwischen dem 11.01. und dem 07.02.199, also durchschnittlich mit 0,335 mm/Tag.

Das Abschmelzen der Schneedecke in diesem Zeitraum wird von Difga als Grundwasserabfluss interpretiert, es ist fast kein Direktabfluss vorhanden.

Die Phosphorkonzentrationen bleiben während der Schneeschmelze unverändert.

Ein weiteres Beispiel dafür findet man in Kapitel 4.7.9.5 zum Thema „Überwiegend Grundwasserabfluss“, an den letzten Tagen dieses Zeitraumes treten ebenfalls niedrige Phosphorwerte bei Schneeschmelze auf, wie man in Abbildung 4-125 sehen kann.

Abbildung 4-112 zeigt hingegen das schnelle Abtauen der ähnlich hohen Schneedecke im Einzugsgebiet Schützen.

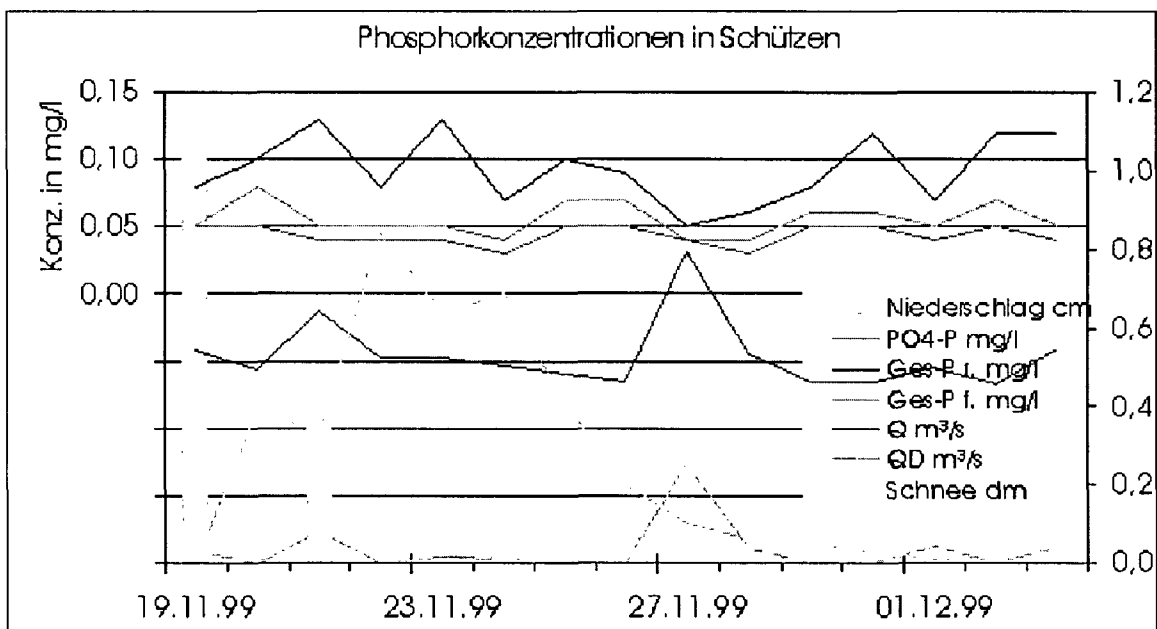


Abbildung 4-112: Einfluss der Schneeschmelze auf den Phosphorhaushalt

Die Schneedecke von 6,9 cm Höhe schmilzt zwischen dem 25. und dem 29.11.99, das entspricht bei einer Dichte von Neuschnee einer Schneeschmelzerate von 1,7 mm/Tag. Man kann erkennen, dass die Durchflussspitze zufolge der Schneeschmelze am 27.-28.11. von dem Ganglinienanalyseprogramm als direkter Durchflussanteil interpretiert wird.

Der direkte Durchfluss hat aber auch hier, wegen des gefrorenen Bodens, und anders als bei direktem Durchfluss zufolge Regen, keine Spitze des partikulären Phosphors zur Folge.

Diese Aussage kann man nur anhand von täglichen Gütemessdaten oder mit während der Schneeschmelze gemessenen Nährstoffkonzentrationen machen. Fehlen diese, wie im Einzugsgebiet der Ybbs, so kann man davon ausgehen, dass die anhand von Durchfluss-Phosphorbeziehungen interpolierten, durchflussabhängigen Gütedaten im Falle der Schneeschmelze nicht plausibel sind.

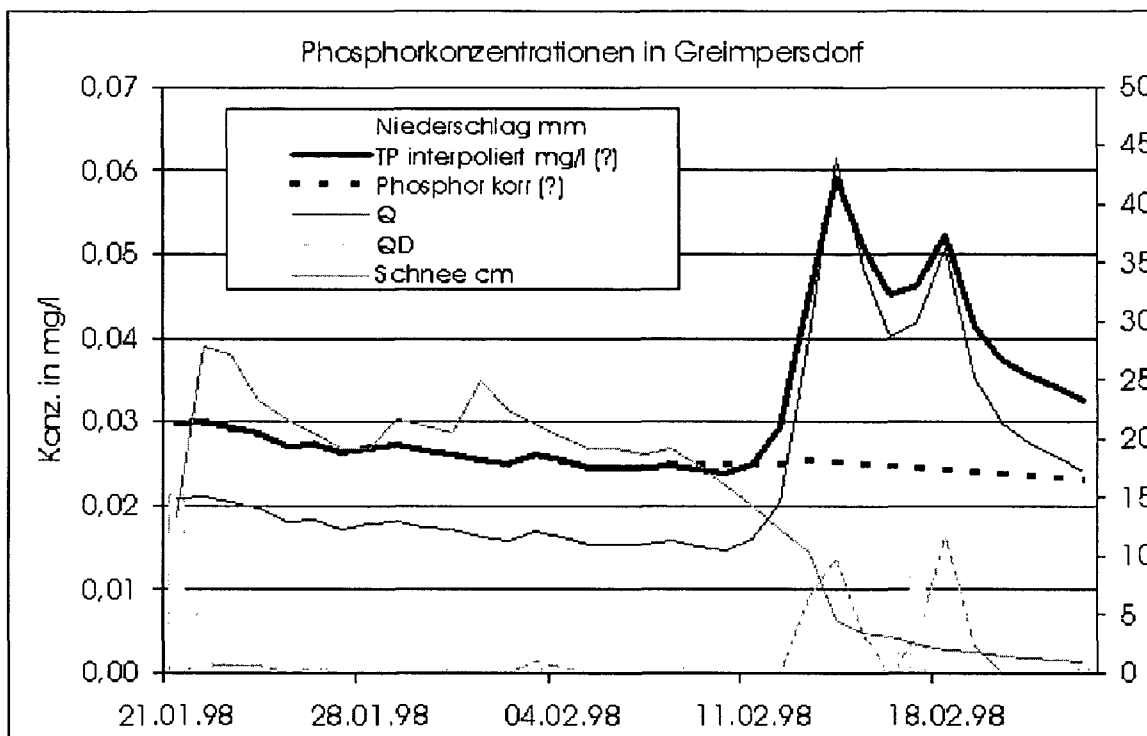


Abbildung 4-113: Schneeschmelze an der Ybbs mit durchflussinterpolierten Daten für Gesamtphosphor und alternative Abschätzung

Abbildung 4-113 zeigt zwei Möglichkeiten zur Abschätzung der (nicht gemessenen) Phosphorkonzentrationen bei Schneeschmelze im Einzugsgebiet der Ybbs, dargestellt als durchgezogene und punktierte dicke schwarze Linie.

Dargestellt sind weiterhin die gemessenen, täglichen Niederschlags-, Schnee- und Abflussdaten des Pegels Greimpersdorf, der direkte Abflussanteil nach Dofga für den Zeitraum 21.01.-24.02.1998.

Die obere, durchgezogene Linie entspricht jener durchflussabhängigen Phosphor-Abfluss-Beziehung, welche für die Abschätzung der Phosphorfrachten an der Ybbs in dem Projekt Danubs angenommen wurde.

Tritt die Schneeschmelze aufgrund steigender Temperatur allmählich ein, so wird eher die untere Abschätzung des Gesamtphosphors (punktierte, schwarze Linie) stimmen, da kein Eintrag an partikulärem Phosphor erfolgt und die Phosphorkonzentrationen hier nicht mit dem Durchfluss gekoppelt sind.

Erfolgt die Schneeschmelze aufgrund einer plötzlichen Erwärmung, verbunden mit Niederschlägen („Regen auf Schnee“- Ereignis), so ist auch ein hoher Direktabfluss,

verbunden mit erosionsbedingten, höheren Phosphorkonzentrationen im Gewässer denkbar, dieses Ereignis würde der oberen Abschätzung (durchgezogene Linie) in Abbildung 4-113 entsprechen.

Die Güteparameter sind also nicht nur von den Durchflüssen und von den Abflusskomponenten, sondern auch von der Art der Niederschlagsabflussprozesse abhängig.

Abbildung 4-114 zeigt die Nitratkonzentrationen während einer Schneeschmelze Ende November 1999 für den Pegel Schützen. Die Nitratstickstoffkonzentrationen steigen während der Schneeschmelze zwischen dem 25. 11. und dem 01.12.1999 von 4 mg/l auf 6-7 mg/l an. Diese Erhöhung der Stickstoffkonzentration im Gewässer muss aus der Schneeschmelze resultieren.

Der Anteil des Abflusses, der aus der Schneeschmelze kommt, hat demnach einen deutlich höheren Nitratgehalt, als der Abfluss bei Niederwasser, also jenem Abfluss, der zu großen Teilen aus älterem Grundwasser besteht.

Das Anwachsen der Nitratkonzentrationen muss demnach auch mit dem im Schnee gespeicherten Depositionsstickstoff zusammenhängen.

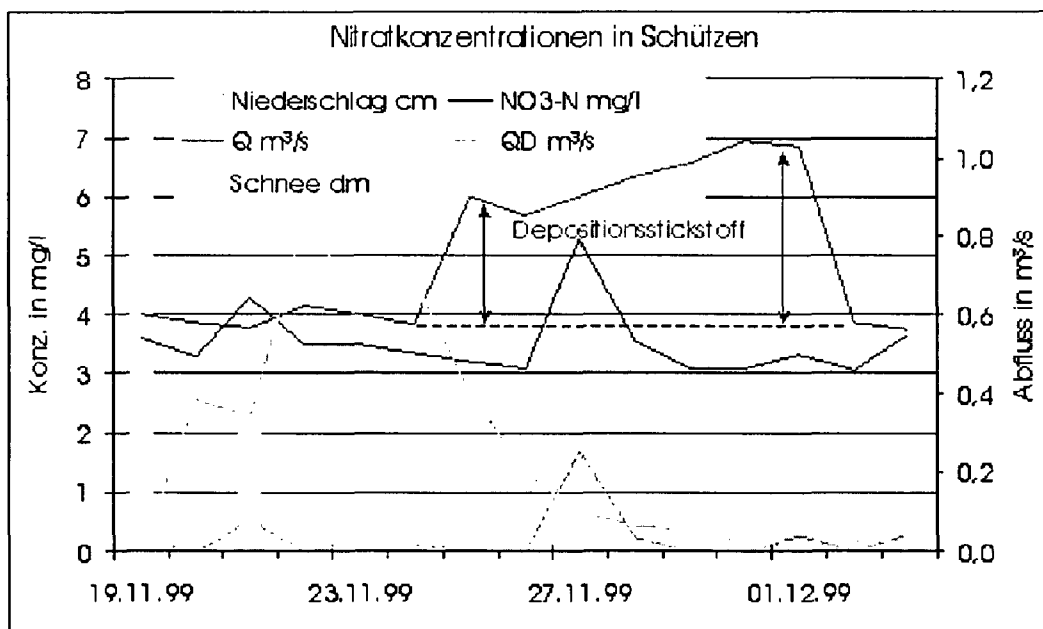


Abbildung 4-114: Nitratkonzentrationen während einer Schneeschmelze

Ein weiteres Beispiel für dieses Phänomen kann man in dem letzten Beispiel (Abbildung 4-126) in diesem Kapitel finden, in den letzten Tagen treten dort ebenfalls hohe Nitratwerte bei Schneeschmelze auf.

Die Abschätzung der Stickstoffdeposition könnte (vor allem bei fehlenden Depositionsmessungen) auch durch das Schneeschmelzwasser und die Konzentrationen im Gewässer erfolgen.

Dazu sind Angaben über die Schneehöhe, den Anteil der schneebedeckten Fläche und das Schneewasseräquivalent und die Abflusshöhen des Fließgewässers nötig.

4.7.9.3 Niederschläge nach Trockenperiode und nach Vorbefeuchtung

Wie in Kapitel 4.6.3 beschrieben bewirken extreme Niederschläge nach langen Trockenperioden meist sehr gedämpfte Abflussreaktionen. Die Abflusshöhen sind geringer, der Anteil des Direktabflusses kleiner als nach Vorbefeuchtung. Dadurch muss auch der durch Erosion hervorgerufene Nährstoffeintrag in das Fließgewässer gering sein.

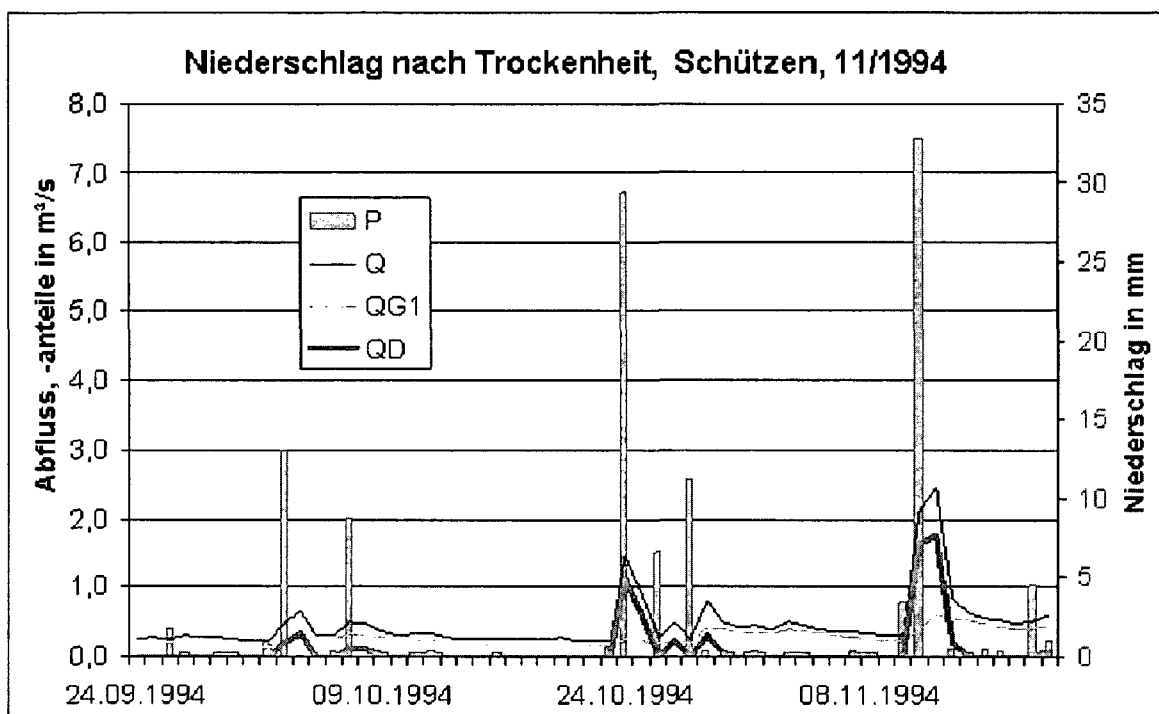


Abbildung 4-115: Niederschlag und Abflussreaktion nach Trockenperiode

Beispielhaft sollen daher die Auswirkungen zweier Starkniederschlagsereignisse mit unterschiedlichen Vorbedingungen untersucht werden.

Als erstes wurde der Pegel Schützen im Oktober und November 1994 untersucht, die Niederschläge treten jeweils nach längeren Trockenperioden ein.

Die Abflussreaktionen (Gesamtabfluss, schneller Grundwasserabfluss und Direktabfluss) zufolge der Niederschlagsereignisse sind in Abbildung 4-115 zu sehen.

Die zwei Niederschlagsereignisse von ca. 30 mm Höhe bewirken Abflüsse von 1,5 bis 2,5 m³/s (nach etwas mehr Vorbefeuchtung).

Der Übersichtlichkeit halber sind die dazugehörigen, gemessenen Phosphorkonzentrationen im Gewässer getrennt in Abbildung 4-116 dargestellt. Das erste Ereignis hat keine wirkliche Auswirkung, im zweiten Fall liegt leider eine Datenlücke vor, der Anstieg der Konzentrationen am Anfang ist aber nicht sehr groß.

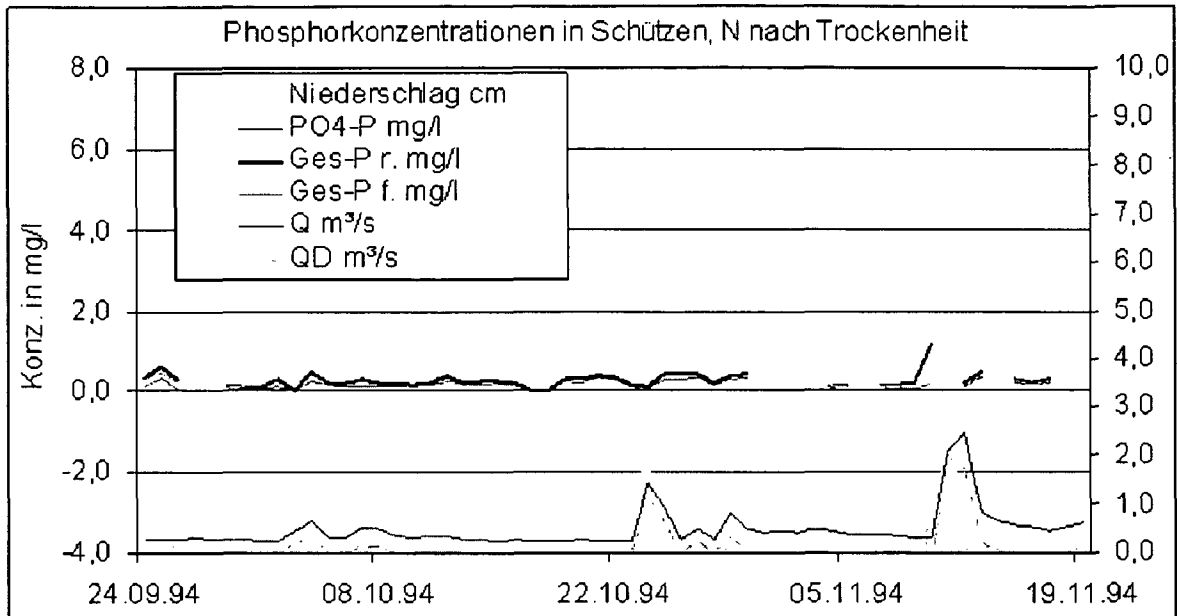


Abbildung 4-116: Abflussreaktion und Phosphorkonzentration im Gewässer zufolge Niederschlag nach Trockenperiode, Pegel Schützen, Okt.-Nov. 1994

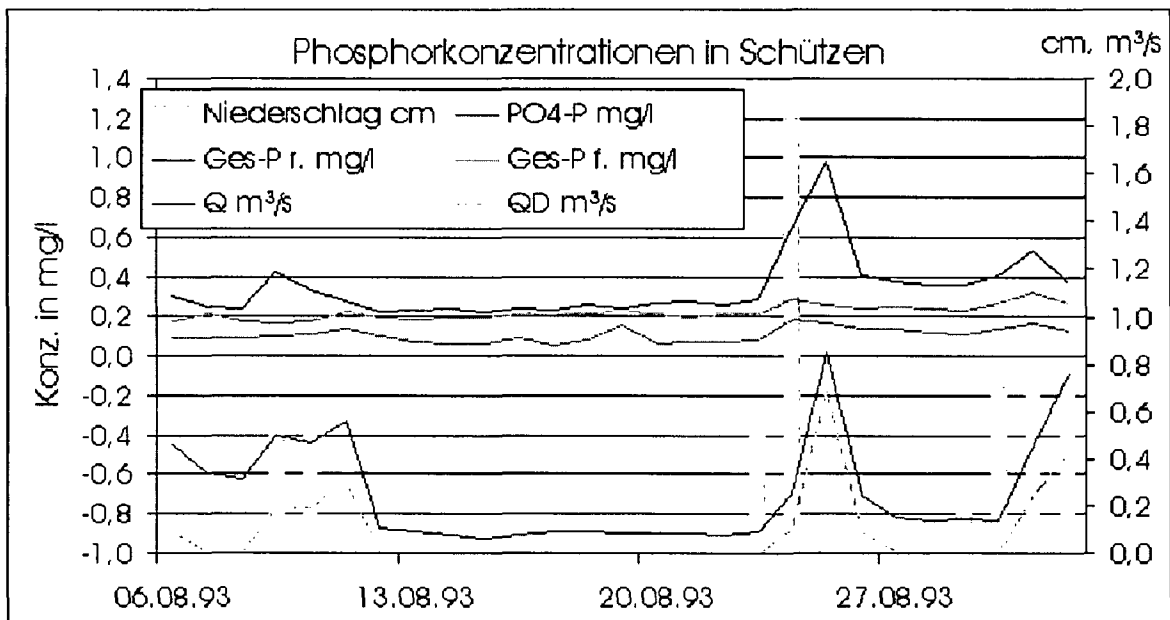


Abbildung 4-117: Niederschlag nach längerer Trockenzeit, August 1993

Als weiteres Beispiel für einen Niederschlag nach einer Trockenperiode wurde das Niederschlagsereignis vom 23.-24. August 1993 ausgewählt. In Abbildung 4-117 sind die Abflussvorgänge und die Phosphorkonzentrationen für das Einzugsgebiet der Wulka mit dem Pegel Schützen vom 6.8.1993 bis Anfang September dargestellt. Die Niederschläge von in Summe 23 mm Höhe bewirken einen Abfluss von 0,8 m³/s und eine Gesamtposphorkonzentration von 1 mg/l.

Als nächstes wurde eine Niederschlagsperiode nach intensiver Vorbefeuchtung und mit Überlagerung der Abflussvorgänge untersucht. Dafür wurden die täglichen Abflussdaten und die Phosphorkonzentrationen des Pegels Schützen im Juni 1992 untersucht, welche in Abbildung 4-118 dargestellt sind.

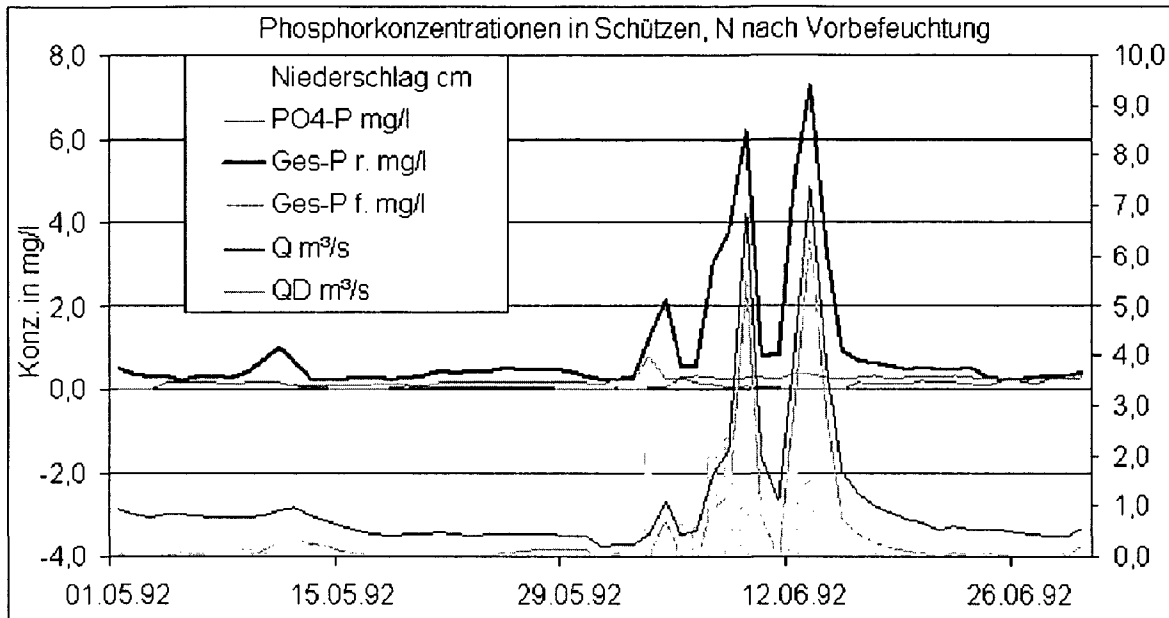


Abbildung 4-118: Niederschlag, Abfluss, Abflussanteile und Phosphorkonzentration bei Vorbefeuchtung, Pegel Schützen, Juni 1992²⁹

Die täglichen Niederschlagshöhen im Juni 1992 liegen bei 18-24 mm/Tag und sind daher etwas geringer als im Oktober/November 1994. Das Niederschlagsereignis hält einige Tage an. Der erste Niederschlagstag bewirkt noch keine große Abflussspitze (nur 1 m³/s), nach dieser Vorbefeuchtung kommt es zu Abflüssen von zuerst 1,8 m³/s zufolge der 2 Tagesniederschläge von ca. 5 mm, danach steigt der Abfluss auf ca. 7 m³/s, also zu einer wesentlich höheren Abflussspitze als im Juni 1992 an. Der hohe Abfluss wird fast ausschließlich von dem Direktabfluss gebildet.

Die hohen Abflussspitzen zeigen auch Auswirkungen auf den Nährstoffeintrag in das Gewässer. In obiger Abbildung sind auch die Phosphorkonzentrationen im untersuchten Zeitraum dargestellt.

Man sieht, dass durch die hohen Abflussspitzen, insbesondere durch die hohen Direktabflüsse große Mengen an partikulären Phosphor eingetragen werden. Die Gesamtposphorkonzentrationen, dargestellt als dicke schwarze Linie, steigen auf ca. 9 mg/l, die Konzentration des gelösten Phosphors bleibt nach einer kleinen Spitze beim ersten Niederschlagsereignis unverändert niedrig.

²⁹ Niederschlag (rechte Hochachse) in cm, Abflüsse in m³/Tag (rechte Hochachse), Konzentrationen in mg/L, (linke Hochachse)

4.7.9.4 Spülstoß

Phosphor wird zu einem großen Teil in partikulärer Form als Folge von Erosion in die Gewässer eingetragen (80-90% der Gesamtfracht beträgt die Fracht aus dem Sediment, das heißt aus erosiven Prozessen). Der Eintrag erfolgt im Zuge von Starkniederschlägen, Hangabbrüchen etc. Der Eintrag erfolgt daher zeitlich begrenzt, bei einzelnen Ereignissen können wesentliche Teile der Jahresfracht eingebracht werden. Untersucht man Einzelereignisse mit hoher zeitlicher Auflösung, so sieht man, dass ansteigende Konzentrationen höher sind als abfallende. Der erste Starkregen bringt eine höhere Fracht, als eine zweite Abflussspitze, weil leicht abschwemmbarer Phosphor schon weggeschwemmt wurde und auch ein „Spülstoß“ in dem Gewässer selbst entsteht, wobei Ablagerungen von früheren Einträgen aufgrund der Schleppkraft hoher Abflüsse abtransportiert werden.

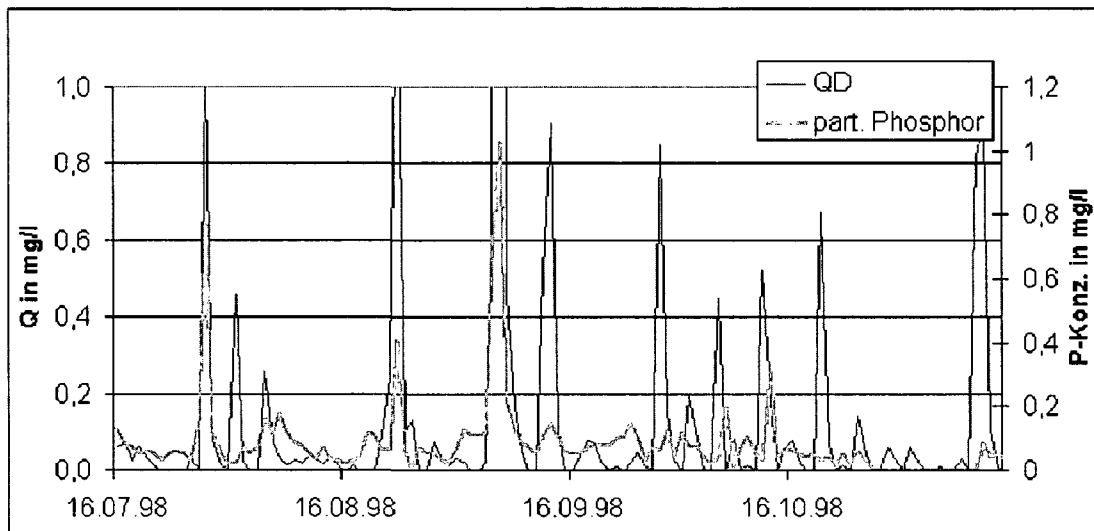


Abbildung 4-119: Phosphorkonzentrationen und Abflussanteile nach Difga

Abbildung 4-119 zeigt die Ganglinie des Direktabflusses und die Ganglinie des partikulären Phosphors für den Pegel Schützen in dem Zeitraum zwischen dem 16.07.1998 und dem 15.11.1998.

Die Abflussspitzen beim Direktabfluss bewirken nicht immer eine Spitze in der Konzentration des partikulären Phosphors. Ende Juli und Anfang September gibt es zwei sehr hohe Spitzen des Phosphoreintrages, nachfolgende Ereignisse bewirken eine wesentlich kleinere Reaktion. Neben dem unterschiedlichen Eintrag zufolge unterschiedlicher Bewirtschaftung bzw. Bodenbeschaffenheit ist auch der „Spülstoßeffekt“ als Ursache denkbar.

Aufgrund der größeren Neigung und schnelleren Fließgeschwindigkeiten finden in steileren Gebieten (an der Ybbs im oberen Teileinzugsgebiet) keine Ablagerungen der Schwebstoffe stattfinden. Das gilt sowohl für das Flussbett selbst als auch für die Flächen/ Hänge, welche das Erosionsmaterial liefern. An den oberen, steileren Hängen wird Material abgeschwemmt und talwärts transportiert. Die Neigung der

Hänge wird talwärts geringer und ein Teil des Materials bleibt liegen. Deshalb ist für Erosionsberechnungen nicht nur die Hangneigung maßgebend, sondern auch der Maßstab des verwendeten Kartenmaterials. (Je kleiner der Maßstab, desto steiler sind die einzelnen Flächen.)

Bei nachlassender Schleppkraft des Wassers (durch geringere Neigung oder verminderten Durchfluss) bleiben die Sedimente und Schwebstoffe auch im Gewässer liegen und werden beim nächsten Hochwasserereignis abtransportiert. Gleiches gilt für den partikulären Phosphor, welcher mit dem Sediment transportiert wird.

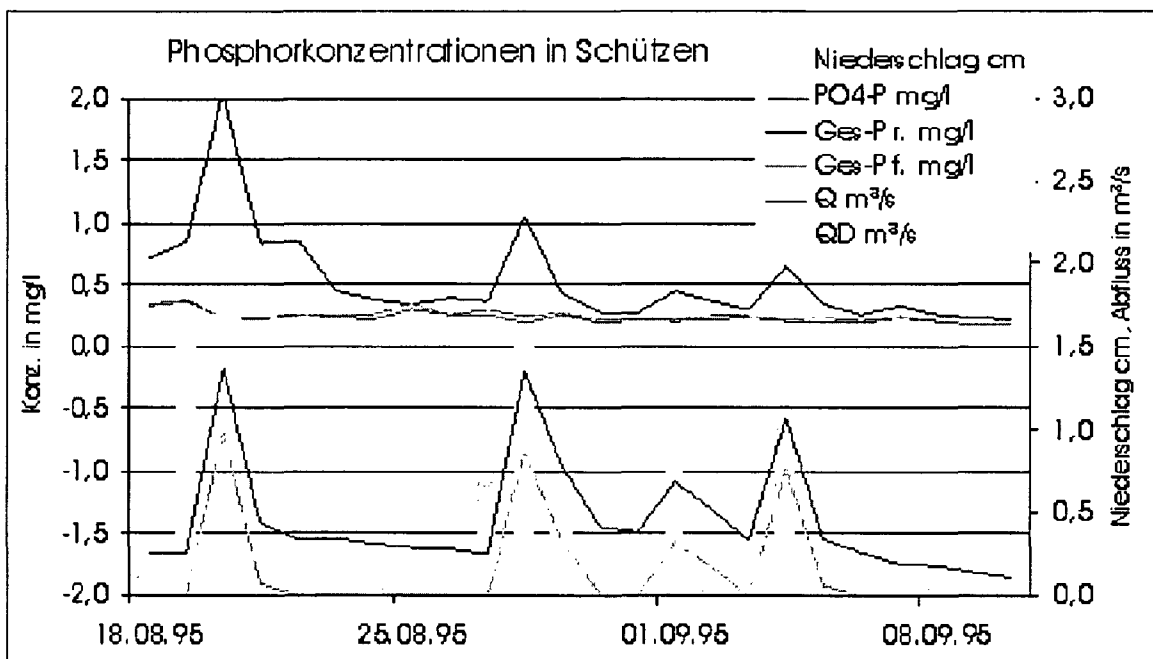


Abbildung 4-120: „Spülstoß“

In Abbildung 4-120 sieht man ein zweites Beispiel für einen Spülstoß, der erste hohe Durchfluss (1,37 m³/s) hat eine doppelt so hohe Phosphorkonzentration zur Folge, als die nachfolgende Abflussspitze, welche mit 1,34 m³/s fast den gleichen Durchfluss hat.

4.7.9.5 Überwiegend Grundwasserabfluss

In Perioden, in denen keine oder wenige Niederschläge fallen, kommt es nicht zu oberflächlichem oder oberflächennahem Abfluss. Das aus dem Einzugsgebiet abfließende Wasser kommt aus dem Untergrund.

Aus den Ganglinienanalysen sollen Perioden gefunden werden, wo der direkte Abfluss sehr gering ist.

Eine dieser Perioden vom 22. bis 31. Dezember 1997 für den Pegel Schützen ist in Abbildung 4-121 dargestellt. Der Abfluss beträgt anfänglich etwas mehr als 0,6 m³/s und nimmt leicht ab.

Der Abfluss besteht aus einem relativ konstanten Abfluss aus langsamem Grundwasser und einem abnehmenden Anteil von schnellem Grundwasser, der Direktabfluss ist vernachlässigbar gering.

Das rechte Balkendiagramm zeigt die durchschnittliche Abflussverteilung in dem Untersuchungszeitraum.

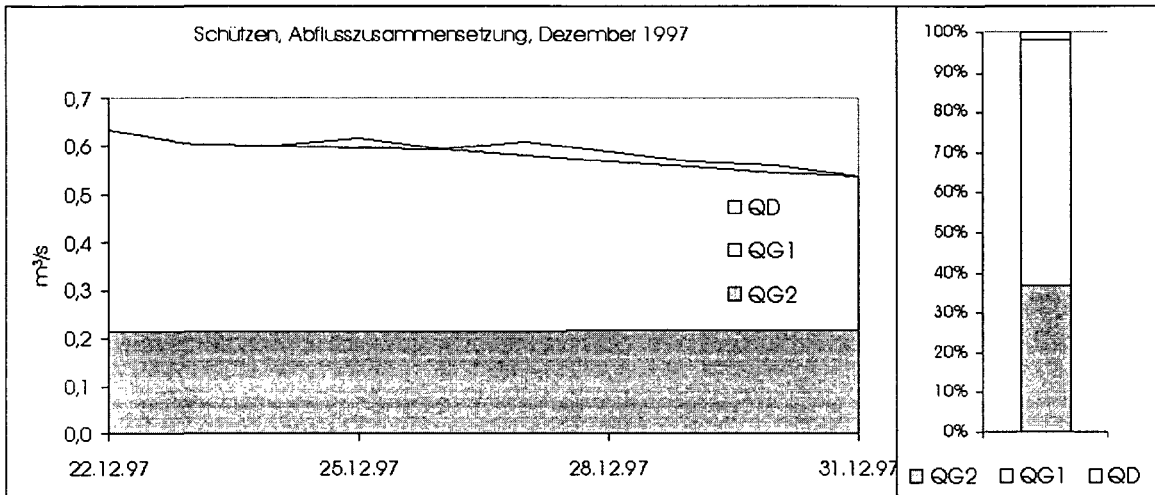


Abbildung 4-121: Zeitraum mit überwiegend Grundwasserabfluss, Dez. 1997

Abbildung 4-122 zeigt die Konzentrationen an Gesamtphosphor, an gelöstem und an filtriertem Phosphor in dem untersuchten Zeitraum.

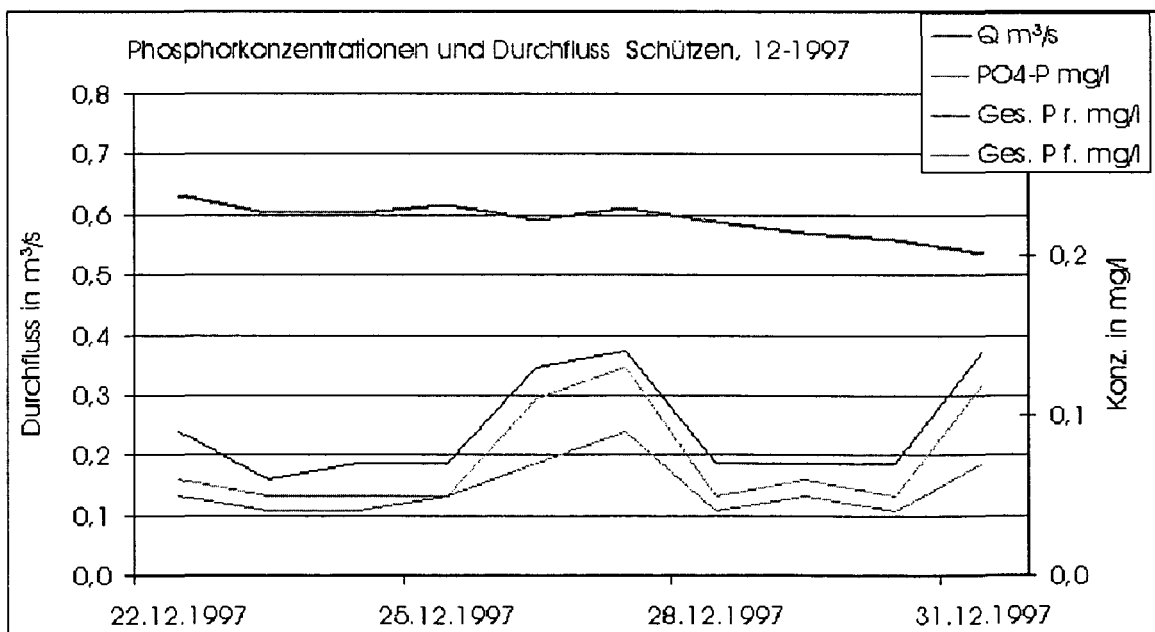


Abbildung 4-122: Phosphorkonzentrationen bei überwiegendem Basisabfluss

Die Konzentrationen des gelösten und des partikulären Phosphors verlaufen parallel und schwanken nicht wesentlich. Die Konzentrationen sind gering, der gelöste Phosphor liegt bei 0,1 bis 0,2 mg/l, der partikuläre beträgt zusätzlich 0,5 bis 1 mg/l.

Es herrscht ein konstanter Eintrag aus dem Grundwasser und aus Punktquellen sowie eine geringe Schwebstoffmenge (part. Phosphor). Die Konzentration ist gering. Der Phosphor entspricht einer „Grundbelastung“. Die Belastung mit Nitrat ist konstant, die gemessene Konzentration entspricht dem Mittelwert.

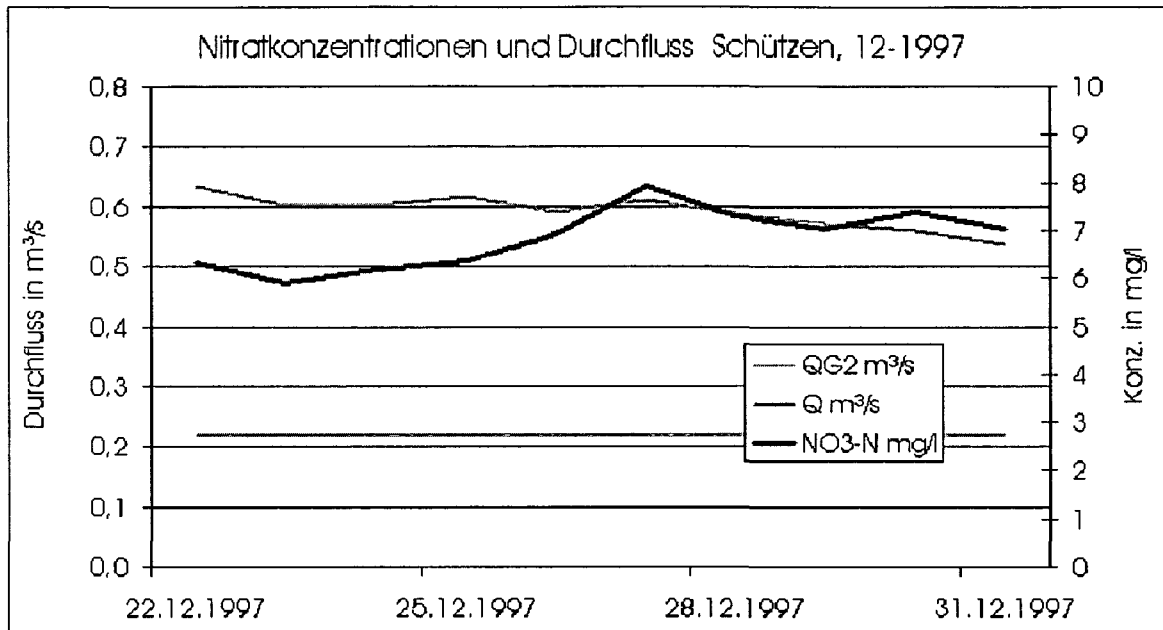


Abbildung 4-123: Nitratkonzentrationen bei überwiegendem Basisabfluss

In Abbildung 4-123 sind die Nitratkonzentrationen der täglichen Gütemessungen in diesem Zeitraum dargestellt. Die Messwerte sind quantitativ zu sehen, da sie zu hoch sind. Eigenen Messungen des Institutes für Gewässergüte, IWAG; TU Wien sind niedriger, weitere Vergleichsmessungen auch. Eine Korrektur über die Mittelwert ist möglich. Die täglichen Daten ergeben eine mittlere Konzentration von 7,6 mg/l $\text{NO}_3\text{-N}$, die Daten des IWAG ergeben einen Mittelwert für $\text{NO}_3\text{-N}$, IWAG von 3,1 mg $\text{NO}_3\text{-N}$.

Es soll noch eine weitere Periode mit überwiegendem Grundwasserabfluss untersucht werden. In den nachfolgenden Abbildungen sind der Niederschlag, die Abflusskomponenten, der Gesamtabfluss und die Nährstoffkonzentrationen für den Pegel Schützen im Zeitraum zwischen dem 15.11.1996 und dem 30.12.1996 dargestellt.

Abbildung 4-124 zeigt die Abflussanteile in der untersuchten Periode in m^3/s und den Niederschlag in mm. Besonders hervorgehoben ist die Abflussverteilung am Ende der regenfreien Periode, welche als Tortendiagramm in die Abbildung eingefügt ist. Der Abfluss am Ende dieser Auslaufperiode setzt sich aus 80-90 % langsamen Grundwasser QG2 zusammen.

Der geringe direkte Abflussanteil in dieser Periode ist hydrologisch nicht begründbar. Der vorhandene Niederschlag wird in Form von Schnee gespeichert, der kleinen Abflussspitzen des direkten Abflusses müssen daher aus den Schwankungen durch

Kläranlagen resultieren. Ab dem 23.11. erfolgt das Abtauen der Schneedecke.

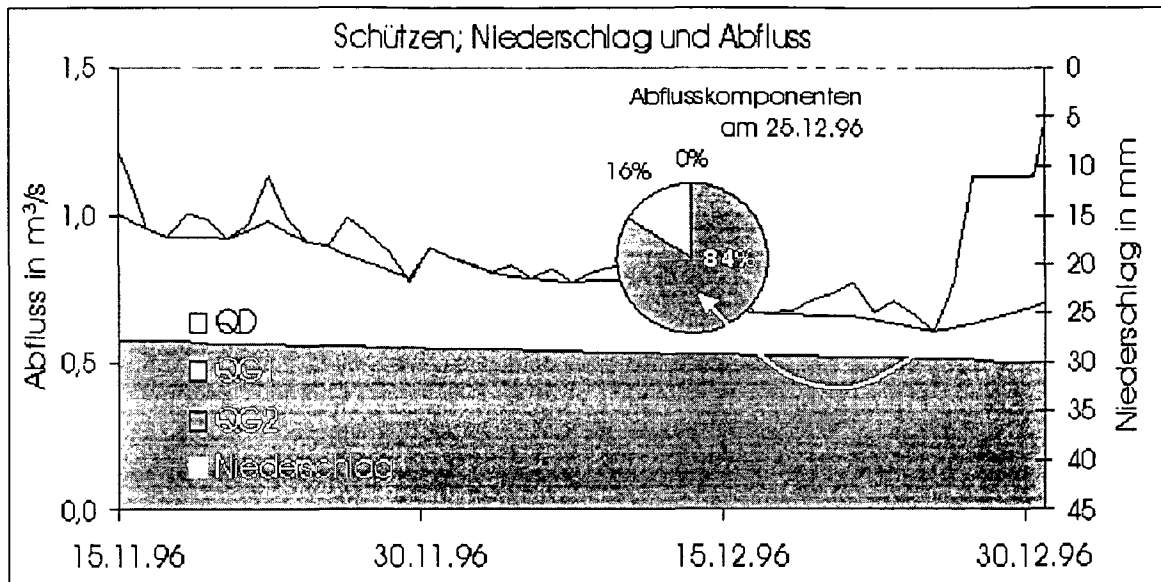


Abbildung 4-124: Überwiegend Grundwasserabfluss, hoher Anteil an QG2

Die Konzentrationen des Gesamtphosphors und des gelösten Phosphors sind in Abbildung 4-125 zu sehen. Die Konzentrationen sind gering, der filtrierte Phosphor und der Gesamtphosphor verlaufen parallel und sind fast gleich hoch, es wird also nur ein sehr geringe und über die Zeit konstante Menge an partikulärem Phosphor eingetragen. Die kleinen Phosphorspitzen könnten aus den Kläranlagen kommen. Auch die Schneeschmelze bewirkt keine Erhöhung des Eintrages an Phosphor.

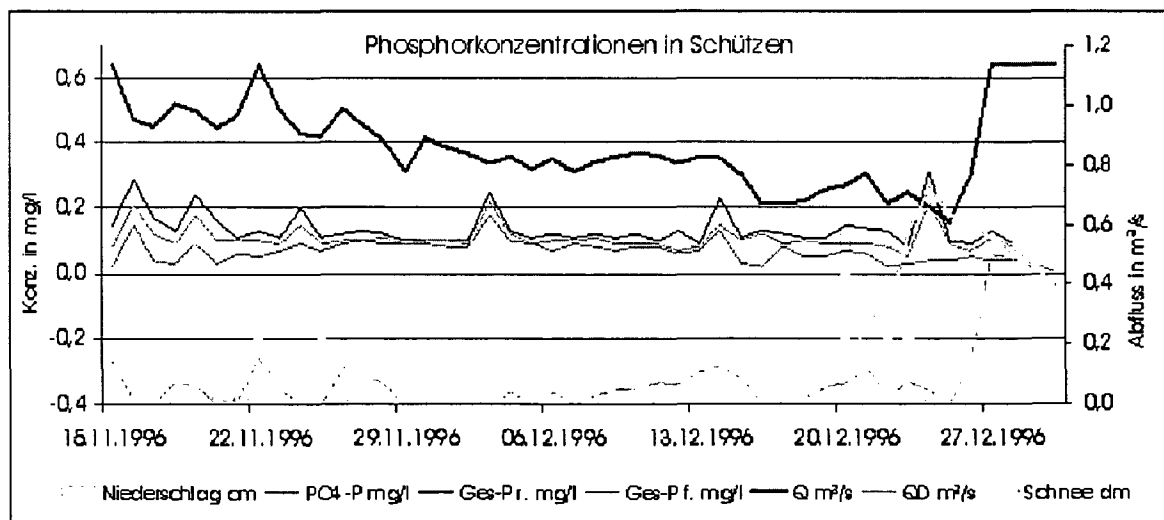


Abbildung 4-125: Phosphorkonzentrationen bei überwiegend Grundwasserabfluss

Abbildung 4-126 zeigt die Nitratkonzentrationen für diesen Zeitraum. Sie sind in etwa konstant, auch hier ist eine kleine Spitze am 12.12.96 zu sehen, welche ihren Ursprung in dem Kläranlagenabfluss haben könnte.

Die Nitratkonzentration erhöht sich leicht, obwohl der Anteil des langsamen Grund-

wassers zu beobachten ist. Andere Einflüsse (z.B. durch die Kläranlage) überwiegen.

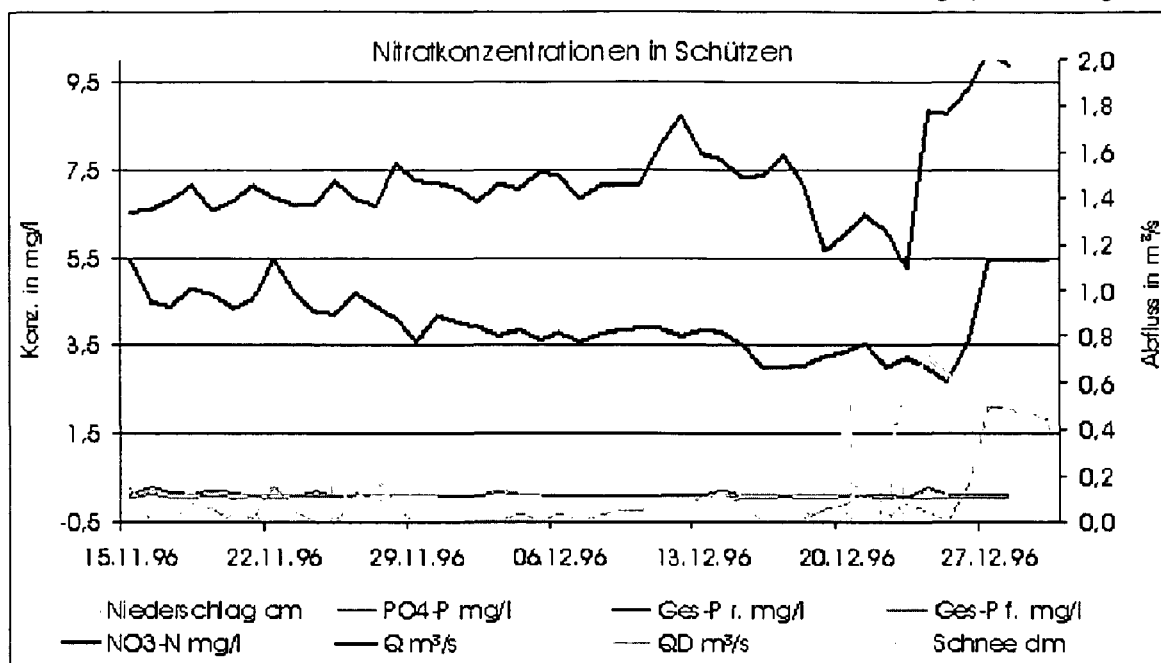


Abbildung 4-126: Nitratkonzentrationen bei überwiegend Grundwasserabfluss

Der große Anstieg der Konzentrationen und des Abflusses Ende Dezember ist auf die Schneeschmelze zurückzuführen. Der in der Schneeschmelze gespeicherte Stickstoff erhöht die Nitratkonzentrationen im Gewässer.

4.7.10 Zusammenfassung

Die errechneten Abflusskomponenten aus Difga lassen sich räumlich zuordnen, auch wenn dies nicht immer ganz eindeutig ist. Die direkte Abflusskomponente (QD) setzt sich aus dem Oberflächenabfluss und dem oberflächennahen Interflow zusammen, der schnelle Grundwasserabfluss (QG1) beinhaltet den unterirdischen Abfluss bei hohen Grundwasserständen und aus den gewässernahen Bereichen, der langsame Grundwasserabfluss (QG2) stammt überwiegend aus tieferen Grundwasserschichten und gewässerfernen Gebieten. Um die Zusammenhänge zwischen den Fließwegen und den in das Gewässer eingebrachten Nährstoffen aufzuzeigen, wurden Korrelationskoeffizienten zwischen den Abflusskomponenten aus der Ganglinienanalyse und den gemessenen Gütedaten errechnet.

Die Korrelationen und das Datenmaterial der täglichen Gütemessungen am Pegel Schützen bestätigen die Ergebnisse der Ganglinienanalyse und bilden ein Beispiel für die damit verbundene Hypothese des fließwegabhängigen Nährstoffeintrages.

Die Fließwege des Wassers sind abhängig von den hydrologischen Einflussfaktoren, und den Gebietseigenschaften sowie der Jahreszeit. Auch der Nährstoffeintrag in das Gewässer und Grundwasser kann sich bei hydrologisch gleichartigen Ereignissen -in Abhängigkeit der Fruchtfolge, der Jahreszeit, der Bewirtschaftungsart und

Düngung des Bodens- stark unterscheiden. Die Einträge (Eintragspfade und Höhe des Eintrages) müssen somit auch von verschiedenen Prozessen abhängig sein, welche von den hydrologischen Ursachen (Wetter) und von den Gebietseigenschaften abhängen. Die Güteparameter sind also nicht nur von den Durchflüssen und von den Abflusskomponenten, sondern auch von der Art der Niederschlagsabflussprozesse abhängig. Es konnte mittels statistischer Zusammenhänge (Korrelationen) und an einigen Beispielen gezeigt werden, dass die Nährstoffe auf verschiedenen Fließwegen ins Gewässer eingetragen werden. Eine gezielte Verbesserung der Grundwasser- und Fließgewässergüte ist jeweils durch unterschiedliche Maßnahmen in Abhängigkeit des zugrunde liegenden Prozesses möglich.

4.7.10.1 Phosphor, Erosion

Phosphor wird vor allem über Erosion in Form partikulären Phosphors eingetragen. Der Eintrag erfolgt schnell und oberflächlich. Der Eintrag an partikulärem Phosphor bzw. Gesamtphosphor muss daher mit dem direkten Abflussanteil in Beziehung stehen, was auch die Korrelationskoeffizienten zeigen.

Da die Erosion verursachenden extremen Starkregen und daher auch die Erosion selbst räumlich sehr begrenzt auftreten, ist die Korrelation der direkten Abflussanteile zu dem Gesamtphosphor besonders bei kleinen Einzugsgebieten groß, in dieser Maßstabsebene sind Erosionsprozesse am ehesten „unverfälscht“ zu beobachten.

Durch Erosion werden Schwebstoffe und Nährstoffe in die Gewässer transportiert, wobei der Eintrag nichtlinear mit dem Direktabfluss steigt. Daraus ergibt sich auch eine nichtlineare Beziehung des an die Schwebstoffe gebundenen Phosphors mit dem Direktabfluss Q_D . In größeren Einzugsgebieten sind diese Abhängigkeiten verwischer, Erosionsprozesse finden nur lokal statt, gemessen werden am Pegel Durchschnittswerte des Gebietes. Man kann bei großen Einzugsgebieten eine lineare Beziehung zwischen Fracht und Durchfluss annehmen.

Dieser Zusammenhang ist auch und vor allem bei der Maßstabsfrage von großer Bedeutung. Werden kleinräumige Gebiete untersucht, so ergeben sich im Idealfall klare Beziehungen zwischen den Gütemessdaten für Phosphor und den Abflussanteilen, hier sind auch die errechneten Korrelationskoeffizienten größer. Diese Überlegung ist vor allem bei der Interpretation gewonnener Erkenntnisse von Bedeutung. Im Ybbstal, welches vor allem im oberen Bereich wesentlich steiler und daher anfälliger für Erosion ist, zeigen sich für die Beziehung Direktabfluss/ Gesamtphosphorkonzentrationen größere Abhängigkeiten, als im Einzugsgebiet der Wulka.

Der Eintrag durch Erosion erfolgt im Zuge von Starkniederschlägen, durch Hangabbrüche etc. Der Eintrag erfolgt daher zeitlich begrenzt, bei einzelnen Ereignissen können wesentliche Teile der Jahresfracht eingebracht werden.

Der erste Starkregen bringt eine höhere Fracht, als eine zweite Abflussspitze, weil leicht abschwemmbarer Phosphor schon weggewaschen wurde und auch ein

„Spülstoß“ in dem Gewässer selbst entsteht, wobei Ablagerungen von früheren Einträgen aufgrund der Schleppkraft hoher Abflüsse abtransportiert werden.

Bei Starkniederschlägen steigen die im Fließgewässer gemessenen Gesamtphosphorkonzentrationen und der Abfluss stark an. Den wachsende Anteil des Phosphors bildet der partikuläre Phosphor; der steigende Abfluss ist durch die Anteile an direktem Abfluss bedingt. Der Anstieg der Phosphorkonzentrationen (des partikulären Phosphors) und der des Direktabflusses zeigt dabei für die oberen Durchflussklassen ein sehr ähnliches Bild. Die Konzentrationen des löslichen oder filtrierten Phosphors bleiben bei wachsenden Abflüssen nahezu konstant, ähnlich verhalten sich die langsameren Abflusskomponenten.

Das Niederschlagsregime eines Einzugsgebietes und dessen Abflussreaktionen bei Starkniederschlägen nach Vorbefeuchtung, sowie die Aufteilung dieses Abflusses in Komponenten, lassen demnach Rückschlüsse auf die Erosion zu.

Extreme Niederschläge nach langen Trockenperioden bewirken sehr gedämpfte Abflussreaktionen. Die Abflusshöhen sind geringer, der Anteil des Direktabflusses und der durch Erosion hervorgerufene Nährstoffeintrag ist kleiner als nach Vorbefeuchtung.

Bei Schneeschmelze erfolgt trotz hoher Direktabflüsse keine Erhöhung der Konzentration des partikulären Phosphors. Fehlen die täglichen Gütemessdaten, wie an der Ybbs, so kann man davon ausgehen, dass in diesen Zeiträumen die anhand von Durchfluss-Phosphorbeziehungen interpolierten, durchflussabhängigen Gütedaten falsch sind.

4.7.10.2 Nitrat

Das **Nitrat** wird vor allem über den Untergrund eingetragen. Je älter das Grundwasser, desto größer der Nitratabbau im Untergrund, daher ist das im Durchschnitt ältere langsame Grundwasserkomponente QG2 weniger stark als QG1, die schnelle Grundwasserkomponente, mit dem Nitrat korreliert.

Der **Abbau** im Untergrund kann nur bei Sauerstoffmangel stattfinden, er erfolgt nicht in sauerstoffreichen Grundwasserkörpern. Die zweite Voraussetzung für den Abbau ist das Vorliegen von Kohlenstoffverbindungen. Diese Voraussetzungen sind im sauerstoffreichen Karstgrundwasserkörper des oberen Ybbstales mit häufiger Grundwasserneubildung weniger erfüllt als im Wulkatal, wo der Grundwasserkörper sauerstoffarm ist und selten eine Nachlieferung aus dem Niederschlag erfolgt.

Die Zusammenhänge werden durch viele Faktoren (Kläranlagen, Temperatur, Niederschlagsart, Düngung, Einzugsgebietsmerkmale etc.) beeinflusst. Um genauere Aussagen über den Eintrag der Nährstoffe in den Untergrund und das Gewässer machen zu können, muss man die an diesen Vorgängen beteiligten Prozesse und Zusammenhänge genauer berücksichtigen.

Die Konzentration an Nitrat ist -bei gleichem Stickstoffüberschuss- in den unteren Einzugsgebieten kleiner, da entlang des Fließweges ein Abbau stattfinden kann.

Meistens ist aber auch der Eintrag größer, da die unteren, flachen Einzugsgebiete landwirtschaftlich im allgemeinen intensiver genutzt werden.

Die Nitratkonzentrationen bei höherem Grundwasserstand sind höher als die des aus tieferen Schichten stammenden alten Grundwassers. In Schützen und am Nodbach wurde exemplarisch der Zusammenhang zwischen Niederwasserdurchfluss und Nitratkonzentration untersucht. Bei hohem (Grundwasser-) Abfluss sind die Nitratstickstoffkonzentrationen größer als bei kleinen Abflüssen.

Dieser Zusammenhang zeigt, dass der Eintrag von Nitrat bei niedrigen Durchflüssen über das Grundwasser erfolgt, weiterhin deutet er auf ein großes Denitrifikationsvermögen des Untergrundes hin.

Im unteren Einzugsbereich der Wulka, im Bereich Schützen, findet in Zeitabschnitten, in denen der Niederschlag gering und die Temperaturen hoch sind eine Dotierung des Grundwassers durch die Wulka statt. Während der Bodenpassage erfolgen Abbau- und Retentionsvorgänge. An der unteren Wulka ist das Grundwasser sehr sauerstoffarm und die Denitrifikationsrate hoch.

In kleinen, oben liegenden Einzugsgebieten, wie im oberen Ybbstal, sind durch die höhere Gewässernetzdichte die Eintragungspfade kurz, sie sind auch steiler und haben kürzere Fließzeiten. Es kommt durch die höheren Niederschläge und größeren Grundwasserneubildungsraten auch zu höheren Sauerstoffgehalten im Grundwasser. Dadurch und durch die „Drainierung“ ist der Nitratabbau kleiner.

Stickstoff kann auch in Form von **Deposition** eingetragen werden, in dem oberen, alpinen Ybbstal gibt es keine wesentliche landwirtschaftliche Produktion, eine Deposition von Stickstoff erfolgt aus dem nahe gelegenen Ballungsraum Linz.

Erfolgt diese Deposition als nasse Deposition, so ist dieser Eintrag auch mit dem Niederschlag und somit mit dem Direktabfluss gekoppelt.

Aus Einzelprozessen konnte beobachtet werden, dass der Anteil des Abflusses, der aus der Schneeschmelze kommt, einen deutlich höheren Nitratgehalt als der Abfluss bei Niederwasser hat. Das Anwachsen der Nitratkonzentrationen im Gewässer bei Schneeschmelze zeigt, dass im Schnee Stickstoff aus der Deposition gespeichert wurde.

Die Abschätzung der Stickstoffdeposition könnte (vor allem bei fehlenden Depositionsmessungen) auch über die Schneehöhen und die Konzentrationen im Gewässer erfolgen.

4.8 EINFLUSS DER DATENLAGE

4.8.1 Allgemeines

Grundlage für alle Berechnungen sind die gemessenen Daten. Ihre Qualität beeinflusst die Ergebnisse der Berechnungen, ihre Interpretation und die daraus abgeleiteten Forderungen nach Maßnahmen.

Unter „Einfluss der Datenlage“ soll sowohl die **Menge der verfügbaren Daten** als auch die **Art der Datenerfassung** und ihre **Güte** verstanden werden.

Als erstes Kriterium soll die Länge der vorhandenen Datenreihen und ihr Einfluss auf die Berechnungen mit Difga 2000 ermittelt werden.

Als weiteres Beispiel für die Unterschiede in der Menge der verfügbaren Daten (genauer ihrer zeitlichen Auflösung) sollen Berechnungen mit täglichen Gütedaten (nur für den Pegel Schützen/Wulka vorhanden) und Datenreihen mit 2-Wochen Intervallen der Güteerfassung (dies entspricht dem Normalfall für „gute“ Datenlage) gezeigt werden.

Um den Unterschied auf Grund der Art der Datenerfassung aufzuzeigen, soll der Unterschied zwischen der durchflussabhängigen und der zeitabhängigen Erfassung der Gewässergüte verglichen werden.

4.8.2 Länge der Datenreihen und Ergebnisse der Ganglinienanalyse mit Difga 2000

Für eine Ganglinienseparation mit Difga2000 benötigt man tägliche Durchflussdaten. Difga2000 benötigt eine Zeitreihe von mindestens 5 Jahren, um rechnen zu können, empfiehlt aber 10-15 Jahre. Ein größerer Zeitraum stellt sicher, dass auch ein trockenes Jahr mit einer langsamen Auslauflinie des Grundwassers enthalten ist. Andere Ganglinienanalyseprogramme schreiben keine Mindestlänge der Datenreihe vor.

Man kann aber auch Difga2000 bei schlechter Datenlage „austricksen“ indem man z.B. 5 mal das gleiche Jahr aneinander hängt und mit dieser fiktiven Datenreihe rechnet. In manchen Ländern des EU-Projektes DaNUbs war es sehr schwierig bzw. kostspielig längere Zeitreihen täglicher Abflussdaten zu bekommen.

Ob das erfolgte Aneinanderhängen gleicher Datensätze sinnvoll ist, bzw. wie groß der Fehler wird, soll im folgenden gezeigt werden. Dabei soll auch untersucht werden, wie groß der Fehler in nassen und in trockenen Jahren im Vergleich zum Mittelwert wird.

Pegel Schützen

Es wurde mit Zeitreihen von 1 Jahr, 5 Jahren und 12 Jahren gerechnet. Für das Einzeljahr wurde das trockene Jahr 1993 und das nasse Jahr 1996, sowie das sehr trockene, aber mit Hochwassern im August verlaufende, Jahr 2002 ausgewählt. Als 5-jahresreihen dienten die Reihe 1993-97 und die Reihe 1998-2002. Die 12-Jahresreihe geht vom Jahr 1990 bis 2002.

| Zeitreihe | Q | QG2 | QG1 | QD |
|--------------|-------|-------|-------|-------|
| DIFGA 5 x 93 | 0,584 | 0,058 | 0,403 | 0,124 |
| DIFGA 5 x 96 | 1,792 | 0,411 | 0,742 | 0,639 |
| DIFGA 5 x 02 | 0,319 | 0,020 | 0,223 | 0,077 |
| DIFGA 93-97 | 0,970 | 0,198 | 0,553 | 0,218 |
| DIFGA 98-02 | 0,565 | 0,125 | 0,345 | 0,094 |
| DIFGA 90-02 | 0,727 | 0,096 | 0,466 | 0,165 |

Tabelle 4-42: Mittelwerte der Durchflüsse und Abflussanteile nach Datenlage

Tabelle 4-42 zeigt die Ergebnisse der Berechnungen mit dem Ganglinienanalysemodell Difga 2000 für verschiedene Zeitreihen für den Pegel Schützen. In der ersten Spalte sind die Zeitreihen angegeben; 5 x 93 bedeutet dabei, dass das Jahr 1993 fünf mal aneinandergelagert wurde. In den anderen Spalten sind die Abflüsse und die errechneten Abflussanteile in m³/s angegeben. Dabei handelt es sich um Mittelwerte für den Untersuchungszeitraum. In Abbildung 4-127 sind die Ergebnisse graphisch ausgewertet. Links sind die Absolutwerte der Abflussanteile und rechts ihre Anteile in % angegeben.

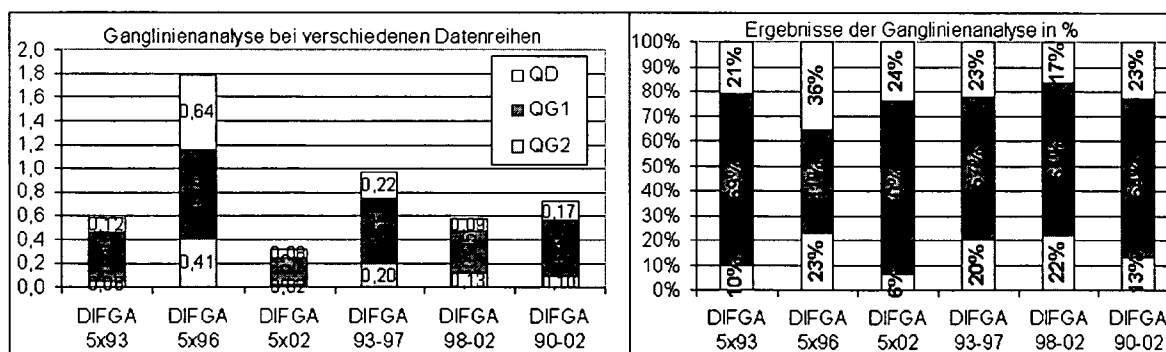


Abbildung 4-127: Abflüsse und Abflussanteile bei verschiedenen Datenreihen

Die Ergebnisse schwanken zwischen 17% Direktabfluss (Jahresreihe 89-02, zum Vergleich 90-02: 23%) und 36% (im Jahr 1996). Der langsame Grundwasseranteil betrug zwischen 6% im Jahr 2002 (zum Vergleich 90-02: 13%) und 23% im Jahr 1996. In dem trockenen Jahr 1993 ohne große Ereignisse sind die Werte nicht weit von der 12-Jahresreihe entfernt, bei den nassen und ungleichmäßigen Jahren weichen die Werte hingegen oft sehr ab, eine Abweichung von über 50% von denen einer langen Jahresreihe sind nicht selten.

| Zeitreihe | Q | QG2 | QG1 | QD |
|-------------|------|------|------|------|
| DIFGA 5x93 | 80% | 60% | 86% | 75% |
| DIFGA 5x96 | 246% | 429% | 159% | 387% |
| DIFGA 5x02 | 44% | 21% | 48% | 47% |
| DIFGA 93-97 | 133% | 206% | 119% | 132% |
| DIFGA 98-02 | 78% | 130% | 74% | 57% |
| DIFGA 90-02 | 100% | 100% | 100% | 100% |

Tabelle 4-43: Abweichungen der Ergebnisse der Ganglinienanalyse mit Difga ausgehend von der 12-Jahresreihe

Tabelle 4-43 zeigt die Abweichungen der Berechnungen mit verschiedenen Reihen von dem Wert der 12-Jahresreihe. Man sieht, dass in dem Jahr 2002 der langsame Grundwasserabfluss nur 21% des langjährigen Mittelwertes beträgt (bei 44% des mittleren Durchflusses im Jahr 2002), im Jahr 1996 hingegen das 4,3-fache bei einem 2,5-fachen Durchfluss. Der Unterschied in den Grundwasseranteilen liegt in den unterschiedlichen Auslauflinien des Grundwassers begründet.

Auch in den 5-Jahresreihen sieht man noch deutliche Unterschiede: 20-30%-ige Unterschiede bei der Abflussaufteilung treten auf, die Absolutwerte sind aufgrund der großen Unterschiede im Durchfluss noch wesentlich unterschiedlicher.

Betrachtet man die Ergebnisse der Ganglinienanalyse einzelner Jahre (Ganglinienanalyse des Jahres 1993 und 1996, ohne Zusatzinformation) mit den Ergebnissen für das untersuchte Jahr als einen Teil einer längeren Datenreihe (1990-2002), so sieht man, dass hier die Unterschiede wesentlich geringer sind, dass für nasse Jahre jedoch auch hier noch große Unterschiede auftreten können, wie in Abbildung 4-128 dargestellt. In dem nassen Jahr 1996 ist offensichtlich die Wahl der Speicherkonstanten aufgrund einer fehlenden Trockenperiode schlechter, als in einem trockenen Jahr (1993).

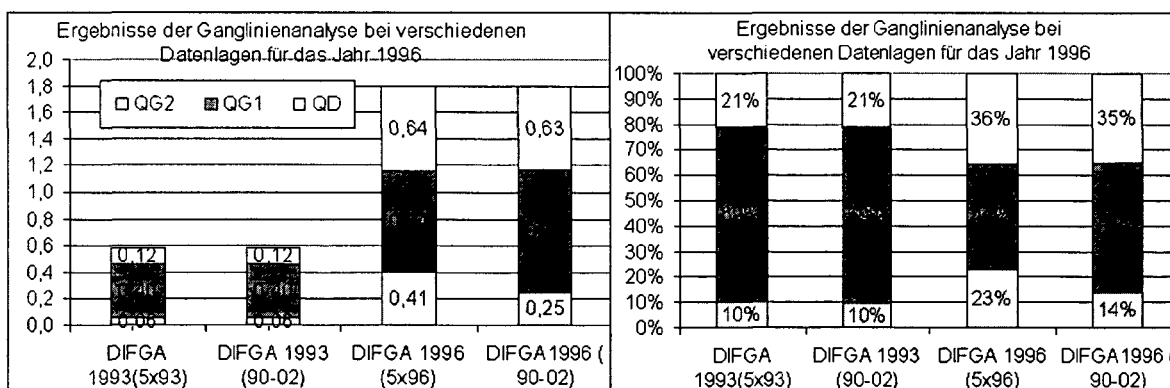


Abbildung 4-128: Das Jahr 1993 und 1996 im Vergleich zu den Jahreswerten entnommen aus der 12-Jahresreihe

Die im Programmcode von Difga 2000 fest vorgeschriebene Mindestlänge einer Datenreihe beträgt 5 Jahre. Die Programmbeschreibung empfiehlt aber 10-15 Jahre, was durchaus sinnvoll ist. Es ist aber auch die Wahl der Datenreihe, wenn keine langen Datenreihen zur Verfügung stehen oder erfasst werden müssen, nicht uninteressant; trockene Jahre bringen bessere Ergebnisse als nasse Jahre.

4.8.3 Messintervall

Gütemessungen an den Fließgewässern werden an der Ybbs und der Wulka sowie auch an verschiedenen Grundwassermessstellen zwei mal im Monat vorgenommen. Mit diesen Intervallen wird im Allgemeinen das Auskommen gefunden, nur in seltenen Fällen, wie an der Wulka in Schützen, existieren tägliche Messwerte.

Manche Aussagen sind nur mit diesen verfeinerten Intervallen möglich, da die untersuchten Prozesse nur Stunden oder Tage andauern. Mit einem Messintervall von 2 Wochen können diese nicht erfasst werden. So kann z.B. in Greimpersdorf, für den Einfluss des Prozesses Schneeschmelze auf die Gewässergüte keine Angabe gemacht werden, da im Zeitraum der Schneeschmelze keine Gütemessungen erfolgten.

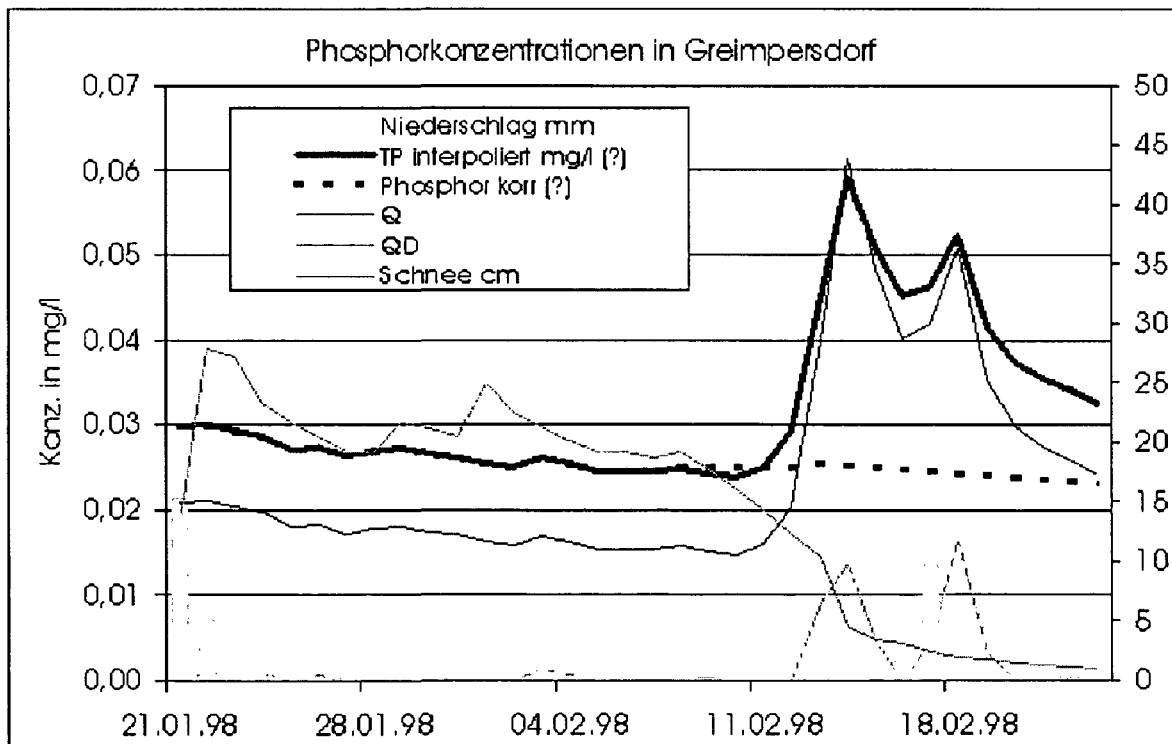


Abbildung 4-129: Schneeschmelze an der Ybbs mit durchflussinterpolierten Daten für Gesamtphosphor und alternative Abschätzung

In Abbildung 4-129 kann man zwei mögliche Abschätzungen der Phosphorkonzentrationen der Ybbs in Greimpersdorf während der Schneeschmelze bei dieser

Datenlage sehen. Die Hintergründe wurden in Kapitel 4.7.9.2 beschrieben. Ähnliches gilt auch z. B. für das Phänomen „Spülstoßeffekt“ bei partikulärem Phosphor, bei dem die Ablagerung von erodiertem Sediment und der Weitertransport bei einer zweiten Hochwasserspitze untersucht wird. Ohne eine Kenntnis dieses Phänomens, welches nur schwer mit den Standardmessdaten erfasst werden kann, können schwer Aussagen über den Einfluss der Phosphorfracht auf die „letzte Senke“, in diesem Fall das Schwarze Meer, gemacht werden.

4.8.4 Art der Datenerfassung Abflussverteilung und Gütemessstage

Vergleicht man die ereignisabhängigen Gütemessdaten, welche im Rahmen des DaNÜbs-Projektes vom Institut für Wassergüte und Abfallwirtschaft (IWAG) erfasst wurden, mit den (in regelmäßigen Abständen gewonnenen) Messdaten des Amtes der Burgenländischen Landesregierung/Gewässeraufsicht³⁰, so sieht man, dass bei letzteren die für die Erosion maßgebenden Hochwasserereignisse meist nicht erfasst wurden.

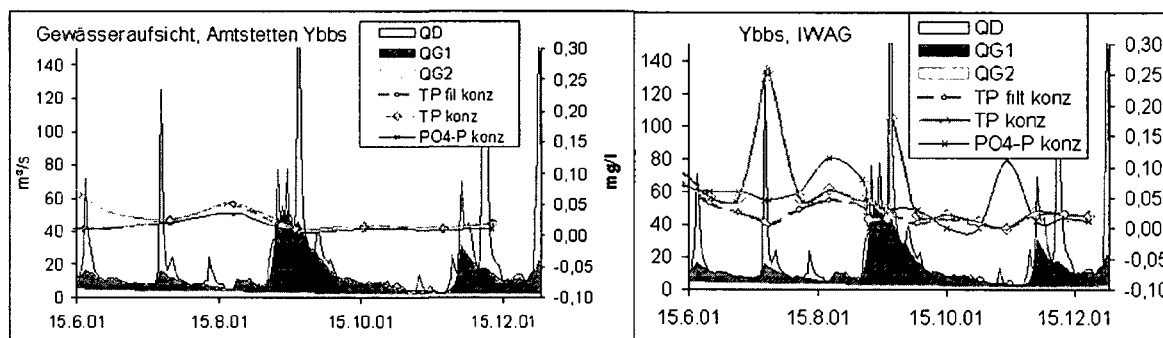


Abbildung 4-130: Abfluss, Abflussanteile, Konzentrationen der Nährstoffe

Abbildung 4-130 zeigt die Abflüsse und deren Aufteilung in Abflusskomponenten nach Difga 2000 und die gemessenen Konzentrationen der Nährstoffe in der Ybbs vom Mitte Juni bis Ende Dezember 2001. In der linken Abbildung sind die Gütemessungen im 2-Wochenintervall der Gewässeraufsicht dargestellt. In der rechten Abbildung sind die Messungen des Institutes für Wassergüte und Abfallwirtschaft (IWAG) dargestellt. Man sieht, dass hier, bei den Abflussspitzen, deutlich höhere Phosphorkonzentrationen gemessen wurden, gäbe es nur die zeitabhängigen Messungen der linken Abbildung, so könnte man ohne Zusatzkenntnisse von gleichbleibenden Konzentrationen ausgehen.

Multipliziert man die Konzentrationen mit dem Durchfluss, so erhält man die Frachten. Da beide Werte im Falle der durchflussabhängigen Messungen höher

³⁰ Im folgenden Text auch als „externe“ Daten bezeichnet

sind, werden die errechneten Frachten noch größere Unterschiede zeigen. In Abbildung 4-131 sind die Abflussganglinien und die gemessenen Frachten dargestellt, welche aus den gemessenen Konzentrationen und Abflüssen berechnet wurden. Man sieht, dass an abflussreichen Tagen die Unterschiede zwischen den Messungen sehr viel größer werden.

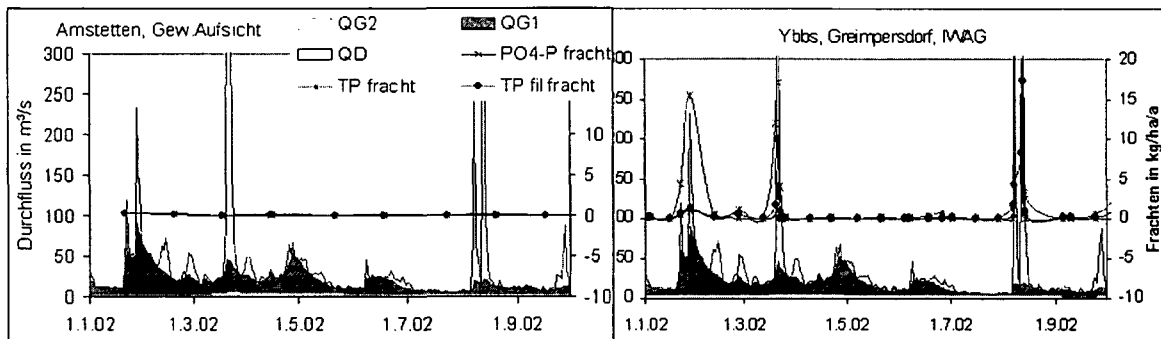


Abbildung 4-131: Abfluss, Abflussanteile und Frachten 2002

Errechnet man aus den gemessenen Konzentrationen durchschnittliche Werte, so ergeben sich die in Abbildung 4-132 dargestellten Mittelwerte für die Nährstoffe an der Ybbs. Der so errechnete Unterschied zwischen den arithmetisch bestimmten mittleren Konzentrationen der durchflussabhängigen („IWAG“) und der zeitabhängigen („extern“) Messungen für Phosphor kann demnach Faktor 3-4 betragen.

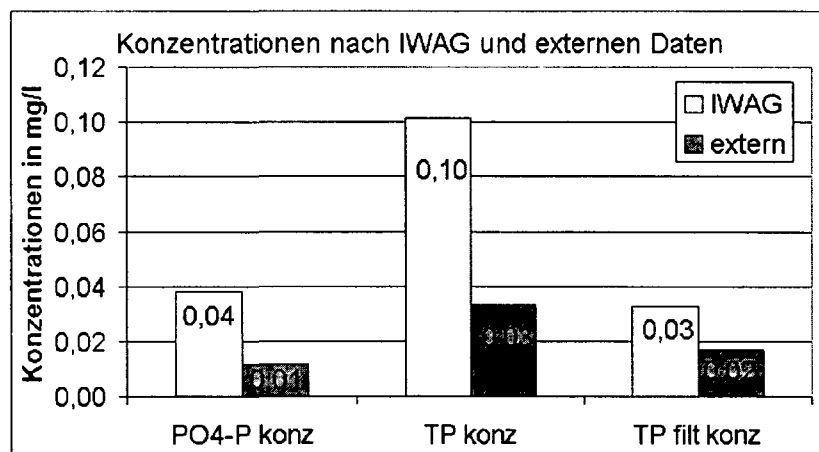


Abbildung 4-132: Mittelwerte der Konzentrationen IWAG vs. Gewässeraufsicht

Dieser Faktor wäre durch die Multiplikation mit dem Durchfluss zur Abschätzung der Frachten im Gewässer noch wesentlich größer. Man darf also die Messdaten nicht ohne Berücksichtigung der Art der Datenerfassung verwenden.

Abbildung 4-133 zeigt die Mittelwerte der Messungen für den Durchfluss (linke Abbildung) und die täglichen Phosphorfrachten (rechte Abbildung) für die Teileinzugsgebiete des Wulkatales für die durchflussabhängige Erfassung (erster Balken, IWAG) und die zeitabhängige Erfassung (zweiter Balken, extern) der Phosphorkonzentrationen.

Es ergeben sich auch im Wulkatal aufgrund überproportional gemessener Spitzen im ersten Fall Überschätzungen des Phosphoreintrages. Bei der Verwendung der externen Daten unterschätzt man den Eintrag, da die Abflussspitzen im Datenmaterial fehlen, es sei denn sie sind „zufällig“ enthalten. Wahrscheinlicher ist jedoch, dass wegen „Schlechtwetter“ eher unterproportional oft bei hohen Abflüssen gemessen wurde.

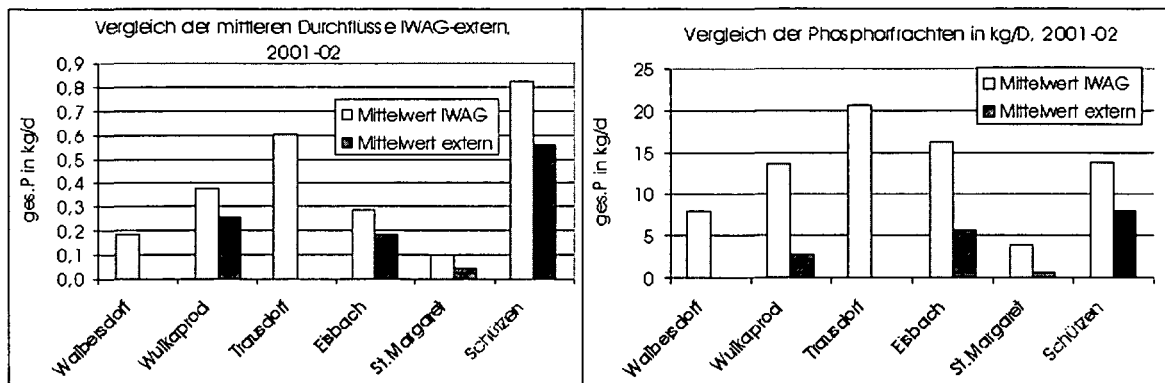


Abbildung 4-133: mittlere Durchflüsse und Phosphorfrachten (IWAG-extern)

Unterschiede durch die Art der Datenerfassung zeigen sich jedoch nicht nur in den Einzeldaten oder den daraus errechneten Mittelwerten, sondern auch in den daraus abgeleiteten Durchfluss-Nährstoffbeziehungen.

Abbildung 4-134 zeigt den Zusammenhang zwischen Durchfluss und Gesamtphosphorkonzentrationen für den Pegel Greimpersdorf/Ybbs für die Jahre 2001-02.

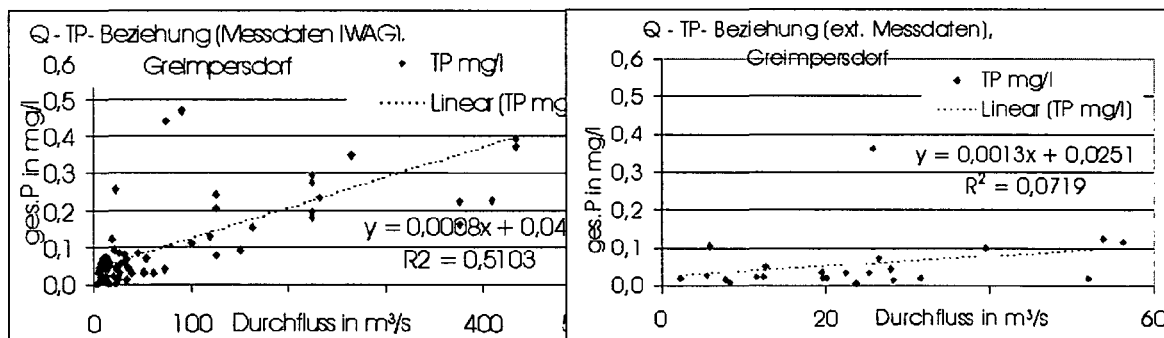


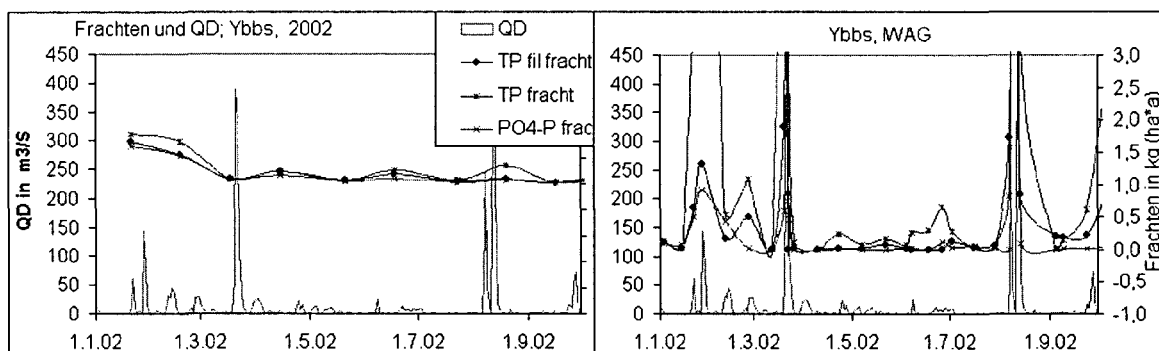
Abbildung 4-134: Beziehungen zwischen Durchfluss Q und Konzentration TP, Ybbs

In der linken Abbildung wurde die Beziehung für die durchflussabhängigen Messdaten des Institutes für Wassergüte und Abfallwirtschaft IWAG dargestellt. Man sieht, dass auch viele Hochwasserdurchflüsse (teilweise über 400m³/s) mit den dazugehörigen, gemessenen Konzentrationen (bei 400 m³/s betragen diese 0,36 mg/L) erfasst wurden. Nähert man die Beziehung zwischen dem Durchfluss und der Gesamtphosphorkonzentration mit einer linearen Trendlinie an, so stellt man fest, dass die Güte (R^2) mit 0,51 wesentlich besser ist als bei den externen Messdaten. Die Steigung der Trendlinie beträgt 0,0008.

Im Fall der zeitabhängigen Erfassung der Gütedaten, welche in der rechten Abbildung dargestellt ist, fehlen die Werte für hohe Durchflüsse. Die höchsten gemessenen Durchflüsse betragen weniger als 60 m³/s. Berechnet man mit der Steigung der Trendlinie von 0,0013 die nicht gemessenen Konzentrationen für den Gesamtphosphor, so würde man bei 400 m³/s eine Konzentration von 0,55 mg/l erhalten, das 1,5-fache der gemessenen Konzentration. Aus dem Bestimmtheitsmaß erkennt man weiterhin, dass ein wesentlich schlechterer Zusammenhang als bei den IWAG-Daten besteht.

Vergleicht man die Abflussanteile an den Tagen der hohen Durchflüsse, so wird ein weiterer Unterschied deutlich. Abbildung 4-135 zeigt die errechneten direkten Abflussanteile nach Difga und die aus den verschiedenen Messungen resultierenden Phosphorfrachten.

Rechts im Bild sind die durchflussabhängigen Messungen (IWAG) und links die zeitabhängigen Messungen (extern) dargestellt. Erstere zeigen deutliche Spitzen bei hohen Direktabflüssen, letztere bleiben fast konstant. Die Unterschiede sind vor allem bei dem partikulären Phosphor groß, die Werte des filtrierte Phosphors und des Phosphates schwanken weniger.



**Abbildung 4-135: direkter Abflussanteil, Phosphorfrachten
Vergleich der Güteerfassung nach (IWAG-extern)**

Man kann erkennen, dass der Zusammenhang zwischen gemessenen Gütedaten und direkten Abflussanteilen für Gesamtphosphor bei den ereignisabhängigen Daten größer sein muss. Die Nitratkonzentrationen, welche am stärksten mit den Grundwasserabflüssen korrelieren, ergeben für zeitabhängige Messungen engere Zusammenhänge als für die ereignisabhängigen Messdaten.

In Tabelle 4-44 und Tabelle 4-45 sind die Abhängigkeiten zwischen den Abflusskomponenten und den Nährstoffkonzentrationen in Form von Korrelationskoeffizienten für die Jahre 2001 und 2002 und den Pegel Schützen gezeigt. In der ersten Tabelle sind die durchflussabhängigen Messdaten (IWAG), in der zweiten Tabelle die externen Messdaten der Landesregierung verwendet worden.

Bei den Messdaten des Amtes der Burgenländischen Landesregierung/ Gewässeraufsicht („externe“ Daten) sind die Korrelationen zwischen Phosphor und Direktabfluss

viel kleiner, als bei den Daten des Institutes für Gewässergüte. Der Korrelationskoeffizient für Gesamtphosphor liegt bei 0,47 und 0,29 statt bei 0,52 und 0,58. Durch die fehlenden Abflussspitzen im Falle der externen Daten sind die Korrelationskoeffizienten des Nitrates zu dem schnellen Grundwasserabfluss größer geworden (0,82 statt 0,77 und 0,75) und gleichzeitig existiert auch eine starke Beziehung zwischen dem Nitrat und dem Gesamtabfluss, welcher häufiger einen Niederwasserabfluss darstellt.

| IWAG | NO ₃ 2001 | NO ₃ 2002 | TP 2001 | TP 2002 |
|------------|----------------------|----------------------|-------------|-------------|
| Q | -0,21 | 0,38 | 0,22 | 0,46 |
| QG2 | 0,35 | 0,52 | -0,06 | -0,07 |
| QG1 | 0,77 | 0,75 | -0,46 | -0,1 |
| QD | -0,65 | 0,22 | 0,52 | 0,58 |

Tabelle 4-44: Korrelationen der Abflusskomponenten mit den gemessenen Konzentrationen im Gewässer am Beispiel Schützen (TP = Gesamtphosphor)

| extern | NO ₃ 2001 | NO ₃ 2002 | TP 2001 | TP 2002 |
|------------|----------------------|----------------------|-------------|-------------|
| Q | 0,78 | 0,8 | -0,87 | -0,47 |
| QG2 | 0,46 | 0,48 | -0,54 | -0,4 |
| QG1 | 0,82 | 0,82 | -0,88 | -0,49 |
| QD | -0,54 | -0,36 | 0,47 | 0,29 |

Tabelle 4-45: Korrelationen der Gütemessungen bei einer zeitabhängigen Probenahme, Pegel Schützen (TP = Gesamtphosphor)

Für das Jahr 2002 sind, aufgrund der hydrologischen Verhältnisse und dem schwer zu berechnenden Kläranlageneinfluss die Abhängigkeiten zwischen Phosphorkonzentrationen und Grundwasserabfluss wesentlich schlechter.

Es soll daher noch ein weiterer Pegel, der Pegel Nodbach untersucht werden. Er ist unbeeinflusst von Kläranlagen. In Tabelle 4-46 sind die Korrelationskoeffizienten zwischen gemessenen Nährstoffkonzentrationen und den errechneten Durchflusskomponenten für den Pegel Nodbach in den Jahren 2001 und 2002 dargestellt. Bei fehlenden Abflussspitzen sind die Korrelationen des Nitrates zu dem langsameren Grundwasserabfluss größer geworden und sind und gleichzeitig ist auch eine starke Korrelation zwischen dem (Niederwasser-) Abfluss und Nitrat zu sehen.

| Nitrat | Durchflussabhängig (IWAG) | | Zeitabhängig (Gew.-Aufs.) | |
|------------|---------------------------|-------------|---------------------------|-------------|
| | 2001 | 2002 | 2001 | 2002 |
| QG2 | 0,50 | 0,61 | 0,84 | 0,83 |
| QG1 | 0,52 | 0,63 | 0,67 | 0,66 |
| Q | -0,67 | 0,26 | 0,76 | 0,78 |

Tabelle 4-46: Korrelationen der Gütemessungen bei einer zeitabhängigen und durchflussabhängiger Probenahme, Pegel Nodbach

4.8.5 Zusammenfassung

Grundlage für alle Berechnungen sind die gemessenen Daten. Ihre Qualität beeinflusst die Ergebnisse der Berechnungen, ihre Interpretation und die daraus abgeleiteten Forderungen nach Maßnahmen.

In Kapitel 4.8 wurden der Einfluss der Länge der vorhandenen Datenreihen, die zeitlichen Auflösung der verfügbaren Daten und die Art der Datenerfassung und ihre Güte untersucht.

Die im Programmcode von Difga 2000 fest vorgeschriebene Mindestlänge einer Datenreihe beträgt 5 Jahre. Die Programmbeschreibung empfiehlt aber 10-15 Jahre, was durchaus sinnvoll ist. Es ist aber auch die Wahl der Datenreihe, wenn keine langen Datenreihen zur Verfügung stehen oder erfasst werden müssen, von Bedeutung; trockene Jahre bringen bessere Ergebnisse als nasse Jahre.

Gütemessungen an den Fließgewässern werden an der Ybbs und der Wulka sowie auch an verschiedenen Grundwassermessstellen zwei mal im Monat vorgenommen. Mit diesen Intervallen wird im Allgemeinen das Auskommen gefunden, nur in seltenen Fällen, wie an der Wulka in Schützen, existieren tägliche Messwerte.

Manche Aussagen sind nur mit diesen verfeinerten Intervallen möglich, da die untersuchten Prozesse nur Stunden oder Tage andauern, wie zum Beispiel Abschätzungen der Phosphorkonzentrationen während der Schneeschmelze, das Phänomen des „Spülstoßes“ bei Gesamtphosphor.

Vergleicht man die ereignisabhängigen Gütemessdaten, welche im Rahmen des DaNUbs-Projektes vom Institut für Wassergüte und Abfallwirtschaft (IWAG) erfasst wurden, mit den (in regelmäßigen Abständen gewonnenen) Messdaten des Amtes der Burgenländischen Landesregierung/Gewässeraufsicht, so sieht man, dass bei letzteren die für die Erosion maßgebenden Hochwasserereignisse meist nicht erfasst wurden. Bei den Abflussspitzen wurden deutlich höhere Phosphorkonzentrationen gemessen, gäbe es nur die zeitabhängigen Messungen, so könnte man ohne Zusatzkenntnisse von gleichbleibend niedrigen Konzentrationen ausgehen.

Es ergeben sich im ersten Fall Überschätzungen des Eintrages, aufgrund überproportional gemessener Spitzen, im anderen Fall unterschätzt man den Eintrag.

Unterschiede durch die Art der Datenerfassung zeigen sich jedoch nicht nur in den Einzeldaten oder den daraus errechneten Mittelwerten, sondern auch in den daraus abgeleiteten Durchfluss-Nährstoffbeziehungen.

Die Messdaten dürfen also nicht ohne Berücksichtigung der Art der Datenerfassung verwendet werden.

Der Zusammenhang zwischen gemessenen Gütedaten und direkten Abflussanteilen für Gesamtphosphor ist bei den ereignisabhängigen Daten größer. Die Nitratkonzentrationen, welche am stärksten mit den Grundwasserabflüssen korrelieren, ergeben für zeitabhängige Messungen engere Zusammenhänge als für die ereignisabhängigen Messdaten.

4.9 NÄHRSTOFFBILANZ UND NITRATABBAU AUF DER BASIS DER GANG-LINIENANALYSE MIT DIFGA, ERGEBNISSE DES EU-PROJEKTES DANUBS

4.9.1 Nährstoffbilanz im Wulkatal

Ausgehend von der Wasserbilanz und den Gütemessungen können Nährstoffbilanzen erstellt werden. Dazu wurden die Ergebnisse der Difga-Berechnungen verwendet.

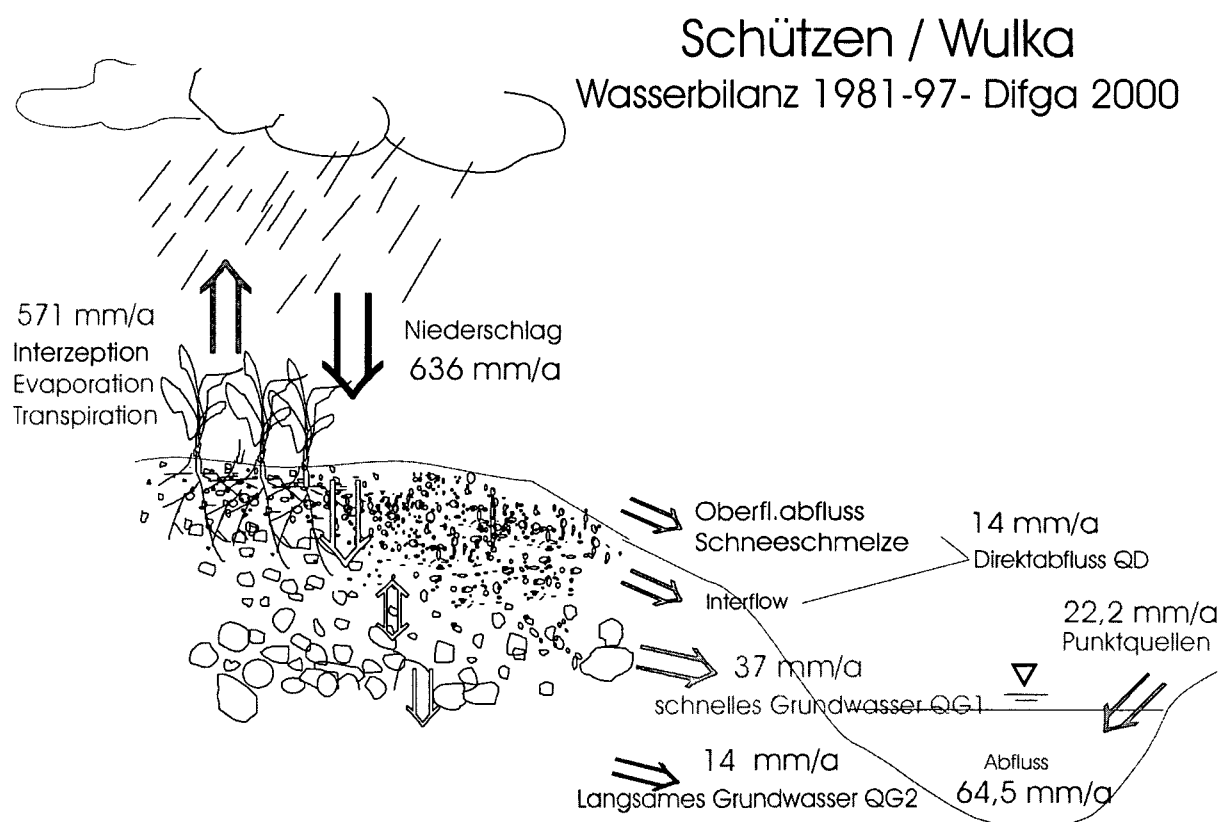


Abbildung 4-136: Wasserbilanz im Wulkatal nach Difga 2000

Abbildung 4-136 zeigt die mittlere Wasserbilanz für das Gesamteinzugsgebiet der Wulka am Pegel Schützen für den Zeitraum 1981-97. Der Transport der Nährstoffe erfolgt mit dem Wasser.

Der Stickstoff wird vor allem in Form von Nitrat mit dem Grundwasser, der Phosphor überwiegend in Form partikulären Phosphors mit dem Oberflächenabfluss transportiert.

4.9.1.1 Entwicklung der Düngemittelanwendung und des Ertrages der Landwirtschaft

Die folgenden Berechnungen und Graphiken sind aus dem Forschungsbericht des Eu-Projektes daNubs, deliverable 1.3 (Zessner, Lampert et al. 2004) entnommen.

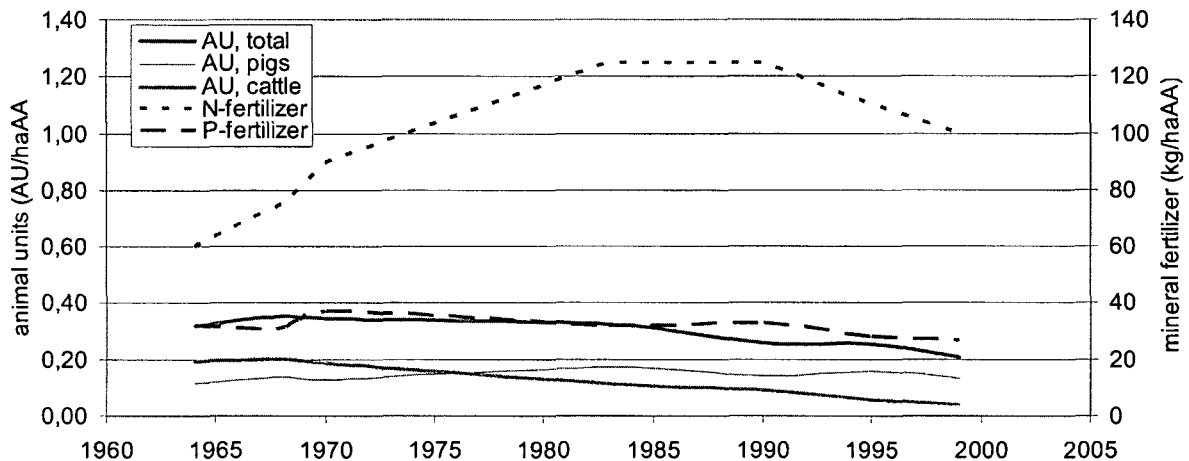


Abbildung 4-137: Die Entwicklung der Tierhaltung und der Mineraldüngeranwendung, Wulka (Zessner, Lampert et al. 2004)

Abbildung 4-137 zeigt die Entwicklung der Tierhaltung und der Mineraldüngeranwendung zwischen den Jahren 1964 und 1999 im Einzugsgebiet der Wulka. Die Menge ist in Kilogramm pro Hektar bzw. Großvieheinheiten je Hektar und Jahr angegeben. Man sieht, dass die Tierhaltung und die Einträge aus der P-Düngung seit 1970 kontinuierlich leicht zurückgehen, der Verbrauch an Stickstoffdünger hingegen bis zu einer Höhe von 125 kg/ha im Jahr 1983 stark angestiegen ist und seit 1990 wieder abgenommen hat. Heute beträgt der Eintrag an Stickstoff aus Düngemitteln ca. 100 kg/ha. Hinzu kommen Einträge aus Deposition (ca. 15 kg / (ha · a) und der Fixierung.

In Abbildung 4-138 (Zessner, Lampert et al. 2004) zeigt die Entwicklung des Ertrages verschiedener Feldfrüchte im Wulkatal als Indiz für den Austrag aus der landwirtschaftlichen Fläche durch Ernte im gleichen Zeitraum. Der Jahresertrag stieg kontinuierlich bis 1990 (für Getreide auf 4 t/ha, für Mais über 7 t/ha) und sank danach, mit Mais als Ausnahme, wieder ab. Für Getreide beträgt er heute ca. 3 Tonnen je Hektar, für Mais 9 t/ha.

Aus dem Eintrag, welcher sich aus dem organischen Dünger (aus der Viehhaltung), dem Mineraldünger (künstlichen Dünger) und dem Stickstoffeintrag aus der Atmosphäre (durch Fixierung und Deposition) zusammensetzt, und den Austrag (Netto-Ernte und Stickstoffverluste vor allem des organischen Düngers durch Ausgasen) pro Fläche kann man die Nährstoffüberschüsse der landwirtschaftlichen Flächen berechnen. Hinzu kommt ein Eintrag durch Netto-Mineralisation von den im Boden

angereicherten Stickstoffüberschüssen.

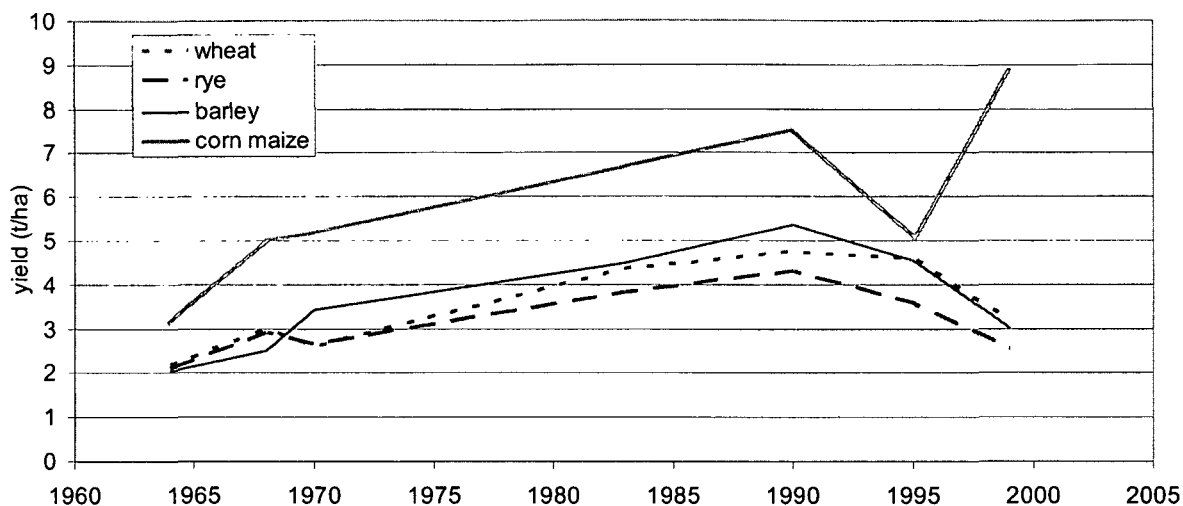


Abbildung 4-138: Entwicklung des Ertrages an Weizen, Roggen, Gerste , Mais

4.9.1.2 Stickstoffbilanz der Landwirtschaft, Wulka

In nachfolgender Tabelle sind die in dem Projekt DaNUbs errechneten Input- und Outputmengen des Stickstoffes sowie die sich daraus ergebenden Überschüsse für das ackerbaulich genutzte Land der Teileinzugsgebiete des Wulkatales für das Jahr 1999 angegeben (Zessner, Lampert et al. 2004).

| N in kg/(ha _{LW} ·a) | Gesamt- gebiet | Walbers- dorf | Wulkapr. netto | Nod- bach | Eisbach | Schützen netto |
|--------------------------------------|-------------------|------------------|-------------------|--------------|--------------|-------------------|
| Input | | | | | | |
| organischer Dünger | 19-21 | 18-20 | 34-39 | 8 | 5 | 4 |
| Mineraldünger | 72-86 | 80-97 | 74-87 | 74-89 | 69-83 | 59-72 |
| N-Fixierung durch Mikroorganismen | 3-6 | 4-8 | 2-7 | 3-5 | 2-3 | 4-5 |
| Atmosphärische Deposition | 13-17 | 13-17 | 13-17 | 13-17 | 13-17 | 13-17 |
| Output | | | | | | |
| Ernte | 62-76 | 76-95 | 72-89 | 57-70 | 43-51 | 42-49 |
| NH ₃ -N Verluste | 2-3 | 2 | 4-5 | 1 | 0,2-0,3 | 0,2 |
| N-Überschuss (In -Out) | 46-55 | 39-47 | 51-58 | 42-51 | 49-60 | 41-52 |
| (N-net Mineralisation) | (8-10) | | | | | |
| (Korr. N-Überschuss) | (54-65) | | | | | |

Tabelle 4-47: Berechnung der Nährstoffüberschüsse für Stickstoff in kg/ha, 1999

Die berechneten Stickstoffüberschüsse für die ackerbaulich genutzten Flächen liegen in den Einzugsgebieten zwischen 39 und 60 kg/(ha·a), für das Gesamtgebiet liegen sie zwischen 46-55 kg/(ha·a), wobei weitere 8-10 kg durch Nettomineralisation aus den mit Nährstoffen angereicherten Böden dazukommen.

Detailliertere Angaben zu dem in den Berechnungen verwendeten Datenmaterial in den Teileinzugsgebieten finden sich im Anhang.

Abbildung 4-139 zeigt die räumliche Verteilung der Nitratüberschüsse im Wulkatal für das Jahr 1999.

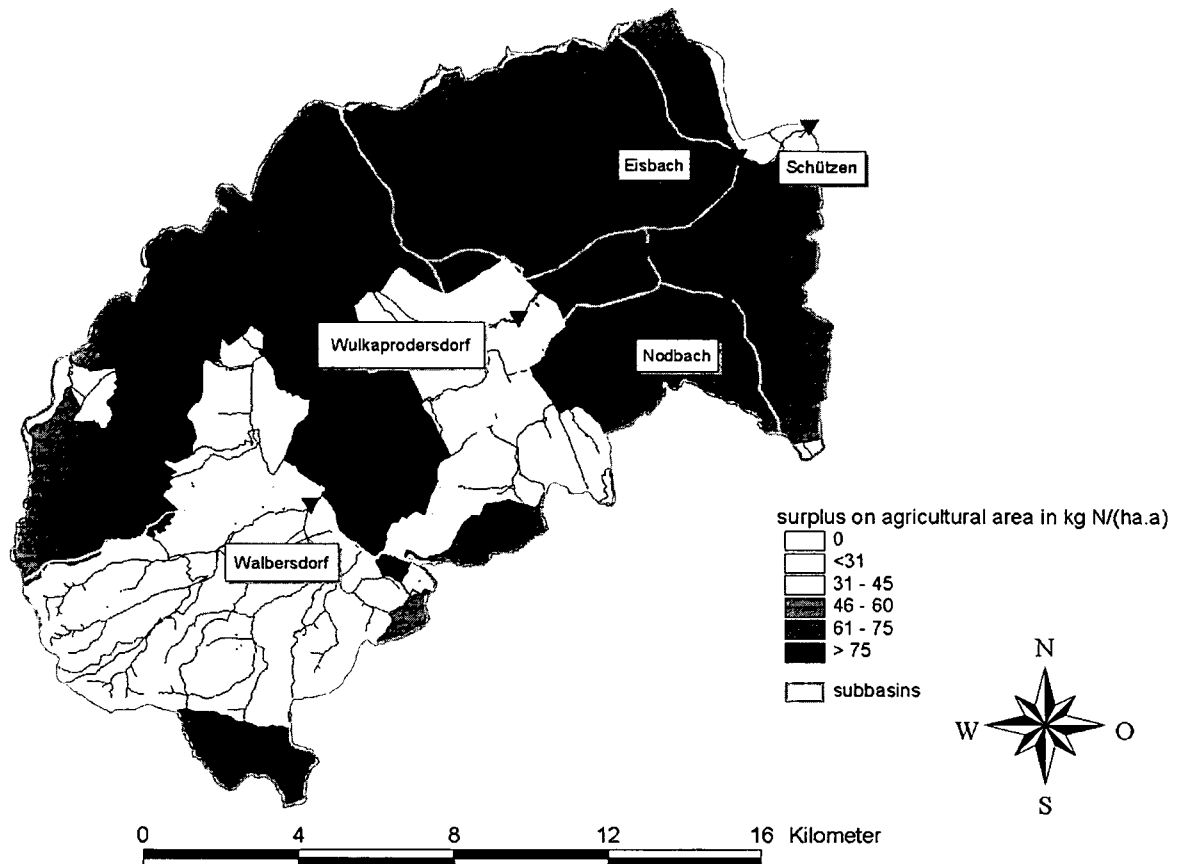


Abbildung 4-139: Nitratüberschüsse im Wulkatal (Zessner, Lampert et al. 2004)

Je dunkler die Fläche, desto höher die Stickstoffüberschüsse, im oberen Einzugsgebiet der Wulka sind die Einträge geringer als im unteren Einzugsgebiet. Die höchsten Einträge treten in einem Teil des Einzugsgebietes Wulkaprodersdorf auf, dort betragen die Einträge im Jahr 1999 mehr als 75 kg/(ha·a).

4.9.1.3 Phosphorbilanz der Landwirtschaft, Wulka

Die Ergebnisse der Berechnungen für den Input, den Output und die Überschüsse für Phosphor in kg / (ha · a) finden sich in folgender Tabelle für das Jahr 1999.

| P in kg/ha _{LW} ·a | Gesamtgebiet | Walbersdorf | Wulkapr. net | Nodbach | Eisbach | Schützen netto |
|-------------------------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|----------------|
| Input durch... | | | | | | |
| organischer Dünger | 7-8 | 6-7 | 12-15 | 3 | 2-3 | 2 |
| Mineraldünger | 18-21 | 19-22 | 18-20 | 19-23 | 17-21 | 16-19 |
| Atmosphärische Dep. | 0,2-0,4 | 0,2-0,4 | 0,2-0,4 | 0,2-0,4 | 0,2-0,4 | 0,2-0,4 |
| Output durch Ernte | 11-13 | 13-16 | 13-15 | 8-9 | 8-9 | 8-9 |
| P-Überschuss (In- Out) | 15-18 | 12-15 | 18-22 | 13-17 | 13-17 | 10-13 |

Tabelle 4-48: Berechnung der Nährstoffüberschüsse für Phosphor, 1999

Die Überschüsse im Jahr 1999 weisen relativ große Unterschiede auf, sie liegen zwischen 10 und 22 kg/ha (Zessner, Lampert et al. 2004). Die höchsten Überschüsse treten wieder in Wulkaprodersdorf auf, die kleinsten in Schützen (Nettofläche). Die Gesamtüberschüsse liegen bei zwischen 15 und 18 kg/ha.

4.9.1.4 Zeitlichen Entwicklung der Nährstoffüberschüsse

Eine Darstellung der zeitlichen Entwicklung der Nährstoffüberschüsse zeigt Abbildung 4-140 (Zessner, Lampert et al. 2004). In der linken Abbildung sieht man die jährlichen Stickstoffüberschüsse seit 1964 in kg pro ha und Jahr. Die höchsten Überschüsse betragen mehr als 70 kg/ha im Jahr 1982. Seitdem nehmen die Überschüsse ab. Heute betragen sie ca. 50 kg / (ha·a) Man sieht weiterhin, dass die Überschüsse in den Teileinzugsgebieten unterschiedlich hoch sind, im Einzugsgebiet des Nodbaches sind die Einträge höher, in Wulkaprodersdorf niedriger.

In der rechten Abbildung ist die aus den Überschüssen errechnete Anreicherung des Bodens mit Phosphor dargestellt. Sie beträgt heute ca. 800 kg/ha.

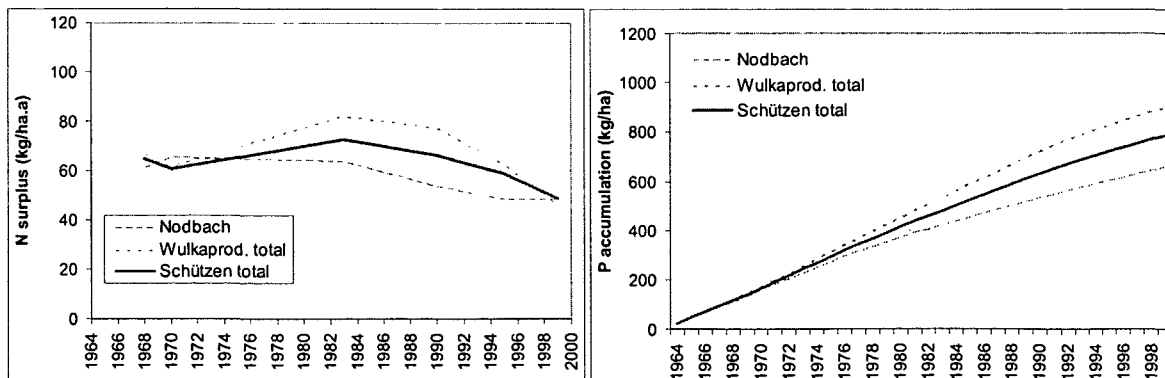


Abbildung 4-140: Entwicklung der Nährstoffüberschüsse im Wulkatal

4.9.2 Erfassung der Güte des Grundwassers und der Oberflächengewässer

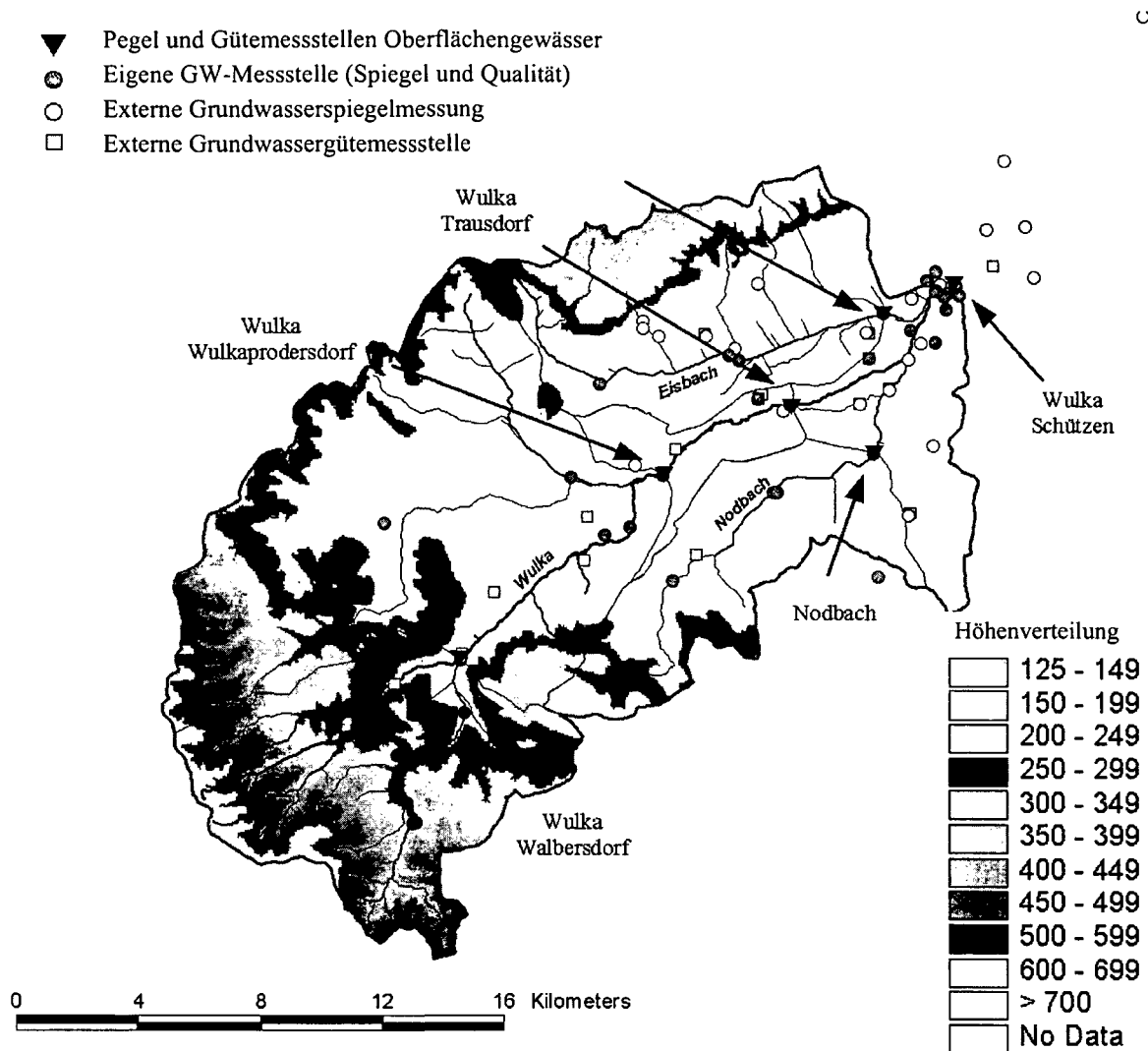


Abbildung 4-141: Pegel, Grundwasser- und Gütemessstellen im Wulkatal

Die Abbildung 4-141 (Zessner, Lampert et al. 2004, verändert) zeigt die Lage der Pegel und Gütemessstellen der Oberflächengewässer und des Grundwassers im Wulkatal.

Bei den als „eigene“ Messstellen bezeichneten Messstellen wurden die Gütedaten bzw. die Wasserstände im Rahmen des daNUbs- Projektes erfasst. Die Probenahme und deren Auswertung erfolgte vom Institut für Wassergüte und Abfallwirtschaft³¹ (IWAG) der TU Wien.

Aus den gemessenen Konzentrationen der Güteparameter wurden die Mittelwerte sowie die Medianwerte für die einzelnen Teileinzugsgebiete im Fließgewässer er-

³¹ Ab Oktober 2004 Institut für Wassergüte, Ressourcenmanagement und Abfallwirtschaft.

mittelt. Die nachfolgende Tabelle (Zessner, Lampert et al. 2004) bietet einen Überblick über die erfassten Daten.

| | O ₂ | SS | DOC | NH ₄ -N | NO ₃ -N | NO ₂ -N | TN | PO ₄ -P | TP | TP fil | SiO ₂ dis. |
|----------------------|----------------|------|------|--------------------|--------------------|--------------------|------|--------------------|------|--------|-----------------------|
| | % | mg/l | mg/l | mg/l | mg/l | mg/l | mg/l | mg/l | mg/l | mg/l | mg/l |
| Walbersdorf (mittel) | 110 | 33 | 2,7 | 0,13 | 3,20 | 0,05 | 3,94 | 0,09 | 0,26 | 0,14 | 12 |
| Walbersdorf (med) | 104 | 4 | 2,3 | 0,05 | 3,24 | 0,03 | 3,80 | 0,08 | 0,15 | 0,10 | 13 |
| Wulkaprod. (mitt.) | 99 | 54 | 3,1 | 0,18 | 3,57 | 0,10 | 5,03 | 0,09 | 0,25 | 0,13 | 11 |
| Wulkaprod. (med) | 97 | 13 | 2,9 | 0,15 | 3,70 | 0,05 | 4,90 | 0,07 | 0,17 | 0,11 | 11 |
| Trausdorf (mittel) | 109 | 67 | 4,0 | 0,23 | 2,87 | 0,05 | 4,03 | 0,13 | 0,26 | 0,19 | 11 |
| Trausdorf (median) | 106 | 16 | 3,9 | 0,09 | 2,64 | 0,05 | 3,75 | 0,12 | 0,19 | 0,16 | 12 |
| Nodach (mittel) | 94 | 46 | 4,5 | 0,21 | 3,85 | 0,09 | 5,03 | 0,11 | 0,25 | 0,16 | 10 |
| Nodbach (med) | 92 | 14 | 4,1 | 0,18 | 3,45 | 0,05 | 4,82 | 0,08 | 0,19 | 0,13 | 11 |
| Eisbach (mittel) | 81 | 26 | 5,0 | 2,44 | 3,24 | 0,26 | 7,83 | 0,23 | 0,49 | 0,31 | 12 |
| Eisbach (median) | 78 | 12 | 5,1 | 2,25 | 3,15 | 0,19 | 8,18 | 0,18 | 0,35 | 0,27 | 13 |
| Schützen (mittel) | 98 | 49 | 4,1 | 0,46 | 2,86 | 0,13 | 4,67 | 0,12 | 0,36 | 0,18 | 11 |
| Schützen (median) | 96 | 12 | 3,9 | 0,31 | 2,70 | 0,09 | 4,34 | 0,10 | 0,21 | 0,15 | 11 |

Tabelle 4-49: Zusammenfassung der mittleren Konzentrationen („mittel“) und der Medianwerte („med“, „median“) bei den Messpunkten

| | O ₂ | DOC | NH ₄ -N | NO ₃ -N | NO ₂ -N | PO ₄ -P | TP | SiO ₂ dis. | Fe |
|--------------------------------|----------------|------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|------|-----------------------|------|
| | mg/l | mg/l | mg/l | mg/l | mg/l | mg/l | mg/l | mg/l | mg/l |
| Wulka | | | | | | | | | |
| Wulka unterhalb Wulkaprodersd. | 4,8 | 2,8 | 0,09 | 16,4 | 0,03 | 0,19 | 0,25 | 14,5 | 0,14 |
| Wulka oberhalb Wulkaprodersd. | 5,6 | 2,4 | 0,04 | 26,1 | 0,04 | 0,04 | 0,10 | 16,8 | 0,13 |

Tabelle 4-50: Konzentrationen im Grundwasser

Die Information über die Grundwassergüte, welche in Tabelle 4-50 (Zessner, Lampert et al. 2004) zusammengefasst ist, wurde aus Probenahmen an Brunnen und Messstellen im Gewässer gewonnen, wobei die Probenahmen aus dem Gewässer bei Niedrigwasser und kalten Temperaturen erfolgte (der Abfluss besteht dann vorwiegend aus Grundwasser).

Aus den Überschüssen in den Teileinzugsgebieten kann man mit Hilfe der Sickerwassermengen (den unterirdischen Abflussanteilen der Ganglinienanalyse mit Difga) den Austrag an Nitrat berechnen. Durch einen Vergleich mit den gemessenen Konzentrationen im Grundwasser und im Fließgewässer kann man den Verlust an Nährstoffen durch Abbau oder Retention im Einzugsgebiet abschätzen.

4.9.3 Nitrat im Untergrund, Nitratabbau

Der Transport des Nitrates erfolgt hauptsächlich durch Auswaschung über den Untergrund. Sobald die Infiltration größer ist als die Verdunstung, wird mit dem Wasser auch das Nitrat in tiefere Bodenschichten transportiert und ist unterhalb der Wurzeltiefe nicht mehr pflanzenverfügbar. Teile des Nitrates gelangen später über das Grundwasser ins Fließgewässer.

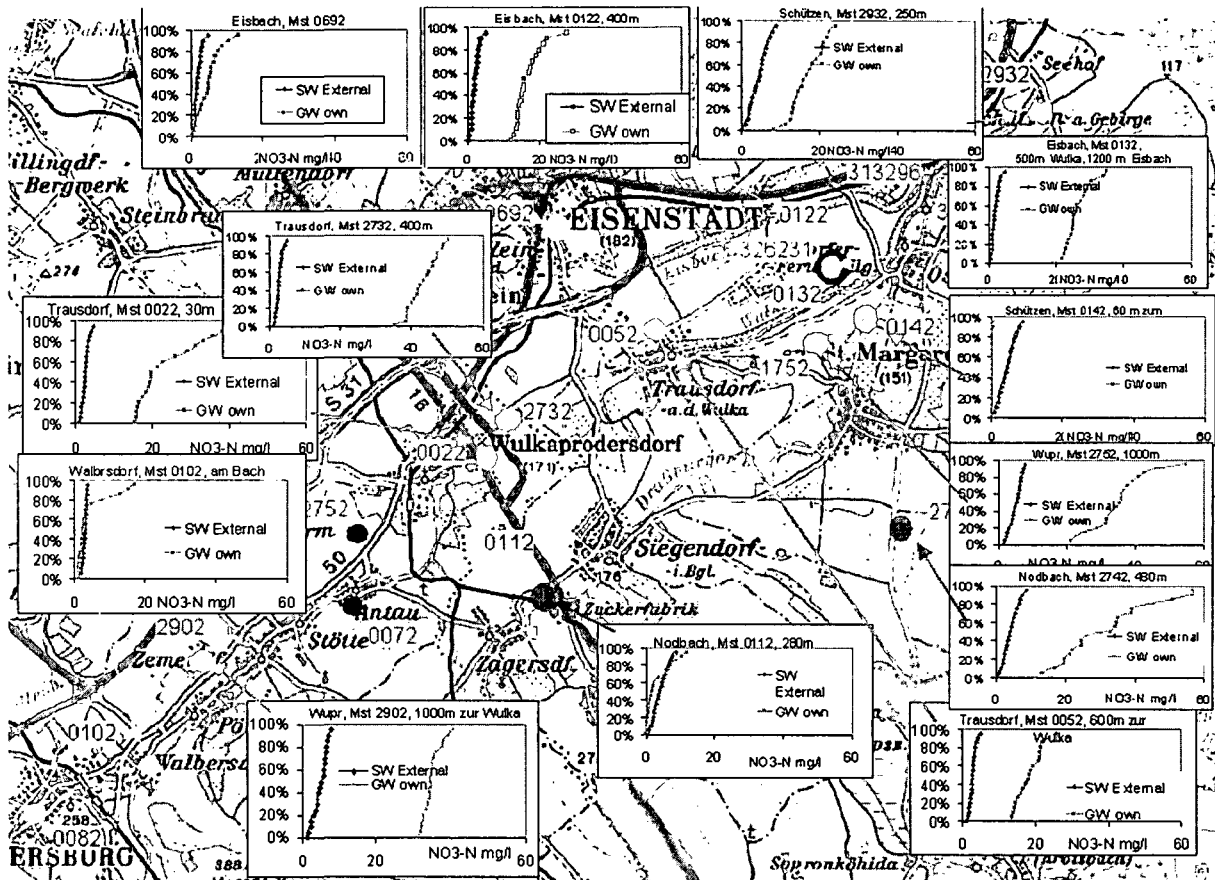


Abbildung 4-142: Grundwassermessstellen, gemessene Nitratkonzentrationen

Abbildung 4-142 zeigt die im Fließgewässer (SW für surface water, Fließgewässer, Daten der Gewässeraufsicht, 1992-2002) und die im Grundwasser (GW, Daten IWAG vom Okt. 2001 oder Juni 2002 bis 31.3. 2003) gemessenen Konzentrationen an Nitrat in mg/l für einzelne Messstellen im Einzugsgebiet der Wulka im Vergleich und ihre räumliche Zuordnung. In den Diagrammen sind jeweils die Summenlinien der gemessenen Konzentrationen (in % aller Messdaten) aufgetragen. Die Konzentrationen im Grundwasser sind wesentlich höher, als im Fließgewässer.

Generell zeigt sich, dass die Nitratkonzentrationen im Grundwasser höher sind, wenn die Messstelle weiter entfernt vom Fließgewässer ist, entlang des Fließweges zum Gewässer hin sinkt die Konzentration ab. Abbildung 4-143 zeigt die Nitratstickstoffkonzentrationen einzelner Messstellen. Für die Darstellung wurden die Fraktile aller Messwerte je Station in 5%-Schritten ermittelt und aufgetragen. In der Abbildung

werden auch einige Ausnahmen gezeigt, unter bestimmten Verhältnissen, wie bei einem Eintrag durch die undichten Senkgruben einer Siedlung oder den Eintrag durch die Landwirtschaft in Gewässernähe, trifft die Aussage nicht zu.

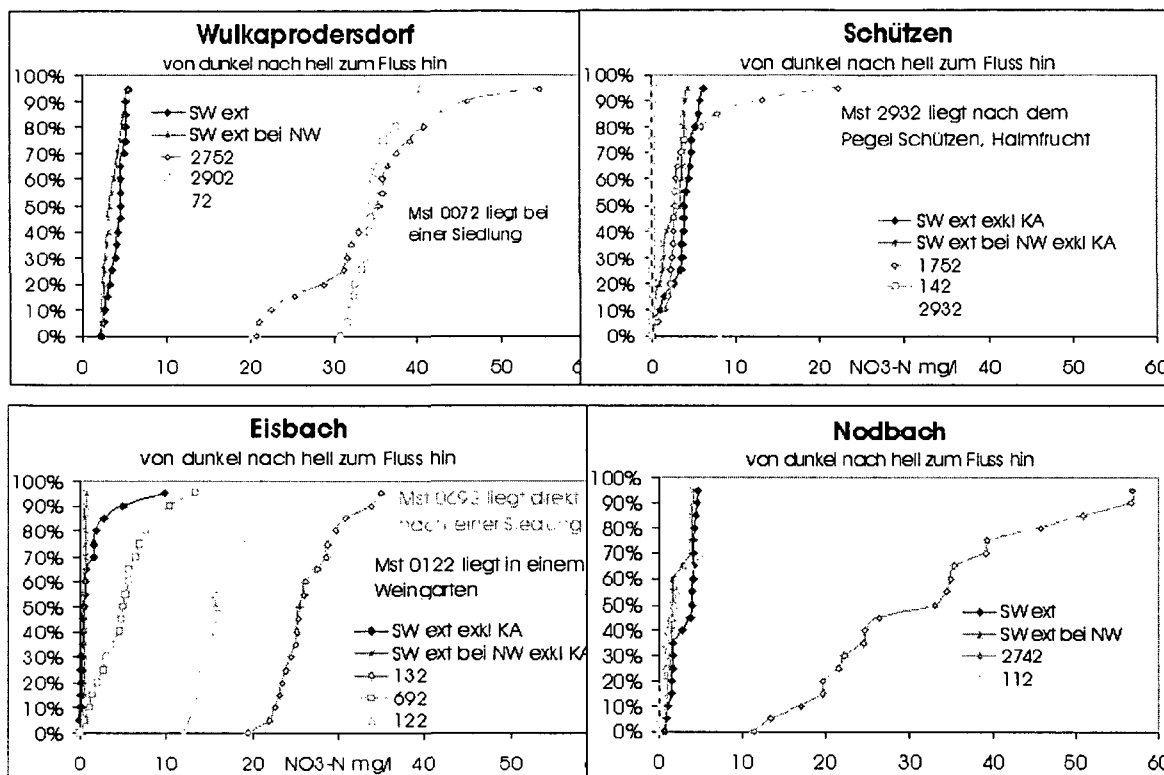


Abbildung 4-143: Nitrat-Konzentrationen einzelner Grundwassermessstellen (exkl. KA), ihre Entfernungen zum Fließgewässer, Konzentrationen im Fließgewässer.

Die blauen, mit SW bezeichneten Messstellen zeigen die Konzentrationen im Fließgewässer, die hellere von beiden zeigt die Konzentration bei Niederwasser.

Bei den anderen Linien handelt es sich um Konzentrationen der Grundwassermessstellen. Hierbei handelt es sich um einige der Messstationen des DaNUbs-Projektes, die Konzentrationen wurden vom Institut für Wassergüte und Abfallwirtschaft (IWAG) mittelt. Die verwendeten Daten sind aus den Jahren 2001-2002.

Die Messdaten des Fließgewässers wurden von dem Kläranlageneinfluss bereinigt. Die dunkleren Linien markieren Messstellen, welche weiter entfernt zum Gewässer liegen und demnach tendenziell höhere Nitratkonzentrationen aufweisen. Bei einigen Messstellen finden sich aber in Gewässernähe höhere Konzentrationen. Mögliche Ursachen für unerwartet hohe Nitratkonzentrationen, wie Nitratreintrag in der Nähe des Gewässers durch einen Weingarten, durch Abwasser, Senkgruben einer Siedlung etc. sind ebenfalls in den Diagrammen angegeben.

Die Mittelwerte der Grundwasserkonzentrationen in verschiedenen Entfernungsbereichen nehmen zum Gewässer hin ab. Im Bereich Schützen sind die Nitratkonzentrationen im Grundwasser, außer an einer Messstelle, sehr gering.

Bei langen Fließzeiten und geringem Sauerstoffgehalt im Untergrund „verschwindet“

das Nitrat durch Denitrifikation.

Abbildung 4-144 (Zessner, Lampert et al. 2004) zeigt die Konzentrationen des anorganischen Stickstoffes und des gelösten Kohlenstoffes im Grundwasser in Abhängigkeit von der Entfernung zum Gewässer und im Fließgewässer selbst. Die Messstellen wurden nach ihrer Entfernung zum Fließgewässer in Klassen (<100m, <250m, >250m) eingeteilt und die Mittelwerte der Konzentrationen der Entfernungsklassen in dem Diagramm aufgetragen.

Die Abbildung links zeigt die Abnahme des Stickstoffes im Grundwasser in Fließrichtung (zum Gewässer hin). In der Wulka ist die Konzentration am kleinsten. Die Konzentration an Kohlenstoff (rechte Abbildung) steigt mit abnehmender Entfernung zum Fließgewässer. In der Wulka ist der Gehalt an gelöstem organischen Kohlenstoff, DOC, höher. Er ist auf einen Eintrag an organischem Material in das Fließgewässer zurückzuführen.

In Gewässernähe wird ein niedriger Gehalt an anorganischem Stickstoff und eine hohe Konzentration an organischem Kohlenstoff gemessen.

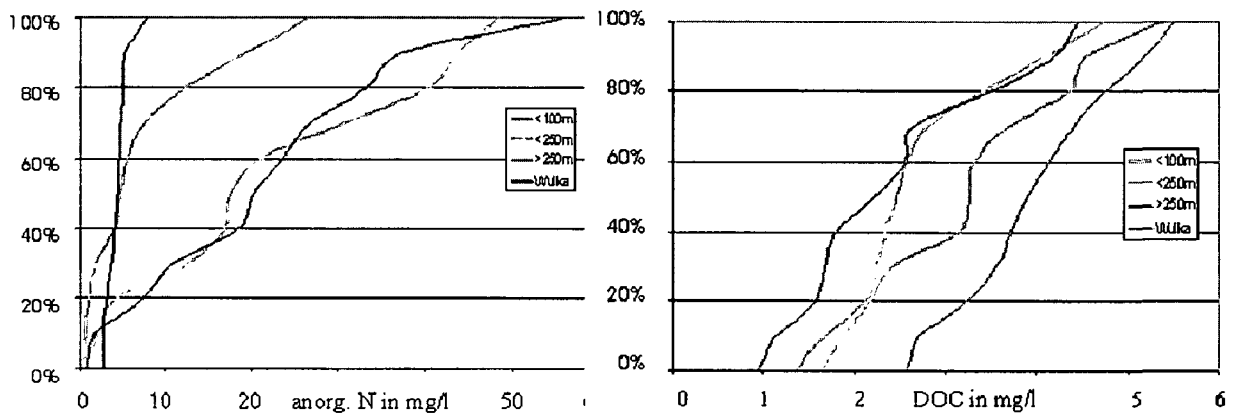


Abbildung 4-144: Konzentrationen des Stickstoffes und des gelösten organischen Kohlenstoffes in der Wulka und in Grundwassermessstellen

Da der Abbau des Stickstoffes entlang des Fließweges unter Verwendung von organischem Material erfolgt, ist dieser Sachverhalt ein Hinweis auf Denitrifikationsvorgänge im Grundwasser.

Die Verminderung der Stickstoffkonzentration im Grundwasser durch heterotrophe Denitrifikation ist abhängig von dem Gehalt an biologisch verwertbaren Kohlenstoff, also gelöstem organischen Kohlenstoff DOC im Grundwasser oder im Boden selbst, im allgemeinen ist sie substratbegrenzt. Die Denitrifikation ist daher abhängig von der Aufenthaltszeit im Grundwasser, da der Gehalt an verwertbarem Kohlenstoff (als Substrat) im Grundwasser sehr gering ist. Je älter das Grundwasser und je länger der Weg, den es schon zurückgelegt hat, desto größer der Abbau und desto geringer der Stickstoffgehalt. Das nitratbelastete Grundwasser tritt entlang seines Fließweges immer wieder in neue Grundwasserbereiche ein, in denen ein (weiterer) Abbau durch den dort vorhandenen gelösten Kohlenstoff möglich ist. Einträge aus ge-

wässerfernen Flächen sind für die Güte des Fließgewässers daher weniger relevant. Die Denitrifikationsrate ist auch von der Temperatur abhängig, bei sehr geringen Temperaturen läuft sie sehr langsam ab oder kommt zum Erliegen, die Temperaturabhängigkeit der Stickstoffkonzentration ist daher auch ein Indiz für die Denitrifikation. Im Niederwasserbereich wird angenommen, dass der Abfluss vor allem aus dem Grundwasser stammt. Die Konzentrationen in dem als Grundwasserabfluss interpretierten Abfluss sind bei niedrigen Temperaturen höher als bei höheren Temperaturen.

Die Denitrifikation ist weiterhin abhängig von der Temperatur.

Die Abbildung 4-145 zeigt die Nitratstickstoffkonzentrationen der Wulka als Funktion der Temperatur am Pegel Schützen. Die Nitratstickstoffkonzentrationen im Fließgewässer sinken bei steigender Temperatur, obwohl der Eintrag im Sommer, bei hohen Temperaturen, eher größer ist (im Winter erfolgt keine Düngung mit mineralischem Dünger). Die Temperatur des eintretenden Grundwassers über das Jahr unterliegt keinen großen Schwankungen. Die Abnahme, also der Abbau des Nitrates ist bei kleinen Temperaturen größer, über ca. 15 °C bleiben sie in etwa konstant. Im Niederwasserbereich ist eine stärkere Abhängigkeit der Temperatur von den Durchflüssen zu beobachten. Im Niederwasserbereich stammt der Großteil des Abflusses aus dem Grundwasser und der Einfluss der Denitrifikation ist größer.

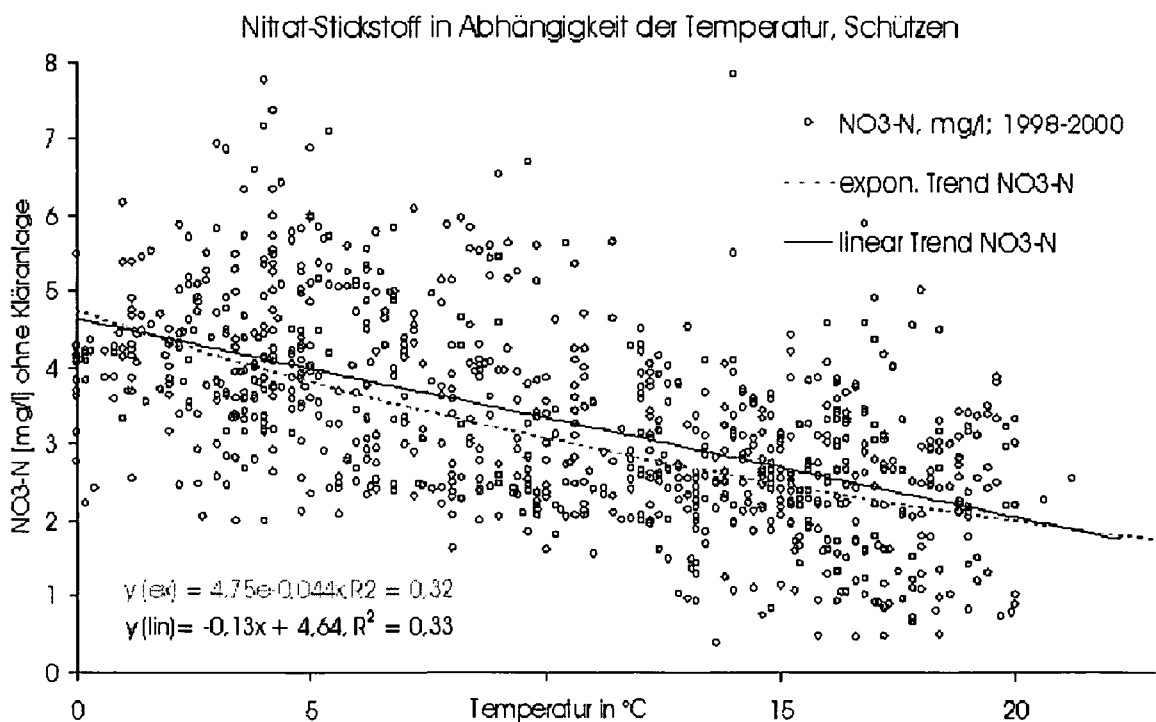


Abbildung 4-145: Gesamtstickstoffkonzentrationen der Oberflächengewässer in den Teileinzugsgebieten und Temperaturabhängigkeit

Die Abbildung für den Gesamtstickstoff ergibt ein ähnliches Bild. Die Gesamtstickstoffkonzentrationen liegen unter 4 mg/l bei Temperaturen über 15 °C. Dieser Wert ist

auch für die Teilgebiete Walbersdorf, Wulkaprodersdorf, Trausdorf und Nodbach in etwa gleich hoch. Die Beziehung Stickstoff-Durchfluss ist in den verschiedenen Teileinzugsgebieten der Wulka ähnlich, nur im Einzugsgebiet des Eisbaches liegen die Gesamtstickstoffkonzentrationen höher, dort betragen sie auch bei hohen Temperaturen mehr als 7 mg/l. Die (höheren) Konzentrationen des Eisbaches sinken dabei stärker als die der anderen Einzugsgebiete.

Aus dieser aus den Messdaten gewonnenen Beziehung kann man auf das temperaturabhängige Abbauverhalten schließen. Der Trend und die Güte der Korrelation unterscheidet sich in den Teileinzugsgebieten. In den oberen Teileinzugsgebieten ist die Korrelation schlechter (und die Denitrifikation kleiner) als in den unteren Teileinzugsgebieten.

Die Stickstoffgehalte ändern sich aber auch mit den Durchflüssen, wie in Abbildung 4-146 dargestellt.

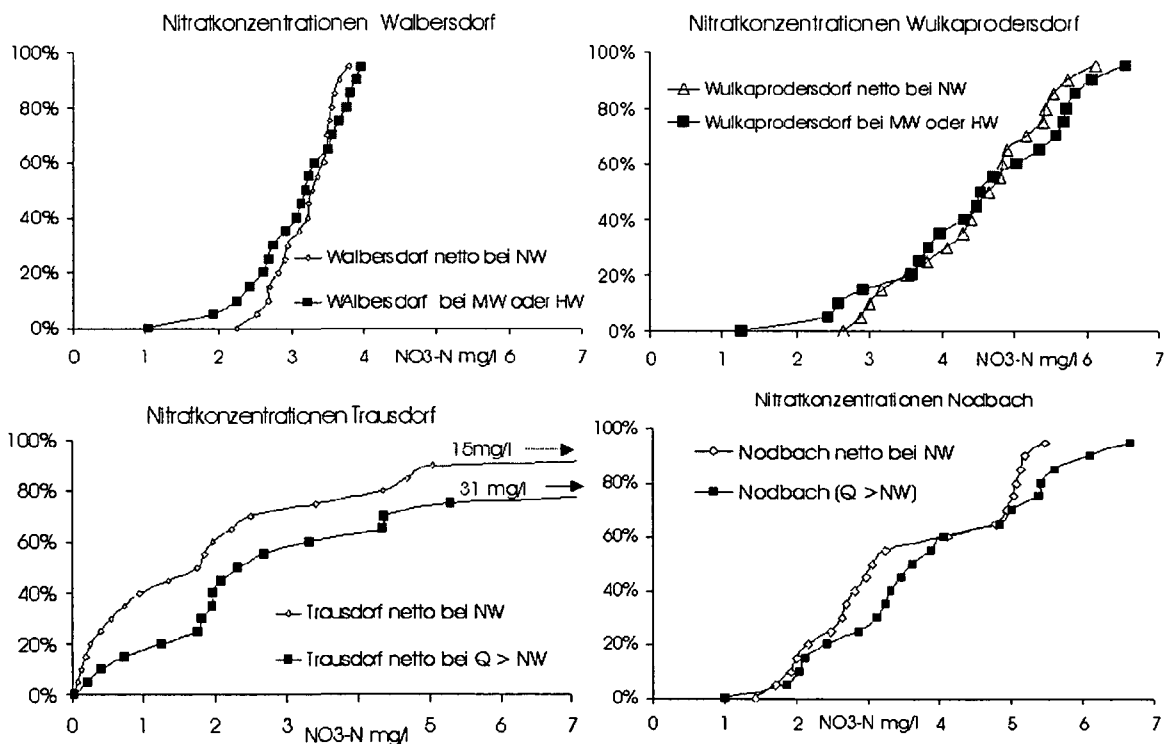


Abbildung 4-146: Durchflussklassen und Nitratstickstoffkonzentrationen

Die Abbildung zeigt die Einzugsgebiete von Walbersdorf bis Nodbach stromabwärts entlang der Wulka. In dem oberen Einzugsgebiet Walbersdorf sind die Nitratstickstoffkonzentrationen am kleinsten und sehr gleichmäßig verteilt. Hier ist der Eintrag gering und der Abbau bei hohem Sauerstoffgehalt des Grundwassers klein. Auch der Unterschied zwischen den Nitratgehalten der Niederwasserabflüsse (als Grundwasserabflüsse interpretierbar) und den höheren Abflüssen ist gering.

In Wulkaprodersdorf sind die Konzentrationen im Niederwasserbereich ebenfalls ähnlich denen der höheren Durchflüsse, bei kleinen Konzentrationen sind sie höher bei großen geringer. Die Konzentrationen und deren Schwankungen sind an

diesem flussabwärts gelegenen Pegel größer geworden.

In den unteren Einzugsgebieten Trausdorf, Nodbach (auch Eisbach und Schützen) sind die Nitratstickstoffkonzentrationen bei Mittel- und Hochwasser deutlich größer als bei Niederwasser. Auch der Unterschied der 5% Fraktile ist gestiegen, die Werte schwanken stärker.

Bei Niederwasser sind die Konzentrationen gleichmäßiger verteilt als bei höheren Durchflüssen.

Man kann für jeden Pegel Stickstoff-Temperaturbeziehungen für verschiedene Durchflussklassen aufstellen.

4.9.3.1 Berechnungen der Stickstoffreduktion mit den Ergebnissen von Difga

Aus den errechneten Nitratüberschüssen ergeben sich die möglichen Sickerwasserkonzentrationen, indem man die Überschüsse durch die Sickerwassermenge teilt.

$$\text{Konzentration}_{\text{NO}_3\text{-N}} \text{ (in mg/l)} = \text{Fracht}_{\text{NO}_3\text{-N}} \text{ (je ha)} / Q_{\text{Sickerw}} \text{ (je ha)}$$

Die jeweiligen Sickerwassermengen ergeben sich aus der Berechnung mit Difga, sie entsprechen der Summe des schnellen und des langsamen Grundwassers im Einzugsgebiet ($Q_{\text{Sickerw}} = QG1 + QG2$). Die Sickerwassermenge („SWmenge“) wurde in Tabelle 4-51, letzte Spalte, in mm/Jahr angegeben.

| | Mittelwerte der Konzentrationen (in mg/l) | | | | | SWmenge QG1+QG2 in mm |
|--------------------------|---|-------------------------------|------------|------------|-------------------|-----------------------------|
| | Sickerw. ber. nur LW | Sickerw. ber. alle Flächen | GW ber. | GW gem. | FG gem. bei GW | |
| Teileinzugsgebiet | | | | | | |
| Walbersdorf | 57,7 | 35,7 | 24,2 | 13,6 | 3,2 | 80 |
| Wulkaprodersdorf (netto) | 112,1 | 88,0 | 55,7 | 43,2 | 3,8 | 45 ³² |
| Trausdorf (brutto) | 80,6 | 61,4 | 38,7 | 30,3 | 2,8 | 60 |
| Eisbach | 117,5 | 83,0 | 114,8 | 16,7 | 3,2 | 45 ³³ (22) |
| Nodbach | 98,4 | 82,8 | 56,1 | 18,4 | 3,6 | 48 |
| Schützen (brutto) | 107,7 | 77,3 | 50,4 | 8,0 | 2,4 | 43 |

Tabelle 4-51: Stickstoffkonzentrationen, Grundwassererneubildung an der Wulka

Die Tabelle zeigt weiterhin die berechneten Sickerwasserkonzentrationen („Sickerw. ber.“) für die landwirtschaftlich genutzten Flächen, welche aufgrund der Überschüsse auf Gemeindeebene ermittelt wurden. Auf den nicht-landwirtschaftlichen Flächen wurde als Eintrag nur die Deposition berücksichtigt. Daraus ergibt sich die mittlere Sickerwasserkonzentration (aller Flächen) im Teileinzugsgebiet.

Durch die Berücksichtigung der Denitrifikation in den oberen Bodenschichten ergibt sich daraus eine Abschätzung der Nitratstickstoffkonzentrationen im Grundwasser. Die Retention wurde in den meisten Gemeinden aufgrund der Düngung, welche

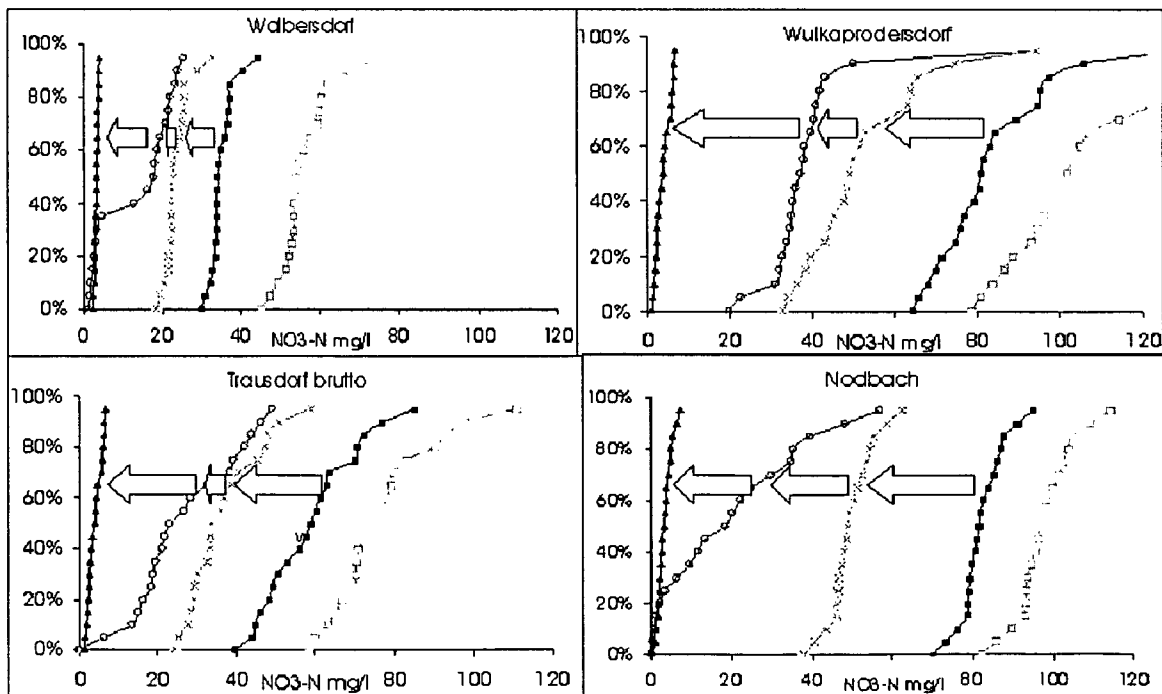
³² Neubildungsrate „netto“, ohne das Einzugsgebiet Walbersdorf gerechnet.

³³ Aufgrund des Kläranlageneinflusses und der Exfiltrationsvorgänge ergaben sich für das Eisbachtal sehr kleine Neubildungsraten, es wurde daher mit der Neubildung von Wulkaprodersdorf gerechnet.

um die 50 kg pro Hektar und Jahr betrug, mit 20 kg/(ha·a) angenommen. Die so errechneten Nitratstickstoffkonzentration ist aber auch nach einer Berücksichtigung der Denitrifikation in den oberen Bodenschichten (ergibt „GW ber.“) wesentlich höher, als die im Grundwasser gemessene Konzentration („GW gem.“). Die im Grundwasser gemessene Konzentrationen sind ihrerseits meist wesentlich höher, als die im Gewässer gemessenen Konzentrationen von NO₃-N. Die gemessenen Konzentrationen des Grundwassers und des Oberflächenwassers (FG) sind für einem Abfluss, welcher dem mittleren Grundwasserabfluss (QG1 + QG2 aus Difga) entspricht, angegeben. Die Werte wurden für die Jahre 1990-2002 berechnet³⁴ und sind im mg/l angegeben.

Abbildung 4-147 zeigt für sechs Teileinzugsgebiete im Wulkatal eine Gegenüberstellung der berechneten Nitratstickstoffkonzentrationen des Sickerwassers der landwirtschaftlichen Flächen, des Sickerwassers aller Flächen und des Grundwassers mit den gemessenen Konzentrationen des Grundwassers und der Fließgewässer bei Abflüssen, welche nicht größer als der mittlere Grundwasserabfluss sind.

Die Werte sind als 5 %-Quantile der gemessenen Konzentrationen bzw. Rechen-ergebnisse (die Überschüsse wurden auf Gemeindeebene berechnet) dargestellt. Es handelt sich dabei um Mittelwerte aller Messstationen im Teileinzugsgebiet bzw. aller für die Teilflächen (Gemeindeflächen) berechneten Konzentrationen im jeweiligen Einzugsgebiet.



³⁴ Sie unterscheiden sich etwas von den im Kapitel 4.5 (Tabelle 4-14) angegebenen Höhen, welche mit anderen Zeitreihen berechnet wurden. (Glöckl 2004)

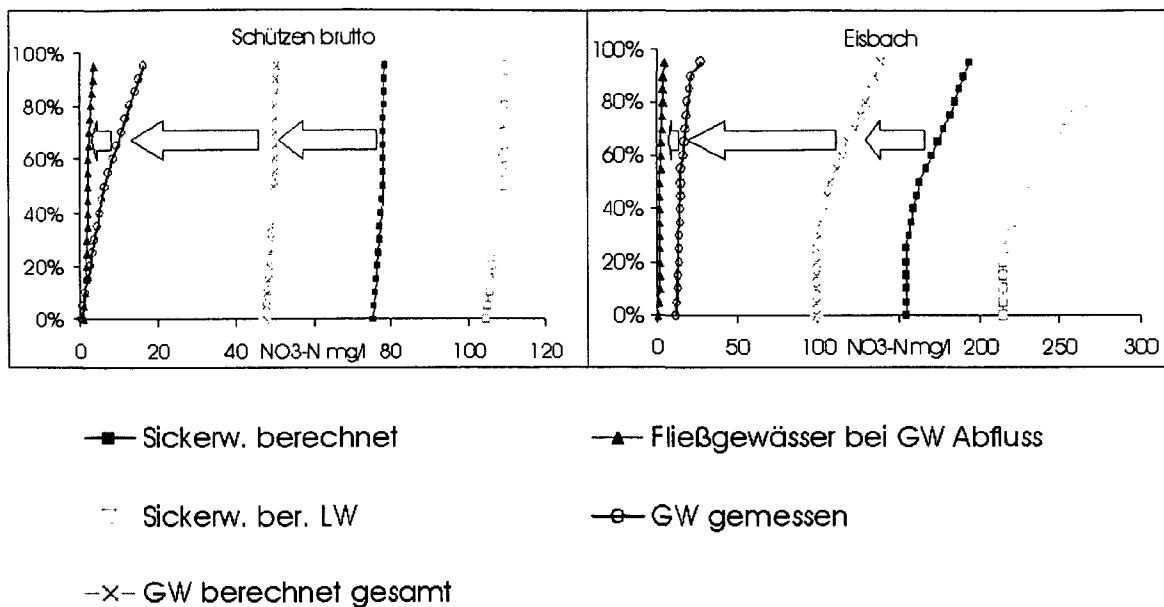


Abbildung 4-147: Vergleich der gemessenen mit den berechneten Konzentrationen des Nitratstickstoffes in den Teileinzugsgebieten

Die Nitratstickstoffkonzentration der Fließgewässer bei Grundwasserabfluss sind als schwarze Linien (ganz links) in den Abbildungen dargestellt. Im Fließgewässer sind die Konzentration am niedrigsten. Von den (potentiellen) Sickerwasserkonzentrationen, welche für die landwirtschaftlichen Flächen und die Gesamflächen gezeigt werden (2 Linien rechts in den Diagrammen) gehen große Teile verloren. Die Pfeile sollen die Reduktion (die Denitrifikation) des Nitrates von dem Eintrag bis zum Fließgewässer hin andeuten. Von dem eingebrachten Nitrat wird ein Teil im Oberboden zurückgehalten bzw. durch Denitrifikation abgebaut, diese erste Reduktion, in der Graphik von rechts nach links, wird durch den ersten Pfeil symbolisiert. Danach findet ein weiterer Abbau im Grundwasser und im Fließgewässer statt, welche durch die zwei weiteren Pfeile angedeutet wird. Die Konzentrationen im Grundwasser sind sehr viel geringer als die Konzentration im Sickerwasser, auch die Nitratkonzentrationen im Gewässer sind zumeist noch einmal deutlich unter der des Grundwassers.

Abbildung 4-148 zeigt die Konzentrationen der Fließgewässer der Teileinzugsgebiete der Wulka im Niederwasserbereich³⁵. Die $\text{NO}_3\text{-N}$ Konzentrationen in Walbersdorf sind geringer als jene im flussabwärts gelegenen Netto-Teileinzugsgebiet Wulkaprodersdorf, was durch die niedrigen Einträge im obersten Teileinzugsgebiet begründbar ist (die berechneten Sickerwasserkonzentrationen betragen 35,7 mg/l in Walbersdorf und 88,8 mg/l in Wulkaprodersdorf). Trotz hohem Input durch die Landwirtschaft im

³⁵ Die Werte des Niederwassers wurden aus dem hydrologischem Jahrbuch übernommen, wo die Angaben fehlten (Nodbach, Eisbach) wurden die kleinsten Abflüsse im gleichen Verhältnis der übrigen Pegel als NW angenommen.

unteren Einzugsgebiet sinken jedoch die Konzentrationen flussabwärts, die Nitratkonzentrationen in Schützen und Trausdorf sind geringere als in Wulkaprodersdorf. Es geht im unteren Teilgebiet ein Großteil des Nitrates durch Denitrifikation verloren. In Schützen ist die Konzentration des Bruttogebietes Schützen (Gesamtgebiet) etwas höher als die des Pegels Trausdorf- Netto. Diese Bruttokonzentrationen geben einen Mischwert aller Abflüsse wieder.

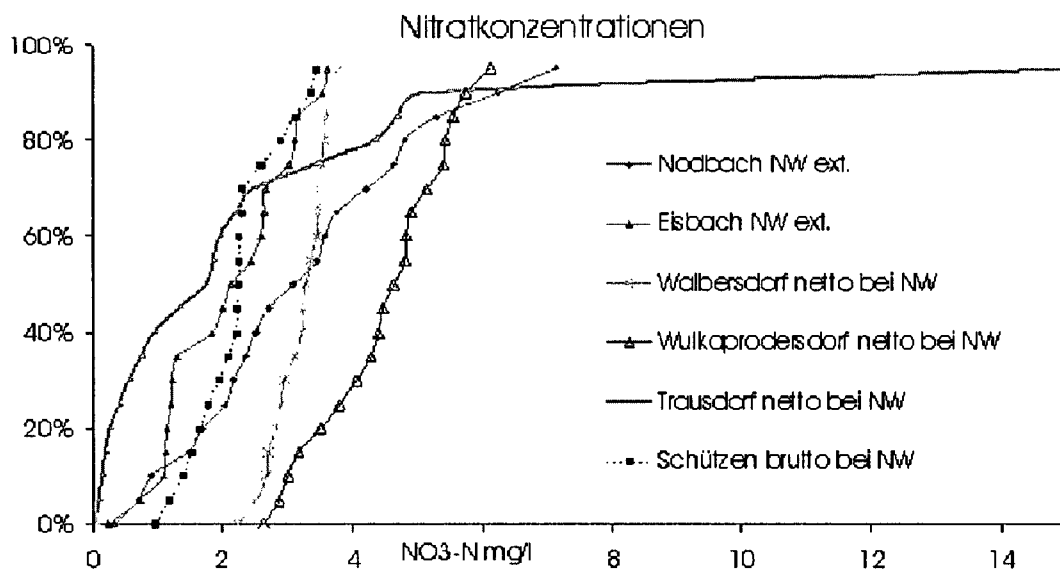


Abbildung 4-148: Konzentrationen im Fließgewässer, Vergleich der Teilgebiete

Die kleineren Zubringer Nodbach und Eisbach im unteren Einzugsgebiet haben mittlere Nitratkonzentrationen. Für den Pegel Schützen konnten keine Nettowerte berechnet werden, da die Einträge der Teileinzugsgebiete Trausdorf Nodbach und Eisbach über den am Pegel Schützen gemessenen Frachten liegen. Die errechneten Konzentrationen wäre daher negativ.

Für den Rückhalt im Fließgewässer selbst findet man in dem Bericht des daNUbs-Projektes (Zessner, Lampert et al. 2004) eine Abschätzung, welche in der nachfolgenden Tabelle zusammengefasst ist. Sie zeigt die Reduktion durch Denitrifikation im Fließgewässer für die Teileinzugsgebiete. Die gemessenen Frachten im Gewässer sind in % des Inputs in das Flusssystem (in die Gewässer) angegeben.

| N Retention | Walbersd. | Wulkaprod. | Trausdorf | Nodbach | Eisbach | Schützen |
|-------------|-----------|------------|-----------|---------|---------|----------|
| % von Input | 16 | 16 | 39 | 27 | 22 | 31 |

Tabelle 4-52: Stickstoff-Rückhalt der einzelnen Einzugsgebiete

Aus den Flächenanteilen der Teileinzugsgebiete sollen auch die Frachten und Reduktionsraten vom Eintrag bis zum Pegel errechnet werden. In der nachfolgenden Tabelle sind die Frachten in kg pro ha und Jahr für die Teileinzugsgebiete der Wulka angegeben.

| Frachten | in kg pro ha und Jahr | | | | | | |
|------------------|-----------------------|----------------------|----------------------|------------|-----------|------------------|----------------|
| | SW ber. nur LW | SW ber. alle Flä. | GW ber. alle Flä. | GW gem. | Red. → | FG gem bei GW | Red. gesamt |
| Walbersdorf | 46,1 | 28,6 | 19,3 | 10,9 | 76% | 2,6 | 91% |
| Wulkaprodersdorf | 50,5 | 39,6 | 25,0 | 19,4 | 91% | 1,7 | 96% |
| Trausdorf brutto | 48,7 | 37,1 | 23,4 | 25,2 | 91% | 2,3 | 94% |
| Eisbach | 52,9 | 37,4 | 25,3 | 3,7 | 81% | 0,7 | 98% |
| Nodbach | 47,2 | 39,8 | 24,2 | 8,8 | 80% | 1,8 | 96% |
| Schützen | 46,3 | 33,2 | 21,2 | 3,4 | 69% | 1,0 | 97% |

Tabelle 4-53: eingebrachte und gemessene mittlere Stickstofffrachten; im Grund- und Oberflächengewässer, maximale Reduktion

In der erste Spalte sind die auf die landwirtschaftlichen Flächen aufgebrauchten Stickstofffrachten inkl. Deposition angegeben, in der zweiten Spalte sind die für das gesamte Teileinzugsgebiet berechneten mittleren Frachten (inkl. Deposition) angegeben. In der dritten Spalte sind die in das Grundwasser eingebrachten (berechneten) Frachten angegeben.

Aus den über die Konzentrationen und den Sickerwassermengen aus Difga bestimmten Frachten im Grundwasser und den Frachten im Gewässer konnten die mittleren Reduktionsraten im Einzugsgebiet berechnet werden.

Die im Gewässer vorzufindenden Frachten sind also nur ein kleiner Bruchteil der aufgebrauchten Überschüsse, bei Grundwasserabfluss werden zwischen 91% der Frachten im oberen Einzugsgebiet bis 98 Prozent im unteren Einzugsgebiet zurückgehalten oder abgebaut. In Walbersdorf ist die Reduktion am kleinsten und beträgt pro Jahr 26 kg / ha in den Einzugsgebieten Wulkaprodersdorf und Nodbach ist sie am größten, dort werden 38 kg /ha des Inputs bei Grundwasserabfluss nicht mehr im Gewässer gefunden.

Wie schon erwähnt sind die Einträge der Teileinzugsgebiete größer als die am Pegel Schützen gemessenen Frachten. Es wird im unteren Einzugsgebiet also mehr Nitrat abgebaut als eingebracht.

Im Bereich Schützen exfiltriert nitratreiches Wasser in das Grundwasser, dabei kommt es zu einer fast vollständigen Denitrifikation, wie auch in Kapitel 4.9.3.2, Seite 254 diskutiert wird.

Die Diagramme in Abbildung 4-149 zeigen die aufgebrauchten Überschüsse in kg pro Hektar und Jahr im Vergleich zu den aus den gemessenen Konzentrationen ermittelten Frachten im Grundwasser und im Fließgewässer bei Grundwasserabfluss. Man sieht eine deutliche Reduktion vor allem im unteren Einzugsgebiet.

In den oberen Teilgebieten wird ein größerer Anteil der aufgebrauchten Stickstofffracht im Grund- und im Fließgewässer wiedergefunden. Im unteren Einzugsgebiet ist die Fracht im Gewässer kleiner, obwohl der Eintrag größer ist.

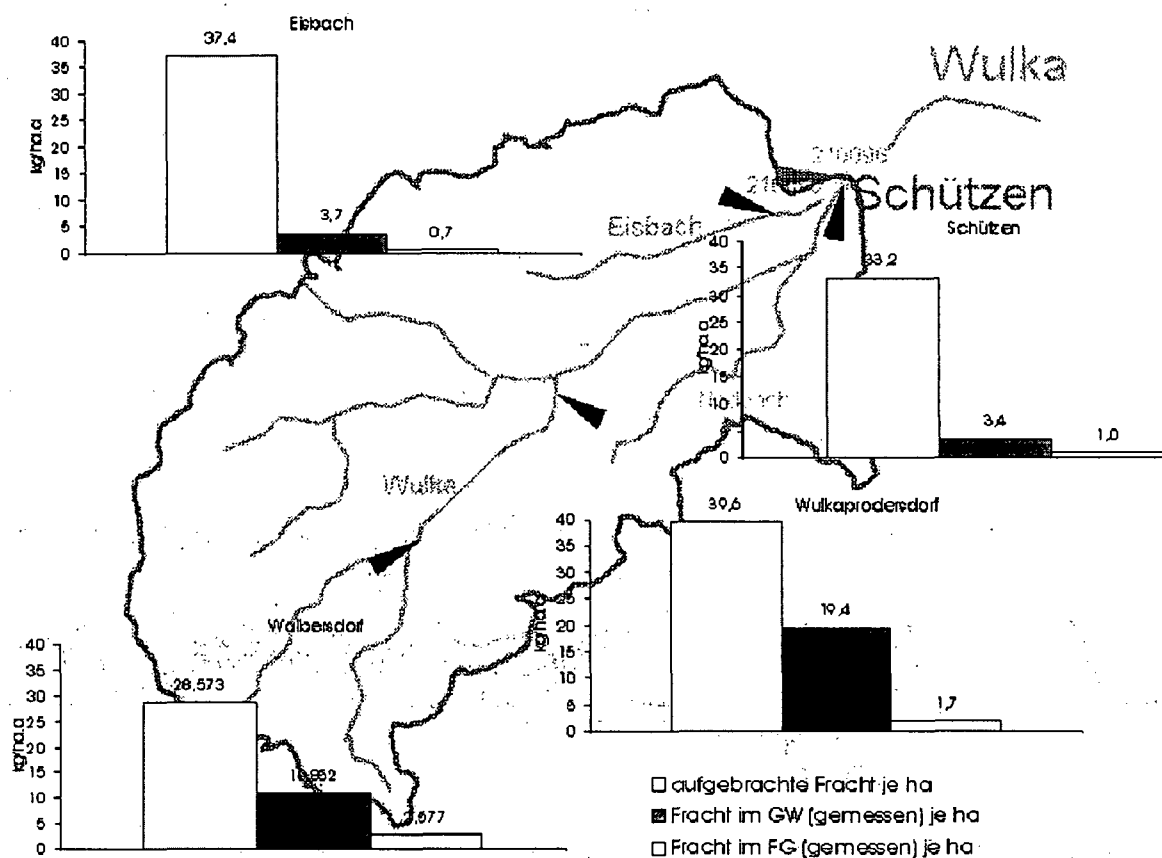


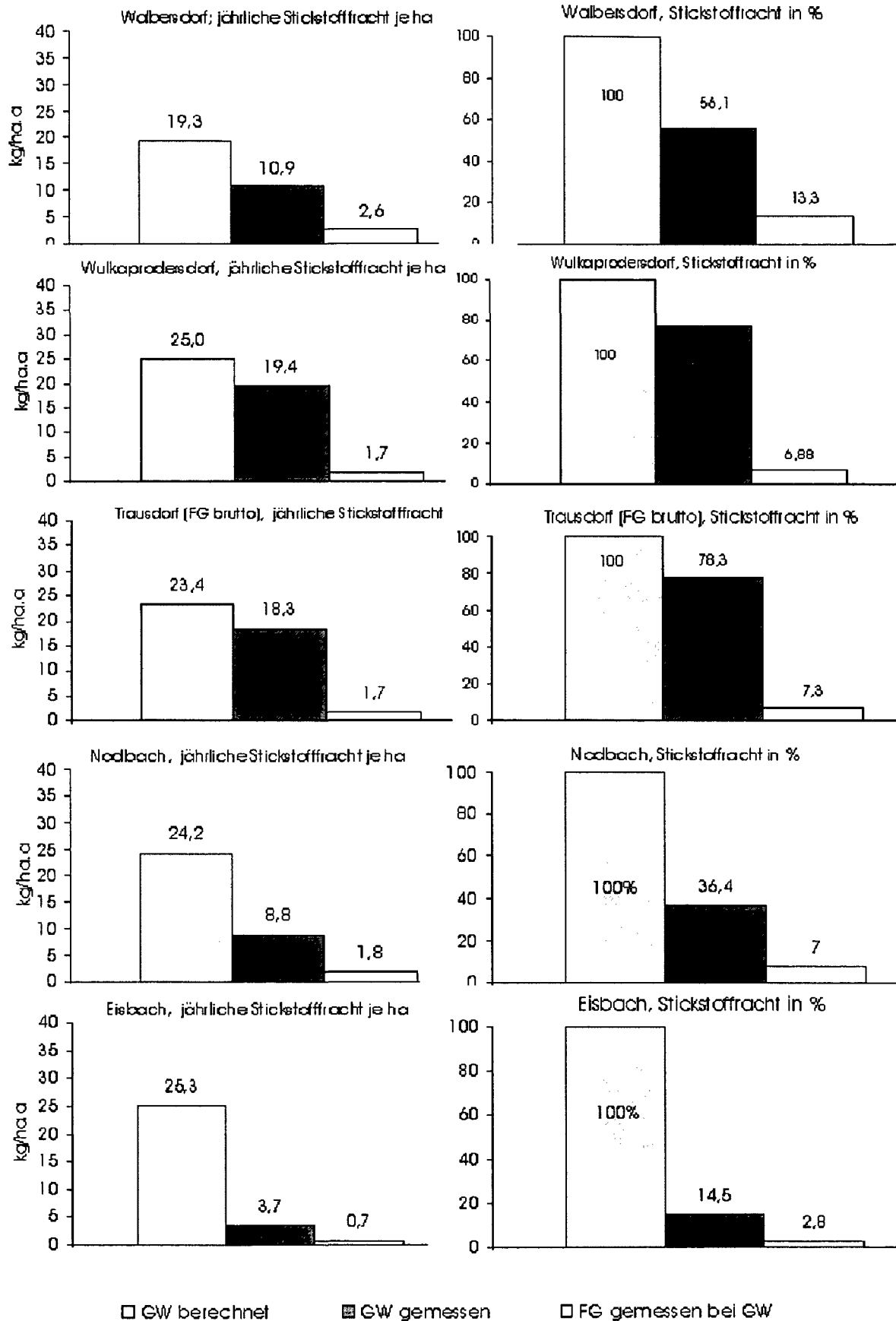
Abbildung 4-149: Eingebraachte und vorgefundene Frachten an der Wulka

Mit den Frachten und den Flächenanteilen ergibt sich der Gesamttrückhalt der Teilgebiete in t/Jahr vom Eintrag bis zum Fließgewässer:

| Gesamtfracht in t/a | Fläche ha | Eintrag ber. alle Flächen | GW gem. | FG gem. bei GW | Reduktion gesamt |
|------------------------|--------------|------------------------------|---------|-------------------|---------------------|
| Teileinzugsgebiet | | | | | |
| Walbersdorf | 7700 | 220 | 83,6 | 19,8 | 200 |
| Wulkaprodersdorf netto | 14400 | 571 | 279,9 | 24,8 | 546 |
| Trausdorf brutto | 23600 | 876 | 432,6 | 40,1 | 836 |
| Eisbach | 6300 | 235 | 23,1 | 4,4 | 231 |
| Nodbach | 4500 | 179 | 8,4 | 0,4 | 178 |
| Schützen brutto | 38370 | 1275 | 59,1 | 2,7 | 1272 |

Tabelle 4-54: Gesamtfrachten des Nitratstickstoffes der Einzugsgebiete pro Jahr

Unterhalb Wulkaprodersdorf kommt es vermehrt zu einer Exfiltration des Wassers aus den Fließgewässern in das Grundwasser, die Denitrifikation ist hoch. Eine Berechnung der Nettowerte für die Pegel Trausdorf und Schützen ist daher nicht möglich. Abbildung 4-150 zeigt die berechneten Stickstofffrachten (je Hektar und Jahr) im Grundwasser für die Gesamtflächen an der Wulka im Vergleich zu den gemessenen Frachten im Grundwasser und im Fließgewässer.



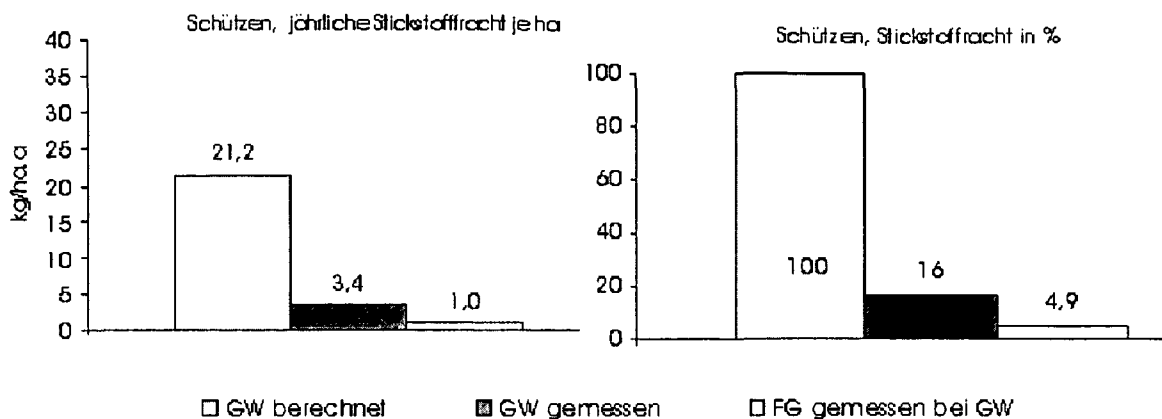


Abbildung 4-150: berechnete Grundwasserfrachten und gemessene Frachten

Welche Rolle die Exfiltration an der Denitrifikation spielt soll im folgenden Kapitel diskutiert werden.

4.9.3.2 In-und Exfiltration, Gewässerrandstreifen, Retention

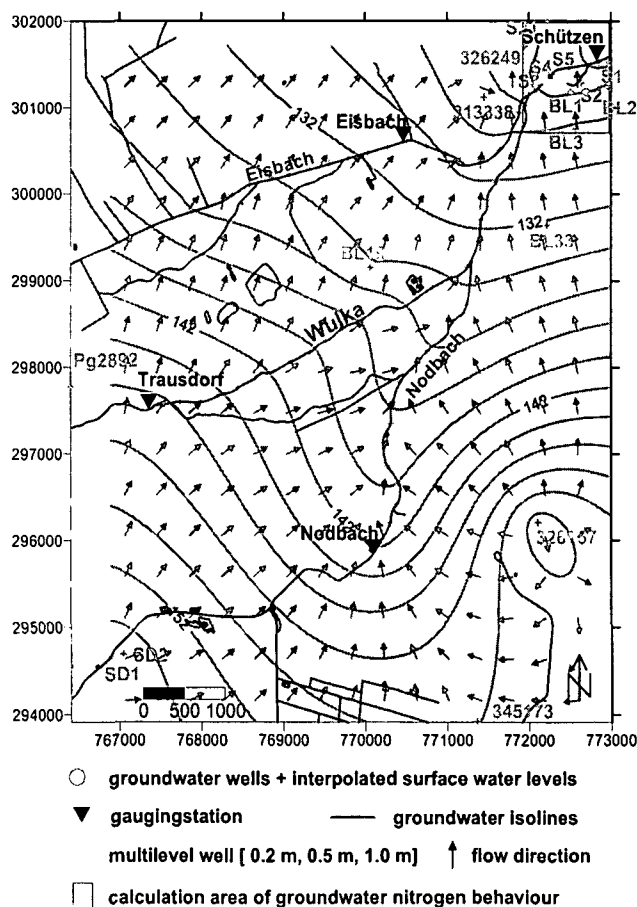


Abbildung 4-151 zeigt die Fließrichtung des Grundwassers und die Grundwasserschichtenpläne im unteren Wulkatal, im Bereich Schützen. Das Grundwasser fließt von Süd/Südwest in Richtung Nord/Nordost. Der Grundwasserstand im Südwesten beträgt 154 m ü. A., im Nordosten nur 124 m ü. A. Die daraus berechnete mittlere Neigung des Grundwassers beträgt 0,35 %.

Vor allem im Nordosten, im Bereich um Schützen kann es zu Exfiltrationsvorgängen kommen, wie schon in Kapitel 4.7 gezeigt wurde.

Im oberen Teil des Einzugsgebietes erfolgt eine Speisung des Abflusses durch das Grundwasser, wie es in den Berechnungen (bei der Ganglinienanalyse) angenommen wird.

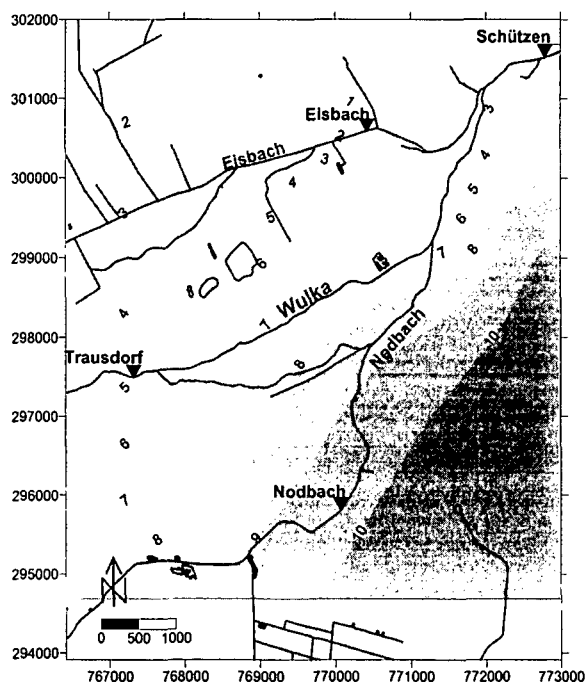
Abbildung 4-151: Grundwasserschichtenplan und Fließrichtung bei Schützen, Wulka (Zessner, Lampert et al. 2004)

Im oberen Teil des Einzugsgebietes erfolgt eine Speisung des Abflusses durch das Grundwasser, wie es in den Berechnungen (auch bei der Ganglinienanalyse) angenommen wird. Bis zum Pegel Trausdorf exfiltriert das Grundwasser in die Wulka. Im unteren Einzugsgebiet, bei niedrigen Niederschlagsraten und hoher Verdunstung kommt es häufig zu einer Infiltration aus dem Fließgewässer in das Grundwasser. Im unteren Einzugsbereich von Schützen erfolgt sogar im langjährigen Durchschnitt eine Speisung des Grundwassers durch die Wulka.

Dieses Phänomen tritt nicht gleichmäßig über das Jahr auf. Ist der Niederschlag hoch, so findet eine Nachlieferung in das Grundwasser statt und aufgrund des hohen Grundwasserstandes exfiltriert dieses in die Wulka. Ist der Niederschlag gering und die Verdunstung groß, findet eine Dotierung des Grundwassers durch die Wulka statt. Abbildung 4-105 auf Seite 202 zeigt dieses Phänomen in einer höheren zeitlichen Auflösung anhand von Durchflussganglinien.

In dem Gebiet um Schützen sollen die Güteparameter, vor allem im Hinblick auf die Denitrifikation etwas genauer betrachtet werden. Dazu werden die Konzentrationen von O₂ und NO₃-N im Grundwasser zueinander in Beziehung gesetzt.

In nachfolgender Abbildung (aus daNUbs: Report deliverable 1.3, 2004) ist der Sauerstoffgehalt des Grundwasserkörpers im unteren Wulkatal dargestellt.



Es liegen im südlichen Aquifer hohe Sauerstoffkonzentrationen bis 10 mg/l vor, welche aber Richtung Norden, in Fließrichtung, abnehmen.

Man kann den Grundwasserkörper, vor allem im Bereich Schützen, in zwei Bereiche mit einer sehr unterschiedlichen Charakteristik aufteilen. Südlich der Wulka liegt ein oxischer (Sauerstoff ist verfügbar) Grundwasserkörper mit einer hohen, in Fließrichtung abnehmenden Sauerstoffkonzentration vor, während nördlich der Wulka die Sauerstoffkonzentration des anoxischen Aquifers nahe Null ist.

Abbildung 4-152: Sauerstoffkonzentrationen im Grundwasser (Zessner et al. 2004)

Im Vergleich dazu zeigt Abbildung 4-153 die durchschnittlichen Konzentrationen des Nitratstickstoffes im Bereich Schützen, die Konzentrationen sind als grau hinterlegte Isolinien dargestellt, ihre Werte sind in mg/l in die Graphik eingefügt.

Die Verteilung der Nitratstickstoffkonzentrationen im Grundwasser passt sehr gut zu den Sauerstoffkonzentrationen, während im Süden Konzentrationen von über 30 mg/l gemessen werden, sind die Konzentrationen im Norden entlang der Wulka nahe Null.

Die mit der Fließrichtung des Grundwassers von Südwesten nach Nordosten stattfindende Abnahme der Nitratkonzentrationen (eigentlich NO₃-N) südlich der Wulka liegt in der Denitrifikation begründet.

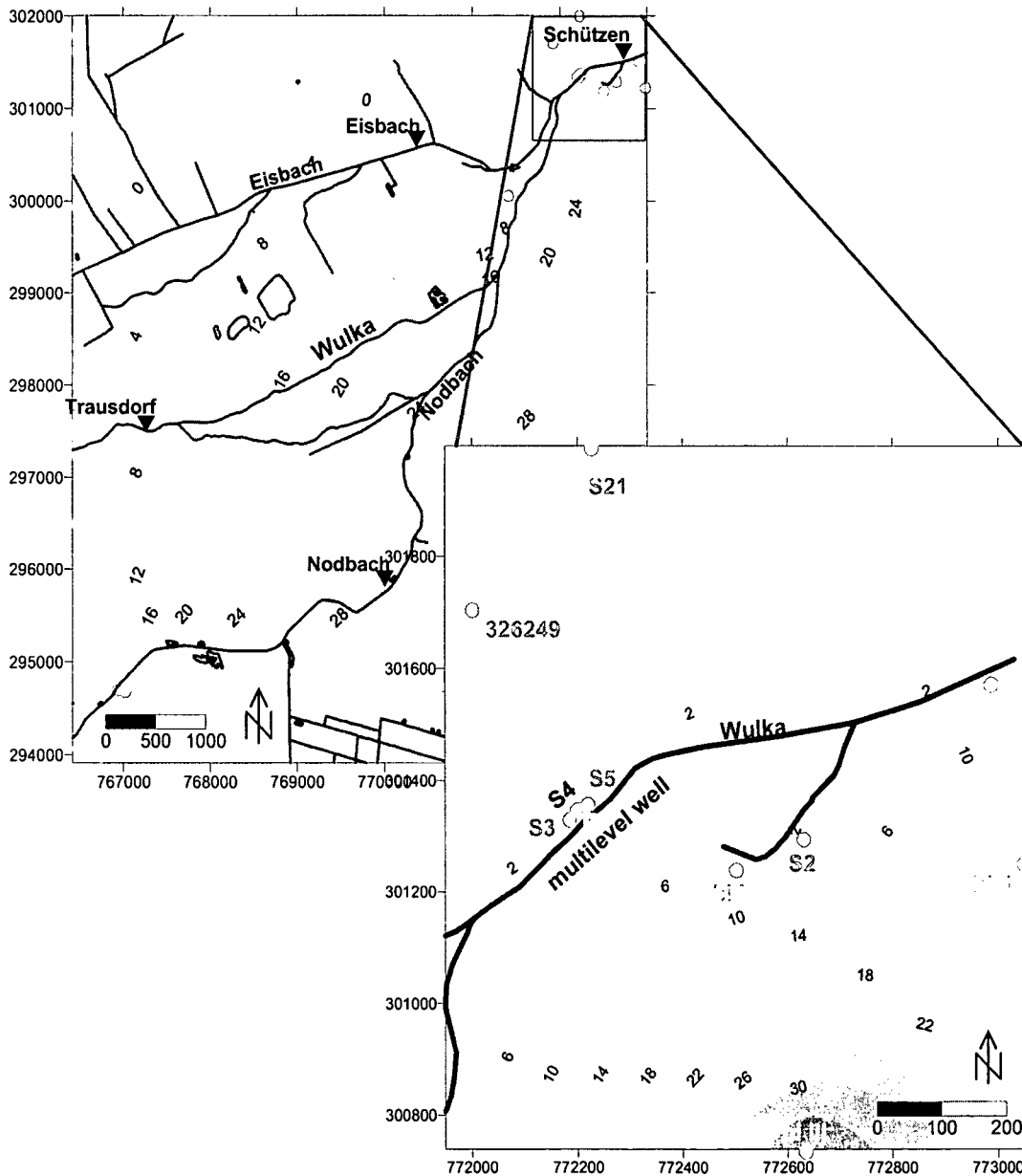


Abbildung 4-153: mittlere Verteilung des Nitratstickstoffes (NO₃-N) im Grundwasser im unteren Wulkatal (Zessner, Lampert et al. 2004)

Berechnung der Halbwertszeiten des Nitratabbaus.

Aufenthaltszeiten des Grundwassers und NO₃-N Halbwertszeiten sollen berechnet werden, um einen Nitratabbau und -Transport im Untergrund abschätzen zu können.

Den Ausgangspunkt dafür bilden die Fließgeschwindigkeiten des Grundwassers im Gebiet Schützen. Sie können mit dem Gesetz nach Darcy wie folgt berechnet werden:

$$v_a = k_f / n_f \cdot j$$

(k_f = hydraulische Leitfähigkeit; n_f = effective Porosität; j = hydraulischer Gradient)

Für die hydraulische Leitfähigkeit liegen grobe Angaben im Forschungsbericht „Grundwasserhaushalt Wulkaeinzugsgebiet“ (Peter Haas, 1987) übernommen. Sie wird dort mit $1.0 \cdot 10^{-4}$ m/s bis $1.0 \cdot 10^{-5}$ m/s angegeben. Um die hydraulische Leitfähigkeit besser einzugrenzen, wurde sie anhand der Fließzeit, welche über die Verzögerung der Temperatur und der Borkonzentrationen bestimmt wurde, zwischen einer Multilevelsonde in der Wulka und einer Grundwassermessstelle neu ermittelt.

Die berechnete Grundwassergeschwindigkeit betrug 0.13 m/d bis 0.46 m/d (Zessner, Lampert et al. 2004). Ausgehend von einer effektiven Porosität von $n_f = 0.15$ und einem hydraulischer Gradienten $j = 2,174 \cdot 10^{-3}$ wurde der k_f -Wert mit $3.67 \cdot 10^{-4}$ m/s bis $1.04 \cdot 10^{-4}$ m/s bestimmt. Im Folgenden wurde mit dem Mittelwert, mit $2.36 \cdot 10^{-4}$ m/s, gerechnet.

Für die weiteren Berechnungen wurden mittlere Wasserstände für die Oberflächengewässer und das Grundwasser berechnet. An neun Fließwegen wurden mit 0,5 m Wasserstandsdifferenz als Berechnungsschritt hydraulische Gradienten berechnet und anhand dieser wurden effektive Geschwindigkeiten des Grundwassers und Aufenthaltszeiten berechnet. Die Fließzeiten reichen von 0 bis 5 Jahre, die hydraulischen Gradienten variieren zwischen 0.002 und 0.017 und die Fließgeschwindigkeiten liegen zwischen 0.2 m/d und 5.8 m/d. Die Aufenthaltszeiten im Osten sind wesentlich kleiner als im Westen, wo auch höhere hydraulische Gradienten vorliegen.

Die berechneten Aufenthaltszeiten für das Einzugsgebiet um Schützen sind in Abbildung 4-154 dargestellt. Die Aufenthaltszeiten sind als flächenhaft hinterlegte Isolinien abgebildet. Da für die Berechnung angenommen wurde, dass das Grundwasser des südlichen Grundwasserkörpers in die Wulka infiltriert, ist die Aufenthaltszeit am Gewässer gleich Null.

Aus den berechneten Aufenthaltszeiten und den gemessenen Konzentrationen entlang der Fließwege konnten Halbwertszeiten für NO₃-N berechnet werden. Diese sind in Abbildung 4-155 dargestellt. Sie liegen zwischen 0,7 und 1,5 Jahren.

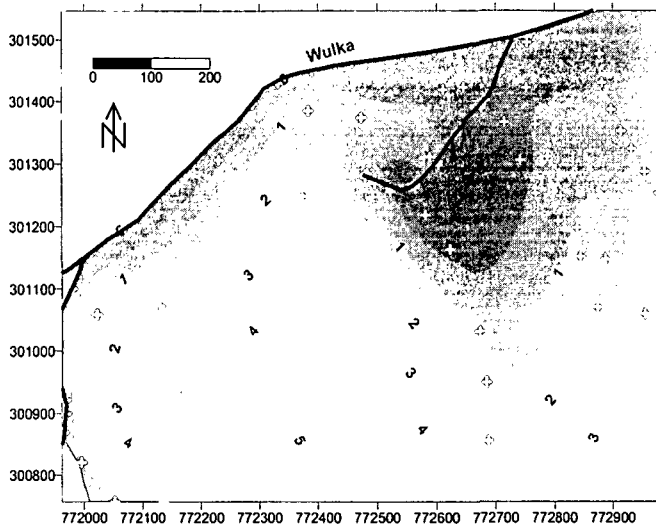


Abbildung 4-154: Aufenthaltszeiten des Grundwassers anhand von 9 Fließwegen südlich der Wulka

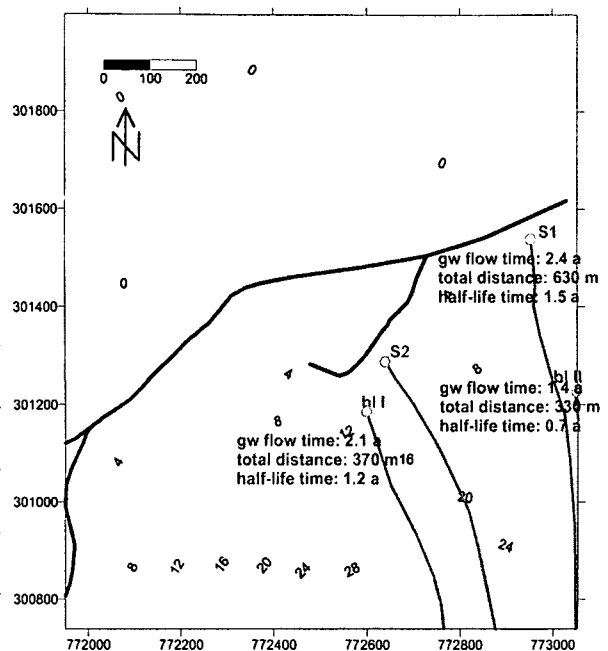


Abbildung 4-155: NO₃-N Halbwertszeiten im unteren Wulkatal nahe Schützen (Zessner, Lampert et al. 2004)

Aus den Wasserspiegeln des Grundwassers und des Oberflächengewässers wurden mit Hilfe des Darcy-Gesetzes Exfiltrationsmengen (des Fließgewässers in das Grundwasser) berechnet, welche von $130 \text{ l m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ bis $460 \text{ l m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ reichen.

Berechnungen mit den oberhalb von Schützen gelegenen Pegeln (Nodbach + Trausdorf + Eisbach = Schützen) zeigen im Mittel einen Verlust an Oberflächenwasser von $0,6 \text{ m}^3/\text{s}$ durch Exfiltration. Das ergäbe eine durchschnittliche Exfiltrationsrate von $176 \text{ l m}^{-2} \text{ d}^{-1}$, wenn das gesamte Gewässerbett an der Infiltration beteiligt wäre.

In Schützen ist die durchschnittliche Konzentration von Nitrat $2,9 \text{ mg NO}_3\text{-N / l}$. Eine grobe Abschätzung der Nitratminderung zufolge Exfiltration ergibt Raten von $0,38 \text{ g NO}_3\text{-N m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ bis $1,33 \text{ g NO}_3\text{-N m}^{-2} \text{ d}^{-1}$.

Für das Gesamtgebiet, wo Infiltration aus der Wulka stattfindet, wurde eine Retention von $15 \text{ kg NO}_3\text{-N d}^{-1}$ berechnet (Zessner, Lampert et al. 2004).

4.9.3.3 Kläranlagen

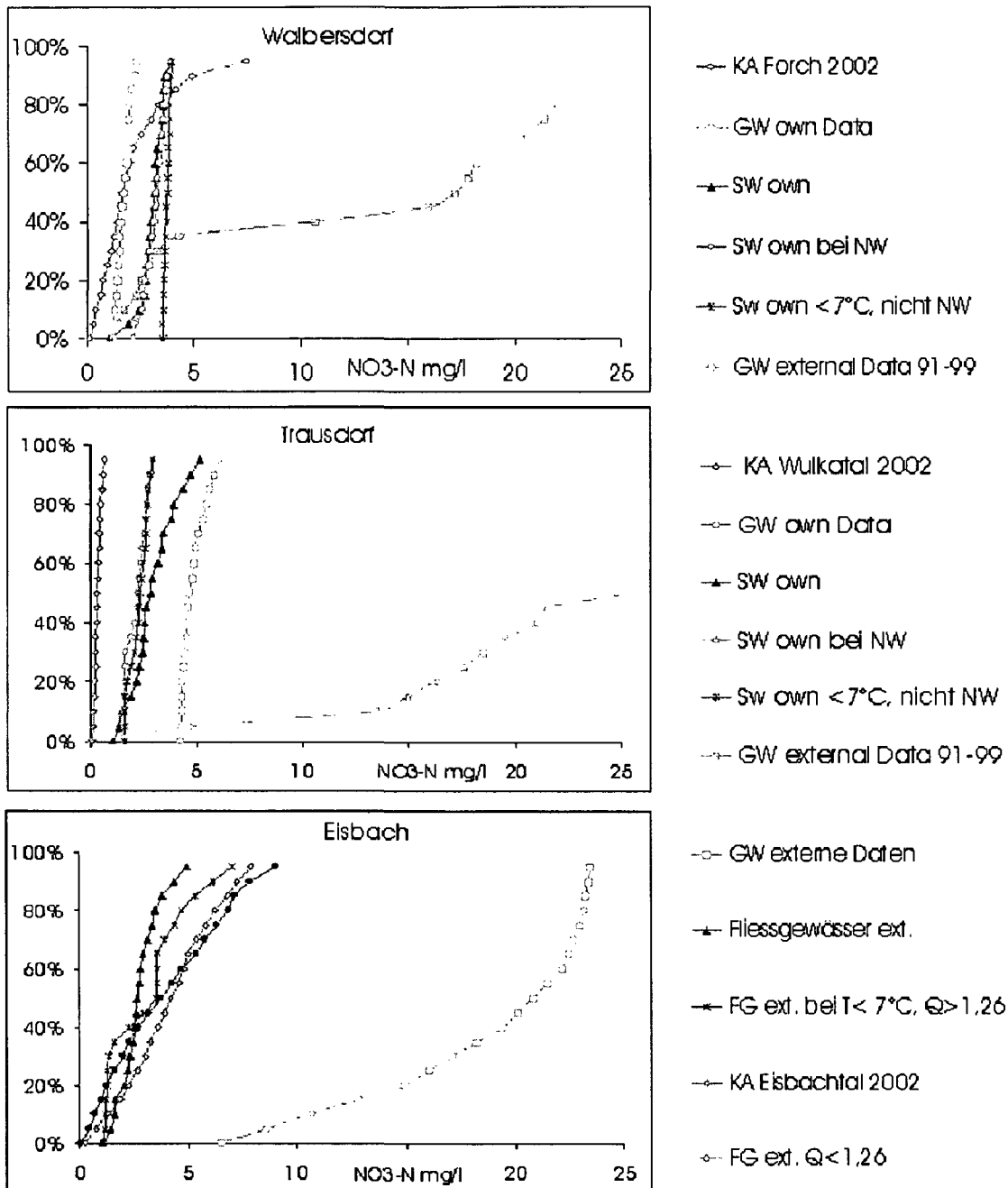


Abbildung 4-156: Kläranlageneinfluss der Nitratkonzentrationen im Gewässer

Die obige Abbildung zeigt den Einfluss des Kläranlagenablaufes der Kläranlagen Forchtenstein, Wulkatal und Eisbachtal (Abbildung 4-19, Seite 108) auf die Fließgewässerkonzentrationen. In Walbersdorf und im Eisbach sind die Konzentrationen des Kläranlagenablaufes teilweise höher als im Fließgewässer. Es kommt also häufig zu einer Erhöhung der Konzentrationen im Fließgewässer durch die Kläranlage. Die Kläranlagen Eisbachtal und Wulkatal (und damit die Abflussmenge und Beeinflussung des Fließgewässers) sind wesentlich größer als die Kläranlage Forchtenstein.

P hosphor /Erosion

In Tabelle 4-55 sind die berechneten jährlichen Phosphorfrachten je ha für die Teileinzugsgebiete an der Wulka zusammengestellt. Die Abschätzung der Frachten für die Gesamtflächen erfolgte mit Hilfe der Überschüsse (siehe Tabelle 4-48, Seite 239) auf den landwirtschaftlichen Flächen und der Deposition. Auf den nicht landwirtschaftlichen Flächen wurde der Eintrag durch die Deposition mit 0,3 kg pro Hektar und Jahr angesetzt. Im Mittel betragen die Überschüsse der Gesamtflächen fast 11 kg/ha.

| Überschuss Gesamtfläche in kg/(ha·a) | Gesamt- gebiet | Walbers- dorf | Wulka- pr. netto | Nodbach | Eisbach | Schützen netto |
|---|-------------------|------------------|------------------------|---------|---------|-------------------|
| von | 9,7 | 5,7 | 12,8 | 10,2 | 8,0 | 6,1 |
| bis | 12,1 | 7,1 | 15,6 | 13,3 | 10,4 | 7,9 |

Tabelle 4-55: Überschuss der Gesamtflächen, Wulka

Um die Frachten im Fließgewässer zu berechnen müssen die gemessenen Konzentrationen mit Hilfe des Durchflusses in Frachten umgerechnet werden. Zur Berechnung der Jahresfrachten sind verschiedene Möglichkeiten denkbar.

Abbildung 4-157 zeigt die in daNÜbs verwendete Beziehung zwischen dem gemessenen Gesamtphosphor und dem Durchfluss für die Pegel Eisbach und Wulka-prodersdorf. Die Punkte markieren aus gemessenen Konzentrationen berechnete Frachten in kg/Tag.

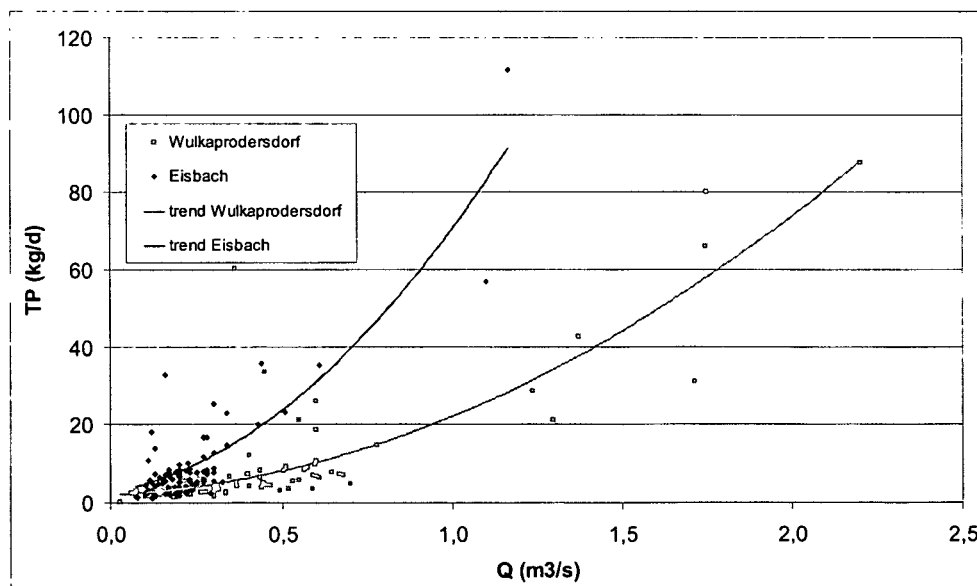


Abbildung 4-157: Beziehung zwischen Phosphor und Durchfluss

Beide Pegel zeigen eine Abhängigkeit der Phosphorfracht von dem Durchfluss, die Beziehung ist aber unterschiedlich. In Wulka-prodersdorf steigt der Phosphor weniger stark mit dem Durchfluss als im Einzugsgebiet des Eisbaches. In Abhängigkeit des

Durchflusses konnten so die täglichen (fiktiven) Phosphorfrachten bestimmt und mit diesen die jährlichen Frachten abgeschätzt werden. Die Ergebnisse der Berechnungen für die Teileinzugsgebiete sind in der nachfolgenden Tabelle mit „Bez. Q - TP“ bezeichnet. Diese Methode ergibt genauere Ergebnisse als die Abschätzung der Frachten über Mittelwerte, die ebenfalls in der Tabelle zu finden ist. Diese erste Berechnung der Gesamtposphorfrachten („Mittelwert“) wurde aus den mittleren Durchflüssen (arithmetisches Mittel) und mittleren Konzentrationen vorgenommen und beinhaltet einen Fehler, da der Phosphor vor allem in Form von partikulärem Phosphor bei Hochwasserereignissen oberflächlich durch Erosion eingetragen wird und somit von dem Abflussgeschehen abhängig ist.

| Fließgewässer (Gesamtfl.) P in kg/(ha·a) | Gesamtgebiet | Walbersdorf | Wulkap. brutto | Nodbach | Eisbach | Schützen brutto |
|---|--------------|-------------|----------------|---------|---------|-----------------|
| Konzentration TP Mittelw. | 0,30 | 0,26 | 0,25 | 0,25 | 0,49 | 0,36 |
| Fracht im FG (Mittelwert) | 0,26 | 0,27 | 0,18 | 0,18 | 0,25 | 0,31 |
| Fracht FG (Bez. Q - TP) | | 0,23 | 0,14 | 0,12 | 0,39 | 0,19 |

Tabelle 4-56: berechneter Input der Gesamtfläche und gemessene Konzentrationen, Frachten des Gesamtposphors

Die Berechnung zeigt deutlich, dass auch hier nur ein Bruchteil der Nährstofffracht im Gewässer wiedergefunden wird. Der Phosphor wird im Boden gespeichert oder nach einem Abtrag durch Erosion im Einzugsgebiet, im Gewässerbett oder bei Überschwemmungen abgelagert. Teile des Phosphors gehen auch durch Aufnahme durch die Pflanzen, zum Beispiel in Randstreifen, sowie durch Fällung u.a. Prozesse verloren.

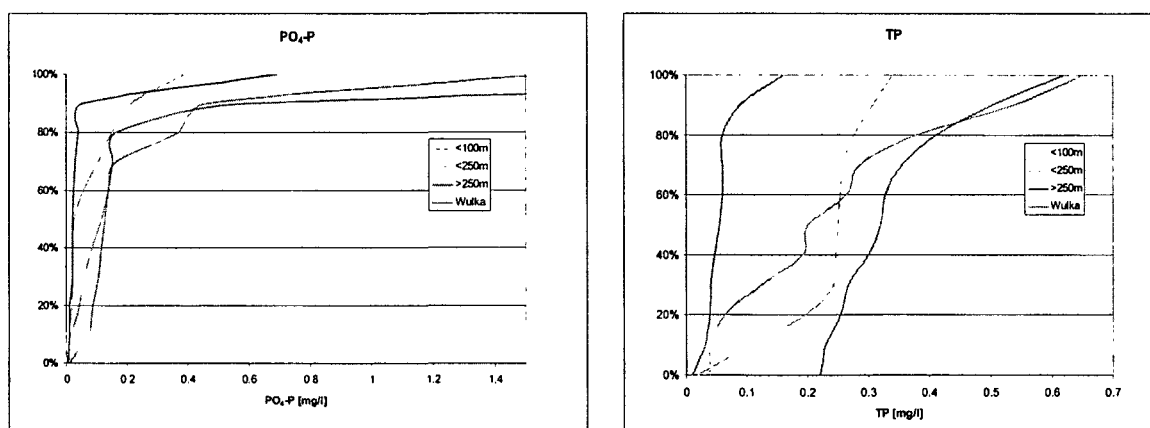


Abbildung 4-158: Gesamtposphor und Phosphatphosphor im Grundwasser und in der Wulka (Zessner, Lampert et al. 2004)

Abbildung 4-158 zeigt die Phosphorgehalte im Grundwasser im Vergleich zum Fließgewässer. Die Konzentrationen des Phosphatphosphors sind im Fließgewässer und im Grundwasser, unabhängig von der Entfernung zum Gewässer, gleich hoch. Es gibt nur einige Messungen mit deutlich höheren Messungen sowohl im

Fließgewässer als auch in den (nahe gelegenen) Grundwassersonden.

In der linken Abbildung sind die Konzentrationen des Gesamtphosphors dargestellt. Die Konzentrationen im Gewässer sind höher als im Grundwasser. Je näher die Grundwassermessstellen zum Gewässer, desto höher der Gesamtphosphorgehalt. Das deutet auf einen Eintrag durch Infiltration von Oberflächenwasser hin. Diese Abbildung zeigt weiterhin, dass nur geringe Mengen Phosphor durch das Grundwasser eingetragen werden, der Hauptteil wird durch den Direktabfluss bei Ereignissen in Form von partikulärem Phosphor in das Fließgewässer transportiert. Entlang des möglichen (Grundwasser-) Fließweges des Orthophosphates findet kein Abbau statt.

Die potentielle Retention von Phosphatphosphor im Fließgewässer selbst wurde entlang des Flusslaufes bei mittleren Fließgewässerkonzentrationen von 0.12 mg/l mit $0.016 \text{ g PO}_4\text{-P m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ berechnet, das macht für das Gesamtgebiet $0.6 \text{ kg PO}_4\text{-P d}^{-1}$ also 220 kg/Jahr aus. (Zessner, Lampert et al. 2004)

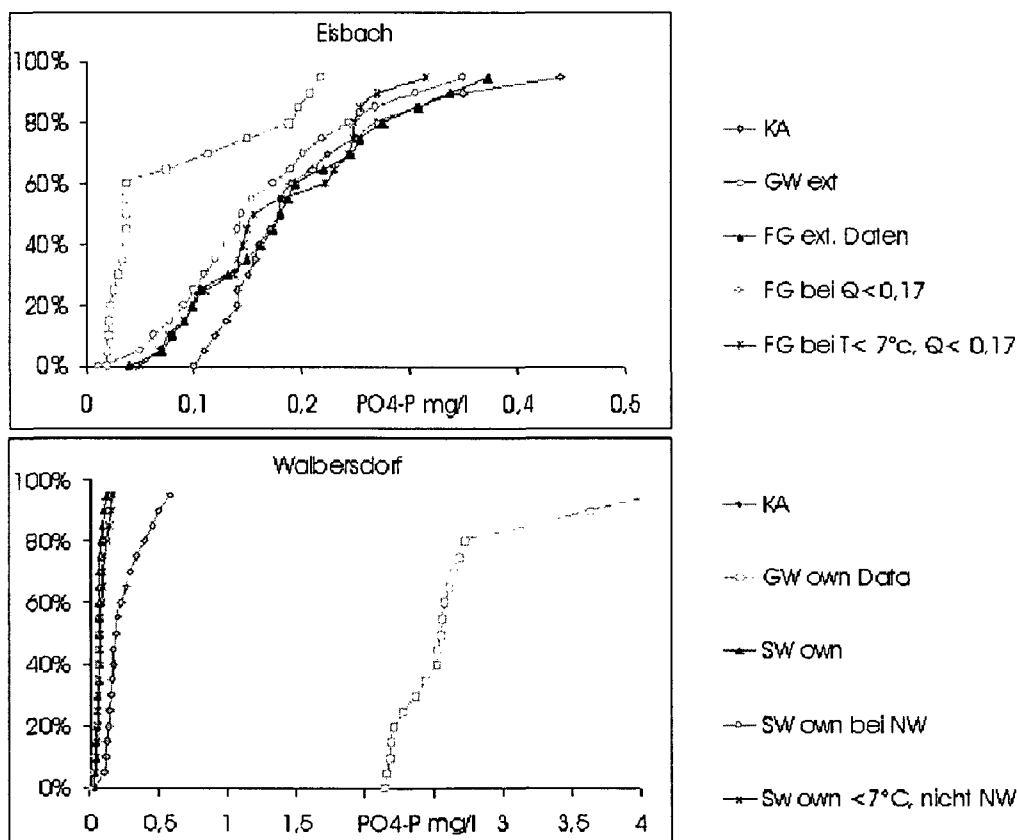


Abbildung 4-159: Kläranlagenabfluss, PO₄-P Konzentrationen im Fließgewässer

Abbildung 4-159 zeigt die Konzentrationen im Grundwasser und im Fließgewässer im Vergleich zu den Kläranlagenabfluss. Am Pegel Eisbach kommt es zu einer wesentlichen Erhöhung der Fließgewässerkonzentrationen durch den Kläranlagenabfluss. In Walbersdorf ist der Einfluss der Kläranlage unerheblich. Zu beachten ist die Skalierung der Abbildungen, in Walbersdorf sind die Phosphatkonzentrationen im Grundwasser wesentlich höher als im Eisbachtal.

4.9.4 Nährstoffbilanz im Ybbstal

Auch im Ybbstal wurden, ausgehend von der Wasserbilanz und den Gütemessungen, Nährstoffbilanzen erstellt.

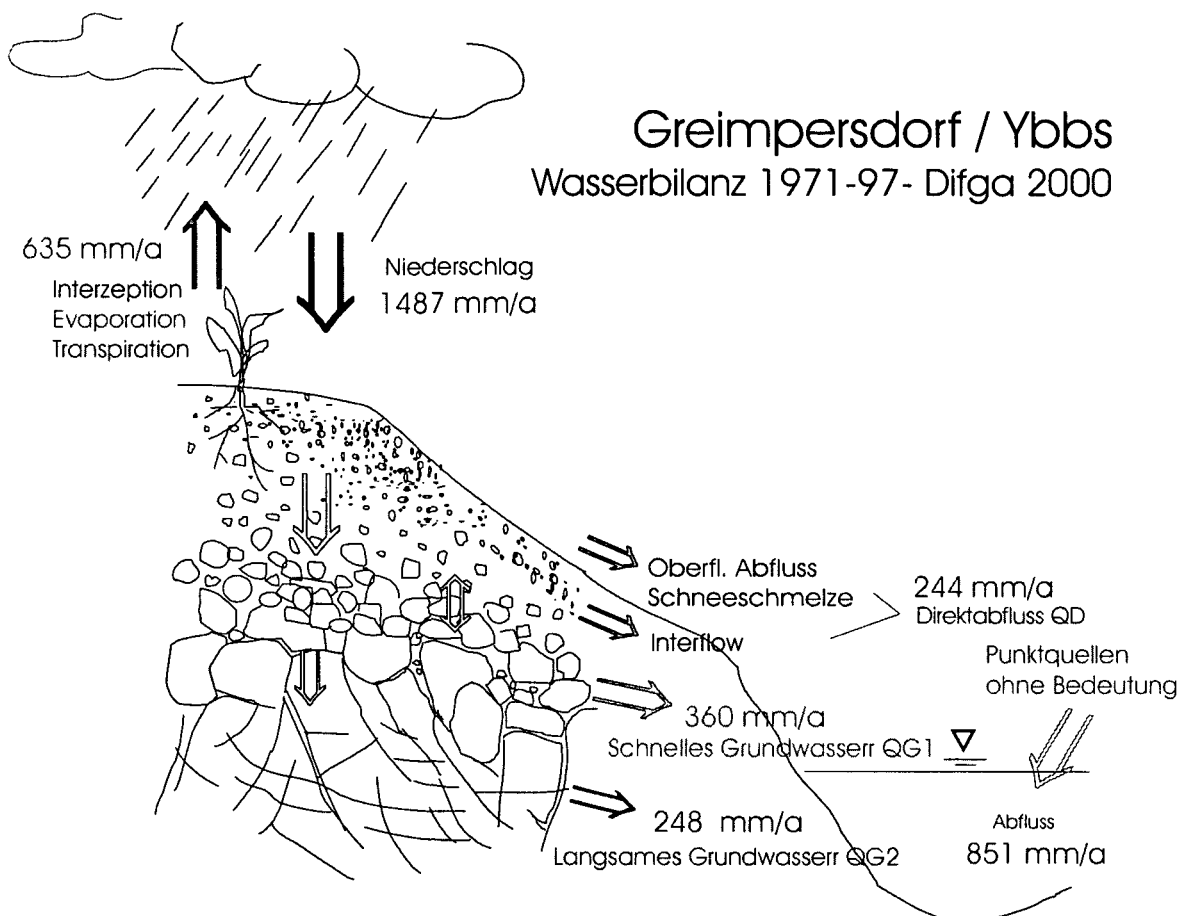


Abbildung 4-160: mittlere Wasserbilanz für das Ybbstal, Gesamteinzugsgebiet

Abbildung 4-160 zeigt die mittlere Wasserbilanz der Jahre 1971-1997 für das Gesamteinzugsgebiet der Ybbs mit dem Pegel Greimpersdorf. In der Abbildung sind der mittlere Niederschlag und Abfluss sowie die mittleren Abflusskomponenten nach Difga 2000 in mm/a angegeben.

Die detailliertere Ergebnisse der Difga-Berechnungen für die Teileinzugsgebiete des Ybbstales, der Saisonalität der Abflusskomponenten und den Einfluss verschiedener Faktoren auf die Abflussaufteilung und den Nährstoffeintrag sind in Kapitel 4.6 und 4.7 zu finden.

Für die erfolgten Nährstoffbilanzen waren vor allem die mittleren Mengen des Sickerwasser für die Teilgebiete von Bedeutung, welche mit QG1+QG2 gleichgesetzt wurde und im folgenden für die Berechnung der Stickstoffbilanzen angewandt wurde.

4.9.4.1 Entwicklung der Düngemittelanwendung und der Erträge, Ybbs

Die folgenden Berechnungen und Graphiken sind aus dem Forschungsbereich des Eu-Projektes daNUbs, deliverable 1.3 (Zessner, Lampert et al. 2004), entnommen. Die Abschätzungen für das Ybbstal fanden analog zu denen der Wulka in Kapitel 4.9.1.1 statt.

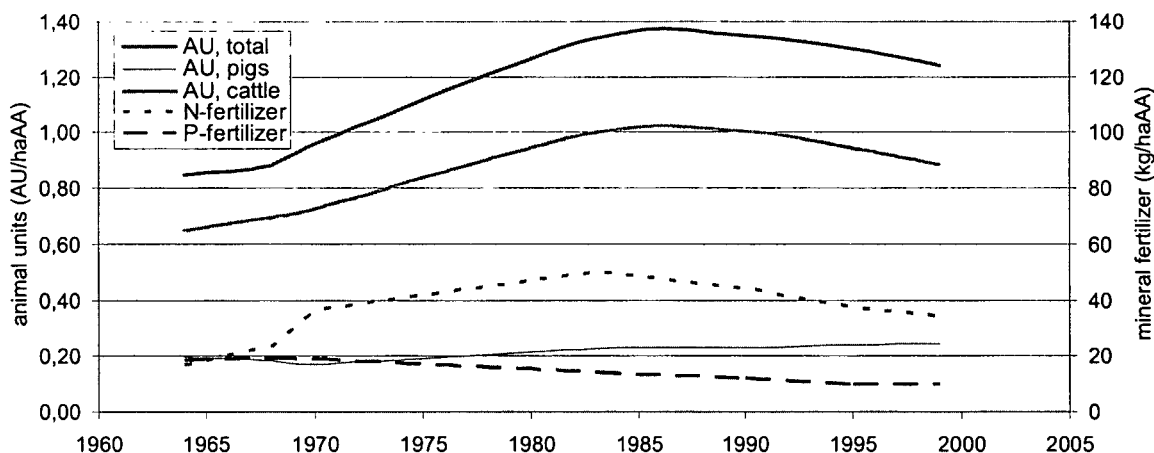


Abbildung 4-161: Entwicklung des Düngemittelverbrauches und des Tierbesatzes im Ybbstal

Abbildung 4-161 zeigt die Entwicklung der Tierhaltung und der Mineraldüngeranwendung zwischen den Jahren 1964 und 1999 im Einzugsgebiet der Ybbs. Die Einträge aus der P-Düngung waren in den ersten Jahren, bis ca. 1970, konstant bei ca. 20 kg je ha und Jahr und gingen bis 1995 kontinuierlich leicht zurück. Seitdem liegen sie auf einem gleichbleibenden niedrigen Niveau bei ca. 10 kg/ (ha·a).

Der Verbrauch an Stickstoffdünger ist hingegen von 20 kg/ha im Jahr 1964 bis zum Jahr 1983 auf 50 kg/ha angestiegen und seitdem auf ca. 35 kg/ha 1999 zurückgegangen. Hinzu kommen Einträge aus Deposition und der Fixierung.

Die Einträge aus dem Kunstdünger (N und P) betragen im Ybbstal also weniger als die Hälfte von denen der Wulka.

Die Einträge an organischem Dünger sind hingegen im Ybbstal höher. Die Tierhaltung beträgt ein Vielfaches des Wulkatales, vor allem die Schweinehaltung ist sehr groß. Auch wenn die in der Abbildung angegebenen Großvieheinheiten je Hektar seit 1986 sinken, betragen sie im Jahr 1999 immerhin noch 1,25.

Abbildung 4-162 (Zessner, Lampert et al. 2004) zeigt die Entwicklung des Ertrages verschiedener Feldfrüchte im Ybbstal, die man für die Berechnung des jährlichen Austrages durch Ernte benötigt. Der Jahresertrag stieg für Getreide kontinuierlich bis 1990 für Weizen auf 5 und Roggen auf 5,5 t/ha und beträgt im Jahr 1999 5 kg/ha. für Mais nimmt der Ertrag nach einem anfänglichem starkem Anstieg seit 1983 kontinuierlich ab und beträgt 1999 5,5 T/ha. Die Erträge aus Getreide liegen dem-

nach über denen der Wulka, für Mais sind sie jedoch deutlich niedriger. Seit 1995 verändern sich die Hektarerträge kaum.

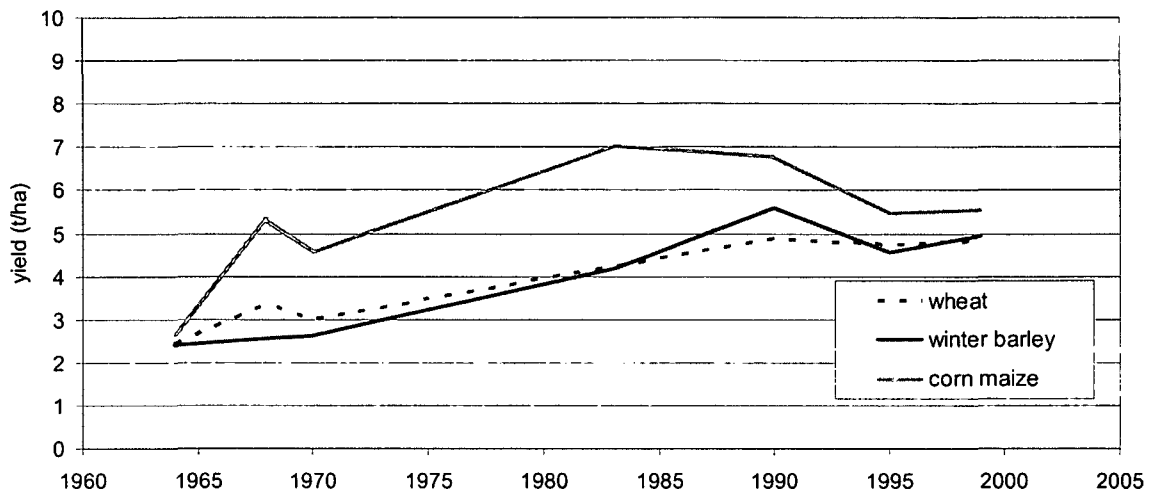


Abbildung 4-162: Entwicklung des Ertrages an Weizen, Gerste, Mais im Ybbstal

4.9.4.2 Stickstoffbilanz der landwirtschaftlichen Flächen im Ybbstal

| N in kg/ (ha _{LW} ·a) | Total | Opponitz | Url/ Krenstetten | Greimpersd. net |
|-----------------------------------|--------------|--------------|---------------------|--------------------|
| Input | | | | |
| Organischer Dünger | 109-123 | 57-68 | 128-144 | 108-122 |
| Mineraldünger | 35 | 36-39 | 42 | 37 |
| N-Fixation | 7-8 | 0-1 | 10-13 | 7-8 |
| Atmosphärische Deposition | 20-24 | 14-18 | 20-28 | 18-22 |
| Output | | | | |
| Ernte | 105-119 | 78-93 | 98-124 | 82-102 |
| NH ₃ -N Verluste | 10-16 | 6-9 | 13-20 | 11-16 |
| N-surplus (Input – Output) | 72-74 | 23-24 | 85-90 | 71-77 |
| (N-net Mineralisation) | (-)(24-32) | | | |
| (Korrigierter N-Überschuss) | (48-42) | | | |

Tabelle 4-57: Stickstoffbilanz der landwirtschaftlichen Flächen im Ybbstal, 1999

In der Tabelle sind die in dem Projekt daNUbs errechneten Input- und Outputmengen des Stickstoffes sowie die sich daraus ergebenden Überschüsse für die landwirtschaftlich genutzten Flächen des Ybbstales, aufgliedert nach Teileinzugsgebieten für das Jahr 1999 angegeben (Zessner, Lampert et al. 2004). Man sieht, dass im alpinen Teil des Einzugsgebietes bis zum Pegel Opponitz die Überschüsse wesentlich geringer sind als in den flacheren, unteren Einzugsgebieten. Doch auch

in diesem Einzugsgebiet ist der Eintrag aus der Viehhaltung groß. Die berechneten Überschüsse von ca. 73 kg/ha im Jahr 1999 sind wesentlich höher als im Wulkatal, wo die Überschüsse ca. 50 kg/ha betragen. Diese hohen Überschüsse werden vor allem durch den hohen Eintrag an organischem Dünger erzielt, der angewandte Mineraldünger ist nur etwa halb so hoch wie im Wulkatal. Im unteren Ybbstal werden sehr viel größere Stickstofffrachten je Hektar umgesetzt, als im Einzugsgebiet der Wulka, die Landwirtschaft ist intensiver, der Austrag durch die Ernte für das Gesamtgebiet ist um gut 60% größer.

Abbildung 4-163 zeigt die räumliche Verteilung der Nitratüberschüsse im Ybbstal für das Jahr 1999.

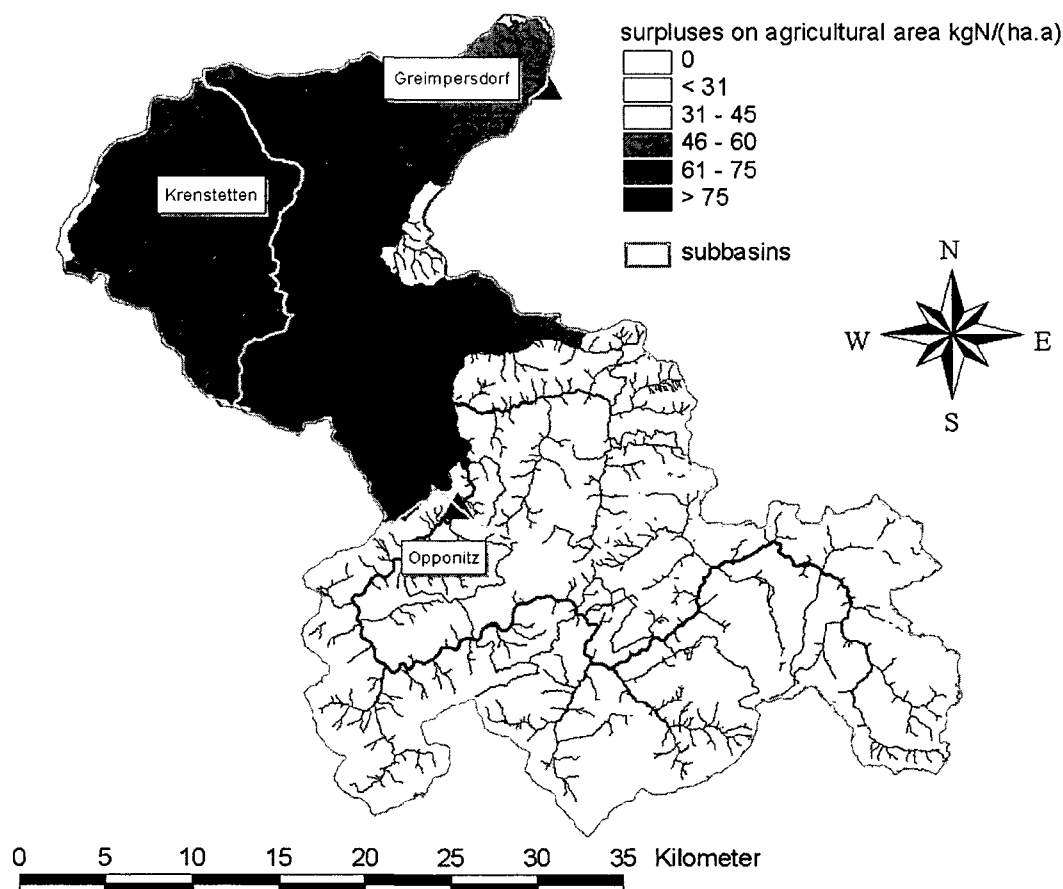


Abbildung 4-163: Nitratüberschüsse im Ybbstal (Zessner, Lampert et al. 2004)

An den dunklen Farben im unteren Einzugsgebiet kann man erkennen, dass die Stickstoffüberschüsse höher sind, im oberen, steileren, alpinen Einzugsgebiet sind die Überschüsse wesentlich geringer als im unteren Einzugsgebiet, wo die Stickstoffüberschüsse oft mehr als 75 kg / (ha·a) betragen.

4.9.4.3 Phosphorbilanz der landwirtschaftlichen Flächen im Ybbstal

Die Ergebnisse der Berechnungen für den Input, den Output und die Überschüsse für Phosphor in kg / (ha · a) finden sich in folgender Tabelle für das Jahr 1999.

| P in kg/ (ha _{LW} ·a) | Gesamt- gebiet | Opponitz | Url/ Krenstetten | Greimpersdorf net |
|-------------------------------------|-------------------|--------------|---------------------|----------------------|
| Input | | | | |
| organischer Dünger | 28-37 | 9-13 | 32-43 | 27-36 |
| Mineraldünger | 10-11 | 19-21 | 9-10 | 12 |
| Atmosphärische Dep. | 0,2-0,4 | 0,2-0,4 | 0,2-0,4 | 0,2-0,4 |
| Output: Ernte | 17-20 | 15-18 | 19-23 | 16-19 |
| P-Überschuss (Input- Output) | 21-28 | 14-17 | 24-31 | 25-32 |

Tabelle 4-58: Bilanz der landwirtschaftlichen Flächen im Ybbstal, 1999

Die Phosphorüberschüsse im Jahr 1999 (Zessner, Lampert et al. 2004) weisen weniger große Unterschiede zwischen den oberen und dem unteren Ybbstal auf, als die Stickstoffbilanzen. Die Überschüsse liegen im Jahr 1999 zwischen 14 und 32 kg/ha und sind damit denen der Wulka durchaus ähnlich.

4.9.4.4 zeitlichen Entwicklung der Nährstoffüberschüsse (Zessner, et al. 2004)

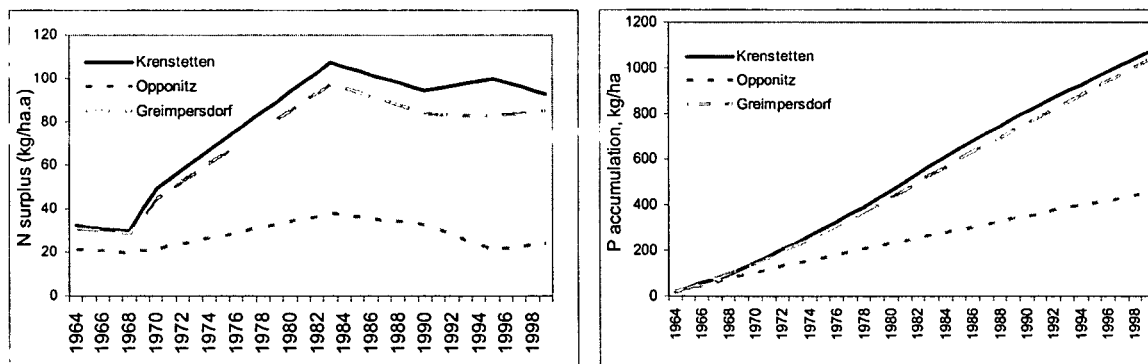


Abbildung 4-164: zeitlichen Entwicklung der Nährstoffüberschüsse, Ybbstal

Die zeitliche Entwicklung der Nährstoffüberschüsse für die Teilzugsgebiete zeigt Abbildung 4-164. In der linken Abbildung sieht man die jährlichen Stickstoffüberschüsse seit 1964 in kg pro ha und Jahr. Die höchsten Überschüsse betragen mehr als 100 kg/ha in Krenstetten im Jahr 1982. Seitdem sind sie leicht gesunken, in Krenstetten auf 90 kg / (ha·a). Die Überschüsse in den Teilzugsgebieten sind unterschiedlich hoch. In Opponitz sind und waren die Überschüsse wesentlich niedriger.

Die Akkumulation von Phosphor in den landwirtschaftlichen Böden zeigt die rechte Abbildung. Heute beträgt die Anreicherung von Phosphor im Boden in Krenstetten und Greimpersdorf schon ca. 1100 kg/ha. In Opponitz beträgt sie ca. 500 kg/ha.

4.9.5 Erfassung der Gewässergüte im Ybbstal

4.9.5.1 Fließgewässer

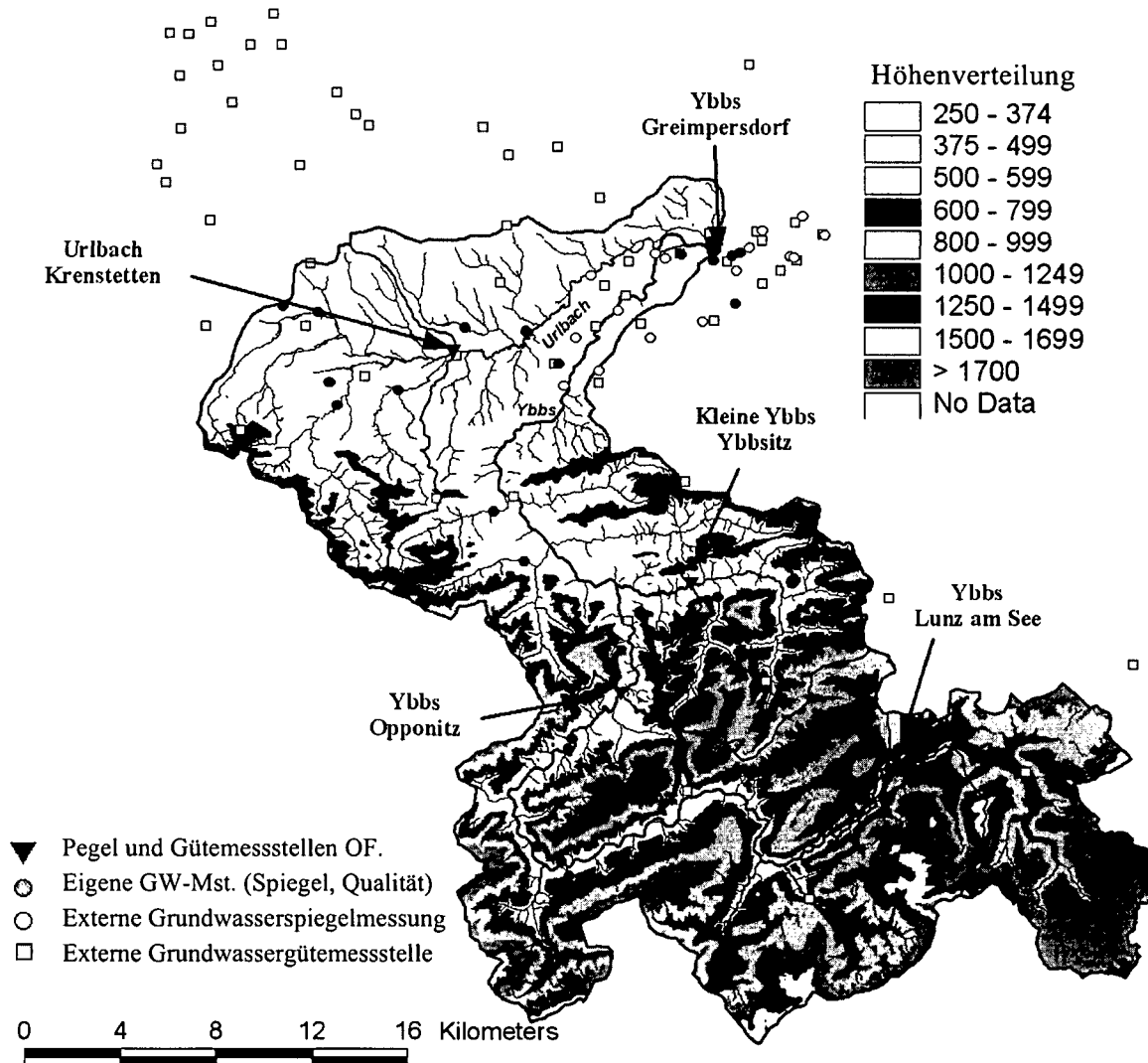


Abbildung 4-165: Das Einzugsgebiet der Ybbs mit Pegeln und Gütemessstellen

Die Abbildung 4-165 (Zessner, Lampert et al. 2004) zeigt die Lage der Pegel und Gütemessstellen der Oberflächengewässer und des Grundwassers im Wulkatal. Bei den als „eigene“ Messstellen bezeichneten Messstellen wurden die Gütedaten bzw. die Wasserstände im Rahmen des DaNUbs-Projektes erfasst. Die Probenahme und deren Auswertung erfolgte vom Institut für Gewässergüte und Abfallwirtschaft (IWAG) der TU Wien.

Aus den gemessenen Konzentrationen der Güteparameter wurden die Mittelwerte sowie die Medianwerte für die einzelnen Teileinzugsgebiete im Fließgewässer ermittelt. Die nachfolgende Tabelle (Zessner, Lampert et al. 2004) soll einen Überblick über die erfassten Daten bieten.

| | O ₂ | SS | DOC | NH ₄ -N | NO ₃ -N | NO ₂ -N | TN | PO ₄ -P | TP | TP fil | SiO ₂ |
|---------------------------|----------------|------|------|--------------------|--------------------|--------------------|------|--------------------|-------|--------|------------------|
| | % | mg/l | mg/l | mg/l | mg/l | mg/l | mg/l | mg/l | mg/l | mg/l | mg/l |
| Opponitz (mitt) | 94 | 45 | 1,9 | 0,023 | 0,9 | 0,008 | 1,2 | 0,014 | 0,036 | 0,015 | 1,7 |
| Opponitz (md) | 94 | 3 | 1,7 | 0,017 | 0,9 | 0,003 | 1,1 | 0,008 | 0,021 | 0,012 | 1,7 |
| Krenstetten (mitt) | | 114 | 3,5 | 0,060 | 4,4 | 0,030 | 5,2 | 0,033 | 0,145 | 0,053 | 6,8 |
| Krenstetten (md.) | | 10 | 2,5 | 0,060 | 4,2 | 0,026 | 5,1 | 0,020 | 0,071 | 0,042 | 7,3 |
| Greimpersd. (mitt) | 93 | 86 | 2,7 | 0,035 | 1,7 | 0,015 | 2,3 | 0,029 | 0,086 | 0,030 | 3,1 |
| Greimpersd. (md) | 93 | 5 | 2,4 | 0,022 | 1,7 | 0,010 | 2,2 | 0,012 | 0,043 | 0,022 | 3,3 |

Tabelle 4-59: Zusammenfassung der mittleren (mitt) Konzentrationen und der Medianwerte (md) bei den Messpunkten

Aus der Tabelle sieht man, dass die Nitrat bzw. Gesamtstickstoffkonzentrationen im Einzugsgebiet Opponitz sehr klein sind, in Krenstetten betragen sie fast das 5-fache. Auch bei Phosphor ist der Unterschied groß.

Im Vergleich zur Wulka sind die Nährstoffkonzentrationen im Fließgewässer niedriger, nur im Einzugsgebiet Krenstetten sind sie ähnlich hoch, die Konzentrationen für Nitrat sind sogar höher.

4.9.5.2 Grundwasser

| Ybbs | O ₂ | DOC | NH ₄ -N | NO ₃ -N | NO ₂ -N | PO ₄ -P | TP | SiO ₂ | Fe |
|---|----------------|------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|------|------------------|------|
| | mg/l | mg/l | mg/l | mg/l | mg/l | mg/l | mg/l | mg/l | mg/l |
| Opponitz, | 10,8 | 0,88 | 0,005 | 1,3 | 0,001 | 0,004 | 0,02 | 2,5 | 0,02 |
| Krenstetten | 7,6 | 0,95 | 0,028 | 7,4 | 0,003 | 0,052 | | 9,1 | 0,03 |
| Greimpersdorf, oberhalb Kematen | 8,5 | 0,81 | 0,006 | 3,3 | 0,000 | 0,004 | | | 0,01 |
| Greimpersdorf, stromabwärts von Kematen | 7,83 | 1,12 | 0,019 | 7,7 | 0,002 | 0,04 | 0,06 | 4,7 | 0,04 |

Tabelle 4-60: Konzentrationen im Grundwasser (Zessner, Lampert et al. 2004)

Obige Tabelle zeigt die Mittelwerte sowie die Medianwerte der Messungen für die einzelnen Teileinzugsgebiete im Grundwasser. Die soll einen Überblick über die erfassten Daten bieten.

Die im Grundwasser gemessene NO₃-N Konzentrationen sind wesentlich höher, als die im Gewässer gemessenen Konzentrationen.

Die Nährstoffkonzentrationen an Stickstoff und Phosphor sowie der gelöste organische Kohlenstoff DOC sind wesentlich geringer als im Einzugsgebiet der Wulka. Der Sauerstoffgehalt im Grundwasser, vor allem in Opponitz, ist deutlich größer.

Abbildung 4-166 (Zessner, Lampert et al. 2004) zeigt die Grundwassermessstellen im Ybbstal und ihre Konzentrationen an Nitratstickstoff in mg/l.

An den mit einem Kreis bezeichneten Messstellen erfolgte die Probenahme und deren Auswertung im Rahmen des DaNUbs-Projektes vom Institut für Wassergüte und Abfallwirtschaft (IWAG) der TU Wien.

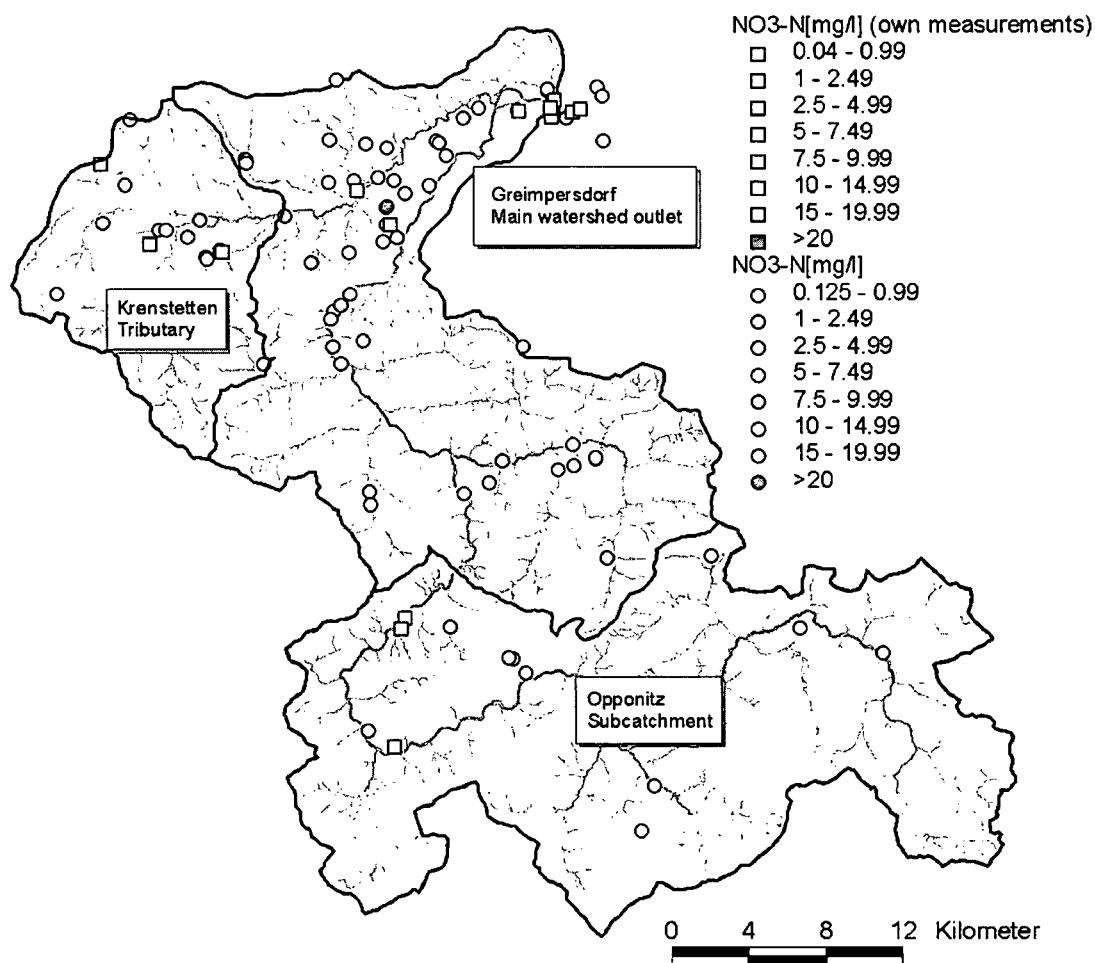


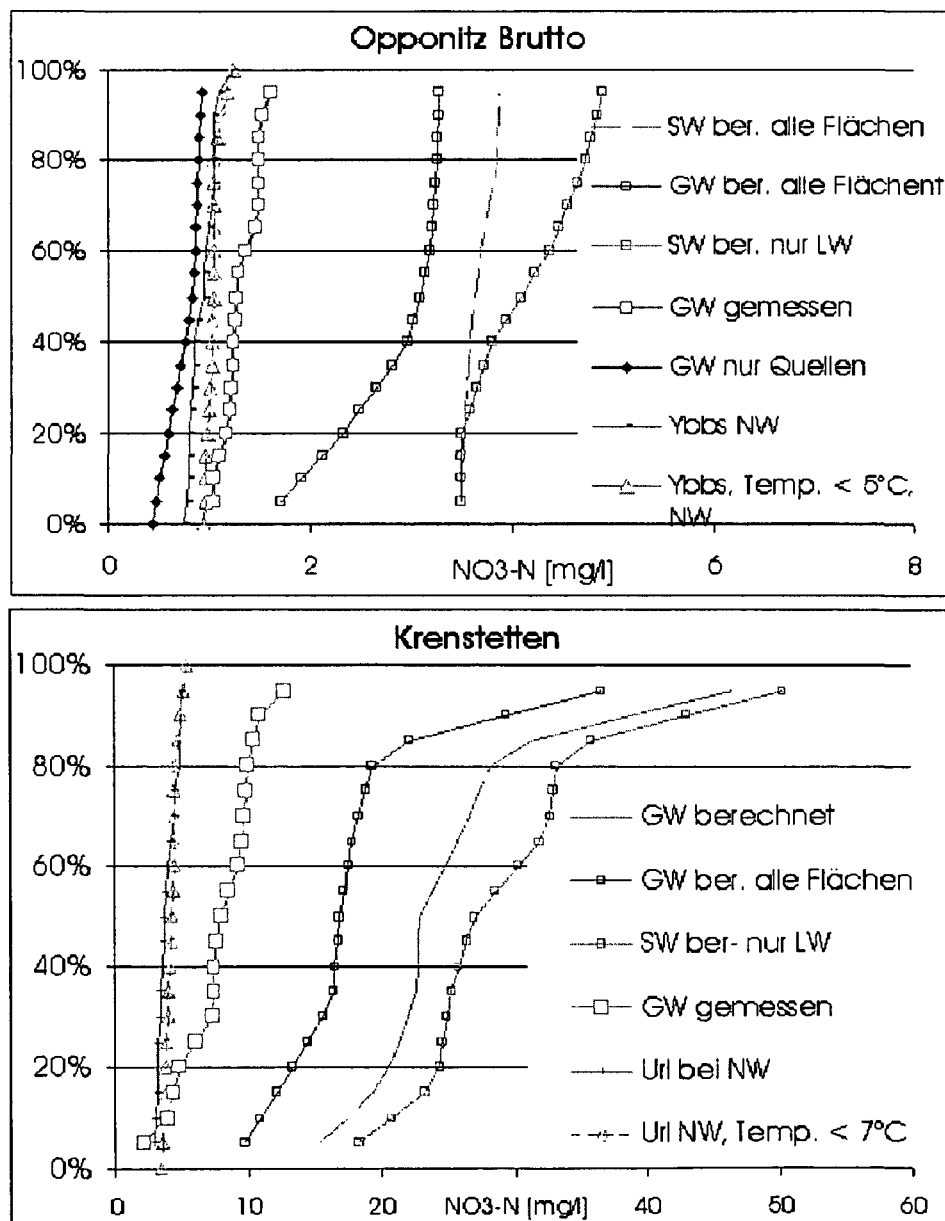
Abbildung 4-166: Mittlere Nitratkonzentrationen im Grundwasser

In der Abbildung sieht man die großen Unterschiede der Nitratstickstoffkonzentrationen im oberen und im unteren Einzugsgebiet. In den alpinen Regionen des Ybbstaales werden nur sehr kleine Konzentrationen gemessen.

4.9.6 Nitratkonzentrationen, Abbau im Untergrund

Aus den berechneten Überschüssen wurden, analog zum Wulkatal, Sickerwasserkonzentrationen berechnet. Die Denitrifikationsrate der landwirtschaftlichen Flächen wurde in Abhängigkeit von den aufgebrauchten Nährstoffüberschüssen zwischen 10 und 30 kg/(ha·a) angenommen, wobei im Ybbstal die aufgebrauchten Nährstoffmengen wesentlich höher waren. Die berechneten Grundwasserkonzentrationen sind die um diesen Abbau reduzierten Sickerwasserkonzentrationen.

Abbildung 4-167 zeigt die Nitratstickstoffkonzentrationen in den Teileinzugsgebieten Opponitz, Krenstetten sowie in Greimpersdorf-netto (die darin inkludierten Teileinzugsgebiete wurden abgezogen).



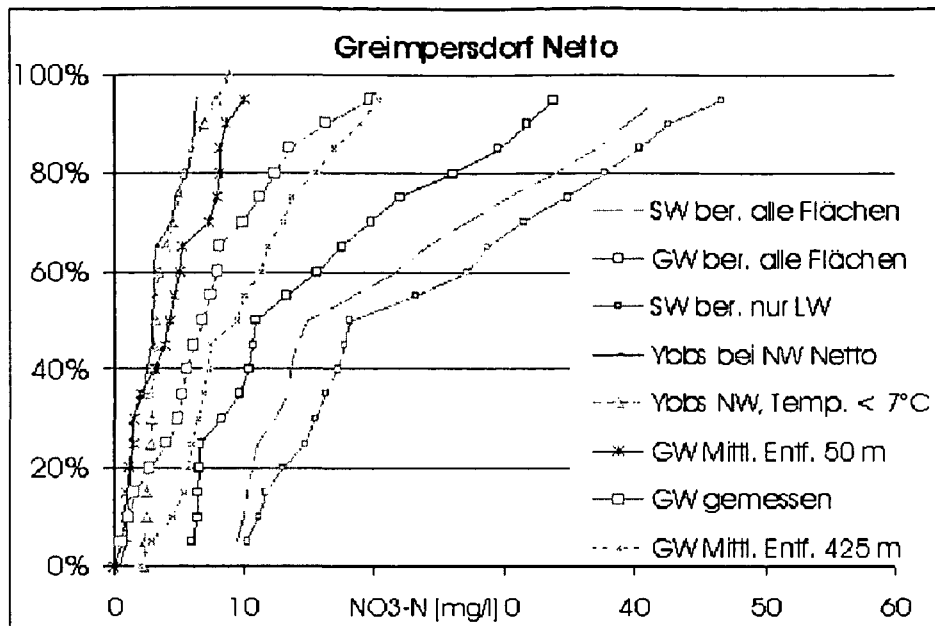


Abbildung 4-167: berechnete und gemessene Nitratstickstoffkonzentrationen im Grund- und Sickerwasser sowie im Fließgewässer

Dargestellt wurden, wie auch für die Wulka, die gemessenen Konzentrationen des Grundwassers (im Falle Greimpersdorf in verschiedenen Entfernungsbereichen zum Fließgewässer) und des Fließgewässers im Vergleich zu den die berechneten Grundwasser- und Sickerwasserkonzentrationen an NO₃-N.

Bei den dargestellten Konzentrationen handelt es sich um Fraktilwerte aller gemessener Daten bzw. der für die Teilflächen (auf Gemeindeebene) berechneten Sickerwasserkonzentrationen. Die Konzentrationen im Gewässer wurden für den Niederwasserbereich bzw. für jene Durchflüsse, wo das Wasser hauptsächlich aus Grundwasserspeichern gespeist wird, angegeben.

Die Konzentration sinkt vom Ort der Einbringung zum Gewässer hin. Die berechneten Grundwasserkonzentrationen sind wesentlich höher, als die gemessenen Konzentrationen im Grundwasser und im Fließgewässer.

Nachfolgende Tabelle zeigt die Mittelwerte der berechneten Sickerwasserkonzentrationen („Sickerw. ber.“) für die landwirtschaftlich genutzten Flächen und die Mittelwerte aller Flächen im Teileinzugsgebiet. Weiterhin sind die gemessenen Konzentrationen des Grundwassers und des Oberflächenwassers (FG) bei einem Abfluss, welcher dem mittleren Grundwasserabfluss (QG1+ QG2 aus Difga) entspricht, dargestellt. Die Konzentrationen sind in mg/l angegeben. In der letzten Spalte sind die für die Berechnungen verwendeten Sickerwassermengen aus Difga 2000 angegeben. Die Werte wurden für die Jahre 1990-2002 berechnet³⁶ (Glöckl 2004) und sind in mm/a angegeben.

³⁶ Sie unterscheiden sich etwas von den im Kapitel 4.5 (Tabelle 4-14) angegebenen Höhen, welche mit anderen Zeitreihen berechnet wurden.

| Teileinzugsgebiet | Mittelwerte der Konzentrationen (in mg/l) | | | | | Sickerwasser |
|-------------------|---|---------------|----------|------|---------|--------------|
| | Sickerw. ber. | Sickerw. ber. | GW ber. | GW | FG gem. | QG1+QG2 |
| | nur LW | alle Flächen | Alle Fl. | gem. | bei GW | in mm |
| Opponitz | 4,1 | 3,7 | 2,8 | 1,33 | 0,93 | 858 |
| Krenstetten | 30,7 | 26,8 | 19,4 | 7,9 | 3,7 | 270 |
| Greimpersdorf | 24,9 | 21,4 | 16,0 | 7,97 | 3,3 | 358 |

Tabelle 4-61: Stickstoffkonzentrationen, Grundwassererneubildung an der Ybbs

Die Abbildung 4-168 zeigt die Temperaturabhängigkeit der gemessenen Gesamtstickstoffkonzentration in der Url bei Krenstetten. Aus dieser Abhängigkeit kann auf das temperaturabhängige Abbauverhalten im Gewässer geschlossen werden.

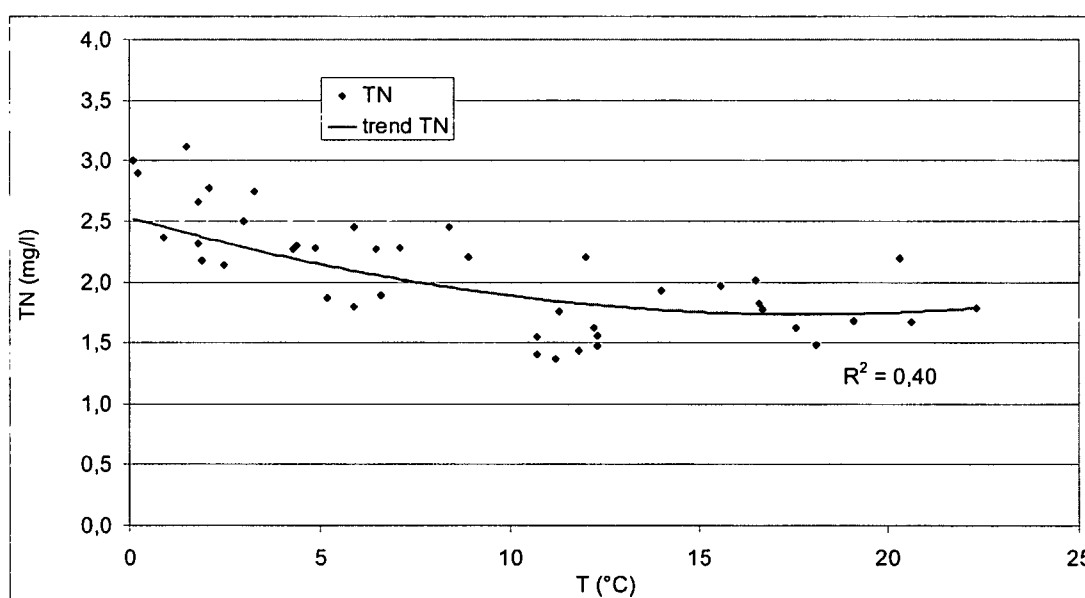


Abbildung 4-168: Temperaturabhängigkeit des Gesamtstickstoffes, Krenstetten

Das ist auch der Grund für die höhere Nitratkonzentration im Gewässer bei niedrigen Temperaturen in Abbildung 4-167. Bei sehr kleinen Temperaturen ist der Nitratabbau geringer oder findet nicht statt.

Auch in Opponitz, wo man aufgrund der hohen Sauerstoffgehalte im Grundwasser auch bei hohen Temperaturen keinen Nitratabbau erwarten würde, ist eine temperaturabhängige Erhöhung der Fließgewässerkonzentration an Nitratstickstoff bei niedrigen Temperaturen zu beobachten.

Die Konzentrationen im Grundwasser sinken mit abnehmender Entfernung zum Gewässer, also entlang ihres Fließweges, wie man in Abbildung 4-169 sehen kann.

Anhand von Einzeldaten kann man die Reduktion der Nitratkonzentration nicht immer ganz eindeutig feststellen, da sie von vielen Faktoren beeinflusst wird. Ist der Eintrag gering, so ist sie, auch in weit vom Gewässer entfernten Gebieten, gering.

Eine Denitrifikation im Untergrund findet nur bei Sauerstoffmangel und ausreichendem Kohlenstoffangebot statt.

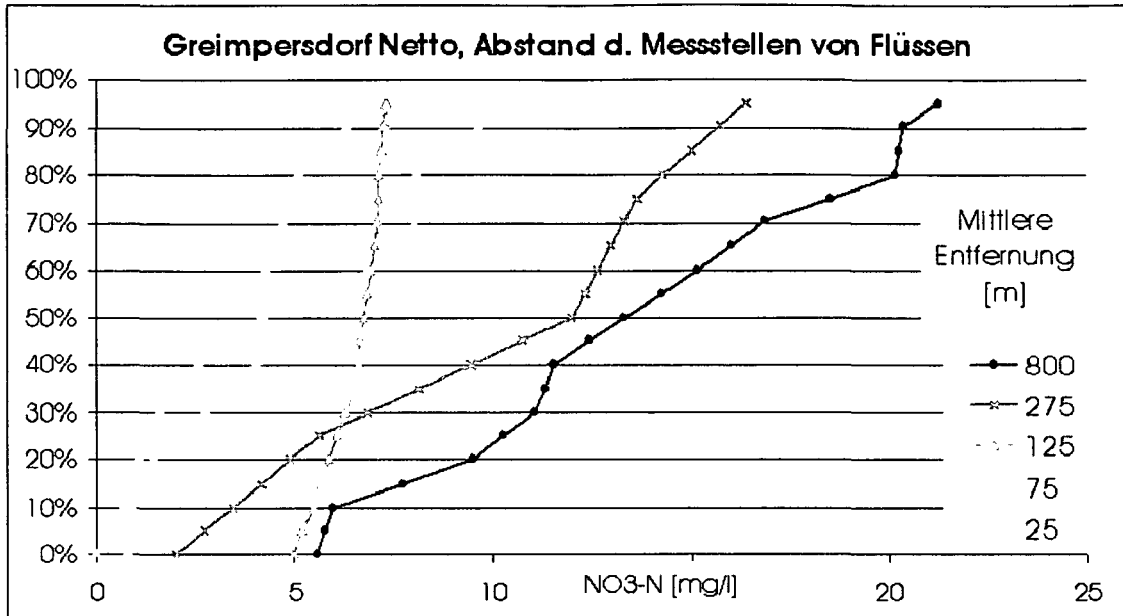


Abbildung 4-169: Nitratkonzentrationen der Messstellen in Abhängigkeit der Entfernung vom Gewässer (Kirnbauer 2003)

Je nach Landnutzung sind deutliche Unterschiede der Nitratkonzentrationen entlang der Fließstrecke festzustellen.

Abbildung 4-170 zeigt die Konzentrationen im Grundwasser in Abhängigkeit ihrer Entfernung vom Gewässer für Hack- und Halmfrüchte. Bei Dauergrünland oder Wald sind die Konzentrationen wesentlich geringer und weniger von der Entfernung zum Gewässer abhängig (Kirnbauer 2003).

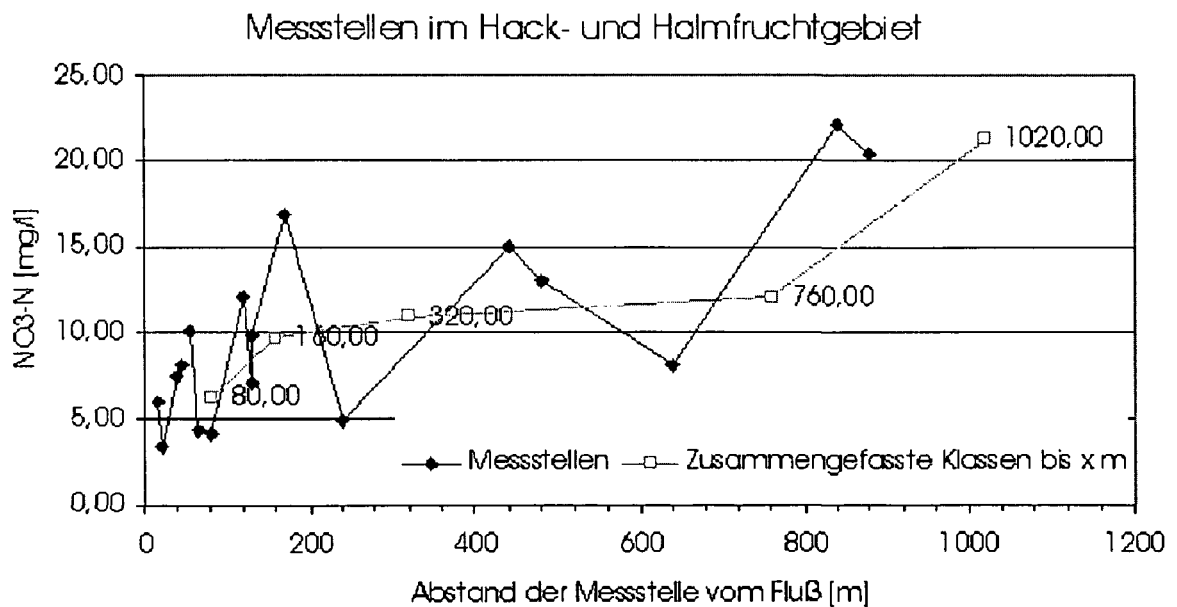


Abbildung 4-170 Veränderungen der Nitratkonzentrationen mit der Entfernung vom Gewässer bei Hack- und Halmfruchtanbau (Kirnbauer 2003)

Aus den Flächenanteilen der Teileinzugsgebiete sollen auch die Frachten und Reduktionsraten vom Eintrag bis zum Pegel errechnet werden. In der nachfolgenden Tabelle sind die Frachten in kg pro ha und Jahr für die Teileinzugsgebiete der Ybbs angegeben. Bei den im folgenden angegebenen Frachten je Hektar handelt es sich immer um jährliche Angaben.

Die angenommene Denitrifikation in den oberen Bodenschichten wurde auf Gemeindeebene ermittelt und ist in nachfolgender Tabelle als Mittelwert für die einzelnen Teilgebiete angegeben.

| Frachten (in kg pro ha und Jahr) | | | | | | | | |
|----------------------------------|----------|-----------|-----------|------|------|------|--------|--------|
| | Sw. ber. | Sw ber. | GW ber. | Red. | GW | Red. | FG gem | Red. |
| Teileinzugsgebiet | LW | alle Flä. | alle Flä. | → | gem. | → | bei GW | gesamt |
| Opponitz | 35,5 | 31,4 | 23,6 | 48% | 11,4 | 30% | 8,0 | 75% |
| Krenstetten | 82,9 | 72,3 | 52,4 | 41% | 21,3 | 53% | 10,0 | 86% |
| Greimpersdorf | 89,1 | 76,7 | 57,2 | 50% | 28,5 | 59% | 11,8 | 85% |

Tabelle 4-62: aufgebrauchte Stickstofffrachten und gemessene Frachten im Grund und Fließgewässer, maximale Reduktion

Den Vergleich der aufgebrauchten Frachten zu den gemessenen Frachten im Grund- und im Fließgewässer im Einzugsgebiet der Ybbs zeigt Tabelle 4-62. In der ersten Spalte sind die auf die landwirtschaftlichen Flächen aufgebrauchten Stickstofffrachten inkl. Deposition angegeben, in der zweiten Spalte sind die für das gesamte Teileinzugsgebiet berechneten mittleren Frachten (inkl. Deposition) angegeben. Aus den (über die Konzentrationen bestimmten) Frachten im Grundwasser und im Fließgewässer konnten die mittleren Reduktionsraten (inklusive Denitrifikation) im Einzugsgebiet berechnet werden. Die Frachten im Fließgewässer wurden bei Abflüssen bestimmt, welche den mittleren Grundwasserabfluss nicht überschreiten.

Die im Gewässer vorzufindenden Frachten sind nur ein Bruchteil der aufgebrauchten Überschüsse, es werden zwischen 75% im oberen, alpinen Einzugsgebiet (Pegel Opponitz) und 86 Prozent der Frachten im Einzugsgebiet der Url, Pegel Krenstetten, zurückgehalten oder abgebaut. In Opponitz ist die Denitrifikation am kleinsten, die Reduktion beträgt pro Jahr 23,4 kg / ha. In den unteren Einzugsgebieten werden 62 bzw. 65 kg /ha abgebaut oder zurückgehalten. In den unteren Teileinzugsgebieten sind die aufgebrauchten Frachten und auch die Reduktionsraten größer, hier handelt es sich um überwiegend landwirtschaftlich genutzte Gebiete.

Aber auch im oberen Einzugsgebiet kann man eine Reduktion feststellen, obwohl hier weniger Stickstoff eingetragen wird und das Grundwasser sehr sauerstoffreich ist. Die Denitrifikation im Grund- und Fließgewässer im Einzugsgebiet Opponitz ist mit 15,8 kg/ha fast so groß wie im Einzugsgebiet Walbersdorf/Wulka (16,7 kg/ha), prozentuell gesehen ist sie jedoch viel geringer als im oberen Wulkatal.

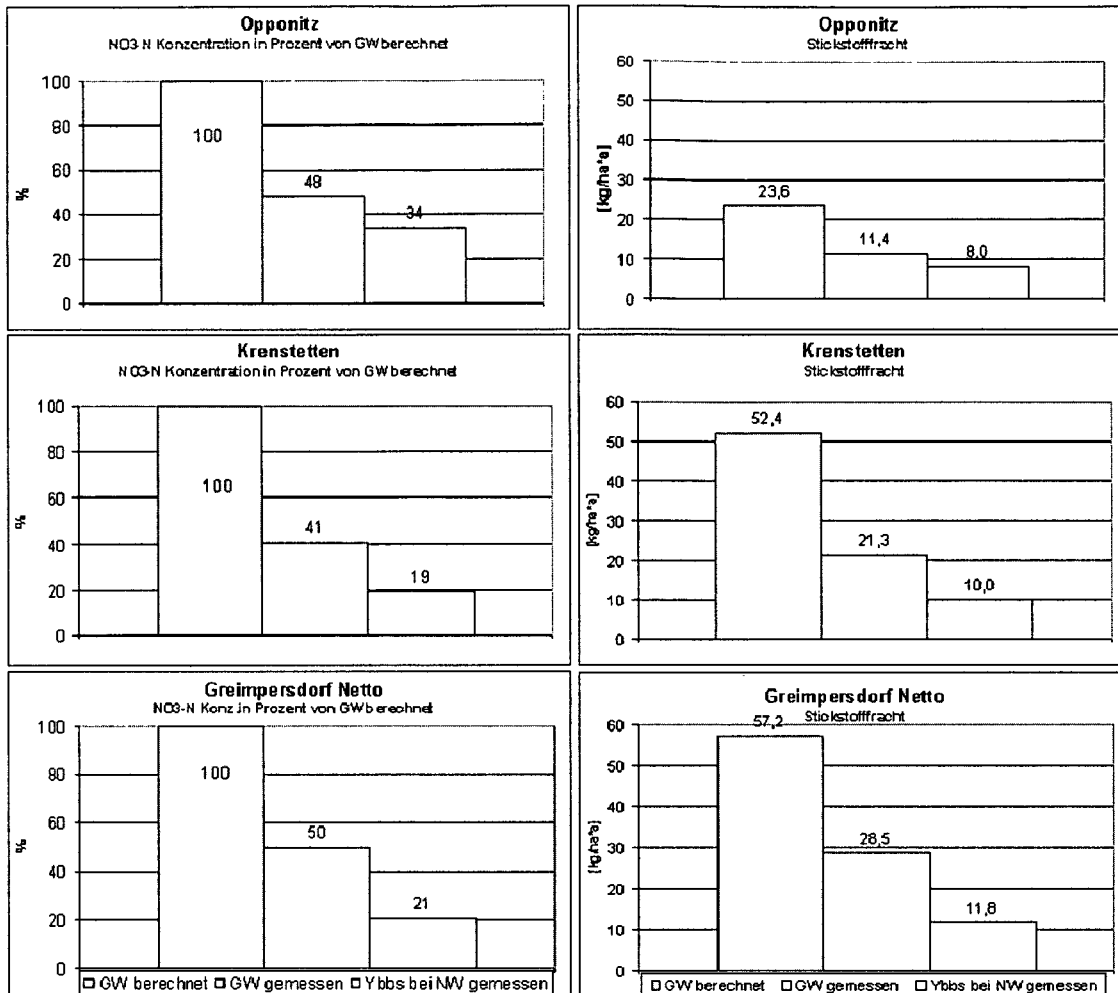


Abbildung 4-171: mittlere Nitratkonzentrationen und -frachten im Sickerwasser, im Grundwasser und im Fließgewässer³⁷

Abbildung 4-171 zeigt die berechneten Grundwasserfrachten („GW berechnet“) in den Teileinzugsgebieten des Ybstaales im Vergleich zu den gemessenen Frachten im Grundwasser und im Fließgewässer pro Hektar und Jahr sowie in Prozent der berechneten Frachten. Die jährliche Reduktion im Grund- und Fließgewässer in den Einzugsgebieten Krenstetten und Greimpersdorf ist mit 42,4 und 45,4 kg/ha doppelt so groß, wie im Einzugsgebiet der Wulka, wo sie durchschnittlich 22 kg/ha ausmacht. Prozentuell gesehen ist die Reduktion mit 80% jedoch wesentlich geringer, als in den unteren Wulkatal, wo sie 93-97% beträgt.

Abbildung 4-172 zeigt die aufgebrauchten Frachten je Flächeneinheit im Einzugsgebiet Krenstetten und Opponitz im Vergleich zu dem im Grundwasser und im Fließgewässer vorgefundenen Frachten. In Krenstetten ist die aufgebrauchte Menge und die Reduktion ein Vielfaches der Fracht des alpinen Einzugsgebietes Opponitz. Die Zeichnungen zeigen die Modellvorstellungen für die Einzugsgebiete.

³⁷ Die in diesen ersten Abschätzungen im Jahr 2003 (Kirnbauer, korrigiert) berechneten Werte unterscheiden sich geringfügig von denen des daNÜbs Projektes.

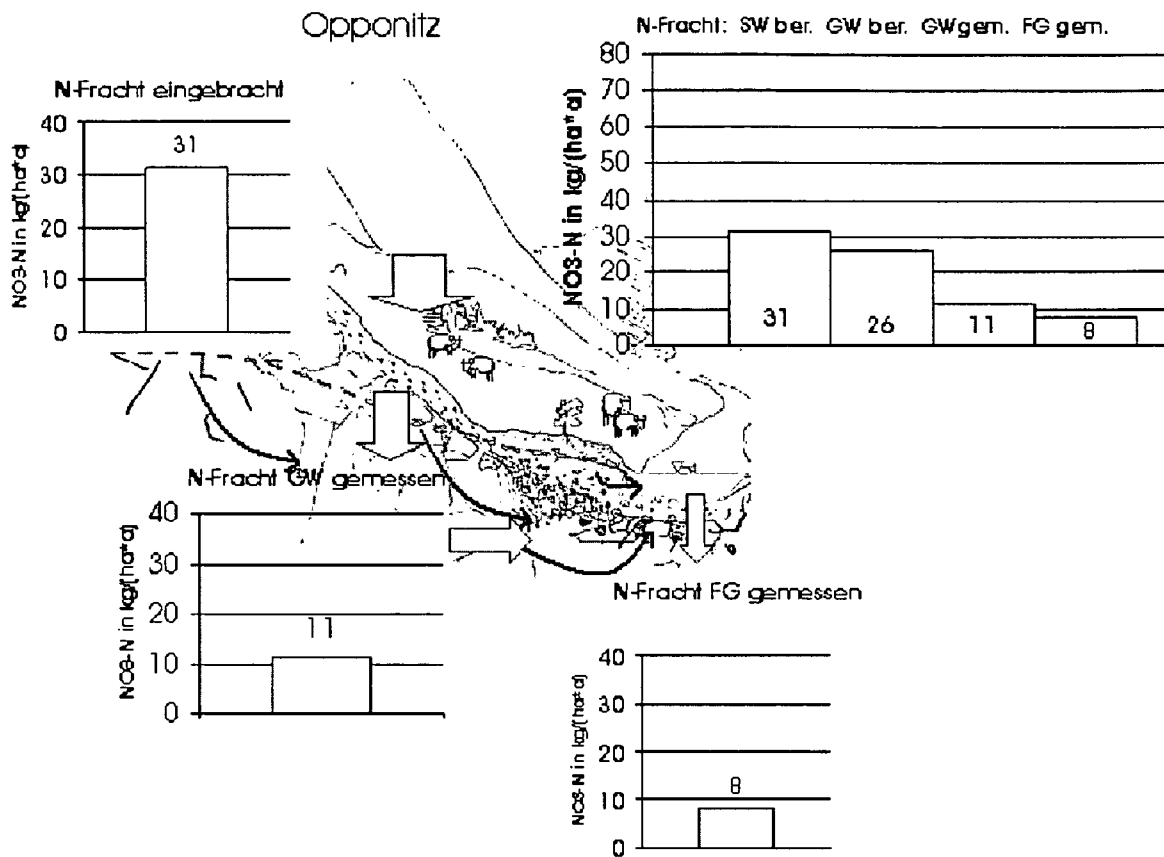


Abbildung 4-172: Nitratstickstofffrachten je ha im Einzugsgebiet Opponitz

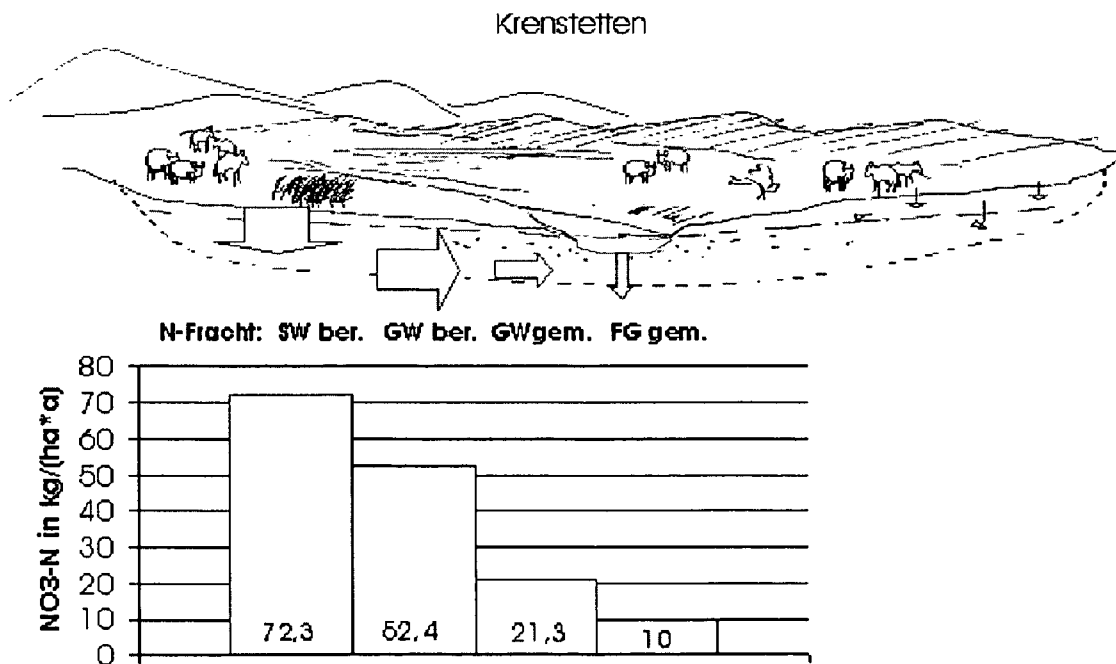


Abbildung 4-173: Nitratstickstofffrachten je ha im Einzugsgebiet Krenstetten

Die vorgefundenen flächenspezifischen Frachten im Gewässer sind im oberen Einzugsgebiet mit 8 kg/(ha·a) fast genauso hoch wie im unteren Einzugsgebiet der Ybbs, wo sie zwischen 10-12 kg pro Jahr und Hektar liegen. Im oberen Ybbstal ist, aufgrund des höheren Niederschlages und Abflusses, die Verdünnung größer. Abbildung 4-174 zeigt die gemessenen Konzentrationen der Fließgewässer im Ybbstal im Vergleich. Im Einzugsgebiet des Pegels Opponitz sind die Konzentrationen wesentlich geringer als im Urtaal. Die Nitratkonzentrationen sind im unteren Ybbstal vor allem bei niedrigen Temperaturen wesentlich höher, was auf die größeren Denitrifikationsraten bei höheren Temperaturen zurückzuführen ist.

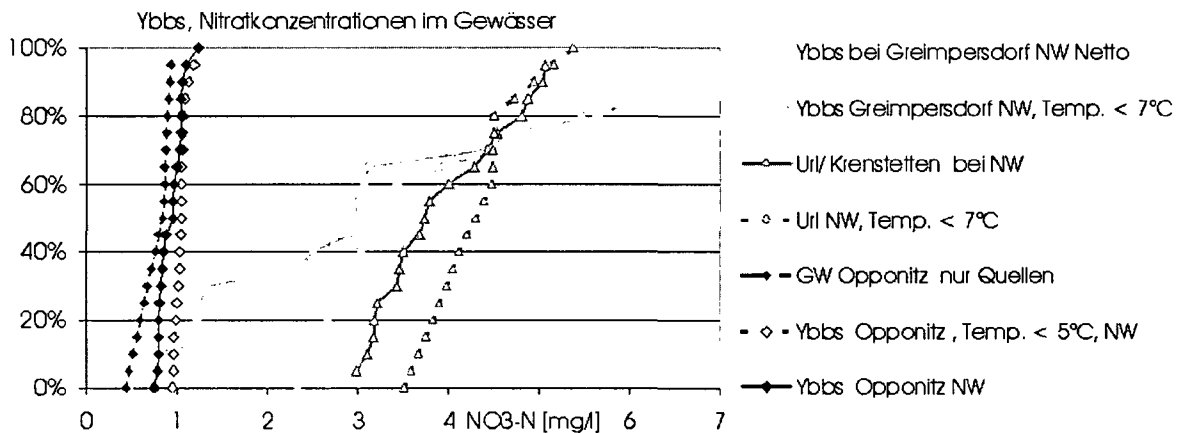


Abbildung 4-174: Vergleich der Nitratkonzentrationen im Ybbstal

Einen Vergleich der gemessenen Konzentrationen im Grundwasser des Ybbstales mit jenen der Wulka zeigt Abbildung 4-175. Trotz des höheren Eintrages im Ybbstal sind die Konzentrationen im Grundwasser aufgrund der größerem Grundwasserneubildung (Verdünnung) viel geringer. Im Fließgewässer sind die Konzentrationen der Teileinzugsgebiete an Wulka und Ybbs ähnlich.

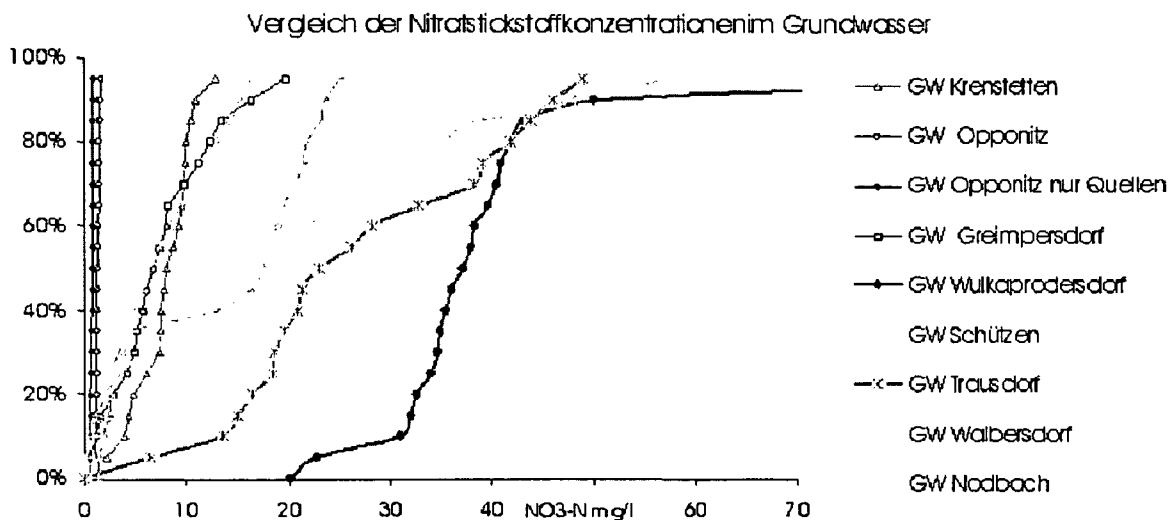


Abbildung 4-175: Nitratstickstoffkonzentrationen im Grundwasser

4.9.6.1 Phosphor /Erosion

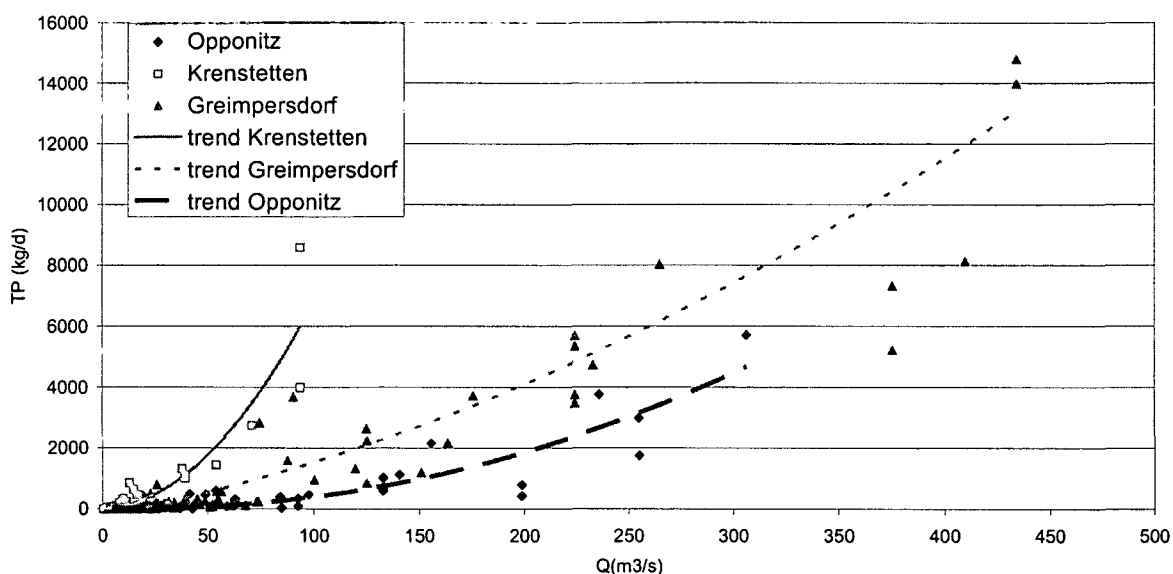


Abbildung 4-176: Beziehung zwischen Gesamtphosphor und Durchfluss, in daNUbs für die Berechnungen verwendete Funktionen

Abbildung 4-176 zeigt die Beziehung zwischen dem gemessenen Gesamtphosphor und dem Durchfluss für die Pegel Krenstetten, Opponitz und Greimpersdorf. Die Punkte markieren die aus gemessenen Konzentrationen berechneten Frachten in kg je Tag. In Krenstetten ist die Fracht höher und steigt mit dem Durchfluss stark an. Aus diesen Beziehungen wurden mit Hilfe der gemessenen täglichen Durchflüsse „fiktive“ tägliche Phosphorfrachten für die Pegel berechnet und für die Berechnung der Jahresfracht aufsummiert. Die nachfolgende Tabelle zeigt die auf diese Weise ermittelten mittleren Fließgewässerfrachten des Gesamtphosphors im Vergleich zu den eingebrachten Frachten in kg pro Hektar und Jahr.

| Phosphor | Input LW | Anteil LW | Input Dep. | Input P | Fracht FG |
|-------------------|-----------------------------|-----------|------------|---------------|---------------|
| Teileinzugsgebiet | kg P/ (ha _{LW} ·a) | an Fläche | kg/ (ha·a) | in kg/ (ha·a) | (Bez. Q - TP) |
| Opponitz | 15,5 | 23% | 0,3 | 3,8 | 0,32 |
| Krenstetten | 27,5 | 78% | 0,3 | 21,5 | 0,59 |
| Greimpersdorf | 28,5 | 70% | 0,3 | 20,2 | 0,76 |

Tabelle 4-63: mittlerer berechneter Input der Gesamtfläche und Gesamtphosphorfrachten im Fließgewässer

Im unteren Einzugsgebiet wird eine wesentlich höhere Fracht je Fläche eingebracht, die Konzentration im Gewässer steigt nicht im gleichen Verhältnis an, ein Großteil des Phosphors wird im Einzugsgebiet zurückgehalten.

4.9.7 Zusammenfassung

Aus den Einträgen, welche sich aus dem angewandten organischen Dünger, dem Mineraldünger und dem Stickstoffeintrag aus der Atmosphäre zusammensetzen, und den Austrägen (Ernte und Stickstoffverluste durch Ausgasen) pro Fläche wurden die Nährstoffüberschüsse der landwirtschaftlichen Flächen berechnet.

Die für das Jahr 1999 berechneten Stickstoffüberschüsse für die ackerbaulich genutzten Flächen liegen im Wulkatal um 50 kg N / (ha·a), die des Phosphors zwischen 10 und 22 kg/ha (Zessner, et al. 2004). Die höchsten Überschüsse treten in Wulkaprodersdorf auf, die kleinsten in Schützen.

Die Stickstoffüberschüsse an der Ybbs sind mit etwa 73 kg N/ha (1999) wesentlich höher. Sie werden durch den hohen Eintrag an organischem Dünger aus der Viehhaltung erzielt. Im unteren Ybbstal werden sehr viel größere Nährstofffrachten je Hektar umgesetzt als im Einzugsgebiet der Wulka, die Landwirtschaft ist intensiver, der Austrag durch die Ernte für das Gesamtgebiet ist um gut 60% größer. Die Phosphorüberschüsse im Jahr 1999 liegen zwischen 14 und 32 kg/ha und sind denen der Wulka ähnlich.

Der Transport des Nitrates erfolgt hauptsächlich durch Auswaschung über den Untergrund. Mit dem Wasser wird auch das Nitrat in tiefere Bodenschichten transportiert und ist unterhalb der Wurzeltiefe nicht mehr pflanzenverfügbar. Teile des Nitrates gelangen später über das Grundwasser ins Fließgewässer.

Aus den Überschüssen in den Teileinzugsgebieten kann man daher mit Hilfe der unterirdischen Abflussanteile aus der Ganglinienanalyse den Austrag (die Sickerwasserkonzentrationen) an Nitrat berechnen. Die Sickerwassermengen ergeben sich aus der Berechnung mit Difga, sie entsprechen der Summe des schnellen und des langsamen Grundwassers im Einzugsgebiet (QG1 + QG2).

In den oberen Bodenschichten der landwirtschaftlichen Flächen wurde eine Denitrifikation in Abhängigkeit der aufgebrauchten Nährstoffüberschüsse zwischen 10 und 30 kg/(ha·a) angenommen. Die berechneten Grundwasserkonzentrationen ergeben sich durch Abzug der Denitrifikation von den Sickerwasserkonzentrationen.

Aus den berechneten und den gemessenen Konzentrationen konnten die mittleren Reduktionsraten im Einzugsgebiet bestimmt werden.

Die im Gewässer vorzufindenden Frachten sind nur ein kleiner Bruchteil der aufgebrauchten Überschüsse, im oberen Einzugsgebiet der Wulka werden 91% und im Einzugsgebiet des Eisbaches (bei geringem Sauerstoffgehalt des Grundwassers) 98 % zurückgehalten oder abgebaut. Im unteren Einzugsgebiet der Wulka ist die Fracht im Fließgewässer kleiner als im oberen Einzugsgebiet, obwohl der Eintrag größer ist. Im unteren Einzugsgebiet wird mehr Nitrat abgebaut als eingebracht.

Auch an der Ybbs wird in den oberen Teilgebieten ein größerer Anteil der aufgebrauchten Stickstofffracht im Grund- und im Fließgewässer wiedergefunden. Es werden zwischen 75% im oberen, alpinen Einzugsgebiet (Pegel Opponitz) und 86 Pro-

zent der Frachten im Einzugsgebiet der Url, Pegel Krenstetten, zurückgehalten oder abgebaut. In den unteren Einzugsgebiet ist die aufgebrachten Stickstofffracht und die Reduktion ein Vielfaches der Fracht des alpinen Einzugsgebietes Opponitz, hier handelt es sich um überwiegend landwirtschaftlich genutzte Gebiete. Aber auch in Opponitz kann man eine Reduktion feststellen, obwohl das Grundwasser sehr sauerstoffreich ist. Die Stickstoffüberschüsse und die Denitrifikation im unteren Einzugsgebiet sind doppelt so hoch wie im Einzugsgebiet der Wulka, prozentuell gesehen jedoch wesentlich geringer.

Auch die Messdaten im Grund- Und Oberflächengewässer lassen auf eine Denitrifikation im Grundwasser schließen. Die Abnahme des Stickstoffes im Grundwasser erfolgt in Fließrichtung. Bei langen Fließzeiten und geringem Sauerstoffgehalt im Untergrund „verschwindet“ das Nitrat durch Denitrifikation. In den Fließgewässern ist die Konzentration am kleinsten. Die gemessenen Kohlenstoffkonzentrationen im Grundwasser des Wulkatales steigen mit abnehmender Entfernung zum Gewässer. In dem Fließgewässer ist der Gehalt an gelöstem organischen Kohlenstoff durch einen Eintrag an organischem Material höher. Da der Abbau des Stickstoffes unter Verwendung von organischem Material erfolgt, ist dieser Sachverhalt ein Hinweis auf heterotrophe Denitrifikation. Die Denitrifikation ist abhängig von der Länge des Fließweges im Grundwasser. Je älter das Grundwasser und je länger der Weg, den es schon zurückgelegt hat, desto größer der Abbau. Einträge aus gewässerfernen Flächen sind für die Güte des Fließgewässers weniger relevant.

Die Denitrifikationsrate ist auch von der Temperatur abhängig, bei sehr geringen Temperaturen läuft sie sehr langsam ab oder kommt zum Erliegen, die Temperaturabhängigkeit der Stickstoffkonzentration ist daher auch ein Indiz für die Denitrifikation im Fließgewässer. Die Konzentrationen in dem als Grundwasserabfluss interpretierten Niederwasserabfluss sind bei niedrigen Temperaturen höher.

Im Wulkatal ist bei höheren Grundwasserkonzentrationen und geringerem Sauerstoffgehalt im Grundwasser der Nitratabbau prozentuell größer ist als an der Ybbs. Der verstärkte Nitratabbau in dem niederschlagsarmen Wulkatal ist aus der Sicht des Fließgewässers oder des Neusiedler Sees positiv. Die Grundwasserqualität ist im niederschlagsreichen Ybbstal schon aufgrund der Verdünnung besser.

In Abhängigkeit des Durchflusses wurden tägliche Phosphorfrachten bestimmt und mit diesen die jährlichen Frachten abgeschätzt. Die Berechnung zeigt deutlich, dass auch hier nur ein Bruchteil der Nährstofffracht im Gewässer wiedergefunden wird. Der Phosphor wird im Boden gespeichert oder nach einem Abtrag durch Erosion im Einzugsgebiet, im Gewässerbett oder bei Überschwemmungen abgelagert. Teile des Phosphors gehen auch durch Aufnahme durch die Pflanzen, zum Beispiel in Randstreifen, sowie durch Fällung u.a. Prozesse verloren.

Im unteren Einzugsgebiet wird eine wesentlich höhere Fracht je Fläche eingebracht, die Konzentration im Gewässer steigt nicht im gleichen Verhältnis an, ein Großteil des Phosphors wird im Einzugsgebiet zurückgehalten.

4.10 VERWENDETE DATEN

Die in dieser Dissertation verwendeten Daten sind jene, welche im Rahmen Projektes daNUbs erhoben und ausgewertet wurden. Sie wurden für dieses Projekt von den hydrographischen Diensten der Länder (Amt der Niederösterreichischen Landesregierung, Amt der Burgenländischen Landesregierung), der Geologischen Bundesanstalt, dem Österreichischen Statistischen Zentralamt und der Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik zur Verfügung gestellt oder selbst erhoben.

Eine kurze Zusammenstellung der vorhandenen Datensätze des daNUbs-Projektes findet sich in folgenden Tabellen:

| Karten | Verfügbarkeit | Format | Quelle | Zeitspanne | Auflösung |
|--|---------------|-----------------|--------|------------|-------------|
| Gewässernetz | ja | digitale Karten | 1, 2 | aktuell | 1:50000 |
| Einzugsgebietsgrenzen | ja | digitale Karten | 1, 2 | aktuell | 1:50000 |
| Verwaltungsgrenzen | ja | digitale Karten | 1, 2 | aktuell | 1:50000 |
| Digitales Höhenmodell | ja | digitale Karten | 1, 2 | aktuell | 25x25 m |
| Topografische Karten | ja | digitale Karten | 1 | aktuell | 1:50000 |
| Landnutzung | ja | digitale Karten | 5 | aktuell | 30x30 m |
| Geologische Karten | ja | digitale Karten | 1, 3 | aktuell | 1:50000 |
| Bodentypen (Karte) | ja | digitale Karten | 5 | aktuell | 1:25000 |
| Drainierte Flächen | z.T. Wulka | analoge Karten | 2 | | verschieden |
| Erosionskarten | nein | | | | |
| Lage der Beob. stat. | ja | digital/analog | 5 | aktuell | |
| Lage der häusl. und industriellen Einleitungen | | digital/analog | 1, 2 | aktuell | |

| Statistische Daten | Verfügbarkeit | Format | Quelle | Zeitspanne | Auflösung |
|--|---------------|----------------------------------|--------|------------|----------------------|
| Anbaustatistik (Fläche, Feldfrucht und Ertrag) | ja | digitale Daten | 4 | 1960 - | Land |
| Futterproduktion | ja | digitale Daten | 4 | 1960 - | Kreis |
| Futtermittelverbrauch | nein | Schätzung | | | |
| Tierbestand (Zahl oder Großvieheinheit) | ja | digitale Daten | 4 | 1960 - | Land |
| Mineraldünger-Verbrauch | ja/nein | Eig. Schätzung anal. Dat. bis 95 | | 1960- | Kreis/ Bundesland |
| Nahrungsproduktion | ja | digitale Daten | | 1960 - | Kreis |
| Bestand | ja | digitale Daten | 4 | 1960 - | Land / Siedl. |
| Nahrungsverbrauch | ja | | 4 | 1960- | Land |
| Waschmittelbedarf | ja | | | | Land |

| | | | | | |
|--------------------------------|------|-----------|---|-------|------|
| Spez. N und P Emissionen je EW | nein | Schätzung | | | |
| Verwend. Klärschlamm | ja | Schätzung | 5 | 1990- | Land |
| Kompostverwertung | nein | | | | |

| Abwasserstatistiken | Verfügbarkeit | Format | Quelle | Zeitspanne | Auflösung |
|--|----------------------|----------------|---------------|-------------------|------------------|
| Bevölkerung angeschlossen an Kanal | ja | analog/digital | 1, 2 | 1971- | Land |
| Bevölkerung angeschlossen an KA | ja | analoge Daten | 1, 2 | aktuell | Land |
| Anteil der Mischkanalisation | nein | Schätzung | | | |
| Anteil der Abwasserkanal. | nein | Schätzung | | | |
| Einwohner mit Jauchgruben/ Schacht? | ja | analoge Daten | 1, 2 | 1971- | Land |
| Inform. über den Verbleib des Grubeninhaltes | nein | | | | |

| Bestandsaufnahme der Punktquellen | Verfügbarkeit | Format | Quelle | Zeitspanne | Auflösung |
|---|----------------------|----------------|---------------|-------------------|------------------------|
| Lage | ja | analog | 1, 2 | aktuell | |
| Kapazität der KA | ja | analoge Daten | 1, 2 | aktuell | |
| Aktuelle Frachten | ja | digitale Daten | 5, 2 | aktuell | 2 bis 5 Tage pro Woche |
| Angeschlossene EW | ja | analoge Daten | 1, 2 | aktuell | |
| Reinigungsgrad | ja | analoge Daten | 1, 2 | aktuell | |
| Zu- und Abfluss KA (Durchfluss, N, P, org. C) | ja | digitale Daten | 5, 2 | aktuell | 2 bis 5 Tage pro Woche |

| Beobachtungsdaten | Verfügbarkeit | Format | Quelle | Zeitspanne | Auflösung |
|--------------------------|----------------------|----------------|---------------|-------------------|--------------------------|
| Durchflussdaten | ja | digitale Daten | 1,2 | 1977- | 5 Stat., h, d |
| Grundwasserstände | ja | digitale Daten | 1, 2 | 1970- | mehrere Stat., w |
| Wasserstände (OF) | ja | digitale Daten | 2 | 1976- | 5 Stationen, d |
| Wassertemperatur (OF) | ja | digitale Daten | 2 | 1991- | 1 Station, d |
| Niederschlagsdaten | ja | digitale Daten | 1, 2 | 1971- | 16 Stationen, h |
| Lufttemperatur | ja | digitale Daten | 1, 2 | 1990- | 16 Stationen, Tmax, Tmin |
| Rel. Luftfeuchte | ja | digitale Daten | 2,7 | 1970- | 24 Stationen, d |
| Windgeschwindigkeit | ja | digitale Daten | 2 | 1990- | 4 Stationen, d |

| | | | | | |
|--|------|----------------|------|---------|--|
| Sonnenstunden | ja | digitale Daten | 7 | 1970- | 20 Stationen, d |
| Strahlung | ja | digitale Daten | 2,7 | 1970- | 24 Stationen, d |
| potentielle ET | ja | digitale Daten | 7 | 1970- | 20 Stationen, d |
| Schneehöhe | ja | digitale Daten | 1,2 | 1970- | 15 Stationen, d |
| Konzentrationen im Gewässer | ja | digitale Daten | 1, 2 | 1991- | 1 Station tägli., 4 Stat. Monatl. ¹⁾ |
| Konz. im Gewässer | | | 6 | | |
| N, P Konz. in Drainagen | nein | | | | |
| Konz. im Grundwasser | ja | digitale Daten | 1, 2 | 1991- | 17 Stationen, 3 monatlich, ²⁾ |
| Konz. im Grundwasser | | | 6 | | |
| N, P Konz. Oberboden | ja | analoge Daten | | | 4 km Grid |
| N Deposition | ja | analog | | 1986 | einige Mess. |
| P Deposition | nein | | | | |
| N+P+Kieselsäure-Gehalt in Waschmitteln | ja | | | aktuell | Land |
| N-Emissionen d. Heizen, Verkehr, Energiebedarf.. | ja | | | 1980 | Land |

| | | | | | |
|-----------------------------------|----|---------------|---|-------|------------------------|
| Weiterhin: | | | | | |
| Lage der Wasserkraftw. | ja | | | | |
| Lage und Ergiebigkeit der Quellen | ja | analoge Daten | 2 | 1995- | 4 Stationen, monatlich |

Quellen:

- 1 Amt der Niederösterreichischen Landesregierung
- 2 Amt der Burgenländischen Landesregierung
- 3 Geologische Bundesanstalt
- 4 Österreichischen Statistischen Zentralamt
- 5 daNubs-Projekt interne Erstellung
- 6 eigene Messungen (IWAG)
- 7 Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik

Abkürzungen:

- C= Kohlenstoff
- d,h,w= täglich, stündlich, wöchentlich
- EW= Einwohner
- KA= Kläranlage
- N=Stickstoff
- OF= Oberflächengewässer
- P=Phosphor

5 ZUSAMMENFASSUNG UND SCHLUSSFOLGERUNGEN

Ziel dieser Arbeit war es, aus den mit geringem Arbeits- und Datenaufwand ermittelbaren Abflussanteilen der Abflussganglinienanalyse und den Gütemessdaten Rückschlüsse auf die Fließwege des Wassers und die Eintragungspfade der Nährstoffe in das Grundwasser und die Fließgewässer, sowie deren Rückhalt im Einzugsgebiet zu gewinnen. Das verwendete Ganglinienanalyseprogramm Difga 2000 wurde weiterhin auf seine Brauchbarkeit für zukünftige Forschungsprojekte beurteilt.

Die Anwendung der **Ganglinienseparationen** erfolgte in zwei Teileinzugsgebieten der Donau in Österreich, in dem großteils alpinen Ybbstal und dem trockenen, flachen Wulkatal. Die Ergebnisse der Berechnungen mit Difga 2000 stimmen mit den Ergebnissen anderer Analysen und jenen der Literatur gut überein.

In Zeiten gleicher Abflusshöhen kann es zu einer unterschiedlichen Abflussaufteilung kommen. Hinter der Abflussbildung in den verschiedenen Zeiträumen stehen unterschiedliche Abflussbildungsprozesse, welche unterschiedliche Auswirkungen auf den Nährstofftransport haben. Die Abflussaufteilung ist abhängig von gebietsspezifischen und hydrologischen Faktoren, wie zum Beispiel der Vorbefeuchtung.

Je feuchter das Einzugsgebiet ist, desto schneller erfolgen die Abflussreaktionen. Diese Ereignisse sind für die Erosion besonders relevant. Die Höhe des unterirdischen Abflusses, die Summe aus langsamem und schnellem Grundwasserabfluss nach Difga 2000, steigt bei zunehmendem Niederschlag bis zu einem gewissen Wert an und stagniert danach. Das restliche Wasser kann nicht mehr versickern und fließt oberflächlich oder oberflächennah ab. Eine Erhöhung des Niederschlages bewirkt offensichtlich nur eine Erhöhung des direkten Abflusses. Dieser Schwellenwert wird als Kennzahl für die Einzugsgebiete betrachtet und wurde für alle Einzugsgebiete ermittelt.

Bei Starkniederschlägen steigen auch die im Fließgewässer gemessenen Gesamtposphorkonzentrationen stark an. Den wachsenden Anteil des Phosphors bildet der partikuläre Phosphor, welcher aus Erosionsprozessen stammen muss. Der Anstieg der Phosphorkonzentrationen des partikulären Phosphors und der des Direktabflusses zeigt dabei für die oberen Durchflussklassen ein sehr ähnliches Bild. Die Konzentrationen des löslichen oder filtrierten Phosphors bleiben bei wachsenden Abflüssen nahezu konstant, ähnlich verhalten sich die langsameren Abflusskomponenten. Das Niederschlagsregime eines Einzugsgebietes und dessen Abflussreaktionen bei Starkniederschlägen nach Vorbefeuchtung, sowie die Aufteilung dieses Abflusses in Komponenten, lassen demnach Rückschlüsse auf die Erosion zu.

Wesentliche Teile des schnellen Direktabflusses, an der Wulka ist das fast die Hälfte der Gesamtjahresfracht, fließen bei Einzelereignissen ab. Das Gleiche gilt für die damit verbundenen Erosionsprozesse und Phosphoreinträge.

Es treten fast alle großen Niederschläge mit hohen Direktabflussanteilen im Sommer und teilweise im Frühjahr auf. Die Starkregenereignisse im Herbst und Winter waren selten und für die Erosion nicht relevant. Das ist vor allem für den Nährstoffeintrag durch die Landwirtschaft, also die Art der Bewirtschaftung (Bodenbearbeitung und Düngeplanung) ackerbaulicher Flächen, von Interesse.

Ein Niederschlag nach einer Trockenperiode ist für Erosionsprozesse wesentlich weniger wirksam als in einem feuchteren Einzugsgebiet. Große Teile des Niederschlages werden hier im Einzugsgebiet zurückgehalten, die Abflussprozesse werden langsamer. Diese Zeiträume sind für die Denitrifikation (Nitratabbau) interessant.

Die Güteparameter sind nicht nur von den Durchflüssen, sondern auch von der Art der Niederschlagsabflussprozesse abhängig. Eine gezielte Verbesserung der Grundwasser- und Fließgewässergüte ist im Einzelfall durch unterschiedliche Maßnahmen in Abhängigkeit des zugrunde liegenden Prozesses möglich.

Grundlage für alle Berechnungen sind die gemessenen **Daten**. Ihre Qualität beeinflusst die Ergebnisse der Berechnungen, ihre Interpretation und die daraus abgeleiteten Forderungen nach Maßnahmen.

Die Qualität der Messdaten kann auch ein limitierender Faktor für die Untersuchung der Auslauflinien sein. Kurze Zeitreihen ergeben oft große Abweichungen in den ermittelten Abflussanteilen. Aber auch die Wahl der verwendeten Datenreihe, wenn keine langen Datenreihen zur Verfügung stehen, ist wesentlich; Berechnungen mit trockenen Jahren erzielen bessere Ergebnisse als nasse Jahre.

Auch die Art der Datenerfassung muss berücksichtigt werden. Bei den Abflussspitzen werden deutlich höhere Phosphorkonzentrationen gemessen, daher ergeben sich bei ereignisabhängigen Gütemessdaten große momentane Phosphoreinträge.

Bei zeitabhängigen Messungen könnte man ohne Zusatzkenntnisse von gleichbleibend niedrigen Konzentrationen ausgehen und den Eintrag unterschätzen.

Unterschiede durch die Art der Datenerfassung zeigen sich jedoch nicht nur in den Einzeldaten oder den daraus errechneten Mittelwerten, sondern auch in den daraus abgeleiteten Durchfluss-Nährstoffbeziehungen.

Um ein wirkungsvolles Monitoring und eine Verbesserung der Fließgewässergüte zu erreichen, sind Kenntnisse über die Eintragspfade der Nährstoffe unerlässlich.

Im Vergleich zu dem Modell **Moneris**, welches im Rahmen des daNÜbs-Projektes angewandt wird, konnten durch die Ganglinienanalysen wichtige Zusatzinformationen erhalten werden. Mit monatlichen, jährlichen Mittelwerten oder gar 5-Jahresmitteln, wie in den Berechnungen mit dem Modell Moneris, kann man einzelne Prozesse nicht erfassen. Die aus den langjährigen Mittelwerten abgeleiteten Maßnahmen können den Nährstoffeintrag in die Donau und in das Schwarze Meer mindern, durch eine höhere zeitliche Auflösung bei der Datenerfassung, dem Monitoring und den Berechnungen können Ursachen genauer erfasst und Maßnahmen effektiver eingesetzt werden.

Um die Zusammenhänge zwischen den Fließwegen und den in das Gewässer eingebrachten Nährstoffen aufzuzeigen, wurden **Korrelationskoeffizienten** zwischen den Abflusskomponenten aus der Ganglinienanalyse und den gemessenen Nährstoffkonzentrationen berechnet. Die Korrelationskoeffizienten bestätigen die Ergebnisse der Ganglinienanalyse und bilden ein Beispiel für die Hypothese des fließweg-abhängigen Nährstoffeintrages.

Phosphor wird vor allem über Erosion in Form partikulären Phosphors eingetragen. Der Eintrag erfolgt schnell und oberflächlich und korreliert daher mit dem direkten Abflussanteil.

Da die die Erosion verursachenden extremen Starkregen räumlich begrenzt auftreten, tritt auch die Erosion in dieser räumlichen Ausdehnung auf, die Korrelationen der direkten Abflussanteile zu der Gesamtphosphorkonzentration ist daher besonders bei kleinen Einzugsgebieten groß, hier sind Erosionsprozesse am ehesten „unverfälscht“ zu beobachten. In größeren Einzugsgebieten sind diese Abhängigkeiten unschärfer. Diese Überlegung ist vor allem bei der Interpretation gewonnener Messergebnisse von Bedeutung.

Im unteren Einzugsgebiet der Ybbs wird eine wesentlich höhere Fracht je Fläche eingebracht, die Konzentration im Gewässer steigt nicht im gleichen Verhältnis an, ein Großteil des Phosphors wird im Einzugsgebiet zurückgehalten.

Die täglichen (fiktiven) Phosphorfrachten wurden in Abhängigkeit des Durchflusses bestimmt und so die jährlichen Frachten abgeschätzt. Die Berechnung zeigt, dass nur ein Bruchteil der Nährstofffracht im Gewässer wiedergefunden wird. Der Phosphor wird im Boden gespeichert oder nach einem Abtrag durch Erosion im Einzugsgebiet, im Gewässerbett oder bei Überschwemmungen abgelagert. Teile des Phosphors gehen auch durch Aufnahme durch die Pflanzen, zum Beispiel in Randstreifen, sowie durch Fällung und andere Prozesse verloren.

Die durch feuchte und trockene **Deposition** abgelagerten Nährstoffe können sowohl durch den Oberflächenabfluss als auch durch unterirdische Wege ausgetragen werden. Die Größe des Eintrages ist u.a. abhängig von der Entfernung von Ballungszentren, der Austrag von Art und Höhe des Niederschlages. Erfolgt der Eintrag als nasse Deposition, so ist dieser Eintrag auch mit dem Niederschlag und somit mit dem Direktabfluss gekoppelt.

Das Anwachsen der Nitratkonzentrationen im Gewässer bei Schneeschmelze zeigt, dass im Schnee Stickstoff aus der Deposition gespeichert wurde. Der Anteil des Abflusses, der aus der Schneeschmelze kommt, hat einen deutlich höheren Nitratgehalt als der Abfluss bei Niederwasser. Die Abschätzung der Stickstoffdeposition könnte auch über die Schneehöhen und die Konzentrationen im Gewässer erfolgen. Fehlen die täglichen Gütemessdaten, wie im Einzugsgebiet der Ybbs, so kann man davon ausgehen, dass die mit Durchfluss-Phosphorbeziehungen interpolierten Phosphorkonzentrationen im Falle der Schneeschmelze nicht plausibel sind.

Der Transport des **Nitrates** erfolgt hauptsächlich durch Auswaschung über den Untergrund. Je älter das Grundwasser, desto größer der Nitratabbau im Untergrund, daher ist die im Durchschnitt ältere langsame Grundwasserkomponente QG2 weniger stark als QG1, die schnelle Grundwasserkomponente, mit dem Nitrat korreliert.

Die Nitratkonzentrationen ergeben bei einer zeitabhängigen Erfassung der Güte eine engere Korrelationen mit dem Grundwasserabflussmengen als bei ereignisabhängigen Daten. Aus den Überschüssen in den Teileinzugsgebieten wurden mit Hilfe der unterirdischen Abflussanteile aus der Berechnung mit Difga der Austrag an Nitrat (die Sickerwasserkonzentrationen) berechnet.

Aus den berechneten und den gemessenen Konzentrationen wurden die mittleren Reduktionsraten in den Einzugsgebieten bestimmt. Die im Gewässer vorzufindenden Frachten sind nur ein Bruchteil der aufgebrachten Überschüsse.

Auch die gemessenen Stickstoffkonzentrationen im Grund- und Oberflächengewässer lassen auf **Denitrifikationsvorgänge** im Grundwasser schließen. Die Abnahme des Stickstoffes im Grundwasser erfolgt in Fließrichtung (zum Gewässer hin). Bei langen Fließzeiten und geringem Sauerstoffgehalt im Untergrund „verschwindet“ das Nitrat. In den Fließgewässern selbst ist die Konzentration am kleinsten.

Die gemessenen Kohlenstoffkonzentrationen im Grundwasser des Wulkatales steigen mit abnehmender Entfernung zum Gewässer. Da der Abbau des Stickstoffes unter Verwendung von organischem Material erfolgt, deutet dies auf eine heterotrophe Denitrifikation hin.

Die Nitratkonzentrationen bei höherem Grundwasserstand sind höher als die des aus tieferen Schichten stammenden alten Grundwassers. Der Zusammenhang zwischen Niederwasserdurchfluss und gemessenen Nitratkonzentrationen in der Wulka ergab, dass bei hohem (Grundwasser-) Abfluss die Nitratstickstoffkonzentrationen größer sind als bei kleinen Abflüssen. Auch dieser Zusammenhang deutet auf ein großes Denitrifikationsvermögen des Untergrundes hin.

Die Denitrifikation ist abhängig von der Aufenthaltszeit im Grundwasser. Je älter das Grundwasser und je länger der Weg, den es schon zurückgelegt hat, desto größer ist der Abbau und desto geringer der Stickstoffgehalt. Einträge aus gewässerfernen Flächen sind für die Güte des Fließgewässers weniger relevant.

Die Nitratfrachten der Teileinzugsgebiete der Wulka liegen über der am Pegel Schützen gemessenen Fracht. Es wird im unteren Einzugsgebiet mehr Nitrat abgebaut als eingebracht.

Die Denitrifikationsrate ist auch von der Temperatur abhängig, bei sehr geringen Temperaturen läuft sie sehr langsam ab oder kommt zum Erliegen. Die Konzentrationen im Fließgewässer sind bei Niederwasser bei niedrigen Temperaturen höher.

Der Abbau im Untergrund kann nur bei Sauerstoffmangel und bei Vorliegen von verwertbaren Kohlenstoffverbindungen stattfinden. Diese Voraussetzungen sind im sauerstoffreichen Karstgrundwasserkörper des oberen Ybbstales mit häufiger Grundwasserneubildung weniger erfüllt als im Wulkatal. Aber auch hier konnte eine Denitri-

fikation festgestellt werden.

Im Wulkatal ist der Grundwasserkörper sauerstoffarm und es erfolgt selten eine Nachlieferung aus dem Niederschlag. Die Nitratkonzentrationen im Grundwasser sind höher, der Nitratabbau erfolgt fast vollständig. Der verstärkte Nitratabbau in dem niederschlagsarmen Wulkatal ist aus der Sicht des Fließgewässers oder des Neusiedler Sees positiv. Die Grundwasserqualität ist im niederschlagsreichen Ybbstal, schon aufgrund der Verdünnung, besser.

Die Dissertation ist im Zusammenhang mit dem europäischen Forschungsprojekt „daNUbs - Nährstoffhaushalt im Donaeinzugsgebiet und dessen Auswirkungen auf das Schwarze Meer“ [<http://danubs.tuwien.ac.at>], EVK1-CT-2000-00051, entstanden.

6 LITERATUR

Abwasserlexikon (1999). Institut für Umweltverfahrenstechnik, uni-bremen.de.

Arnold, J. G. und P. M. Allen (1996). "Estimating hydrologic budgets for three Illinois watersheds." *Journal of Hydrology* 176(1-4): 57-77.

Arnold, J. G. und P. M. Allen (1999). "Automated methods for estimating baseflow and ground water recharge from streamflow records." *Journal of the American Water Resources Association* 35(2): 411-424.

Arnold, J. G., Allen, P.M., Muttiah, R. und Bernhardt, G., (1995). "Automated baseflow separation and recession analysis techniques." *Groundwater* 33(6): 1010-1018.

Arnold, J. G., R. S. Muttiah, et al. (2000). "Regional estimation of base flow and groundwater recharge in the Upper Mississippi river basin." *Journal of Hydrology* 227(1-4): 21-40.

Baumgartner, A. und H.-J. Liebscher (1990). *Allgemeine Hydrologie*. Berlin, Stuttgart, Gebrüder Bornträger Verlag.

Bebilik, A. J. und K.-C. Kersebaum. *Stickstoffdüngungsplanung durch Simulationsrechnung*. Braunschweig/Müncheberg, iBUG, ZALF.

Berger, K. P. und D. Entekhabi (2001). "Basin hydrologic response relations to distributed physiographic descriptors and climate." *Journal of Hydrology* 247(3-4): 169-182.

Birtles, A. B. (1978). "Identification and Separation of Major Base Flow Components From a Stream Hydrograph." *Water Resources Research* 14(5): 791-803.

Blaschke, A. P., U. Heinecke, et al. (2002). *Water balance calculations for the case study regions in Austria, Hungary and Romania*. Vienna, Institut für Hydraulik, Gewässerkunde und Wasserwirtschaft.

Boroviczenyi, Liebe, et al. (1992). *Wasserhaushaltsstudie für den Neusiedlersee mit Hilfe der Geophysik und der Geochemie 1980-1990*. Wien, Institut für Hydraulik, Gewässerkunde und Wasserwirtschaft.

Böttcher, J. und Strebel (1998). "Kinetik und Modellierung gekoppelter Stoffumsätze im Grundwasser eines Lockergesteinaquifers." Geologisches Jahrbuch(Reihe C).

Burkart, M. R. und D. E. James (2002). Hydrologic Variables for Optimum Location of Riparian Buffers to Reduce Non-point-source Agricultural Contaminants. 6th International Conference on Diffuse Pollution, Amsterdam, IWA, NVA.

Buxton, H. T. und E. Modica (1998). "Evaluating the source and residence times of groundwater seepage to streams." Water Resources Research 34(11): 2797-2810.

Chapman, T. (1998). "Stochastic modelling of daily rainfall: the impact of adjoining wet days on the distribution of rainfall amounts." Environmental Modelling and Software 13(3-4): 317-324.

Chapman, T. (1999). "A comparison of algorithms for stream flow recession and baseflow separation." Hydrological Processes 13: 701-714.

Chovanec, A. (2000). Fließgewässertypen in Österreich im Sinne des Anhang II der EU-WRRL, Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft.

Desimone, L. A. und B. L. Howes (1998). "Nitrogen transport and transformations in a shallow aquifer receiving wastewater discharge: A mass balance approach." Water Resources Research 34(2): 271-285.

Dewandel, B., P. Lachassagne, et al. (2003). "Evaluation of aquifer thickness by analysing recession hydrographs. Application to the Oman ophiolite hard-rock aquifer." Journal of Hydrology 274(1-4): 248-269.

DIN 4049, Deutsches Institut für Normung

Dittrich, A. (1998). Wechselwirkung Morphologie/Strömung naturnaher Fließgewässer. Karlsruhe, Nestmann.

Dyck und Peschke Angewandte Hydrologie.

Dyck und Peschke Angewandte Hydrologie 2.

Einsele, G. (1992). Das Verwitterungsprofil und seine Bedeutung für den Bodenschutz in Gebieten mit Festgesteins-Untergrund. Bodenschutz, Erich Schmidt Verlag. 1: 1150ff.

Eltahir, E. und P. Yeh (1999). "On the Asymmetric response of aquifer water level to floods and droughts in Illinois." *Water Resources Research* 35(4): 1199-1217.

Glöckl, T. (2004). *Großer Entwurf: Regionale Unterschiede in der Grundwassercharakteristik im Ybbstal.* Institut für Hydraulik, Gewässerkunde und Wasserwirtschaft, Institut für Wassergüte und Abfallwirtschaft. Wien, TU Wien.

Gutknecht, D. (2000). *Studienblätter zur Vorlesung Wasserwirtschaft,* TU Wien

Hansen, J. (2000). *Stickstoffbilanzen in der Landwirtschaft,* Eurostat.

Heffing, M. M. und J. J. M. de Klein (1998). "Nitrogen removal in buffer strips along a lowland stream in the Netherlands: a pilot study." *Environmental Pollution* 102 (1): 521-526.

Heinecke, U. (1999). "Analyse des Abflussregimes und der Grundwasserneubildung in Einzugsgebieten mit Hilfe des Wasserhaushaltsmodelles Brook." Diplomarbeit. Institut für Hydraulik, Gewässerkunde und Wasserwirtschaft, Institut für Wassergüte und Abfallwirtschaft. Wien, TU Wien.

Hino, M. und M. Hasebe (1984). "Identification and prediction of nonlinear hydrologic systems by the filter-separation autoregressive (AR) method: Extension to hourly hydrologic data." *Journal of Hydrology* 68(1-4): 181-210.

Hino, M. und M. Hasebe (1986). "Separation of a storm hydrograph into runoff components by both filter-separation AR method and environmental isotope tracers." *Journal of Hydrology* 85(3-4): 251-264.

Höltling, B. (1980). *Hydrogeologie.* Stuttgart, Enke.

Hydrographischer_Dienst (2003). *Hydrographisches Jahrbuch 2000.* Wien, Abteilung Wasserwirtschaft im BM für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft.

Jarvie, H. e. P., C. o. Neal, et al. (2001). "Use of continuous water quality records for hydrograph separation and to assess short-term variability and extremes in acidity and dissolved carbon dioxide for the River Dee, Scotland." *The Science of The Total Environment* 265(1-3): 85-97.

Karrenberg, H. (1981). *Hydrogeologie der nicht verkarstungsfähigen Festgesteine,* Springer.

Keitz, S. v. und M. S. (Hrsg.) (2002). Handbuch der EU Wasserrahmenrichtlinie. Berlin, Erich Schmidt Verlag.

Kirnbauer, R. (2003). Großer Entwurf: Regionale Unterschiede in der Grundwassercharakteristik im Ybbstal. Institut für Hydraulik, Gewässerkunde und Wasserwirtschaft, Institut für Wassergüte und Abfallwirtschaft. Wien, TU Wien.

Kleindienst HQ-Sim Programmbeschreibung.

Kunkel und Wendeland (1999). Das Weg-/Zeitverhalten des grundwasserbürtigen Abflusses im Elbeeinzugsgebiet, Schriften des Forschungszentrums Jülich, Reihe Umwelt/Environment, Volume 19, ISBN 3-89336-249-5.

Ladouche, B., A. Probst, et al. (2001). "Hydrograph separation using isotopic, chemical and hydrological approaches (Strengbach catchment, France)." Journal of Hydrology 242(3-4): 255-274.

Mander, U., V. Kuusemets, et al. (1997). "Efficiency and dimensioning of riparian buffer zones in agricultural catchments." Ecological Engineering 8(4): 299-324.

Mangelsdorf, J., K. Scheurmann, et al. (1990). River Morphology: a guide for geoscientists and engineers. Berlin, Springer.

Mattheß, G., Ed. (1983). Lehrbuch der Hydrogeologie. Die Beschaffenheit des Grundwassers. Stuttgart, Gebrüder Bornträger.

Mattheß, G., Ed. (1994). Lehrbuch der Hydrogeologie. Die Beschaffenheit des Grundwassers. Stuttgart, Gebrüder Bornträger.

Moore, R. D. (1997). "Storage-outflow modelling of streamflow recessions, with application to a shallow-soil forested catchment." Journal of Hydrology 198(1-4): 260-270.

Muhar, S. (1996). Ausweisung flussspezifisch erhaltener Fliessgewässerabschnitte in Österreich. Wien, BOKU Wien, Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft: 1-36, 128-131.

Muhar, S. (1998). "Erhebung und Bilanzierung flussspezifisch erhaltener Fliessgewässerabschnitte in Österreich." Österreichische Wasser- und Abfallwirtschaft 50(5/6): 119-127.

Naudascher, E. (1992). Hydraulik der Gerinne und Gerinnebauwerke. Wien, Springer.

Normungsinstitut, Ö. ÖNORM B 2400.

Nützmann, G. IGB, Hydrologie-Skript, Kapitel 4. Berlin.

Peter Haas, G. H., H. Mahler, J. Reitinger (1987). Grundwasserhaushalt Wulkaeingugsgebiet, Forschungsbericht 9. Wien, TU Wien.

Plum, H. (1998). Grundwasserschutz in Gebieten mit Festgesteinen. Bodenschutz, Erich Schmidt Verlag. 1.

Prinz, E. und R. Kampe (1934). Handbuch der Hydrologie. Berlin, Springer.

Puckett, L. L. (2002). Hydrological Controls on the Transport and Fate of Nitrate in Ground Water Beneath Riparian Buffer Zones: Results From Studies Across the United States. 6th International Conference on Diffuse Pollution, Amsterdam, IWA, NVA.

Puckett, L. L. (2002). "Using chemical, hydrologic, and age dating analyses to decline redox processes and flow path in the riparian zone of a glacial outwash aquifer system." Water Resources Research 38(8).

QUAST, J., J. STEIDL, O. BAUER (2001). "Regionale Systemanalysen zu Minderungsstrategien gegen diffuse Nährstoffeinträge in Gewässer im Elbetiefeland." Arch. Acker- Pflanzenbau u. Bodenkunde(47): 37-52.

Roche, M. (1963). Hydrologie de surface. Paris, Orstom und Gauthier-Villars, Paris.

Sachsen-Anhalt (2001). Evaluierung und Weiterentwicklung von flankierenden Maßnahmen nach VO (EWG) Nr. 2078/92 zur Umweltförderung in der Landwirtschaft Sachsen-Anhalts. Halle, Martin Luther Universität Halle-Wittenberg, Institut für Agrarökonomie, Institut für Acker- und Pflanzenbau, Landesgesellschaft Sachsen-Anhalt mbH.

Scheffer und Schachtschabel (1970). "Lehrbuch der Bodenkunde."

Schröder, W. (1982). Grundlagen des Wasserbaues. Düsseldorf, Werner-Verlag.

Schwarze, R. (2001). Methodische Grundlagen von DIFGA. Dresden

Schwarze, R., Herrmann, A., Münch, U., Grünwald, U. u. Schöniger, M. (1991). "Rechnergestützte Analyse von Abflusskomponenten und Verweilzeiten in kleinen Einzugsgebieten." Acta hydrophys., Berlin 35: 143-184.

Smakhtin, V. U. (2001). "Low flow hydrology: a review." Journal of Hydrology 240(3-4): 147-186.

Sommerhäuser, H. A., et al. Regionalisierung von Abflusskomponenten, Verweilzeiten und Speicherräumen im Wesereinzugsgebiet, TU Braunschweig.

Spreafico, M., R. Weingartner, et al. (2003). Hochwasserabschätzung in schweizerischen Einzugsgebieten. Bern, Eidgenössisches Department für Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation.

Spruill, E. B. (2002). Effectiveness of Riparian Buffers in controlling discharge of nitrate to streams in selected hydrological settings of the North Carolina Coastal Plain. 6th International Conference on Diffuse Pollution, Amsterdam, IWA, NVA.

Stancik, A., S. Jovanovic, et al. (1988). Hydrologie der Donau. Bratislava, Priroda.

Su, N. (1995). "The unit hydrograph model for hydrograph separation." Environment International 21(5): 509-515.

Szilagyi, J. und M. B. Parlange (1998). "Baseflow separation based on analytical solutions of the Boussinesq equation." Journal of Hydrology 204(1-4): 251-260.

Tallaksen, L. M. (1995). "A review of baseflow recession analysis." Journal of Hydrology 165(1-4): 349-370.

Tesoriero, A. J., H. Liebscher, et al. (2000). "Mechanism and rate of Denitrification in an agricultural watershed: Electron mass balance along groundwater flow paths." Water Resources Research 36(6): 1545-1559.

Tollmann, A. (1985). Geologie von Österreich - Band I + II, Deuticke Verlag.

Troch, P. A. und F. P. d. Troch (1993). "Effective Water Table Depth to Describe Initial Condition Prior to Storm Rainfall in Humid Regions." Water Resources Research 29(2): 427-434.

Umweltbundesamt (2001). Sechster Umweltkontrollbericht, 9. Landwirtschaft. Wien, UBA, Österreich.

VALL, M. P. und C. VIDAL. Stickstoff in der Landwirtschaft, FAO und Eurostat.

Vitvar, T. und W. Balderer (1997). "Estimation of mean water residence times and runoff generation by ^{18}O measurements in a Pre-Alpine catchment (Rietholzbach, Eastern Switzerland)." *Applied Geochemistry* 12(6): 787-796.

Vitvar, T., D. Burns, et al. (2002). "Estimation of baseflow residence times in watersheds from the runoff hydrograph recession: method and application in the Never-sink watershed, Catskill Mountains, New York." *Hydrological Processes* 16: 1871-1877.

Ward, A. D. und W. J. Elliot (1995). *Environmental Hydrology*, CRC Press.

Wilhelmy_I, H. (1975). *Endogene Kräfte*, Hirt.

Wilhelmy_II, H. (1975). *Exogene Morphodynamik II. Verwitterung, Talbildung*, Hirt.

Wilhelmy_III, H. (1975). *Exogene Morphodynamik III, Karsterschenungen, Glazialer Formenschatz*, Hirt.

Wilhelmy_IV, H. (1975). *Geomorphologie in Stichworten, Klima*, Hirt.

Wittenberg, H. (1997). *Modellierung von Rückgangslinien des Abflusses durch nicht-lineare Speicher und Regionalanalyse der Parameter*, FH- Lüneburg.

Wittenberg, H. (1999). "Baseflow recession and recharge as nonlinear storage processes." *Hydrological Processes* 13(5): 715-726.

Wittenberg, H. und H. Aksoy (2001). "Jahreszeitliche Veränderung der Trockenwetterganglinie - Fallstudie für einen Fluss im europäischen Teil der Türkei." *Wasserwirtschaft* 90(1): 38-41.

Wittenberg, H. und M. Sivapalan (1999). "Watershed groundwater balance estimation using streamflow recession analysis and baseflow separation." *Journal of Hydrology* 219(1-2): 20-33.

Zessner, M., C. Lampert, et al. (2004). "Deliverable D1.3 "Nutrient balances for case study regions"."