

Stoffgehalt und Stoffaustrag im Abfluß landwirtschaftlich genutzter Kleineinzugsgebiete der Karpatenvorberge

W. RAJDA und K. OSTROWSKI

Bearbeitet nach den Ergebnissen aus dem Untersuchungsprojekt Nr. 55654.91.02, finanziert vom Komitee für Wissenschaftliche Untersuchungen in Warschau.

Summary

The study analyses regional and seasonal differences in the content ($\text{mg}\cdot\text{dm}^{-3}$) and charges ($\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$), 13 components as well as physical and chemical characteristics of water flowing away from agricultural micro-basins in sub-mountain areas located in regions with various rainfall and soil conditions. The results were compared with cleanness standards for surface water that are in force in Poland. The research was carried out within 3 hydrological years with rainfall lower than the average calculated over many years. At relatively low absolute values, significant regional differences in the content and charges of components drained with the outflow were observed. Average seasonal content differences in $\text{mg}\cdot\text{dm}^{-3}$ were less conspicuous and relevant to some components only. On the other hand, seasonal differences in charges were significant, and resulted primarily from differences in water outflows, and were relevant to most components examined. Only the average $\text{N}\cdot\text{NO}_3$ content exceeded, according to the Polish standard, the threshold value for 1st class cleanness surface water.

1. Einleitung

Eine der wichtigsten Ursachen der Verunreinigung des Oberflächenwassers ist die Mineraldüngung landwirtschaftlich genutzter Böden. Ihre Intensität wurde im Zeitraum von 1979/80 - 1992/93 in Polen durchschnittlich von 193 auf 66 kg NPK pro ha herabgesetzt, in den landwirtschaftlichen Einzelbetrieben sogar auf 61 $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$.

Die vorliegende Arbeit bringt die Konzentrationen und Stoffausträge einiger Elemente aus zwei landwirtschaftlich genutzten Kleineinzugsgebieten, der Meliorationsgräben D und G. Die Untersuchungen wurden in den hydrologischen Jahren 1991/92 - 1993/94 mit relativ niedrigen Niederschlagssummen und geringen, auch für polnische Verhältnisse, Mineraldüngungsraten durchgeführt.

2. Bedingungen in den Untersuchungsgebieten

Die zwei Untersuchungsgebiete liegen im Vorgebirge der Karpaten, mit unterschiedlichen Klima- und Bodenverhältnissen.

Das Kleineinzugsgebiet D liegt im Ort Gaj, in der Mogilany-Gemeinde, dem westlichen Teil von Pogórze Wielickie (Wieliczka-Gebirgsvorland), im Einzugsgebiet des Flusses Wilga, der in Krakau in die Weichsel mündet. Das Kleineinzugsgebiet G befindet sich im Ort Rzyki, ca. 5 km südöstlich der Stadt Andrychów, im östlichen Teil des Kleinbeskidenvorlandes, im Einzugsgebiet des Flusses Rzyczanka - eines Nebenflusses der Wieprzówka, die wiederum in den Unterlauf des Skawaflusses mündet. Bei

de Gebiete liegen innerhalb der kleinpolnischen Wojewodschaft. Gemäß der landwirtschaftlichen Klimaklassifikation nach Gumiński gehört das Kleineinzugsgebiet G zur 19. Karpatenvorlandprovinz, welche im Vergleich zur 15. Tschenstochau-Kielce-Provinz, in der das Kleineinzugsgebiet D gelegen ist, durch kühleres und feuchteres Klima gekennzeichnet ist.

Größenmäßig - nach Fläche, Länge, Breite und Geländeneigung - unterscheiden sich die Versuchsgebiete nur geringfügig, sie sind jedoch hinsichtlich der mittleren Höhenlage über dem Meeresspiegel, der Gesamt- und Einzellänge (km) der Gräben ($\text{km}\cdot\text{km}^{-2}$) und der mittleren Niederschlagssumme im Jahr deutlich differenziert. Das Kleineinzugsgebiet D liegt niedriger, daher ist die Niederschlagssumme dort deutlich kleiner als im Gebiet G (Tabelle 1).

Unterschiedlich sind auch die Böden, insbesondere bezüglich des Grobstoffanteiles. Im Kleineinzugsgebiet D kommen braune neutrale Böden (pH in H_2O 7,4 bis 6,0 im Profil), wie auch podsolierte, saure und stark saure Böden (pH in H_2O 5,6 bis 4,2) vor. Hinsichtlich der Korngrößenverteilung (Textur) dominie-

Tabelle 1: Standortmerkmale der Kleineinzugsgebiete Gaj (D) und Rzyki (G)

| | D | G |
|---|-----------|-----------|
| Fläche des Einzugsgebietes F (km^2) | 0.546 | 0.475 |
| Länge des Einzugsgebietes L (km) | 1.200 | 1.000 |
| Mittlere Breite S (km) | 0.525 | 0.525 |
| Seehöhe von - bis | 272 - 327 | 396 - 457 |
| Mittlere Seehöhe | 300 | 427 |
| Mittlere Neigung I (%) | 13.2 | 13.9 |
| Fließlänge L (km) | 1.000 | 0.575 |
| Dichte des hydrographischen Netzes ($\text{km}\cdot\text{km}^{-2}$) | 1.83 | 1.21 |
| Mittlere langjährige (1951-1990) Niederschlagssumme P (mm) | 686 | 980 |
| Landnutzung (%) | | |
| - Acker | 56.2 | 70.7 |
| - Grünland | 11.4 | 16.9 |
| - Wald, Baumbestand | 9.3 | 8.4 |
| - Obstgärten | 5.5 | - |
| - Siedlungsgebiete und Brache | 17.6 | 4.0 |

Autoren: Univ. Prof. Dr. habil. Ing. Włodzimierz RAJDA und Dr. habil. Ing. Krzysztof OSTROWSKI, Agricultural University of Krakow, Department of Land Reclamation and Environment Development, Al. Mickiewicza 24/28, PL-30059 KRAKOW

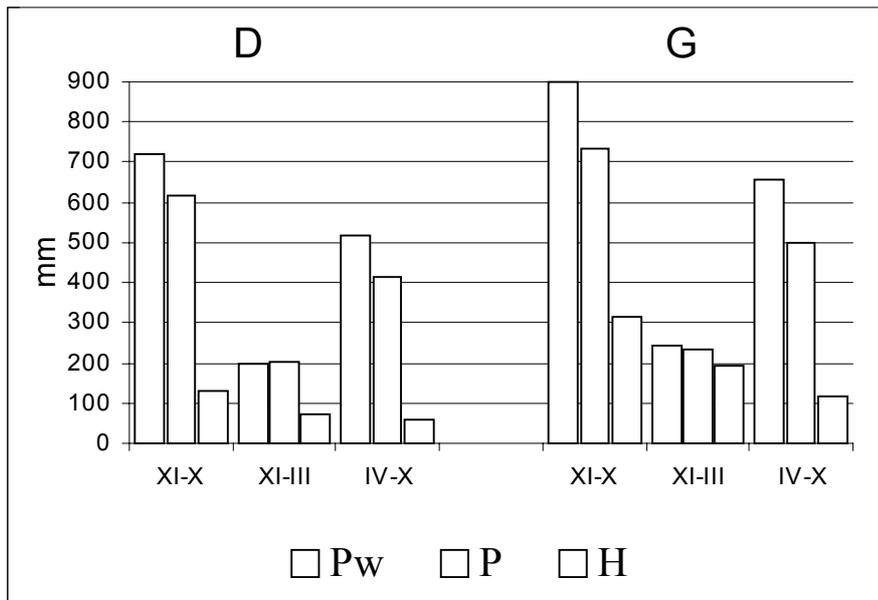


Abbildung 1: Durchschnittliche langjährige Niederschlagssummen und Niederschlagssummen in den Forschungsperioden (P) sowie Abflußmengen (H) - jährlich (XI-X) und saisonweise (XI-III, IV-X) aus den Kleineinzugsgebieten

ren tonige und schluffige Böden, mit, bei meisten der untersuchten Schichten, Gehalt an vorwiegend (54-64 %) Fraktionen $0,02 < f < 0,10$ mm. Das ist der sogenannte Kaolin mit Anteil der Fraktion $0,02$ mm von 28 bis 46 %. Ihre mittlere Porosität im Profil schwankt zwischen 42,2 und 46,5 %, das maximale kapillare Volumen - von 40,4 bis 42,9 %^{Vol.} und das maximale hygroscopische Volumen von 4,8 bis 6,6 %^{Vol.} (in einigen Schichten von 4,2 bis 7,7%^{Vol.}). Wasserdurchlässigkeit der Krume ist ein mittlerer Wert und liegt zwischen $0,2 < f < 1,0$ m.Tag⁻¹, und unter der Krume - unter 0,05 m.Tag⁻¹.

Im Kleineinzugsgebiet G kommen braune, flachgründige und skelettreiche Böden, saure und stark saure ($\text{pH}_{\text{H}_2\text{O}}$ 5,6 bis 4,2), mit einem Gehalt der Fraktion $f <$

$0,02$ mm von 37 bis 58 %, der Fraktion $0,02 < f < 0,10$ mm - von 39 bis 45 % und mehreren Prozent hohem Anteil an Sand vor. Das ist der schwere schluffige Ton und Schluff mit 20-50 % des Skelettes, das mancherorts schon bei einer Tiefe von 0,30 m vorkommt, und anderorts erst unter 0,90 m. Die mittlere gewogene Bodenporosität in diesem Objekt in drei untersuchten Profilen schwankt von 42,5 bis 44,4 %, das maximale kapillare Wasservolumen - von 39,3 bis 42,2 %^{Vol.}, der maximale Gehalt am hygroscopischen Wasser - von 6,9 bis 7,3 %^{Vol.}. Ihr Sickervermögen in der Krume liegt der in dem Kleineinzugsgebiet D nahe, unten ist sie jedoch etwas höher und liegt im Bereich $0,05 < w < 0,2$ m.Tag⁻¹.

Die Böden beider Untersuchungsgebiete sind durch ein beträchtliches kapilla-

res Volumen und eine geringe Abflußrate gekennzeichnet.

Hinsichtlich der Geländeneigung sind die Gebiete ähnlich. Der Anteil an Flächen mit einer Neigung von 0-5 % liegt bei entsprechend 15,8 (D) und 15,5 % (G), mit einer Neigung 5-10 % bei 22,6 und 28,3 %. Vorherrschend ist der Bereich 10-18 %, der 45,6 und 39,4 % der Fläche einnimmt, und Neigungen von mehr als 18 % kommen auf 16,0 und 16,8 % der Kleineinzugsgebietsfläche vor.

Das untersuchte Gelände wird durch kleine, extensiv wirtschaftende Einzelbetriebe genutzt. Ihre mittlere Größe beträgt ca. 1,8 ha im Kleineinzugsgebiet D und ca. 2,3 ha in G. Das Kleineinzugsgebiet D, das in der Vorstadtzone von Krakau liegt, ist durch einen größeren Anteil an teilweise bebauten Siedlungsgrundstücken und kleineren Anteilen an Ackerböden und Grünflächen gekennzeichnet. Hier gibt es darüber hinaus Obstgärten, die es in dem Kleineinzugsgebiet G kaum gibt (Tabelle 1).

Das Niveau der Minereraldüngung in beiden Untersuchungsgebieten betrug etwas über 60 kg NPK pro ha und wich von dem damals in unserem Land gebräuchlichen Niveau nicht ab. In der Untersuchungsperiode wurden in die Gräben weder Haushalts- noch Industrieabwässer eingeleitet und die Qualität des Abflusses wurde nur durch die natürlichen Vorgänge in den Böden, die agrotechnischen Verfahren und die Düngung beeinflusst.

3. Verfahren und Umfang der Untersuchungen

Die Untersuchungen umfaßten die Messung des Abflusses und Kennzeichnung

Tabelle 2: Regionale und saisonale Unterschiede im durchschnittlichen Stoffaustrag durch Abfluß aus den Kleineinzugsgebieten in $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$

| Periode | Komponente | | | | | | | | | | | |
|-----------------|------------------|---------------------|---------------|------------------|------------------|--------------|------------------|---------------|--------------------|--------------------|----------------------|------------------------|
| | NNH_4^+ | $\text{Fe}^{+2/+3}$ | Na^+ | Ca^{+2} | Mg^{+2} | K^+ | NNO_3^- | Cl^- | SO_4^{-2} | PO_4^{-3} | Trocken- substanz | Organische Substanz |
| Einzugsgebiet D | | | | | | | | | | | | |
| XI-X | 0,90 | 0,30 | 24,1 | 72,9 | 11,2 | 1,67 | 3,6 | 33,6 | 76,3 | 0,08 | 378,0 | 102,5 |
| XI-III | 0,57 | 0,15 | 14,4 | 39,0 | 6,0 | 0,80 | 2,3 | 20,7 | 47,8 | 0,05 | 215,8 | 57,3 |
| IV-X | 0,37 | 0,16 | 10,1 | 32,1 | 4,9 | 0,79 | 1,5 | 13,7 | 31,1 | 0,03 | 164,7 | 45,2 |
| Einzugsgebiet G | | | | | | | | | | | | |
| XI-X | 2,01 | 0,55 | 33,8 | 103,6 | 18,4 | 8,11 | 15,6 | 32,9 | 129,1 | 0,18 | 583,9 | 209,1 |
| XI-III | 1,53 | 0,29 | 14,7 | 52,3 | 10,2 | 3,66 | 13,2 | 19,7 | 78,4 | 0,11 | 353,8 | 140,4 |
| IV-X | 0,68 | 0,23 | 13,8 | 40,4 | 7,2 | 3,11 | 4,6 | 12,8 | 49,8 | 0,07 | 226,4 | 76,9 |

seiner physisch-chemischen Merkmale. Hierzu wurde die ständige Erfassung der Wasserstände nach dem limnigraphischen Verfahren an zweiteiligen Überfällen (Dreieck-Trapez) geführt, die in speziell hierfür errichtete Betonstrukturen mit einer Höhe von 0,60 m eingebaut wurden. Die Abflüsse in $\text{dm}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ wurden aus den Kurven der charakteri-

stischen Überfällen festgelegt, die mittleren Tagesanzeigen in mm anhand der Größe der momentanen Abflüsse und ihrer Dauer ermittelt, die Periodenanzeigen durch Addieren der Tagesanzeigen. Die Wasserproben für die Analysen wurden in hydrometrischen Querschnitten entnommen, im Durchschnitt einmal pro Woche bei Vorkommen des Abflusses.

Zur Bestimmung des Gehaltes an einzelnen Stoffen (Abbildung 2, Tabelle 2) wurde ein Standardverfahren angewendet. Innerhalb von 3 Jahren wurden von jedem Kleineinzugsgebiet 280 Proben zu 140 Terminen entnommen. Insgesamt wurden etwa 3500 Analysen durchgeführt. In diesem Bericht werden Mittelwerte aus 3 Jahren dargestellt - für ein Jahr und die Perioden: November - März (nicht vegetative Periode) und April - Oktober (vegetative Periode), das Gehalt von Stoffen in $\text{mg} \cdot \text{dm}^{-3}$ sowie ihr Austrag in $\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1}$.

Der Stoffaustrag wurde aus dem Produkt des mittleren Gehaltes an diesem Stoff in $\text{mg} \cdot \text{dm}^{-3}$ und des Gesamtabflusses in $\text{dm}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$ (Teilladung) ermittelt. Der Saison- und Jahresaustrag ergab sich durch das Addieren der Teilfrachten.

4. Untersuchungsergebnisse

Die Jahressummen der Niederschläge waren im Untersuchungszeitraum in den Kleineinzugsgebieten D und G um entsprechend 100 und 163 mm niedriger als im langjährigen Durchschnitt. Auch in anderen Jahren waren die Jahressummen niedriger als die entsprechenden Summen im langjährigen Durchschnitt, was auf geringe Niederschläge in den Sommermonaten (Juni - August) während der Untersuchungszeit, und in zwei Jahren auch im Mai, zurückzuführen ist. Im nicht vegetativen Saison (November - März) wichen in beiden Gebieten die mittleren Niederschläge von den vergleichbaren Werten im mehrjährigen Zeitabschnitt nicht ab. Während der Untersuchungszeit waren im Durchschnitt die Niederschlagsquoten im Kleineinzugsgebiet D um 170 mm geringer als in G (Abbildung 1).

Der mittlere Jahresabfluß aus dem Kleineinzugsgebiet G überschritt um 183 mm den Abfluß im Kleineinzugsgebiet D. Dieser Unterschied war höher als zwischen den beiden Objekten. In diesen Kleineinzugsgebieten sind auch saisonale Mittelabflußunterschiede aufgetreten, zugunsten der Winterperioden, obwohl die Niederschlagsquote in diesen Perioden mehr als doppelt geringer war als in den Sommermonaten (Abbildung 1) Der mittlere Abfluß im Zeitraum November - März im Kleineinzugsgebiet D war um 16 mm (28 %) höher als in der

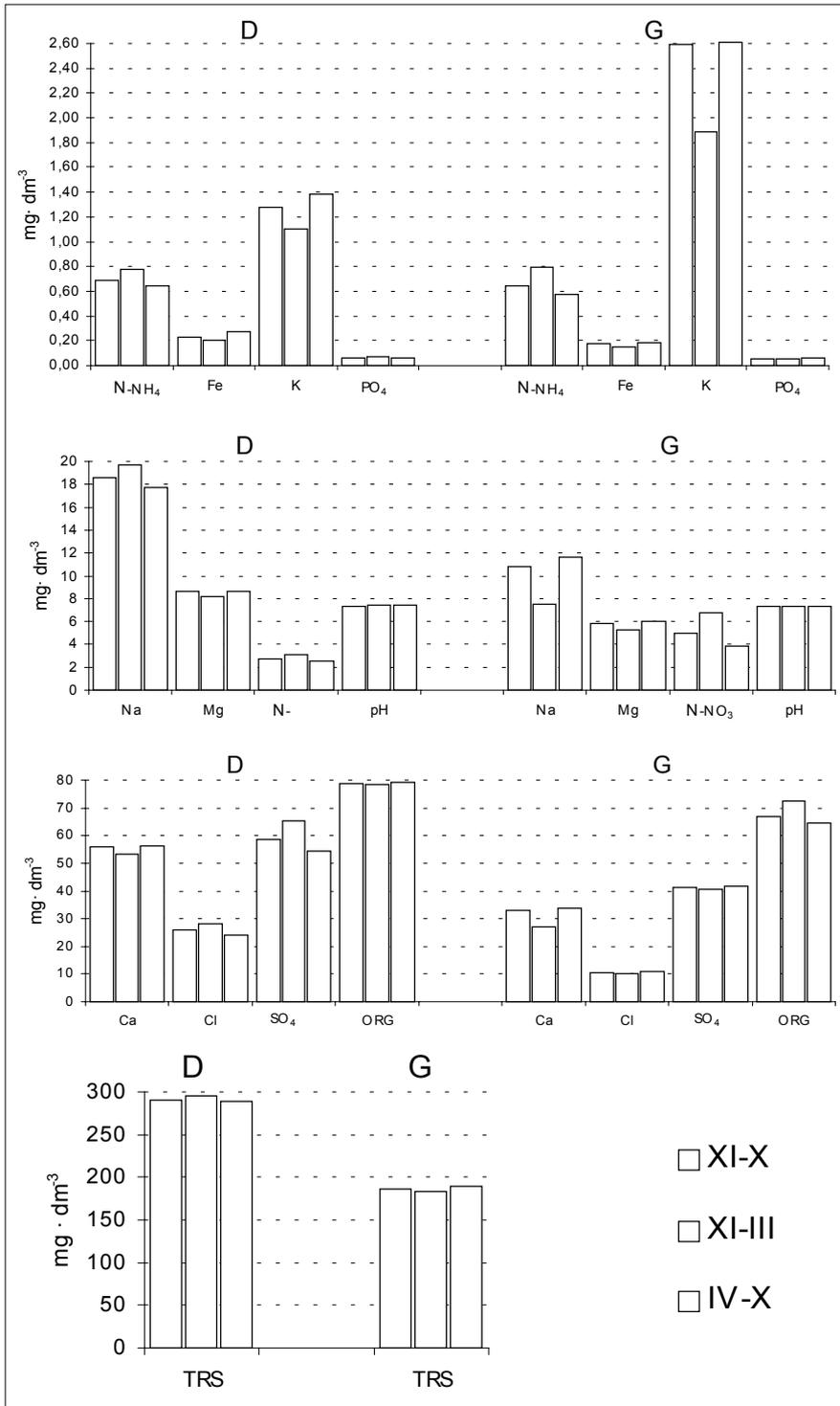


Abbildung 2: Jahresdurchschnittliche (XI-X) und saisonale (XI-III, IV-X) Stoffkonzentrationen im Abfluß aus den Kleineinzugsgebieten D und G

Sommerperiode (April - Oktober), und im Kleineinzugsgebiet G, bei deutlich höheren Niederschlagsquoten, lag der entsprechende Unterschied bei 75 mm und betrug fast 63 % im Verhältnis zum Sommerabfluß.

Das Abflußwasser im Kleineinzugsgebiet D ist in der Regel durch höhere Stoffgehalte in $\text{mg}\cdot\text{dm}^{-3}$ gekennzeichnet, als das Abflußwasser aus dem Kleineinzugsgebiet G (*Abbildung 2*). Das hängt mit den in diesem Gebiet vorkommenden fruchtbareren, erosionsanfälligeren Böden zusammen. Die Ausnahmen bilden K und N-NO_3 , deren Gehalte im Wasser des Kleineinzugsgebietes G höher waren. Die Unterschiede waren jedoch, ausgenommen Kalium, relativ klein, und die absoluten Stoffkonzentrationen haben in der Regel die, gemäß den Polnischen Normen [2], zulässigen Werte für Oberflächenwasser der I. Reinheitsklasse nicht überschritten. Nur im Objekt G lag der Nitratgehalt etwas über $5,0 \text{ mg}\cdot\text{dm}^{-3}$, sodaß es in die zweite Klasse einzustufen war.

Die Saisonunterschiede im Stoffgehalt waren in der Regel gering. Eine deutliche Differenzierung kam, insbesondere im Kleineinzugsgebiet G, bei Kalium vor - mit überwiegendem Anteil in der vegetativen Periode (April - Oktober), jedoch bei niedrigen absoluten Werten (*Abbildung 2*). In der vegetativen Periode wurden darüber hinaus (auch bei niedrigem Gehaltswert) geringfügig größere Mengen an Fe, Mg und Ca festgestellt, als in der nicht vegetativen Periode. Die Stickstoffverbindungen - N-NH_4 , und insbesondere N-NO_3 im Kleineinzugsgebiet G mit etwas durchlässige-

rem Flyschboden wurden in der nicht vegetativen Periode stärker ausgeschwemmt. Von den anderen Stoffen zeigten Cl und SO_4 unwesentliche Tendenzen zum stärkeren Austrag in dieser Periode, jedoch nur im Kleineinzugsgebiet D und auch bei niedrigem Gehaltswert.

Der Stoffaustrag in $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ aus dem Kleineinzugsgebiet G war, trotz niedriger Konzentrationen in $\text{mg}\cdot\text{dm}^{-3}$ im Wasser, höher als im Kleineinzugsgebiet D (*Tabelle 2*). Das ergab sich aus den viel größeren Abflußraten des Einzugsgebietes G (*Abbildung 1*). Besonders große Unterschiede zwischen den Untersuchungsgebieten (regional) kamen bei Kalium und Nitrat vor. Die Ursache dafür waren sowohl höhere Gehalte in $\text{mg}\cdot\text{dm}^{-3}$ und größerer Wasserabfluß.

Der Stoffaustrag im Zeitabschnitt November - März war an beiden Untersuchungsgebieten im Vergleich mit der vegetativen Periode viel deutlicher. Geringer waren hier die Unterschiede im Objekt D, wo die Saisondifferenzierung des Abflusses niedriger als in G war.

Beträchtliche Mengen an Nitratausträgen in $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ kamen vor allem im Kleineinzugsgebiet G vor. Es ist das ein Einzugsgebiet mit durchlässigeren, stärker versauerten und intensiver ausgewaschenen Böden. Das gilt vor allem für Stickstoff, der in der Untersuchungsperiode, die trockener als üblich war, im Durchschnitt pro Jahr und ha in einer Menge von $15,6 \text{ kg}$ ausgetragen wurde. Der entsprechende Wert für Kalium lag bei $8,1$, für Magnesium bei $18,4$ und für Calcium bei ca. $104,0 \text{ kg}$. Magnesium und Calcium wurden in ganz großen Men-

gen auch aus dem Kleineinzugsgebiet D ausgetragen (*Tabelle 2*). Es waren das ca. $11,2$ und $72,0 \text{ kg}$ pro ha. Das stand im direkten Zusammenhang mit ihrer höheren Konzentration im Wasser in diesem Kleineinzugsgebiet im Vergleich zu G.

5. Zusammenfassung

Aufgrund der durchgeführten Untersuchungen ließ sich folgendes feststellen:

- geringe (im Jahresdurchschnitt) Gehalte an untersuchten Stoffen in $\text{mg}\cdot\text{dm}^{-3}$, die meistens unter den üblichen Werten für die Oberflächenwässer der I. Reinheitsklasse lagen,
- geringfügiges Überschreiten des Normwertes bei N-NO_3 nur im Kleineinzugsgebiet mit einer höheren Niederschlagssumme und auf durchlässigeren Flyschböden,
- unterschiedliche Konzentrationen in $\text{mg}\cdot\text{dm}^{-3}$, je nach den Bodenverhältnissen und Niederschlagssumme im Jahr, wobei die höheren Werte, außer N-NO_3 und K, bei geringeren Niederschlägen und durchlässigeren schluffigen Tonböden auftraten,
- region- und saisonbedingte Unterschiede bei den ausgetragenen Stoffen in $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$, worauf vor allem die unterschiedlichen Abflußmengen, mehr als die Konzentrationen in $\text{mg}\cdot\text{dm}^{-3}$, einen stärkeren Einfluß hatten.

Literatur

Statistisches Jahrbuch 1994

Verordnung des Ministers für Umweltschutz, Naturschätze und Forstwesen vom 5. November 1991 über die Klassifikation von Gewässern und Bedingungen für in die Gewässer bzw. den Boden abgeleitete Abwässer. GBl. vom 16. Dezember 1991, Nr. 116, Pos. 503.