

Inhaltsverzeichnis

Teil 1: Übersicht	15
1. Der Gegenstand der Hydrologie	16
2. Wassermengen, Wasserkreislauf und Wasserbilanz der Erde	18
2.1. Die Evolution der Hydrosphäre und des Wasserkreislaufes	18
2.2. Die Wassermengen der Erde	18
2.3. Der Wasserkreislauf der Erde	20
2.4. Die Wasserbilanz der Erde	22
3. Energie- und Stoffhaushalt	26
3.1. Besonderheiten des Naturstoffs Wasser	26
3.2. Wasserkreislauf und Wasserbeschaffenheit	27
3.3. Energiehaushalt	27
3.4. Stoffhaushalt.	35
3.4.1. Allgemeines	35
3.4.2. Sauerstoff-Kohlenstoff-Haushalt	37
3.4.3. Stickstoffkreislauf.	38
3.4.4. Der Phosphorkreislauf	39
3.4.5. Schwefelkreislauf.	40
3.4.6. Stoffaustrag aus den Einzugsgebieten.	40
3.4.7. Auswirkungen der Verschmutzung und Sanierungsmöglichkeiten bei den Haupttypen der Gewässer	40
3.4.8. Wasserschadstoffe, Gewässerbelastungen und Gewässerschutz	41
4. Die wichtigsten hydrologischen Prozesse und Systeme	44
4.1. Komponenten und Teilprozesse der Landphase des Wasserkreislaufs	44
4.2. Systemkonzeption und Hauptgruppen hydrologischer mathematischer Modelle	46
4.3. Das Wasser im System Boden-Pflanze-Atmosphäre	51
4.3.1. Das Wasser im Boden	53
4.3.2. Wasser und Pflanze	53
4.3.3. Das Wasser in der Atmosphäre	54
4.3.3.1. Zusammensetzung und Aufbau der Atmosphäre	54
4.3.3.2. Zur Bedeutung des Wassers in der Atmosphäre	57
4.3.3.3. Luftfeuchte	58
4.3.3.4. Vertikale Luftbewegungen – Schichtungsstabilität.	62
4.3.3.5. Wolken	65
4.4. Das Wasser im Einzugsgebiet	68
4.5. Skalenproblem und Regionalisierung	73
5. Zur Geschichte der Hydrologie	76
6. Bedeutung der Hydrologie für die Volkswirtschaft	80
6.1. Wasserressourcen und Wasserbewirtschaftung	80
6.2. Hydrologie – Basiswissenschaft der Wasserressourcen-Bewirtschaftung	83
Literaturverzeichnis Teil 1	85

Teil 2: Erfassung und Auswertung hydrologischer Daten	87
7. Hydrometrie	88
7.1. Aufgaben und Inhalte der Hydrometrie	88
7.2. Wasserstand	88
7.2.1. Kriterien für die Standortwahl der Meßstellen	89
7.2.2. Nichtregistrierende Pegel	89
7.2.3. Mechanischer Schwimmerschreibpegel	90
7.2.4. Pneumatische Pegel und Drucksonden	91
7.3. Durchfluß	92
7.3.1. Der Zweck von Durchflußmessungen	92
7.3.2. Messung des Durchflusses mit Hilfe des Flügels	93
7.3.3. Auswertung der Flügelmessung	94
7.3.4. Verdünnungsmessungen	97
7.3.5. Meßwehre	99
7.3.6. Venturikanal	100
7.3.7. Ultraschallmessung	102
7.3.8. Elektromagnetisch-induktive Strömungssonden	103
7.3.9. Wasserstand-Durchfluß-Beziehung (Durchflußkurve)	103
7.4. Grundwasserbeobachtung	106
7.4.1. Überblick	106
7.4.2. Messung des Grundwasserstands	106
7.4.3. Quellschüttungsmessungen	108
7.4.4. Durchfluß- und Beschaffenheitsmessungen	109
8. Geoinformationssysteme und Fernerkundung	110
8.1. Einführung	110
8.2. Geographische Informationssysteme (GIS)	110
8.3. Digitale Höhenmodelle	114
8.4. Fernerkundung	114
9. Zur Auswertung hydrologischer Daten	117
9.1. Überblick	117
9.2. Ganglinie, Summen- und Summendifferenzenlinie	117
9.3. Primärstatistische Auswertung	120
9.3.1. Häufigkeiten	120
9.3.2. Summenhäufigkeiten	120
9.3.3. Statistische Maßzahlen	123
9.3.4. Gewässerkundliche Hauptzahlen	127
9.4. Wahrscheinlichkeitsanalysen	127
9.4.1. Begriffe und grundsätzliche Zusammenhänge	127
9.4.2. Die Normalverteilung	130
9.4.3. Aufbau und Nutzung von Wahrscheinlichkeitsnetzen	132
9.4.4. Die Pearsonverteilung Typ III	133
9.4.5. Die Exponentialverteilung (EXP)	134
9.4.6. Die Extremwertverteilungen	135
9.4.7. Die Wiederkehrzeit (Wiederkehrintervall)	137
9.5. Korrelationsanalyse	138
9.5.1. Der Korrelationskoeffizient	138
9.5.2. Der Reihenkorrelationskoeffizient	139
Literaturverzeichnis Teil 2.	141
Teil 3: Die Elemente des Wasserhaushalts	143
10. Niederschlag	144
10.1. Bildung des Niederschlags	144
10.2. Haupttypen und Arten des Niederschlags	144

10.3.	Freiland- und Bestandesniederschlag, Interzeption	146
10.4.	Niederschlagsmessung	147
10.4.1.	Punktuelle Niederschlagsmessung	147
10.4.2.	Messung des Gebietsniederschlags	149
10.5.	Auswertung von Punkt- und Gebietsniederschlägen	151
10.5.1.	Punktniederschläge	151
10.5.2.	Gebietsniederschläge für Einzugsgebiete	154
10.6.	Stark- und Bemessungsniederschläge	158
10.6.1.	Gegenstand und Aufgaben	158
10.6.2.	Starkniederschlagshöhen für die Bundesrepublik Deutschland	161
10.7.	Vermutlich maximaler Niederschlag	164
10.7.1.	Allgemeines	164
10.7.2.	Abschätzung des vermutlich maximalen Gebietsniederschlags	164
10.8.	Zeitliche und räumliche Verteilung des Niederschlags	166
10.9.	Stochastische Analyse und Modellierung des Niederschlags	168
10.9.1.	Einführung	168
10.9.2.	Stochastische Modellierung des Niederschlags	168
10.9.3.	Zeitreihenmodelle des Niederschlags	169
10.9.4.	Räumliche Variabilität des Niederschlags und Raum-Zeit-Modelle	169
10.10.	Wasserabgabe aus der Schneedecke	171
10.10.1.	Grundbegriffe und physikalische Grundlagen	171
10.10.2.	Ermittlung der Wasserabgabe aus der Schneedecke	173
11.	Verdunstung	180
11.1.	Begriffe, Einflußfaktoren und Bedeutung	180
11.2.	Der Verdunstungsprozeß	182
11.2.1.	Das Saugspannungsgefälle im System Atmosphäre-Pflanze-Boden	182
11.2.2.	Widerstandskonzeption	185
11.3.	Messung der Verdunstung	190
11.3.1.	Evaporimeter	190
11.3.2.	Lysimeter	191
11.3.3.	Messung des Bodenfeuchteentzugs	192
11.3.4.	Pflanzenphysiologische Messungen	194
11.3.5.	Mikrometeorologische Messungen	194
11.3.5.1.	Fluktuationmethode	195
11.3.5.2.	Profil- und Gradientenmethoden	195
11.4.	Berechnung der potentiellen Verdunstung	198
11.4.1.	Standard-Verdunstungsraten	198
11.4.1.1.	Potentielle Verdunstung einer freien Wasserfläche	198
11.4.1.2.	Bezugswert der potentiellen Pflanzenverdunstung	199
11.4.2.	Empirische Gleichungen	199
11.4.3.	Potentielle Evapotranspiration anderer Pflanzenbestände	201
11.5.	Berechnung der realen Verdunstung	203
11.5.1.	Berechnung langjähriger Mittelwerte der realen Verdunstung	203
11.5.2.	Berechnungen für unterschiedliche Zeitintervalle	206
11.5.2.1.	Widerstandsanalogue-Verfahren	206
11.5.2.2.	Nutzung feuchteabhängiger Reduktionsfunktionen	206
11.6.	Das Problem der Gebietsverdunstung	207
12.	Der Abfluß	210
12.1.	Allgemeine Grundlagen	210
12.2.	Die Abflußkomponenten	212
12.2.1.	Allgemeines	212
12.2.2.	Allgemeine Aspekte der Analyse von Durchflußganglinien	212
12.2.3.	Prinzipien der Durchflußganglinienanalyse	214
12.2.4.	Rechnergestützte Separation von Durchflußganglinien in Abflußkomponenten	217
12.2.5.	Kombination der Separationsmethode mit einer Wasserhaushaltsbilanz	220

12.2.6.	Berechnung von Verweilzeiten durch Kopplung von DIFGA mit tracerhydrologischen Untersuchungen.	222
12.3.	Stochastische Analyse von Durchflußbeobachtungsreihen.	226
12.4.	Langfristige Durchflußschwankungen.	228
12.5.	Mathematische Modelle zur stochastischen Simulation des Durchflußprozesses.	231
12.5.1.	Grundlagen	231
12.5.2.	Grundtypen stochastischer Modelle.	232
12.5.3.	Zur Identifikation des Modelltyps	234
12.6.	Innerjährliche Durchflußschwankungen	235
12.6.1.	Darstellung der innerjährlichen Durchflußschwankungen	235
12.6.2.	Modellierung des Jahresgangs.	236
Literaturverzeichnis Teil 3.		238
Teil 4: Die oberirdischen Gewässer		241
13.	Die fließenden oberirdischen Gewässer und ihre Einzugsgebiete.	242
13.1.	Übersicht, Begriffe	242
13.2.	Landoberflächen- und Flußbettprozesse	244
13.2.1.	Strukturen und Eigenschaften von Flußgebieten.	244
13.2.2.	Flußnetze	245
13.2.3.	Flußlängen	248
13.2.4.	Einzugsgebietsflächen	249
13.2.5.	Gefällewerte	250
13.2.6.	Die hypsometrische (Flächen-Höhen) Kurve	252
13.2.7.	Weitere geomorphologische Kennwerte	252
13.2.8.	Regionalisierung mit Hilfe morphometrischer Parameter	253
13.3.	Maßverhältnisse der Flußbetten	253
13.3.1.	Flußbettbildung	253
13.3.2.	Der Grundriß der Flüsse	253
13.3.3.	Der Längsschnitt der Flüsse	254
13.3.4.	Der Querschnitt der Flüsse und hydraulische Flußbettgeometrie	254
13.4.	Der Durchfluß der Flüsse	256
13.4.1.	Berechnung des Durchflusses in den Fließgewässern	256
13.4.2.	Durchflußkomponenten und Durchflußbereiche	256
13.4.3.	Flußtypen	258
13.5.	Stoffabtrag und Stofftransport	258
13.5.1.	Übersicht	258
13.5.2.	Bodenerosion durch Wasser	259
13.5.3.	Linienhafter Abtrag durch fließendes Wasser und Feststofftransport.	262
13.5.4.	Gelöste Stoffe	269
13.6.	Wärmehaushalt der Fließgewässer	270
13.6.1.	Berechnung der Wassertemperatur in Fließgewässern	270
13.6.2.	Eisbildung in fließenden Gewässern	270
13.7.	Schadstofftransport in Fließgewässern	271
13.7.1.	Nutzung und Schutz der Fließgewässer	271
13.7.2.	Selbstreinigung der Fließgewässer	271
13.7.3.	Klassifizierung der Wasserbeschaffenheit	272
14.	Die stehenden oberirdischen Gewässer	275
14.1.	Übersicht	275
14.2.	Die Gestalt der Seen und ihre Veränderung	277
14.2.1.	Die wichtigsten morphometrischen Kennwerte	277
14.2.2.	Die Verlandung der Seen.	280
14.3.	Hydrologische Seentypen und hydrologische Zusammensetzung des Seewassers	282
14.4.	Wärmehaushalt der Seen	285
14.4.1.	Wärmebilanz und Wärmegehalt der Seen	285

14.4.2.	Thermik der Seen	287
14.5.	Wasserbewegung und Austausch in Seen	290
14.5.1.	Charakter und biologische Bedeutung der Wasserbewegung	290
14.5.2.	Wellenbewegungen	290
14.5.3.	Strömungen in Seen.	292
14.5.4.	Numerische Modellierung der Zirkulation in Seen.	295
14.6.	Nutzung und Schutz der Standgewässer	296
14.6.1.	Klassifizierung der stehenden Oberflächengewässer	296
14.6.2.	Wassergüte-Bewirtschaftungsstrategien für stehende Oberflächengewässer	299
14.7.	Seerückhalt	300

Literaturverzeichnis Teil 4.	303
---	------------

Teil 5: Das unterirdische Wasser	305
---	------------

15. Das Wasser in der ungesättigten Bodenzone	306
15.1. Die Stellung der ungesättigten Bodenzone im hydrologischen Kreislauf	306
15.2. Korngrößenverteilung im Boden	307
15.3. Porosität und Dichte	308
15.4. Der Wassergehalt des Bodens	310
15.5. Einteilung des Bodenwassers nach den wirksamen Kräften	311
15.6. Charakteristische Werte der Wasserbindung	312
15.7. Potentiale des Bodenwassers	314
15.8. Die Saugspannung-Sättigungs-Beziehung	316

16. Das Grundwasser	318
16.1. Grundwasser und sein vielfältiges Vorkommen	318
16.2. Grundwasserleiter.	320
16.3. Wechselbeziehungen zwischen ungesättigter und Grundwasserzone.	321
16.4. Unterirdisches Einzugsgebiet, Gefälle und Fließrichtung des Grundwassers	322
16.5. Grundwasserstandsschwankungen und ihre Ursachen	325
16.6. Grundwasserneubildung	326
16.7. Probleme und Aufgaben der Grundwasserbewirtschaftung	327

17. Die Dynamik des unterirdischen Wassers	329
17.1. Überblick	329
17.2. Die dynamische Grundgleichung	329
17.3. Die Kontinuitätsgleichung	332
17.4. Differentialgleichungen der Bodenwasserbewegung	332
17.5. Stofftransport im Boden- und Grundwasser	334
17.6. Zur Bildung mathematischer Modelle.	337

18. Parametrisierung	339
18.1. Übersicht	339
18.2. Die Parameterfunktionen $\Theta(\psi)$ und $K(\Theta)$	340
18.3. Die gesättigte Wasserleitfähigkeit (k -Wert)	340
18.4. Bestimmungsmethoden des k -Wertes	342
18.4.1. Messungen im Labor	342
18.4.2. Berechnungsmethoden	343
18.4.3. Auswertung von Pumpversuchen	344

Literaturverzeichnis Teil 5.	348
---	------------

Teil 6: Niederschlag-Abfluß-Beziehungen	350
--	------------

19. Gegenstand und Ziel der Niederschlag-Abfluß-Beziehungen und vereinfachte Separation der Durchflußganglinien	351
19.1. Gegenstand und Ziel der Niederschlag-Abfluß-Beziehungen.	351

19.2.	Vereinfachte Ganglinienanalyse und -separation.	355
19.2.1.	Übersicht	355
19.2.2.	Charakteristische Zeiten für die Ganglinienanalyse	355
19.2.3.	Ereignisbezogene Basisabflußseparation.	359
20.	Abflußbildung	363
20.1.	Die an der Abflußbildung beteiligten Prozesse und ihre Wichtung	363
20.2.	Vereinfachte Verfahren zur Beschreibung der Abflußbildung	365
20.3.	Infiltration.	368
20.3.1.	Qualitative Prozeßbeschreibung	368
20.3.2.	Zweistufenmodell für homogene Böden.	369
20.3.3.	Zweistufenmodell für geschichtete Böden	373
20.3.4.	Die Nutzung der empirischen Infiltrationsgleichungen	376
20.4.	Abflußbildung am Standort.	377
20.5.	Flächenvariable Abflußbildung	381
20.6.	Abflußbildung und Wasserqualität	384
21.	Die Abflußkonzentration im Gewässernetz	386
21.1.	Übersicht	386
21.2.	Lineare Systemmodelle	386
21.3.	Berechnung von Ausgabefunktionen durch Faltungsoperation	389
21.3.1.	Faltungsintegral	389
21.3.2.	Ausflußberechnung mit Hilfe von Δt -Impulsantworten	389
21.4.	Ermittlung von Impulsantworten.	392
21.4.1.	Black-Box-Methoden	392
21.4.2.	Modellkonzeptionen linearer zeitinvarianter Systeme.	397
21.4.2.1.	Einzellinearspeicher	397
21.4.2.2.	Lineare Speicherkaskade	400
21.4.2.3.	Lineares Translationsglied	403
21.4.2.4.	Isochronenmethode	403
21.4.2.5.	Aus Translationsgliedern und Linearspeichern zusammengesetzte Modelle	405
21.4.3.	Geomorphologische Impulsantwort (GIA)	406
21.5.	Berechnung von Ausflußfunktionen durch Differenzgleichungen	407
21.6.	Zeitvariante und nichtlineare Systemmodelle	412
21.6.1.	Lineare zeitvariante Systemmodelle	412
21.6.2.	Nichtlineare Systemmodelle	412
22.	Der Durchflußverlauf in den Wasserläufen	414
22.1.	Übersicht über Aufgaben und Modellierungsmöglichkeiten	414
22.2.	Reduzierte hydrodynamisch begründete Modelle	417
22.2.1.	Diffusionswellenansatz.	417
22.2.2.	Kinematische Welle	419
22.3.	Konzeptionelle Verfahren.	420
22.3.1.	Grundgleichungen	420
22.3.2.	Einzel Speicher, Verzögerungsglied und ihre Kombinationen	421
22.3.3.	Das Muskingum-Verfahren	422
22.3.4.	Nichtlineares Stufenmodell	423
22.4.	Black-Box-Modelle	424
22.5.	Berücksichtigung der räumlichen Variabilität bei der Hochwasserganglinien- Bestimmung für große Einzugsgebiete.	424
22.5.1.	Methodische Grundlagen.	424
22.5.2.	Die Direktabflußantwortfunktion.	425
22.5.3.	Die Wellenablauf Funktion	425
22.5.4.	Die Antwortfunktion des Gesamtgebietes	426

Teil 7: Extremwerte des Durchflusses	429
23. Die Hochwasser und ihre Berechnung	430
23.1. Gefährdung des Lebensraumes durch Hochwasser	430
23.2. Arten und Kenngrößen von Hochwassern	430
23.3. Hochwasserschutz	433
23.4. Konzeptionen für die Berechnung von Hochwassern	434
23.4.1. Hydrologischer Bemessungsmaßstab	434
23.4.2. Wahl des Bemessungsniveaus	436
23.5. Berechnung der Hochwasserwahrscheinlichkeit	438
23.5.1. Grundlagen der Anforderungen an die Ausgangsdaten	438
23.5.2. Die Anpassung von Wahrscheinlichkeitsverteilungen	440
23.5.3. Informationserweiterungen	445
23.5.3.1. Einbeziehung von Niederschlagsbeobachtungen	445
23.5.3.2. Einbeziehung historischer Hochwasser	446
23.5.3.3. Regionale Informationserweiterung	446
23.5.4. Nutzung der gegenseitigen Abhängigkeit der $HQ(T)$ an einem Pegel für die Extrapolation	448
23.6. Hochwasserganglinien	449
23.6.1. Kenngrößen und wasserwirtschaftliche Bedeutung	449
23.6.2. Die bezogene Ganglinie	450
23.6.3. Analytische Ganglinienfunktionen	451
23.6.4. Zweidimensionale Ganglinienmodelle	452
23.7. Vermutlich maximales Hochwasser (vmHW)	453
24. Die Niedrigwasser und ihre Berechnung	454
24.1. Das Problem des Wassermangels	454
24.2. Aufgabenstellung und Definition	454
24.3. Charakteristische Niedrigwasserereignisse und ihre Ermittlung	455
24.3.1. Die wichtigsten Kenngrößen von Niedrigwasserereignissen	455
24.3.2. Der Niedrigwasserdurchfluß als Variable	456
24.3.2.1. Wahl des konstanten Zeitintervalls und Jahrestrennung	456
24.3.2.2. Definition der Variablen	457
24.3.3. Die Niedrigwasserdauer als Variable	458
24.4. Ermittlung von Niedrigwasser-Wahrscheinlichkeiten	458
24.4.1. Voraussetzungen und Extrapolationsbereich	458
24.4.2. Anpassung einer Wahrscheinlichkeits-Verteilungsfunktion	459
24.5. Regionale Niedrigwasseranalysen	467
Literaturverzeichnis Teil 7	469
Teil 8: Berechnung und Simulation des Wasserhaushalts	471
25. Aufgabenstellung und Grundlagen für Wasserhaushaltsberechnungen	472
25.1. Aufgabenstellung für Wasserhaushaltsberechnungen	472
25.1.1. Die Ermittlung, Überwachung und Bewirtschaftung der Wasserressourcen	472
25.1.2. Wasserwirtschaftliche Rahmenplanung und Umweltverträglichkeitsprüfung	473
25.1.3. Erforschung des Wasserkreislaufs	473
25.1.4. Ableitung von klimatologischen und hydrologischen Regionalgliederungen	474
25.1.5. Kontrolle von Klimamodellen	475
25.2. Allgemeine Grundlagen der Wasserhaushaltsberechnungen	476
25.2.1. Wasserhaushalt und Landnutzung	476
25.2.2. Wasserhaushalt des Waldes	476
25.2.3. Wasserhaushalt landwirtschaftlicher Nutzflächen	480
25.2.4. Wasserhaushalt urbaner Gebiete	483
25.3. Methoden der Wasserhaushaltsberechnungen	484
25.3.1. Skalenebenen und Methoden	484
25.3.2. Zeitbezogenheit bei Wasserhaushaltsberechnungen	484
25.3.3. Raumbezogenheit bei Wasserhaushaltsberechnungen	485

25.3.4.	Das Regionalisierungs- oder Übertragungsproblem	486
25.4.	Fehlerrechnung	488
26.	Berechnung mittlerer Wasserbilanzen	489
26.1.	Übersicht	489
26.2.	Mittlere Wasserbilanzen im Lockergesteinsbereich.	491
26.2.1.	Berechnung mittlerer Jahresbilanzen	491
26.2.2.	Berechnung mittlerer Monatsbilanzen.	492
26.3.	Mittlere Wasserbilanzen im Festgesteinsbereich.	492
26.3.1	Berechnung der mittleren Jahresbilanzen	492
26.3.2.	Berechnung mittlerer Monatsbilanzen.	495
26.4.	Dokumentation von Wasserhaushaltsdaten	495
27.	Simulation des Wasserhaushalts von Einzugsgebieten	496
27.1.	Aufgabenstellung und Lösungswege	496
27.2.	Aufbau hydrologischer Wasserhaushalts- und Einzugsgebiets-Modelle.	498
27.2.1.	Allgemeines	498
27.2.2.	Erforderliche Eingangsinformationen	500
27.2.3.	Horizontale und vertikale Gliederung des Einzugsgebietes	500
27.2.4.	Landnutzung.	501
27.3.	Modellierung der Untersysteme	503
27.3.1.	Landoberfläche.	503
27.3.2.	Bodenwasserzone	503
27.3.3.	Grundwasserspeichersystem	508
27.3.4.	Abflußkomponenten und Gesamtabfluß	508
27.4.	Anpassen und Testen hydrologischer Einzugsgebietsmodelle	509
27.4.1.	Allgemeines	509
27.4.2.	Bestimmung der Modellparameter	509
27.4.3.	Testen des Modells und Gütekriterien.	511
	Literaturverzeichnis Teil 8.	513
	Teil 9: Hydrologische Vorhersagen und Prognosen	517
28.	Hydrologische Vorhersagen	518
28.1.	Art, Bedeutung und Nutzen der Vorhersagen.	518
28.2.	Kurzfristvorhersagen	520
28.2.1.	Übersicht	520
28.2.2.	Quantitative Niederschlagsvorhersage	521
28.2.3.	Wasserstands- und Durchflußvorhersage.	522
28.2.4.	Vorhersage des Ablaufs von Schadstoffwellen	523
28.3.	Langfristvorhersagen	525
28.3.1.	Übersicht	525
28.3.2.	Niedrigwasser-Vorhersagen	525
29.	Hydrologische Prognosen	527
29.1.	Art und Bedeutung von Prognosen.	527
29.2.	Klimafolgen für den Wasserhaushalt	528
29.3.	Hydrologische Wirkungen von Landnutzungsänderungen	528
29.4.	Fehleranalyse bei Einzugsgebietsexperimenten	531
	Literaturverzeichnis Teil 9.	533
	Sachwörterverzeichnis	534