

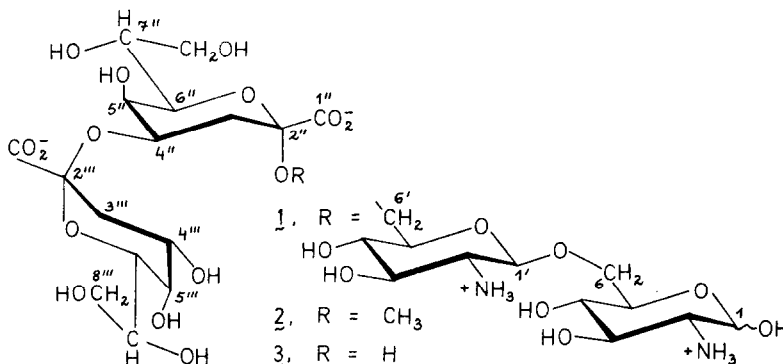
ZUR STRUKTUR DER 3-DESOXYOCTULOSONSÄURE- (KDO-) REGION  
 DES LIPOPOLYSACCHARIDS VON Salmonella minnesota Re 595

Rudolf Christian, Gerhard Schulz, Peter Waldstätten und Frank M. Unger\*

SANDOZ Forschungsinstitut, A-1235 Wien, Brunnerstraße 59, Österreich

**ABSTRACT:** Spectroscopic data ( $^1\text{H}$ - and  $^{13}\text{C}$ -N.m.r.) indicate that the tetrasaccharide  $\alpha\text{dOClAp}(2\rightarrow4)\alpha\text{dOClAp}(2\rightarrow6)\beta\text{GlcNp}(1\rightarrow6)\text{GlcN}$  is formed upon hydrazinolysis of the lipopolysaccharide from Salmonella minnesota Re 595.

Die hydrazinolytische Abspaltung der Phosphatreste sowie der ester- und amidgebundenen Fettsäuren aus den Lipopolysacchariden (LPS) der "Rauhmutanten" von Enterobacteriaceen liefert zwitterionische Oligosaccharide<sup>1</sup>. In unseren Händen hat ein solches Präparat<sup>2</sup> aus dem LPS von Salmonella minnesota Re 595<sup>3</sup> nach chromatographischer Reinigung<sup>4</sup> (Reversed-phase und Gel-Permeation)  $[\alpha]_{\text{D}}^{20} + 37.4^\circ$  (c 0.31, Wasser), und enthält gemäß der Thiobarbitursäure-Reaktion<sup>5</sup> 2.42  $\mu\text{Mol}$  3-Desoxy-D-manno-2-octulosonsäure (KDO)<sup>6,7</sup> pro mg. Wir berichten hier über  $^1\text{H}$ - und  $^{13}\text{C}$ -n.m.r.-spektroskopische Modellvergleiche, die wir mit diesem Material angestellt haben und die mit der Struktur 1,  $\alpha\text{dOClAp}(2\rightarrow4)\text{-}\alpha\text{dOClAp}(2\rightarrow6)\text{-}\beta\text{GlcNp}(1\rightarrow6)\text{GlcN}$ , im Einklang stehen.

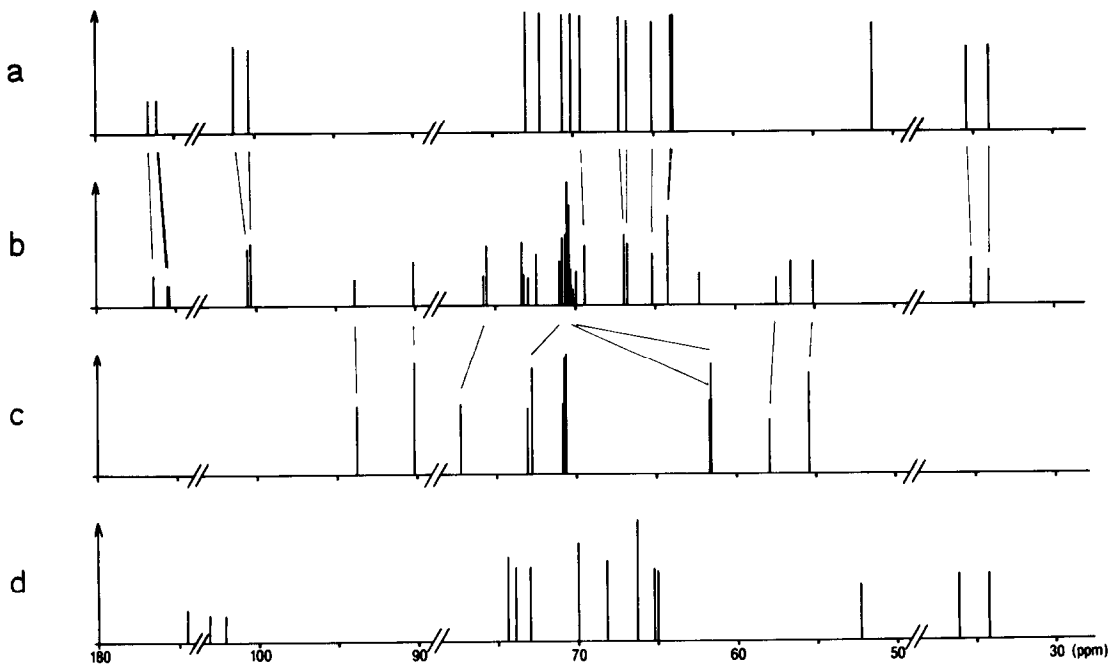


Im  $^1\text{H}$ -n.m.r.-Spektrum (250 MHz, Deuteriumoxid) des Oligosaccharids erscheinen zwischen  $\delta$  1.7 und 2.2 ppm die für 3-Desoxypyranosonsäuren charakteristischen<sup>8</sup> Signale der axialen und äquatorialen H-3 der KDO-Einheiten<sup>9</sup>. Aus der Integration folgt, daß im LPS von S. minnesota Re 595 nur zwei<sup>10</sup> statt der erwarteten drei<sup>3</sup> KDO-Einheiten zugegen sind. Letztere liegen in der pyranoiden Form vor, und die chemischen Verschiebungen beider äquatorialen H-3 deuten auf die  $\alpha$ -Anomerenkonfiguration hin<sup>8</sup>. Dieser Hinweis wird durch die große Ähnlichkeit des Spektrums von 1 mit dem des synthetischen,  $\alpha,\alpha$ -verknüpften Modelldisaccharidderivats 2<sup>11,12</sup> im Bereich  $\delta$  1.7-2.2 ppm verstärkt<sup>13</sup>. Im Anomerenbereich finden sich für 1 Signale bei  $\delta$  5.44 (J 3.5 Hz) und 4.96 ppm (J 8.8 Hz), die den H-1 des  $\alpha$ - bzw.

$\beta$ -Anomeren einer reduzierenden Glucosamin-Einheit entsprechen. Weiters finden sich Signale bei  $\delta$  4.75 ( $J$  8.5 Hz) und 4.76 ppm ( $J$  8.8 Hz), welche wir den H-1' einer  $\beta$ -glycosidisch an reduzierendes  $\alpha$ - bzw.  $\beta$ -Glucosamin gebundenen Glucosaminyl-Einheit zuordnen. Schließlich erscheinen im Bereich 3.0-3.3 ppm die den H-2 und H-2' in der Formel 1 entsprechenden Signale<sup>4</sup>.

Das in Abb. 1b als Liniendiagramm dargestellte <sup>13</sup>C-N.m.r.-Spektrum von 1 ist bereits äußerlich (Abb. 1 und Tabelle 1) als eine Zusammenfügung, entsprechend dem KDO-Disaccharid 2<sup>11,12</sup> mit zusätzlichen Glucosaminylresten, zu erkennen. Die für die Verknüpfung der KDO-Einheiten untereinander wichtigen Signale liegen im Bereich 63-70 ppm, wo die Glucosamin-Einheiten keine Signale aufweisen. Die Bindung der nichtreduzierenden KDO-Einheit an C-4'' folgt aus der Aufspaltung des C-4'' und C-5'' entsprechenden Signalpaares: Während die Linien für C-4''' und C-5''' eng benachbart bei 67.1 und 66.7 ppm aufscheinen, unterliegt das C-4''-Signal einer Glycosidierungsverschiebung (+ 2.2 auf 69.3) und das C-5''-Signal einer  $\beta$ -Verschiebung (-1.4 auf 65.2 ppm). Eine theoretisch denkbare 5-Substitution wird durch die  $\beta$ -Verschiebung des C-3''-Signals (-1.2 auf 34.1 ppm) und dadurch ausgeschlossen, daß mit Ausnahme des C-2''-Signals (-0.8 auf 100.5 ppm) nur geringfügige Veränderungen gegenüber dem Spektrum von 2 auftreten (Abb. 1 und Tabelle 1). Die (2 $\rightarrow$ 4)-Verknüpfung ist im Einklang mit Befunden früherer Autoren<sup>15,16</sup> und mit der jüngst<sup>17</sup> zugeordneten Struktur des reduzierenden KDO-Disaccharids 3, welches durch milde Säurehydrolyse aus verschiedenen

Abbildung 1. - Liniendiagramme der <sup>13</sup>C-N.m.r.-Spektren von a, 2; b, 1; c, Glucosaminhydrochlorid; d, dem synthetischen Modelldisaccharid  $\beta$ DoclAp(2 $\rightarrow$ 4)- $\beta$ DoclApOMe<sup>14,4</sup> (62.9 MHz, Bruker WH-250-Gerät).



Re-LPS erhalten wird<sup>18</sup>. Die Lage der den Glucosamin-Einheiten zuzuordnenden Signale (Tabelle 1) ist vereinbar mit der in der Literatur<sup>19-21</sup> postulierten Teilstruktur (KDO) (2→6)βGlcN(1→6)GlcN. Die verhältnismäßig kleine Glycosidierungsverschiebung (+0.9 auf 62.2 ppm) für C-6' ist nicht ungewöhnlich, betragen doch in anderen Modellen die Verschiebungen aufgrund α-ketosidisch verknüpfter KDO ebenfalls nur 1-2 ppm<sup>22</sup>.

Tabelle 1. <sup>13</sup>C-N.m.r.-Verschiebungen der Verbindungen 1, 2, Glucosaminhydrochlorid (GlcN . HCl) und Methyl-2-amino-2-desoxy-α- bzw. β-D-glucopyranosid<sup>4</sup> (αGlcNpOMe . HCl bzw. βGlcNpOMe . HCl) in ppm δ von Tetramethylsilan<sup>a,b</sup> (vgl. Abb.1).

| C-Atom | Verbindung         |          | C-Atom | Verbindung           |       |      | C-Atom | Verbindung        |          |
|--------|--------------------|----------|--------|----------------------|-------|------|--------|-------------------|----------|
|        | <u>1</u>           | <u>2</u> |        | <u>1</u>             | β     | α    |        | <u>1</u>          | GlcN HCl |
| C-1''' | 176.4              | 176.7    | 1'     | 100.2 <sup>c,d</sup> | 100.7 | 97.0 | 1      | 90.1              | 90.1     |
| 2'''   | 100.2 <sup>c</sup> | 100.3    | 2'     | 56.4                 | 56.6  | 55.0 | 2      | 55.1              | 55.4     |
| 3'''   | 35.2               | 35.3     | 3'     | 72.4                 | 72.8  | 70.9 | 3      | 70.8              | 70.7     |
| 4'''   | 66.9               | 67.1     | 4'     | 70.4                 | 70.7  | 70.4 | 4      | 70.8              | 70.6     |
| 5'''   | 66.7               | 66.7     | 5'     | 75.5                 | 77.0  | 72.8 | 5      | 71.0              | 72.7     |
| 6'''   | 73.3               | 73.0     | 6'     | 62.2 <sup>c</sup>    | 61.3  | 61.3 | 6      | 69.8 <sup>c</sup> | 61.5     |
| 7'''   | 70.5               | 70.7     |        |                      |       |      | 1β     | 93.8              | 93.9     |
| 8'''   | 64.2 <sup>c</sup>  | 63.9     |        |                      |       |      | 2β     | 57.4              | 57.9     |
| 1''    | 175.4+5            | 176.1    |        |                      |       |      | 3β     | 73.1              | 73.0     |
| 2''    | 100.5 <sup>c</sup> | 101.3    |        |                      |       |      | 4β     | 72.9              | 70.8     |
| 3''    | 34.1               | 34.0     |        |                      |       |      | 5β     | 75.6              | 77.2     |
| 4''    | 69.3               | 69.6     |        |                      |       |      | 6β     | 70.3 <sup>c</sup> | 61.6     |
| 5''    | 65.2               | 65.1     |        |                      |       |      |        |                   |          |
| 6''    | 73.2               | 72.1     |        |                      |       |      |        |                   |          |
| 7''    | 70.4               | 70.2     |        |                      |       |      |        |                   |          |
| 8''    | 64.2 <sup>c</sup>  | 63.8     |        |                      |       |      |        |                   |          |

- a) Externer Standard Dioxan bei 67.4 ppm.  
 b) Die Zuordnungen im Bereich 70-71 ppm sind unsicher.  
 c) Zuordnung mit Hilfe eines J-modulierten Spektrums<sup>4,23</sup>.  
 d) Im J-modulierten Spektrum teilweise gelöscht durch negatives C-2''-Signal.

Die Aufspaltung bzw. Verbreiterung der Signale entsprechend C-1''(175.42 und 175.47), C-2'', C-3'' und C-6' ist im Einklang mit der Lage der betreffenden KDO-Einheit näher zum reduzierenden Ende des Tetrasaccharids.

Während der Abfassung der vorliegenden Mitteilung erschien eine Arbeit<sup>24</sup>, worin der vergleichbaren KDO-Region eines *Escherichia coli*-Re-Mutanten-LPS aufgrund von <sup>13</sup>C-N.m.r.-Daten die Struktur αdOciAp(2→5)αdOciAp(2→6)βGlcNp.. zugeordnet wird. Während jene Daten teilweise mit unseren übereinstimmen, ist die dort vorgenommene Zuordnung der (2→5)-

Verknüpfung unsicher<sup>24</sup>. Es bedarf daher zusätzlicher Versuche, um zu zeigen, ob sich die Re-LPS aus Salmonella bzw. E. coli-Stämmen in der Tat bezüglich ihrer KDO-Regionen unterscheiden.

DANKSAGUNG: Unser herzlicher Dank gilt den Herren Prof. E.Th. Rietschel und Dr. H. Brade (beide Forschungsinstitut Borstel, B.R.D.) für großzügige Gaben von Re-595-LPS, Herrn Prof. A. Neszmélyi (Budapest) für zahlreiche anregende Diskussionen auf dem Gebiet der <sup>13</sup>C-N.m.r.-Spektroskopie, und Prof. O. Lüderitz (Freiburg i. Br.) für sein freundliches Interesse an diesen Arbeiten.

#### LITERATUR

1. O. Lüderitz, K.-I. Tanamoto, C. Galanos, O. Westphal, U. Zähringer, E.Th. Rietschel, S. Kusumoto und T. Shiba, ACS Symposium Series 231, 3-17 (1983).
2. Die Hydrazinolyse erfolgte nach G. Strecker, A. Pierce-Cretel, B. Fournet, G. Spik und J. Montreuil, Anal. Biochem. 111, 17 (1981).
3. W. Dröge, V. Lehmann, O. Lüderitz und O. Westphal, Eur. J. Biochem., 14, 175 (1970).
4. R. Christian, G. Schulz und F.M. Unger, in Vorbereitung.
5. Y.D. Karkhanis, J.Y. Zeltner, J.J. Jackson und D.J. Carlo, Anal. Biochem. 85, 595 (1978)
6. E.C. Heath und M.A. Ghalambor, Biochem. Biophys. Res. Commun., 10, 340 (1963).
7. F.M. Unger, Adv. Carbohydr. Chem. Biochem., 38, 323-388 (1981).
8. J. Haverkamp, J. Dorland, J.F.G. Vliegenthart, J. Montreuil und R. Schauer, Abstr. Int. Symp. Carbohydr. Chem., 9th, D-4 (1978).
9.  $\delta$  1.75 (dd, J 12.5; 12.5 Hz, H-3" a), 1.91 (dd, J 13.8; 12.5 Hz, H-3" a), 2.03 (dd, J 13.8; 5 Hz, H-3" e) und 2.15 ppm von internem Tetramethylsilan (dd, J 12.5; 5 Hz, H-3" e); vgl. Zitat 7. und F.M. Unger, D. Stix und G. Schulz, Carbohydr. Res., 80, 191 (1980).
10. S.M. Strain, S.W. Fesik und I.M. Armitage, J. biol. Chem. 258, 2906 (1983).
11. P. Waldstätten, R. Christian, H. Paulsen, G. Schulz und F.M. Unger, in Vorbereitung.
12. H. Paulsen, Y. Hayauchi und F.M. Unger, Carbohydr. Res. 111 (1983) C5-C8.
13. 2:  $\delta$  1.78 (J 13; 12.5 Hz, H-3" a), 1.89 (J 12.5; 12.5 Hz, H-3" a), 1.98 (J 12.5; 5 Hz, H-3" e) und 2.14 ppm (J 13; 5 Hz, H-3" e).
14. P. Waldstätten, R. Christian, G. Schulz, F.M. Unger, P. Kosma, C. Kratky und H. Paulsen, ACS Symposium Series 231, 121 (1983).
15. P. Prehm, S. Stirm, B. Jann und K. Jann, Eur. J. Biochem. 56, 41 (1975).
16. R.S. Munson, Jr., N.S. Rasmussen und M.J. Osborn, J. biol. Chem. 253, 1503 (1978).
17. H. Brade, U. Zähringer, E. Th. Rietschel, R. Christian, G. Schulz und F.M. Unger, Carbohydr. Res., im Druck.
18. H. Brade, C. Galanos und O. Lüderitz, Eur. J. Biochem. 131, 201 (1983).
19. E. Th. Rietschel, H.-W. Wollenweber, Z. Sidorczyk, U. Zähringer und O. Lüderitz, ACS Symposium Series 231, 217 (1983).
20. M. Imoto, S. Kusumoto, T. Shiba, H. Naoki, M. Iwashita, E.Th. Rietschel, H.-W. Wollenweber, G. Galanos und O. Lüderitz, Tetrahedron Lett. 24, 4017 (1983).
21. K. Takayama, N. Qureshi und P. Mascagni, J. biol. Chem. 258, 12801 (1983).
22. A. Neszmélyi, P. Kosma, R. Christian, G. Schulz und F.M. Unger, in Vorbereitung.
23. D.W. Brown, T.T. Nakashima und D.L. Rabenstein, J. Magn. Reson. 45, 302 (1981).
24. S.M. Strain, S.W. Fesik und I.M. Armitage, J. biol. Chem. 258, 13466 (1983).

(Received in Germany 6 April 1984)